

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

В Ы П У С К

32

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ФАН“ УЗБЕКСКОЙ ССР

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ им. В. Д. ЖУРИНА
САНИИРИ

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 32

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ,
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ · 1968

В сборнике освещаются вопросы технологии изготовления и возможности армоцементных покрытий промышленных зданий, дается опыт применения пористых труб для устройства горизонтального дренажа; исследуется влияние фракционного состава заполнителей на свойства бетона для лотков-водоводов; излагаются принципы комплексной автоматизации водозаборных гидроузлов, вопросы автоматизированного учета оросительной воды и ее расхода.

Сборник предназначен для научных, инженерно-технических работников и проектировщиков проектных и эксплуатационных организаций.

Ответственный редактор

кандидат технических наук
З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ

К. А. АВЛЯНОВА

ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

Данная статья написана в результате изучения опыта технической эксплуатации довольно большого количества гидроузлов с целью выявления конструктивных и эксплуатационных особенностей их, выяснения оптимальных параметров, учета и регулирования оросительной воды, выработки рекомендаций рационального размещения приборов и устройств на различных типах водозаборных гидроузлов.

Из-за ограниченности объема данной работы объекты только перечисляются, характеристика их и другие данные не приводятся. Изучались водозаборные сооружения Большого Ферганского канала; Газалкентский гидроузел и головное сооружение Левобережного Карасу на р. Чирчик; Шаркинский гидроузел на р. Ангрен; водозаборные и сбросные сооружения Туябугузского водохранилища на р. Ангрен; головные сооружения Южного Голодностепского канала; Ленинский (Ассакинский) гидроузел на р. Шарихансай; Тешикташский и Кампыр-раватский гидроузлы на р. Карадарья; Касансайское (Уртатокайское) водохранилище; Янгиарыкский и Пальманский гидроузлы на р. Исфайрам; Вуадильский гидроузел на р. Шахимардан; Сарыкурганский гидроузел на р. Сох; Верхнезарафшанский гидроузел, Аккарадарьинский вододелитель, Дамходжинский и Нарпайский гидроузлы на р. Зарафшан.

Учитывая малоизученность вопроса и отсутствие достаточных опытных данных, рекомендации, приведенные в данной работе, необходимо рассматривать как предварительные, подлежащие в дальнейшем уточнению.

КЛАССИФИКАЦИЯ

В литературе имеется подробная классификация водозаборных гидроузлов по различным признакам. Наша классификация несколько отлична от общепринятой: бесплотинный водозабор; плотинный боковой водозабор (на один или два берега); плотинный боковой водозабор из промывных карманов; плотинный, фронтальный, послойный двухсторонний водозабор; плотинный фронтальный, послойный односторонний водозабор с перебросом на два берега; плотинный, фронтальный водозабор через бычки и устои плотины; плотинный, фронтальный водозабор на два берега через среднюю часть плотины; плотинный, фронтальный, послойно-решетчатый водозабор через тело плотины с промывными галереями и отстойниками; водозаборные сооружения водохранилищ.

На гидротехнических сооружениях регулирующими воду элементами являются их затворы и подъемники.

Существуют разнообразные конструкции затворов гидротехнических сооружений. Наибольшее распространение получили затворы с механическим приводом, ручными лебедками или с винтовыми подъемниками. Затворы гидротехнических сооружений в основном крупных гидроузлов оборудованы электроприводом.

Довольно древнюю историю имеют затворы гидравлического действия (вододействующие) [10].

Многочисленные и очень оригинальные конструкции гидравлических затворов, несмотря на очевидные их преимущества перед механическими, получили сравнительно небольшое распространение как у нас, так и, особенно, за рубежом, что объясняется следующими основными причинами: отсутствием достаточных теоретических исследований и расчетов для проектирования и эксплуатации их; сложностью и неэкономичностью внедрения гидравлических затворов на эксплуатируемых сооружениях; большим разнообразием условий применения и требований к этим затворам; неподготовленностью оросительных каналов и гидротехнических сооружений к оборудованию их автоматически действующими затворами; отсутствием теоретических расчетов взаимовлияния авторегулируемых гидротехнических сооружений канала и др.

В мировой практике известны различные типы затворов с комбинированным приводом, регулируемые механическим и автоматическим приводом (вальцовые, плоские и сегментные с клапанами и др.) [9].

За последние годы подъемники эксплуатируемых гидротехнических сооружений оборудуются авторегулируемым электроприводом. Такие затворы тоже обладают вышеуказанными недостатками, но при помощи электрических авторегуляторов можно сравнительно легко превратить эксплуатируемые затворы гидротехнических сооружений в авторегулируемые.

Таким образом, по типу привода различаются следующие затворы гидротехнических сооружений: а) с механическим приводом (не автоматизированные); б) комбинированным или двойным приводом (вальцовые, плоские и сегментные с козырьками); в) с гидравлическим приводом (с поплавками и камерами давлений, собственно поплавковые и др.); г) комбинация затворов с механическим и гидравлическим приводом.

По назначению (функции) затворы делятся на: 1) регулирующие горизонт воды верхнего бьефа (затворы плотин и перегораживающих сооружений гидроузла); 2) сборные сооружения, предназначенные для отвода паводковых расходов, плавающих предметов и шуги; 3) донные промывные галереи; 4) головные регуляторы, предназначенные для обеспечения водозабора из источника орошения или из старшего канала в предусмотренных планом водопользования размерах.

ПРИНЯТАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

За последние годы среди работников науки, проектных и производственных водохозяйственных организаций бытуют еще четко не сформулированные и не зафиксированные в литературе новые термины и понятия в области учета, регулирования оросительной воды. Ниже приводим основные из них.

Водомер-регулятор — гидротехническое сооружение, оборудованное соответствующим прибором, позволяющее определить расход

воды по одному, измеряемому непосредственно на сооружении, переменному параметру (Z или H).

К этому типу сооружений относятся трубчатые и открытые водомеры-регуляторы САНИИРИ (ТРВ, ТВС и др.).

На этих сооружениях, зная взаимозависимость измеряемого переменного параметра с другими известными величинами, входящими в формулу расхода воды $Q = K_{ab} \sqrt{Z_b}$ (при затопленном истечении), можно поддерживать заданный расход, соответственно изменяя какой-либо другой параметр расходной формулы.

Например, измеряя Z_b и изменяя a или b (т. е. площадь живого сечения ω), можно отрегулировать забор заданного расхода воды.

Тарированное сооружение — любое гидротехническое сооружение, в котором путем тарировки найдена зависимость расхода воды, проходящей через сооружение, от одного переменного параметра. Так, расход воды зависит от горизонта в верхнем бьефе (H) или в нижнем (h), т. е. $Q = f(H)$, или $Q = f(h)$.

Транзитный гидрометрический пост — гидротехнические сооружения, позволяющие в данном сечении определять расход по графику $Q = f(H)$, заранее вычисленному по расходной формуле.

Для измерения горизонта воды могут быть использованы гидрометрическая рейка, поплавковые, электромеханические и электрические приборы или датчики телеизмерения. Такими сооружениями являются водосливы, лотки, водомерные пороги, фиксированные русла, перепады, быстротоки и др.

Авторегулируемые (автоматизированные) или гидравлически действующие затворы — обычные затворы гидротехнических сооружений, оборудованные автоматизированным электроприводом, или затворы специальной конструкции (собственно поплавковые или с поплавками и камерами давлений), действующие под давлением воды.

По выполняемой функции они делятся на следующие типы.

Автоматические затворы-регуляторы верхнего бьефа (A_H^H) поддерживают заданный горизонт в верхнем бьефе ($H = \text{const}$). Чувствительные элементы этих затворов измеряют воду в верхнем бьефе (H), определяют размер сбросного расхода и живого сечения потока ω .

Автоматические затворы-регуляторы расхода могут быть следующих типов:

1) затворы, обеспечивающие забор воды путем измерения и поддержания заданного горизонта на водомерном посту в нижнем бьефе (A_h^Q) или изменения горизонта в верхнем бьефе (A_H^Q); такие автоматы могут работать только при незатопленном истечении;

2) затворы (A_Z^Q), обеспечивающие забор заданного расхода воды измерением разности горизонтов в нижнем и верхнем бьефах.

Автоматические затворы (A_{HQ}) смешанного регулирования способны переключаться на поддержание заданного горизонта и расхода и работать при переменном режиме нижнего бьефа.

Автоматические затворы-регуляторы (A_2) сбросных сооружений обеспечивают своевременный отвод излишних, аварийных расходов, плавающих предметов или донных наносов; они включаются в работу при превышении величины измеряемого параметра.

Авторегулируемый водозаборный гидроузел — комплекс гидротехнических сооружений, осуществляющий при помощи автоматически действующих затворов забор и распределение воды установленных размеров независимо от изменений расходов и горизонтов в источнике (реке, водоеме, водохранилище или канале).

АНАЛИЗ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ ВОДОЗАБОРНОГО УЗЛА

Возьмем для примера водозаборный узел, состоящий из шестипролетной плотины и примыкающего к нему пятипролетного головного сооружения магистрального канала (рис. 1).

На графике (рис. 2) проследим динамику водозабора по пятидневному заданию плана водопользования за месяц, предполагая, что затворы регулируют расходы воды в полном соответствии с графиком.

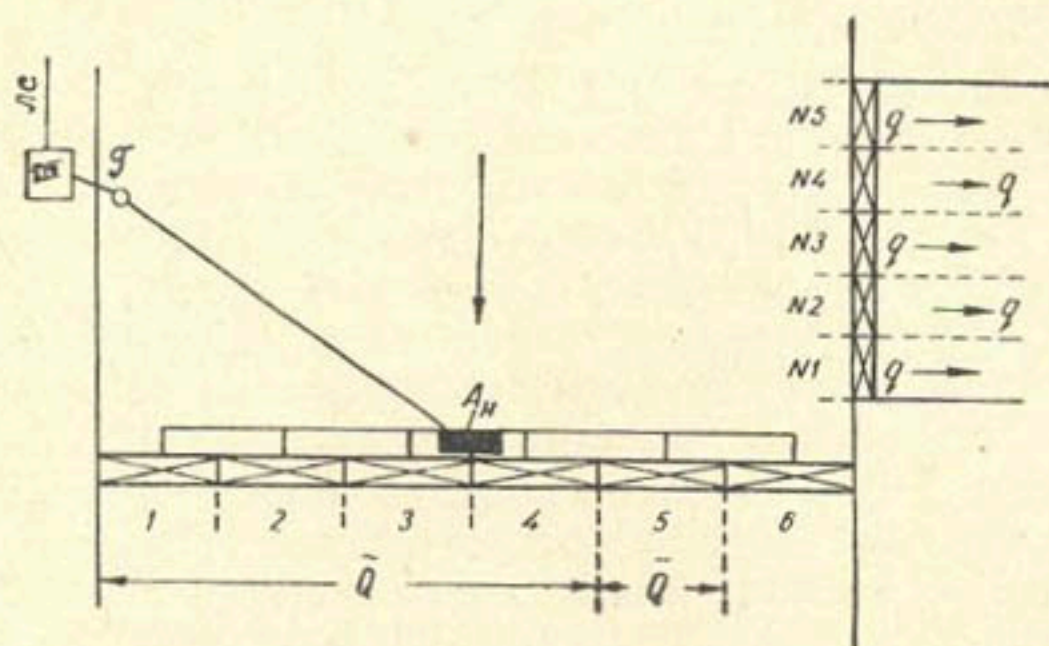


Рис. 1. Схема узла:

Γ — гидрометрический пост, A_H — авторегулятор, $H = \text{const.}$

Плотина оборудована автоматическими затворами (A_H^H), обеспечивающими поддержание заданного горизонта в верхнем бьефе. Затворы головного регулятора неавтоматического действия оборудованы электроприводом с местной пусковой станцией управления. Все затворы узла могут быть переключены и на дистанционное управление.

Предположим, что в первую пятидневку необходимо забирать в канал расход Q , который можно пропускать распластанным потоком через все пролеты, открыв затворы на одинаковую высоту; такой водозабор можно осуществить и сосредоточенным потоком, пропуская воду через пролеты № 2 и 4 при полностью закрытых затворах (если позволяют эксплуатационные условия). Остальные расходы реки будут сбрасываться через 3, 4 и 5-й полностью открытые пролеты плотины, а затвор 2 в положении «авторегулирование» будет отрабатывать заданный горизонт. Затворы 1 и 6 в эту пятидневку закрыты. Расход воды, сбрасываемой через плотину, условно разделим на постоянную часть ($\bar{Q}$), пропускаемую через открытые затворы, и переменную ($\tilde{Q}$), регулируемую затвором 2.

Рассуждая аналогично, во вторую пятидневку постоянную часть расхода будем пропускать через полностью открытые пролеты плотины 2, 3, 4 и 5, регулируя переменный расход затвором 1. Водозабор осуществим полностью открытыми затворами 2, 3 и 4 и т. д.

Как видно из рис. 2, на протяжении отдельных периодов или в течение всего месяца часть затворов плотины и головного регулятора могут быть полностью закрытыми или открытыми.

Следовательно, в автоматизированных гидроузлах диапазон регулирования по сравнению с Н небольшой и меняется каждый раз в зависимости от устанавливаемого авторегулятору задания; почти всегда

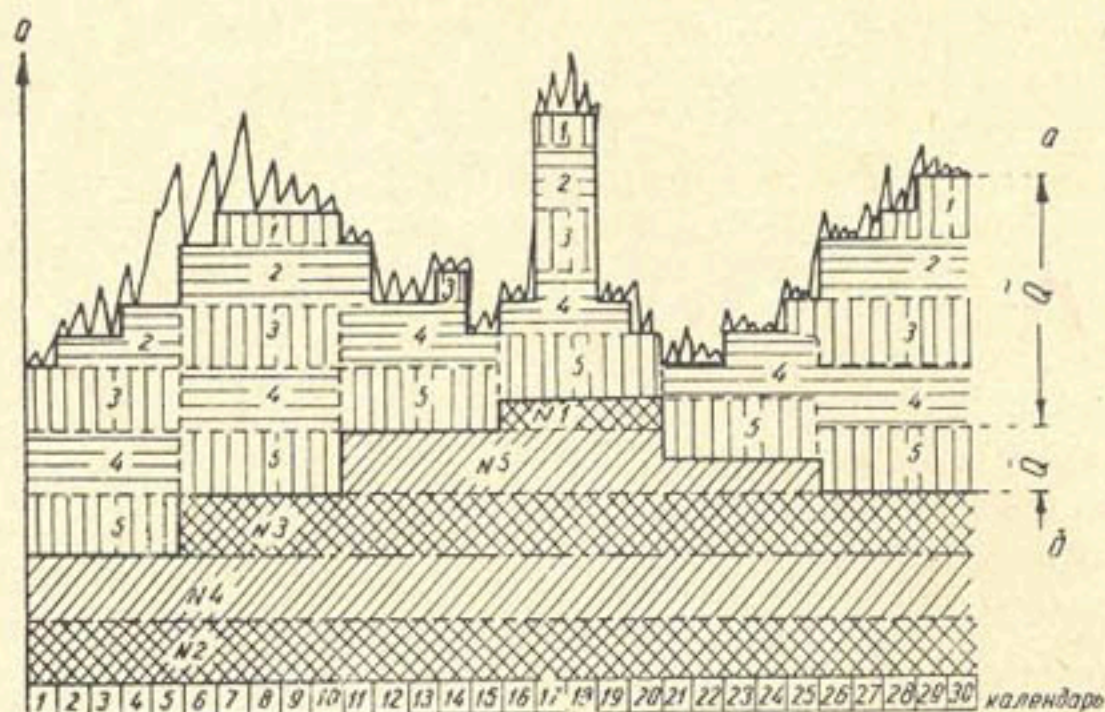


Рис. 2. График водозабора:
а — расход реки Q , б — расход канала q .

в режиме авторегулирования работают один или несколько затворов, назовем их затворами отработки задания ($\tilde{Q}$). Другая часть затворов (нерегулируемых) пропускает расход $\bar{Q}$ — затворы грубого регулирования.

ПРИНЦИПЫ ОСНАЩЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОЗАБОРНЫХ УЗЛОВ АВТОМАТИЧЕСКИМИ ЗАТВОРАМИ

В соответствии с классификацией, принятой в первом разделе, приведем рекомендации по рациональному оснащению гидротехнических сооружений различных типов водозаборных узлов автоматическими затворами.

Бесплотинный боковой водозабор (одиночное сооружение). При незатопленном истечении рекомендуются затворы типа A_N^Q или A_n^Q , при затопленном — A_z^Q и при переменном — A_{nQ} .

Плотинный боковой водозабор (на один или два берега). Если обеспечить поддержание заданного горизонта воды в верхнем бьефе авторегулируемыми затворами плотины, то затворы головных регуляторов достаточно оборудовать электроприводом с местным или дистанционным управлением.

Плотина должна быть оборудована затворами типа A_n^H , но если режим ее работы переменный (периодически затопленный или незатопленный), то затворы должны иметь два задатчика отработки заданного горизонта, и при необходимости они должны переключаться на дистанционное управление.

Плотинный боковой водозабор из промывных карманов (типа Первомайского гидроузла). Все затворы плотины и промывных карманов

оборудуются автоматическими затворами A_H^H с задатчиками на затопленный и незатопленный режим работы.

Затворы плотины должны работать в режиме грубого регулирования, а затворы промывных галерей — авторегулирования. Затворы головных регуляторов, как и в предыдущих типах, оборудуются только электроприводом.

Затворы всех гидросооружений узла могут переключаться на дистанционное и местное управление.

Плотинный фронтальный послыйный двухсторонний водозабор (типа Кылординской плотины). Средняя сбросная часть плотины оснащается автоматизированными затворами типа A_H^H . Донные промывные галереи следует оборудовать двухпозиционными автоматизированными затворами. В остальном рекомендации те же, что и для плотинного бокового водозаборного гидроузла.

Далее нет необходимости перечислять все остальные типы водозаборных узлов, так как в принципе оснащение их ничем не отличается от вышеуказанных, т. е. в любых типах достаточно плотину или сбросную часть ее оборудовать автоматическими затворами и поддерживать заданный горизонт в верхнем бьефе.

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ

Обычно на крупных водозаборных гидроузлах происходят довольно резкие колебания горизонтов, а следовательно, и расходов воды (особенно на реках с незарегулированным стоком), но по времени (темпам) нарастание уровня длится часами, реже минутами даже при расходах паводкового характера.

От автоматических затворов особая быстрота отработки задания не требуется, за исключением затворов донных промывных галерей и аварийных сбросов, которые должны иметь двухпозиционное регулирование — моментально открываться и закрываться от воздействия одного импульса.

На существующих неавтоматизированных сооружениях скорость регулирования осуществляется в пределах 0,05—0,15 см/сек, в некоторых случаях 0,3—1,5 см/сек; такая скорость регулирования не приводит к отрицательным явлениям.

Учитывая указанные обстоятельства, скорость маневрирования затворов, оборудованных электрическими авторегуляторами, можно принять в пределах 0,03—0,1 см/сек, а точность — 2—5% от диапазона регулирования.

Для выбора типа и разбивки шкалы измерительных приборов и чувствительных элементов авторегуляторов необходимо знать возможный диапазон измерения и регулирования.

На эксплуатируемых сооружениях диапазон измерения и регулирования колеблется в довольно значительных пределах. Так, по данным наших исследований, на аварийных сбросных сооружениях он составляет 1—2 м; на плотине диапазон измерения равен 2—6 м; регулирования — 1—4 м, а на водозаборных сооружениях соответственно измерения — 1,4 м и регулирования — 0,2—2 м.

Учитывая возможные условия, изложенные в разделе «Анализ работы автоматических затворов водозаборного узла», диапазон измерения и регулирования на автоматических гидроузлах можно принять в пределах, значительно меньших указанных, что нужно для упрощения

конструкции при разработке водомерных приборов и датчиков телеизмерения.

Зону нечувствительности авторегуляторов можно рекомендовать в пределах 1—10 см. Желательно, чтобы аппаратура, внедряемая на гидроузлах, учитывала возможность осуществления телеконтроля, а в некоторых случаях и телеуправления.

Необходимо вести дистанционный контроль за отложением наносов, фильтрацией через тело плотины и дамбы при помощи тензометрических, пьезометрических или других датчиков.

Наиболее подходящими (по техническим показателям) электродвигателями затворов гидросооружений узла являются асинхронные электродвигатели с коротко замкнутым ротором.

При выборе электродвигателя и авторегуляторов для затворов необходимо установить параметры регулирования: диапазон, чувствительность, точность, скорость; для импульсных регуляторов — величину минимального импульса и паузы между импульсами; порядок (очередность) маневрирования затворами в отдельные периоды для каждого гидросооружения узла, возможность спаренного регулирования затворами и ряд других показателей.

Исследование авторегуляторов гидротехнических затворов показало, что авторегуляторы с высокой чувствительностью реагируют на мелкие волновые и случайные колебания в водохранилище или на реках с незарегулированным стоком, что ведет к появлению частых ложных срабатываний и перерегулирований. Для устранения этих явлений допускается некоторое загробление регулятора в пределах точности путем демпфирования или устройства колодцев специальной конструкции для чувствительного элемента авторегулятора.

На авторегулируемых гидроузлах нельзя допускать перебои в электроэнергии, так как это может привести к тяжелым аварийным последствиям.

На всех типах водозаборных сооружений гидроузла в схеме электропривода и авторегуляторов должна быть предусмотрена необходимая аварийная сигнализация, а также защита и блокировка от ложных срабатываний.

В многопролетных сооружениях, особенно при боковом водозаборе, расходы воды через пролеты водозаборного сооружения значительно различаются между собой, поэтому каждый пролет должен иметь свою тарировочную кривую.

Обычно гидравлические затворы имеют ряд преимуществ перед электрическими, но на эксплуатируемых гидросооружениях, особенно при наличии электроэнергии, ставить гидравлические затворы нецелесообразно. Поэтому они рекомендуются при проектировании новых или капитальной реконструкции старых гидросооружений.

Предварительно для выполнения расчета затвора выясняются максимальный и минимальный расходы, пропускаемые через автомат, а также минимальный и максимальный напор, который следует поддерживать в верхнем бьефе. Затем находят параметры сооружений, выясняют размеры затвора, а также отводящего и подводящего каналов; определяют $Q_{\max}$, $Q_{\min}$ и диапазоны колебания горизонтов воды в подводящем и отводящем каналах и приступают к расчету затвора. Кроме обычных статических и гидравлических расчетов, производят расчеты на автоматическое действие. Находят рациональный вес затвора, поплавка, противовеса, исходя из условия равновесия и равенства действующих моментов относительно оси вращения затвора.

Запроектированный автоматический затвор необходимо предварительно исследовать, при этом установить точность поддержания заданного напора; поведение затвора при возмущениях (резком нарастании расхода); вынужденное выведение затвора из состояния равновесия; влияние кривой подпоры; скорость срабатывания расходов воды; скорость открытия затвора и его пропускную способность; зону нечувствительности; пропуск наносов, плавающих предметов и шуги; водомерность; точность регулирования (погрешность); возможность дистанционного и телемеханического измерения задания и контроля над работой затвора.

НЕКОТОРЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ

При конструировании гидравлических затворов, как правило, не приводятся расчеты равновесия моментов, действующих на затвор, между тем работа таких затворов основана именно на этом принципе.

В наиболее общем виде это равенство можно выразить так:

$$M_z \pm M_{тр} \pm \tilde{M}_c \pm \tilde{M}_r \pm M_n \pm M_{пр} = 0, \quad (1)$$

где M_z — момент от веса затвора относительно оси вращения;

$M_{тр}$ — то же от трений, действующих на затвор при его перемещении;

$\tilde{M}_c$ — момент от статического напора воды (эта величина переменная и поэтому обозначена знаком $\sim$);

$\tilde{M}_r$ — то же от действия гидродинамических сил;

M_n — момент от веса поплавка

$M_{пр}$ — то же от противовеса.

При соблюдении этого условия затвор будет находиться в рабочем состоянии.

С изменением величин M_c и M_r нарушается равновесие моментов, затвор прикрывается или открывается; горизонт или расход воды перед сооружением регулируется до тех пор, пока не восстановится равенство моментов.

Новое задание на регулирование в различных затворах устанавливается изменением параметра одного из постоянных компонентов действующих сил: веса затвора, поплавка или противовеса.

Срабатывание затвора начинается при изменении расхода на ΔQ , когда $\Delta M_c + \Delta M_r > M_{тр}$.

Для расчета гидравлического затвора необходимо найти наивыгоднейший вес его при минимально возможном горизонте воды в верхнем бьефе и минимальном расходе в старшем канале, когда весь расход должен забираться в каналы, а сброс равняться нулю, т. е.

$$M_z = M_c \pm M_r \pm M_n \pm M_{пр} < M_z + M_{тр}.$$

Условие равновесия затвора выражается так:

$$M_c \pm M_r = M_z \pm M_n \pm M_{пр} \pm M_{тр}.$$

Для установленного режима затвора $M_c \pm M_r$ — переменные компоненты; $M_z \pm M_n \pm M_{пр} \pm M_{тр}$ — постоянные компоненты.

Преобразуем уравнение (1) следующим образом:

$$Al_1 \pm Bl_2 \pm \varphi_1 Hl_3 \pm \varphi_2 Hl_4 \pm Bl_5 \pm Gl_6 = 0. \quad (2)$$

Здесь

$$Al_1 = M_z; \quad Bl_2 = M_{тр}; \quad \varphi_1 Hl_3 = M_c;$$

$$\varphi_2 H l_4 = M_r; \quad B l_5 = M_n; \quad \Gamma l_6 = M_{np};$$

$$A, B, B, \Gamma, \varphi_1, H, \varphi_2 H —$$

силы, действующие на затвор, и их плечи $l_1; l_2; l_3; l_4; l_5$ и l_6 .

Из формулы расхода для незатопленного истечения $Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$ найдем:

$$H = \frac{Q^2}{\mu^2 \omega^2 2g} \quad (3)$$

Преобразуя формулу (2) и подставив в нее значение H , получим:

$$H (\varphi_1 l_3 \pm \varphi_2 l_4) = A l_1 \pm B l_2 \pm B l_5 \pm \Gamma l_6;$$

$$H = \frac{A l_1 \pm B l_2 \pm B l_5 \pm \Gamma l_6}{\varphi_1 l_3 \pm \varphi_2 l_4},$$

подставляя значение H , из равенства (3) имеем

$$\frac{Q^2}{\mu^2 \omega^2 2g} = \frac{A l_1 \pm B l_2 \pm B l_5 \pm \Gamma l_6}{\varphi_1 l_3 \pm \varphi_2 l_4}$$

или

$$Q = \mu \omega \sqrt{\frac{2g (M_3 \pm M_{тр} \pm M_n \pm M_{np})}{\varphi_1 l_3 \pm \varphi_2 l_4}}. \quad (4)$$

Обозначим сумму постоянно действующих моментов так:

$$M_3 \pm M_{тр} \pm M_n \pm M_{np} = \Sigma \bar{M},$$

тогда расходная формула для авторегулируемых затворов

$$Q = \mu \omega \sqrt{\frac{2g \Sigma \bar{M}}{\varphi_1 l_3 \pm \varphi_2 l_4}}; \quad (5)$$

(ω — площадь живого сечения регулируемого раствора).

Подставляя в эту формулу разные значения ω , определим Q и составим график зависимости $Q = f(\omega)$ при заданном значении H . Изменяя значение H , найдем серию кривых. Формулу (5) приведем к следующему виду:

$$\omega = \frac{Q}{\mu} \sqrt{\frac{\varphi_1 l_3 \pm \varphi_2 l_4}{2g \Sigma \bar{M}}}. \quad (6)$$

Для разных значений Q определим ω и составим график $\omega = f(Q)$. Эти графики и расчеты требуются для разработки задатчика авторегулятора.

Ниже приводятся некоторые рекомендуемые расчеты из проекта Росгипроводхоза МСХ РСФСР, принятые при проектировании Терско-Кумского канала [11].

Если чувствительный элемент (поплавок) затвора помещен в колодец, то для гашения волновых колебаний площадь сечения отверстия ω , соединяющего водомерный колодец с источником, рекомендуется принять $\frac{1}{50} - \frac{1}{100}$ от площади сечения колодца (S), т. е.

$$\omega = \left(\frac{1}{50} - \frac{1}{100} \right) \cdot S. \quad (7)$$

Величина возможных колебаний в приемном колодце определяется из равенства

$$\delta = \frac{\mu \omega^2 \sqrt{g \frac{h}{3}}}{CS} \cdot L, \quad (8)$$

где

μ — коэффициент расхода;

h — высота полуволны, м;

L — длина волны, м;

C — скорость распространения волны, м/сек.

Исследование электрических авторегулируемых затворов показало, что импульсные авторегуляторы работают более устойчиво, паузы между импульсами гасят колебания и не способствуют перерегулированию.

Рекомендуется следующая методика расчета импульсного электрического регулятора уровня верхнего бьефа [6]. Затворы с импульсными авторегуляторами типа A_H^H осуществляют непрерывное сравнение заданного горизонта воды в верхнем бьефе с фактическим H ; в случае отклонения авторегулятор «дает команду» на смещение затворов головного шлюза по зависимости $\Delta = f(\Delta H)$, где Δ — смещение затвора; ΔH — абсолютное отклонение фактического горизонта от заданного.

Величина импульса определяется по формуле

$$t_n = \frac{\Delta_{\min}}{V}. \quad (9)$$

Здесь

$\Delta_{\min}$ — минимальная величина смещения затвора (перемещение при одном импульсе), она определяется по зависимости $Q = f(H)$;

V — средняя скорость подъема затвора. В этом случае пауза между импульсами равна $t_n = \frac{L}{V_k}$, где L — расстояние от оси затвора головного сооружения до места установки авторегулятора; v_k — скорость воды в канале при минимальном расходе.

Зависимость между паузой, чувствительностью авторегулятора и абсолютным превышением расхода, пропускаемого через затвор, над притоком выражается формулой $\Delta q = \frac{F\eta}{t_n}$, где F — площадь зеркала водохранилища, м²; t_n — пауза и η — чувствительность.

Связь между попусками сбросного расхода и паузой импульса при регулировании определяется зависимостью

$$\Delta q = K t_n \quad (10)$$

K — интенсивность нарастания сбросного расхода (в м³/сек) определяется из формулы

$$K = \frac{W \cdot K_1}{F \Delta} + K_1; \quad (11)$$

W — объем призмы сработки водохранилища (в м³) для принятого диапазона измерения горизонтов верхнего бьефа (30 см); K_1 — интенсивность нарастания паводкового расхода, м³/сек; F — площадь зеркала водохранилища на верхней границе диапазона колебания уровня, м².

Из уравнений (10) и (11) определяют величины попусков сбросных расходов и паузы импульсов:

$$\Delta q = \sqrt{F\eta\left(\frac{WK_1}{F\Delta} + K_1\right)}; \quad (12)$$

$$t_n = F \sqrt{\frac{\eta\Delta}{WK_1 + F\Delta K_1}}. \quad (13)$$

НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГИДРОУЗЛА

Для правильной технической эксплуатации гидроузла и создания благоприятных условий водозабора необходимо определить порядок и число одновременно действующих затворов при паводковых и меженных расходах в вегетационный и невегетационный периоды.

В первый период эксплуатации, когда еще в нижнем бьефе крупные наносы не подошли к узлу и есть опасность размыва, для затопления прыжка рекомендуется одновременное и ступенчатое маневрирование затворами, это хорошо противодействует образованию опасных для устойчивости русел сбойных течений, что не всегда приемлемо по условиям борьбы с наносами.

Для отвлечения наносов от водоприемника необходимо пропускать все расходы реки через определенные, полностью открытые пролеты плотины.

Такое маневрирование затворами плотины особенно рекомендуется на водозаборных узлах, работающих по принципу поперечной циркуляции с криволинейным подводящим руслом реки (гидроузлы Ферганского типа).

Лучшее формирование русел на водозаборных сооружениях Ферганского типа отмечается при пропуске расходов через затворы плотины, примыкающие к вогнутому берегу (к водоприемнику), через которые преимущественно производится сброс воды. При нарастании сбросных расходов следует открывать затворы от вогнутого берега к выпуклому, а закрывать в обратном порядке. Желательно первое отверстие, примыкающее к водоприемнику, не открывать полностью: это способствует поддержанию некоторого подпора перед водоприемником [4].

В случае угрозы размыва нижнего бьефа целесообразно основной, сбросной, расход реки пропускать через затворы, расположенные в середине русла.

На узлах, не имеющих запасную емкость в верхнем бьефе, паводковые расходы должны сбрасываться быстродействующими сбросными сооружениями, при этом необходимо соблюдать постепенность опорожнения и наполнения верхнего и нижнего бьефов.

Нельзя допускать продолжительное бездействие некоторых затворов, так как это приводит к завалу их наносами, и они могут выйти из строя.

На каждое сооружение узла должен быть составлен и утвержден годовой график работы, который корректируется только при обоснованной необходимости и с ведома вышестоящих эксплуатационных органов. На этих графиках указываются горизонты, которые следует поддерживать перед сооружениями и в отстойнике, а также расходы сбросных и водозаборных сооружений в отдельные периоды (в процентах от расходов реки).

Для определения пропускной способности сооружения узла нужно иметь графики зависимости отдельных элементов, входящих в расходную формулу, полученную тарировкой или математическими вычислениями.

До наступления паводков закрытые затворы плотины должны быть опробованы и устранены все неполадки.

Приведенные в данной работе указания дополняют или усиливают общепринятые правила эксплуатации водозаборных гидроузлов, и поэтому утвержденные ранее правила и положения по эксплуатации остаются в силе, если они не противоречат вышеуказанным рекомендациям.

Диспетчерский пункт желательно разместить непосредственно на водозаборном сооружении (над плотинной или на берегу слева или справа от плотины).

Диспетчерское оборудование желательно запроектировать из аппаратуры и устройств, выпускаемых отечественной промышленностью.

На гидроузлах, оборудованных электрическими авторегуляторами, работа сооружения контролируется по поступающей на ДП непрерывной информации о положениях затворов и горизонтов воды.

В многопролетных сооружениях маневрирование затворами осуществляется в определенной, заранее заданной, последовательности. После перехода работающих затворов в крайнее верхнее положение включаются в работу затворы второй очереди и т. д.

При аварии электродвигателя одного из затворов, он отключается, и автоматически подключаются в работу исправные затворы.

При работе гидроузла в автоматическом режиме «по заданию» обязанности диспетчера сведутся к контролю за работой сооружения по поступающим на ДП сигналам, фиксированию необходимых измерений и эпизодическому заданию новой уставки авторегулятора в соответствии с графиком водоподдачи.

При телемеханическом или дистанционном управлении (регулировании затворами) работа диспетчера усложняется. Каждый раз для установления необходимого расхода он должен непосредственно оперировать затворами при помощи устройств телемеханики, что значительно увеличивает его нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д а н е л и я Н. Ф. Водозаборные сооружения на реках с обильными донными наносами, М., Изд-во «Колос», 1964.
2. А л т у н и н С. Т. Водозаборные узлы и водохранилища, М., Изд-во «Колос», 1964.
3. Технические условия и нормы проектирования гидросооружений (Водопроемы с открытым водозабором деривационных гидроэлектростанций), М., Госэнергоиздат, 1949.
4. У ш а к о в А. П., Ш о л о х о в В. Н., Я к ш т а с И. Я. Водозаборные узлы Ферганского типа, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
5. Р у ж и ч к а В. А. Основные задачи комплексной автоматизации и телемеханизации оросительных систем и методы их осуществления, Труды Института водного хозяйства и энергетики КиргССР, вып. 4 (VII), 1957.
6. Г а н к и н М. З., Б у р д о И. М., Г о л о д е ц и и др. Автоматизация головных водозаборных гидроузлов, вып. 1, Труды Гипроводхоза при Госземводхозе СССР, М., МСХ СССР, 1964.
7. Б у т ы р и н М. В. Водомерные сооружения для оросительных каналов на расход от 2 до 20 м³/сек, «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
8. Справочник «Гидротехника и мелиорация», М., МСХ СССР, 1958.
9. Труды Института автоматики АН КиргССР, Некоторые вопросы автоматизации оросительных систем, Фрунзе, Изд-во «Илим», 1963; Автоматизация объектов ирригационных систем, Фрунзе, Изд-во «Илим», 1964; Гид-

различные системы автоматизации ирригационных объектов, Фрунзе, Изд-во «Илим», 1965.

10. Хамадов И. Б., Хамадова Н. Ш. К вопросам истории развития автоматических водорегулирующих устройств, их классификации и выбора, «Вопросы гидротехники», вып. 16, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
 11. Лебединский и др. Автоматизация гидроузла Терско-Кумского канала, Сборник научно-технической информации Росгипроводхоза, № 7, Изд-во МСХ РСФСР, М., 1962.
 12. Жимский А. А. Водозаборные плотины на реках Средней Азии, Труды САНИИРИ, Ташкент, Изд-во «Наука» УзССР, 1965.
 13. Обобщение опыта автоматизации мелиоративных систем. В сб. «Автоматизация головных водозаборных узлов», вып. 1, М., Гипроводхоз, 1964.
-

И. Б. ХАМАДОВ, В. Е. КРАСНОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ ВОДЫ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ ВОДОМЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТИПА ПРИСТАВКИ И ДИНАМИЧЕСКОГО РАСХОДОУКАЗАТЕЛЯ «ДРС-60»¹

Необходимым условием практического выполнения плана водопользования на оросительных системах является наличие на межхозяйственной и внутрихозяйственной сети регулирующих сооружений, водомеров-регуляторов и приборов автоматизированного учета расходов и стока воды.

Водоизмерительная и регулирующая техника — основа автоматизации и телемеханизации гидромелиоративных систем: при правильном подборе этой техники значительно уменьшается объем и стоимость телемеханики. Поэтому каждое сооружение должно быть водомерным.

Водомеры-регуляторы и водоизмерительные приборы должны отвечать эксплуатационным, конструктивно-строительным и технико-экономическим требованиям. Основными из них являются:

1) автоматизированный учет и распределение воды на системе, а также достижение совершенной формы управления оросительной водой — автотелемеханизации;

2) точность измерения расхода воды с учетом погрешности систем автотелемеханизации до $\pm 5-6\%$;

3) простота конструкций и надежность их эксплуатации в разных условиях и режимах работы каналов; достаточность диапазона измеряемых расходов (4—5 раз); независимость работы сооружения от характера истечения в нижний бьеф (включая подпорно-переменный режим), мутности воды; возможность осмотра, ремонта, защиты от постороннего вмешательства;

4) конструктивное соответствие и простота сооружений, обеспечивающих промышленное (блочное) их изготовление, несложный монтаж, транспортабельность и т. д.;

5) универсальность водомерных устройств, позволяющих использовать их для переоборудования существующих сооружений различного назначения в водомерные (с очень незначительными затратами) и проектирование новых типовых сооружений;

6) экономичность конструкций сооружений при значительной их пропускной способности, незначительная стоимость водоизмерительных приборов по сравнению с общей стоимостью сооружений;

7) возможность работы с незначительной потерей напора и т. д.

¹ Данная статья представляет собой краткое изложение содержания доклада, который был сделан на Всесоюзном семинаре «Автоматизация оросительных систем» 29—31 июля 1964 г. в павильоне «Орошаемое земледелие и водное хозяйство» ВДНХ СССР.

Существуют следующие методы, средства учета и регулирования воды¹:

А. Руслый (гидрометрический) метод на водомерных постах, контрольных руслах и т. д.

Б. Метод водомерных (гидравлических) сооружений. Учет воды осуществляется с помощью водомеров-регуляторов, обеспечивающих учет и регулирование (отпуск) воды в головах каналов, отводов, водомерных сооружений на транзите, используемых только для учета воды; протарированных гидротехнических сооружений и гидравлических автоматов, поддерживающих постоянные гидравлические параметры (расход, горизонты воды).

Эти методы, средства учета и регулирования подробно изложены в работах В. Н. Ярцева, М. В. Бутырина и др. [23, 1, 5].

Существующее состояние учета воды на оросительных системах не обеспечивает необходимой точности и оперативности вододеления, не говоря уже об автоматизации учета, а обслуживание учетных сооружений требует большого штата эксплуатационных работников.

Преобладающее число водомерных пунктов оборудовано речными гидрометрическими постами (из-за неустойчивости русла канала и переменного подпорного режима работы учет воды на них неоперативен и дает погрешность, достигающую 15—20%) или водосливами (в условиях заиляемости русла погрешность в измерении расходов составляет 10—12%). Такое положение характерно почти для всех республик нашей страны, где развито орошаемое земледелие.

Показательна в этом отношении оснащенность межхозяйственной ирригационной сети Узбекской ССР средствами учета (по состоянию на 1 января 1963 г.). Из общего количества точек вододеления 55% падает на неточный и громоздкий русловый метод учета; 42% — на транзитные водомерные сооружения (водосливы, лотки и др.). На долю сооружений, переоборудованных в водомеры-регуляторы, приходится всего 3%, что составляет по Средней Азии и Казахстану около 400 сооружений. Эти водомеры-регуляторы построены и переоборудованы в основном в 1961—1962 гг.

Темпы внедрения водомерных сооружений необходимо увеличить: водомеры-регуляторы должны занимать преобладающее место на оросительных системах. Сооружения с автоматизированным учетом воды, так же, как и гидравлические автоматы, более всего соответствуют условиям автоматизации и телемеханизации водораспределения.

Лаборатория автоматизации гидромелиоративных систем САНИИРИ много лет ведет разработки вышеперечисленных методов, технических средств учета воды и является пионером в этом деле. Предложен, разработан и исследован ряд водомерных сооружений, приборов для автоматизации учета воды на оросительной сети. Большинство из них могут быть рекомендованы к широкому внедрению на оросительных системах, в частности водомерный порог «ВПС» (с расходами до 100 м³/сек), трубчатые водомеры-регуляторы с сопротивлениями на выходе (с насадком, кольцом, типа Вентури, полуцилиндром) до 10 м³/сек, с сопротивлениями на входе (в виде приставки, забрала, диафрагмы с ребром) до 50 м³/сек и более; приборы — лимниграф-расходомер, динамический расходоуказатель «ДРС-60», роторный счетчик-водомер «СВН-56» и др. Некоторые из них вошли в действующие типо-

¹ Не перечисляются электрические авторегуляторы и системы автотелемеханики, для которых сооружения, посты и т. д. являются объектами учета и регулирования, а водоизмерительные приборы — первичными датчиками.

вые проекты институтов «Гипроводхоз», «Средазгипроводхлопок», «Грузгипроводхоз» и др.

Большой вклад в исследования средств автоматизированного учета воды для оросительных систем внесли сотрудники лаборатории В. Н. Ярцев, Д. П. Колодкевич, М. В. Бутырин, А. В. Соколов, Ф. А. Никитина, В. Е. Краснов, В. Е. Старковская и др. [1—19; 21—23].

Лаборатория проводит большую работу по внедрению разработанных средств учета воды на оросительных системах Средней Азии: консультации по проектированию, показательное строительство, тарифовка, наладка и градуировка приборов и т. д. Так, водомерами-регуляторами с автоматизированным учетом (прибор «ДРС») оснащены водовыпуски машинного канала М-2 (совхоз «Фархад»), Южного Голодностепского, Большого Ферганского, Кировского, Большого Гиссарского каналов, Головное сооружение ЮГК с расходом $150 \text{ м}^3/\text{сек}$ и т. д.

Почти во всех областях Узбекской ССР (по договору с МВХ УзССР) проводилось переоборудование существующих водовыпусков-регуляторов в водомерные.

К одним из самых ранних работ по автоматизации дистанционной передачи и приему показаний уровней, расходов и стоков воды на оросительных системах нашей страны относятся разработки А. В. Соколова в 1934 г. и Д. П. Колодкевича в 1936 г. [7, 8, 9].

В Средней Азии впервые осуществлено телеизмерение горизонтов воды на канале Янги близ города Намангана (на протяжении 2,5 км) по телефонному проводу прибором А. В. Соколова (декабрь 1934 г.).

Лабораторией разработаны системы телемеханики ТУИС-51, ТУИС-52; изучены и исследованы телемеханические устройства КСТ-I (АН СССР), КСТ-V (Газприборавтоматики). Проводилась работа по автоматизации Куйганярского узла БФК. Началось производственное внедрение автоматизации на головном узле ЮГК.

Опыт проектирования, внедрения и эксплуатации различных водомерных сооружений-регуляторов и приборов для автоматизированного учета воды на оросительных системах показал, что особое внимание следует уделять водомерным сооружениям с сопротивлением на входе (типа приставки, забрала, диафрагмы с ребром) с водоучитывающим прибором «ДРС-60».

Водомерное сооружение типа приставки предложено В. Е. Красновым [10]. Водомерные приставки представляют собой короткие трубы длиной $L = (1,5—3,0) D$ (a) и более цилиндрического и прямоугольного сечения, которые устанавливаются перед затворами водовыпусков открытой или трубчатой конструкции (D — внутренний диаметр трубы, a — высота трубы квадратного, прямоугольного сечения).

Вход приставки является местным гидравлическим сопротивлением. При прохождении потока через трубу приставки образуется водомерный перепад давлений Z_n , который характеризует величину расхода. Водомерным перепадом является разность давлений воды между сечениями верхнего бьефа и трубы за входом в приставку (на месте установки водоучитывающего прибора). Последнее сечение называется водомерным.

Коэффициент расхода водомера «К» остается постоянным независимо от изменения горизонтов воды верхнего или нижнего (до соответствующих пределов) бьефов. Расходная формула

$$Q = K \omega \sqrt{2gZ_n}$$

при $\omega = \text{const}$ превращается в зависимость $Q = C_1 \sqrt{Z_n}$,
где $C_1 = K\omega \sqrt{2g} = \text{const}$.

Таким образом, расход воды прямо пропорционален корню квадратному из перепада, т. е.

$$Q = f(\sqrt{Z_n}).$$

Общий вид сооружения с приставкой приведен на рис. 1.

Водомерное сооружение типа приставки работает как при свободном, так и затопленном истечении потока в нижний бьеф. При свободном истечении необходимо прикрытием затвора создать напорный режим в приставке.

Горизонт верхнего бьефа не должен быть ниже $H \geq 1,3 D(a)$, а для разновидностей приставки типа «диафрагма с ребром» (рис. 2, г)

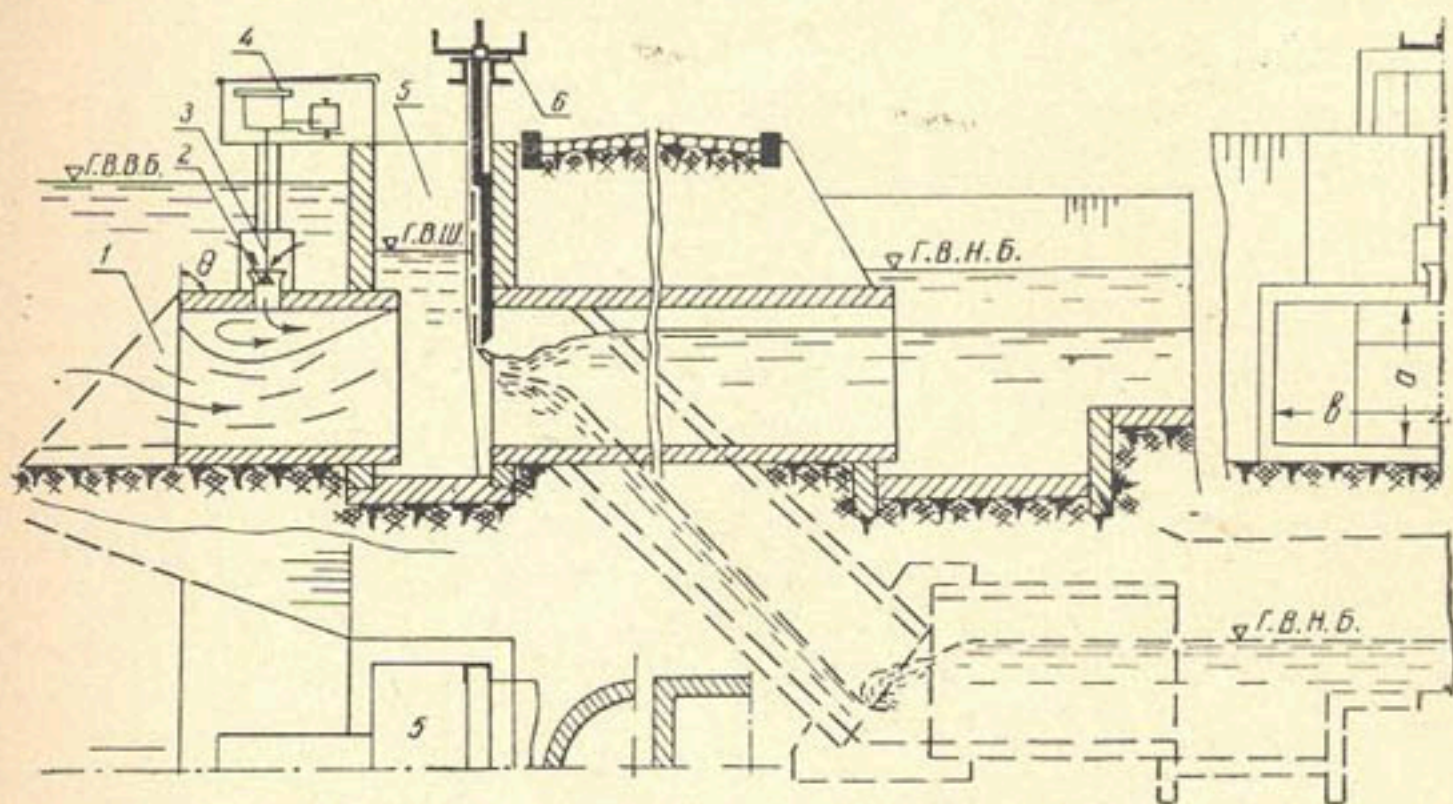


Рис. 1. Водомерная приставка с раструбным трубчатым регулятором:

1 — раструбный вход трубы приставки, 2 — патрубок водомерного сечения, 3 — поршень прибора «ДРС-60» с подвесом, 4 — прибор «ДРС-60» с самописцем, 5 — шахта, 6 — плоский затвор с подъемником.

$H \geq 1,5 a$. Гидравлические сопротивления в сооружениях типа приставок имеют незначительные потери напора по сравнению с водомерными сооружениями, у которых сужающие устройства помещены в конце трубы.

Типы приставок могут быть раструбными ($\gamma^\circ = 0-18^\circ$), вписанными в откос с углом наклона входа $\Theta^\circ = 90^\circ-30^\circ$, с затвором, примыкающим к приставке (при этом $l_1 \geq D(a)$) или с шахтой, когда $l_1 + l_{ш} \geq D(a)$ (рис. 2, а, б, в, г).

Водомерные сечения с патрубком измерительного прибора («ДРС», «СВН» и др.) располагаются на расстоянии $l = 0,2-3,0 D(a)$ от входа в приставку.

Разновидность приставок «диафрагма с ребром» (рис. 2, г) имеет увеличенную пропускную способность по сравнению с обычными отверстиями (превышение составляет 20—30%) за счет расположения ребра высотой $0,25 a$ на расстоянии $0,2 a$ от кромок прямоугольного отверстия по неполному периметру [15].

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, наличие раструбных полок (по неполному периметру у отверстия входа

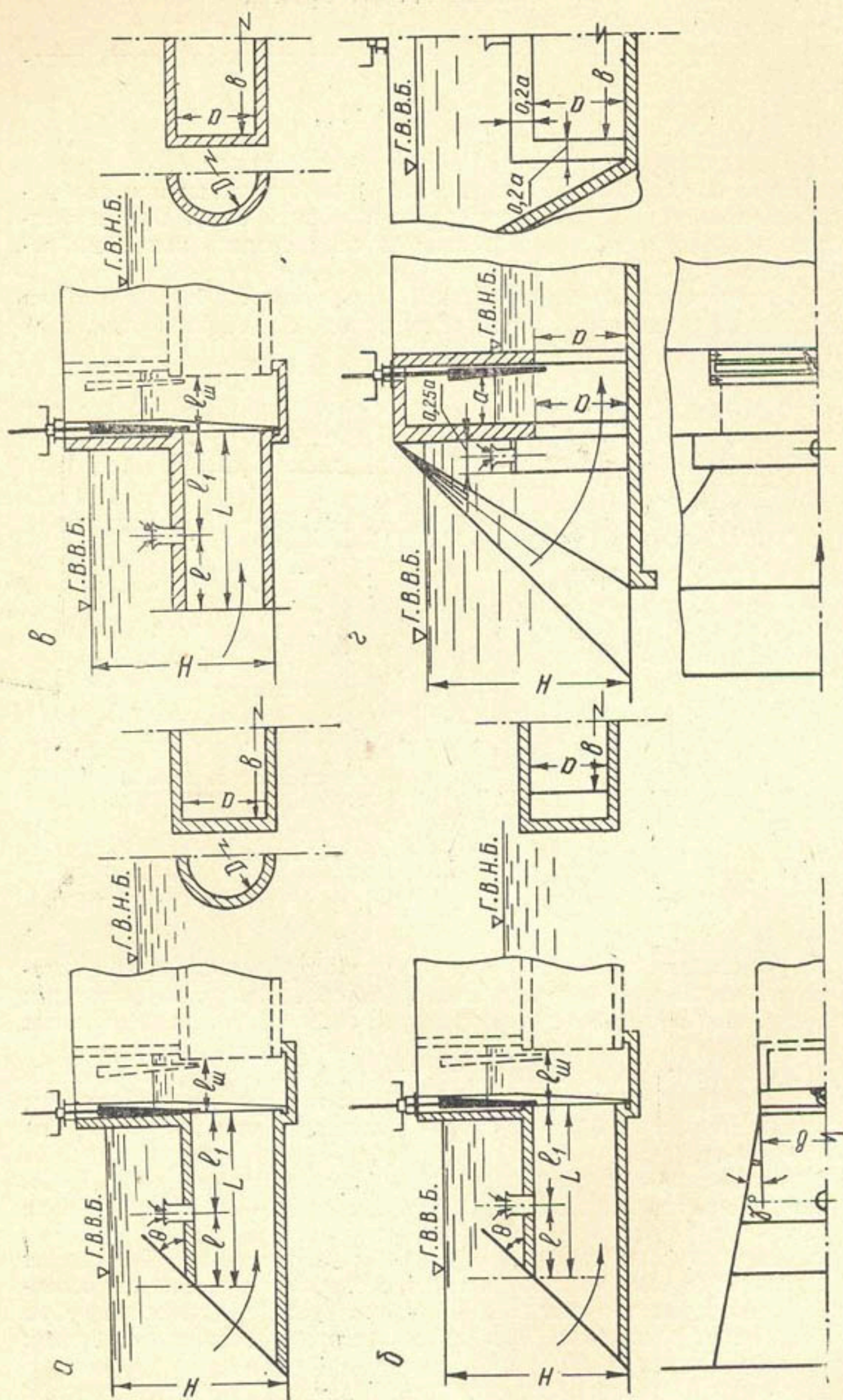


Рис. 2. Основные виды типа водомерных приставок к открытым и трубчатым регуляторам:
а, б, в — вид «диафрагмы с ребром», *г* — вид «диафрагмы с ребром».

трубы) и плавнообтекаемых очертаний увеличивает пропускную способность сооружения. Это происходит за счет увеличения коэффициента сжатия $\frac{\omega_c}{\omega}$ с 0,6 почти до 0,8—1,0 (ω_c — сжатое сечение потока в трубе) и уменьшения потерь на местные гидравлические сопротивления входа [2, 20 и др.].

Соответствующий определенному расходу воды водомерный перепад давлений на входе можно измерить по рейкам в двух колодцах или прибором, работающим по принципу переменного перепада давлений.

Наличие прибора динамического расходоуказателя «ДРС-60» позволяет автоматизировать учет воды. Конструкция водоизмерительного прибора была предложена Д. П. Колодкевичем, разработана и исследована В. Е. Красновым. Кинематическая схема прибора представлена на рис. 3.

Прибор состоит из механизма, преобразующего вертикальное перемещение поршня в патрубке под действием разности давлений, создаваемой местным сопротивлением входа водомерного сооружения, в показание величины расхода воды на шкале [12, 14].

Основным воспринимающим элементом прибора является поршень в виде конуса, который всегда находится под действием перепада давлений. Поршень, перемещаясь в цилиндрическом патрубке, с помощью рычага поворачивает сектор с кремальерной рейкой и передаточную шестерню со стрелкой. При этом пружина с масляным демпфером, подвешенная к рычагу сектора, уравнивает, растягиваясь, давление потока на поршень. Прибор имеет винт-регулятор с пружиной-держателем и гайкой, которая служит для установки стрелки прибора в нулевое положение на расходной шкале циферблата при отсутствии давления на поршень (в спокойной воде).

Последний вариант «ДРС» наряду с измерением секундного расхода позволяет регистрировать показания расхода во времени на ленте. Барабан самописца с часовым механизмом имеет суточный (МЧС) или недельный (МЧН) завод пружины и запас ленты. По мере необходимости ленту с записанным расходом воды можно открывать с помощью ножа, расположенного на барабане (через одни или несколько суток). По истечении недели лента меняется.

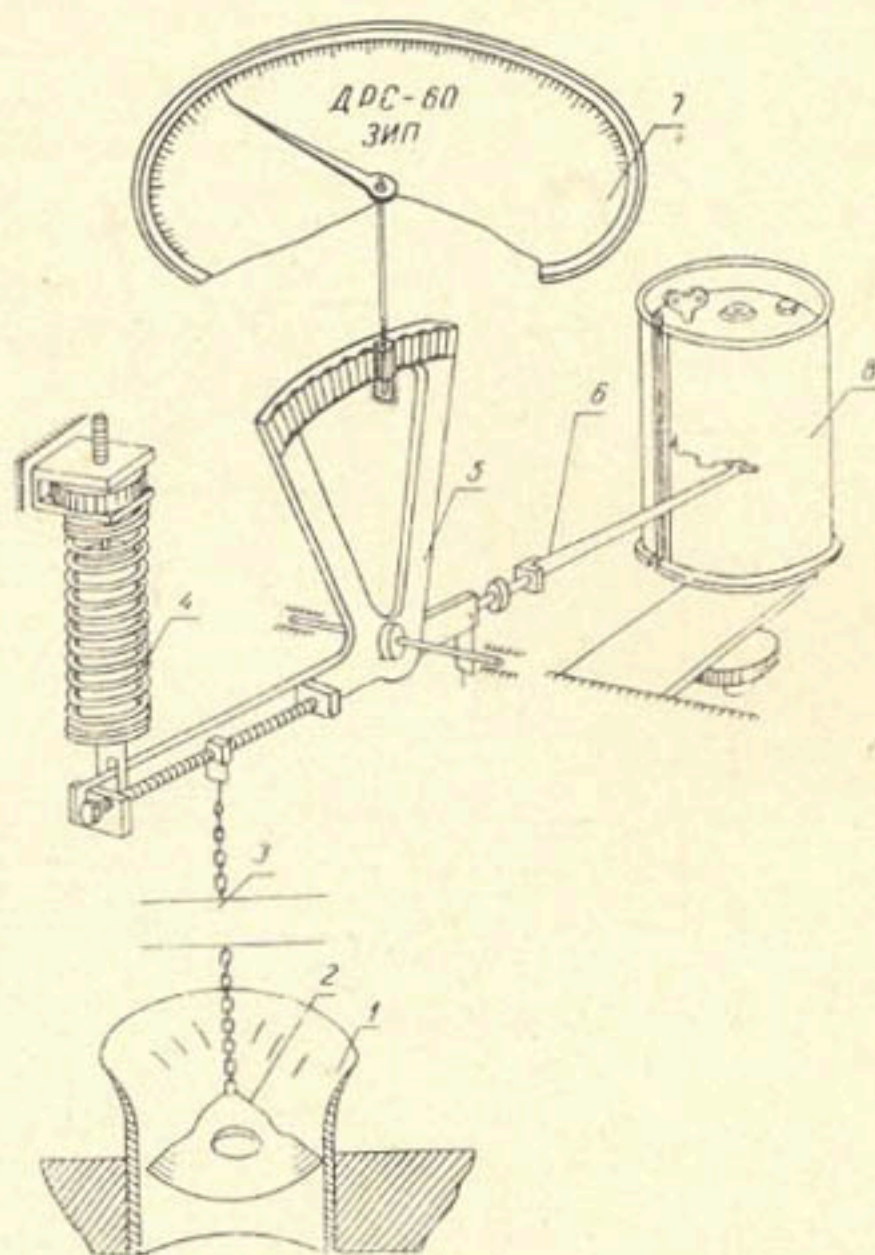


Рис. 3. Кинематическая схема динамического расходоуказателя «ДРС-60» с самописцем:

1 — патрубок, 2 — поршень прибора, 3 — подвес, 4 — пружина с демпфером, 5 — сектор с кремальеркой, 6 — рычаг с пером, 7 — циферблат прибора со стрелкой, 8 — барабан самописца МЧС или МЧН.

Прибор «ДРС-60» серийно изготавливается заводом ирригационного приборостроения МВХ УзССР (г. Ташкент); к настоящему времени выпущено более 2000 штук. Разбивка шкалы циферблата и другие данные по прибору «ДРС» приводятся в Инструкции [12].

Динамический расходоуказатель «ДРС» можно использовать как первичный прибор на любом водомере-регуляторе, где расход воды определяется по зависимости $Q = f(\sqrt{Z_n})$, для создания теледатчиков и

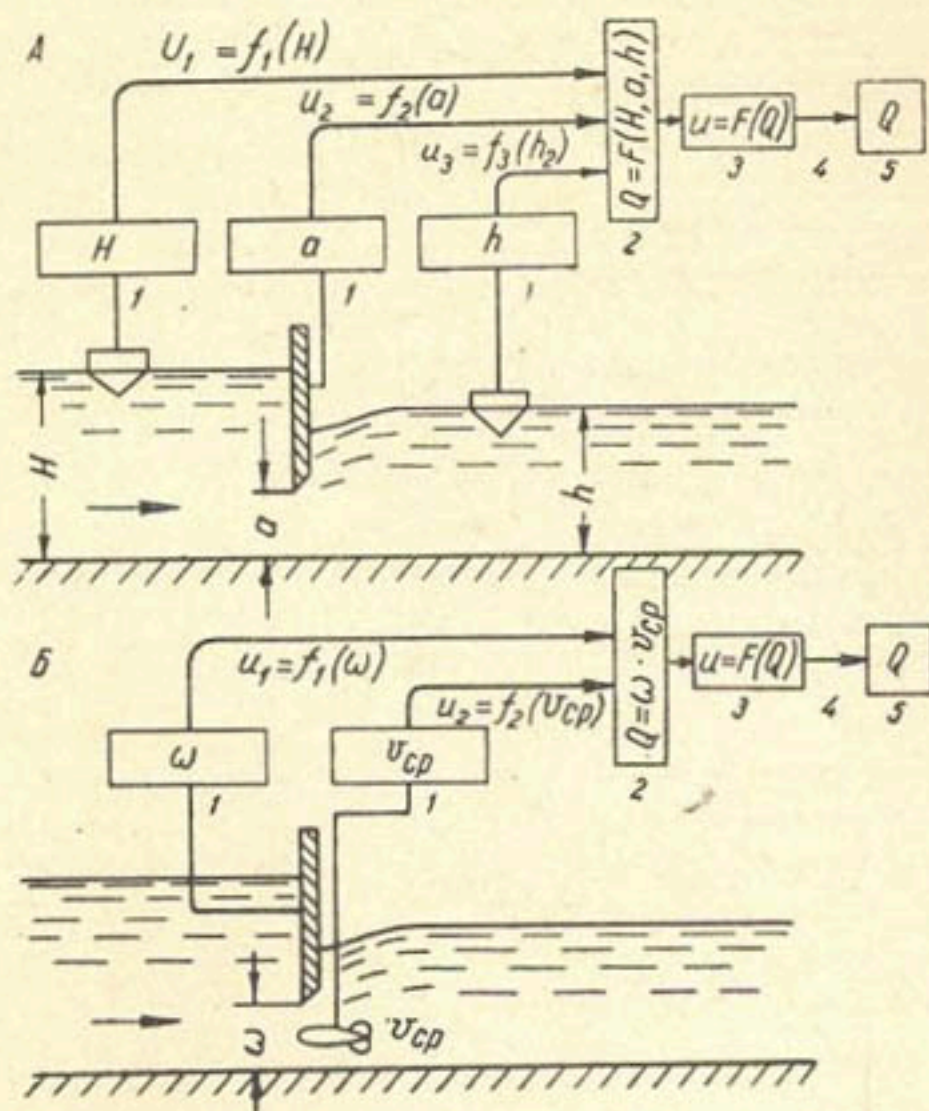


Рис. 4. Скелетная схема дистанционного измерения расхода воды по зависимостям А — $Q = f(H, a, h)$; Б — $Q = \omega \cdot v_{cp}$:

1 — первичные измерительные устройства (датчики), 2 — счетно-решающее устройство, 3 — вторичный преобразователь, 4 — канал связи, 5 — указывающий прибор на ДП (диспетчерский пункт).

электрических авторегуляторов расхода (потенциометрических, контактных, частотных и других систем).

Предложенные конструкции водомеров-регуляторов с водоизмерительными приборами типа «ДРС» и другими дают более упрощенные скелетные схемы дистанционного измерения расхода, авторегулирования воды на гидротехнических сооружениях по сравнению с ранее известными (рис. 4 и 5).

Институт «Газприборавтоматика» с 1963 г. (на основании договора с институтом «Средазгипроводхлопок») разрабатывает универсальный прибор — датчик перепада давлений воды «ДПД» для автоматизированного учета воды (используется принцип работы прибора «ДРС» и его гидравлический элемент — поршень в патрубке).

«ДПД» испытывался в лаборатории автоматизации ГМС САНИИРИ и показал хорошие предварительные результаты. После окончания исследований и получения полных данных модернизированный прибор будет проведен через Комитет стандартов, мер и измери-

тельных приборов с целью его гостирования и передачи на завод для серийного изготовления.

В случае, когда расходоуказатель заблокирован с электрическим авторегулятором, водомер-регулятор превращается в сооружение — автомат расхода. Такое сооружение работает следующим образом. С диспетчерского пункта дается задание на определенный расход; соответственно этой уставке по первичному прибору «ДРС-60» или его модификации производится сравнение и подача команды авторегулятору на подъем или спуск затворов сооружения. Применение таких средств автоматизированного учета и регулирования воды особенно важно на гидротехнических узлах с переменным подпорным режимом бьефов, где применение других методов почти невозможно, кроме грубого вертушечного замера расходов воды. Таким сооружением является, например, Головное сооружение ЮГК (с 6 пролетами по $50 \text{ м}^3/\text{сек}$), где в настоящее время лабораторией производится натурное внедрение электрических авторегуляторов расхода на базе водомерного сооружения с приставкой типа «забрала» и прибора типа «ДРС-60».

Прибор «ДРС-60» отличается от поплавковых расходоуказателей («ВПГ-54» К. С. Глубшева) и сильфонных приборов («ИМА») наличием в нем одного элемента, воспринимающего водомерный перепад давлений воды; простотой, надежностью кинематической схемы при достаточно высокой точности измерения расхода ($\pm 2-3\%$) и несложной эксплуатацией его в производственных условиях; возможностью проверки правильности установки стрелки прибора в нулевом положении без прекращения подачи воды через сооружение; сравнительно малой стоимостью (в несколько раз по сравнению с другими

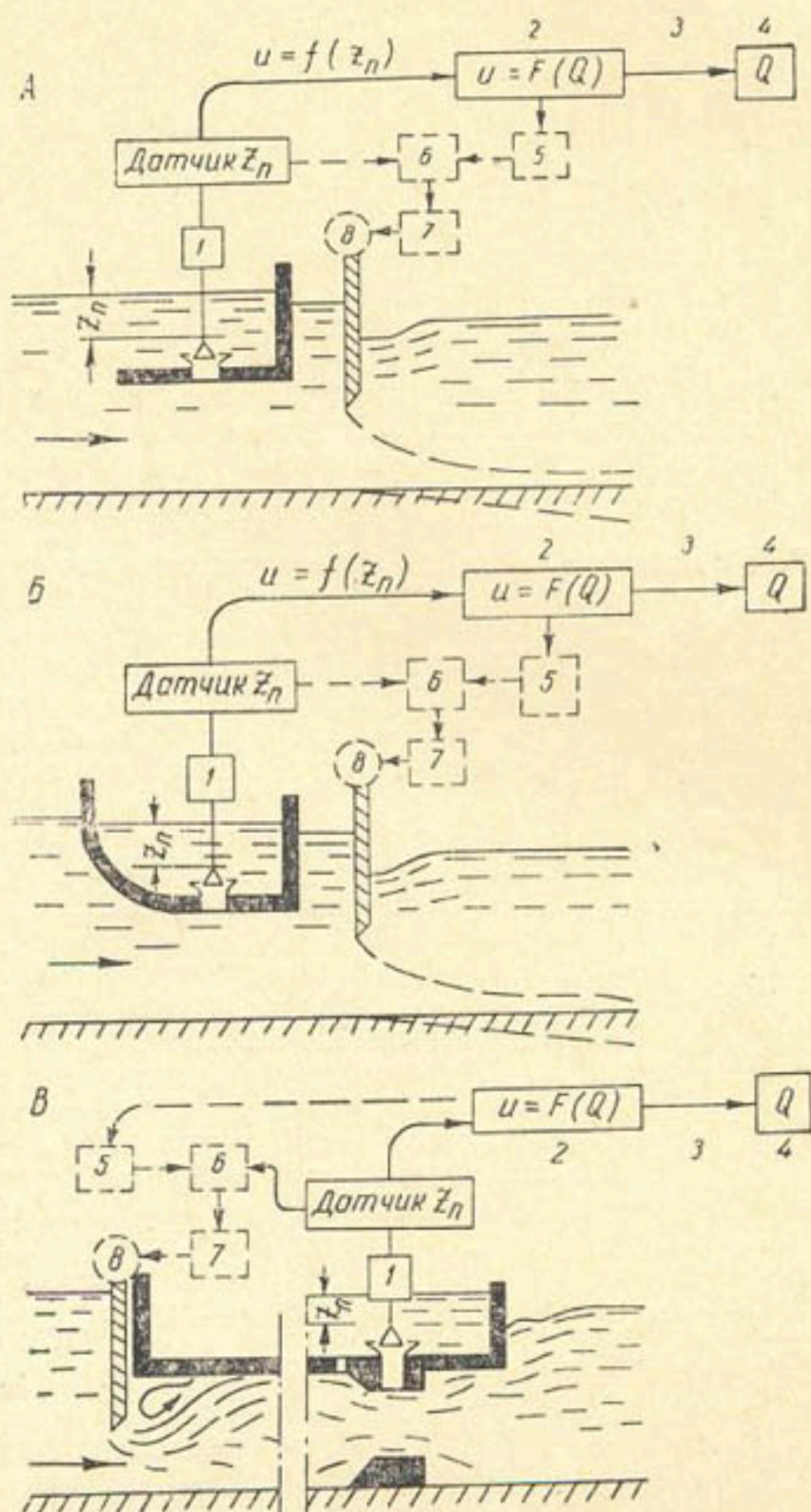


Рис. 5. Скелетная схема дистанционного измерения расхода воды и телерегулирования по зависимости $Q=f(Z_n)$ (А — для водомерных сооружений в виде «приставки», Б — то же в виде «забрала», В — то же в виде «кольца в трубе»):

1 — первичные измерительные преобразователи (датчики-приборы «ДРС-60», «СВН-56»); 2 — вторичный преобразователь; 3 — канал связи; 4 — указывающий прибор на ДП; 5 — задатчик расхода; 6 — сравнительный орган; 7 — усилитель; 8 — мотор подъема или опускания затвора.

существующими приборами); работой на всем диапазоне расходной шкалы (360°) при различных значениях максимального водомерного перепада давлений от 5 до 60 см.

Динамический расходоуказатель можно использовать для учета воды в поливной борозде, в закрытой и открытой коллекторно-дренажной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутырин М. В. Водомеры для колхозной и межколхозной ирригационной сети, Труды САНИИРИ, вып. 60, Ташкент, 1941.
2. Бутырин М. В. Учет оросительной воды гидротехническими сооружениями, М., Сельхозгиз, 1951.
3. Бутырин М. В. «Гидротехника и мелиорация», 1959, № 6.
4. Бутырин М. В. Гидрометрия в ирригации, Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. VIII, Л., Гидрометеониздат, 1960.
5. Бутырин М. В. Новое в ирригации, М., Сельхозгиз, 1962.
6. Бутырин М. В. Механизация и автоматизация учета воды на оросительных системах, Материалы Международного научно-методического совещания, М., Изд ВНИИГиМ, 1962.
7. Колодкевич Д. П. Автоматическая передача и прием уровней и расходов на расстоянии, Труды САНИИРИ, вып. 59, Ташкент, 1940.
8. Колодкевич Д. П. Прибор для определения суммарного стока воды, Труды САНИИРИ, вып. 59, Ташкент, 1940.
9. Колодкевич Д. П., Бутырин М. В. Методы и средства учета и распределения оросительной воды на базе новой техники, Материалы к объединенной научной сессии по хлопководству, т. III, Ташкент, Госиздат УзССР, 1958.
10. Краснов В. Е. Авторское свидетельство № 134464 (заявка от 28.XI 1956 г.)
11. Краснов В. Е. «Гидротехника и мелиорация», 1961, № 12.
12. Краснов В. Е. Инструкция по устройству и применению динамического расходоуказателя «ДРС-60» на водомерных сооружениях, Ташкент, 1961 г.
13. Краснов В. Е. Водомерные приставки как средство автоматизации учета расходов воды на ирригационных каналах, «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1961.
14. Краснов В. Е. Динамический расходоуказатель для водомерных сооружений «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960.
15. Краснов В. Е. Водомерная приставка в виде тонкого ребра у отверстия в забиральной стенке перед затвором сооружения, «Вопросы гидротехники», вып. 16, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
16. Никитина Ф. А. «Гидротехника и мелиорация», 1958 г., № 7.
17. Соколов А. В. Расходограф (Инструкция), ЗИП МВХ УзССР, Ташкент, 1961.
18. Справочник гидротехника-ирригатора, ч. II, Ташкент, Изд-во «Узбекистан», 1964.
19. Старковская В. Е. Исследования трубчатого водомера-регулятора САНИИРИ (ТВР), Труды САНИИРИ, вып. 94, Ташкент, 1958 г.
20. Хамадов И. Б. Автореферат канд. дисс., Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
21. Ярцев В. Н. Простейшие сооружения для учета оросительной воды, Труды САНИИРИ, вып. 72, Ташкент, 1948.
22. Ярцев В. Н. Водомерные открытые водовыпуски (Краткое руководство по применению), Труды САНИИРИ, вып. 77, Ташкент, 1951.
23. Ярцев В. Н. Эксплуатационная гидрометрия, М., Сельхозгиз, 1956.

И. Б. ХАМАДОВ, А. А. ГАРТУНГ

УСТРОЙСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДОВ И ГОРИЗОНТОВ ВОДЫ¹

Разработкой и исследованиями автоматических водорегулирующих устройств на гидравлической энергии занимается ряд научно-исследовательских институтов (ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, ВНИИГ им. Б. В. Веденеева, ВНИИ ВОДГЕО, САНИИРИ им. В. Д. Журина, УкрНИИГиМ, Институт автоматики АН КиргССР, АрмНИИГиМ, ГрузНИИГиМ и др.), а практическим внедрением их — проектные и производственные организации (Гипроводхоз, Росгипроводхоз, Средазгипроводхлопок, Средазгипроводхоз, Укргипроводхоз, Голодностепстрой, Самаркандский облводхоз и др.).

В нашей стране применяются некоторые виды автоматических устройств, в частности самовкатывающийся вальцовый затвор системы В. Г. Гебеля (смонтированный в 1931 г. на водосбросе Дзора ГЭС в Армении), автоматические затворы конструкции М. Ф. Финке (начиная с 1949 г. установлено более 50 на Правобережном канале р. Зарафшан и других частях Узбекской и Таджикской ССР), А. Д. Разоренова (на Краснодарских рисовых оросительных системах), Я. В. Бочкарева, Э. Э. Маковского (на ирригационных системах КиргССР), И. С. Меркурьева (в Московской области), Т. И. Мамышева (в Узбекской ССР) и другие, клапанные автоматы-затворы (каскад гидросооружений ГЭС: Аккавак-2, Бурджар и др.), сегментные затворы-автоматы с противовесом и поплавком (сооружение Кегумс ЛатвССР), сегментные затворы типа «Нейрпик» с поплавком на обшивке, с поплавками в боковых колодцах конструкции А. А. Гартунга, Э. Э. Пеплова (в совхозах № 5, 6 Голодной степи и других местах Узбекской ССР) и т. д. Затворы-автоматы применяются и в странах народной демократии, в частности в Чехословакии (конструкции проф. Ф. Ермаржа), в Венгрии и др.

Средства автоматики широко применяются на оросительных системах Алжира, Марокко, Франции, Ирака, Пакистана и других стран.

Из автоматических водорегулирующих устройств в СССР известно более 400 названий (по данным Всесоюзной патентно-технической библиотеки), а всего в мировой литературе около 1500. Хотя предложены сотни конструкций автоматических водорегулирующих устройств, применение и распространение на оросительных системах получили только десятки. Это объясняется рядом причин, препятствующих их внедрению, основными из которых являются:

¹ Данная статья в виде доклада изложена на всесоюзном семинаре: «Автоматизация оросительных систем» 29—31 июля 1964 г. в павильоне «Орошаемое земледелие и водное хозяйство» ВДНХ СССР и рекомендована к опубликованию.

1) необходимость перепадов горизонтов воды бьефов, которые для большинства конструкций достигают значительных величин, что ведет к потере командования над площадями орошения, особенно в равнинных частях местности;

2) неподготовленность оросительной сети для армирования ее сооружениями с автоматами;

3) ограниченность условий применения большинства конструкций;

4) отсутствие достаточных экспериментальных данных и теоретических разработок по конструкциям, силовым параметрам, водомерности и условиям применения этих средств;

5) иногда плохое изготовление их заводами-изготовителями, мастерскими;

6) сложность и непрактичность отдельных механизмов и их частей;

7) недостаточная проработка вопроса о расположении и сочетании средств автоматики на сети, использующих гидравлическую и электрическую энергию во взаимосвязи и взаимозависимости, а также средств защиты конструкций от вывода их из строя посторонними лицами и т. д.

Автоматические водорегулирующие устройства предназначены в основном для выполнения следующих главных производственных процессов автоматического регулирования: пропуска постоянного количества воды в отвод; сброса катастрофических расходов при достижении допустимого максимального горизонта воды в верхнем бьефе; установки постоянного горизонта воды в верхнем или нижнем бьефе; смешанного поддержания в нормальных условиях постоянного уровня нижнего бьефа, а в случае избытка или спада расходов воды регулирование по нижнему бьефу переходит к верхнему, при этом поддерживается постоянный горизонт воды в верхнем бьефе в пределах максимума и минимума; способа сообщающихся уровней; установления постоянных перепадов горизонтов, непосредственно примыкающих к затвору.

Классификация автоматических водорегулирующих устройств для оросительных систем по принципу регулирования произведена в 1923 г. В. Д. Журиным.

Автоматы регулирования делятся на группы, поддерживающие постоянство действующего напора, коэффициента расхода с неизменной рабочей площадью отверстия истечения потока, регулирующие площадь водопропускного отверстия обратно пропорционально корню квадратному из напора и коэффициенту расхода, а также на группы с возрастающими сопротивлениями при увеличении напора или с коэффициентом расхода, изменяющимся обратно пропорционально корню квадратному из напора.

Лабораторией эксплуатационной гидрометрии САНИИРИ был предложен, разработан и исследован ряд автоматических водорегулирующих устройств, которые в большинстве случаев опробованы и внедряются в производство; по некоторым из них проектными институтами (Средазгипроводхлопок и др.) выпущены типовые проекты. Такими автоматическими водорегулирующими устройствами являются затворы-автоматы постоянного расхода воды: пружинный (автор М. В. Бутырин), с вращающимся щитом (конструкции А. М. Каграманова и М. В. Бутырина), затворы Я. В. Бочкарева, типа одиночного и двойных наклонных козырьков (конструкции И. Б. Хамадова, А. А. Гартунга, Л. С. Литвака, Л. А. Ома и др.), затворы-автоматы постоянного горизонта воды верхнего бьефа (М. Ф. Финке, Я. В. Бочкарева), фирмы «Нейрпик» с поплавком на обшивке, с поплавком в боковом ко-

лодце (конструкции А. А. Гартунга), затворы-автоматы постоянного горизонта воды нижнего бьефа с поплавком в боковом колодце (А. А. Гартунг), с поплавком в русле типа «Нейрпик» и др.

Сейчас в лаборатории эксплуатационной гидрометрии САНИИРИ изучаются затворы-автоматы смешанного действия. Институт «Средазгипроводхлопок» совместно с ней приступил к исследованиям автоматических систем гидравлического регулирования нижнего бьефа, способа сообщающихся уровней, смешанного действия и электрического — при телемеханическом и электроавтоматическом водodelении.

Рассмотрим автоматические водорегулирующие устройства, рекомендуемые лабораторией для внедрения в производство.

АВТОМАТЫ РАСХОДА ВОДЫ

Пружинный автомат расхода (ПАР) конструкции М. В. Бутырина представляет собой модернизированный водомер-автомат Б-1-а, предложенный им же в 1939 г. [4].

Автомат (рис. 1) состоит из вертикальной стенки с прямоугольным отверстием, в пазах которого перемещается щиток для изменений

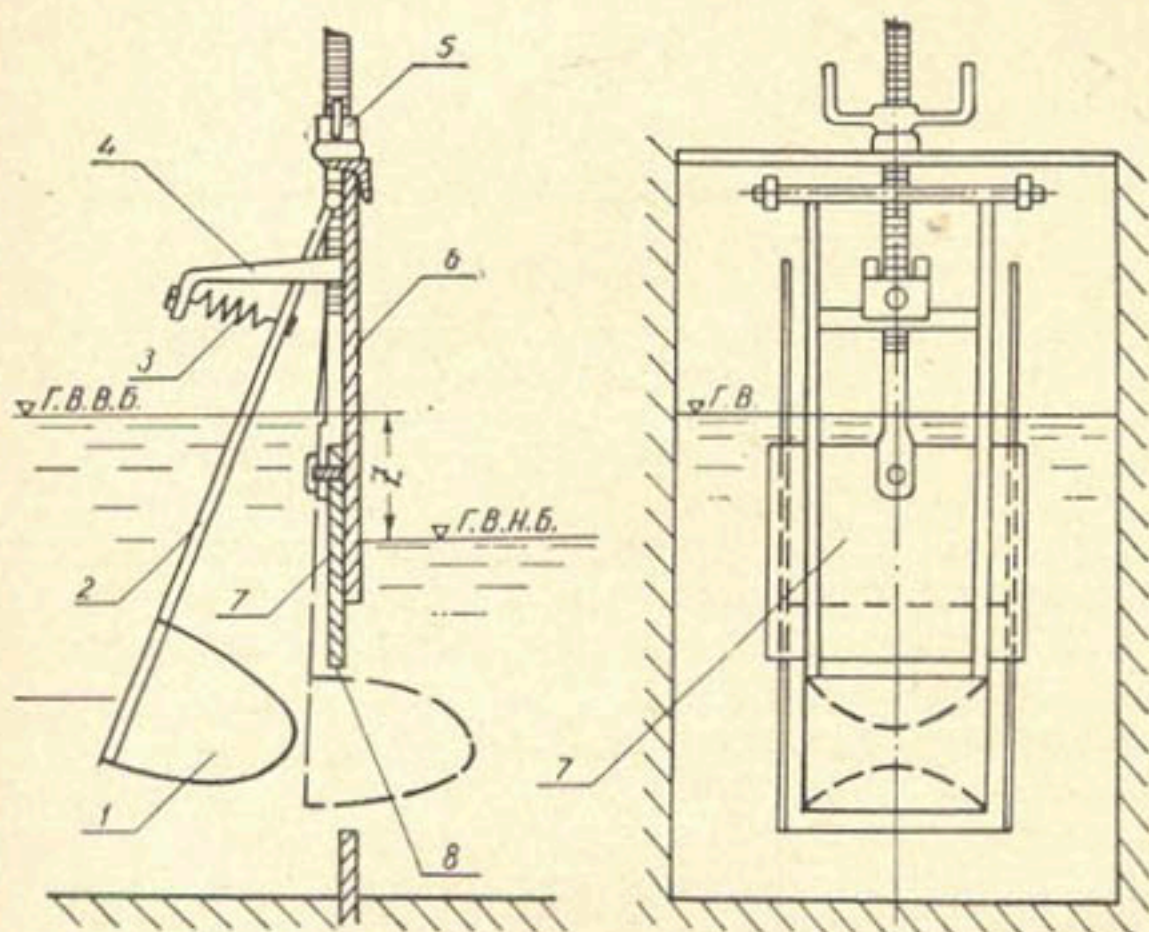


Рис. 1. Схема автомата расхода — «ПАР»:

1 — тело регулятора, 2 — рама-рычаг, 3 — цилиндрическая пружина; 4 — кронштейн, 5 — винтовой подъемник, 6 — неподвижная стенка, 7 — щиток уставок расходов, 8 — отверстие автомата.

установки на новый постоянный расход и полного закрытия отверстия, тела регулятора на рычаге с осью вращения, а также рабочей пружины. Одним концом пружина соединена с неподвижным кронштейном, другим с рамой регулятора. Отверстие предполагается затопленным (хотя возможен вариант со свободным истечением). Конфигурация тела не требует больших перепадов.

Принцип действия состоит в том, что равнодействующая давления воды на тело регулятора, пропорциональная перепаду горизонтов воды бьефов, уравнивается пружиной, а фигурное тело регулятора за-

нимает определенное положение и образует в отверстии площадь истечения обратно пропорциональную $\mu\sqrt{Z}$ для получения $Q=\text{const}$. Автомат соответственно рассчитывается.

Для внутрихозяйственных оросителей запроектированы два стандарта автоматов: первый для временных оросителей с нормальным расходом 40 л/сек, $Z_{\text{max}}=25$ см, $Z_{\text{min}}=5$ см и возможностью изменения уставки 30÷70 л/сек (вес около 45 кг); второй — для участковых оросителей с нормальным расходом 130 л/сек, $Z_{\text{max}}=30$ см, $Z_{\text{min}}=5$ см, диапазон изменения 90—200 л/сек. Эти два стандарта — наиболее хо-

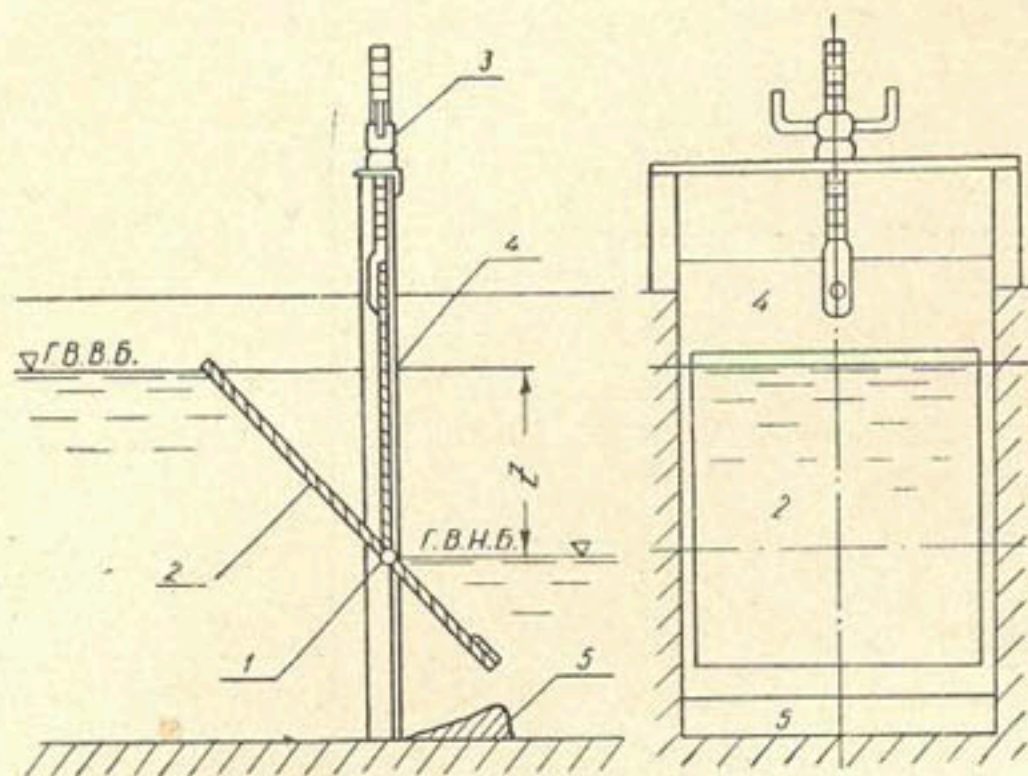


Рис. 2. Схема автомата расхода с вращающимся щитом «ВЩ-КБ»:

1 — ось вращения, 2 — вращающийся щит, 3 — винтовой подъемник, 4 — плоский затвор, 5 — криволинейный порог.

довые и массовые. Проектирование автоматов на расходы более 400 л/сек дает громоздкую конструкцию.

ПАР был изготовлен заводом Ирригационного приборостроения МВХ УзССР, проверен в натурных условиях. Погрешности в поддержании расходов не превышают $\pm 4\%$ от $Q_{\text{ср}}$.

Автомат с вращающимся щитом «ВЩ-КБ» предназначен для поддержания постоянных расходов и может изменять их уставки. «ВЩ-КБ» исследован и предложен А. М. Каграмановым и М. В. Бутыриным [10].

Автомат (рис. 2) привлекает простой конструкцией и тем, что работает при затопленном истечении (возможен вариант со свободным истечением). Он представляет собой вращающийся на горизонтальном шарнире (оси) наклонный щит, который соединен с вертикальным плоским затвором, находящимся в пазах обычной рамы закладных частей. Винтовой подъемник позволяет изменять высоту положения оси вращения наклонного щита и, следовательно, изменять уставку постоянных расходов на разные величины.

Принцип работы для получения постоянных расходов состоит в автоматическом регулировании рабочего отверстия выпуска (обратно пропорционально $\sqrt{Z}$ и коэффициенту расхода) с помощью вращающегося наклонного щита и специального порога.

Каждое изменение рабочего отверстия автомата обеспечивается равновесием вращающегося щита соответственно горизонту верхнего

бьефа, совпадающему с верхней кромкой щита, и горизонту нижнего бьефа, располагающемуся на уровне оси вращения. В конце водобойной части прямоугольного лотка делаются пазы для шандор и с их помощью устанавливается горизонт нижнего бьефа на уровне оси вращения щита.

На входной части сооружения с автоматом предусматриваются сетка или решетка и ремонтные шандоры. Автомат «ВЩ-КБ» рекомендуется для опытного внедрения на расходы до 3—5 м³/сек.

Затворы-автоматы расходов типа одиночного или двойных наклонных козырьков исследованы И. Б. Хамадовым и А. А. Гартунгом. Рациональные конструкции этих затворов выбраны из 80 различных вариантов моделей. Новая конструкция автомата расхода типа двойных наклонных стенок, предложенная И. Б. Хамадовым, А. А. Гартунгом, Л. С. Литваком и Л. А. Омом, признана изобретением [18].

Конструкция автоматов расходов состоит из порога-водослива практического профиля, подвижного плоского затвора с одной (рис. 3, а) или двумя (рис. 4, а) наклонными к вертикальной плоскости козырьками, винтового подъемника, шкалы расходов воды и ограничителя подъема затвора. Наклонные козырьки соединены с подвижным плоским затвором. Конструкция уплотнения такая же, как у обычного плоского затвора.

Для получения постоянных расходов воды (при каждом открытии затвора) с погрешностью менее $\pm 5\%$ в конструкции автомата использован принцип возрастания гидравлического сопротивления с увеличением горизонта воды в верхнем бьефе. Каждое положение затвора соответствует определенному постоянному расходу для допустимых колебаний верхнего бьефа и затопления нижнего.

Автоматы-регуляторы типа одиночного (РО) или двойных наклонных козырьков (РД) предназначены для забора постоянных расходов в отводы каналов. Плавное изменение уставок заданных постоянных расходов производится вручную, электрическим приводом или телемеханически по шкале расходов путем изменения открытия затвора по зависимости $Q=f(a)$. Различное положение ограничителя открытия затвора позволяет забирать в водовыпуски любые постоянные расходы — от нуля до величины, не выше положенной по плану водопользования. Конструкция автомата рассчитана на максимальный расход, который может пропустить водовыпуск.

Область применения подобных автоматов расхода воды — отводы межхозяйственных и хозяйственных существующих и вновь проектируемых каналов оросительных систем автоматического регулирования с применением средств гидро- и электроавтоматики.

Конструкция устанавливается на открытые и трубчатые водовыпуски каналов. Существующий выпуск с плоским затвором при незначительном дооборудовании может быть превращен в подобный автомат (при этом необходимы порог-водослив, козырьки и шкала расходов).

Конструкции затворов-автоматов расхода отвечают ряду эксплуатационных, конструктивно-строительных и технико-экономических требований:

- 1) надежны в работе;
- 2) отличаются низкой стоимостью;
- 3) просты по конструкции, а также в изготовлении, монтаже, установке и эксплуатации;

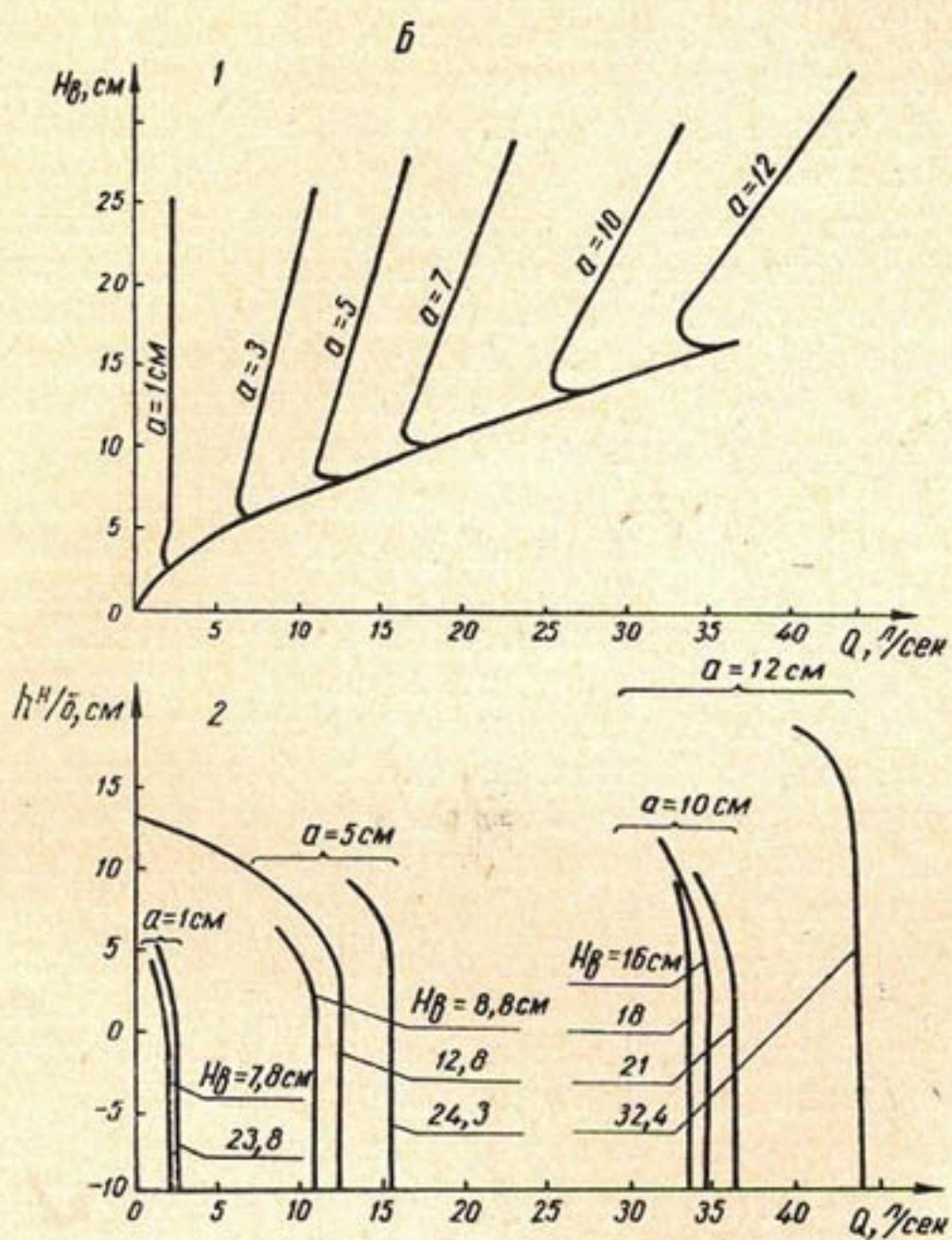
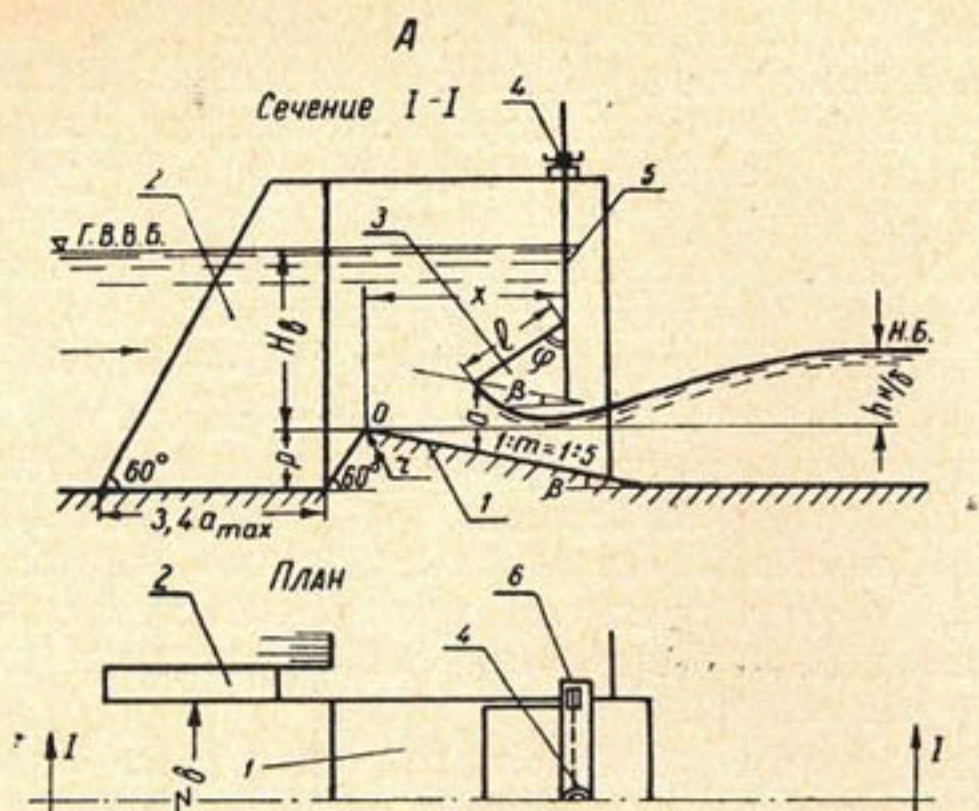


Рис. 3. Схема автомата расхода воды с наклонным козырьком (А):

1 — порог-водослив практического профиля, 2 — ныряющая стенка сооружения, 3 — наклонный козырек, 4 — винтовой подъемник, 5 — плоский затвор, 6 — уплотнение затвора.

Габариты: $x = 2,17$ а; $p = 0,8$ а; $r = 0,2$ а; $l = 1,4$ а; $\varphi = 60^\circ$; $\beta = 11^\circ 30'$; $1:m = 1:5$ ($a_{\max} = 10$ см).

Экспериментальные кривые (Б): 1— $Q = f(H_0, a)$; 2— $Q = f_1(H_0, a, h_0/\delta)$ для выбранного варианта конструкции автомата.

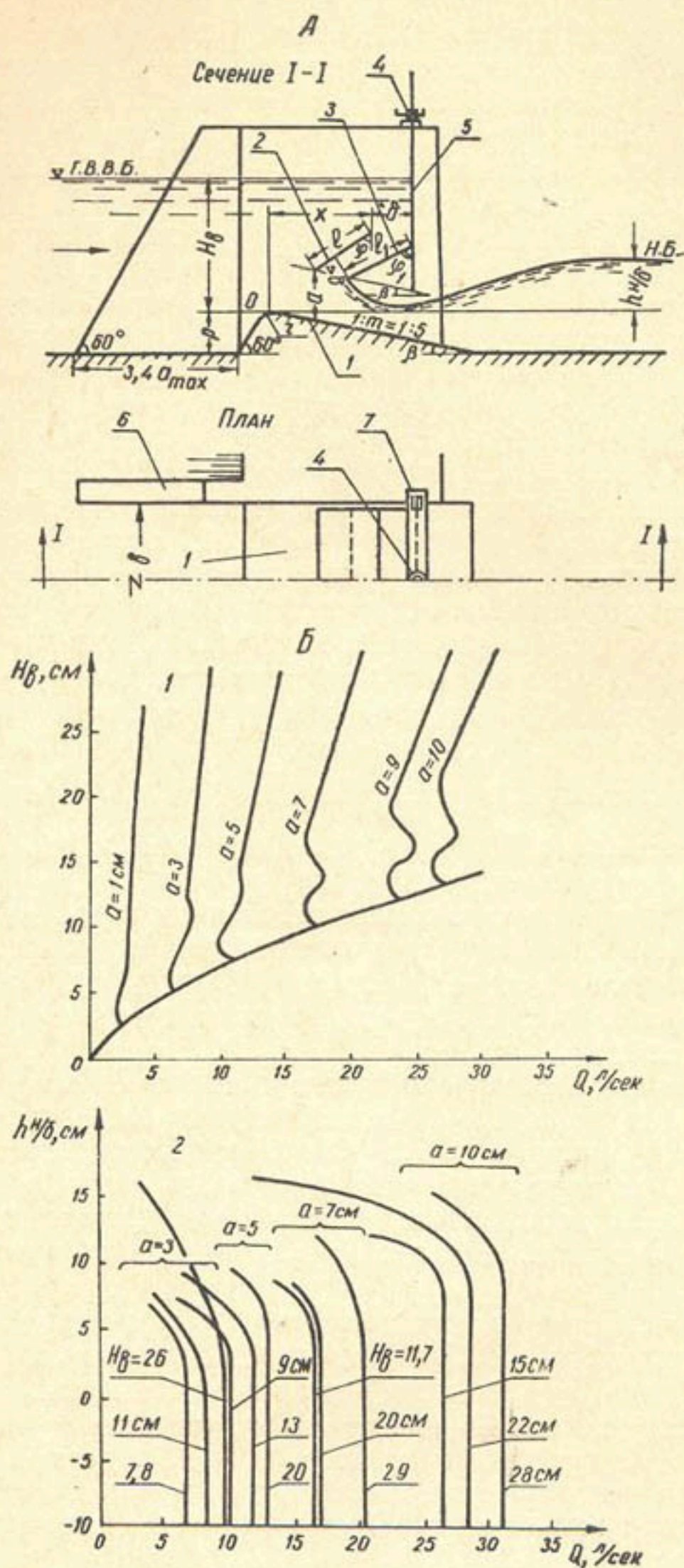


Рис. 4. Схема автомата расхода воды с двойными наклонными козырьками (А):

1 — порог-водослив практического профиля, 2, 3 — передний и задний наклонные козырьки, 4 — винтовой подъемник, 5 — плоский затвор, 6 — ныряющая стенка сооружения, 7 — уплотнение затвора.

Габариты: $x = 2,17$; $p = 0,8 \text{ a}$; $l = 1,4 \text{ a}$; $l_1 = 1,43 \text{ a}$; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 68^\circ$; $\delta = 0,77 \text{ a}$; $\Delta\delta = 0,45 \text{ a}$; $\beta = 11^\circ 30'$; $1:m = 1:5$ ($a_{\text{max}} = 10 \text{ см}$).

Экспериментальные кривые (Б): 1 — $Q = f(H_B, a)$; 2 — $Q = f(H_B, a, h^{\text{н}}/\delta)$ для выбранного варианта конструкции автомата.

4) позволяют плавно изменять подаваемые в отводы постоянные расходы открытием затвора для допустимого диапазона изменения горизонтов воды верхнего бьефа и затопления нижнего.

Экспериментальные графики $Q=f(H_{\text{в}}, a)$ для рациональных конструкций автоматов, представленные на рис. 3, б и 4, б, можно пересчитать по формулам гравитационного моделирования на любые размеры автоматов. Типовые гидротехнические сооружения с автоматами, имеющими двойные наклонные стенки, рассчитанными на максимальную пропускную способность $Q=0,2\div 2,6 \text{ м}^3/\text{сек}$, разработаны институтом «Средазгипроводхлопок»; допустимый предел колебания уровней верхнего бьефа $H_{\text{в}}=22\text{—}70 \text{ см}$, минимальный перепад горизонтов бьефов $Z=12\text{—}47 \text{ см}$. Пропускная способность сооружений с подобными автоматами может быть любой и не ограничивается расходом $2,6 \text{ м}^3/\text{сек}$;

5) имеют достаточную регулируемую способность в поддержке постоянных расходов (с погрешностью менее $\pm 5\%$) при значительном колебании горизонтов верхнего бьефа. Например, при изменении установки постоянных расходов воды открытием затвора с $Q=0$ до $Q=Q_{\text{max}}$ имеем допустимый относительный диапазон изменения горизонтов воды верхнего бьефа для автоматов типа одиночной наклонной стенки — 24% от $H_{\text{в.ср}}$; типа двойных наклонных стенок — 40% от $H_{\text{в.ср}}$, где $H_{\text{в.ср}}$ — средняя глубина воды над гребнем порога. При разделении общего диапазона изменения расходов с $Q=0$ до $Q=Q_{\text{max}}$ на несколько малых диапазонов (например, $\frac{Q_{i \text{ max}}}{Q_{i \text{ min}}} = 2$) от $Q_{i \text{ min}}$ до $Q_{i \text{ max}}$ процент относительного допустимого диапазона колебания горизонта воды верхнего бьефа можно увеличить;

6) являются не только автоматами, но и водомерами;

7) позволяют сохранить регулируемую способность при малой оптимальной высоте порога-водослива;

8) могут работать при малых перепадах с возможностью затопления нижнего бьефа;

9) наличие ограничителя подъема затвора не позволяет забирать воду больше, чем положено по плану водопользования; совмещаются функции регулирования и учета. Создается возможность применения очень простого телемеханического управления автоматами расхода и выдачи установки на новые расходы воды по зависимости $Q=f(a)$. При этом можно использовать слаботочные линии и подъемники малой мощности (рис. 5).

По предложенным и исследованным конструкциям автоматов расходов типа одиночного и двойных наклонных козырьков институт «Средазгипроводхлопок» выпустил действующие «Типовые проекты гидротехнических сооружений на оросительных каналах»: Альбомы ВР-65, РО-65, РД-65 (пропускная способность $0,2\text{—}2,6 \text{ м}^3/\text{сек}$).

Как говорилось выше, в дальнейшем можно запроектировать типовые проекты сооружений с подобными автоматами и на большие, неограниченные расходы.

Кроме этих затворов-автоматов, в лаборатории исследованы другие конструкции [1, 3, 19].

ЗАТВОРЫ-АВТОМАТЫ ВЕРХНЕГО БЬЕФА

Клапанный затвор-автомат с противовесом (конструкция инж. М. Ф. Финке) предназначен для поддержания постоянных горизонтов в верхнем бьефе сооружения. Этот тип автомата исследовали на моделях Ф. А. Никитин и А. А. Гартунг в 1955—1956 гг.

Автомат (рис. 6) состоит из плоского железобетонного щита, подвешенного на ножевом шарнире или призме к забральной стенке перегораживающего сооружения. На щите укреплена ферма (на конце ее установлено лекало) с закрепленным тросом и подвешенным контргрузом G .

Автоматичность работы затвора-автомата инж. М. Ф. Финке обеспечивается тем, что при заданном напоре со стороны верхнего бьефа

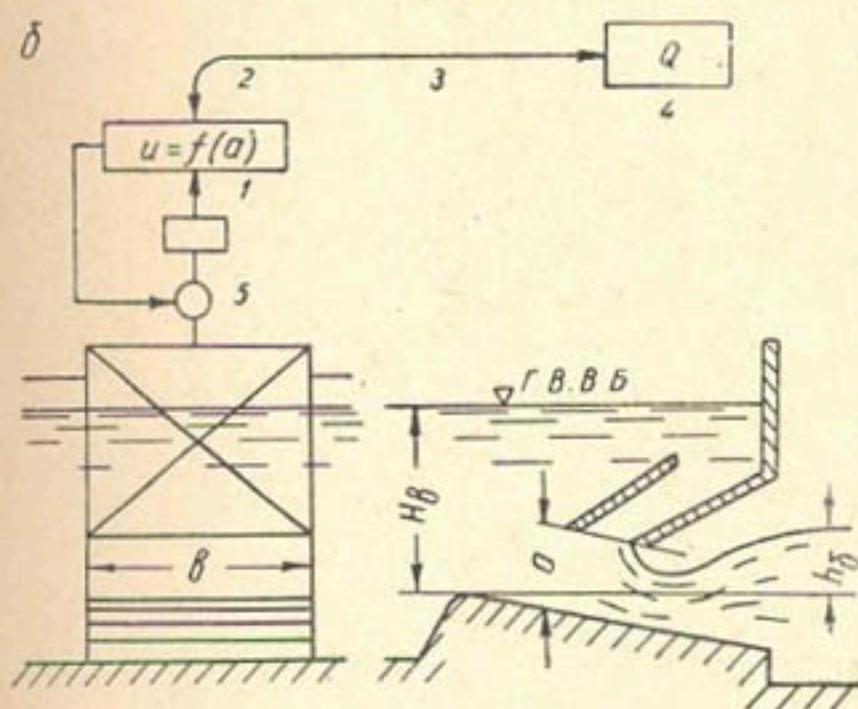
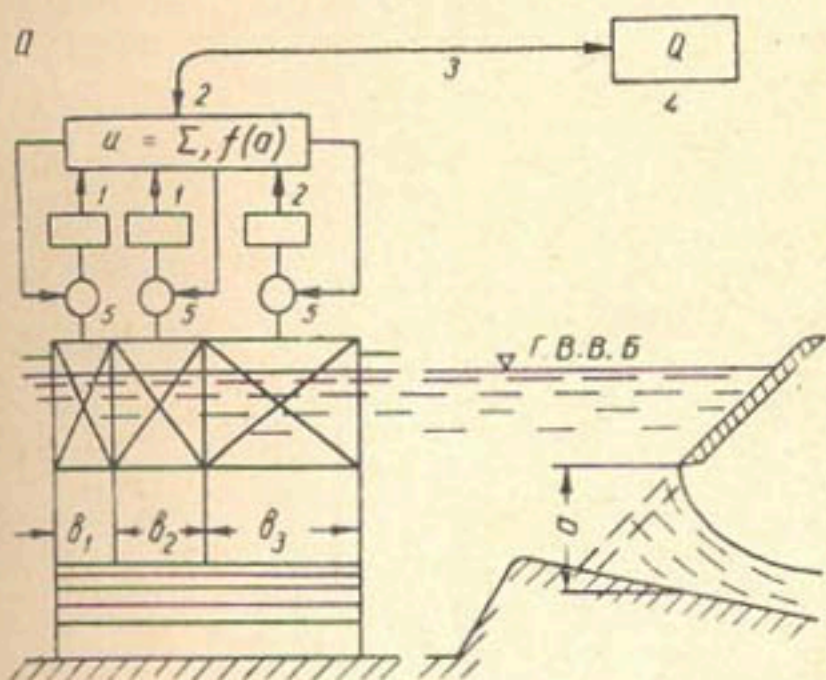


Рис. 5. Скелетная схема дистанционного измерения расхода воды и телерегулирования по зависимостям:

a — при наличии тарированных выпусков типа «Нейр-
пик» $Q = \sum_{i=1}^n f(a)$, b — при наличии автомата-расхо-

да типа двойных наклонных козырьков $Q = f(a)$:
1 — первичный измерительный преобразователь, датчик положения затвора (ДПЗ), 2 — вторичный преобразователь, 3 — канал связи, 4 — указывающий прибор и задатчик новой установки Q на диспетчерский пункт (ДП), 5 — мотор для движения положения затвора.

малая металлоемкость и незначительная сметная стоимость¹, а также возможность применения его в качестве водомера, когда учет пропускаемой воды может осуществляться по углу открытия α [16]; основной

¹ Автоматы конструкции М. Ф. Финке в равноценных условиях в два раза дешевле, чем плоские затворы с электроподъемником [17].

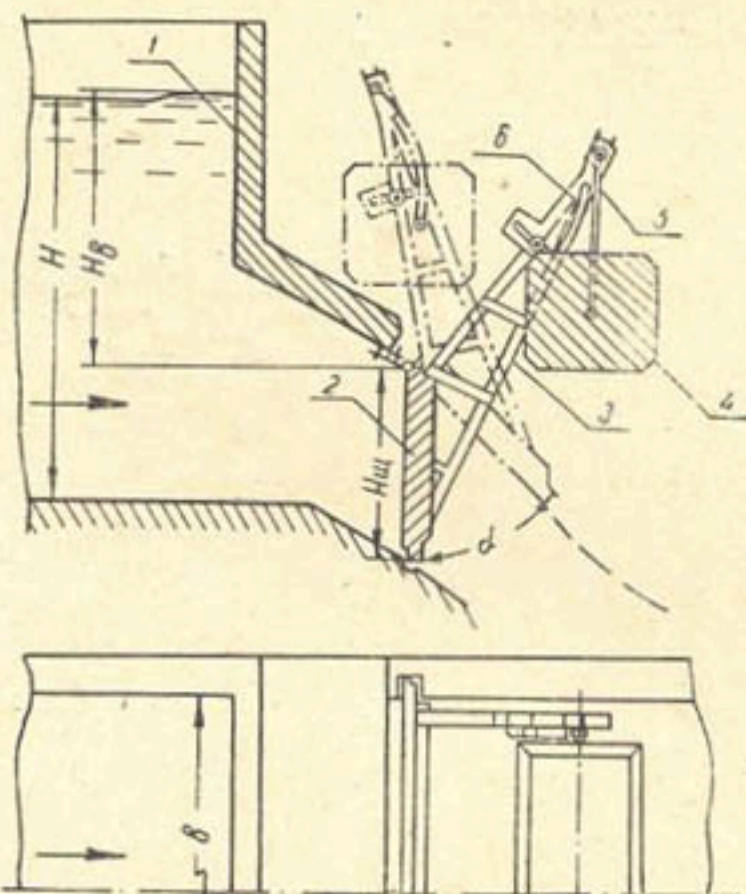


Рис. 6. Клапанный затвор-автомат конструкции М. Ф. Финке:

1 — забральная стенка (диафрагма), 2 — полотнище затвора, 3 — консоль (ферма), 4 — груз-баланси́р, 5 — трос подвеса, 6 — лекальная кривая.

значения гидродинамического момента от давления потока M_r на плоскость щита и момента веса балансира и конструкции M_G равны для всех положений открытия. При измерениях напора H_B меняется величина момента давления воды на обшивку затвора, сам затвор выходит из равновесия и перемещается, пропуская или задерживая расход до тех пор, пока не будет восстановлено условие равенства моментов $M_r = M_G$.

Основные положительные качества затвора-автомата Финке — простота его конструкции,

недостаток — невозможность применения его при затопленном истечении, т. е. для работы затвора-автомата требуется наличие большого перепада.

Затворы Финке с пропускной способностью до $25 \text{ м}^3/\text{сек}$ используются на перегораживающих и сбросных сооружениях Самаркандской области УзССР. Более подробное описание и расчет их приведены в работах [11, 14, 16].

А. А. Гартунг с 1956 по 1965 г. [6, 8] изучал затвор-автомат с поплавком на обшивке (тип «Нейрпик») в различных конструктивных

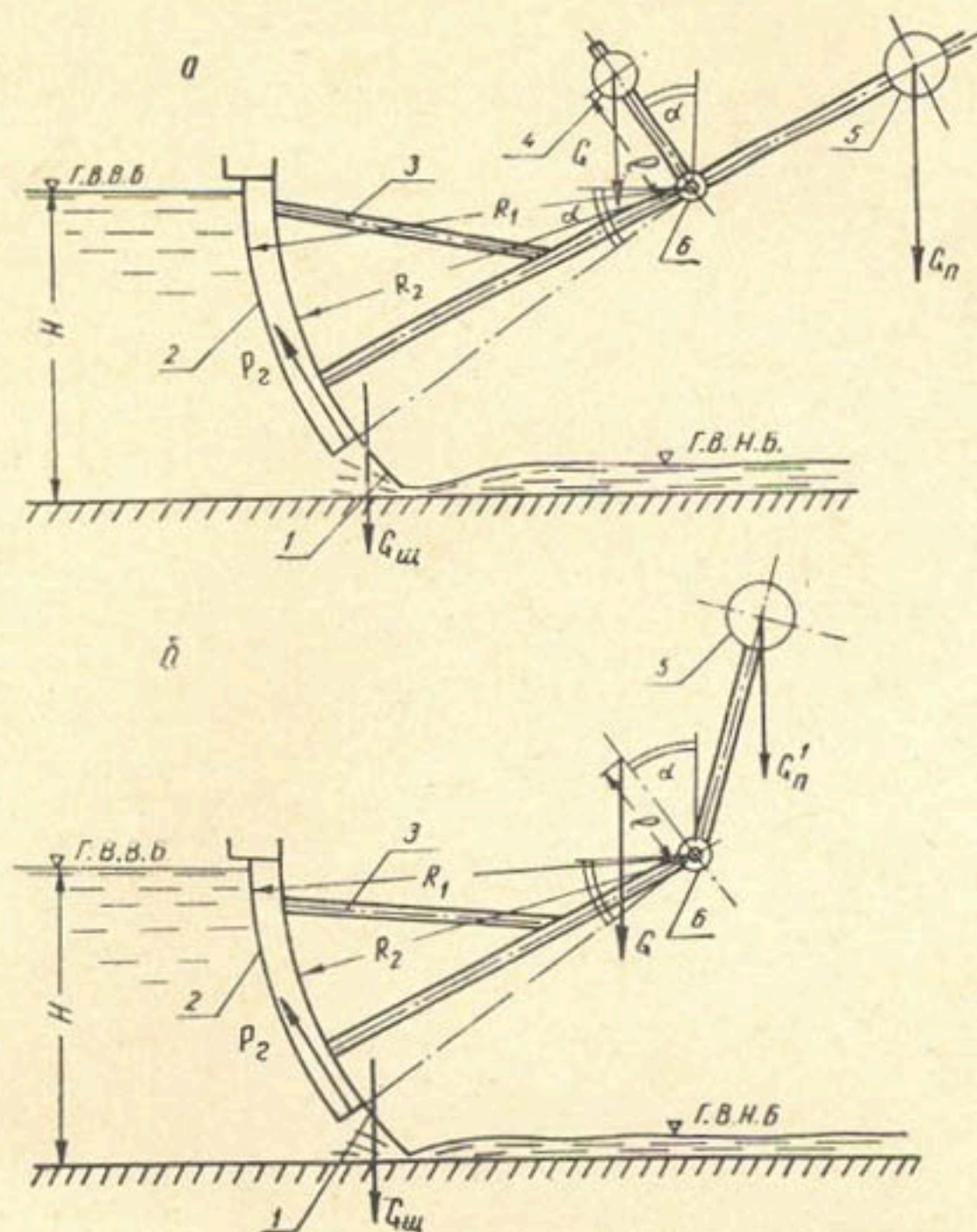


Рис. 7. Затвор-автомат горизонта воды верхнего бьефа с поплавком на обшивке (тип «Нейрпик»):

а — с дополнительным противовесом, б — с контгрузом; 1 — обшивка затвора, 2 — поплавок на обшивке, 3 — опорные ноги, 4 — установочный груз, 5 — противовес, 6 — ось вращения.

вариантах. Автомат (рис. 7) представляет собой сегментный затвор, вес которого частично или полностью уравновешен противовесом. На лобовой стенке затвора укреплен поплавок, создающий выталкивающий момент, величина которого меняется при изменении регулируемого горизонта перед затвором. Наружная поверхность стенки затвора и поплавок выполнена по радиусу, проведенному из центра оси вращения. Затвор вращается на оси, концы которой опираются на подшипники, помещенные в стенках лотка различных сечений. Силы давления воды, приложенные к радиальным обшивкам затвора и поплавка, не создают

момента, так как их равнодействующая проходит через ось вращения. Выталкивающая сила и момент могут возникнуть только от воздействия потока на нижнюю плоскость поплавка.

Уравновешивание моментов от воздействия потока на поплавок и противовес должно сохраняться только при одном заданном значении постоянного горизонта верхнего бьефа. При изменении его равенство моментов нарушается, и затвор начинает перемещаться до тех пор, пока не будет равновесия, т. е. пока перед затвором не восстановится регулируемый горизонт.

Величина угла открытия затвора, естественно, будет зависеть от величины изменения расхода, проходящего через подщитовое отверстие. При перемещении затвора за счет изменения площади подщитового отверстия, а следовательно, и пропускаемого расхода, регулируемый горизонт восстанавливает свою первоначальную отметку.

Выталкивающие моменты, создаваемые поплавком, можно уравновесить двумя способами: 1) вес затвора и металлоконструкций полностью уравновешивается противовесом, укрепленным на противоположных концах «ног», а на оси вращения затвора (на определенном расстоянии от центра вращения) укрепляется дополнительный груз. Вес груза и угол наклона стоек подбираются таким образом, чтобы можно было уравновесить выталкивающие моменты поплавка при заданном значении горизонта верхнего бьефа; 2) размеры противовеса, его плечо и угол наклона должны быть такими, чтобы общий центр тяжести системы затвор-противовес находился над осью вращения затвора, а величина его и координаты расположения удовлетворяли условию уравновешивания моментов поплавка.

Первый вариант с дополнительным грузом на отдельном плече, на наш взгляд, более приемлем, так как дает возможность упростить процесс наладки и регулировки затвора при установке его на сооружении.

Лабораторные исследования показали, что наряду с положительными качествами (простота конструкции и т. д.) затвор имел и отрицательные свойства. Так, в связи с тем, что поплавок и его нижняя кромка находятся в зоне сильного динамического воздействия потока воды, протекающей через сооружение, возникают большие силы подсоса, искажающие характер изменения выталкивающих моментов поплавка до 30% от гидростатического. Силы подсоса не остаются постоянными в процессе работы затвора и зависят от горизонтов верхнего бьефа, угла открытия затвора, пропускаемых расходов и т. д.

Неравномерность изменений сил подсоса приводит к раскачиванию и опрокидыванию затвора и необходимости установки демпфирующих устройств, конструкции которых были разработаны лабораторией Эксплуатационной гидрометрии САНИИРИ и институтом «Средазгипроводхлопок». Наличие поплавка на лобовой стенке затвора и невозможность совмещения его нижней плоскости с кромкой затвора приводит к тому, что подщитовое отверстие может быть открыто только на $\frac{1}{2}$ высоты затвора. Это уменьшает пропускную способность сооружения и как следствие ведет к увеличению его габаритов.

Недостатком конструкции является также сравнительно невысокая относительная точность поддержания горизонта воды верхнего бьефа (до +10—12%), что может привести к необходимости установки автоматов расхода (модулей) на водовыпусках. Расчет и исследования подобных автоматов изложены в работах А. А. Гартунга и Э. Э. Пеплова [12, 6, 8].

Исследованные затворы-автоматы вошли в действующие «Типовые проекты гидротехнических сооружений на оросительных каналах

«Средазгипроводхлопка»: Альбомы СПА-63, СПА-65 (пропускная способность 0,1—1,7 м³/сек).

Гидростатический момент выталкивающей силы поплавок у затвора-автомата равен

$$M_{\text{ст}} = \gamma b \frac{R_2^3 - R_1^3}{3} \sin \alpha,$$

где γ — объемный вес воды;

b — ширина поплавок;

R_2 — радиус обшивки поплавок;

R_1 — радиус обшивки затвора;

α — угол наклона противовеса или «приведенного» центра тяжести конструкции, который равен углу погружения поплавок в поток относительно горизонтали, проходящей через ось вращения.

Предполагается, что ось вращения затвора совпадает с регулируемым им постоянным горизонтом воды верхнего бьефа. Тогда уравновешивающий момент затвора

$$M_2 = G \cdot l \cdot \sin \alpha.$$

Здесь G — вес контргруза (или «приведенного» центра тяжести конструкции), l — плечо веса G .

При различных углах открытия затвора для его автоматической работы необходимо соблюдение условия $M_{\text{ст}} = M_2$. Отсюда, зная вес контргруза, найдем плечо, на котором должен располагаться контргруз или координата центра тяжести конструкции затвора:

$$l = \frac{\gamma b}{G} \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3}.$$

Дополнительные лабораторные исследования (1960 и 1964 гг.) на модельных и натурных образцах автоматов показали, что гидростатический расчет отличается от гидродинамического. При различных открытиях затвора коэффициент негидростатичности $K = \frac{P_r}{P_{\text{ст}}} \approx \frac{M_r}{M_{\text{ст}}}$ изменяется от 1 до 0,7. Поэтому в расчетах необходимо принимать момент гидродинамической силы воздействия потока на поплавок

$$M_r \approx K \gamma b \frac{R_2^3 - R_1^3}{3} \sin \alpha.$$

Дополнительное устройство корректирующего элемента конструкции затвора (с демпфирующим устройством) свело бы точность регулирования уровня воды к минимуму. Но можно пойти на упрощение, приняв $K_{\text{ср}} = 0,85$ и

$$l \approx K_{\text{ср}} \frac{\gamma b}{G} \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3};$$

тогда точность поддержания расчетного горизонта воды верхнего бьефа можно свести к $\frac{\Delta H}{H} = \pm 2,5 - 3\%$ от расчетного напора H .

Сегментный затвор-автомат с поплавком в боковом колодце предложен и исследован с 1960 г. А. А. Гартунгом [7].

Указанные недостатки в конструкции затвора «Нейрпик» были устранены за счет выноса поплавок в боковой колодец, сообщающийся отверстием с верхним бьефом сооружения (рис. 8). Металлоконструкция затвора и поплавок может быть сбалансирована с помощью передвижного противовеса. На вертикальных стойках помещен контргруз, уравновешивающий выталкивающие моменты поплавок. Положение контргруза можно менять за счет его передвижения по стойкам и изменения наклона их относительно вертикали.

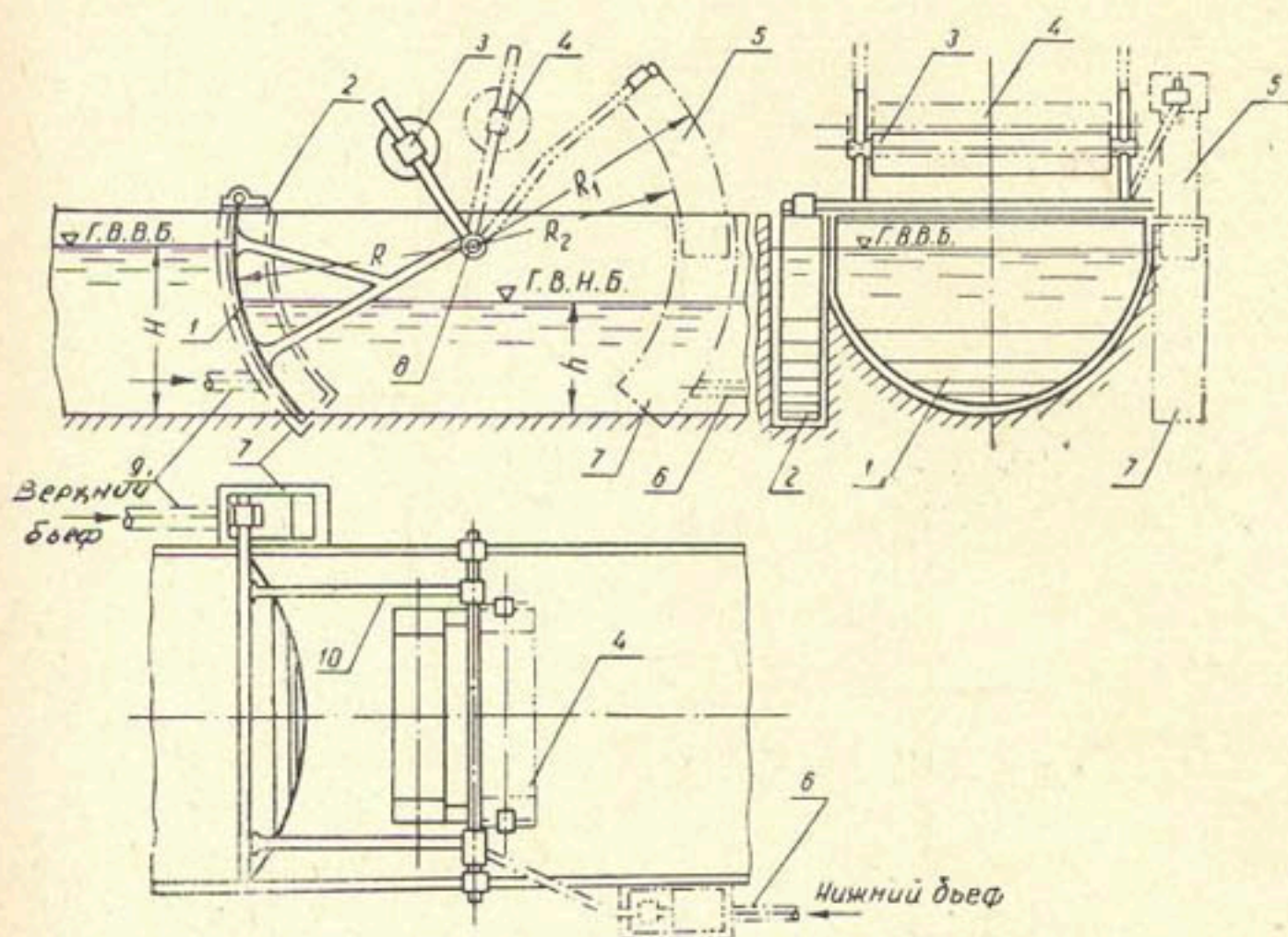


Рис. 8. Затвор-автомат горизонтов воды верхнего или нижнего бьефов с поплавком в боковом колодце (конструкция А. А. Гартунга):

1 — обшивка затвора, 2 — поплавок верхнего бьефа, 3 — контргруз, 4 — грузы, 5 — поплавок нижнего бьефа, 6 — трубка (соединяющая с нижним бьефом), 7 — боковой колодец, 8 — ось вращения затвора, 9 — трубка (соединяющая с верхним бьефом), 10 — опорные ноги затвора.

Конструкция автомата верхнего бьефа с поплавком в отдельном колодце обладает рядом положительных качеств: отсутствием лекал, улиток, тросов, шкивов и других устройств, усложняющих конструкции большинства предложенных гидравлических автоматов; весьма точным поддержанием заданного горизонта (ошибка $\pm 2-3\%$); простым процессом перерегулирования на другие горизонты — изменением веса контргруза или противовеса (каждый отдельный груз может иметь маркировку для определенной отметки горизонта верхнего бьефа); простым статическим расчетом, дающим точные результаты; максимальным углом подъема для предложенной конструкции, позволяющим полностью открыть щитовое отверстие; большим диапазоном пропускаемых расходов при точном поддержании горизонта (расходы меняются от 0 до максимальных).

Металлоконструкции можно изготовить в заводских условиях. Кроме того, они универсальны и применимы в качестве автоматов как для верхнего, так и нижнего бьефа.

Расчет затвора-автомата приведен в работе [7].

В боковых колодцах необходимо предусмотреть устройства для промывки их от наносов.

Исследованный автомат вошел в действующие типовые проекты института «Средазгипроводхлопок»: альбомы ПВ-63, ВПК-63 (на расходы до $10 \text{ м}^3/\text{сек}$).

АВТОМАТЫ НИЖНЕГО БЬЕФА

Затвор-автомат нижнего бьефа типа «Нейрпик» — распространенная конструкция на оросительных системах Франции, Алжира, Марокко, Пакистана и других зарубежных стран.

В 1961 г. институт «Средазгипроводхлопок» в стадии проектного задания разработал экспериментальный проект сооружений с автома-

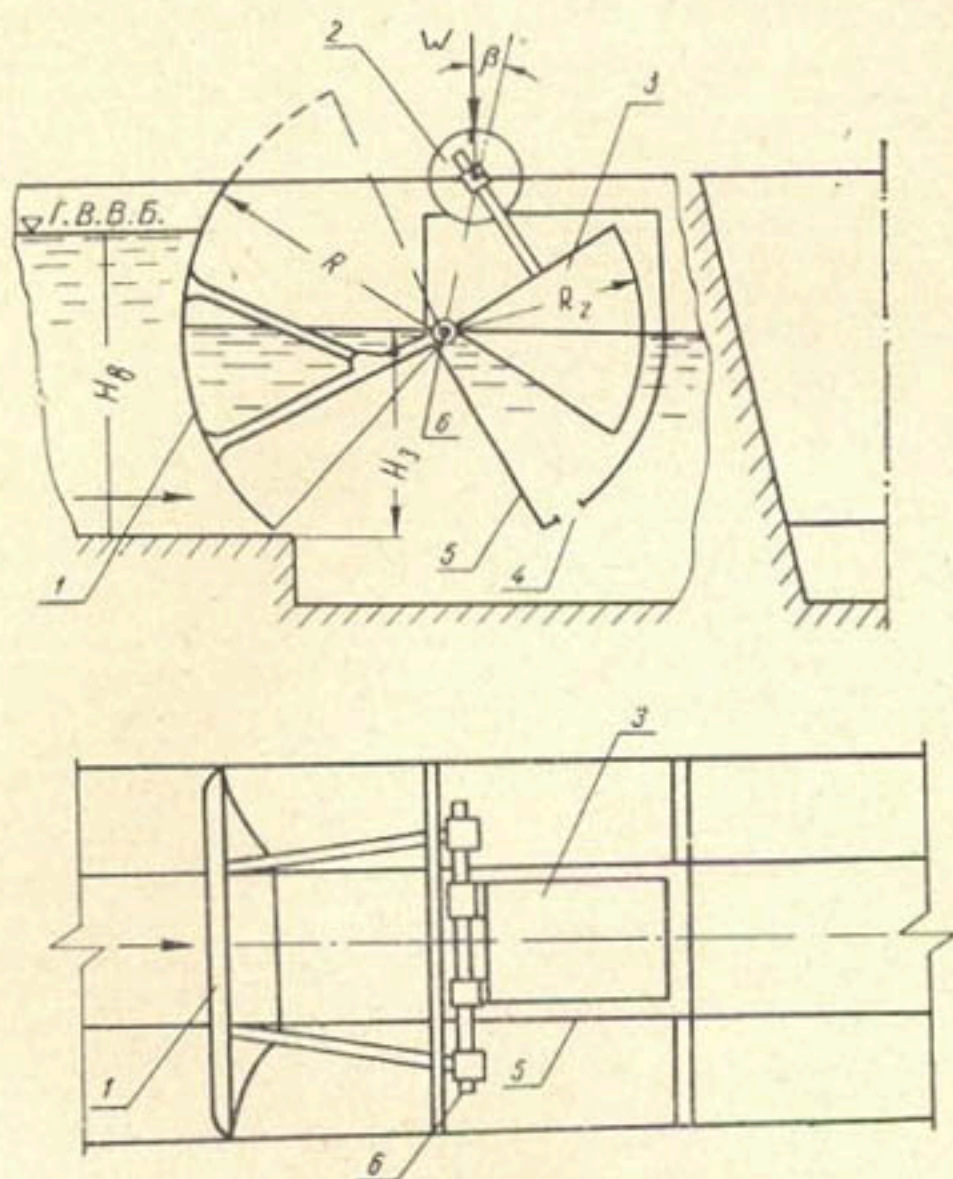


Рис. 9. Затвор-автомат горизонта нижнего бьефа с поплавком в русле (типа «Нейрпик»):

1 — обшивка затвора, 2 — контргруз, 3 — поплавок, 4 — щель для впуска воды, 5 — поплачковая камера, 6 — ось вращения затвора.

тами нижнего бьефа (гидравлического действия с поплавком в камере, находящейся непосредственно за затвором в русле) на расход до $5,0 \text{ м}^3/\text{сек}$ (рис. 9).

В лабораторных условиях изготовлена натурная модель автомата и проведены соответствующие исследования [9]. Автомат горизонта нижнего бьефа с поплавком в русле состоит из сегментного щита с радиусом, очерченным из центра вращения; на низовой стороне автомата закреплен радиальный поплавок, помещенный в камеру. Поплачковая камера сообщается с нижним бьефом сооружения щелью. Таким

образом, в камере устанавливается осредненный горизонт нижнего бьефа. Выталкивающие моменты поплавка уравновешиваются контргрузом, укрепленным на передвижных стойках.

Щит находится в равновесии под действием моментов собственного веса и веса контргруза, с одной стороны, и давления воды на нижнюю поверхность поплавка, с другой. При правильной регулировке и расчетном горизонте моменты сил тяжести и гидростатического давления на поплавок равны при любом открытии затвора [9].

Исследования показали, что камера с поплавком, помещенная непосредственно в канале, уменьшает пропускную способность сооружения, так как сокращает его размер в свету. Поэтому необходимо углубление дна нижнего бьефа канала под поплавковой камерой.

Камера и отверстие, с помощью которого она сообщается с нижним бьефом сооружения, находится в зоне бурного потока, образующегося при больших пропускных расходах и открытии щита. Поэтому горизонт воды в поплавковой камере отличается от горизонта в зоне спокойного течения, что приводит к погрешностям в поддержании горизонта нижнего бьефа и является недостатком этой конструкции. Необходимо подобрать нужную площадь щели поплавковой камеры.

Другими автоматами нижнего бьефа, исследованными в натурных габаритах, являются затворы конструкций А. А. Гартунга, Э. Э. Пеплова и др.

На современных оросительных системах автоматические водорегулирующие устройства должны по возможности совмещать регулирование и учет воды и защиту сооружений от разрушений.

Выбор автоматического затвора для оросительных систем [17] связан с удовлетворением комплекса эксплуатационных, конструктивно-строительных и технико-экономических требований к затворам; нахождением наиболее приемлемой конструкции автомата из многочисленных видов и типов их; определением технико-экономических показателей автоматов (при сравнении их в равноценных условиях) и возможностью получения конструкции автомата с наилучшими показателями.

Необходимы дальнейшая разработка и внедрение новых конструкций сети (лотковый, по трубопроводам и т. д.) с наличием напора, уменьшением потерь, простотой эксплуатации, а также реконструкция существующей сети, соответствующая условиям применения автоматов.

Для широкого использования средств автоматики (на гидравлической энергии) важное значение приобретает удовлетворение в первую очередь эксплуатационных и конструктивно-строительных требований и создание экономичных конструкций.

Необходимо разработать не только технические условия и нормы проектирования конструкций автоматических водорегулирующих устройств, но и продумать их применение и размещение в зависимости от строения оросительной сети, сооружений и конкретных местных условий.

В настоящее время разработано, исследовано, внедрено значительное количество средств гидравлической автоматики, но обобщения эксплуатационного опыта по ним нет.

Мало внимания уделяется системам автоматического регулирования на гидравлической (по верхнему и нижнему бьефам, смешанному регулированию, способу сообщающихся уровней и т. д.) и электрической энергии, используемым в водораспределении. Почти не затронут вопрос о гидравлических режимах и циклах работ средств автоматики систем регулирования.

Разработанные и внедряемые гидравлические средства автоматики, особенно автоматы горизонтов воды, требуют в конструкциях устройств, предотвращающих вывод их из действия от постороннего вмешательства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев Я. В. Гидравлические затворы-автоматы для каналов предгорной зоны, Автореф. канд. дисс., Ташкент, 1960.
2. Бочкарев Я. В. Автор. свид. № 110691 (заявка от 18.XII 1956 г.).
3. Бочкарев Я. В. Автор. свид. № 118764 (заявка от 2.I 1958 г.).
4. Бутырин М. В. Водомеры для колхозной и межколхозной ирригационной сети, Труды САНИИРИ, вып. 60, Ташкент, 1941.
5. Бутырин М. В. Внутрихозяйственный пружинный автомат постоянного расхода, «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
6. Гартунг А. А. Лабораторные исследования моделей гидравлических автоматов верхнего бьефа типа фирмы «Нейрпик», «Вопросы гидротехники», вып. 3, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1961.
7. Гартунг А. А. Сегментный автомат верхнего бьефа с поплавком в боковом колодце, «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
8. Гартунг А. А. Натурные исследования сегментных затворов автоматов, «Вопросы гидротехники», вып. 16, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
9. Гартунг А. А., Хамадов И. Б. Результаты исследований сегментных затворов-автоматов нижнего бьефа, «Вопросы гидротехники», вып. 22, Ташкент, Изд-во «Наука» УзССР, 1964.
10. Каграманов А. М. Водомер-автомат с вращающимся щитом, Труды САНИИРИ, вып. 56, Ташкент, 1941.
11. Никитина Ф. А. Расчет щитов-автоматов горизонта верхнего бьефа системы Финке, Труды САНИИРИ, вып. 106, Ташкент, 1960.
12. Пеплов Э. Э. «Гидротехника и мелиорация», 1958, № 9.
13. Пеплов Э. Э. Автор. свид. № 132131 (заявка от 23.I 1960 г.).
14. Финке М. Ф. «Гидротехника и мелиорация», 1956, № 3.
15. Хамадов И. Б. Автор. свид. № 132992 (заявка от 31.III 1960 г.).
16. Хамадов И. Б. Гидродинамические силы, действующие на затвор-автомат конструкции М. Ф. Финке, и его пропускная способность, «Изв. АН УзССР», сер. техн. наук, 1962, № 3.
17. Хамадов И. Б., Хамадова Н. Ш. К вопросам истории развития автоматических водорегулирующих устройств, их классификация и выбор, «Вопросы гидротехники», вып. 16, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
18. Хамадов И. Б., Гартунг А. А., Литвак Л. С., Ом Л. А. Автор. свид. № 168025 (заявка от 19.VIII 1963 г.).
19. Чиж И. Б. Автор. свид. № 120926 (заявка от 29.I 1958 г.).
20. Ярцев В. Н. Эксплуатационная гидрометрия, М., Сельхозгиз, 1956.

Б. ТИШАБАЕВ

ПРУЖИННЫЕ АВТОМАТЫ ПОСТОЯННОГО РАСХОДА ВОДЫ ДЛЯ ТРУБЧАТЫХ ВОДОВЫПУСКОВ

Применение автоматических регуляторов на внутрихозяйственных оросительных системах в настоящее время приобретает все большую популярность.

Полная автоматизация распределения и регулирования воды на оросительных системах даст возможность своевременно и нужными нормами отпускать воду, обеспечит наиболее эффективное проведение планового водопользования, значительно сократит средства на содержание персонала, улучшит мелиоративное состояние земель, а также будет способствовать повышению урожайности поливных культур.

Средства автоматики в виде автоматических водорегулирующих устройств, в частности автоматических затворов гидравлического действия, являются частью средств оснащения оросительных систем новой техникой для комплексного решения проблем автоматизации и телемеханизации производственных процессов.

Одним из преимуществ автоматов гидравлического действия является совмещение функций автоматического учета и регулирования воды, а также возможность защиты сооружений от разрушений. Поэтому должны найти широкое применение гидравлические автоматы постоянного расхода воды, удовлетворяющие следующим условиям: простота конструкции, стандартность и возможность серийного изготовления на заводе, надежность в условиях оросительной сети и удобство в эксплуатации; работа при затопленном и свободном истечении в нижний бьеф; возможность зарядки на заданный расход в пределах необходимого диапазона (4—5 раз); точность расхода (допускаемая погрешность $\pm 6\%$).

В 1939 г. предложен, а в 1960 г. разработан и сконструирован (М. В. Бутыриным) пружинный автомат расхода для открытых водовыпусков с расходом до 300 л/сек.

Пружинный автомат постоянного расхода «ПАР» (рис. 1, а) состоит из тела регулятора (1), находящегося в нижней части рамы-рычага; рамы-рычага с горизонтальной осью 0—0 (2); цилиндрической пружины (3), соединенной нижним концом с рычагом на расстоянии «г» от оси и верхним — с кронштейном; кронштейна (4), жестко прикрепленного к стенке; стенки автомата (5) с отверстием (6); щитка (7) для зарядки автомата на другой расход или для полного закрытия. Автомат устанавливается в голове трубчатого водовыпуска с расчетом затопленного истечения через отверстие.

При изменении перепада z_c (разность уровней верхнего и нижнего бьефов) тело регулятора в отверстии перемещается и тем самым уменьшает или увеличивает площадь истечения $\omega_{ист}$. Это объясняется тем, что с изменением z_c равнодействующая давления воды «Р», влияющая на регулятор, изменяется пропорционально z_c . Эта равнодействующая уравнивается силой растяжения пружины N . Чем больше z_c , тем больше растянется пружина, и тело регулятора войдет в плоскость отверстия, образуя необходимую площадь истечения.

Для поддержания постоянного расхода воды необходимо, чтобы площадь истечения изменялась обратно пропорционально $\sqrt{z_c}$.

Действительно, если $\omega = \frac{c}{\sqrt{z}}$ и $\mu = \text{const}$, то

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gz_c} = M \omega \sqrt{z_c} = Mc = \text{const}.$$

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

Здесь

μ — коэффициент расхода системы, отнесенных к площади истечения;

z_c — разность уровней верхнего и нижнего бьефов;

$M = \mu \sqrt{2g}$ — постоянный параметр.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫПУСКОВ И СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В лаборатории автоматизации гидромелиоративных систем (САНИИРИ) нами были разработаны и проведены лабораторные исследования «ПАР» для трубчатых водовыпусков. Выясняли следующие вопросы:

1) конструктивные особенности регуляторов для трубчатых выпусков;

2) точность поддержания $Q = \text{const}$ при свободном и затопленном истечении;

3) коэффициент расхода, отнесенный к площади истечения и к сечению трубы;

4) влияние изменения размеров шахты для поддержания $Q = \text{const}$ при свободном и затопленном истечениях;

5) действительное давление на тело регулятора и изменение давления в трубе;

6) возможность изменения расхода воды регулированием высоты отверстия в стенке;

7) методику расчета автомата «ПАР» для трубчатых выпусков.

Исследование автомата проводилось на двух модельных установках (два варианта): первая — «ПАР» для трубчатых водовыпусков с шахтой; вторая — без шахты (регулятор у входа в трубу).

Расходы воды определяли точным протарированным мерником; уровни воды и распределение давления в трубе и на теле регулятора — по батарее пьезометров; растяжение пружины, фактические площади — непосредственным измерением.

По первой схеме модели (рис. 1,а) мы изучали влияние размеров шахты по ширине и длине на коэффициенты расхода, поддержание постоянного количества воды и давление ее в трубе и на теле регулятора.

Регулятор и труба (с диаметром $D = 260$ мм, длиной $l_{тр} = 1000$ мм) изготовлены из металла. Масштаб модели почти натуральный, расчетный (максимальный) расход — 30 л/сек. Максимальный перепад ра-

вен 20 см. Всего мы провели 4 серии опытов, которые отличались размерами шахты и размерами отверстия в стенке.

По второй схеме модели «ПАР» (рис. 1, б) мы исследовали распределение воды в трубе и влияние давления на тело регулятора при разных перепадах между уровнями воды в верхнем и нижнем бьефах (затопленное истечение). Модели изготовлены в экспериментальных мастерских САНИИРИ. Рама регулятора сделана из уголка № 2,

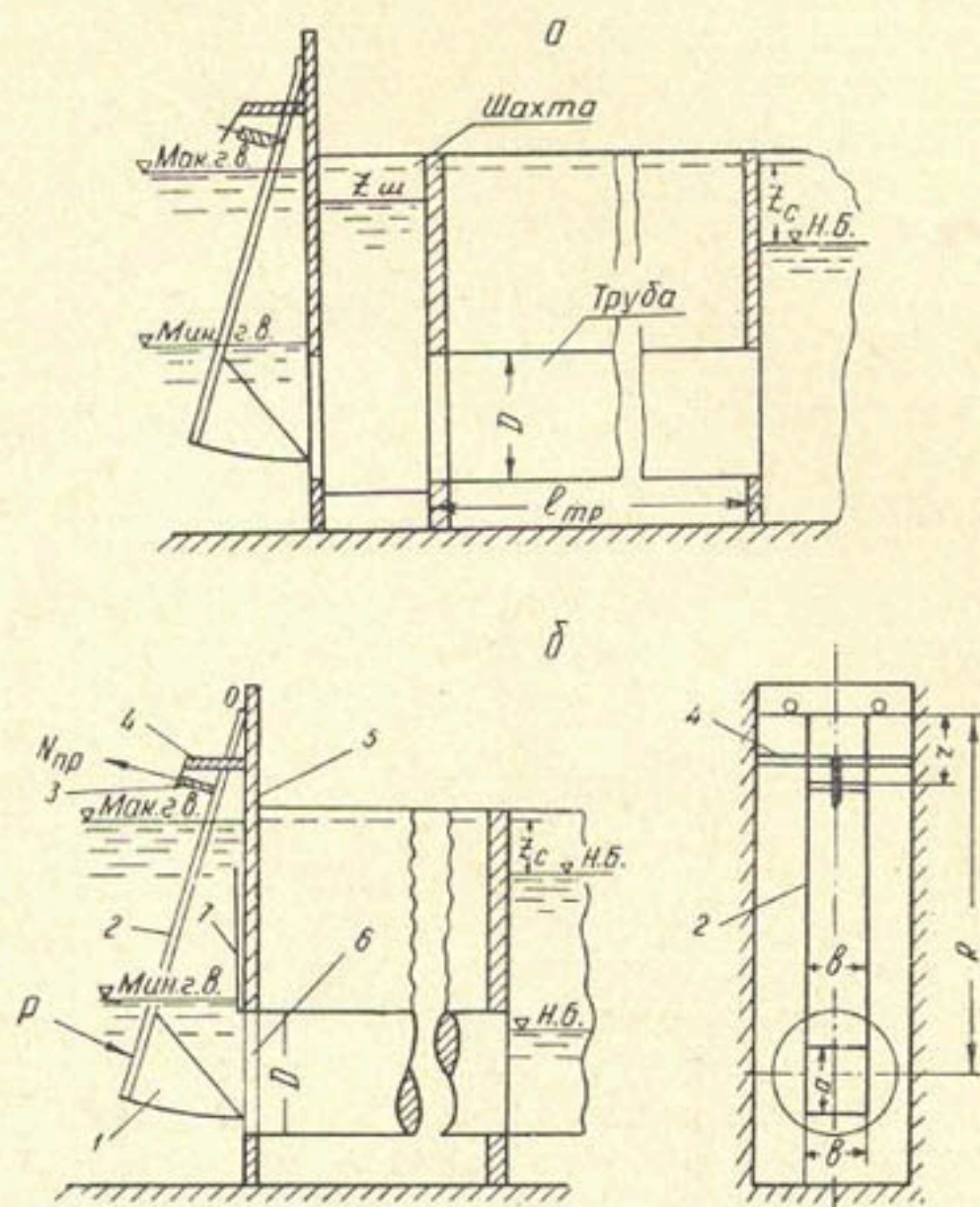


Рис. 1. Схема автомата «ПАР» с трубчатым выпуском (а), с шахтой и трубчатым выпуском (б).

тело — из листового железа. Размеры рамы 16×90 см, максимальное сечение тела регулятора 17×16 см. Отверстие в стенке круглое, соответствует диаметру трубы $D = 260$ мм. Длина трубы $l_{тр} = 100$ см $= 4D$.

Для отбора давления воды штуцера установили в трубе по потолку и дну, а в теле регулятора — с внутренней стороны в 2 ряда. Диапазон расхода изменяли плоским щитом, вырезанным снизу по размеру тела регулятора.

Нами исследовано несколько различных форм тела регулятора. В предыдущих вариантах диапазон расхода воды составил 2—3; с изменением формы тела регулятора и введением выреза щита диапазон увеличился до 4 раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По первому варианту модели проводились четыре серии опытов по 30—40 в каждой, которые отличались заданными расходами и размерами шахты (по длине и ширине), а также уменьшением или увеличением высоты отверстия в стенке.

Для определения фактического давления воды на тело регулятора и распределения давления воды в трубе проводили две серии опытов по 24—26 в каждой. В результате установлено, что изменение размера шахты незначительно влияет на поддержание постоянного расхода воды и его коэффициент истечения. Расчетный расход $Q_p = 30$ л/сек обеспечивается со среднеквадратичной ошибкой $\delta = \pm 3,5\%$. При $z_c = 4,5$ см $\mu = 0,61$; с увеличением перепада значение μ снижается (при $z_c = 20$ см $\mu_c = 0,33$).

Вторая схема модели «ПАР» для трубчатых водовыпусков установлена непосредственно у входа в трубу. Для определения формы тела регулятора нами было проведено много серий опытов при различных формах тела регулятора. В результате принята наивыгоднейшая форма тела регулятора для регулирования расхода воды в диапазонах 4—5 раз.

За расчетный принимали максимальный расход при минимальном перепаде $Q_{\max} = 43$ л/сек. Расчетный расход обеспечивается со среднеквадратичной ошибкой $\delta = \pm 5\%$. Диапазон изменения заданного расхода воды $\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$ при допустимых погрешностях $\pm 6\%$ возможен до 4 раз.

Среднее значение коэффициента расхода, отнесенного к площади истечения (между телом регулятора и отверстием входа в трубку), можно (с допустимой погрешностью $\pm 3\%$) принять постоянным и равным $\mu_{\text{ист}} = 0,72$.

Коэффициент расхода системы, отнесенный к площади трубы, переменный: при малых перепадах ($z_{\min} = 7$ см) $\mu_{\text{сис}} = 0,66$ и с увеличением перепада до 0,4 м он уменьшается до 0,31.

Особые трудности возникли при установлении действительного давления воды на тело регулятора. Фактические гидростатическое и гидродинамическое давления воды и равнодействующую давления воды на регулятор определяли графически. При этом построили эпюры горизонтальных и вертикальных составляющих давления на тело регулятора. По опытным данным и по разности площадей эпюр давлений выявляли равнодействующую силу на тело регулятора. Точку расположения и направления ее относительно оси регулятора вычисляли по фактическому действующему моменту, во-первых, от равнодействующего давления воды; во-вторых, от собственного веса регулятора.

Слагая эти составляющие, высчитывали общий момент, действующий на регулятор. По тарировочным данным и графику растяжения пружины определяли действительную силу и момент, приходящийся на пружину, при сопоставлении которых оказалось, что они сходятся (среднеарифметическая допустимая погрешность $\mp 2\%$). Действительное давление воды P на тело регулятора не совпадает с гидростатическим ($P_{\text{ст}} = \gamma \cdot f_y \cdot z_c$). С увеличением перепада системы от $z_{\min}$ до $z_{\max}$ гидродинамическое давление $P_{\text{гд}}$ уменьшается по сравнению с гидростатическим. При соотношении $\frac{z_c}{D_{\text{тр}}}$ от 0 до 0,55 см ($\frac{z_c}{D_{\text{тр}}} < 0,55$) равнодействующую давления на тело регулятора выявляли по эмпирической формуле

$$P_{\text{г.р}} = \gamma \cdot f_y \cdot z_c \left(1 + 0,32 \frac{z_c}{D_{\text{тр}}} \right).$$

С увеличением перепада, т. е. при $\frac{z_c}{D_{\text{тр}}} \geq 0,55$, у входа в трубу постепенно происходит переход от затопленного истечения к свободному, хотя выход трубы еще затопленный.

При $\frac{z_c}{D_{тр}} \geq 0,55$ расчет равнодействующей силы, влияющей на тело регулятора, производится по уравнению

$$P_{г.р} = \left(0,75 + 1,0 \frac{z_c}{D_{тр}} \right) \cdot \gamma \cdot f_y \cdot z_c.$$

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АВТОМАТА

Для расчета сечения отверстия в стенке, диаметра трубы, тела регулятора и площадей истечения возьмем значения Q_p — расчетного (максимального) расхода воды, z_{max} — максимального и z_{min} — минимального перепадов между уровнями в верхнем и нижнем бьефах, H — глубины воды в старшем канале, h — глубины воды в отводе.

По расходной формуле

$$Q = \omega \mu \sqrt{2gz_c} \quad (1)$$

определяем необходимый диаметр трубы при Q_{max} и z_{min} из формулы

$$Q_{max} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \mu \sqrt{2gz_{min}},$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q_{max}}{\pi \mu_{ист} \sqrt{2gZ_{min}}}}. \quad (2)$$

При $\mu_{ист} = 0,72$ (коэффициент относится к площади истечения)

$$D = 0,634 \sqrt{\frac{Q_{max}}{Z_{min}}}. \quad (3)$$

Необходимая площадь сечения в стенке:

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (4)$$

Вычисляем площади истечения, необходимые для поддержания $Q = \text{const}$

$$\omega_{ист} = \frac{Q}{\mu_{ист} \sqrt{2gz_c}} = 0,315 \frac{Q}{\sqrt{Z_c}} \quad (5)$$

($\omega_{ист}$ — площадь истечения, необходимая для поддержания $Q_p = \text{const}$, z_c — перепад системы от z_{min} до z_{max}).

Тогда площади сечения тела регулятора в плоскости отверстия

$$f_{тр} = \Omega_{ст} - \omega_{ист}. \quad (6)$$

Здесь $\Omega_{ст}$ — величина постоянная;

$\omega_{ист}$ — рассчитываем по уравнению (5), задавая z от z_{min} до z_{max} .

Так как сечение тела прямоугольное, то, считая ширину постоянной, получаем переменную от z высоту a (таблица).

Для установления силы пружины длина радиуса R рамы-рычага принимается такой, чтобы пружина была выше максимального уровня в верхнем бьефе на 20—25 см, плечо или расстояние от оси 0—0 до места зацепа пружины с рамой $r = \frac{1}{4} R$. Ход (перемещение) тела регулятора по дуге радиуса $R + \frac{a}{2}$ должен составлять 1—1,3 z_{max} . Равнодействующая давления воды на тело регулятора (затопленное истечение) при $\frac{z_c}{D} < 0,55$

$$P = \gamma \cdot f_y \cdot z_c \left(1 + 0,32 \frac{z_c}{D} \right),$$

а при $\frac{z_c}{D} > 0,55$ —

$$P = \gamma \cdot f_y \cdot z_c \left(0,75 + \frac{z_c}{D} \right),$$

где

γ — объемный вес воды;

f_y — проекция тела регулятора на вертикальную плоскость;

z_c — перепад системы;

D — диаметр трубы выпуска.

Вертикальная составляющая давления воды на тело регулятора и собственный вес регулятора уравниваются.

Максимальная нагрузка на пружину:

$$N = \frac{R}{r} \cdot P_{\text{рав}} = 4P = 4f_y \cdot \gamma \cdot Z_{\text{max}} \left(0,75 + \frac{Z_c}{D} \right);$$

$$\text{максимальное растяжение пружины: } \Delta l_{\text{пр}} = \frac{(1 + 1,3Z_{\text{max}}) \cdot R}{2(2R + a)};$$

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

$$\text{число винтов } n = \frac{1000d^3h}{D^3}.$$

Здесь

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

d — диаметр проволоки (условие: $\frac{D}{d}$ не менее 4). В этом случае D и d измеряются в миллиметрах, N — в килограммах.

После изготовления пружины рекомендуем протарировать ее весовым способом и составить характеристику $\Delta l_{\text{пр}} = f(N)$. По характеристике пружины, чертежу автомата и формулам

$$D_{\text{тр}} = 0,634 \sqrt{\frac{Q}{V z_{\text{min}}}}, \quad \Omega = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 \cdot D^2$$

$$\omega_{\text{необ}} = \frac{Q}{\mu_{\text{ист}} \sqrt{2gz_c}}, \quad f_{\text{тр}} = \Omega_{\text{ст}} - \omega_{\text{необ}}.$$

установим фактическую форму сечения тела регулятора.

Приведем пример расчета автомата для трубчатых временных оросителей на расходы 80—20 л/сек; при этом расход оросителя принимаем за максимальный.

Дано: $Q_{\text{max}} = Q_p = 80$ л/сек, $z_{\text{max}} = 25$ см и $z_{\text{min}} = 5$ см.

Наибольшая глубина воды в старшем канале 70 см, коэффициент расхода истечения $\mu_{\text{ист}} = 0,72$.

1. Определяем диаметр отверстия в стенке и диаметр трубы для пропуска $Q_p = 0,08$ м³/сек при $z_{\text{min}} = 0,05$ м:

$$D = 0,634 \sqrt{\frac{Q}{z_{\text{min}}}} = 0,634; \quad \sqrt{\frac{0,08}{0,05}} = 0,38 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр трубы по стандарту: асбоцементная труба, $D_{\text{т}} = 368$ мм; вычисляем площадь сечения в стенке и трубе:

$$\Omega = 0,785 \times (0,368)^2 = 0,106 \text{ м}^2.$$

Площадь истечения, необходимую для поддержания $Q_p = \text{const}$ при $z_{\text{max}} = 0,25$ м, устанавливаем по равенству

$$\omega_{\text{необ}} = \frac{Q}{\mu_{\text{ист}} \sqrt{2gz_c}} = \frac{0,08}{0,72 \times 4,43 \times \sqrt{0,25}} = \frac{0,08}{1,6} = 0,050 \text{ м}^2,$$

a площадь сечения тела регулятора — по формуле

$$f_{1p} = \Omega - \omega = 0,106 - 0,050 = 0,056 \text{ м}^2.$$

Высоту и ширину тела регулятора при $a=b$ можно вычислить следующим образом:

$$a = \sqrt[3]{f_{1p}} = \sqrt[3]{0,056} = 0,237, \text{ принимаем } a = 0,24 \text{ м};$$

$$b = \frac{0,056}{0,24} = 0,23 \text{ м}.$$

II. Задаваясь значением z от максимума (25 см) до минимума (5 см), рассчитываем необходимые величины ω , f , a для $Q_{\max} = 0,08 \text{ м}^3/\text{сек} = \text{const}$ и $B = 23 \text{ см} = \text{const}$.

Расчетные величины	Перепад уровней, см					
	25	20	15	10	6	5
D , см	—	—	36,8	—	—	—
Ω , см ²	—	—	—	1060	—	—
$\omega_{\text{ист}}$, см ²	500	560	650	790	1000	1060
f_y , см ²	560	500	410	270	60	00
b , см	23	23	23	23	23	23
a , см	24	22	18	11,7	2,6	0

Принимаем длину рамы регулятора от центра тела до оси $R = 80 \text{ см}$ и расстояние от оси до пружины $r = 1/4 R = 20 \text{ см}$. Если тело регулятора снизу ограничить поверхностью, очерченной радиусом $R + \frac{a}{2} = 80 + \frac{24}{2} = 92 \text{ см}$, и принять ширину тела $B = 23 \text{ см}$ постоянной, то получим ординаты тела регулятора (рис. 2), начиная с вертикального положения рамы-рычага при $z_{\max} = 25 \text{ см}$. При этом сечение тела регулятора в плоскости отверстия в стенке должно составлять $24 \times 23 \text{ см}$. Если ход тела регулятора по дуге радиуса $R + \frac{a}{2}$ считать $l_{\text{тр}} = z_c$, то можно определить положение сечений при $z = 20, 15, 10, 6, 5 \text{ см}$.

III. Расчет пружины производим так: выясняем равнодействующую давления на тело регулятора при $z_{\max} = 25 \text{ см}$;

$$P = \gamma f_y \cdot z_{\max} \cdot \left(0,75 + \frac{z}{D}\right) = 0,001 \times 560 \times 25 \left(0,75 + \frac{25}{36,8}\right) = 20 \text{ кг},$$

где $f_y = 24 \times 23 = 560 \text{ см}^2$ — площадь проекции тела регулятора на вертикальную плоскость.

Сила растяжения пружины $N = 4P = 4 \times 20 = 80 \text{ кг}$.

Максимальное растяжение пружины

$$\Delta l = z_{\max} \cdot \frac{R}{2(2R + a)} = 25 \frac{80}{2(2 \times 80 + 24)} = 5,50 = 55 \text{ мм}.$$

Относительное удлинение пружины на 1 кг

$$h = \frac{\Delta l_{\text{пр}}}{N} = \frac{55}{80} = 0,70;$$

диаметр пружины при диаметре проволоки равном 5,5 мм

$$D = \frac{16d^3}{N} = \frac{16 \times 5,5}{80} = 33 \text{ мм}; \quad \frac{D}{d} = 6 > 4;$$

число витков

$$n = \frac{100 \cdot d^4 \cdot h}{D^3} = \frac{100 \times 5,5^4 \times 0,7}{33^3} = 18.$$

После изготовления пружины ее необходимо протарировать весовым способом для получения фактической характеристики $\Delta l_{\text{пр}} f(N)$ и уточнить форму тела регулятора (расположение сечений по дуге радиуса $R + \frac{a}{2}$).

Пружинный автомат расхода («ПАР») для трубчатых водовыпусков без шахты рекомендуем применять для участков и временных оросителей с расходом до 200 л/сек, с перепадами от 5 до 25 (30) см, а при применении трубчатых водовыпусков с шахтой «ПАР» можно запроектировать для внутрихозяйственной сети с расходом до 400 л/сек.

КОНСТРУКЦИЯ АВТОМАТА

Автомат расхода для трубчатых водовыпусков на расход 20—80 л/сек состоит из следующих элементов (рис. 2).

1. Оси регулятора — 1 ($d=15$ мм); рамы-рычага из стоек — 2 ($\angle 2$); поперечины — 3 ($\angle 2$); рамки — 4 ($\angle 2$), к которой шурупами привинчивается тело регулятора — 5. В середине поперечины для зацепа пружины делается отверстие ($d=8$ мм). Тело регулятора изготавливается из оцинкованного кровельного железа с пустотой. В передней и нижней части поплавка делается 4—6 отверстий ($d=10$ мм) для заполнения водой.

2. Цилиндрической пружины — 6 ($D=33$, $d=5,5$ мм, число рабочих витков $n=18$) с болтом ($d=8$) и гайкой — 7 (головка болта имеет вид проушины, $d=7-8$ мм).

3. Кронштейна — 8 ($\angle 3$), к которому приваривается пластинка — 10 ($150 \times 50 \times 5$) с прорезью (25×10) для болта; пластинки — 9 ($460 \times 50 \times 5$) привариваемой к уголку рамы щита; на середине пластинки монтируется кронштейн.

4. Рамы щита — 11 ($\angle 3$); к раме с внутренней стороны приваривается уголок — 12 ($\angle 2$) для образования пазов для щитка — 16. При этом правый и левый уголок обрывается и выше делается передвижной уголок — 17 с продольными прорезями (30×12) для болтов ($d=10$ мм) (см. деталь узла на рис. 2). Ось 1 фиксируется муфтами — 18 с упорными винтами.

5. Щитка — 16 ($420 \times 400 \times 4$) с вырезом по низу ($236 \times 5 \times 4$) с осью — 15 ($d=15$ мм) для ручной регулировки расхода воды и полного закрытия автомата.

ЭКСПЛИКАЦИЯ К АВТОМАТУ ПОСТОЯННОГО РАСХОДА ПАР-30/80 ДЛЯ ТРУБЧАТЫХ ВЫПУСКОВ (РИС. 2)

Ось, $d = 15$ мм, $l = 500$ мм	1	Сталь 3
Стойка рамы-рычага, $l = 920$ мм	2	$\angle$ № 2
Уголок, $l = 1150$	2	$\angle$ № 3
Уголок для паза $l = 900$	2	$\angle$ № 2
Поперечный уголок для пружины $l = 230$	1	$\angle$ № 2
Тело регулятора	1	Оцинкованное железо

Пружина $d = 5,5$ $D = 33$		Пружинная сталь Г9
Число витков $n = 18$	1	
Болт с гайкой для пружины, $l = 100$	1	М8
Уголок кронштейна $l = 320$	1	$\angle$ № 3
Пластина для крепления кронштейна ($400 \times 50 \times 5$)	1	Сталь 3
Верхний ригель $l = 460$	1	$\angle$ № 6,5
Болты с гайками $l = 50$	8	М10
Щиток ($420 \times 400 \times 4$) с вырезом по низу	1	Сталь 3
Ось щитка $l = 750$ m $d = 15$ мм	1	Сталь 3
Ручка $d = 15$ $l = 300$	1	Сталь 3
Передвижной уголок $l = 105$	2	$\angle$ № 6
Шурупы $l = 5$ мм	10	Сталь 3

Для предотвращения коррозии рама окрашивается, при эксплуатации смазываются маслом кронштейн, тело регулятора, пружина, винт подъемника, болты. Перед установкой автоматов на местах их применения должны быть подготовлены бетонные, блочные или монолитные трубчатые выпуски. Один автомат ПАР можно использовать на нескольких водовыпусках. Для этого он заделывается временно в пазах сооружения так, чтобы его можно было перенести в другой водовыпуск. Если автомат смонтирован постоянно, то для защиты его можно установить перед регулятором решетку с крышей. Кроме того, решетка предохраняет автомат от крупного мусора.

И. Б. ЧИЖ

АЛГЕБРА МАТРИЦ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СХЕМ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ¹

В работе [1] были даны основы расчета водораспределения в схемах ирригационных каналов, представляющих собой старший канал с водовыпусками. В данной статье мы обращаемся к анализу и расчету схем, содержащих каналы разных порядков. Для сокращения выкладок при расчетах и компактности записей нами введена специальная алгебра матриц водовыпусков и расходов.

АЛГЕБРА МАТРИЦ, ВОДОВЫПУСКОВ И РАСХОДОВ

Будем рассматривать множество прямоугольных таблиц вида

$$\begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix}$$

квадратных таблиц вида

$$\begin{bmatrix} y & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

которые назовем соответственно матрицами расходов и матрицами водовыпусков. Числа x , y , z , 0 и 1 — элементы матриц. Матрицы расходов равны тогда и только тогда, когда y у них равны x . Аналогично, матрицы водовыпусков равны тогда и только тогда, когда элементы y и z одной матрицы соответственно равны элементам y и z другой:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$x_1 = x_2$$

$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$y_1 = y_2; \quad z_1 = z_2$$

Суммой матриц расходов

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ и } \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

¹ Некоторые положения настоящей статьи были кратко изложены автором в предыдущем сообщении [2].

назовем такую матрицу расходов

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ 1 \end{bmatrix},$$

элемент x_3 которой равен

$$x_3 = x_1 + x_2.$$

Сумма двух матриц расходов записывается так:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_3 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Суммой матриц водовыпусков

$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ и } \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

назовем матрицу водовыпусков

$$\begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

у которой

$$y_3 = y_1 + y_2$$

и

$$z_3 = z_1 + z_2$$

и примем следующую запись:

$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Из справедливости коммутативного и ассоциативного законов для сумм элементов матриц и водовыпусков вытекает справедливость тех же законов для самих матриц.

Коммутативный закон для сложения:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Ассоциативный закон для сложения¹:

$$\left(\begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} x_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_3 \\ 1 \end{bmatrix} \right).$$

$$\left(\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right).$$

¹ Круглые скобки, как и в обычной алгебре, устанавливают порядок действий.

Вычесть из матрицы расхода

$$\begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix}$$

матрицу расхода

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

значит образовать матрицу

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix},$$

у которой

$$x_2 = x \neg x_1;$$

а из матрицы водовыпуска

$$\begin{bmatrix} y & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

вычесть матрицу водовыпуска

$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

— получить матрицу

$$\begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

у которой

$$y_2 = y \neg y_1,$$

$$z_2 = z \neg z_1.$$

Вычитание матриц записывается следующим образом:

$$\begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix},$$
$$\begin{bmatrix} y & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Справедливы равенства

и

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \neg x_2 \\ 1 \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \neg y_2 & \neg z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Произведение двух матриц водовыпусков

$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

есть матрица

$$\begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

элементы y_3 и z_3 которой равны

$$y_3 = y_1 y_2,$$

$$z_3 = y_1 z_2 + z_1.$$

Коммутативный закон для произведения двух матриц водовыпусков несправедлив, т. е. в общем случае

$$\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Поэтому различаем умножение матрицы водовыпуска на матрицу водовыпуска справа и слева. Существует ассоциативный закон для умножения матриц водовыпусков:

$$\left(\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right).$$

Матрица водовыпуска может быть умножена справа на матрицу расхода:

$$\begin{bmatrix} y & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

где

$$x_1 = yx + z.$$

В результате умножения получаем матрицу расхода.

Действует также дистрибутивный закон:

$$\begin{aligned} & \left(\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Однако при $z_3 \neq 0$

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \neq \\ & \neq \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_3 & z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

справедливо равенство

$$\begin{aligned} & \left(\begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} y_1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_2 & z_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Матрица водовыпуска

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = E$$

называется единичной.

По определению, обратной матрицей водовыпуска является

$$\begin{bmatrix} y & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{y} & -\frac{z}{y} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица водовыпуска, у которой элемент $y=0$, называется особенной. Особенная матрица не имеет обратной матрицы. При умножении матрицы водовыпуска справа или слева на ее обратную матрицу в произведении получается единичная матрица. Обратную матрицу не имеет только та матрица, у которой элемент $y=0$.

Установленные выше операции над матрицами вновь приводят к матрицам рассматриваемых типов. Легко видеть, что алгебра матриц водовыпусков и расходов отличается от обычной матричной алгебры законами сложения, вычитания, а также особенностью дистрибутивного закона.

ЗВЕЗДА

Пусть узел вододеления содержит один подводящий и m отводящих каналов. Введем обозначения: Q_{i-1} и Q_i — расходы воды в старшем канале соответственно выше и ниже i -го узла вододеления; G_{ij} — расход воды в j -том водовыпуске i -го узла вододеления. Будем рассматривать водовыпуски, имеющие

$$G_{ij} = e_{ij}^* Q_i + f_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, m-1), \quad (1)$$

где e_{ij}^* и f_{ij} — параметры.

Выполнение условия (1), при отсутствии у водовыпусков необходимых свойств, можно обеспечить установкой автоматических регуляторов постоянного расхода воды, пропорциональных делителей и другими мерами. Узел вододеления, имеющий один подводящий и m отводящих каналов, удовлетворяющих требованию (1), называем звездой $1+m$ (рис. 1). Водовыпуски, входящие в звезду — лучи звезды. Правильный водовыпуск есть звезда $1+2$; для него применяем те же обозначения, что и для звезды $1+m$, но опускаем звездочки.

Воспользовавшись условием неразрывности

$$Q_{i-1} = Q_i + \sum_{j=1}^{m-1} G_{ij} \quad (2)$$

и выражением (1), получаем

$$Q_{i-1} = a_i^* Q_i + b_i^* \quad (3)$$

$$G_{ij} = c_{ij} Q_{i-1} + d_{ij}^* \quad (4)$$

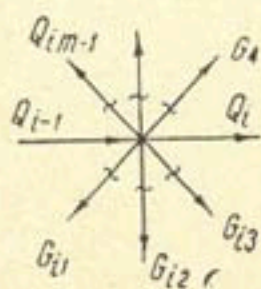


Рис. 1. Звезда $1+m$

где a_i^* , b_i^* , c_{ij}^* , d_{ij}^* — величины, не зависящие от расходов воды. Введем в рассмотрение Λ^* -, Ξ^* - и K^* - матрицы звезды $1 + m$:

$$\Lambda_i^* = \begin{bmatrix} a_i^* & b_i^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\Xi_{ij}^* = \begin{bmatrix} c_{ij}^* & d_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$K_{ij}^* = \begin{bmatrix} e_{ij}^* & f_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Элементы этих матриц суть Λ^* -, Ξ^* - и K^* - параметры звезды $1 + m$.

Воспользовавшись алгеброй матриц водовыпусков и расходов, напомним следующие равенства:

$$\begin{bmatrix} Q_{i-1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i^* & b_i^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} G_{ij} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{ij}^* & d_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_{i-1} \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} G_{ij} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{ij}^* & f_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} Q_{i-1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_i \\ 1 \end{bmatrix} + \sum_{j=1}^{m-1} \begin{bmatrix} G_{ij} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Используя эти выражения, найдем связи между различными типами матриц.

$$K_{ij}^* = \Xi_{ij}^* \Lambda_i^* \quad (j = 1, 2, \dots, m-1), \quad (12)$$

$$\Lambda_i^* = \left(E - \sum_{s=1}^{m-1} \Xi_{is}^* \right)^{-1}, \quad (13)$$

$$\Lambda_i^* = E + \sum_{s=1}^{m-1} K_{is}^*, \quad (14)$$

$$\Xi_{ij}^* = K_{ij}^* \left(E + \sum_{s=1}^{m-1} K_{is}^* \right)^{-1} \quad (j = 1, 2, \dots, m-1), \quad (15)$$

$$K_{ij}^* = \Xi_{ij}^* \left(E - \sum_{s=1}^{m-1} \Xi_{is}^* \right)^{-1} \quad (j = 1, 2, \dots, m-1). \quad (16)$$

Выражения (13) — (16) показывают, что можно обойтись только Ξ^* - или K^* -матрицей, так как от них можно перейти к матрице любого типа¹. Λ^* -матрицу звезды $1 + m$, где $m \geq 3$, нельзя выразить через матрицы других типов. Для звезды $1 + 2$, т. е. для правильного водовыпуска, возможен переход между любыми матрицами:

¹ Подразумевается, что матрицы в необходимых случаях неособенные.

$$\Lambda_i = (E - \Xi_i)^{-1} = K_i + E, \quad (17)$$

$$\Xi_{ij} = \Xi_i = E - \Lambda_i^{-1} = K_i (E + K_i)^{-1}, \quad (18)$$

$$K_{ij} = K_i = \Lambda_i - E = \Xi_i (E - \Xi_i)^{-1}. \quad (19)$$

Формулы (13) — (19) устанавливают также связи между Λ^* -, Ξ^* - и K^* -параметрами звезды.

При перекрытии всех лучей, кроме одного j -того, получаем одиночный правильный водовыпуск. Так как этот водовыпуск продолжает осуществлять забор воды по тому же закону, что и в состоянии звезды, то

$$G_{ij} = e_{ij} Q_i + f_{ij}, \quad (20)$$

где параметры e_{ij} и f_{ij} имеют следующие значения:

$$e_{ij} = e_{ij}^*, \quad (21)$$

$$f_{ij} = f_{ij}^*. \quad (22)$$

Эти два равенства позволяют перекинуть мостик связи между всеми параметрами звезды и всеми параметрами одиночных водовыпусков.

$$\begin{bmatrix} e_{ij}^* & f_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{ij} & f_{ij} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(1 - a_{ij}) & b_{ij} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{c_{ij}}{1 - c_{ij}} & \frac{d_{ij}}{1 - c_{ij}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a_i^* & b_i^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 2 - m + \sum_{s=1}^{s=m-1} a_{is} & \sum_{s=1}^{s=m-1} b_{is} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} 1 + \sum_{s=1}^{s=m-1} \frac{c_{is}}{1 - c_{is}} & \sum_{s=1}^{s=m-1} \frac{d_{is}}{1 - c_{is}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} 1 + \sum_{s=1}^{s=m-1} e_{is} & \sum_{s=1}^{s=m-1} f_{is} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} c_{ij}^* & d_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{1 - a_{ij}}{2 - m + \sum_{s=1}^{s=m-1} a_{is}} & \frac{(1 - a_{ij}) \sum_{s=1}^{s=m-1} b_{is}}{2 - m + \sum_{s=1}^{s=m-1} a_{is}} + b_{ij} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \frac{c_{ij}}{(1 - c_{ij}) \left(1 + \sum_{s=1}^{s=m-1} \frac{c_{is}}{1 - c_{is}} \right)} - \frac{c_{ij} \sum_{s=1}^{s=m-1} \frac{d_{is}}{1 - c_{is}}}{(1 - c_{ij}) \left(1 + \sum_{s=1}^{s=m-1} \frac{c_{is}}{1 - c_{is}} \right)} + \frac{d_{ij}}{1 - c_{ij}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \end{aligned}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{e_{ij}}{1 + \sum_{s=1}^{s=m-1} e_{is}} - \frac{e_{ij} \sum_{s=1}^{s=m-1} f_{is}}{1 + \sum_{s=1}^{s=m-1} e_{is}} + f_{ij} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

И наоборот, Λ -, Ξ - и K -параметры одиночных водовыпусков могут быть найдены по известным параметрам звезды

$$\begin{bmatrix} a_{ij} & b_{ij} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{c_{ij}^*}{1 - \sum_{s=1}^{s=m-1} c_{is}^*} - \frac{c_{ij}^* \sum_{s=1}^{s=m-1} d_{is}^*}{1 - \sum_{s=1}^{s=m-1} c_{is}^*} + d_{ij}^* \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + e_{ij}^* & f_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$\begin{bmatrix} c_{ij} & d_{ij} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{c_{ij}^*}{1 - \sum_{s=1}^{s=m-1} c_{is}^* + c_{ij}^*} - \frac{c_{ij}^* \sum_{s=1}^{s=m-1} d_{is}^* - d_{ij}^* \sum_{s=1}^{s=m-1} c_{is}^* + d_{ij}^*}{1 - \sum_{s=1}^{s=m-1} c_{is}^* + c_{ij}^*} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e_{ij}^*}{1 + e_{ij}^*} & \frac{f_{ij}^*}{1 + e_{ij}^*} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\begin{bmatrix} e_{ij} & f_{ij} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{c_{ij}^*}{1 - \sum_{s=1}^{s=m-1} c_{is}^*} - \frac{c_{ij}^* \sum_{s=1}^{s=m-1} d_{is}^*}{1 - \sum_{s=1}^{s=m-1} c_{is}^*} + d_{ij}^* \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{ij}^* & f_{ij}^* \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Параметры одиночного водовыпуска нельзя определить по Λ^* -параметрам звезды $1+m$, где $m \geq 3$.

То, что параметры звезды выражаются через параметры одиночных правильных водовыпусков, дает основание считать звезду особым соединением последних.

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Два последовательно расположенные водовыпуска можно поменять местами, не изменяя расхода в них, а также в старшем канале выше и ниже обоих водовыпусков. Такое преобразование назовем перестановкой водовыпусков. Для того чтобы схему a (рис. 2) преобразовать в схему b с сохранением равенств расходов воды

$Q_{i+1} = Q_{s+1}$, $G_i = G_{s+1}$, $G_{i+1} = G_s$, $Q_{i-1} = Q_{s-1}$, т. е. сделать перестановку водовыпусков, необходимо и достаточно соблюсти зависимости

$$\Xi_s = \Xi_{i+1} \Lambda_i^{-1} \quad (1)$$

и

$$\Xi_{s+1} = \Xi_i (E - \Xi_{i+1} \Lambda_i^{-1})^{-1} \quad (2)$$

при условии

$$Q_{i-1} = Q_{s-1}.$$

Схема параллельно соединенных водовыпусков (рис. 3) эквивалентна правильному водовыпуску с Ξ -матрицей, равной

$$\Xi_\beta = \sum_{j=1}^{j=n} \Xi_j \Lambda^{-1}, \quad (3)$$

$$\Lambda = \prod_{s=1}^{s=i-1} \Lambda_s,$$

причем,

$$\prod_{s=1}^{s=0} \Lambda_s = E.$$

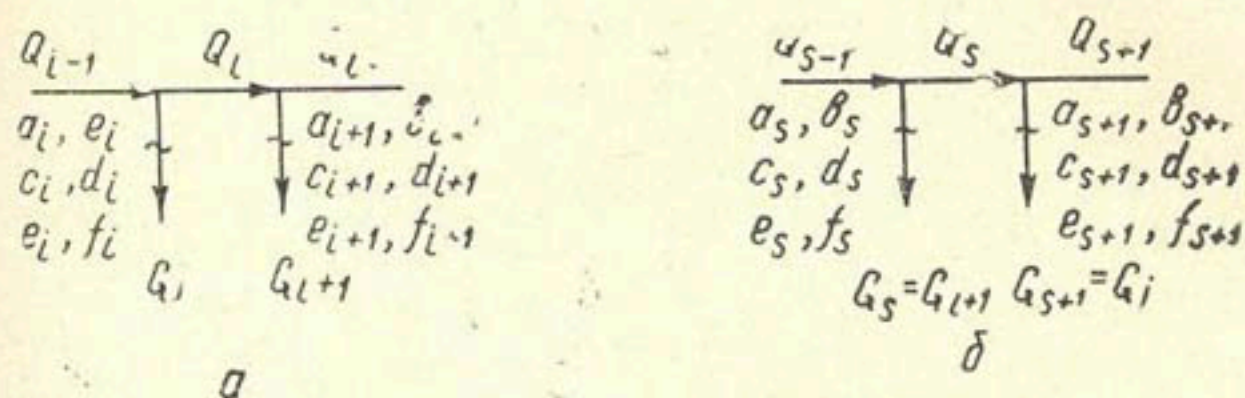


Рис. 2. Перестановка водовыпусков.

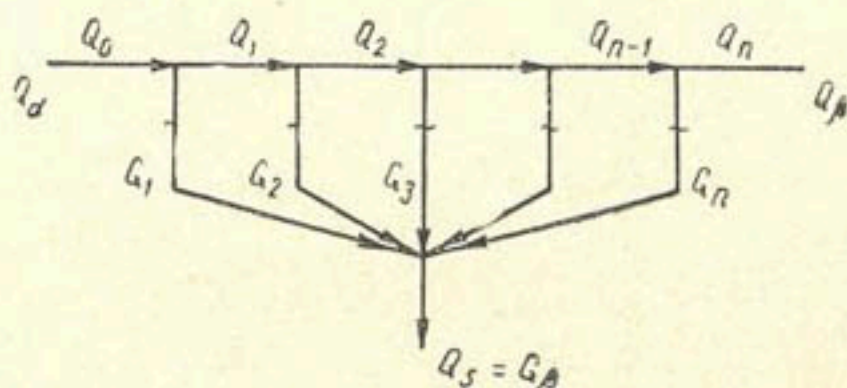


Рис. 3. Параллельное соединение водовыпусков.

Схему с n последовательно расположенными водовыпусками можно заменить одним правильным водовыпуском с Λ -матрицей:

$$\Lambda_n = \prod_{s=1}^{s=n} \Lambda_s.$$

Такая замена, называемая объединением водовыпусков, эквивалентна только по отношению расходов воды в старшем канале.

Преобразовать две последовательно расположенные звезды (рис. 4, а) в одну звезду (рис. 4, б), значит перейти к новой структуре, сохранив равенство расходов воды в исходной и преобразованной схемах:

$$\begin{aligned} Q_{i+1} &= Q_s, \\ G_{lj} &= G_{sj} \quad (j = 1, 2, \dots, m-1), \\ G_{i+1,j} &= G_{s,j+m-1} \quad (j = 1, 2, \dots, n-1), \\ Q_{i-1} &= Q_{s-1} \end{aligned}$$

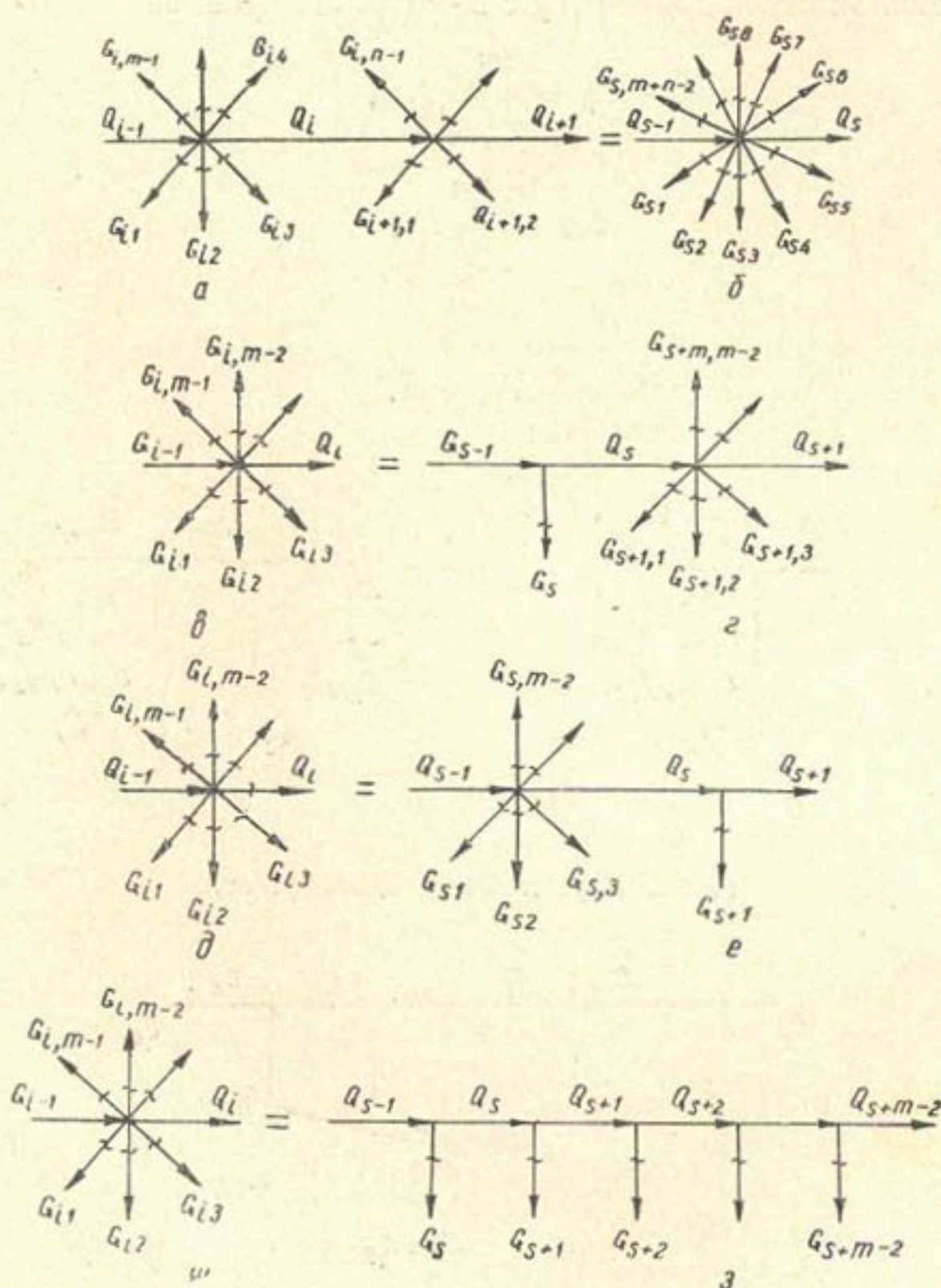


Рис. 4. Эквивалентные преобразования.

Для такого преобразования необходимо и достаточно соблюдения равенства

$$\Xi_{sj}^* = \Xi_{lj}^* \quad (j = 1, 2, \dots, m-1), \quad (5)$$

$$\Xi_{s,j+m-1}^* = \Xi_{i+1,j}^* \Lambda_i^{*-1} \quad (j = 1, 2, \dots, n-1) \quad (6)$$

при

$$Q_{i-1} = Q_{s-1}$$

Мы скажем, что схема, изображенная на рис. 4, в преобразована в схему, представленную на рис. 4, г, если существуют равенства расходов воды

$$\begin{aligned} Q_{i-1} &= Q_{s-1}; \quad Q_i = Q_{s+1}; \quad G_{i,m-1} = G_s; \\ G_{ij} &= G_{s+1,j} \quad (j = 1, 2, \dots, m-2). \end{aligned}$$

Одно из этих равенств выполняется автоматически при наличии других.

Для преобразования схемы в в схему г (рис. 4) необходимо и достаточно в последней положить для водовыпуска

$$\Xi_s = \Xi_{i,m-1}^* \quad (7)$$

и для звезды

$$\Xi_{s+1,j}^* = \Xi_{ij}^* \Lambda_s \quad (j = 1, 2, \dots, m-2), \quad (8)$$

а также

$$Q_{i-1} = Q_{s-1}.$$

Используя эту теорему, мы от звезды отщипываем луч слева. Можно произвести и отщипление луча справа (рис. 4 д и е). Для этого необходимо и достаточно соблюдение для водовыпуска равенства

$$\Xi_{s+1} = \Xi_{i,m-1}^* \Lambda_s^*; \quad (9)$$

для звезды —

$$\Xi_{sj}^* = \Xi_{ij}^* \quad (j = 1, 2, \dots, m-2) \quad (10)$$

при

$$Q_{i-1} = Q_{s-1}.$$

Выражения (7) — (10) содержат необходимые данные и для обратных преобразований последовательно расположенных водовыпусков и звезды только в звезду.

Производя отщипление от звезды луча за лучом (слева или справа), приходим в конце концов к схеме с последовательно расположенными водовыпусками.

Звезду можно и непосредственно преобразовать в схему с последовательно расположенными водовыпусками. Параметры схемы з (рис. 4), представляющей собой преобразованную звезду (схема ж), определяются матричным равенством¹:

$$\Xi_{s+j-1} = \Xi_{ij}^* \prod_{l=s}^{l=s+j-2} \Lambda_l \quad (j = 1, 2, \dots, m-1). \quad (11)$$

Этой формулой при расчетах следует пользоваться как рекуррентной.

Для преобразования схемы с последовательно расположенными водовыпусками в звезду необходимо и достаточно параметры звезды определить через матрицы водовыпусков:

$$\Xi_{ij}^* = \Xi_{s+j-1} \Lambda^{-1} \quad (j = 1, 2, \dots, m-1), \quad (12)$$

где

$$\Lambda = \prod_{l=s}^{l=s+j-2} \Lambda_l.$$

¹ Когда у знака произведения верхние пределы меньше нижних, произведение равно единичной матрице.

Обычно старшим считают канал, расходы воды в котором больше, чем в отводящем (младшем) канале. Для структурного анализа схем деление на старшие и младшие каналы условно. Любой из двух отводящих каналов в узле вододеления можно рассматривать как водовыпуск, что является свойством дуальности водовыпуска. Реальному узлу вододеления с двумя отводящими каналами можно сопоставить две схемы, отличающиеся отводящим каналом, играющим в расчетах роль водовыпуска.

Матрицы дуальных водовыпусков связаны следующим образом (матрицы одной из дуальных схем отмечены черточкой сверху):

$$\bar{\Lambda}_i = \Xi_i^{-1} = (E - \Lambda_i^{-1})^{-1} = (K_i + E) K_i^{i-1} = E + K_i^{i-1},$$

$$\bar{\Xi}_i = \Lambda_i^{-1} = E - \Xi_i = (E + K_i)^{-1},$$

$$\bar{K}_i = K_i^{-1} = (\Lambda_i - E)^{-1} = (\Xi_i - E) \Xi_i^{-1} = \Xi_i^{-1} - E.$$

Схемы, в которых все или часть водовыпусков одной схемы дуальны по отношению водовыпусков другой, назовем дуальными. Ввиду наличия связи между параметрами и расходами воды в дуальных схемах, расчеты одной схемы можно заменить другой. Но дуальное преобразование возможно не во всех случаях из-за обращения некоторых параметров в бесконечность.

Перейдем к свойству дуальности у звезды. Дуальная схема звезды получается тогда, когда участок старшего канала, расположенный ниже узла вододеления, и один из лучей звезды меняются ролями. Часть старшего канала, ставшая k -тым лучем звезды, имеет матрицу

$$\bar{\Xi}_{ik}^* = \Lambda_i^{*-1},$$

остальные лучи преобразованной звезды —

$$\bar{\Xi}_{ij}^* = \Xi_{ij}^*,$$

где матрицы с черточкой сверху — матрицы лучей одной из дуальных звезд.

Можно было бы указать на ряд других структурных преобразований, но и приведенные уже позволяют значительно изменять схемы.

Сущность использования эквивалентных преобразований для расчета водораспределения заключается в следующем. Исходную схему подвергаем трансформации с целью упрощения отдельных ее частей; это достигается заменой сложных структур более простыми эквивалентными. Этот прием употребляем многократно, пока не приходим к схеме, в которой ответ на интересующий вопрос делается очевидным или схема достаточно не упростится для расчета.

Кроме того, структурные преобразования могут применяться для решения различных вопросов при проектировании. Эти преобразования дают проектировщику ряд вариантов схем с одинаковыми расходами воды в заданных створах, из которых можно выбрать наиболее подходящую. К пересмотру структуры схемы проектировщик может быть даже вынужден. Дело в том, что наряду с эксплуатационными требованиями он должен учитывать возможность реального осуществления схемы с теми или иными параметрами. Производя такие преобразования, как замена последовательно расположенных водовыпусков звездой, отщипление луча от звезды и т. д., проектировщик может найти реально осуществимые параметры водовыпусков и лучей звезды. По-

сколько структурные преобразования изменяют параметры водовыпусков, а последние определяют конструктивные особенности сооружений и их экономические показатели, можно утверждать, что структурные преобразования дают также проектировщику средство для получения экономичных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ч и ж И. Б. Основы расчета водораспределения в ирригационных каналах с правильными водовыпусками, «Вопросы гидротехники», Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962, № 10.
 2. Ч и ж И. Б. Структурные преобразования схем ирригационных каналов с правильными водовыпусками, ДАН УзССР, Ташкент, 1966, № 2.
-

О. А. ЛУКИНСКИЙ

НАТУРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ УЗССР

Для обобщения опытов применения сборного железобетона в ирригационном строительстве в течение 1962—1963 гг. в лаборатории сборных конструкций САНИИРИ проводились натурные обследования предприятий железобетонных изделий МВХ УзССР и сооружений на оросительной сети Узбекистана.

Сборный железобетон в водном хозяйстве используется уже более 12 лет, поэтому назрела необходимость не только обобщить опыт применения сборных конструкций, но и выяснить причины и формы деформаций и разрушений сборных и сборно-монолитных сетевых сооружений. Результаты этого обобщения могут быть приняты к сведению проектирующими, строительными и эксплуатационными организациями для предотвращения и ликвидации деформаций и разрушений ирригационных сооружений.

При исследовании явлений деформаций сооружений анализировались проектные решения — обоснование целесообразности выбора того или иного типа сооружения, правильность гидравлических и статических расчетов, организация и производство строительных работ, а также выяснялось, в какой степени сооружения в натуре соответствуют проекту в частном случае и требованиям аналогичного типового проекта вообще.

Для получения более полных данных, характеризующих работу сооружений, обследования проводились до и после вегетационного (поливного) периода. Частично разбирались элементы некоторых сооружений и вскрывались швы для определения надежности и соответствия проектным требованиям.

На большую часть характерных сооружений составлены паспорта с подробными характеристиками проектных, строительных и эксплуатационных данных с приложением схематических рисунков и фотографий.

На оросительных системах изучались сборные, сборно-монолитные и для получения сравнительных данных монолитные сооружения различного назначения (водовыпуски, узлы сооружений, предназначенные для вододеления, регулирования расходов и горизонтов воды, автодорожные переезды и сооружения, работающие по сопряжению бьефов.)

Выяснилось, что основные причины деформаций и разрушений гидросооружений — размывы и подмывы в нижнем бьефе, расстройство швов в сопряжениях отдельных частей (элементов) сооружений, дефор-

мации оснований и нарушение правил строительства и эксплуатации, причем, как правило, все эти факторы действуют в совокупности.

Из 568 гидросооружений в земляных руслах каналов Ферганской, Самаркандской и Андижанской областей на 225 наблюдался интенсивный размыв нижнего бьефа.

Установлено, что самыми распространенными средствами борьбы с размывами являются применение водобойных колодцев, а также шашек и пирсов в сочетании с водобойными колодцами; крепление дна и откосов (монолитным бетоном, армобетонными плитами и блоками различных конфигураций и габаритов, каменной или гравийной от-

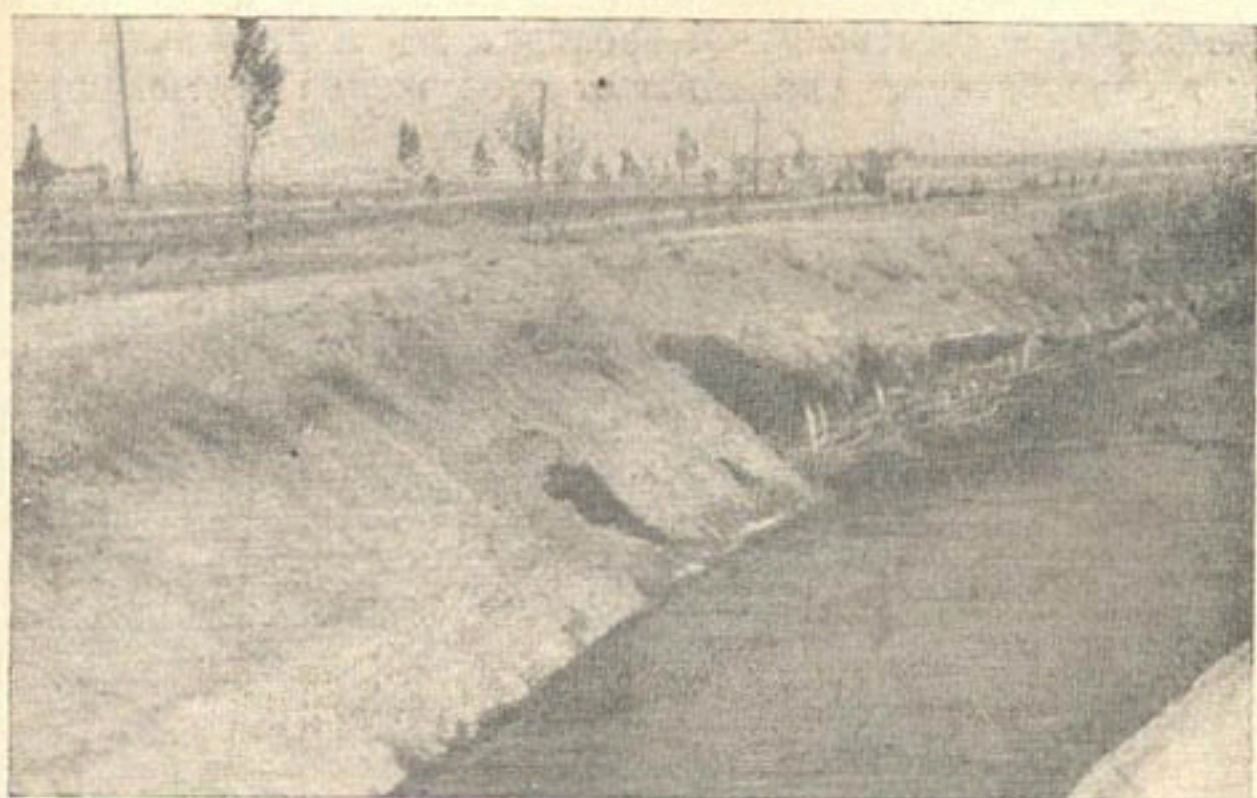


Рис. 1.

мосткой в железобетонных клетках); каменно-хворостяное крепление и обсадка дамб канала растительностью.

Перечисленные конструкции креплений и гасителей обычно выполняются кустарными методами, требуют постоянного ухода (что при огромном количестве и разбросанности гидросооружений практически невыполнимо) и главное — не предотвращают размыва (рис. 1). Водобойные колодцы, даже построенные согласно расчетам, часто не обеспечивают полного гашения избыточной кинетической энергии потока, а крепления откосов и дна не отвечают требованиям, предъявляемым к гасителям. Наглядный пример — авария на Правобережном канале в Самаркандской области, когда построенные зимой 1962 г. восемь транзитных перепадов разрушились после первой же вегетации вследствие следующих причин:

- 1) недостаточное гашение избыточной кинетической энергии водного потока в нижнем бьефе (водобойные колодцы, запроектированные экспедицией 4 «Узгипроводхоза», не обеспечили полного гашения энергии водного потока);

- 2) низкое качество строительно-монтажных работ, выполненных СМУ СамоблУОСа (например, прочность бетона, уложенного при температуре —10°C и ниже с нарушением технических условий, не соответствовала ни расчетной, ни нормативной;

- 3) при строительстве завышен уклон дна канала за перепадами и увеличена ширина русла, что привело к снижению горизонтов воды

тели, конструкция которых усовершенствована «Узгипроводхозом» и утверждена в качестве типового проекта для сборных трубчатых сооружений с расходом $0,2 \leq Q \leq 10,0 \text{ м}^3/\text{сек}$ и перепадом $0,1 \leq Z \leq 1,5 \text{ м}$ (рис. 2). Целесообразность применения таких гасителей обусловливается повышением эксплуатационных качеств (не требуется периодический ремонт нижнего бьефа) и значительным снижением расходов бетона (более 40%) на 1 м^3 пропускной способности сооружения. На тех сооружениях, где применялись гасители, исключаяющие крепление нижнего бьефа, размыв не зафиксирован (рис. 3).

На полигоне треста Мирзачульводстрой в пос. «Вахт» освоена поточно-агрегатная технология изготовления железобетонных коробчатых гасителей, цена которых не превышает цены за оголовки обычного типа.

Для устранения крепления нижнего бьефа САНИИРИ разработана конструкция насадка на выходную часть трубчатых сооружений.

Насадок — труба, концу которой (на расстоянии половины диаметра от конца) придается форма полуцилиндра, оканчивающегося кольцевой диафрагмой высотой $0,15 d$. Насадок устраняет сбойность течения и вызываемые этим опасные размывы в нижнем бьефе; крепить бьеф уже не требуется, так как растекающийся поток наибольшей скоростью обладает у поверхности и окружается со стороны дна и откосов слоем воды, движущейся с малыми скоростями в сторону сооружения.

С применением такой конструкции в нижнем бьефе «Средазгипроводхлопком» разработаны типовые проекты сборных трубчатых регуляторов на расход $Q_{\phi} \leq 10 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Важнейшая причина недолговечности работы гидросооружений, особенно сборных, — расстройство швов между отдельными частями (элементами) сооружений, что также способствует потере оросительной воды, разрушению сооружений и заболачиванию территории. Швы расстраиваются вследствие разрушения материала уплотнения, в качестве которого используется цементный раствор и битум высоких марок. Вокруг гидросооружения всегда имеется фильтрационный поток, который при некачественно выполненных швах резко усиливается из-за утечки воды через щели; грунт основания деформируется (особенно характерно это для просадочных грунтов), или суффозирует, что влечет за собой деформации как отдельных элементов, так и сооружений в целом (рис. 4).

Шов на цементном растворе получается жестким и хрупким, неспо-



Рис. 3.

способным воспринимать температурные и осадочные деформации стыкуемых элементов. Битумное уплотнение швов теряет свои гидроизоляционные свойства при отрицательной температуре окружающей среды, так как битум становится хрупким и разрушается при незначительной



Рис. 4.

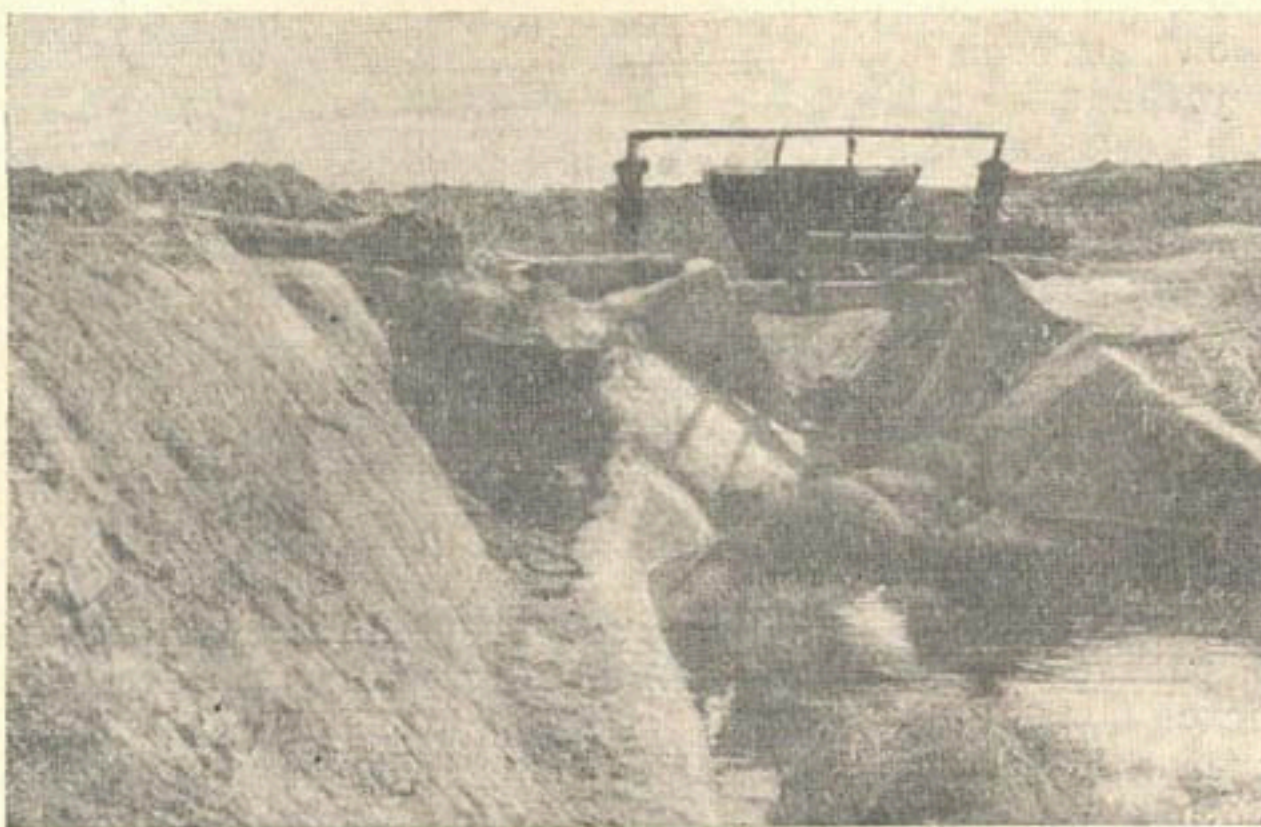


Рис. 5.

деформации стыкуемых элементов. В жаркое время года битум вытекает из полостей откосных швов.

Фильтрация сводится к минимуму в случае применения крупногабаритных и пространственных конструкций с тщательной герметизацией швов эластичными гидроизоляционными прокладками и мастиками, обеспечивающими гибкий и водонепроницаемый шов, способный воспринимать продольные и поперечные деформации.

Анализ строительства на массиве Центральной Ферганы показал, что применение пространственных конструкций способствует повышению темпов индустриализации строительства.

Причиной разрушения гидросооружений являются также деформации грунта оснований. Во многих областях УзССР встречаются просадочные лессовые мелкоземы; они преобладают в Ташкентской и Сурхандарьинской областях, в зоне Голодной степи и Центральной Ферганы. Просадочные явления — изменение структуры грунта под действием воды — распространяются неодинаково по длине и высоте, поэтому и отдельные части сооружений смещаются относительно друг

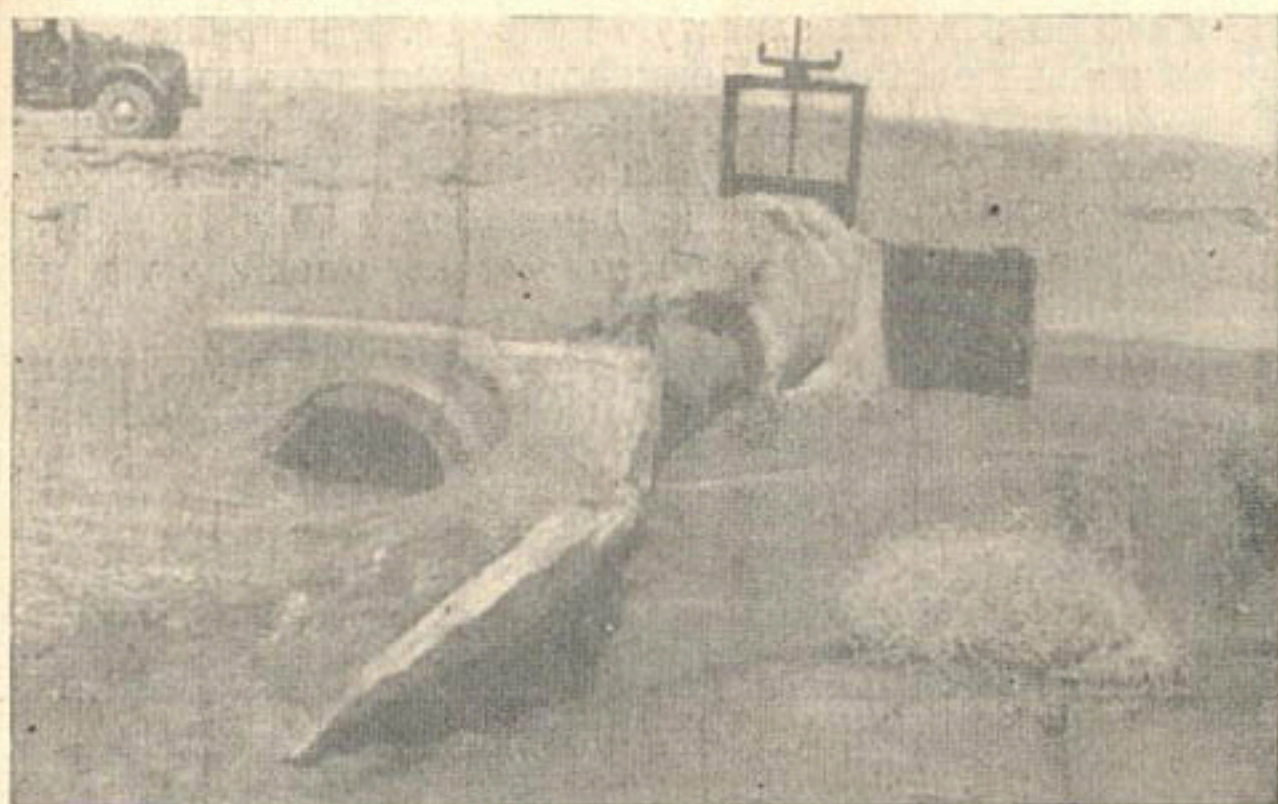


Рис. 6.

друга. Чаще всего просадки наблюдаются на внутрихозяйственных сооружениях с расходом $Q_{\text{ф}} \leq 5 \text{ м}^3/\text{сек}$, так как глубина залегания их фундаментов, как правило, выше отметки расположения непросадочного грунта (рис. 5).

Главная причина образования просадок заключается в том, что большинство сетевых гидросооружений строится «насухо» и без уплотнения основания. Строители заранее предполагают ремонт этих сооружений после пропуска воды, считая, что такой «метод» рациональнее, чем предварительная подготовка основания (из опыта строительства на целинных землях Центральной Ферганы).

Наблюдались случаи, когда гидросооружения (в основном внутрихозяйственные) деформировались еще до начала эксплуатации, так как после выпадения обильных атмосферных осадков сухой неуплотненный грунт основания, интенсивно впитывая воду, уплотнялся и проседал, в результате чего отдельные элементы сооружения, оставаясь без опоры, обрушивались под действием собственного веса.

При обследовании выяснилось, что большое количество гидросооружений построено на насыпном грунте (особенно на целинных землях Сурхандарьинской области), где чаще, чем на естественных основаниях, происходят деформации и разрушения сооружений вследствие просадок и осадок.

Просадка и осадка грунта основания наблюдалась также на лотковой оросительной сети в Голодной степи, где деформация грунта под опорами лотков достигает 0,2—0,3 м при допустимой 0,05 м.

На некоторых сооружениях деформации наблюдались вследствие недоброкачественно выполненной обратной засыпки, так как в качестве последней использовался грунт срезки растительного слоя. Такая засыпка не соответствует расчетному сопротивлению и деформируется. Следовательно, растительный слой грунта необходимо удалять с поверхности будущего котлована под сооружение с таким расчетом, чтобы он не использовался для последующей обратной засыпки.

Обследование показало, что описанные выше деформации сооружений — это сравнительно медленный процесс, который вследствие несвоевременности ремонта зачастую приводит к разрушениям (исключение — стихийные бедствия). Примером может служить канал Я-В-10 с $Q_{\phi}=10 \text{ м}^3/\text{сек}$ на массиве Центральной Ферганы, где невыполненный своевременно ремонт стыка оголовка с проводящей частью сооружения привел к прорыву дамбы канала на длине более 50 м (рис. 6). В результате из орошения был исключен массив площадью в несколько десятков гектаров.

При изучении технической документации по обследованным сооружениям выяснилось, что в большинстве областных управлений ороси-

Результаты обследования сетевых гидросооружений Узбекистана
(по состоянию на ноябрь 1963 г.)

Типы гидросооружений	Количество сооружений									
	наименование областей, обследованных в 1962—1963 гг.									
	Ташкентское УОС	Самаркандское УОС	Ферганское УОС	Голодно-степное УОС	Бухарское УОС	Андижанское УОС	МВХ КК АССР	Хорезмское УОС	Сырдарьинское УОС	Сурхандарьинское УОС
Сборные, блочные и сборно-монолитные:										
а — удовлетворительно работающие	32	36	72	8	3	28	2	—	22	28
б — требующие ремонта	73	30	60	12	18	84	2	2	6	24
в — разрушенные	15	20	8	—	5	8	28	6	—	—
г — построенные с отступлением от типовых проектов	75	70	120	—	26	90	4	8	20	—
Итого	120	86	140	20	26	120	32	8	28	52
Монолитные:										
а — удовлетворительно работающие										
б — требующие ремонта	8	50	25	12	12	12	6	18	1	14
в — разрушенные	12	62	21	2	12	20	10	10	3	6
г — построенные с перерасходом объема бетона на 10% и более против объемов, принятых в типовых проектах	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого	17	78	38	14	24	26	16	28	3	14
Итого	20	112	46	14	24	32	16	30	4	20
Всего обследовано сооружений	140	198	186	34	50	152	48	38	32	72
в том числе деформировались	100	112	89	14	35	112	40	20	9	30
Всего обследовано по годам	—	558	—	—	—	—	392	—	—	—
в том числе деформировались	—	315	—	—	—	—	246	—	—	—

тельных систем кадастровые данные отсутствуют или регулярно не пополняются. На каждое сооружение, находящееся на балансе эксплуатационников, необходим технический паспорт, куда, кроме проектных данных, следует заносить показания контрольных осмотров, сведения о текущих и капитальных ремонтах и замеченных деформациях.

Кроме основных причин, к деформациям и разрушениям гидросооружений приводят низкое качество строительно-монтажных работ, выполняемых зачастую с нарушением технических норм и правил; употребление бракованных деталей; ошибки при изысканиях и проектировании.

Описанные выше факторы привели к тому, что из 950 обследованных сооружений на 561 наблюдались деформации, в том числе 92 разрушилось (таблица).

На основании анализа данных наблюдений, проведенных в различных условиях, рекомендуются следующие меры для предупреждения деформаций сетевых сооружений:

1) для гашения избыточной кинетической энергии водного потока в нижнем бьефе применять экономичные и эффективные типы гасителей-растекателей, считая их неотъемлемой выходной частью сооружения (насадок САНИИРИ или коробчатые гасители «Узгипроводхоза»);

2) отказаться от применения цементного раствора для заделки швов и выполнять их на гидроизоляционных прокладках и мастиках, а в ответственных сооружениях применять пластмассы и высокопрочные клеи;

3) организовать систематические наблюдения за возведением и эксплуатацией сооружений, обобщая опыт по исследованию деформаций сооружений, для разработки конкретных мер предупреждения и ликвидации описанных выше явлений.

В данной статье изложены лишь некоторые характерные случаи с кратким анализом причин деформаций сооружений оросительных систем без подробного описания конструктивных решений и способов производства строительных работ — эти вопросы затронуты только с учетом тех мероприятий, которые могли бы предупредить деформации гидросооружений.

Н. П. ТУРУБАР, Т. В. АЛБЫЧЕВА

ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДАЛЬВАРЗИНСКОГО КАРЬЕРА НА СВОЙСТВА БЕТОНА ДЛЯ ЛОТКОВ-ВОДОВОДОВ

Широкое применение сборного железобетона в практике водохозяйственного строительства предъявляет к его компонентам, в частности к заполнителям, высокие требования.

Прочность заполнителей, степень их загрязненности и гранулометрический состав при минимальном расходе цемента должны обеспечить получение плотного водонепроницаемого бетона высоких марок.

Несмотря на то, что в большинстве случаев материалы, применяемые в качестве заполнителей, имеют удовлетворительные прочностные показатели и загрязненность их находится в пределах, допускаемых ГОСТом, вопросу фракционирования заполнителей должного внимания не уделяется.

Заводы, выпускающие железобетонные тонкостенные конструкции для нужд водохозяйственного строительства, в качестве заполнителей обычно используют гравий или щебень и промытый песок крупностью соответственно 5—20 и 0,15—5 мм, совершенно не учитывая возможности улучшения внутренней гранулометрии этих компонентов.

В настоящее время распространено мнение о необходимости использования щебня как обязательного компонента при изготовлении бетонов марки 300 и выше.

Преимущество щебня по сравнению с гравием объясняется высокой степенью шероховатости, что способствует более эффективному сцеплению его с растворной частью бетона. Кроме того, щебень часто получают из каменных карьеров, где обычно разрабатывается материал одной породы. В результате появляется возможность получения качественного однородного щебня с высокими прочностными показателями.

С целью изучения эффективности применения щебня и гравия в качестве крупного заполнителя для приготовления бетона на Бекабадском заводе железобетонных изделий был проведен ряд исследований. Завод специализируется по выпуску железобетонных лотков-водоводов для ирригационных сетей Средней Азии.

Лотки представляют собой пространственные тонкостенные конструкции параболического сечения. Формуют их на виброплощадках в металлических формах; при этом бетонную смесь необходимо уложить в узкие (50—60 мм) зазоры между бортоснасткой и поддоном на глубину 50—120 см. Это обстоятельство предъявляет особые требования к подвижности укладываемой бетонной смеси.

При изготовлении лотков из бетона марки 300 возник вопрос о возможности использования сортированного гравия фракции 5—20 мм в качестве крупного заполнителя и целесообразности замены его щебнем. Были проведены исследования по улучшению качества применяемого гравия и песка, а также специально приготовленного из порфириров щебня фракции 5—20 мм.

Путем смешивания разных фракций в различных соотношениях подбирался такой гранулометрический состав гравия и щебня, который имел бы максимальный объемный вес, а следовательно, и минимальную величину пустотности (табл. 1).

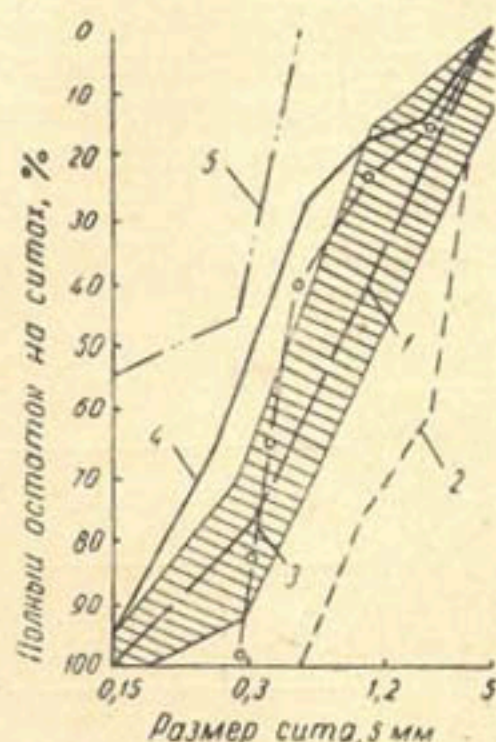
На полученных таким образом гравии и щебне производился подбор состава бетона. Соотношение песка и крупного заполнителя в бетоне уточнялось на основании результатов получения смеси инертных с минимальной пустотностью.

Смесь гравия и песка в соотношении 1—2,61 (табл. 2) соответствует этому требованию.

Такая же работа по определению максимального объемного веса смеси заполнителей проведена и со щебнем (табл. 3). Максимальный объемный вес смеси, полученной при соотношении песка и щебня, составляет 1 : 2,07.

При подборе этих смесей в обоих случаях в качестве мелкого заполнителя использовался песок гравийно-песчаного карьера (фракция песка 0—5 мм; объемный вес в естественном состоянии 1,54, в уплотненном — 1,93; удельный вес — 2,6; пустотность в естественном состоянии 40,8, в уплотненном — 25,8; модуль крупности 2,2; отмучивание примесей 2,0).

Подбор состава бетона как на гравии, так и на щебне производился с учетом следующих требований:



Графики рассева песков различной гранулометрии:

1 — песок, подобранный по ГОСТу; 2 — песок фракции 0,6—5 мм; 3 — то же — 0,3—5 мм; 4 — песок, полученный из естественной гравийно-песчаной смеси без специальной рассортировки и подбора; 5 — песок фракции 0,15—0,6 мм.

Таблица 1

Вид материала	Процент содержания фракции		Удельный вес $\gamma, \text{т/м}^3$	Объемный вес, т/м^3		Пустотность, %	
	5—10 мм	10—20 мм		в естественном состоянии	в уплотненном состоянии	в естественном состоянии	в уплотненном состоянии
Гравий	45	55	2,7	1,65	1,83	39,0	32,2
Щебень	30	70	2,6	1,40	1,68	45,2	35,4

1. Обеспечение достаточной плотности, водонепроницаемости, получение объемного веса бетона в пределах 2400—2500 кг/м^3 .

2. Получение подвижности бетонной смеси по стандартному конусу в пределах 1—2 см.

3. Приобретение бетоном прочности 210 кг/см^2 после термообработки в течение 16 час.

Опыты со щебнем проводили в двух вариантах. В первом случае расход цемента сохранялся, и необходимая подвижность бетонной смеси достигалась увеличением количества воды; во втором — подвижность бетонной смеси была получена за счет увеличения расхода цемента при сохранении такого же В/Ц, которое было у бетона на гравии.

Зависимость прочности бетона от вида применяемого крупного заполнителя была проверена на опытных образцах.

Образцы, приготовленные из бетона на гравии и на щебне состава 2 удовлетворяют всем выше перечисленным требованиям (табл. 4 и 5), а при использовании состава 1 из-за увеличенного водоцементного соотношения образцы имеют более низкие прочностные показатели.

Таблица 2

Состав смеси по весу		Объемный вес смеси, кг/л	Удельный вес смеси, кг/л	Пустотность смеси, %	Отношение веса песка к гравию
П	Г				
1	3,72	2,20	2,68	17,9	0,27
1	3,38	2,21	2,68	17,5	0,29
1	3,10	2,22	2,68	17,1	0,32
1	2,86	2,23	2,68	16,8	0,35
1	2,61	2,25	2,68	16,0	0,38
1	2,47	2,25	2,68	16,0	0,41
1	2,32	2,24	2,68	16,4	0,43

Примечание. П — песок, Г — гравий.

Таблица 3

Состав смеси по весу		Объемный вес смеси, кг/л	Удельный вес смеси, кг/л	Пустотность смеси, %	Отношение веса песка к весу щебня
П	Г				
1	3,12	2,06	2,6	21	0,32
1	2,83	2,07	2,6	20,03	0,35
1	2,50	2,10	2,6	19,2	0,40
1	2,39	2,10	2,6	19,2	0,42
1	2,22	2,12	2,6	18,4	0,45
1	2,07	2,19	2,6	15,8	0,48
1	1,94	2,15	2,6	17,3	0,52

Таблица 4

Крупный заполнитель	Расход цемента, кг	Расход крупного заполнителя, кг	Расход песка, кг
Гравий	436	1320	506
Щебень*	436	1234	598
Щебень**	494	1195	579

Примечание. В табл. 4 и 5 использованы данные для портландцемента 500, * — состав 1, ** — состав 2.

Таблица 5

Крупный заполнитель	В/Ц	Объем- ный вес бетона, кг/м³	Прочность бетонных образцов			
			естественного твердения		пропаренных	
			в суточном возрасте	после 28-суточного хранения	после 16-часового термообраба- тывания	после 28-суточного хранения
Гравий	0,42	2470	94	318	209	296
Щебень*	0,48	2420	86	306	194	287
Щебень**	0,42	2450	103	326	222	318

Примечание. Осадка конуса—1 см.

Следовательно, в качестве крупного заполнителя для бетона марки 300 можно с успехом применять фракционированный гравий, а использование щебня для получения таких же показателей требует увеличенного расхода цемента.

Кроме того, производство щебня мелких фракций обходится в 1,5 раза дороже приготовления фракционированного гравия.

Согласно сборнику руководящих материалов № 2 в строительстве по главному управлению орошения и освоения Голодной степи при Совете Министров УзССР 1 м³ гравия крупностью 5—20 мм франко-карьер стоит 2 р. 48 коп., а 1 м³ щебня — 3 руб. 70 коп.

Одновременно с фракционированием гравия и щебня изучали свойства песка, влияние его гранулометрического состава на прочность бетона.

Применяемый на заводе песок имеет мелкозернистую структуру с преобладанием мелких частиц размером 0,15—0,6 мм; наблюдается недостаток фракций (1,2—2,5 мм и 0,6—1,2 мм).

Песок имеет следующий гранулометрический состав: фракции размерами 5—2,5 мм составляют 14,3%; в пределах 2,5—1,2 мм — 3,8%; 1,2—0,6 мм — 10,6%; 0,6—0,3 мм — 30,3%; 0,3—0,15 мм — 35,5% и фракции меньше 0,15 мм — 5,5%.

Были проведены опыты по улучшению структуры песка путем исключения мелких фракций, а также искусственным смешиванием фракционированных частей его.

Таблица 6

Наименование фракции песка	Вид цемента	Расход цемента, кг/м³	В/Ц	Прочность образцов в суточном возрасте естест. тверд., кг/см²
Фракционированный песок согласно ГОСТу	БТЦ Ац-570	436	0,35	108
Фракция 0,15—0,6 мм	БТЦ Ац-570	436	0,41	72
Фракция 0,3—5 мм	БТЦ Ац-570	436	0,35	120
Фракция 0,6—5 мм	БТЦ Ац-570	436	0,34	132
Фракция песка из естественной карьерной смеси	БТЦ Ац-570	436	0,41	98

На песках различного гранулометрического состава были приготовлены образцы из бетона. В первой серии образцов кривая рассева полностью совпадала с пределами, рекомендуемыми ГОСТом; во второй использовался песок крупностью 0,15—0,6 мм; в третьей — 0,3—5 мм; в четвертой — 0,6—5 мм (табл. 6; рисунок).

Наибольшей прочностью обладают образцы из бетона, приготовленного на песке крупностью 0,6—5 мм.

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение.

Фракционирование песка при подборе состава гидротехнического бетона для лотков-водоводов позволяет увеличить прочность бетона до 30%.

При изготовлении лотков-водоводов целесообразнее использовать гидротехнический бетон на гравии, а не на щебне.

А. Л. ЗЕМЛИНСКИЙ

ИЗГИБАЮЩИЕ МОМЕНТЫ В СЕЧЕНИЯХ КРУГЛОЙ ЖЕСТКОЙ ТРУБЫ, ОПИРАЮЩЕЙСЯ НА ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ УГЛОМ $2\alpha=90^\circ$

В ряде работ [4, 5] приведены уравнения для определения изгибающих моментов в сечениях круглых труб, нагруженных симметричными относительно верхней и нижней половины трубы нагрузками.

В некоторых статьях [1, 2, 3] даны рекомендации для получения величины изгибающих моментов в сечениях круглых труб. Так, Г. К. Клейн [3] приводит данные для определения изгибающих моментов в четырех сечениях (нижнем, верхнем и на уровне горизонтального диаметра) труб при различных условиях опирания.

В настоящей работе получено уравнение изгибающего момента для любого сечения трубы, уложенной на спрофилированное грунтовое ложе с центральным углом $2\alpha=90^\circ$ и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой (рис. 1).

Поперечное сечение трубы представляет собой статически неопределимый замкнутый контур, находящийся в равновесии под действием нагрузок и реактивных сил.

Разрезав конструкцию в замке и перенеся основные неизвестные в упругий центр, при помощи метода сил переходим к основной системе.

Вследствие того, что система и действующие на нее нагрузки симметричны относительно вертикальной оси, из трех неизвестных сохраняются только два X_1 и X_2 (рис. 1).

Уравнение изгибающего момента для различных сечений трубы в общем случае можно записать так:

$$M = M_q + M_{x_1} + M_{x_2} + M_{q_0},$$

где

M_q — момент от внешней, равномерно распределенной нагрузки,

M_{x_1} и M_{x_2} — моменты от лишних неизвестных,

M_{q_0} — момент от опорной реакции.

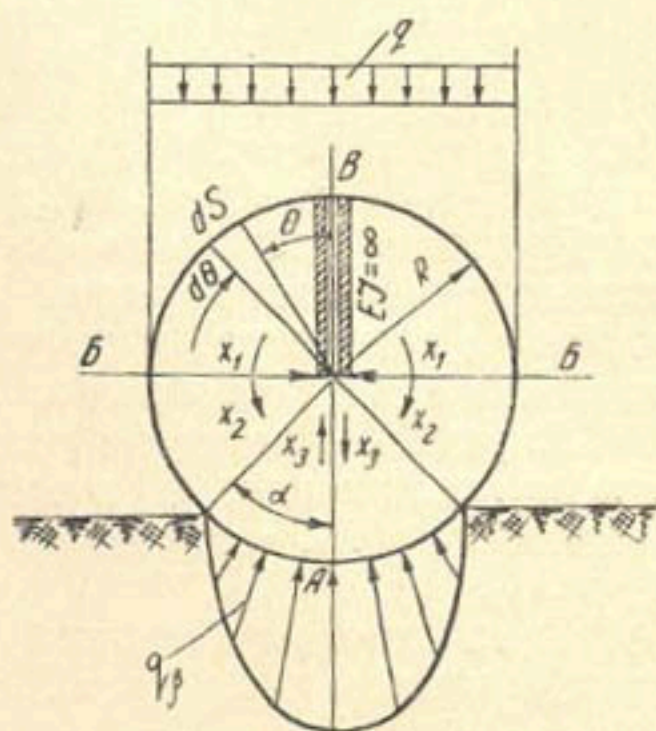


Рис. 1.

Интенсивность опорной реакции в зависимости от угла β выглядит следующим образом [3]:

$$q_{\beta} = \frac{3 \cdot Q_B \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \cdot \cos \beta}{R \cdot (3 \cdot \sin \alpha + \sin^3 \alpha - 3 \cdot \alpha \cdot \cos \alpha)},$$

при $\alpha = 45^\circ$

$$\cos \alpha = \sin \alpha = 0,70711$$

и

$$q_{\beta} = \frac{3 \cdot 2 \cdot q \cdot R \cdot (\cos \beta - 0,70711) \cdot \cos \beta}{R \cdot 0,80880} = 7,41853 \cdot q \cdot (\cos \beta - 0,70711) \cdot \cos \beta.$$

Выразим интенсивность опорной реакции q_{β} в зависимости от угла θ :

$$\beta = 180^\circ - \theta,$$

$$\cos \beta = \cos (180 - \theta) = -\cos \theta;$$

следовательно,

$$\begin{aligned} q_{\theta} &= 7,41853 \cdot q \cdot (-\cos \theta - 0,70711) \cdot (-\cos \theta) = \\ &= 7,41853 \cdot q \cdot (\cos^2 \theta + 0,70711 \cdot \cos \theta). \end{aligned}$$

Для определения лишних неизвестных X_1 и X_2 составим канонические уравнения

$$X_1 \cdot \delta_{11} + \Delta_{1q} = 0,$$

$$X_2 \cdot \delta_{22} + \Delta_{2q} = 0$$

(вследствие переноса неизвестных в упругий центр побочные перемещения δ_{12} и δ_{21} равны нулю).

При этом достаточно рассмотреть одну половину трубы относительно вертикальной плоскости. Исследуем левую половину, условно считая ее заделанной в точке А (рис. 2). Расчет произведем отдельно на каждый вид нагрузки и на действие опорных давлений.

За внешние нагрузки условно принимаем равномерно распределенную интенсивностью q опорную реакцию интенсивностью q_{θ} , и неизвестные X_1 и X_2 , а за опорные реакции условной расчетной схемы — R_A и M_A .

Уравнения изгибающих моментов от каждой внешней силы составляем отдельно для верхней и нижней половины трубы.

1. От равномерно распределенной нагрузки q при $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$

$$M_q = -\frac{q(R \cdot \sin \theta)^2}{2} = -\frac{q \cdot R^2}{2} \cdot \sin^2 \theta, \quad (a)$$

а при $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ —

$$M_q = -q \cdot R^2 \cdot \left[\cos (\theta - 90) - \frac{1}{2} \right] = -q R^2 \cdot \left(\sin \theta - \frac{1}{2} \right). \quad (б)$$

2. От опорной реакции q_{θ} (рис. 2), изгибающий момент в сечении стенки трубы, расположенном под углом θ от верхней точки ее

$$M_{q_{\theta}} = - \int_{\frac{3}{4}\pi}^{\theta} q_{\theta_1} \cdot ds \cdot R \cdot \sin (\theta - \theta_1) = -$$

$$\begin{aligned}
& - \int_{\frac{3}{4}\pi}^{\theta} 7,41853 \cdot q \cdot (\cos^2 \Theta_1 + 0,70711 \cdot \cos \Theta_1) \cdot R \cdot d\Theta_1 \cdot R \cdot (\sin \Theta \cdot \cos \Theta_1 - \\
& - \cos \Theta \cdot \sin \Theta_1) = -7,41853 \cdot q \cdot R^2 \cdot \int_{\frac{3}{4}\pi}^{\theta} \cos^3 \Theta_1 \cdot \sin \Theta + \\
& + 0,70711 \cdot \cos^2 \Theta_1 \cdot \sin \Theta - \cos^2 \Theta_1 \cdot \sin \Theta_1 \cdot \cos \Theta - \\
& - 0,70711 \cdot \cos \Theta_1 \cdot \sin \Theta_1 \cdot \cos \Theta) \cdot d\Theta_1 = - \\
& - 7,41853 \cdot q \cdot R^2 \cdot (0,33333 + 0,33333 \cdot \sin^2 \Theta - 1,24553 \cdot \sin \Theta + \\
& + 0,29463 \cdot \cos \Theta + 0,35356 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta).
\end{aligned}$$

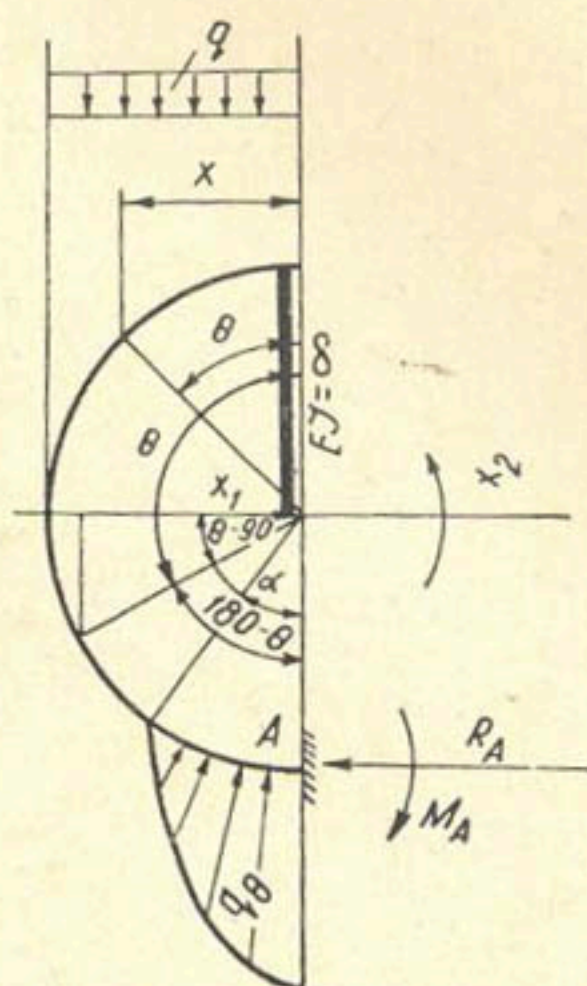


Рис. 2.

При вычислении $M_{q\theta}$ угол Θ принимается за постоянную величину.

3. От единичной силы $\bar{X}_1$, когда $0 \leq \Theta \leq \frac{\pi}{2}$,

$$\bar{M}_1 = R \cos \Theta;$$

если же $\frac{\pi}{2} \leq \Theta \leq \pi$, то

$$\bar{M}_1 = -R \cdot \sin (\Theta - 90) = R \cdot \cos \Theta.$$

4. От единичной силы $\bar{X}_2$

$$\bar{M}_2 = 1.$$

Для решения канонических уравнений перемещения δ и Δ определяем при помощи формулы Мора:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI} \int_0^\pi \bar{M}_1 \cdot \bar{M}_1 \cdot ds = \frac{1}{EI} \int_0^\pi R^2 \cdot \cos^2 \Theta \cdot R \cdot d\Theta =$$

$$= \frac{R^3}{2EI} \cdot \left[\frac{\sin 2\Theta}{2} + \Theta \right]_0^\pi = \frac{\pi \cdot R^3}{2EI},$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI} \int_0^\pi \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_2 \cdot ds = \frac{R}{EI} \int_0^\pi d\theta = \frac{R}{EI} [\Theta]_0^\pi = \frac{\pi \cdot R}{EI},$$

$$\Delta_{1q} = \frac{1}{EI} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_q \cdot \bar{M}_1 \cdot ds + \frac{1}{EI} \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi M_q \cdot \bar{M}_1 \cdot ds + \int_{\frac{3}{4}\pi}^\pi M_{q\Theta} \cdot \bar{M}_1 \cdot ds.$$

Первый интеграл

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} M_q \cdot \bar{M}_1 \cdot ds = \int_0^{\frac{\pi}{2}} -\frac{q \cdot R^2}{2} \cdot \sin^2 \Theta \cdot R \cdot \cos \Theta \cdot R \cdot d\Theta = -\frac{q \cdot R^4}{6}.$$

Второй интеграл

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^\pi M_q \cdot \bar{M}_1 \cdot ds = \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi -q \cdot R^2 \cdot \left(\sin \Theta - \frac{1}{2} \right) \cdot R \cdot \cos \Theta \cdot R \cdot d\Theta =$$

$$= -\frac{q \cdot R^4}{2} \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi (\sin 2\Theta - \cos \Theta) d\Theta = -\frac{q \cdot R^4}{2} \left[-\frac{1}{2} \cos 2\Theta - \sin \Theta \right]_{\frac{\pi}{2}}^\pi = 0.$$

Третий интеграл

$$\int_{\frac{3}{4}\pi}^\pi M_{q\Theta} \cdot \bar{M}_1 \cdot ds = \int_{\frac{3}{4}\pi}^\pi -7,41853 \cdot q \cdot R^2 \cdot (0,33333 +$$

$$+ 0,33333 \cdot \sin^2 \Theta - 1,24553 \cdot \sin \Theta + 0,29463 \cdot \cos \Theta +$$

$$+ 0,35356 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta) \cdot R \cdot \cos \Theta \cdot R \cdot d\Theta = -7,41853 \cdot q \cdot R^4 \cdot \int_{\frac{3}{4}\pi}^\pi (0,33333 \cdot \cos \Theta +$$

$$+ 0,33333 \cdot \sin^2 \Theta \cdot \cos \Theta - 1,24553 \cdot \sin \Theta \cdot \cos \Theta + 0,29463 \cdot \cos^2 \Theta +$$

$$+ 0,35356 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta \cdot \cos \Theta) \cdot d\Theta = 0,05742 \cdot q \cdot R^4,$$

всего

$$\Delta_{1q} = \frac{1}{EI} \left(-\frac{q \cdot R^4}{6} + 0 + 0,05742 \cdot q R^4 = -\frac{0,10925}{EI} \cdot q \cdot R^4, \right.$$

$$\Delta_{2q} = \frac{1}{EI} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_q \cdot \bar{M}_2 \cdot ds + \frac{1}{EI} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M_q \cdot \bar{M}_2 \cdot ds + \frac{1}{EI} \int_{\frac{3}{4}\pi}^{\pi} M_{q\Theta} \cdot \bar{M}_2 \cdot ds.$$

Первый интеграл

$$\begin{aligned} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_q \cdot \bar{M}_2 \cdot ds &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} -\frac{q \cdot R^2}{2} \cdot \sin^2 \Theta \cdot 1 \cdot R \cdot d\Theta = \\ &= -\frac{q \cdot R^3}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \Theta \cdot d\Theta = -0,39270 \cdot q \cdot R^3. \end{aligned}$$

Второй интеграл

$$\begin{aligned} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M_q \cdot \bar{M}_2 \cdot ds &= \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} -q \cdot R^2 \cdot \left(\sin \Theta - \frac{1}{2} \right) \cdot 1 \cdot R \cdot d\Theta = \\ &= -q \cdot R^3 \cdot \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \left(\sin \Theta - \frac{1}{2} \right) \cdot d\Theta = -0,21460 \cdot q \cdot R^3. \end{aligned}$$

Третий интеграл

$$\begin{aligned} \int_{\frac{3}{4}\pi}^{\pi} M_{q\Theta} \bar{M}_2 \cdot ds &= \int_{\frac{3}{4}\pi}^{\pi} -7,41853 \cdot q \cdot R^2 \cdot (0,33333 + \\ &+ 0,33333 \cdot \sin^2 \Theta - 1,24553 \cdot \sin \Theta + 0,29463 \cdot \cos \Theta + \\ &+ 0,35356 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta) \cdot 1 \cdot R \cdot d\Theta = \\ &= -7,41853 \cdot q \cdot R^3 \cdot \int_{\frac{3}{4}\pi}^{\pi} (0,33333 + 0,33333 \cdot \sin^2 \Theta - 1,24553 \cdot \sin \Theta + \\ &+ 0,29463 \cdot \cos \Theta + 0,35356 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta) \cdot d\Theta = -0,05868 \cdot q \cdot R^3, \end{aligned}$$

всего

$$\begin{aligned} \Delta_{2q} &= \frac{1}{EI} (-0,39270 \cdot q \cdot R^3 - 0,21460 \cdot q \cdot R^3 - \\ &- 0,05868 \cdot q \cdot R^3) = -\frac{0,66598}{EI} q \cdot R^3. \end{aligned}$$

В результате решения канонических уравнений

$$X_1 \cdot \frac{\pi \cdot R^3}{2} - 0,10925 \cdot q \cdot R^4 = 0$$

и

$$X_2 \cdot \pi \cdot R - 0,66598 \cdot q \cdot R^3 = 0$$

получим:

$$X_1 = 0,06955 \cdot q \cdot R,$$

$$X_2 = 0,21199 \cdot q \cdot R^2.$$

УРАВНЕНИЯ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА В СЕЧЕНИЯХ СТЕНКИ ТРУБЫ

1. На участке $0 \leq \Theta \leq \frac{\pi}{2}$

$$M_1 = M_q + M_{x_1} + M_{x_2} = -\frac{q \cdot R^2}{2} \cdot \sin^2 \Theta + X_1 \cdot R \cdot \cos \Theta + X_2 \cdot 1 =$$

$$= -\frac{q \cdot R^2}{2} \cdot \sin^2 \Theta + 0,06955 \cdot q \cdot R^2 \cdot \cos \Theta + 0,21199 \cdot q \cdot R^2,$$

$$M_1 = q \cdot R^2 \cdot \left(-\frac{\sin^2 \Theta}{2} + 0,06955 \cdot \cos \Theta + 0,21199 \right).$$

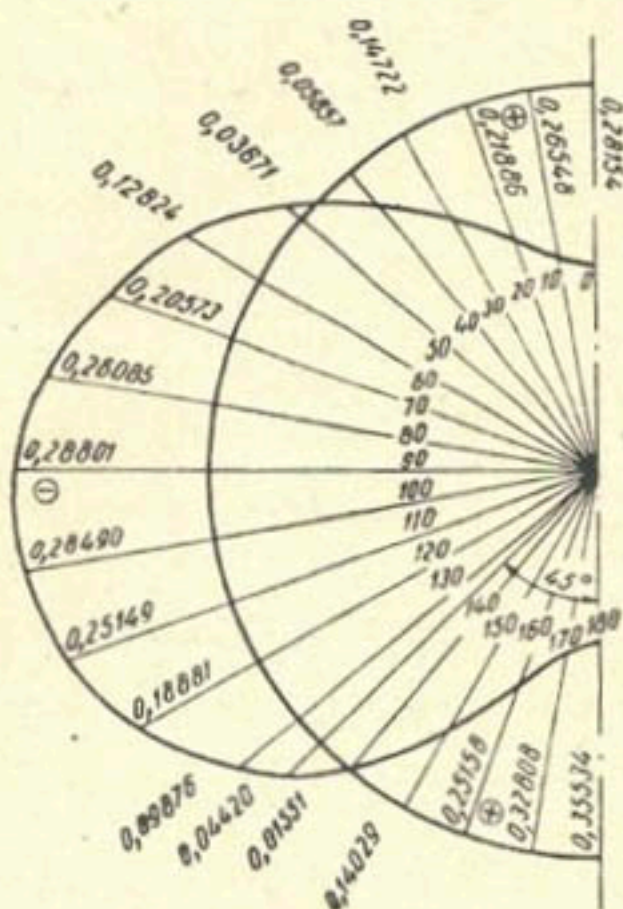


Рис. 3.

2. На участке $\frac{\pi}{2} \leq \Theta \leq \frac{3}{4} \pi$

$$M_2 = M_q + M_{x_1} + M_{x_2} = -q \cdot R^2 \cdot \left(\sin \Theta - \frac{1}{2} + X_1 \cdot R \cdot \cos \Theta + X_2 \cdot 1 = \right.$$

$$= -q \cdot R^2 \cdot \left(\sin \Theta - \frac{1}{2} \right) + 0,06955 \cdot q \cdot R^2 \cdot \cos \Theta + 0,21199 q R^2,$$

$$M_2 = q \cdot R^2 \cdot (-\sin \Theta + 0,06955 \cdot \cos \Theta + 0,71199).$$

3. На участке $\frac{3}{4} \pi \leq \Theta \leq \pi$

$$M_3 = M_q + M_{x_1} + M_{x_2} + M_{q\Theta} = -q R^2 \left(\sin \Theta - \frac{1}{2} \right) +$$

$$\begin{aligned}
& + X_1 \cdot R \cdot \cos \Theta + X_2 \cdot 1 - 7,41853 \cdot q R^2 \cdot (0,33333 + \\
& + 0,33333 \cdot \sin^2 \Theta - 1,24553 \cdot \sin \Theta + 0,29463 \cdot \cos \Theta + \\
& + 0,35356 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta) = - q \cdot R^2 \cdot \left(\sin \Theta - \frac{1}{2} \right) + \\
& + 0,06955 \cdot q \cdot R^2 \cdot \cos \Theta + 0,21199 \cdot q \cdot R^2 - \\
& - 7,41853 \cdot q \cdot R^2 \cdot (0,33333 + 0,33333 \cdot \sin^2 \Theta - \\
& - 1,24553 \cdot \sin \Theta + 0,29463 \cdot \cos \Theta + 0,35356 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta), \\
M_3 = & q \cdot R^2 \cdot (8,24000 \cdot \sin \Theta - 1,76083 - 2,11617 \cdot \cos \Theta - \\
& - 2,47282 \cdot \sin^2 \Theta - 2,62290 \cdot \Theta \cdot \sin \Theta).
\end{aligned}$$

Пользуясь полученными уравнениями или эпюрой M (рис. 3), можно вычислить величины изгибающих моментов в любом сечении стенки трубы, уложенной на грунтовое основание, спрофилированное по форме круглой трубы с центральным углом $2\alpha = 90^\circ$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов Л. М. О расчете тонкостенных труб, заложенных в земле, «Гидротехника и мелиорация», 1952, № 10.
2. Завацкий С. Расчет круглых водопроводных труб с тонкими стенками, СПб., 1914.
3. Клейн Г. К. Расчет труб, уложенных в земле, М., Госстройиздат, 1957.
4. Пастернак П. Л. Железобетонные конструкции, Специальный курс, М., Госстройиздат, 1961.
5. Улицкий И. И., Ривкин С. А., Самолетов М. В., Дыховичный А. А. Железобетонные конструкции, Киев, Гостехиздат, 1959.

А. АБДУЖАБАРОВ

ВЛИЯНИЕ БАРХАННОГО ПЕСКА НА УСАДКУ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА В АРМОЦЕМЕНТНЫХ ДЕТАЛЯХ

В пустынных зонах Средней Азии имеются неограниченные запасы барханных песков, которые в водохозяйственном строительстве используются редко. Железобетонные детали сооружений в таких районах не изготавливаются. В лаборатории сборных конструкций САНИИРИ исследовалась возможность применения барханных песков для изготовления армоцементных труб в зоне обводнения. Опыты проведены с барханными песками Бухарской области в УзССР, Чукуркакского и Нукусского карьеров в КК АССР.

Как видно из приведенных данных (таблица), содержание отмученных частиц в барханных песках составляет не более 2%.

Барханные пески по величине удельной поверхности делятся на семь марок. Чем больше удельная поверхность, тем больше требуется цемента. Для изготовления мелкозернистых бетонов барханный песок VII марки с величиной удельной поверхности свыше $350 \text{ см}^2/\text{г}$ не рекомендуется. При подборе оптимального состава мелкозернистого бетона были использованы данные, полученные Г. И. Ступаковым [1].

Маркировка барханных песков позволяет строителям регулировать и контролировать расход цемента в мелкозернистых бетонах. В результате химического анализа водной вытяжки барханного песка массива Чукуркак, проведенного 18 октября 1965 г., выявлено, что песок содержит плотный остаток — 0,188%, HCO_3 — 0,061, C — 0,030, O_4 — 0,048, Ca — 0,030, Mg — 0,015 и K — 0,003%; CO_2 отсутствует.

Гранулометрический состав барханного песка

Карьер	Размеры сита, мм						Прошло через сито 0,15 мм	Модуль крупности песка
	5	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15		
Бухарской обл. УзССР	0	0	0	0	0,2	14,6	85,4	0,15 (тонкий песок)
Нукусский (жел- тый)	0	0	0	0	1,0	62,5	37,5	0,64
Чукуркакского массива	0	0	0	0,2	3,5	50,5	46,8	0,58

Карьер	Объем- ный вес, г/см ³	Удель- ный вес, г/см ³	Пустот- ность, %	Содержа- ние отмучен- ных частиц, %	Содержание органи- ческой примеси, %	Содержа- ние серных и сернокис- лых сое- динений, %	Прираще- ние, набухание, про- цент к весу
Бухарской обл. УзССР	1,35	2,63	49,0	0,65	В пределах ГОСТа	Следы	Нет
Нукусский (жел- тый)	1,47	2,64	44,3	1,2	По ГОСТу	По ГОСТу	10%
Чукуркакского массива	1,45	2,65	45,2	2,00	В пределах ГОСТа	Нет	Нет

Из сказанного видно, что рассматриваемый песок отвечает требованиям по применению его в качестве заполнителя и относится к марке IV. Следовательно, он может быть использован для изготовления мелкозернистого бетона.

В результате определения оптимального состава мелкозернистого бетона с $R_{сж}'' = 350—400$ кг/см² оказалось, что при В/Ц=0,38 расход цемента (М-400 или 500) составляет 800 кг на 1 м³ изделия.

Известно, что с увеличением удельной поверхности заполнителя и содержания цемента усадка мелкозернистого бетона возрастает.

По величине усадки армоцементных деталей устанавливается возможность их применения.

Усадка мелкозернистого бетона на барханном песке зависит от таких факторов, как количество и вид цемента, объем воды, крупность заполнителей и условия хранения изделий. Обычно усадка происходит наиболее быстро в начальный период твердения бетона. Неравномерная усадка мелкозернистого бетона может увеличить внутренние напряжения в армоцементе и величину растягивающих усилий в поверхностном слое. Таким образом, усадочные явления могут привести к трещинообразованию в армоцементных деталях, что для гидротехнических сооружений недопустимо.

Мы определяли усадку мелкозернистого бетона на барханных песках массива Чукуркак и влияние на нее добавки «ОЭС», разработанной Оргэнергостроем и применяемой для ускорения схватывания и твердения мелкозернистого бетона при торкретировании.

Добавка представляет собой продукт спекания естественного боксита с известняком и содой при температуре 1200°С и состоит из 70% алюминатов и ферритов и 30% двухкальциевого силиката. Перед использованием добавка домалывается (тонкость помола не менее 4000—4500 см²/г). При применении добавки в количестве 3% от веса цемента схватывание мелкозернистого бетона начинается через 3—4 мин., а конец схватывания наступает через 24—28 мин.

Были изготовлены контрольные балочки 4×4×16 см из мелкозернистого бетона (состав 1:1,5 и В/Ц=0,38) с двумя и четырьмя слоями тканой металлической сетки и с добавкой ускорителя схватывания в количестве 3% от веса цемента.

На вторые сутки после приготовления балочки были уложены в шкаф. Усадка определялась при помощи индикаторов часового типа. График нарастания усадки мелкозернистого бетона приведен на рис. 1.

Образцы мелкозернистого бетона с ускорителем схватывания «ОЭС» в количестве 3% имеют усадку в 1,5 раза большую, чем без

добавки (рис. 2). Интенсивное нарастание усадки наблюдалось в течение 16 суток. Балочка с четырьмя слоями тканой металлической сетки имела усадку 0,10 мм при длине ее 16 см, а относительная усадка $\varepsilon_y = \frac{0,10}{160} = 0,00062$.

Контрольная балочка, изготовленная из мелкозернистого бетона на барханном песке, имела усадку $\varepsilon = \frac{0,167}{160} = 0,00104$ (как извест-

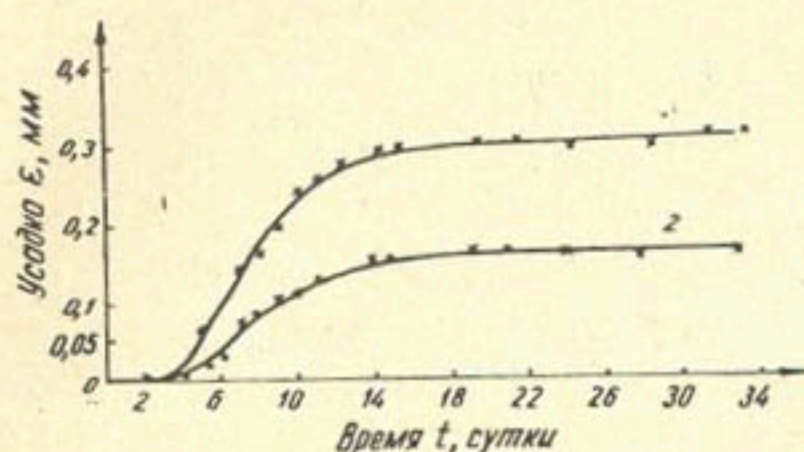


Рис. 1. График нарастания усадки мелкозернистого бетона на барханном песке состава 1:1,5 при В/Ц=0,38:

1 — величина усадки с 3-процентной «ОЭС» от веса цемента, 2 — то же без «ОЭС».

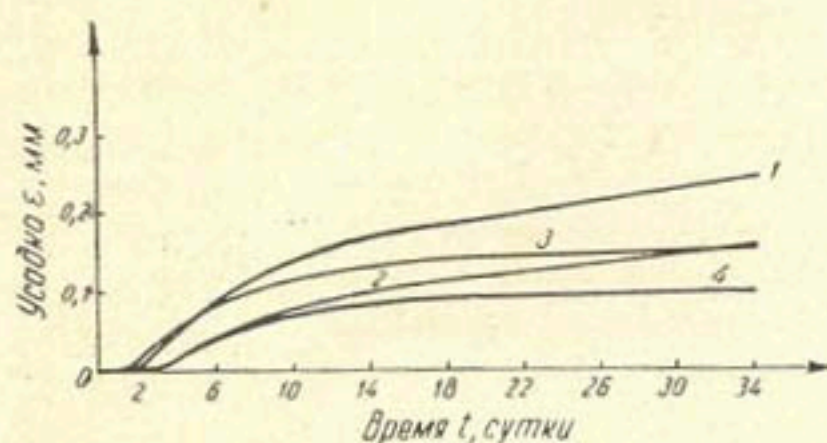


Рис. 2. График влияния добавки «ОЭС» на усадку армоцемента на барханном песке:

1 — величина усадки с 3-процентной «ОЭС» с двумя сетками, 2 — то же с четырьмя сетками; 3 — величина усадки с двумя сетками без «ОЭС», 4 — то же с четырьмя сетками.

0,006 м/сек. Сопло (форсунка конструкции САНИИРИ) при торкретировании было установлено на расстоянии 80 см от поверхности сердечника.

Значение В/Ц в рабочей смеси находилось в пределах 0,27—0,32. Образцы изготовленных таким способом армоцементных труб, армированных двумя сетками с $K_p=0,4$, длиной 6 м и внутренним диаметром 72 см при толщине стенки 2,5 см, в период твердения бетона не имели трещин ни на внутренней, ни на наружной поверхности. После гидравлических и статических испытаний армоцементные трубы были уложены на одном из коллекторов колхоза им. Свердлова Ташкентской области.

При вертикальном давлении и нагрузке $P=5,36$ т/м² деформации армоцементной трубы с двумя слоями тканой металлической сетки составляли по диаметру δ_y 1,35 мм ($\Delta D=0,00187$ Д). В железобетонных

но, усадка для обычного бетона — $3 \cdot 10^{-4}$). ГОСТ на усадку мелкозернистого бетона на барханном песке отсутствует. Из приводимых графиков (рис. 2) видно, что при армировании балочек металлическая сетка частично уменьшает усадку мелкозернистого бетона.

Использование мелкозернистого бетона без тканых металлических сеток в деталях гидросооружений невозможно, так как усадочные явления могут привести к образованию трещин, что недопустимо.

Данные описанных выше опытов были использованы при изготовлении армоцементных труб методом торкретирования и вибрирования. Это один из безвибрационных способов, разработанных в лаборатории сборных конструкций САНИИРИ.

Безнапорные армоцементные трубы на барханных песках Чукуркакского массива изготовлены вращением металлических сердечников с окружной скоростью 0,35—0,55 м/сек и автоматическим движением сопла цемент-пушки вдоль оси сердечника со скоростью 0,003—

трубах $\delta_y = 0,46$ мм при $P = 6000$ кг. Высота засыпки над шельгой трубы составляет 1,20 м.

За время наблюдений в течение полугода трещины в стенках труб не появлялись. При гидравлическом испытании такие трубы с двумя слоями сетки № 10 выдерживают внутреннее давление 0,7—0,9 атм при толщине стенки 2,5 см.

На основании изложенного выше можно сделать следующее заключение.

Использование барханных песков в качестве заполнителя дает возможность изготавливать армоцементные детали в пустынных зонах, где отсутствуют гравийно-щебеночные заполнители.

При изготовлении армоцементных деталей следует укладывать не менее двух тканых металлических сеток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ступаков Г. И. Опыт определения удельной поверхности мелкого заполнителя для строительных растворов и бетонов, Труды САНИИРИ, вып. 90, Ташкент, 1957.
 2. Абдужабаров А. К вопросу о технологии изготовления армоцементных труб способом торкретирования вращающихся сердечников, «Вопросы гидротехники», вып. 18, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1964.
-

СОДЕРЖАНИЕ

К. А. Авлянова. Принципы комплексной автоматизации водозаборных гидроузлов	3
И. Б. Хамадов, В. Е. Краснов. Автоматизированный учет воды на оросительных системах с помощью водомерных сооружений типа приставки и динамического расходоуказателя «ДРС-60»	16
И. Б. Хамадов, А. А. Гартунг. Устройства гидравлической автоматики для регулирования расходов и горизонтов воды	25
Б. Тишабаев. Пружинные автоматы постоянного расхода воды для трубчатых водовыпусков	41
И. Б. Чижев. Алгебра матриц и структурные преобразования схем ирригационных каналов	51
О. А. Лукинский. Натурные обследования гидросооружений на оросительной сети УзССР	64
Н. П. Турубар, Т. В. Албычева. Влияние фракционного состава заполнителей Дальварзинского карьера на свойства бетона для лотков-водоводов	72
А. Л. Землинский. Изгибающие моменты в сечениях круглой жесткой трубы, опирающейся на грунтовое основание с центральным углом $2\alpha=90^\circ$	77
А. Абдужаббаров. Влияние барханного песка на усадку мелкозернистого бетона в армоцементных деталях	84

Редактор Д. Володина
Технический редактор Р. Х. Рузиева
Корректор С. Адайкина

Сдано в набор 19/1 1967 г.	Подписано к печати 27/X 1967 г.
Р07952 Формат 70×108 ^{1/16}	2,75 бум. л. 5,5 печ. л. Уч.-изд. л. 6,7.
Изд. № 312 Заказ 620	Тираж 650 Цена 54 коп.

Типография Изд-ва МГУ. Москва, Ленинские горы.
Адрес Издательства: г. Ташкент, Гоголя, 70.