

А. М. АЙТСАМ

**К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ВЫБОРЕ  
ТИПА ЗАТВОРОВ В УСЛОВИЯХ РАВНИННЫХ РЕК  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА**

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
ТАЛЛИН, 1957



Ер. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
Серия А № 117 1957

А. М. АЙТСАМ

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ВЫБОРЕ  
ТИПА ЗАТВОРОВ В УСЛОВИЯХ РАВНИННЫХ РЕК  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА

Ер. 891

ENSV Teaduste Akadeemia  
Keskraamatukogu

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
ТАЛЛИН, 1957



## ВВЕДЕНИЕ

Все существующие затворы водосливов можно с эксплуатационной точки зрения подразделить на две основные группы: подъемные и опускные. В то время, когда у нас почти исключительно применяются подъемные затворы, за рубежом распространены затворы обеих групп, причем на крупных плотинах США даже преимущественно ставятся опускные затворы, главным образом барабанного типа (drum-gate), например: Boulder, Shasta, Grand-Coulee, Norris и т. д. Причина такого большого расхождения в применении затворов у нас и за рубежом не ясна. У нас применение подъемных затворов обычно оправдывается большой практикой их проектирования и изготовления, удобствами в производстве работ при закрытии гребенки, а также их меньшей стоимостью. Однако не всегда эти соображения убедительны: возможно, что столь исключительное применение подъемных затворов вызвано и некоторым консерватизмом проектировщиков. За рубежом преимуществами опускных затворов считают [1, 2, 3, 4.]: большая точность регулирования подпертого горизонта, надежная работа затворов во время сбросов воды при наличии плавающих предметов в В. Б., хорошая работа затворов в холодных климатических условиях, независимость от снабжения электроэнергией и минимальные эксплуатационные расходы. Но не исключена возможность и того, что распространению их за рубежом способствуют некоторые патентные и коммерческие соображения.

Хотя у нас хорошо знают преимущества опускных затворов, часто отказываются от их применения вследствие их более высокой стоимости. Однако иногда этот недостаток опускных затворов может оказаться мнимой, так как учитывать приходится стоимость не только затворов и механического оборудования, а и всей плотины, включая и необходимое крепление н. б. Вследствие этого иногда плотина с дешевыми затворами может оказаться дороже, чем с более дорогими.

Условия сопряжения бьефов, определяющие объем, а вместе с тем и стоимость всей плотины, зависят от возможных сочетаний удельных расходов водослива и горизонтов нижнего бьефа.

При применении затворов подъемного типа в силу различных причин (наличия льда в В. Б., бревен и т. д.) часто приходится полностью поднимать один или несколько затворов при частичном открытии остальных, т. е. давать максимальные удельные расходы при сравнительно низких горизонтах н. б.

В отличие от этого при применении затворов опускного типа имеется значительно большая возможность равномерного открытия затворов, с доведением до полного открытия всех затворов почти одновременно, т. е. при г. н. б. уже близких к максимальному.

Это позволяет во многих случаях при опускных затворах располагать водобой на более высоких отметках, чем при подъемных, что иногда дает возможность поднятия и отметки подошвы плотины, а вместе с этим — общее уменьшение объема работ и существенный экономический эффект.

Однако, несмотря на то, что в последнее время за рубежом тенденция к распространению опускных затворов продолжает усиливаться, а также на то, что на целесообразность применения опускных затворов указывается многими авторитетами, например В. С. Баумгарт [5], И. И. Леви [6], В. В. Ликин [7], С. Г. Тарановский [8] и т. д., в литературе до сих пор не освещается с достаточной полнотой вопрос о величине экономического эффекта, которого можно в отдельных случаях достичь переходом к применению опускных затворов и необходимых для этого условий.

В данной статье делается попытка несколько осветить этот вопрос.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определение экономически целесообразных областей применения обеих групп затворов базируется на предположении, что наивыгоднейшие условия сопряжения бьефов, а вместе с тем и минимальная стоимость крепления и всей плотины, будут иметь место, если всегда будет обеспечен равномерный сброс воды по всему фронту пло-

тины. Отклонения от равномерного сброса воды влекут за собой ухудшение условий сопряжения и необходимость понижения отметки водобоя, а вместе с тем и удорожание всего сооружения.

Поэтому для решения поставленной задачи требуется произвести:

во-первых, анализ причин, вызывающих в процессе эксплуатации неравномерный пропуск расходов через плотину и величин возникающих при этом отклонений от наивыгоднейших условий для сопряжения бьефов;

во-вторых, анализ связи уравнений нижнего бьефа с величиной сбрасываемых удельных расходов, и, в-третьих, анализ экономического эффекта, который можно получить при переходе к опускным затворам за счет повышения отметки водобоя.

Степень отклонения действительных условий сопряжения бьефов от наивыгоднейших, которая зависит от эксплуатационных свойств затворов, может быть принята в качестве одного из основных параметров экономического сопоставления целесообразности применения того или иного типа затворов.

Прочими параметрами, как показано ниже, будут являться: напор (перепад между верхним и нижним бьефом), диапазон колебания уровней нижнего бьефа, показатель степени  $n$ , характеризующий форму кривой  $Q = f(h)$  в предположении, что кривая выражается степенной зависимостью, и доля гидростанции в пропуске расхода расчетного паводка.

Все эти параметры в той или иной степени влияют на отклонение от наивыгоднейших условий сопряжения.

Как было указано, эти оптимальные условия имели бы место при равномерном распределении всего сбрасываемого расхода по фронту водослива. Следует однако заметить, что даже в этом случае могут иметь место отклонения от оптимально возможных условий, вызываемые временным отставанием уровня Н. Б. при увеличении сбрасываемого расхода.

Если не учитывать этого отставания, то при равномерном распределенном расходе имела бы место непосред-

ственная связь между уровнями бьефа  $h$  и удельными расходами водослива  $q$  (рис. 1 а):

$$h = f(q), \quad (1)$$

где:  $q = \frac{Q_{\text{водослив}}}{B}$ ,

$B$  — полная ширина водослива в свету.\*)

Однако практически такая связь может иметь место только в случае однопролетного сооружения.

В действительных условиях на водосливе могут иметь место большие удельные расходы, чем те, которые соответствовали бы уровням  $n. б.$  по приведенной зависимости (1).

В дальнейшем назовем связь (1) оптимальной связью, а связь уровней с действительными удельными расходами, — расчетной связью.

Естественно, что расчетная кривая связи расположится ниже оптимальной (рис. 1 б).

Отклонения от оптимальных условий могут быть изображены графически в координатах  $q/q_m$  и  $q_p/q_m$ , как показано на рис. 1 б. На этом рисунке по оси абсцисс отложены относительные расходы (в долях от максимального  $q_m$ ), которые приходится сбрасывать при данном ГНБ. По оси ординат — относительные расходы, которые можно было бы сбрасывать при наивыгоднейшем режиме, т. е. при равномерном распределении расхода по всему фронту.

Примечание: В последующем изложении максимальный удельный расход принят за единицу, и относительные расходы обозначаются соответственно  $q$  и  $q_p$ .

График отклонений дает возможность удобного графического сопоставления разных типов затворов. Если кривые отклонений разных затворов совпадают или находятся в непосредственной близости друг к другу, то оба затвора с точки зрения сопряжения бьефов равноценны, а следовательно одинаковы и их водобойные устройства. Если же кривая отклонений одного типа

\*) Предполагается, что при опускных затворах, которые могут перекрывать очень большие пролеты в свету, расчет сопряжения бьефов вести по удельным расходам в середине пролета, на величину которых растекание за счет бычков практически не сказывается.

затворов существенно смещена вправо от кривой другого типа, то этот затвор может оказаться более выгодным, даже если он сам по себе дороже.

## 2. ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НАИВЫГОДНЕЙШИХ УСЛОВИЙ СОПРЯЖЕНИЯ БЪЕФОВ И ВЫЗЫВАЮЩИЕ ИХ ПРИЧИНЫ

При дальнейшем рассмотрении приняты следующие зависимости относительных удельных расходов водослива  $q/q_m$  от относительных открытий затвора  $a/H$ .

Для подъемных затворов:

$$\frac{q}{q_m} = 1 - \left(1 - \frac{a}{H}\right)^{3/2}, \quad (5)$$

где:

$h$  — напор над верхней кромкой затвора,

$H$  — полный напор на водосливе и

$a = H - h$

Зависимость 5 получена делением обеих частей основной формулы для истечения из-под щита [9]

$$q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} (H_0^{3/2} - h_0^{3/2}) \quad (6)$$

на соответствующие части формулы для расхода через свободный водослив (9)

$$q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (7)$$

в предположении коэффициента расхода  $\mu$  одним и тем же для обеих формул. Как видно из рисунка 2, зависимость (5) хорошо совпадает с данными лабораторных исследований разных авторов [10, 11, 12].

Следует иметь в виду, что полученная зависимость соответствует действительности только при относительных открытиях  $a/H < 0,76 - 0,74$ , так как при дальнейшем открытии истечение превращается в свободный пелливи.

Для опускаемых затворов применяемая зависимость  $\frac{q}{q_m} = f\left(\frac{a}{H}\right)$  получена по данным зарубежных экспериментальных исследований барабанных затворов и изображена на рис. 2.

### а) Отклонения, вызываемые схемой управления затворов.

При применении подъемных затворов подъемники, применяемые для маневрирования, могут быть стационарными или передвижными.

В последнем случае промежуточные степени открытия могут быть практически осуществлены только ступенями, причем шаг ступеней обычно находится в пределах от 0,5 до 1,0 м. Если принять ступени регулирования в 0,1 напора, то кривая отклонений, вычисленная по зависимости (5), будет иметь вид, приведенный на рис. 3.

В отличие от этого стационарные подъемные устройства позволяют открывать все затворы практически одновременно и сколь угодно малыми ступенями, создавая этим условия сопряжения бьефов, почти совпадающие с оптимальными условиями.

При применении опускных затворов всегда применяют стационарные подъемно-опускные устройства, которые по принципу действия подразделяются на: гидравлические, полугидравлические и механические.

Опускные затворы с гидравлическими подъемно-опускными устройствами обычно автоматизированы. Как известно из теории регулирования, с помощью надлежащей обратной связи можно обеспечить регулирование с любой заданной статической характеристикой, т. е. в данном случае связью между уровнями В. Б. и расходами водослива. Следовательно отклонения от оптимальных условий сопряжения бьефов в этом случае в основном зависят от коэффициента чувствительности регулятора

$$d' = \frac{\Delta h' - \Delta h}{\Delta H} b \text{ \% \%}, \quad (6)$$

где

$\Delta h' - \Delta h$  — максимальное изменение уровня В. Б., на которое аппарат управления еще не реагирует;

$\Delta H$  — повышение уровня В. Б. над НПГ, необходимое для полного опускания затвора.

Естественно, что для регулирования затворов нет необходимости обеспечивать такую высокую чувствительность, как например в турбинных регуляторах (0,25—0,50%); для затворов вполне допустима чувстви-

ность порядка 5—10%. Легко показать, что неравномерность открытия затворов даже при этих значениях  $d'$  не превышает 5% от напора. Соответствующий график отклонений приведен на рис. 2.

Применение механического привода практически не увеличивает и не уменьшает отклонения по сравнению с отклонениями при подъемных затворах с индивидуальными подъемниками.

Таким образом отклонения, вызываемые схемой управления для затворов спускных и подъемных, вообще невелики и практически одинаковы для обеих групп затворов.

### **б) Отклонения, вызываемые неустойчивостью истечения**

Эти отклонения имеют место лишь при подъемных затворах.

Истечение из-под щита на гребне водослива переходит в свободный перелив при открытиях затвора на величину, равную толщине струи на водосливе. В зависимости от очертания водослива эта толщина составляет (0,67—0,75)H. Как видно из рис. 2, это приводит к тому, что одному и тому же открытию затвора могут соответствовать различные расходы, изменяющиеся в довольно большом диапазоне. В действительности, как показывают лабораторные и натурные исследования [10, 13], на этом участке, в диапазоне 25% толщины струи, имеют место неустойчивый режим и пульсация струи. Пульсация может оказаться опасной для прочности затвора и поэтому обычно избегают давать открытия в этом диапазоне. Практическим пределом открытия затворов можно считать в зависимости от очертания водослива, 0,50—0,55 от напора, после чего приходится открывать затворы полностью.

Следует подчеркнуть важность дальнейшего уточнения этого предела лабораторными и натурными исследованиями, так как несмотря на то, что в очень многих случаях именно это предельное открытие и является решающим для назначения отметки водобоя, в нашей практике существует разнობой в назначении последней ступени открытия (таблица 1).

Таблица 1

№	Плотина	m	Открытия, соответствующие последней ступени
1	Новосибирская	0,482	0,555
2	Воткинская	0,500	0,300
3	Горьковская	0,380	0,465
4	Камская	0,380	0,611
5	Нарвская	0,380	0,300

Отклонения от оптимальных условий, вызываемые ограничением открытия затворов величиной 0,50—0,55 напора, изображены на рис. 4.

### в) Отклонения, вызываемые наличием льда и плавающих предметов в В.Б.

Эти отклонения имеют большие значения при подъемных затворах и меньшие при опускных.

Хотя на наших водохранилищах к началу сброса воды лед тает, все-же на многих гидроузлах возможность сброса воды при наличии льда в верхнем бьефе не исключается.

Многочисленными опытами и натурными наблюдениями показано [10, 13], что в этих условиях при открытиях подъемных затворов больше, чем на (0,15—0,25)H наблюдается подсосывание льдин под затворы, что может грозить повреждением последних. Во избежание этого приходится после открытия затворов на (0,15—0,25)H переходить сразу к их полному открытию.

Отклонения от наивыгоднейших условий сопряжений бьефов, которые при этом получаются, особенно большие, — как это видно на рис. 4. Максимальные удельные расходы приходится в этом случае пропускать при сравнительно низких горизонтах Н. Б., соответствующих 20—30% расхода водослива.

В отличие от этого опускные затворы при наличии льда в В. Б. могут быть открыты безопасно на любую глубину, необходимую лишь для пропуска расхода. Влияние наличия льда сказывается лишь в начальной стадии открытия, так как во избежание ударов о верхние кромки, опускные затворы необходимо открывать сразу

на глубину, необходимую для безопасного пропуска льда. Обычно это первоначальное открытие составляет 0,2—0,3 напора. Отклонения, вызываемые при этом, изображены на рис. 4 горизонтальными линиями.

Как видно, в этом случае отклонения от оптимальных условий сопряжения бьефов будут иметь место не при максимальных удельных расходах, как в предыдущем случае, а при сравнительно малых расходах. Однако, при некоторых условиях иногда и этот случай может явиться определяющим отметку водобоя.

#### г) Отклонения, вызываемые неисправностью части затворов

По существующим СН и П при пропуске максимального расчетного паводка малой вероятности должны учитывать все пролеты водослива. Однако при пропуске паводков более высокой вероятности, т. е. более частых, хотя и меньших по величине, уже нельзя не считаться с возможностью забивки или повреждения части затворов. Если не учитывать этого обстоятельства, то при выходе из строя хотя бы одного затвора, неизбежно придется открывать другие затворы полностью при горизонтах нижнего бьефа меньше расчетных.

Обозначив через  $m$  общее число пролетов и через  $m_1$  число затворов, находящихся в ремонте, можно получить для величин отклонений зависимость:

$$q_p = \frac{1}{1 - \frac{m_1}{m}} q. \quad (7)$$

На рисунке 5 приведен график отклонений, вызванных ремонтом части затворов для разных значений.

#### д) Отклонения, вызываемые отставанием уровня н. б.

Хотя эти отклонения по своей природе не зависят от типа затвора, однако по некоторым причинам они проявляются сильнее при применении подъемных затворов, чем опускных.

Как известно, при изменении расхода уровень нижнего бьефа устанавливается на отметке, соответствующей новому режиму не сразу, а лишь через некоторое время. Изучению этого явления посвящен ряд как теорети-

ческих исследований, так и натуральных наблюдений. [14, 15]. Исследования показывают, что установление нового режима в данном створе происходит по показательному закону, а период установления измеряется несколькими часами (2—10 часов).

При применении подъемных затворов с передвижными подъемниками вследствие неизбежности открытия затворов ступенями, появляется необходимость учета отставания после каждой перестановки затворов. Если имеется возможность делать перерыв после каждой ступени в ходе открытия затворов для наполнения нижнего бьефа, то этим и ограничивается учет отставания уровня н. б. Но так как иногда при быстром нарастании паводка может потребоваться открытие плотины в более короткий срок, то приходится учитывать суммарные отставания уровня н. б.

Для иллюстрации характера влияния этого явления на условия сопряжения бьефов на рис. 6 приведена кривая отклонений при необходимости открытия подъемных затворов с передвижными подъемниками в течение времени, достаточного для наполнения нижнего бьефа на 60% от разницы глубин при новом и старом режиме.

При применении опускных затворов, также как и подъемных со стационарными подъемниками, можно медленным открытием затворов практически избежать отставания уровня нижнего бьефа, вызванного ступенчатым открытием, и считаться только с отставанием, связанным со скоростью нарастания паводка.

### е) Некоторые выводы

Из изложенного явствует, что некоторые обстоятельства (ремонт затворов, временное отставание ур. н. б.) вызывают отклонения практически одинаковые у затворов обеих групп, в то время как другие — наличие плавающих предметов и льда, неустойчивость истечения изпод затвора, — различные. Первая группа обстоятельств исключена из дальнейшего рассмотрения, и сравнение применения затворов обеих групп в разных эксплуатационных условиях в § 4 проведено с учетом отклонений, вызываемых только неустойчивостью истечения и наличием льда в В. Б.

### 3. СВЯЗЬ УРОВНЕЙ С ВЕЛИЧИНОЙ СБРАСЫВАЕМЫХ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ

Как было пояснено, при расчете сопряжения бьефов исходной должна являться расчетная кривая связи, которая может быть получена при помощи кривых отклонений из оптимальной кривой, как это показано на рис. 1 пунктиром. Поэтому естественно, что для сравнения затворов обеих групп в разных гидрологических условиях необходимо исследовать возможные формы оптимальной кривой связи.

Выражая кривую связи уровней и расходов реки степенной зависимостью  $Q = a(h + b)^n$ , получаем при помощи несложных преобразований для оптимальной кривой связи зависимость в виде:

$$h = f(q) = h_m \frac{1 - \left[ (1 - \beta) \frac{q}{q_m} + \beta \right]^{1/n}}{1 - \beta^{1/n}}, \quad (8)$$

где  $h$  — понижение уровня вниз от горизонта нижнего бьефа, соответствующего максимального расчетному расходу в данном створе (см. рис. 1);

$h_m$  — полный диапазон колебания уровня н. б. от максимального горизонта до минимального, соответствующего расходу гидростанции\*.

$$q_m = \frac{Q_{\text{расч.}} - Q_{\text{гэс}}}{B}, \quad q = \frac{Q - Q_{\text{гэс}}}{B}, \quad \beta = \frac{Q_{\text{гэс}}}{Q_{\text{расч.}}}$$

$n$  — показатель степени в зависимости.

На основании анализа кривых связи уровней и расходов ряда равнинных рек получено, что показатель степени  $n$  обычно имеет значение в пределах 1,6—6,0, причем руслам, не выходящим на пойму во время паводка, соответствует значение  $n = 1,67—2,67$ , а руслам, выходящим на пойму —  $n > 2,67$ .

\* Под расходом гидростанции подразумевается пропускная способность гидростанции во время пропуска расчетного паводка с учетом остановки части турбин, т. е. около 80% расхода, соответствующего установленной мощности [С Н и П (15)].

Для большинства построенных и запроектированных ГЭС  $h_m$  колеблется в очень широких пределах, — от 2 до 12 м, а  $\beta = \frac{Q_{\text{ГЭС}}}{Q_{\text{расч.}}}$  обычно остается в пределах 0,2—0,4, причем более высокие значения относятся к водосливным и совмещенным ГЭС. На хорошо зарегулированных реках  $\beta$  приближается к 1,0.

На рисунке 7 изображена в относительных координатах зависимость (8) для крайних возможных значений  $\beta$  и  $n$ . Как видно из рисунка 7, на малорегулированных реках показатель степени сильно влияет на ход кривых, в то время как с увеличением зарегулированности реки его влияние уменьшается и, начиная от значений  $\beta = 0,4$ , можно было бы практически заменить кривые прямыми.

#### 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ВОЗМОЖНЫЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ОПУСКНЫМ ЗАТВОРАМ

Для сравнения за исходные приняты следующие ранее выведенные параметры:

$\frac{h_m}{h_{\text{кр. м}}}$  — относительный диапазон колебаний уровней н. б. (см. рис. 1),

где

$h_{\text{кр. м}}$  — критическая глубина, соответствующая максимальному сбрасываемому удельному расходу;

$\beta = \frac{Q_{\text{ГЭС}}}{Q_{\text{расч.}}}$  — доля гидростанции в пропуске расчетного паводка;

$n$  — показатель степени кривой зависимости.

Кроме того для характеристики напора на гидроузле принят параметр:

$\frac{Z_m}{h_{\text{кр. м}}}$  — относительный напор на гидроузле (см. рис.1).

Определение экономического эффекта проведено в виде сравнения объемов бетона водослива и крепления нижнего бьефа при применении затворов подъемного типа ( $W = 100\%$ ) и опускного типа. Для определения объ-

емов использованы графики объемов водослива и крепления нижнего бьефа, предложенные проф. В. С. Баумгартом [16] (рис. 9) для водослива, приведенного на рис. 8.

Для сравнения приняты из подъемных затворов — плоские с индивидуальными подъемными устройствами, а из опускных — барабанные.

Для этих затворов приняты следующие отклонения от оптимальных условий:

для подъемных затворов —

а) переход к полному открытию затворов, начиная с открытия 0,55 ( $q/q_m = \sim 70\%$ ) при отсутствии льда в В. Б., и начиная с 0,20 ( $q/q_m = \sim 30\%$ ) — при наличии;

б) неравномерность открытия пролетов на 5 % от высоты затвора;

для опускных затворов:

а) опускание затворов сразу на 25% высоты ( $q/q_m = 15\%$ ) для безопасного пропуска льда;

б) неравномерность открытия затворов также на 5% от высоты, за счет нечувствительности аппарата управления.

Наполнение уровня Н. Б. сразу после применения открытия не учитывалось.

По кривым отклонения, соответствующим этим условиям, были установлены расчетные горизонты Н. Б., а следовательно и расчетные перепады, по которым и определены по графикам Баумгарта соответствующие объемы бетона.

Для подъемных затворов во всех случаях решающим оказался случай перехода к полному открытию любого из затворов, а для опускных затворов — при маленьких диапазонах колебания уровня н. б. полное открытие одного из затворов с опережением остальных на 5% ( $q/q_m = 10\%$ ) за счет нечувствительности аппарата регулирования, а при больших диапазонах колебания уровня н. б. начальные открытия на 28% ( $q/q_m = 15\%$ ) для безопасного сброса льда.

На рисунках 10 и 11 приведены графики объемов водосливов с опускными затворами в зависимости от от-

носительного диапазона колебаний уровней н. б. Этот параметр влияет в наибольшей степени.

Как видно из графиков на реках, где отметка расчетного уровня нижнего бьефа не зависит от расхода водослива (сильное подтопление со стороны нижележащей ГЭС, наличие озера и т. д.) и на реках, полностью зарегулированных, где  $\beta = 1,0$ , опускные затворы с точки зрения условия сопряжения бьефов не имеют преимуществ перед подъемными.

С увеличением же относительного диапазона колебания уровней н. б. экономия, даваемая опускными затворами, увеличивается. Однако при очень больших диапазонах колебания уравнений н. б. определяющим отметку водобоя при опускных затворах становится случай начального открытия для безопасного сброса льда со сбросами  $q \sim 0, 15q_{\max}$  при горизонте нижнего бьефа, соответствующего расходу ГЭС, в то время как отметка водобоя при подъемных затворах определяется как раньше.

Это обстоятельство заставит располагать отметку водобоя при опускных затворах на более низкой отметке, что влечет за собой уменьшение экономии. Но следует отметить, что применением для гашения энергии при маленьких удельных расходах разнообразных мероприятий (концентрация сброса малых расходов через один или два пролета с пониженным водобоем и специальными гасителями) можно существенно уменьшить влияние мелких удельных расходов на отметку водобоя в остальных пролетах. Сказанное иллюстрируется на рис. 10 полосами 1 и 2, из которых первая дает экономии при применении гладкого водобоя, а вторая при применении специальных гасителей ( $t = 1,5h_{кр}$ ). Таким образом, целесообразным применением вышеупомянутых мероприятий также при больших диапазонах колебания уровней н. б. экономический эффект практически определяется основной кривой, по которой экономия увеличивается вместе с увеличением относительного диапазона колебания уровней (на рис. 10 и 11 жирная линия.)

## ВЫВОДЫ

1. Существуют определенные области эксплуатационных и гидрологических условий, в которых применение опускных затворов может дать существенное уменьшение объема бетона водосливной плотины.

2. Целесообразность замены в этих областях подъемных затворов опускными увеличивается с увеличением диапазона колебания уровней н. б., с уменьшением напора на гидроузлы и с уменьшением доли ГЭС в пропуске паводка.

3. При очень больших диапазонах колебания уровней н. б. вследствие того, что решающими для назначения отметки водобоя будут случаи пропуска малых удельных расходов, которые ограничивают возможность подъема водобоя и уменьшают экономию, целесообразно применение различного рода гасителей или концентрация малых удельных расходов на ограниченном числе специальных пролетов с пониженным водобоем.

4. Уменьшение объема бетона водослива при замене подъемных затворов со стационарными подъемниками опускными затворами может достигать при наличии льда в В. Б. до 30% от объема водослива, а при отсутствии льда — до 15%, считая на 1 погонный метр плотины. При сравнении с подъемными затворами с передвижными подъемниками эта экономия в некоторых случаях будет еще больше.

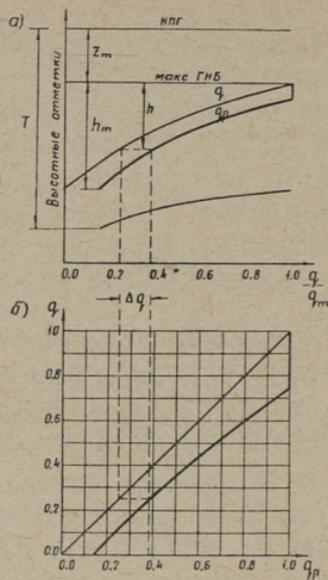


Рис. 1. а) Оптимальная и расчетная кривая связи уровней н. б. и удельных расходов водослива.  
 б) График отклонений.

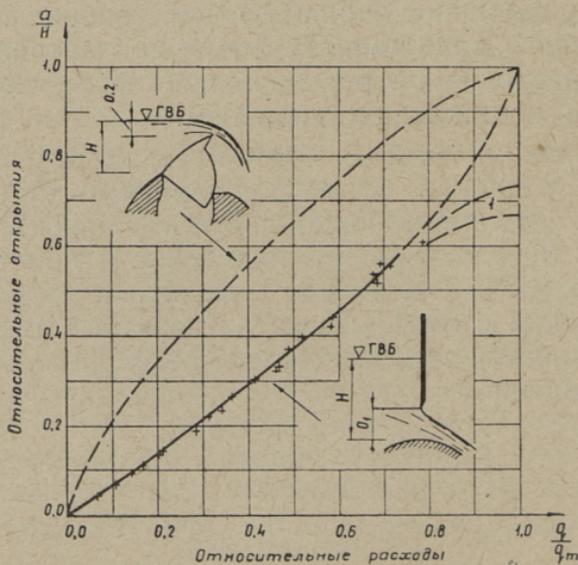


Рис. 2. Зависимости относительных расходов  $q/q_m$  от относительных открытий затвора  $a/H$  для плоских и барабанных затворов.  
 1 — зона неустойчивого истечения из-под плоского затвора.

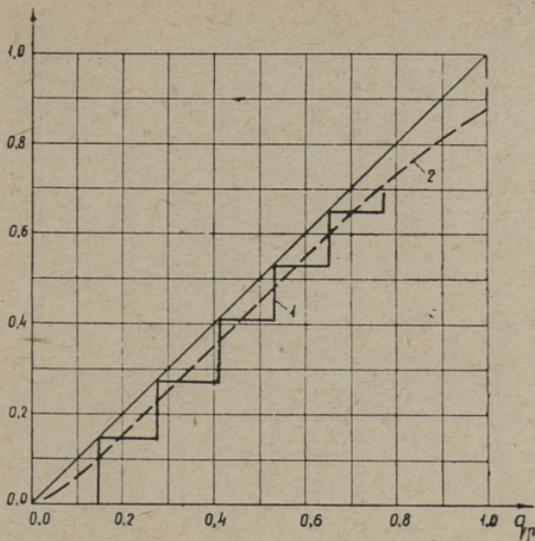


Рис. 3. График отклонений, вызываемых схемой управления затворов.  
 1 — плоские затворы с передвижными подъемниками — шаг регулирования 0,1 напора.  
 2 — барабанные затворы — неравномерность открытия затворов на 0,05 напора, за счет нечувствительности аппарата управления.

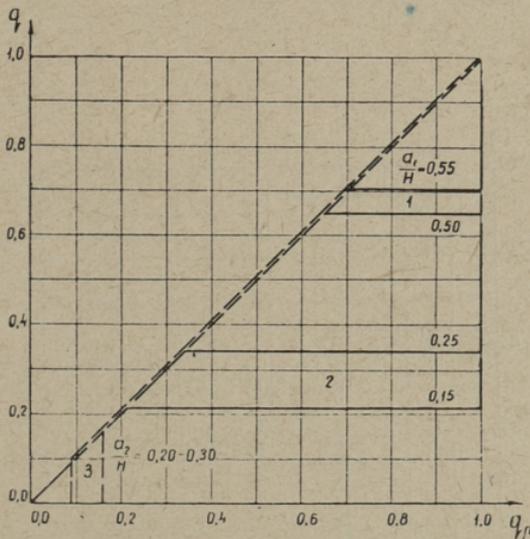


Рис. 4. График отклонений, вызываемых неустойчивостью истечения и наличием льда в В. Б. во время сбросов воды.  
 1 — зона отклонений, вызываемых неустойчивым истечением из-под плоских затворов.  
 2 — зона отклонений, вызываемых подсосыванием льда под подъемные затворы.  
 3 — зона отклонений, вызываемых пропуском льда через барабанные затворы.

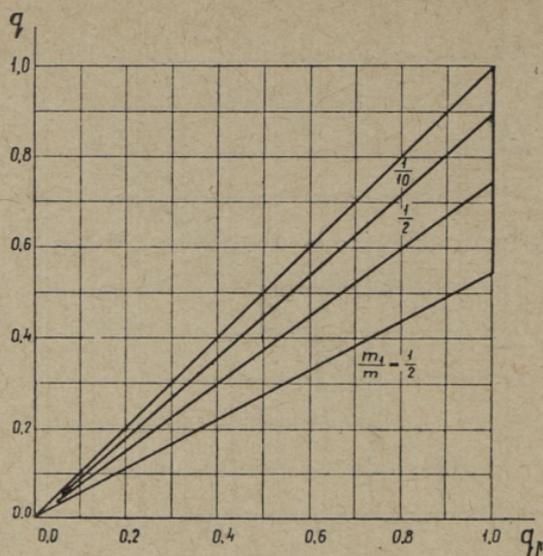


Рис. 5. График отклонений, вызываемых неисправностью части затворов.

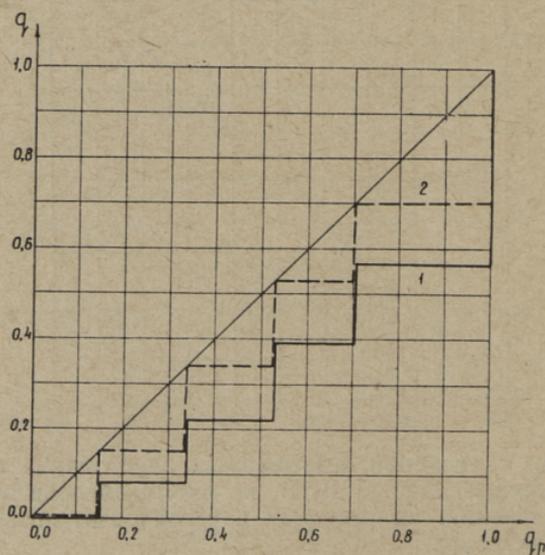


Рис. 6. График отклонений, вызываемых отставанием уровня нижнего бьефа от расходов при вынужденном открытии подъемных затворов с передвижными подъемниками.

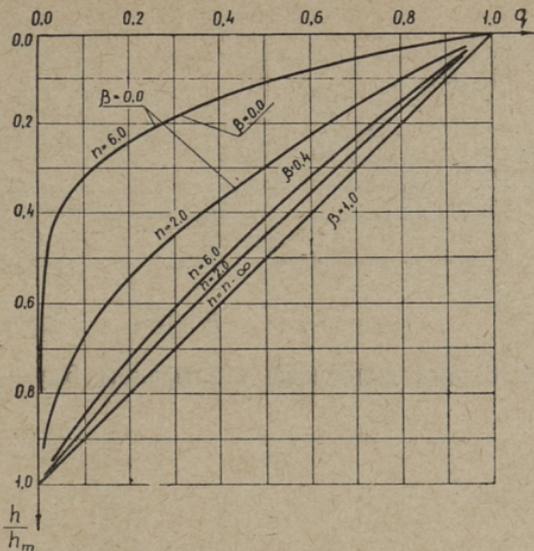


Рис. 7. Форма оптимальной кривой связи уровней  $n_b$  и удельных расходов водослива.

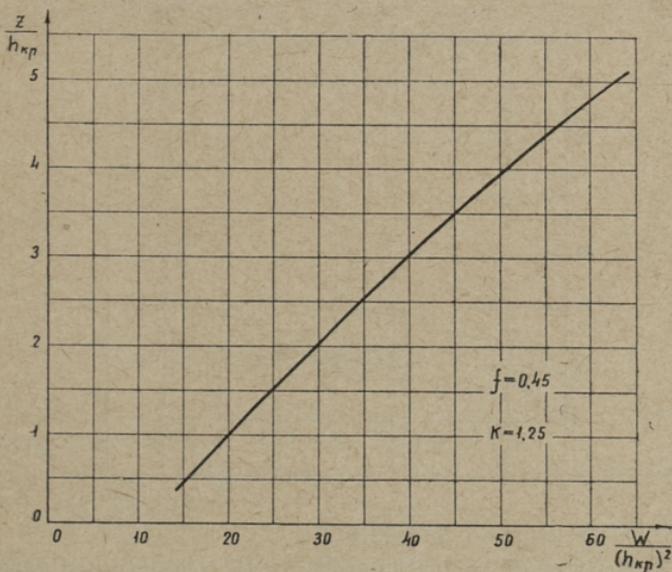


Рис. 8. График объемов водослива и крепления нижнего бьефа на погонный метр, предложенный проф. В. С. Баумгартом для водослива, приведенного на рис. 9.

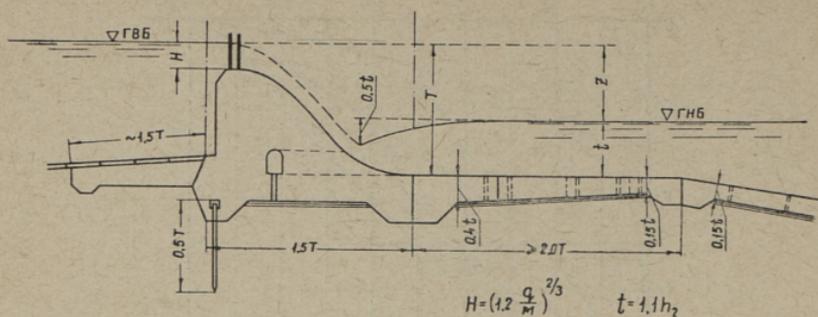


Рис. 9. Схема водослива к графикам Баумгарта.

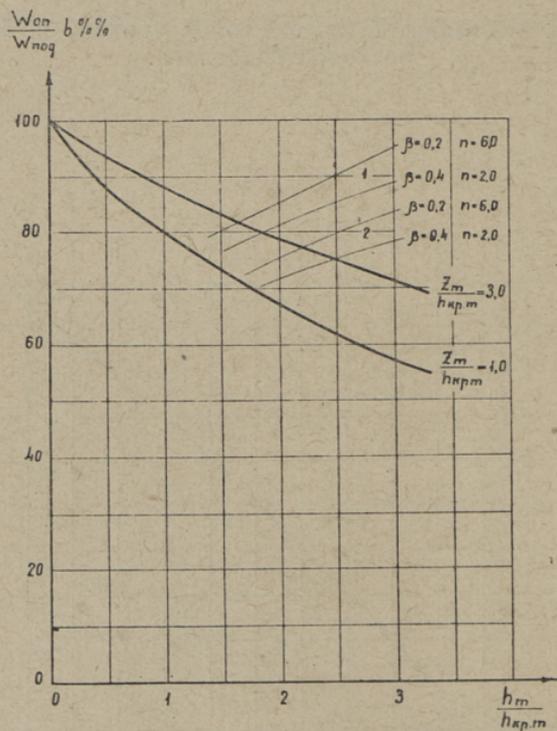
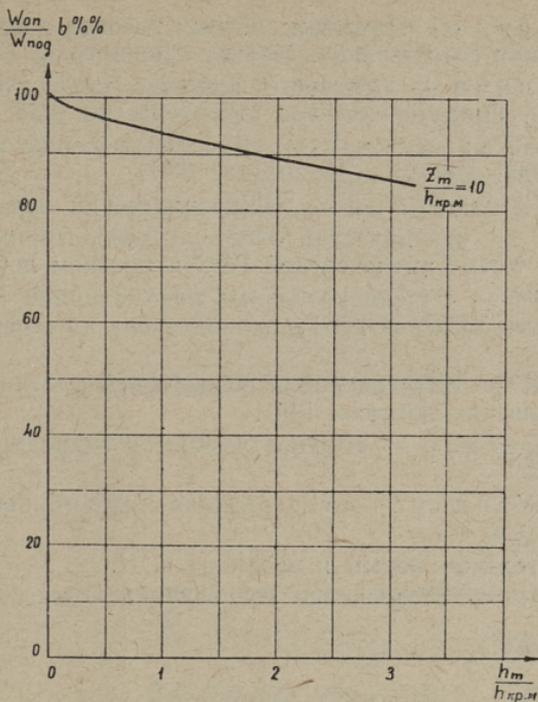


Рис. 10. Объемы водослива с барабанными затворами в зависимости от диапазона колебания уровней нижнего бьефа при наличии льда в В. Б. во время сбросов воды.

1 — гладкий водобой.

2 — водобой с специальными гасителями ( $t = 1.5h_{кр.м}$ ).



11. Объемы водослива с барабанными затворами в зависимости от диапазона колебания уровней нижнего бьефа при отсутствии льда в В. Б. во время сбросов воды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. Hinds — «Automatic Spillway Gates of Black-Canyon Dam.» Engineering News Record 1925, Vol. 94 № 26.
2. K. Kenner — «The Design of Shasta Dam.» Civil Engineering N. Y. 1943, Vol. 13 № 6, 7, 9.
3. A. Fulton — «Civil Engineering Aspects of Hydro-Electric Development in Scotland.» Proceedings of Institution of C E 1952, Vol. I.
4. K. Strauch — «Das Eisproblem bei Kraftwerken.» Die Wasserwirtschaft 1956, № 5, 6.
5. «Научно-техническая конференция Ленинградского Политехнического института». Тезисы докладов. Ленинград, 1953.

6. И. И. Леви — «Движение речных потоков в нижних бьефах гидротехнических сооружений». Москва—Ленинград, 1955.
7. В. В. Ликин — «Улучшить качество металлоконструкций и оборудования». Гидротехническое строительство 1955. № 2.
8. С. В. Тарановский — «Вододействующие металлические затворы плотин». Москва—Ленинград, 1947.
9. Н. Н. Павловский — «Гидравлический справочник» 1940.
10. НИИГ — «Технический отчет по лабораторным исследованиям плотины Усть-Каменогорской ГЭС в плоском лотке». 1932.
11. ВНИИГ — «Предварительные рекомендации по маневрированию затворами Камской ГЭС в период пропуска весеннего паводка 1956 г.» 1956.
12. ВНИИГ — «Исследования водосборной плотины Новосибирской ГЭС в плоских лотках». 1951.
13. Л. С. Кусков — «Водное хозяйство гидроэлектростанций». 1954.
14. А. А. Угинчус — «Гидравлика нижнего бьефа» ГОНТИ. 1933.
15. «Строительные нормы и правила» ч. II.
16. ВНИИГ — «Улучшение конструкции водосливных плотин» ч. I.

---

А. М. Айтсам

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ВЫБОРЕ ТИПА ЗАТВОРОВ  
В УСЛОВИЯХ РАВНИННЫХ РЕК СОВЕТСКОГО СОЮЗА

Издательство  
Таллинского Политехнического Института

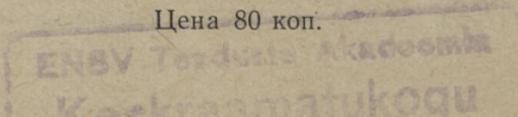
\*

Редактор Х. Вельнер  
Технический редактор А. Тамм  
Корректор Л. Паль

Сдано в набор 10 09 1957. Подписано к печати 27 09 1957.  
Бумага 54×84 1/16. Печатных листов 1,5. По формату 60×92 печатных листов 1,23. Учетно-издательских листов 1,08. Тираж 800.  
МВ-07030. Заказ № 5594.

Типография «Коммунист», Таллин, ул. Пикк 2.

Цена 80 коп.





Цена 80 коп.