

НКТП СССР — ГЛАВЭНЕРГО  
ТРУДЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА  
ГИДРОТЕХНИКИ

---

Инж. Л. Ф. ЛИНЕВ

*С. Силикин  
Ленинград  
IX. 49*

# ВЫБОР КОНФИГУРАЦИИ ЗАТВОРОВ ТИПА ДАХВЕР



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ  
ГОССТРОЙИЗДАТ

ЛЕНИНГРАД

1933

МОСКВА

В течение последних 10—15 лет за границей замечается тенденция в применении затворов автоматического действия. Для этой цели используются или обычные типы затворов (плоские, вальцовые и сегментные), действующие путем установления надлежащей электрической связи между уровнем воды верхнего бьефа и подъемными механизмами, или специальные типы затворов, управление которыми совершается непосредственно водой самого преграждаемого потока без участия электрической энергии и подъемных механизмов.

Судя по данным периодической иностранной литературы, среди различного рода затворов этого последнего вида наибольшее распространение получили вододействующие крышевидные затворы „Дахвер“ (Dachwehr), представляющие собой усовершенствованные цюрихской фирмой Huber & Lütz американские крышевидные затворы „Beartrap“, появившиеся впервые около 115 лет тому назад. Такой успех распространения затворов Дахвера объясняется по-видимому простотой их конструкции, сравнительной дешевизной вследствие применения в конструкции большого процента лесного материала, простотой управления, быстротой действия и возможностью при надлежащих условиях установки их не только на потоках с чистой водой, но и на потоках со взвешенными наносами.

Однако несмотря на большое распространение этих затворов и обилие статей, посвященных описанию их работы и конструкции, до настоящего времени в литературе нет никаких указаний ни об общих методах выбора основных размеров отдельных их элементов, ни об условиях компоновки их общей конфигурации. Отсутствием этих указаний и попутно отсутствием комплекса данных, освещающих природу указанных затворов, можно очевидно объяснить тот слабый интерес к ним, который наблюдается у нас в Союзе: до настоящего момента у нас нет ни одного построенного затвора крышевидного типа, нет благодаря этому собственного опыта.

Нет сомнения, однако, в том, что затворы крышевидного типа найдут применение у нас в Союзе, и поэтому будет целесообразно осветить в печати все достижения в области их изучения как для накопления необходимого материала при их проектировании, так и для дальнейшего совершенствования.

Настоящей работой автор пытается положить начало изучению природы затворов рассматриваемого типа и дать основы их проектирования в отношении установления вида нужной конфигурации и основных размеров отдельных элементов этой конфигурации в зависимости от характера предполагаемой работы затвора.

Задаваясь целью охвата по возможности всех сторон существа крышевидных затворов, данная работа затронула: краткий обзор развития крышевидных затворов от момента появления до современного этапа усовершенствования; рассмотрение действующих на них сил и методов их подсчета; установление характеристических кривых (паспортов) этих затворов и существующей связи между этими кривыми и возможной работой затвора; установление понятия о чувствительности крышевидных затворов, т. е. связи между видом характеристической кривой и кривой хода гребня затвора; рассмотрение отдельных элементов, входящих в состав конфигурации крышевидных затворов типа Дахвер с установлением их размеров в зависимости от преграждаемой глубины  $H$  воды над порогом; нахождение конфигурации затворов по заданной характеристике и заданной чувствительности с пояснением приемов этого нахождения на двух конкретных примерах



верхнего положения в крайнее нижнее для полного открытия перекрываемого им отверстия.

Выполнение первого из указанных маневров совершалось путем использования воды верхнего бьефа, которая для этой цели впускалась в камеру давления под имеющимся на плотине напором, заполняла пространство камеры давления и тем самым заставляла затвор подниматься до тех пор, пока нижний щит не приходил в положение, соответствующее натяжению удерживающих цепей  $K$ ; сохранение затвором достигнутого крайнего верхнего положения совершалось непрерывным поддержанием установленной связи камеры давления с верхним бьефом при полном его разобшении с нижним бьефом.

Выполнение второго маневра — опускание затвора — производилось путем опорожнения камеры давления от находящейся воды, впущенной в нее при подъеме затвора; для этой цели разобщали камеру давления с верхним бьефом и, установив связь ее с нижним бьефом, выпускали воду в этот последний; занятие затвором крайнего нижнего положения наступало при надлежащем (почти полном) опорожнении камеры давления.

Действие затвора при производстве указанных маневров обуславливалось, как это явствует из существа его конструкции, возможностью реализовать на верховой и низовой щиты той или иной интенсивности внутреннее давление, пользуясь для этого впуском в камеру давления воды при подъеме затвора и выпуском из нее при его опускании. От реализации внутреннего давления естественно происходило изменение действующих до него на щиты сил, появлялись соответственно новые их комбинации, которые в результате и вынуждали затвор переходить из одного положения в другое.

Так при подъеме затвора, когда реализовалось наибольшее внутреннее давление путем сообщения его камеры лишь с верхним бьефом, верховой щит, как нетрудно заметить из фиг. 1, получал почти полное разгружение от нагрузки внешней водой, а низовой — более или менее значительное превалирование внутреннего давления над внешней нагрузкой; следствием этого ведущим щитом становился низовой щит и комбинация сил, которая при этом проявлялась в затворе, была такова, что момент вращения  $M_n$  всех сил, включая сюда собственный вес и реактивные силы, действующих на низовой щит, относительно оси вращения этого щита, получался больше момента  $M_v$  всех сил, действующих на верховой щит относительно оси вращения, принадлежащей этому последнему.

При опускании затвора наоборот создавались условия для получения наименьших внутренних давлений на щиты, для чего камеру давления сообщали только с нижним бьефом.

При этом верховой щитполучал лишь частичное разгружение от внешней нагрузки, а низовой — либо превалирование внутреннего давления над внешними водяными нагрузками, либо то или иное разгружение его от этой нагрузки. Комбинации сил, которые при этом появлялись, очевидно были либо таковы, что получалось,  $M_v > M_n$ , либо что оба эти момента оказывались сообщающими щитам движение, направленное вниз, к флутбету. Это последнее явление очевидно имело место тогда, когда внешняя водяная нагрузка на оба щита оказывалась для них доминирующей.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Будет нелишним отметить здесь, что помимо возможности достижения в затворе, путем изменения в нем величины внутреннего давления, комбинаций сил, дающих в итоге их действия либо  $M_n > M_v$ , либо  $M_n < M_v$ , можно также получить такое сочетание этих сил, при котором моменты вращения всех сил, действующих на каждый из щитов, были бы порознь равны н<sup>0</sup>лю, т. е., что

$$M_n = M_v = 0.$$

В этом случае затвор находился бы в состоянии мгновенного равновесия, которое имело бы место до тех пор, пока не было нарушено условие, его вызвавшее

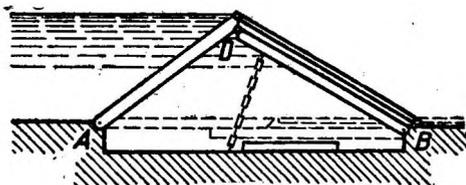
Установление той или иной связи камеры давления затвора с бьефами плотины совершалось весьма просто и быстро путем соответствующих простых манипуляций с упомянутыми выше заслонками; выполнение самых маневров протекало также довольно просто и быстро, требуя на каждый из них всего лишь несколько минут.

Работа описанного крышевидного затвора, получившего в период постройки случайное название „Beartrap“ и удержавшего это название по настоящее время, была в первый год его эксплуатации столь благоприятной, что в следующем 1819 г. в связи с большими работами по регулированию рек в Северной Америке на одной только реке Lehigh было сооружено 12 таких затворов.

Несколько позже, однако, было установлено, что эти затворы, наряду с присущими им положительными качествами, обладали также и некоторыми недостатками, из коих в качестве наиболее существенных были отмечены, например, такие как наличие довольно значительного трения между щитами по линии их соприкосновения, довольно быстрая изнашиваемость низового щита от ударов перекачиваемых через гребень затвора бревен и льдин, необходимость иметь широкий и следовательно дорогой флютбет по сравнению с реализуемым напором и пр.

Несмотря на эти недостатки интерес к затворам „Beartrap“ тем не менее не утрачивался, строительство их в Америке неослабно продолжалось, и в связи с естественным стремлением к улучшению этих затворов и устранению замеченных в них недостатков стали постепенно проводиться в основной конфигурации затворов White те или иные его изменения.

Так Dubois в целях предупреждения вредных последствий от ударов на низовой щит перекачиваемых через гребень затвора бревен и льдин, в особенности когда последний при переходе из одного своего крайнего положения в другое занимал какое-либо промежуточное положение, ввел в основную конструкцию Beartrap'a со стороны нижнего бьефа дополнительный третий щит, связав его одной стороной шарнирно с верховым щитом, а другой — противоположной — свободно оперев на флютбет (фиг. 2).



Фиг. 2.

Как видно, конфигурация затвора от этого дополнительного устройства получилась значительно сложнее первоначальной; очевидно работа этого затвора вследствие появления трения от добавочного элемента была также сложнее и требовала при подъеме реализации больших давлений внутренней воды.

По-видимому по этим причинам конфигурации затвора система Dubois не получила большого распространения: по этой системе было построено лишь несколько затворов.

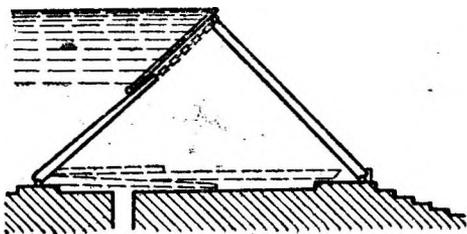
Затем, примерно около 1870 г. американец Lang, а потом американец Parker, стремясь достигнуть более рационально цели, поставленной Dubois, и вместе с этим получить по возможности уменьшенное расстояние между осевыми линиями шарнирного укрепления щитов на флютбете, предложили свои конструкции затворов с конфигурациями, заметно отличающимися от основной по системе White.

Конфигурация затвора первого из них, т. е. системы Lang'a, изображена на фиг. 3. В состав ее входят, как видно, три плоских деревянных щита — один низовой и два верховых; низовой щит одной стороной шарнирно укреплен на флютбете, а другой связан с верховыми щитами с одним шар-

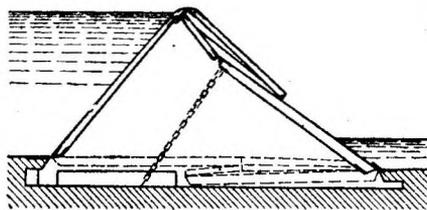
нирно, а с другим, который закреплен на флютбетом, — при посредстве цепей. Размеры высот обоих верховых щитов подобраны так, что верхний из них всегда опирается свободным краем посредством роликов на другой верховой щит (нижний) и тем самым при всех положениях гребня затвора создает то замкнутое пространство (камера давления), которое необходимо для управления затвором.

Конфигурация затвора второй системы — Parker'a представлена на фиг. 4. В состав ее входят три основных плоских деревянных щита, связанных шарнирно между собой и с флютбетом, и один дополнительный щит, шарнирно прикрепленный одной стороной к гребню затвора и свободно опирающийся другой, при помощи роликов, на низовой щит, имеющий связь с флютбетом. Назначение этого дополнительного щита — смягчать удары на низовой щит от переливающейся воды и пловучих тел.

Обе эти конфигурации в достаточной мере компактны, но вместе с тем они сложнее конфигурации системы White. Поэтому, очевидно, несмотря на преимущества, которые они имеют по сравнению с этой последней, они, однако, вытеснить ее из практики не смогли: наряду со строительством



Фиг. 3.



Фиг. 4.

затворов для целей судоходства по системам Lang'a и Parker'a продолжалось также и строительство затворов системы White'a.<sup>1</sup>

Примерно около 1886 г. в конструкции крышевидных затворов начали вводить металл как для остова щитов, так и для их обшивки.

Это обстоятельство, однако, не породило каких-либо новых типов крышевидных затворов, а сказалось лишь на изменении конструкции элементов упомянутых систем затворов (White, Lang и Parker), устройством, например, камер в полотнищах низового щита для накачивания в них воздуха при подъеме затвора, улучшением конструкции роликов, опорных частей и пр.

В качестве иллюстрации, какой именно вид получили затворы Beartrap в связи с применением в них металла, можно указать на следующие сравнительно поздние примеры их конструкций:

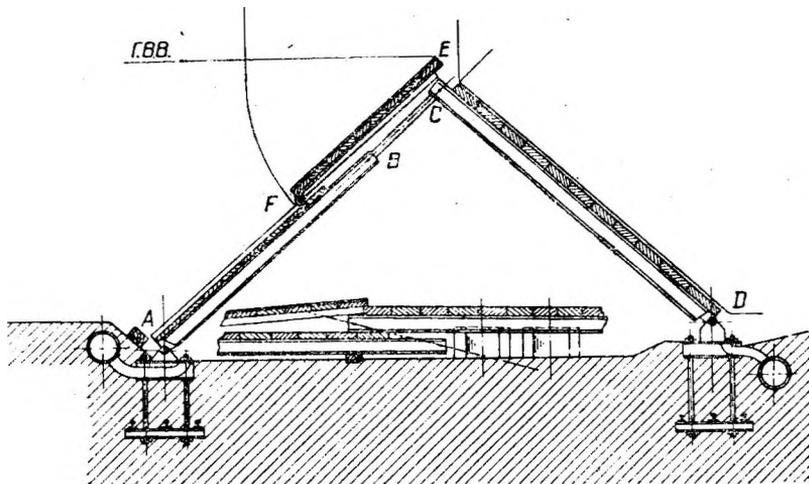
1) Затвор системы Lang'a, приведенный на фиг. 5, пролетом 15,2 м и водоподдерживающей глубиной  $H = 4,85$  м; затвор построен в 1897 г. на плотине реки Миссисипи у гор. Minneapolis. В отношении конфигурации этот затвор никаких изменений, по сравнению с первоначальной, показанной на фиг. 3, не получил. Нововведением здесь является главным образом применение для остова щитов металлических балок и улучшение конструкции шарнирных опор.

<sup>1</sup> Кроме указанных трех систем (Lang, Parker и White) иных систем, которые имели бы в Америке практическое применение, неизвестно, хотя всяких предложений в этой области, часто весьма остроумных, было сделано много, но они по-видимому остались в виде проектов и осуществления не получили.

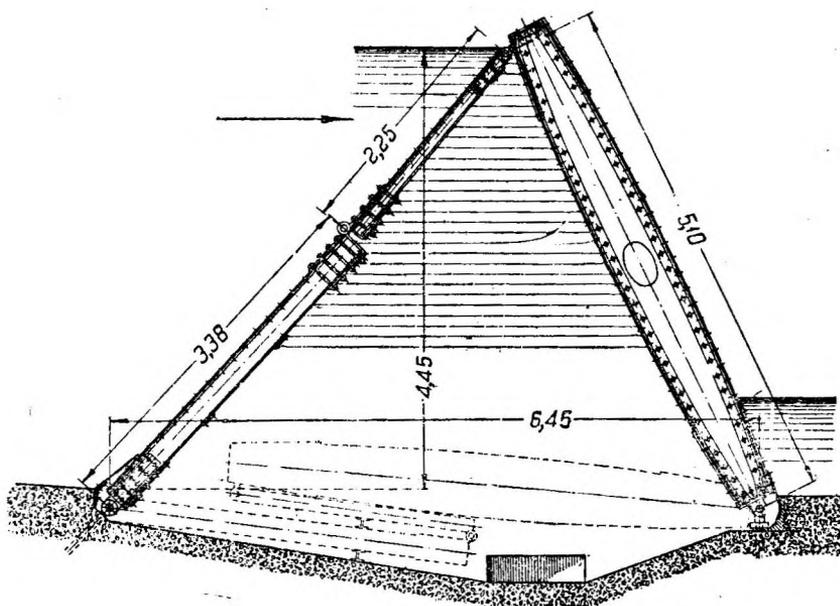
Соотношение между горизонтальным расстоянием шарнирного укрепления щитов на флютбете и водоподдерживающей глубиной в этом затворе получено равным

$$\lambda = \frac{W}{H} \approx 2,15.$$

2) Затвор системы Parker'a (фиг. 6) пролетом 12,10 м и водоподдерживающей глубиной 4,45 м, построенный в 1898 г. на канале Louise — Ville —



Фиг 5.



Фиг. 6.

Portland. Конструкция затвора выполнена целиком из металла. В состав конфигурации входят лишь три щита, а не четыре, как это было ранее (см. фиг. 4). Изменение конфигурации получилось благодаря расположению

двух щитов со стороны верхнего бьефа и одного — со стороны нижнего; от этого, естественно, четвертый, предохранительный, щит оказался излишним.

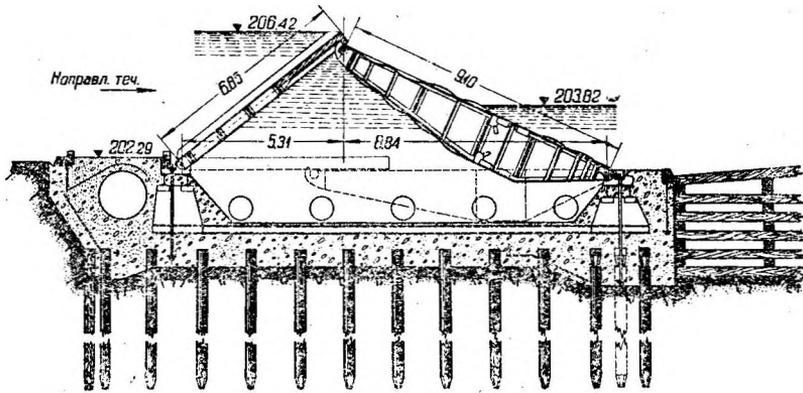
Оба верховые щита имеют одиночную обшивку, а низовой — двойную, в силу чего в полотнище этого последнего получены полости, в которые при необходимости может накачиваться воздух для увеличения плавучести затвора при его подъеме.

Соотношение между  $W$  и  $H$  в этом затворе получено 
$$-\lambda = \frac{W}{H} \approx 1,45,$$

являющемся, в смысле минимальности, рекордным по настоящее время.

3) Конструкция современного Beartrap'a системы White изображена на фиг. 7 и представляет собой поперечный, разрез затвора на плотине Freedom на р. Ohio, построенной в 1907 г. Пролет затвора в свету — 28,4 м, водоподдерживающая глубина — 4,13 м.

Затвор, так же как и в первоначальной конфигурации, состоит из двух щитов, шарнирно укрепленных на флютбете. И тот и другой выполнены из металлических ребер, связанных балками, образующими совместно с первыми



Фиг. 7.

подобие балочной клетки, несущей обшивку: в верховом щите из деревянных брусьев, а в низовом — из лоткового и плоского железа. Эта последняя сделана таким образом, что в полотнище низового щита образованы камеры, могущие в случае необходимости быть используемы для нагнетания воздухом с целью увеличения плавучести щита при его начальном подъеме.

Шарнирное укрепление щитов на флютбете осуществлено при посредстве стальных отливок, связанных между гобю в продольном и поперечном направлениях металлическими связями, заделанными в бетонную кладку флютбета.

Для уменьшения трения по линии соприкосновения низового щита с нижней поверхностью верхового щита в данной конструкции применены специальные ролики, укрепленные при помощи стальных отливок на кромке низового щита в местах расположения основных его ребер.

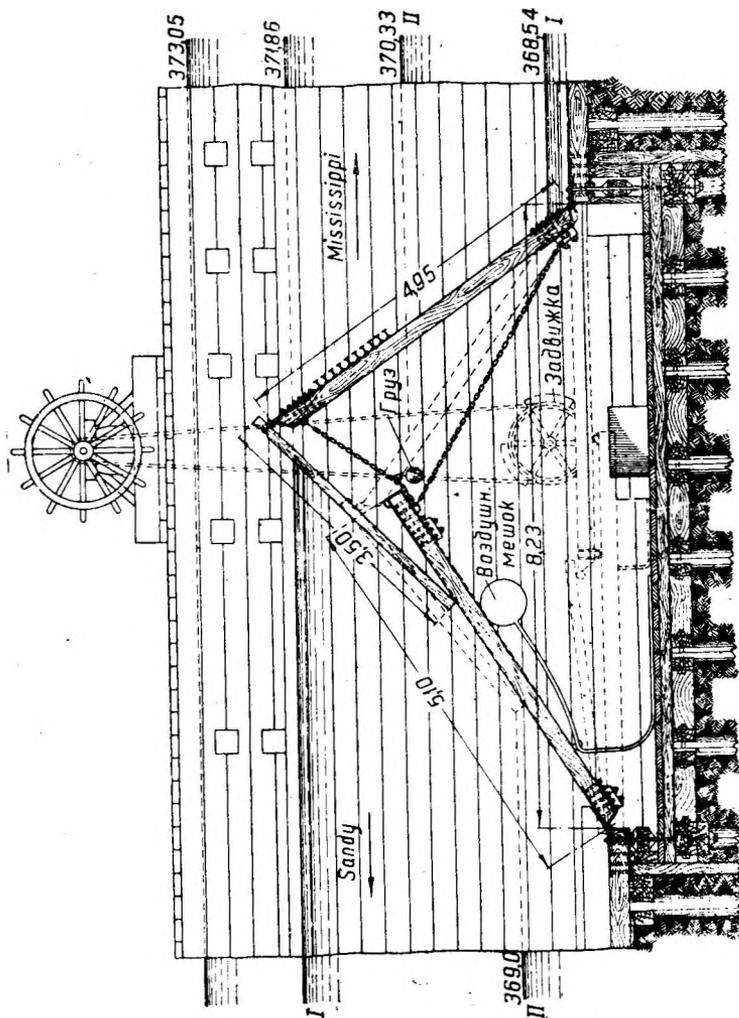
Ограничение предела подъема затвора вместо цепей осуществляется при помощи особых крючкообразных вилок, коими снабжены упомянутые отливки для роликов. Эти вилки заскакивают, при крайнем положении гребня затвора, в особые упоры, имеющиеся на свободном конце верхового щита, и тем самым препятствуют его дальнейшему подъему.

Интересно отметить, что в современных конструкциях затвора системы 8 White горизонтальное расстояние между осевыми линиями шарниров по

отношению к водоподдерживающей глубине так же велико, как и в первоначальных. В рассматриваемом затворе (фиг. 7) оно выражается числом

$$\lambda = \frac{W}{H} \approx 3,50.$$

Приведенные примеры конструкций затворов Beartrap представляют собой затворы, могущие реализовать подпор только с одной стороны — со



Фиг. 8.

стороны верхнего бьефа, практика же применения этих затворов показывает, что они в случае необходимости могут быть приспособлены и для работы по созданию подпоров с обеих сторон.

В качестве примера подобной конструкции на фиг. 8 приведена конструкция затвора, построенного в 1895 г. на реке Sandy-Lake Missisipi-River.

Конструкция этого затвора представляет затвор системы Lang'a, когда таковой работает при наличии повышенного уровня со стороны озера Sandy, и систему White, когда он работает со стороны Mississippi River (положение II, показанное пунктиром).

Затвор в большей своей части выполнен из дерева. Несмотря на это для

облегчения его подъема предусмотрены специальные резиновые мешки, которые могут быть надуваемы воздухом; для облегчения же опускания затвора при работе его на подпор со стороны Sandy-Lake (при работе по системе Lang'a) верхняя часть низового щита несет на себе дополнительный груз в виде нескольких продольных рядов рельс, которые, кроме того, служат и для предохранения низового щита от повреждения льдом и плавающими телами при их перекатывании через гребень затвора.

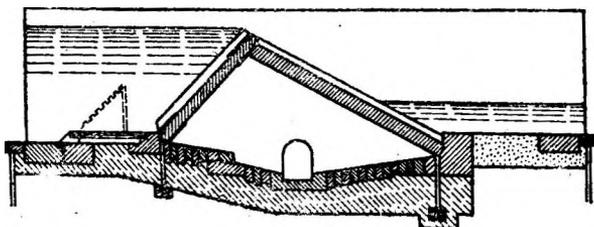
Для устранения возможного препятствия от цепей к соприкосновению верхового щита с низовым щитом, когда затвор работает по системе White, к этим цепям привешены грузы.

Цепи предназначаются для ограничения подъема затвора при работе его по системе White.

Таков в общем путь развития крышевидных затворов в Америке, их родине, и таковы главнейшие типы их, которые применялись с момента их появления и применяются теперь.

Что же касается применения крышевидных затворов в Европе, то оно имело место впервые в 1868 г. во Франции при постройке плотины Neuville au Pont на реке Марне, на которой были применены для перекрытия отверстий затворы Beartrap системы White.

По-видимому в силу недостаточного учета опыта постройки этого рода затворов в Америке, недостаточно глубокого ознакомления с теорией их



Фиг. 9.

работы эта первая попытка применения в Европе Beartrap'ов дала неблагоприятные результаты: вместо нескольких сантиметров напора на плотине, необходимых по расчетным соображениям для начального подъема затвора, в действительности потребовался напор около 0,50 м, для получения

какового пришлось поставить на флютбете несколько выше шарнирного закрепления верхового щита затвора особые щиты Тенара, подъем которых мог бы производиться с основной плотины (фиг. 9).

Установка этих дополнительных щитов, естественно, вызвала удорожание общей стоимости названной плотины, внесла некоторые затруднения в управление затвором (в виду необходимости предварительных манипуляций со щитами Тенара) и вообще породила недоверие к возможности поднятия Beartrap'ов при наличии малых напоров.

Этого одного неудачного опыта применения затвора системы White оказалось по-видимому недостаточным, чтобы можно было создать в Европе мнение о нем как о недостаточно рациональном и мало надежном типе затвора и утратить интерес к крышевидным затворам почти на 60 лет вплоть, примерно, до 1915—1918 гг., когда были построены в Германии первые усовершенствованные крышевидные затворы Dachwehr по патенту взятому инженером J. Huber (в Цюрихе) в конце 1914 г.

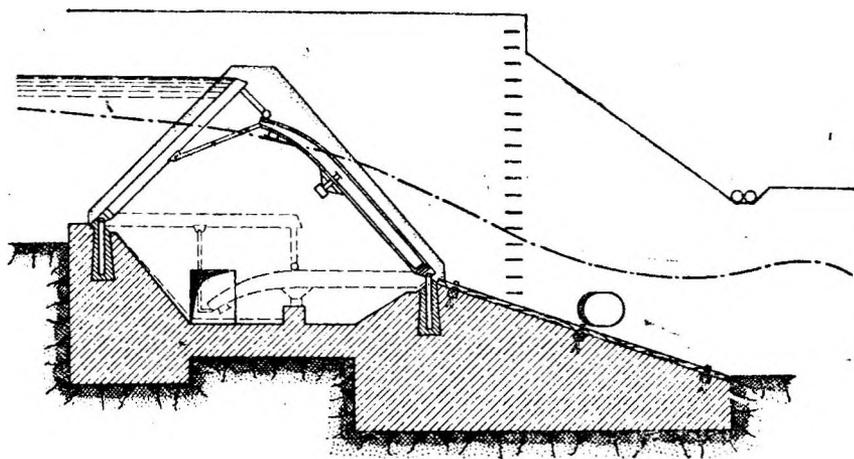
Сущность этого усовершенствования заключалась главным образом в изменении контуров полотнищ верхового и низового щитов затвора системы White и установлении таких соотношений между их размерами, которые дали возможность получить во-первых довольно значительное уменьшение горизонтального расстояния между осевыми линиями шарнирного укрепления щитов на флютбете, во-вторых — ограничиться сравнительно неболь-

шой величиной напора для начального подъема затвора, в-третьих — создать условия более или менее спокойного перелива воды через гребень затвора и в-четвертых — иметь возможность свободно управлять затвором, устанавливая его не только в крайних, но и в любых промежуточных положениях.<sup>1</sup>

Затворы Dachwehr получили сравнительно быстро большое распространение особенно в Германии и Швейцарии на плотинах, предназначенных для обслуживания гидросиловых установок. Для этой же цели их стали в последнее время применять в Италии, Франции и даже в Америке.

По данным журнала „Deutsche Wasserwirtschaft“ за 1930 г.<sup>2</sup> всего построено за сравнительно небольшой период времени (около 10—12 лет) свыше 120 затворов с пролетами до 34,00 м и преграждающею высотой от 0,8 до 4 м.

Конструкция затвора Dachwehr, применяемая ныне на практике, приведена на фиг. 10.



Фиг. 10.

Затвор состоит в основном из двух щитов — верхового и низового, шарнирно укрепленных на флютбете.

Верховой щит представляет собой плоское прямоугольное полотнище, которое по краю, параллельному закрепленному, снабжено (по всей его ширине) небольшой стенкой — опорным выступом, расположенной под прямым углом к плоскости щита. Этот опорный выступ несет ролики, кои предназначаются служить в качестве подвижных опор рассматриваемого щита.

Низовой щит представляет также сплошное полотнище, но не плоское, а несколько изогнутое, начинаясь, примерно, от середины щита и кончаясь у свободного края, с выпуклостью, обращенной в сторону нижнего бьефа.

Оба щита имеют фахверковое строение, состоящее из металлического каркаса и деревянного заполнения, выполняющего роль обшивки щитов.

<sup>1</sup> Первоначальная (патентная) конструкция Dachwehr'a не имела специального приспособления, служащего для автоматического пополнения потерь воды, происходящей из камеры давления, и приспособлений для поддержания в ней требуемого напора. Эти устройства появились несколько позже. В силу этого обстоятельства затворы Dachwehr, в коих проведено сочетание конфигурации по J. Huber'у и усовершенствований по управлению ими, известны теперь как в литературе, так и в практике под названием затворов Dachwehr системы Huber & Lütz.

<sup>2</sup> № 6 от 20/VI.

На чертеже сплошными линиями показано крайнее предельное положение затвора.

Для ограничения его подъема выше этого предела имеются цепи, связывающие оба щита и приходящие в состояние натяжения при обусловленном верхнем положении затвора.

В целях осмотра, очистки, а равно небольшого ремонта внутренних частей затвора последний допускает возможность закрепления его в верхнем положении при наличии воды в верхнем бьефе при помощи особых упоров, укрепленных шарнирно на верховом щите<sup>1</sup> и могущих в случае необходимости быть опертыми на торец низового щита. Управление упорами, т. е. приведение их в соприкосновение с торцом, выполняется имеющимися для сего приспособлениями, связывающими упоры между собой и приводимыми в действие с одного из береговых устоев.

Для устранения потерь внутренней воды от фильтрации, а также ограждения затвора от проникновения внутрь его ила и мелкого песка предусмотрены, как и в затворах Beartrap, уплотняющие приспособления вдоль осевых линий шарнирного укрепления щитов на флютбете и в местах примыкания их к вертикальным граням устоев.

Уплотняющих приспособлений вдоль осевой линии роликов верхового щита не имеется в силу того, что размеры щитов и вообще конфигурация затвора подобраны так, что зеркало внутренней воды, при нахождении затвора в пределах крайнего верхнего положения, располагается всегда несколько ниже линии соприкосновения роликов с поверхностью низового щита, и потерь воды здесь не происходит.

Отсутствие указанного уплотнения оставляет непокрытым зазор между опорным выступом и поверхностью низового щита величиной примерно 2 мм, которым пользуются для аэрации внутреннего надводного пространства затвора.

Шарнирное укрепление обоих щитов на флютбете осуществлено помощью стальных отливок, коими снабжены полотнища щитов, и анкерами из прокатного железа, заделанными на достаточную глубину в кладку флютбета.

Соотношение между горизонтальным расстоянием шарнирного укрепления щитов на флютбете и водоподдерживающей глубиной в этих затворах выражается числом  $\lambda \approx 2,35 \div 2,40$ , т. е. значительно меньше, чем в затворе системы White.

В СССР крышевидные затворы до настоящего времени применения не получили. Были только стремления к их осуществлению, но пока эти стремления выразились лишь проектами.

Об одном из этих проектов считаем нелишним здесь упомянуть,<sup>2</sup> а именно, о проекте затвора типа Dachwehr, пролетом 43,75 м и водоподдерживающей глубиной 2,73 м, составленном в 1927 г. в б. научно-мелиорационном институте для головного регулятора главного магистрального Голодностепского канала в Средней Азии.

Поперечный разрез запроектированного затвора изображен на фиг. 11.

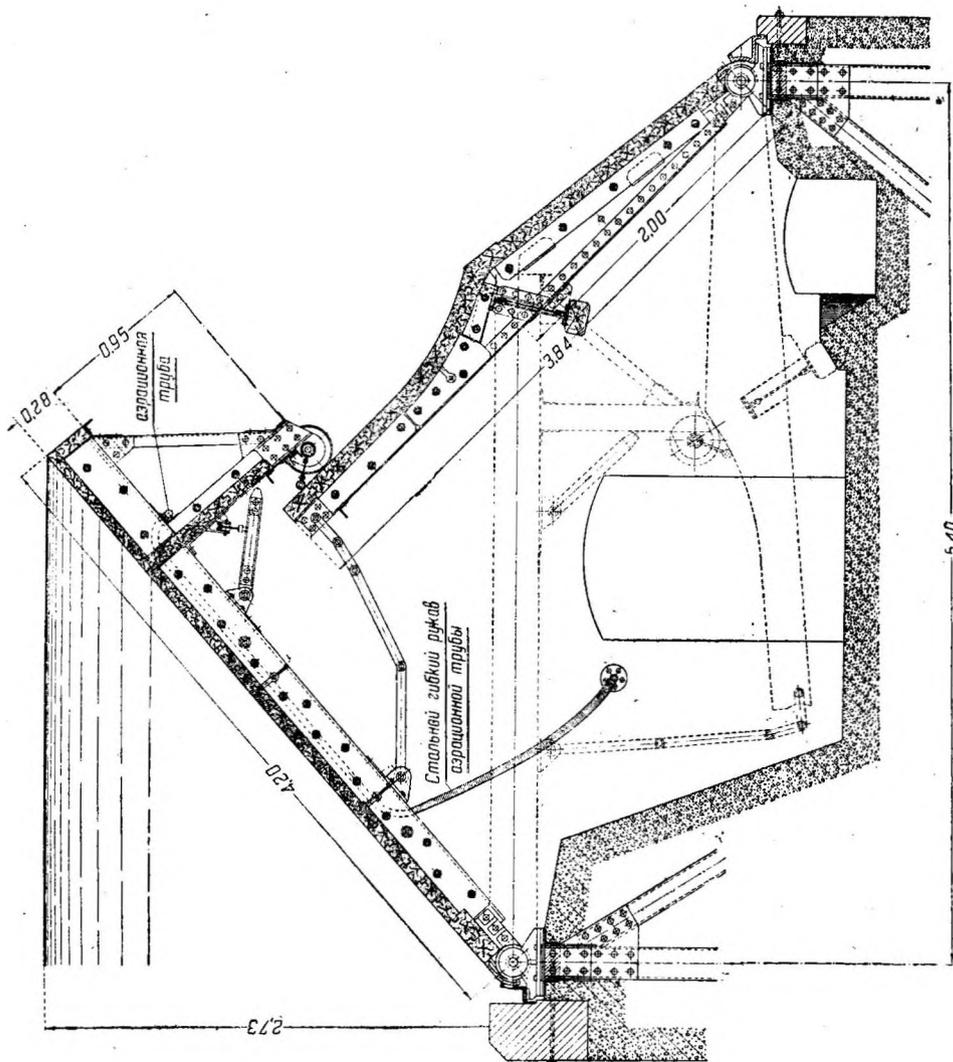
Этот затвор напоминает собой в общем затвор типа Dachwehr (по патенту Huber & Lütz), но отличается от последнего, во-первых — наличием консоли у верхового щита, во-вторых — своеобразным очертанием профиля низового щита (внешняя поверхность приблизительно во второй четверти, считая от свободного края, имеет криволинейное очертание с выпуклостью, обращенную в сторону флютбета), в-третьих — присутствием уплотняющего приспособления по линии роликов и в-четвертых — наличием устройства

<sup>1</sup> На фиг. 10 это устройство не показано.

<sup>2</sup> В дальнейшем нам придется часто ссылаться на этот проект.

для аэрации пространства под струей, переливающейся через гребень затвора.

Основные размеры элементов затвора подобраны с таким расчетом, чтобы переливающаяся через его гребень вода почти при всех положениях затвора (за исключением близких к крайнему верхнему) протекала минуя низовой щит и избавляя этим самым последний от ударов подающей воды и плавучих предметов, а также от образования под струей вредных явлений вакуума.



Фиг. 11.

Конструкция обоих щитов аналогична конструкции таковых затвора *Dachwehr* (стр. 13), шарнирное же укрепление их на флютбете предусмотрено несколько солиднее, по типу затвора системы *White* (фиг. 7), с применением продольных и поперечных связей, образующих как бы металлический остов, заделанный в бетонную кладку.

Применение таких связей вызвано главным образом наличием сейсмических явлений в районе будущей постройки затвора, а кроме того и стремлением создать жесткую базу для опорных частей щитов и тем обес-

печить возможно бóльшую гарантию неизменяемости горизонтального и вертикального расстояний между осевыми линиями шарниров обоих щитов.

Что касается соотношения между горизонтальным расстоянием шарнирного укрепления щитов на флютбете и водоподдерживающей глубиной, то в данном затворе оно получено равным

$$\lambda = \frac{5,40}{2,73} \approx 2,00,$$

т. е. меньше, чем у затворов Dachwehr примерно на 20%,

Из приведенного краткого обзора развития крышевидных затворов не трудно заметить, что по существу эти затворы за весь свой большой период существования — с 1818 г. по наши дни — претерпели сравнительно мало изменений в отношении своей конфигурации и тем не менее они достигли возможности широкого применения их в гидротехнике не только на плотинах, предназначенных для целей судоходства, где требуются лишь простейшие манипуляции с затворами, но и для перекрытия отверстий плотин, обслуживающих гидросиловые установки, с выполнением ими (затворами) тонкой и четкой работы по поддержанию строго определенного горизонта воды в верхнем бьефе, устанавливаясь для этого в любых заказанных положениях и удерживаясь в них в состоянии равновесия столько времени, сколько потребует.

## Г Л А В А II.

### СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА КРЫШЕВИДНЫЕ ЗАТВОРЫ.

Все крышевидные затворы рассмотренных выше конфигураций представляют собой неустойчивые системы,<sup>1</sup> принимающие состояния равновесия в любом из положений, отвечающих той или иной степени открытия ими отверстий плотины, лишь при наличии в камерах давления, для всякого положения затвора, определенного объема воды с определенным уровнем, необходимым для реализации надлежащего внутреннего давления.

Хотя этот объем воды в применяемых в практике затворах не может быть рассматриваем для каждого из положений гребня как нечто неизменяемое, в виду потерь ее через фильтрацию в уплотнениях и трудности достижения равномерного пополнения этих потерь, тем не менее считают, что состояние затвора в каждом из занимаемых им положений есть состояние устойчивое, ибо оно в современных управляемых крышевидных затворах, при надлежаще подобранных конфигурациях (вроде, например, затвора Dachwehr), может быть удерживаемо столько времени, сколько это является нужным.

Наличие указанных статических особенностей крышевидных затворов естественно, само собою устанавливает, что выявление полной точной картины их работы возможно, если для этого будут иметься достаточно точные значения сил, действующих на затвор в каждом из его положений.

Так как выявление именно такой картины работы этих затворов является крайне необходимым для суждения о целесообразности применения в тех или иных случаях той или иной их конфигурации, то будет нелишним предварительно рассмотреть здесь все те силовые факторы, которые участвуют в общей игре сил, действующих на затвор в каждом из его положений, а также рассмотреть попутно и применяемые в данное время приемы

14 <sup>1</sup> За исключением случаев, когда затвор лежит на флютбете и когда он, как например в затворе Dachwehr, закреплен на упорах (см. стр. 12).

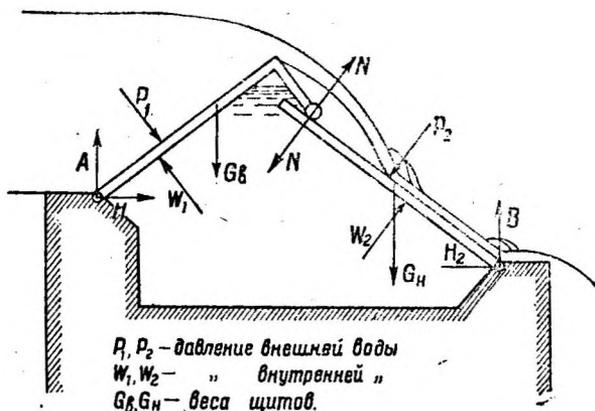
подсчета их величин с целью ознакомления с какой именно степенью точности эти последние могут быть получены.

Всякий крышевидный затвор во время своего действия испытывает в каждом из положений следующие приложенные к нему силы (фиг. 12):

- 1) давление внешней воды на поверхности полотнищ обоих щитов,
- 2) давление на внутренние поверхности тех же щитов воды, находящейся в камере давления,
- 3) давление собственного веса подвижных частей пролетного строения обоих щитов,
- 4) трения в шарнирах, роликах и уплотнениях.

Кроме этих сил в некоторых случаях затвор может быть подвержен еще действию ветра и льда. Однако надо заметить что влияние ветра на рассматриваемые затворы вообще незначительно, а поэтому оно обычно не учитывается; что же касается давления льда, то в случае отсутствия перелива воды через гребень это давление также не учитывается, подобно тому как это делается при расчетах затворов других систем;<sup>1</sup> если же имеется перелив воды через гребень затвора, то при пропуске больших масс льда

(ледохода) затвор обычно укладывается на флютбет и следовательно лед никакого влияния на его работу оказать не может; при проходах через затвор, находящийся в каком-либо промежуточном положении, отдельных льдин, эти последние, падая на низовой щит, несомненно нарушают его нормальную работу, но так как такое прохождение отдельных льдин носит вообще случайный характер, то поэтому оно при выявлении работы затвора также в учет не принимается.



$P_1, P_2$  — давление внешней воды  
 $W_1, W_2$  — „ внутренней „  
 $G_1, G_2$  — веса щитов.

Фиг. 12.

В силу приведенных обстоятельств в дальнейшем влияние на затвор ветра и льда можно не учитывать, а ограничиться лишь рассмотрением остальных приведенных выше четырех факторов.

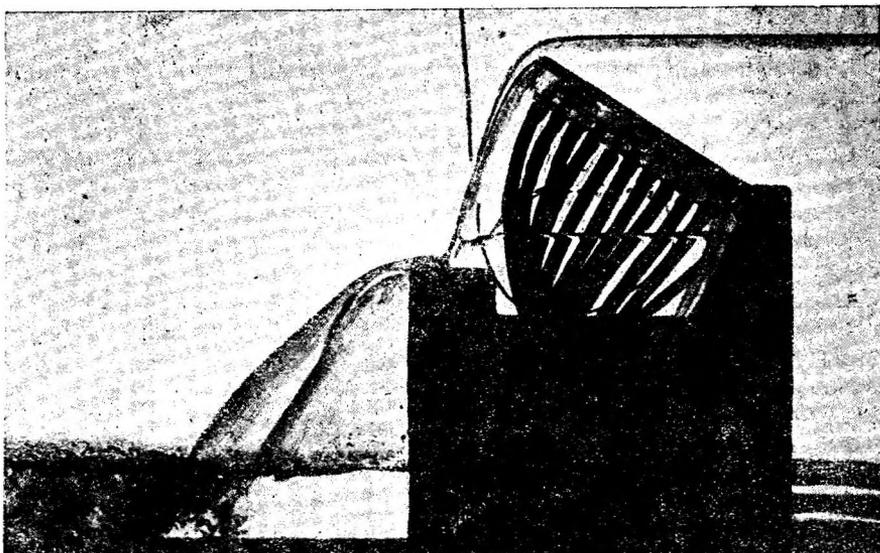
Рассмотрим сначала п е р в ы й из них.

Когда затвор находится в крайнем верхнем положении и перелива воды через его гребень не происходит, действие внешней воды на полотнища обоих щитов выражается в виде гидростатического давления, и поэтому подсчет величины этого последнего может быть выполнен без каких-либо затруднений, пользуясь для этого законами гидростатики. В случае же наличия перелива воды через гребень действие внешней воды на затвор проявляется: на верховой щит давлением движущейся воды по наклоненной вверх поверхности его полотнища, а на низовой — ударом движущейся воды на наклоненное вниз полотнище этого щита и затем давлением ее на это же полотнище в условиях бурного протекания после удара.

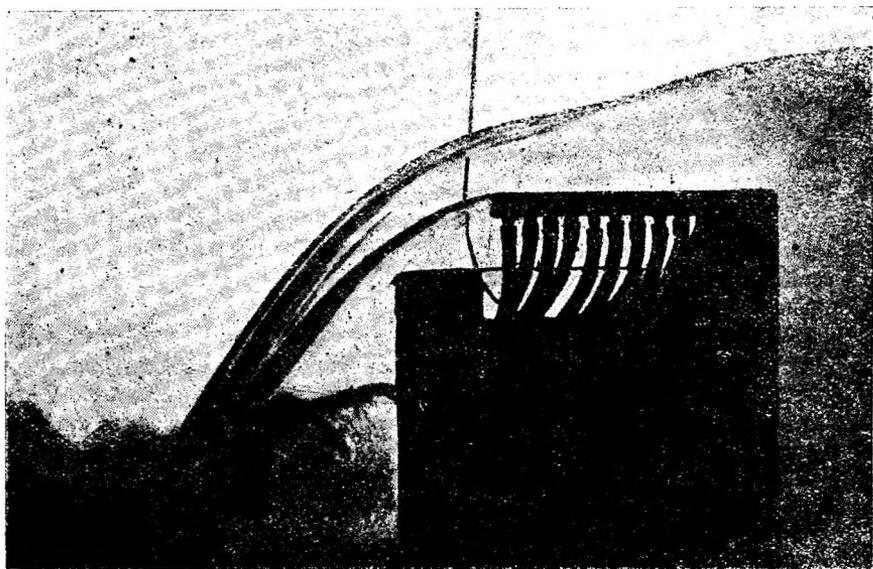
Определение точных значений величин давлений на тот и другой щиты в этом случае, т. е. в случае, когда имеет место перелив воды, аналитиче-

<sup>1</sup> В виду устройства перед затворами прорубей или проведения каких-либо иных мероприятий.

ски не представляется возможным, так как современная гидротехника, насколько известно, пока еще не располагает достаточно точными и вместе с тем несложными методами установления характера распределения давления в каждом из указанных случаев движения потока.



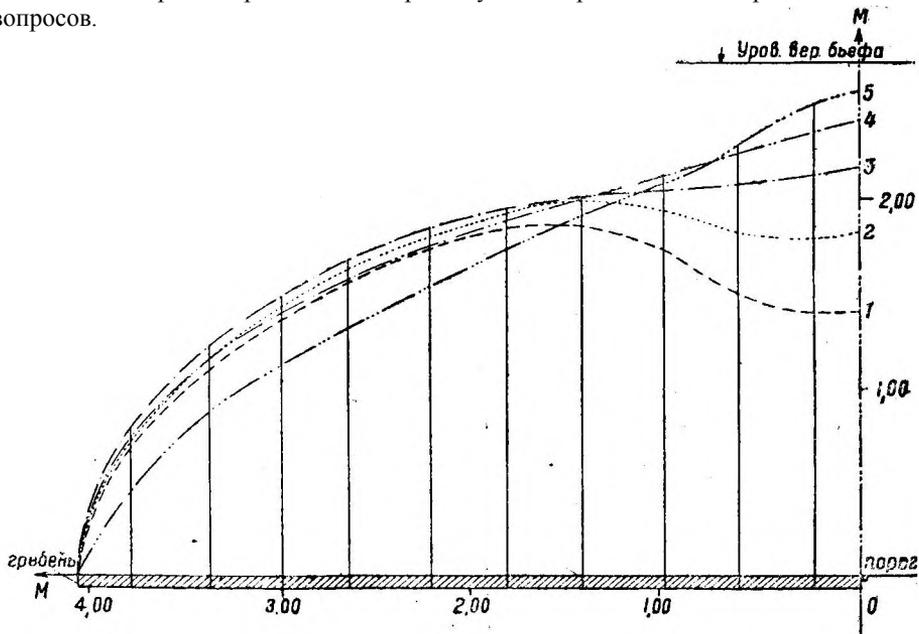
Фиг. 13.



Фиг. 13а.

Поэтому, в целях получения возможно близкой к действительности картины распределения этих давлений, а также получения возможно точных значений их величин, в последнее время пользуются исключительно экспериментальным путем.

Этот путь, как известно, ныне получил в гидротехнике всеобщее признание и широко применяется при изучении различных гидротехнических вопросов.



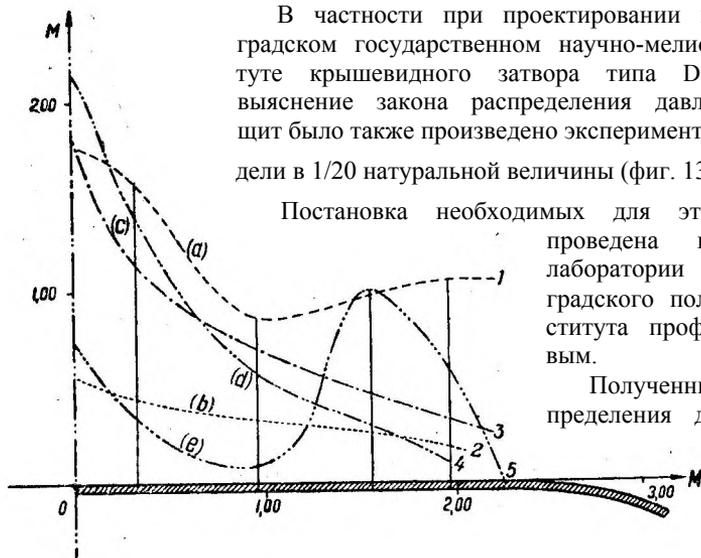
Фиг. 14. Кривая 1 соответствует положению щита, когда разность отметок гребня и порога равна нулю, Кривая 2 имеет то же значение, когда, указанная разность равна 0,53 м. Кривая 3 — то же, когда указанная разность равна 1,02 м. Кривая 4 — то же, когда указанная разность равна 1,48 м. Кривая 5 — то же, когда указанная разность равна 2,11 м.

В частности при проектировании в бывшем Ленинградском государственном научно-мелиорационном институте крышевидного затвора типа Dachwehr (фиг. 11) выяснение закона распределения давления на верховой щит было также произведено экспериментально на модели в 1/20 натуральной величины (фиг. 13 и 13а).

Постановка необходимых для этого опытов была проведена в Гидравлической лаборатории бывшего Ленинградского политехнического института проф. А. А. Сабанеевым.

Полученные результаты распределения давления при различных положениях щита приведены на фиг. 14.

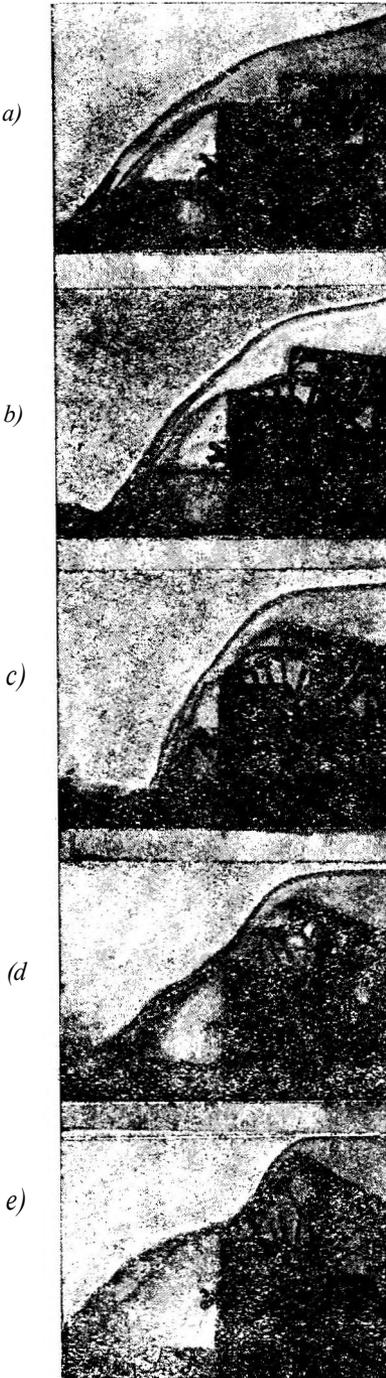
Попутно в той же лаборатории по инициативе автора проф. А. А. Сабанеевым были поставлены опыты по определению закона распределения давления на низовой щит затвора Dachwehr обычной конфигурации относящегося к типу вы-



Фиг. 15.

ротории по инициативе автора проф. А. А. Сабанеевым были поставлены опыты по определению закона распределения давления на низовой щит затвора Dachwehr обычной конфигурации относящегося к типу вы-

сокорасположенных, т. е. таких, в которых нижний бьеф расположен значительно ниже осевой линии шарнирного укрепления низового щита на флютбете.



Фиг. 15а.

Полученная картина распределения этого давления приведена на фиг. 15 и 15а; эпюра же моментов этого давления (относительно оси вращения щита) приведена на фиг. 16.

Для предварительного выяснения работы крышевидного затвора действие на него внешней воды обычно определяется аналитически, при помощи тех или иных приближенных приемов.

В качестве одного из таких приемов, применяемых для определения нагрузки на верховой щит, можно указать на прием, основанный на приближенном построении формы водосливного потока в пределах протекания его над щитом при различных положениях гребня последнего. Для этого пользуются выражением закона сохранения энергии, пренебрегая, однако, непараллельностью струй при определении средних скоростей в сечениях и предполагая, что на незначительном протяжении верхового щита потеря этой энергии относительно мала.

Базируясь на этом и зная единичные расходы  $q$  в рассматриваемом сечении  $ii$  (фиг. 17), имеют:

$$1) \mathcal{E} = h + \frac{v^2}{2g} = \text{const} = H = h,$$

откуда

$$v = \sqrt{2g(h_0 - h_1)},$$

$$2) v = \frac{q}{h - p},$$

откуда

$$p = h - \frac{q}{\sqrt{2g(h_0 - h)}}, \quad (2)$$

$$3) p = l \operatorname{tg} \alpha,$$

откуда

$$l = p \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \left( h - \frac{q}{\sqrt{2g(h_0 - h)}} \right) \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$

Задавая рядом значений для  $A$ , получают кривую спада в виде

$$l = f(h),$$

а вместе с этим и форму потока при рассматриваемом положении щита.

Заметим кстати, что в тех случаях, когда переливающаяся через гребень щита струя в месте схода с этого последнего находится в условиях истечения в атмосферу и следовательно оказывает на кромку гребня давление равное нулю, тогда эпюру давлений на конечном участке щита (у гребня) обычно сопрягают по некоторой кривой.<sup>1</sup>

В качестве же одного из способов определения нагрузки на низовой щит можно указать на следующий:

а) в части, касающейся учета влияния на щит удара падающей струи — на использование достаточно точной формулы Т. Reich'a:<sup>2</sup>

$$S = \epsilon (1 - \cos \gamma) v \frac{Q}{g}, \quad (4)$$

где:

$S$  — давление струи на щит;

$\gamma$  — угол между направлением струи и сливной гранью щита;

$v$  — скорость струи в месте удара;

$Q$  — средний расход переливающейся воды, равный

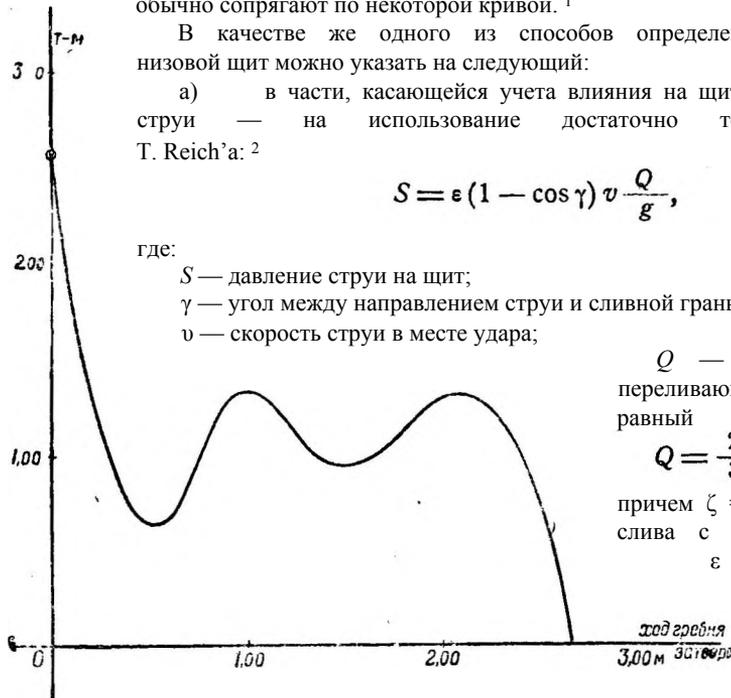
$$Q = \frac{2}{3} \zeta V \sqrt{2gh_0^{3/2}}$$

причем  $\zeta = 0,62$  (для водослива с острой кромкой);

$\epsilon$  — коэффициент

Reich'a, установленный им равным 0,94;

б) в отношении же учета давления

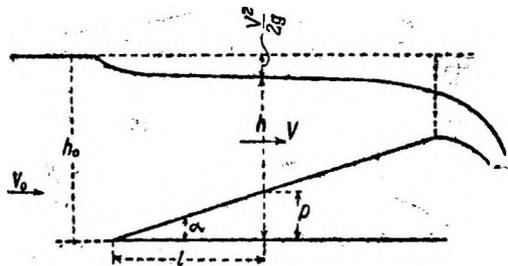


Фиг. 16.

движущейся воды вне области удара ниже падения струи — на определении при данном наклоне полотнища щита толщины слоя стекающей воды, пользуясь формулами Bazin'a или Ganguillet-Kutter'a.

Для пользования формулой Reich'a (для определения угла  $\gamma$  и установления зоны поверхности щита, подверженной удару струи) надлежит построить для каждого из рассматриваемых положений щита траектории оси свободно падающей струи и ее толщину в месте подхода к полотнищу щита.

Построение траектории струи может быть произведено по приближенному методу, предложенному проф. Дейша<sup>3</sup> и основанному на построении параболы, зная положение ее вер-



Фиг. 17.

<sup>1</sup> Кривые эти наносят на-глаз, руководствуясь примерами вида этих кривых, полученных опытным путем (см. фиг 14, а также книгу проф. А. Коч-Гагста a n e n, „Bevegung des Wassers“, Berlin, 1926 г.).

<sup>2</sup> K u l k a, Н., „Eisenwasserbau“, Bd. I, p. 179—180.

<sup>3</sup> Более точные приемы в литературе даны лишь для очертания струй, переливающихся через водослив с тонкой вертикальной или наклоненной под углом 45° к горизонту стенкой (см. акад. Н. Н. Павловский, „Гидравлический справочник“, стр. 62, метод Кримера).

Шины и расстояние  $l$  любой ее точки от вертикали, проходящей через вершину (ось параболы). Для определения координат вершины этой параболы относительно уровня верхнего бьефа и гребня водослива, а также для нахождения величин  $l$ , соответствующих любой высоте падения струи при заданном напоре на водосливе, проф. Дейша дает формулы:

а) при истечении через тонкую стенку — для глубины погружения вершины параболы под уровень верхнего бьефа:

$$H_{\text{ср}} = \frac{9}{16} H, \quad (5)$$

где  $H$  — напор на водосливе;  
для расстояния  $l$ :

$$l = \frac{3}{2} \sqrt{PH}, \quad (6)$$

где  $P$  — вертикальное расстояние рассматриваемой точки от гребня водослива;

б) при истечении через водослив с широким порогом:

$$H_{\text{ср}} = \frac{1}{2} h_{\text{кр}} \quad (7)$$

$$l = 2 \sqrt{\frac{H}{3} \left( P + \frac{H}{3} \right)}. \quad (8)$$

Построение траектории струи по указанному методу приведено на фиг. 18.

Для определения толщины струи в любом сечении можно применять

способ проф. Бахметева, пользуясь выведенными им зависимостями:<sup>1</sup>

$$h_1^2 \varphi^2 (H + P - h_1) = m^2 H^3, \quad (9)$$

или

$$\varphi^2 y^2 (x + 1 - y) = m^2 x^3, \quad (10)$$

где

$m$  — коэффициент расхода;

$h_1$  — толщина струи в данном сечении;

$H$  — напор на водосливе;

$P$  — расстояние данного сечения по вертикали от гребня водослива;

$x$  — отношение напора

к высоте падения  $x = \frac{H}{P}$ ;

$$y = \frac{h_1}{P}.$$

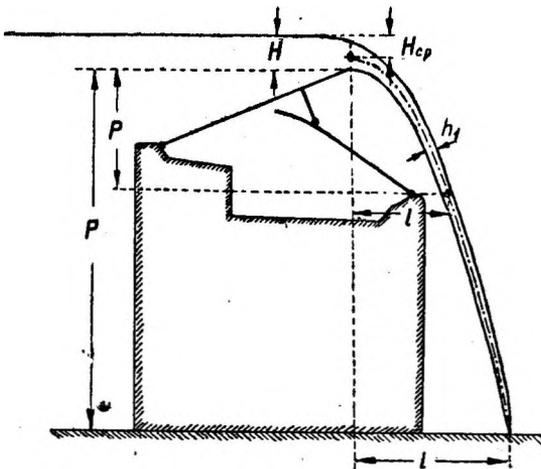
$y$  — отношение толщины струи к высоте падения

Для удобства пользования уравнением (9), куда неизвестное входит в третьей степени, уравнение (10) можно преобразовать для возможности получения графического решения путем введения следующих обозначений:

$$\xi = \frac{x}{y}; \quad \eta = \frac{1}{y};$$

при этом, очевидно,

$$h_1 = \frac{P}{\eta}. \quad (11)$$



Фиг. 18.

Преобразованное уравнение (4) получит вид:

$$\eta = 1 + \frac{m^2}{\varphi^2} \cdot \xi^3 - \xi. \quad (12)$$

Коэффициенты скорости для всех положений затвора, кроме нижнего принимают

$$\varphi = 0,95; \quad \varphi^2 = 0,90.$$

Коэффициент скорости для нижнего положения определяют из уравнения:

$$0,385 \cdot \varphi = m. \quad 1$$

Для этого положения  $m = 0,35$ , откуда

$$\varphi = \frac{0,35}{0,385} \approx 0,91; \quad \varphi^2 = 0,83.$$

Задавая различными значениями  $\xi$  для различных значений  $m$ , находят соответствующие значения  $\eta$  по формуле (12), а затем — по формуле (11).

Весьма удобно предварительно построить кривые зависимости между  $\xi$  и  $\eta$  и затем уже, пользуясь этими кривыми, определять значение

На фиг. 19 приведены пять таких кривых, построенных для пяти значений коэффициентов расхода  $m$  от 0,35 до 0,43 включительно.

Процесс нахождения по этим кривым толщин струй  $h_1$  следующий.

Для какого-либо сечения струи, расположенного в расстоянии  $p$  от гребня затвора (см. фиг. 18), вычисляют отношение

$$x = \frac{H}{P} = \frac{\xi}{\eta},$$

т. е. тангенс угла наклона прямой, проведенной из начала координат. Прочеркивая эту прямую до пересечения с кривой для данного значения коэффициента расхода  $m$ , получают величины  $\xi$  и  $\eta$ . После этого находят толщину струи  $h$ , по указанной выше формуле (11):

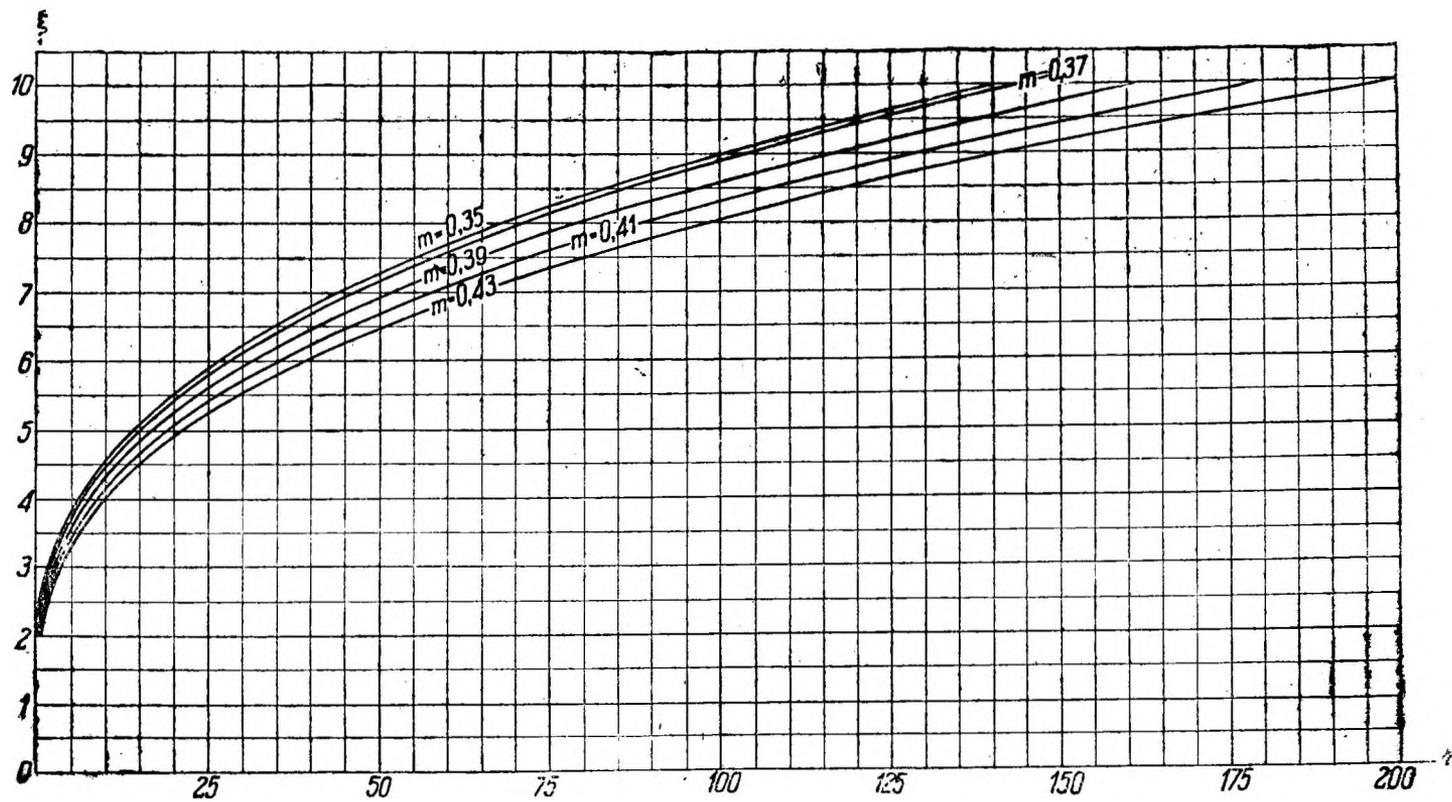
$$h_1 = \frac{P}{\eta}.$$

В целях ознакомления с тем насколько велика может быть расходимость в значениях моментов давления от внешней воды на верховой щит относительно оси вращения этого последнего, определенных приближенным теоретическим путем и экспериментально, на фиг. 20 приведены две кривые  $A$  и  $B$ , из которых первая представляет характер изменения этих моментов, подсчитанных путем приближенного построения формы водосливного потока в пределах протекания его над щитом при различных положениях гребня затвора, а вторая — характер изменения тех же моментов по данным опыта.

Как видно, эта расходимость для положений затвора, близких к крайнему нижнему, довольно значительна, а именно около 22%.

Второй силовой фактор — давление на щиты воды, находящейся в камере давления затвора, — проявляется в условиях спокойного воздействия этой воды, а поэтому определение величин давления от нее на щиты каких-либо затруднений не вызывает и может быть осуществлено аналитически с любой степенью точности, на основе законов гидростатики.

В качестве иллюстрации вида эпюр моментов давления этой воды на каждый из щитов относительно их осей вращения на фиг. 21 приведены эпюры означенных моментов, построенных для запроектированного в Научно-мелиорационном институте крышевидного затвора для головного регулятора Голодностепского канала (см. фиг. 11).



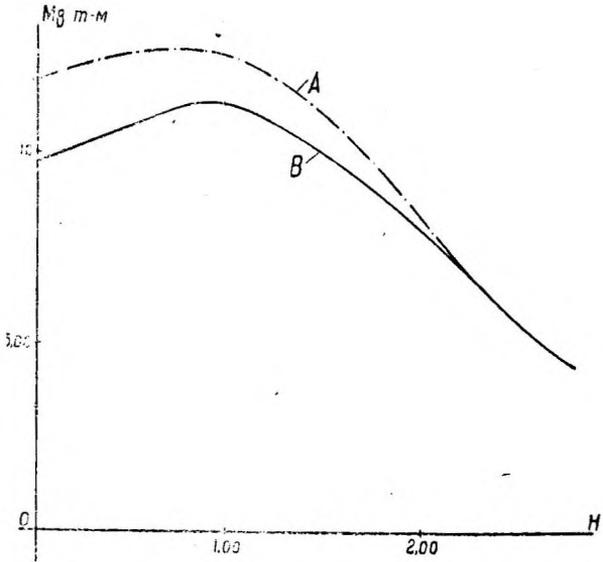
Фиг. 19.

Третий силовой фактор — собственный вес подвижных частей каждого из щитов — обуславливается их конструкцией и материалом, из которого они изготовлены.

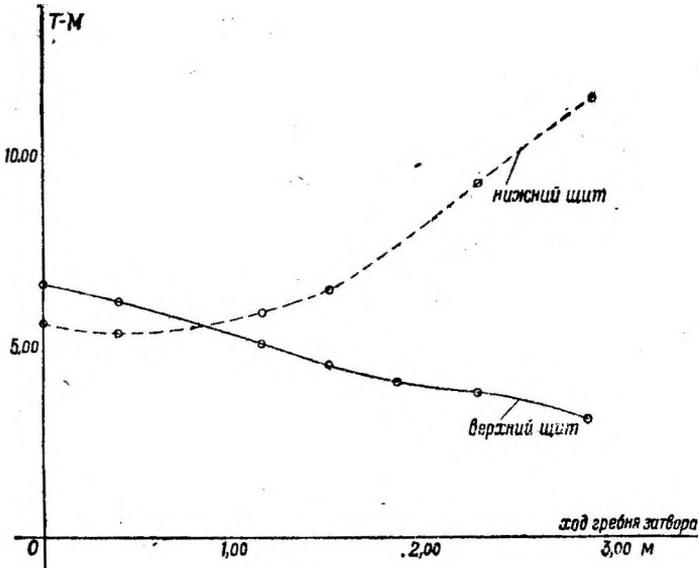
Обычно, в целях уменьшения веса крышевидных затворов, щиты последних имеют в большинстве случаев фахверковое строение — осто́в из металла, а заполнение, играющее вместе с этим и роль обшивки, — из дерева.

Подсчет веса металла в этих щитах может быть произведен вообще с любой точностью; что же касается определения веса обшивки, то здесь встречается затруднение при выборе веса единицы объема намоченного дерева (почти постоянно пребывающего в воде), ибо исчерпывающих данных по этому вопросу пока не имеется.

Чтобы избежать в этом случае ошибок как в сторону преувеличения, так и преуменьшения, целесообразно все необходимые данные о возможном весе намочшего дерева предусмотренных



Фиг. 20.



Фиг. 21.

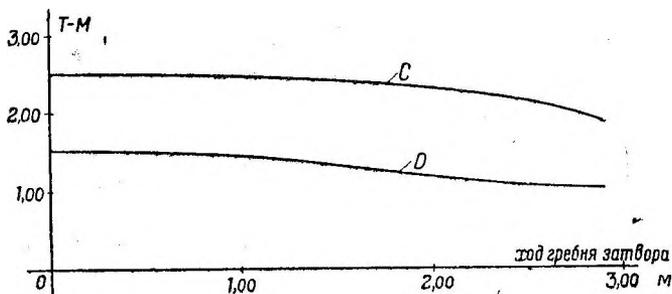
проектом пород находить путем предварительных опытов. В приближенных же подсчетах ограничиваются принятием веса 1 куб. м мокрого дерева:

сосны..... 1,00 т/м<sup>3</sup>  
лиственницы . . . 0,9 „

В качестве примера характера изменения моментов веса каждого из щитов относительно своих осей вращения при ходе гребня затвора от одного крайнего положения до другого на фиг. 22 даны эпюры этих моментов для упомянутого запроектированного затвора головного регулятора Голодностепского канала (см. фиг. 11).

Из этих эпюр эпюра  $C$  относится к верховому щиту, а эпюра  $D$  — к низовому щиту.

Силы четвертого фактора — силы трения, проявившиеся в шарнирах, уплотнениях и роликах, находятся в зависимости от конструкции их устройств, рода материалов трущихся поверхностей и величины приходящейся на них нагрузки.



Фиг. 22.

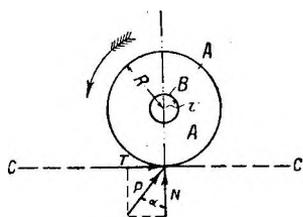
Эти силы могут быть легко найдены аналитически, путем выявления величин всех действующих на рассматриваемый элемент внешних сил и установления надлежащих коэффициентов трения в соответствии с конструкциями и родом материалов этих элементов.

Однако силы трения, развивающиеся в шарнирах и уплотнениях, расположенных вдоль осевых линий этих шарниров, сами по себе незначительны (по сравнению с другими ранее указанными силовыми факторами) и имея весьма малые плечи (от 6 до 12 см), дают относительно осевых линий вращения каждого из щитов очень небольшие моменты, в силу чего их при

выяснении работы затвора без большой погрешности не учитывают.

Точно так же обычно не учитываются, в виду их малости, и силы трения в уплотнениях, расположенных в плоскостях примыкания щитов к ограждающим его стенкам опор.

Силы трения в роликах сказываются в затворе тем, что под влиянием их происходит отклонение реакции ролика от нормального положения в ту или другую сторону в зависимости от направления движения ролика.



Фиг. 23.

Эти силы в общем так же незначительны.

Действительно, предположим, что колесо ролика  $A$ , имеющее радиус  $R$ , вращаясь на оси  $B$  радиуса  $r$  в направлении стрелки, катится без скольжения по плоскости  $C - C$  полотнища щита (фиг. 23). Тогда в точке касания колеса  $A$  с плоскостью  $C - C$  на обод колеса будут действовать, вообще говоря, две силы,  $N$  и  $T$ , приводящиеся к равнодействующей  $P$ . Величина силы  $T$  определится очевидно из того условия, что она будет необходима и как раз достаточна для вращения колеса, каковому вращению противодействуют, с одной стороны, момент  $M$ , трения колеса  $A$  об ось  $B$ , а с другой, — момент  $M_2$  трения катания того же колеса о плоскость  $C - C$ ,

Так как  $M_1 = \mu Pr$ , где  $\mu$  — коэффициент трения в цапфе, и  $M_2 = fN$ , где  $f$  — коэффициент трения катания, то для определения величины силы  $T$  имеются уравнения:

$$\mu Pr + fN = TR,$$

или

$$\mu r \sqrt{N^2 + T^2} + fN = TR. \quad (13)$$

Полагая, что  $T = kN$ , где  $k$  — некоторое отвлеченное число, а именно  $k = \operatorname{tg} \alpha$ , получится:

$$\mu r \sqrt{N^2 + k^2 N^2} + fN = kNR$$

или

$$\mu r \sqrt{1 + k^2} + f = kR. \quad (14)$$

Из этого выражения видно, что  $k$  не зависит от величины  $N$ , т. е.  $k = \operatorname{const}$ , при всех значениях  $N$  и зависит только от  $\mu$ ,  $f$ ,  $r$  и  $R$ , т. е. зависит лишь от конструкции и материалов колеса  $A$ , оси  $B$  и плоскости  $C - C$ .

Пренебрегая очень малой величиной  $f$ , получим:

$$\mu r \sqrt{1 + k^2} = kR, \quad (15)$$

откуда

$$\begin{aligned} \mu^2 r^2 (1 + k^2) &= k^2 R^2, \\ k^2 (R^2 - \mu^2 r^2) &= \mu^2 r^2, \end{aligned}$$

и

$$k = \sqrt{\frac{\mu^2 r^2}{R^2 - \mu^2 r^2}} \quad (16)$$

или несколько упрощенно:

$$k = \sqrt{\frac{\mu^2 r^2}{\mu^2 r^2 \left( \frac{R^2}{\mu^2 r^2} - 1 \right)}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{R^2}{\mu^2 r^2} - 1}} \approx \mu \frac{r}{R}, \quad (17)^1$$

отсюда

$$T = \mu \frac{r}{R} N. \quad (18)$$

В проекте затвора головного регулятора Голодностепского канала значение  $N$  (из расчета на 1 *пог. м* длины затвора) колебалось в пределах от 2,78 до 3,68 *т*;  $R$  было принято равным 15 *см*,  $r$  — 3 *см* и  $\mu = 0,10$  (в предположении плохой смазки при трении бронзы по стали). При этих данных значение  $T$  получалось:

$$T \approx 0,10 \cdot \frac{3}{15} (2,78 \div 3,68) \approx (0,055 \div 0,073) \text{ т},$$

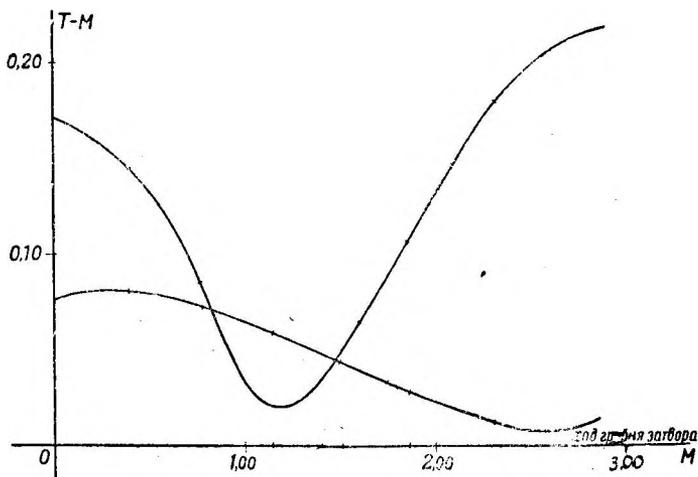
т. е., как видно, очень незначительным.

Характер эпюры моментов силы  $T$  относительно осей вращения каждого из щитов при движении затвора из одного крайнего положения в другое приведено на фиг. 24.

Как видно, моменты эти сравнительно малы, хотя плечи рассматриваемых сил трения  $T$  в достаточной мере велики.

<sup>1</sup> Так как первый член знаменателя значительно больше единицы, то последнюю можно отбросить.

Что касается сил трения от уплотнения, расположенного вдоль осей роликов,<sup>1</sup> то они по величине много меньше сил  $T$ .



Фиг. 24.

### Г Л А В А III.

#### ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ КРЫШЕВИДНЫХ ЗАТВОРОВ.

При рассмотрении сущности действия крышевидного затвора системы White было замечено,<sup>2</sup> что помимо возможности переходить из одного своего крайнего положения в другое крайнее он не лишен также способности занимать и промежуточные между ними положения при условии создания в его камере такой интенсивности внутреннего давления, при котором моменты вращения всех сил,<sup>3</sup> действующих на каждый из щитов, были бы порознь равны нулю, т. е.

$$M_H = M_B = 0.$$

Интенсивность внутреннего давления обуславливается местоположением уровня воды, находящейся в камере давления. Следовательно, если затвор примет состояние равновесия в каком-либо из промежуточных положений хода своего гребня, то оно очевидно будет сопровождаться установлением в его камере давления соответствующего этому положению равновесия затвора.

Чтобы убедиться в этом, возьмем какой-либо затвор произвольной конфигурации (фиг. 25)<sup>4</sup> и рассмотрим состояние его равновесия при некотором положении гребня, определяемом например величиной  $\angle \alpha$  — наклона верхового щита к горизонту или величиной  $h_B$  — расстояния гребня от уровня воды в верхнем бьефе.

<sup>1</sup> В затворах Dachwehr системы Н. — L. это уплотнение отсутствует.

<sup>2</sup> См. выноски на стр. 4.

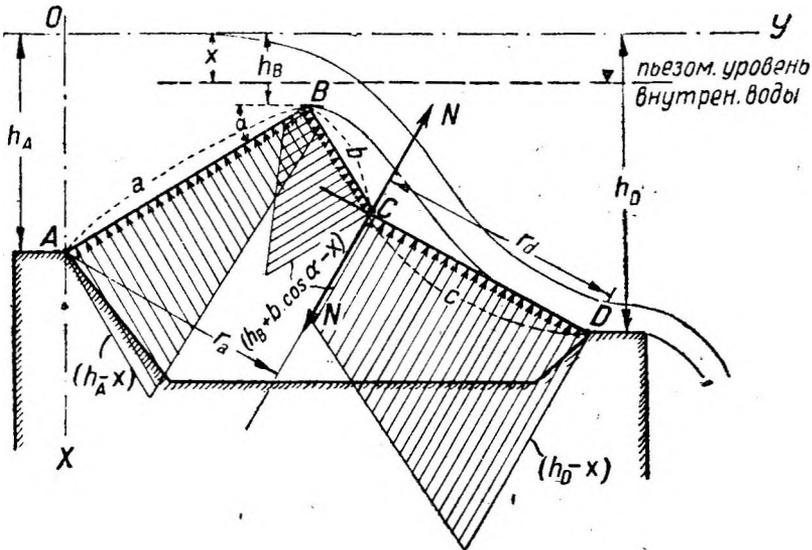
<sup>3</sup> Включая сюда и реактивные силы.

<sup>4</sup> Доказанная на фиг. 25 конфигурация затвора, в коей оба щита — верховой и низовой — образованы из прямолинейных элементов, принята исключительно для облегчения подсчетов нагрузки на щиты от внутренней воды. Какого-либо влияния это упрощение на результаты вывода не окажет: в случае, если бы были взяты для рассмотрения произвольные криволинейные контуры обоих щитов, пришлось бы иметь дело лишь с рядом дополнительных членов.

Допустим при этом, в целях упрощения, что в принятом затворе:

- 1) толщина обшивки обоих щитов весьма незначительная,
- 2) отсутствует трение в осях роликов, коими верховой щит опирается на внешнюю поверхность обшивки низового щита,
- 3) уровень воды в верхнем бьефе остается неизменным при всех возможных для затвора положениях его гребня.

Первое из этих предположений имеет в виду избежать в дальнейшем учета влияния выпора от воды на погруженные части обшивки, а второе — считать направление реактивных сил строго нормальным к поверхности обшивки низового щита. И то и другое предположения каких-либо существенных погрешностей по-видимому не внесут, ибо явление выпора вообще ничтожно по сравнению с другими силовыми факторами, действующими на затвор, а отклонение направления реактивных сил от нормали, в силу наличия трения в роликах, также весьма невелико.<sup>1</sup>



Фиг. 25.

Что же касается третьего предположения, то оно необходимо для установления известной определенности нагрузки от внешней воды на омываемые ею поверхности обшивок обоих щитов.

Так как среди возможных положений гребня затвора могут быть, с одной стороны, такие, когда вся камера давления будет целиком заполнена водой, с другой — когда она будет заполнена частично, то в процессе выяснения надлежит подвергнуть рассмотрению каждый из этих случаев в отдельности.

Рассмотрим сначала первый из них, а именно случай, когда камера давления целиком заполнена водой.

Согласно обозначений, приведенных на фиг. 25 и построенных там же эпюр давления внутренней воды на оба щита, можно, исходя из условий статики, написать следующие два уравнения:

одно — момента всех сил, действующих на верховой щит относительно оси вращения этого щита, а

<sup>1</sup> Согласно подсчетов при смазке осей это отклонение в затворах, применяемых в практике, выражается величиной угла  $\sim 1,00 \div 1,5^\circ$  (см. гл. II, стр. 25).

другое — момента всех сил, действующих на низовой щит относительно оси вращения этого последнего.

Эти уравнения будут: <sup>1</sup>

$$M_A = M_B - [(h_B - x) \frac{a^2}{2} + \frac{h_A - h_B}{2} \cdot \frac{a^2}{3} + (h_A - x) \frac{b^2}{2} + \frac{b^2 \cos \alpha}{2} \cdot \frac{2}{3} b + N \cdot r_a] = 0; \quad (19)$$

$$M_D = (h_B + b \cos \alpha - x) \frac{c^2}{2} + (h_D - h_B - b \cos \alpha) \frac{c^2}{6} - M_H - N \cdot r_d = 0. \quad (20)$$

Здесь:

$M_B$  — момент относительно оси  $A$  нагрузки внешней воды на верховой щит и собственного веса означенного щита;

$M_H$  — то же на низовой щит относительно оси  $D$ ;

$N$  — величина реакции ролика на низовой и обратно — низового щита на ролик.

Оба эти уравнения, по раскрытию скобок и некотором упрощении, могут быть переписаны в таком виде:

$$M_H = M_B - \left[ \frac{2h_B + h_A}{6} a^2 - \frac{a^2}{2} x + (h_B + \frac{b \cos \alpha}{3}) \frac{b^2}{2} - \frac{b^2}{2} x + N \cdot r_a \right] = 0.$$

$$M_D = (h_B + b \cos \alpha + \frac{h_D - h_B - b \cos \alpha}{3}) \cdot \frac{c^2}{2} - M_H - N \cdot r_d - \frac{c^2}{2} x = 0;$$

или

$$M_A = M_B - (E + F) - N \cdot r_a + \frac{a^2 + b^2}{2} x = 0, \quad (21)$$

где

$$E = \frac{2h_B + h_A}{6} a^2,$$

$$F = (h_B + \frac{b \cos \alpha}{3}) \frac{b^2}{2},$$

$$M_D = -M_H + G - N \cdot r_d - \frac{c^2}{2} x = 0, \quad (22)$$

где

$$G = \left( h_B + b \cos \alpha + \frac{h_D - h_B - b \cos \alpha}{3} \right) \frac{c^2}{2}.$$

В уравнениях (19) и (20) неизвестными являются  $N$  и  $x$ .

Решая эти уравнения относительно  $x$ , получим:

$$x = \frac{E + F + \frac{r_a}{r_d} G - \left( \frac{r_a}{r_d} M_H + M_B \right)}{a^2 + b^2 + \frac{1}{r_d} c^2}, \quad (23)$$

т. е. имеем одно значение для  $x$ .

Это указывает на то, что при заполненной целиком камере давления какому-либо равновесному положению затвора отвечает лишь свой единственный уровень внутренней воды.

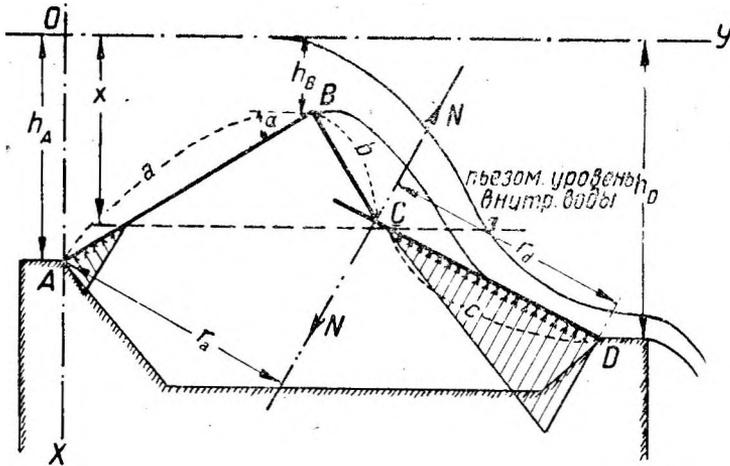
Из выражения (23) видно, что знаменатель его всегда  $> 0$ , что же касается числителя, то он, в зависимости от того, будут ли в нем численно больше положительные или отрицательные члены, может быть либо  $> 0$ ,

либо  $< 0$ , а следовательно и значение  $x$  также может быть больше или меньше нуля.<sup>1</sup>

Если окажется, что  $x > 0$ , то затвор будет самодействующим, т. е. таким, управление которым будет происходить за счет напора, создаваемого плотинной; если же окажется, что  $x < 0$ , то это очевидно будет означать, что конфигурация затвора такова, что для управления им создаваемого плотинной подпора недостаточно и что для этого управления надлежит иметь какие-либо дополнительные приспособления.

Таким образом, если взятый нами затвор самодействующий, а такие лишь и имеются в виду в данном исследовании, то определяемое уравнением (23) значение  $x$  должно быть величиной только положительной.

Перейдем теперь к рассмотрению второго случая, когда камера давления полностью водою не заполнена.



Фиг. 26.

Руководствуясь обозначениями, приведенными на фиг. 26 и построенными эпюрами давления внутренней воды на оба щита, упомянутые на стр. 27 уравнения моментов представляются в таком виде:

$$M_A = M_B - \frac{1}{6 \sin^2 \alpha} (h_A - x)^3 - N \cdot r_a = 0 \quad (24)$$

$$\begin{aligned} M_D &= -M_H + \frac{1}{6} \frac{c^2 (h_D - x)^3}{(h_D - h_B - b \cos \alpha)^2} - N \cdot r_D = \\ &= -M_H + \frac{1}{6 \sin^2 \beta} (h_D - x)^3 - N \cdot r_D = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Решая эти уравнения относительно  $x$ , получим:

$$\begin{aligned} x^3 - \frac{3(r_D \sin^2 \beta \cdot h_A + r_a \sin^2 \alpha \cdot h_D)}{r_D \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha} x^2 + \frac{3(r_D \sin^2 \beta \cdot h_A^2 + r_a \sin^2 \alpha \cdot h_D^2)}{r_D \sin^2 \beta + r_D \sin^2 \alpha} + \\ + \frac{6(M_B \cdot r_D + M_H \cdot r_a) \sin^2 \alpha \sin^2 \beta - r_D \sin^2 \beta \cdot h_A^3 - r_a \sin^2 \alpha \cdot h_D^3}{r_D \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha} = 0; \end{aligned}$$

или

$$x^3 - Ax^2 + Bx + C = 0, \quad (26)$$

<sup>1</sup> При принятой на фиг. 25 системе координат.

где:

$$A = \frac{3(r_{\partial} \sin^2 \beta \cdot h_A + r_a \sin^2 \alpha h_D)}{r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha},$$

$$B = \frac{3(r_{\partial} \sin^2 \beta \cdot h_A^2 + r_a \sin^2 \alpha h_D^2)}{r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha},$$

$$C = \frac{6(M_B \cdot r_{\partial} + M_H r_a) \sin^2 \alpha \sin^2 \beta - r_{\partial} \sin^2 \beta \cdot h_A^3 - r_a \sin^2 \alpha \cdot h_D^3}{r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha}.$$

Уравнение (26) есть уравнение 3-й степени и, следовательно, имеет три корня.

Чтобы выяснить, каковы эти корни, преобразуем это уравнение в трехчленное, путем замены  $x$  через

$$x = U + \frac{A}{3},$$

тогда получим

$$U^3 + \left(B - \frac{A}{3}\right) U + \frac{AB}{3} + C - \frac{2A^3}{27} = 0;$$

или

$$U^3 + pU + q = 0, \quad (27)$$

где

$$p = \left(B - \frac{A^2}{3}\right) = \frac{3(r_{\partial} \sin^2 \beta \cdot h_A^2 + r_a \sin^2 \alpha \cdot h_D^2)}{r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha} - \frac{3(r_{\partial} \sin^2 \beta \cdot h_A + r_a \sin^2 \alpha h_D)^2}{(r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha)^2} = \frac{3r_a r_{\partial} \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \cdot (h_D - h_A)^2}{(r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha)^2},$$

$$q = \frac{A \cdot B}{3} + C - \frac{2A^3}{27} = \frac{\sin^2 \alpha \sin^2 \beta}{(r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha)^3} \cdot [r_a r_{\partial} (\sin^2 \alpha - \sin^2 \beta) (h_D - h_A)^3 + 6(M_B r_{\partial} + M_H r_a) \cdot (r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha)^2].$$

Рассматривая выражения коэффициентов  $p$  и  $q$ , нетрудно заметить, что оба эти коэффициента положительны, следовательно

$$\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4} > 0,$$

что показывает, что уравнение (27) имеет один вещественный корень и два мнимых.<sup>1</sup>

Так как  $q > 0$ , то вещественный корень будет отрицательным,<sup>2</sup> и поэтому искомое значение  $x$  уравнения (26) будет:

$$x = -U_0 + \frac{A}{3} = -U_0 + \frac{r_{\partial} h_A \sin^2 \beta + r_a h_D \sin^2 \alpha}{r_{\partial} \sin^2 \beta + r_a \sin^2 \alpha}.$$

Таким образом и в этом втором случае, если принятая конфигурация затвора допустит возможность занятия им равновесного положения при неполном (частичном) заполнении водой камеры давления, для  $x$  получится лишь одно значение, причем это последнее будет только положительным, так как всякое отрицательное значение будет здесь невысказано по условию.

Итак, на основании изложенного можно считать, что любому равновесному положению крышевидного затвора какой-либо произвольно заданной конфигурации будет соответствовать лишь один единственно возмож-

<sup>1</sup> Я. Д. Тамаркин и В. И. Смирнов, "Курс высшей математики", т. II, стр. 65.

<sup>2</sup> T a n n e r y, J. "Leçon d'Algebre et d'Analyse", v. II, p. 401.

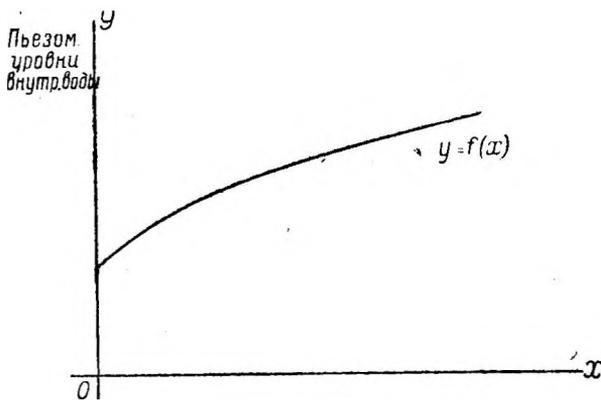
ный уровень внутренней воды, независимо от того будет ли при этом его камера давления заполнена водой полностью или частично.

Предположим, что для рассматриваемого затвора мы нашли только что изложенным приемом или каким-либо другим ряд местоположений уровней внутренней воды, отвечающих ряду равновесных состояний затвора.

Если теперь взять какую-либо координатную систему, хотя бы прямоугольную, отложить по одной оси, например по оси  $y$ — $y$ , расстояния, соответствующие различным рассмотренным положениям гребня затвора над порогом, а по оси  $x$  —  $x$  — найденные отвечающие им уровни внутренней воды, ориентируемые от того же порога, и затем концы этих ординат соединить плавной кривой, то мы получим некоторую кривую, представляющую характер изменения уровней внутренней воды в зависимости от хода гребня затвора.

Легко согласиться с тем, что при поставленных выше условиях загрузки затвора внешней водой эта кривая будет единственно возможной для данного затвора.

Однако, стоит только изменить размеры какого-либо элемента, входящего в состав конфигурации затвора, или изменить условия нагрузки на него внешней водой (путем изменения, например, отметки уровня воды верхнего бьефа), как сейчас же, согласно уравнений (23) и (26), получатся иные значения для местоположений уровней внутренней воды и кривая фиг. 27 изменится, приняв другое очертание.



Фиг. 27.

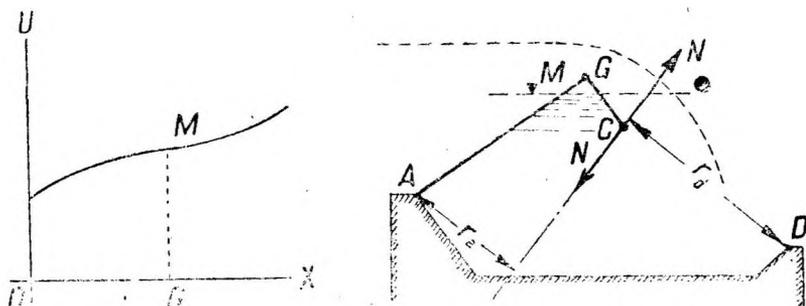
Отсюда естественно заключить, что между конфигурацией крышевидного затвора и кривой уровней внутренней воды имеет место следующая зависимость: всякой конфигурации затвора при определенно заданной нагрузке на него внешней воды отвечает только одна кривая уровней внутренней воды.

При проектировании крышевидного затвора можно получить для удовлетворения одних и тех же поставленных условий бесчисленное множество различных вариантов его конфигурации, а соответственно с этим, в виду наличия приведенной зависимости между конфигурацией и кривой уровней внутренней воды, и бесчисленное множество означенных кривых. Но в то время как многие из этих конфигураций могут быть использованы для устройства затвора — лишь бы они были практически выполнимы, — не всякая кривая уровней внутренней воды, отвечающая этим приемлемым конфигурациям практической формы, может оказаться в должной мере удовлетворительной, ибо, как это будет указано ниже, вид кривой уровней внутренней воды теснейшим образом связан с работой затвора и, следовательно, из всех возможных его конфигураций в конечном счете нужно будет принять только ту из них, которую укажет необходимая кривая уровней внутренней воды в связи с желаемой работой затвора; иными словами, здесь характеристикой для суждения о приемлемости той или иной конфигурации затвора будет являться уже не сама конфигурация, а вид соответствующей ей кривой уровней внутренней воды.

Это обстоятельство — наличие связи между возможной работой затвора и видом кривой уровней внутренней воды — позволяет расширить взгляд на последнюю и смотреть на нее уже не только как на простое выражение какой-то мало говорящей, хотя и вполне определенной зависимости, связанной с конфигурацией затвора, но как на кривую, имеющую вполне реальный смысл.

В силу этого, нам кажется, что будет вполне резонно дать построенной на фиг. 27 кривой уровней внутренней воды наименование характеристической кривой крышевидного затвора или более просто — характеристике затвора и соответственно с этим изменить формулировку высказанного на стр. 33 положения, заменив ее таковой: всякой конфигурации крышевидного затвора, при определенной заданной нагрузке на него внешней воды, отвечает только одна характеристическая кривая.

Наличие в крышевидных затворах указанной зависимости, естественно, порождает мысль: не существует ли в этих затворах и другой зависимости, обратной только что высказанной, а именно: не отвечает ли какой-либо заданной характеристической кривой, при определенных условиях загрузки затвора от внешней воды, только одна возможная конфигурация?



Фиг. 28.

Чтобы это выяснить, предположим, что имеется некоторая характеристическая кривая (фиг. 28) и требуется по заданному очертанию верхового щита найти для какой-либо точки  $M$  характеристической кривой контур низового щита на участке  $CD$ , считая, что расстояния  $r_a$  и  $r_d$  для данного положения гребня затвора в точке  $G$  нам известны.

Если обозначить через:

$M_B$  — момент относительно оси  $A$  всех сил, действующих на верховой щит от нагрузки внешней водой, приходящейся на 1,00 пог. м длины затвора,

$M_k$  — то же всех сил от внутренней воды,

$M_H$  — момент относительно оси  $D$  всех сил от внутренней водяной нагрузки на 1,00 пог. м длины низового щита,

$N$  — величину реактивной силы на 1 пог. м длины затвора, то из условия равновесия затвора<sup>1</sup> можем написать следующие два уравнения:

$$\begin{aligned} M_A &= M_B - M_k - Nr_a = 0; \\ M_D &= M_H - Nr_d = 0. \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Пренебрегая моментами от собственного веса щитов.

В этих уравнениях неизвестными являются  $M_H$  и  $N$ .  
Решая уравнение относительно  $M_H$ , получим:

$$M_B - M_k - M_H \frac{r_a}{r_d} = 0,$$

или

$$M_H = (M_B - M_k) \frac{r_d}{r_a} = 0,$$

или

$$M_H = M_{B_0} \cdot \frac{r_a}{r_d}. \quad (28)$$

Согласно фиг. 29 имеем, что

$$M_H = P_1 a_1 + P_2 a_2 + P_3 a_3.$$

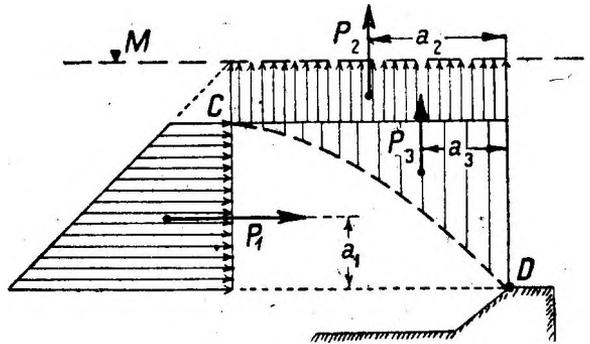
Здесь неизвестным является только третий член, как единственно зависящий от очертания контура  $CD$ .

Подставляя это значение  $M_H$  в уравнении (28), получим:

$$P_3 a_3 = M_{B_0} \frac{r_d}{r_a} - (P_1 a_1 + P_2 a_2) = k. \quad (29)$$

Так как величина  $k$  в данном случае постоянная, а  $P_3$  и  $a_3$  — обе переменные, то этим самым устанавливаем, что значению  $k$  могут отвечать, следуя гиперболическому закону, различные комбинации из  $P_3$  и  $a_3$ , а соответственно с этим и различные очертания контура  $CD$ , ибо всякому значению  $P_3$  при заданном  $a_3$  соответствует свой определенный контур  $CD$ .

Ввиду того что точка  $M$  характеристической кривой взята совершенно произвольно, поэтому имеет достаточные основания утверждать, что какой-либо заданной характеристической кривой при одних и тех же условиях загрузки от внешней воды отвечает множество различных конфигураций затвора.



Фиг. 29.

#### ГЛАВА IV.

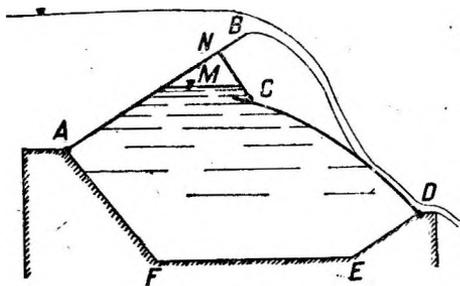
### СВЯЗЬ МЕЖДУ ВИДОМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ И ВОЗМОЖНОЙ РАБОТОЙ ЗАТВОРА.

Рассматривая положения равновесия крышевидного затвора какой-либо произвольной конфигурации (фиг. 30) в различных точках хода его гребня  $B$ , нетрудно заметить, что каждое из этих положений равновесия обуславливается наличием следующих трех факторов:

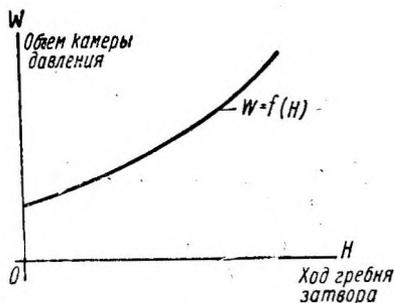
- 1) строго определенного объема камеры давления  $ANCDEFA$ ;
- 2) строго определенного уровня внутренней воды и
- 3) строго определенного объема этой воды в камере давления.

Наблюдая за изменением каждого из этих факторов, можно убедиться, что первый из них зависит только от местоположения гребня затвора, второй — согласно изложенного выше — от величины внешней нагрузки на него и третий — очевидно и от объема камеры давления и от положения уровня внутренней воды.

Графически изменения двух первых факторов можно представить — первого в виде некоторой восходящей кривой (фиг. 31), так как всякому приращению хода гребня всегда отвечает такого же знака приращение объема камеры давления; второго — в виде различных кривых, которые в зависи-

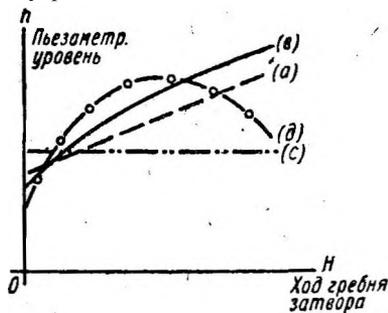


Фиг. 30.



Фиг. 31.

мости от конфигурации затвора и внешней нагрузки на него, могут быть как восходящими, так и близкими к горизонтальной прямой и, наконец, имеющими восходящие и нисходящие участки (фиг. 32). Что же касается графика изменения третьего фактора — изменения объема внутренней воды, — то легко согласиться с тем, что если конфигурация затвора будет такова, что при всех положениях гребня затвора уровни внутренней воды будут располагаться не ниже точки  $N$  затвора (фиг. 30), то кривая объемов внутренней воды, независимо от вида характеристической кривой, совпадет с кривой объемов камеры давления и будет, следовательно, изображаться в виде восходящей кривой линии.



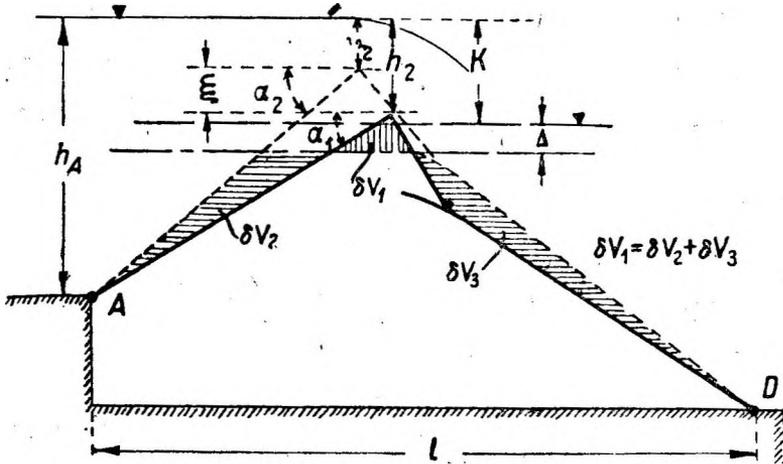
Фиг. 32.

Далее, если характеристическая кривая будет иметь вид восходящей кривой (или прямой) или горизонтальной прямой линии, то в случаях установления уровней внутренней воды даже ниже точки  $N$ , т. е. когда будет иметь место неполное заполнения камерой давления, изменение объемов внутренней воды будет так же представляться в виде восходящей кривой линии, ибо каждому новому последующему повышению гребня затвора в первом случае будет отвечать и увеличение объема камеры давления и повышение уровня внутренней воды, и во втором — при неизменности этого последнего — увеличение объема камеры давления.

Наконец, в случае, если характеристическая кривая будет иметь нисходящий участок и точка  $N$  затвора, при тех или иных его положениях, будет находиться выше уровней внутренней воды, то изменение объемов этой последней может получиться или в виде какой-либо кривой (восходящей или нисходящей), или в виде горизонтальной прямой линии.

ристической кривой имеет место положение равновесия затвора любой произвольной конфигурации (фиг. 33). Допустим, что, не изменяя объема внутренней воды, гребень затвора переместился тем или иным путем вверх на некоторую величину  $\xi$  равную  $\delta H$  (фиг. 33а). Вследствие этого уровень воды в камере давления несколько снизится. Обозначим это снижение величиной  $\Delta$ .

Очевидно, что если  $\Delta$  будет равно  $\delta H$ , и это равенство сохранится во всех точках характеристической кривой данного участка, то для равновесия затвора в любой из точек этого участка, пополнения воды в камеру дав-



Фиг. 33.

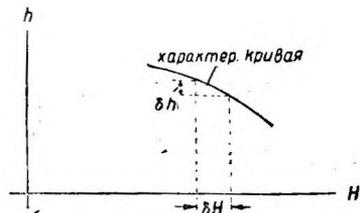
ления не потребуется, и характер изменения объемов внутренней воды представится в этом случае в виде горизонтальной прямой линии.

Если же окажется, что  $\Delta > \delta H$ , то это покажет, что для удержания затвора в равновесии в приведенном положении необходимо будет добавить воду в камеру давления и, следовательно, в данном случае кривая изменения объемов внутренней воды получит вид восходящей кривой линии.

Если, наконец, получится обратное, т. е., что  $\delta < \delta H$ , то для удержания затвора в равновесии придется часть воды из камеры давления удалить; в силу этого кривая изменения объемов внутренней воды изобразится в виде нисходящей кривой.

Нетрудно видеть, что первый из указанных факторов — объем камеры давления — никакого непосредственного влияния на работу затвора, т. е. на способность последнего принимать определенное заказанное положение и удерживаться в таковом в состоянии равновесия в течение желаемого периода времени, оказывать не может; эта работа обуславливается главным образом вторым фактором и отчасти неизменно с ним связанным третьим фактором.

Так как кривые изменения обоих этих факторов, как только что было установлено, не всегда носят один и тот же характер, то отсюда естественно возникает потребность выяснения, каковы должны быть эти кривые, а также каково должно быть соответствие между их видом, чтобы работа затвора на всем ходе его гребня была в полной мере надежной.



Фиг. 33а.

В силу этого перейдем к рассмотрению работы затвора при всех возможных видах характеристических кривых и соответственно всех видах отвечающих им кривых объемов внутренней воды.

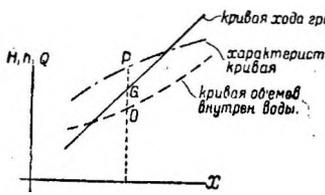
В качестве объекта для этого рассмотрения возьмем затвор, имеющий в управляющем аппарате оборудование (вне камеры давления) в виде водосливного щитка для установления заказанного уровня внутренней воды и контроля над ним и особого приспособления — регулятора притока, служащего для поддержания неизменности объема воды в камере давления, пополняя таковую при потерях ее через фильтрацию.

Рассмотрим сначала случай, когда характеристическая кривая имеет вид восходящей кривой (или прямой) и соответствующая ей объемная кривая так же восходящая.

Предположим, что гребень затвора находится в положении  $G$ , коему отвечает фиксированный ребром водосливного щитка пьезометрический уровень (уровень внутренней воды) точки  $P$  характеристической кривой и объем внутренней воды, соответствующий точке  $O$  кривой объемов воды (фиг. 34).

Очевидно, что если потерь воды из камеры давления происходить не будет или если создадутся такие условия, что объем этих потерь  $s$  будет равен объему притока их пополнения  $q$ , то тогда точки  $P$  и  $O$  останутся без изменения.

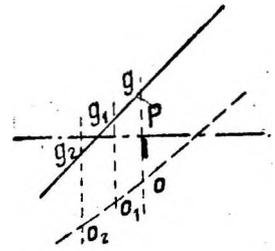
В случае же, если  $s$  делается почему либо больше  $q$ , то это вызовет уменьшение объема внутренней воды  $Q$  и понижение пьезометрического уровня, вследствие чего затвор выйдет из занимаемого им состояния равновесия<sup>1</sup> и начнет снижаться, причем это снижение будет продолжаться



Фиг. 34.

до тех пор, пока  $s$  будет оставаться большим,  $q$ .

Если, затем, причина усиленного оттока  $s$  будет тем или иным путем ликвидирована, и приток  $q$  станет больше,



Фиг. 35.

то избыток воды ( $q-s$ ), не имея иного выхода, будет вынужден пойти в камеру давления, отчего произойдет пополнение объема внутренней воды, повышение пьезометрического уровня и подъем затвора. Когда объем  $Q$  и пьезометрический уровень достигнут первоначальных положений  $O$  и  $P$ , избыток воды ( $q-s$ ) должен будет переливаться через ребро водосливного щитка, ибо в камеру давления он пройти не сможет, так как этому воспрепятствует невозможность повышения пьезометрического уровня, в виду наличия ребра упомянутого водосливного щитка. Поэтому затвор, поднявшись до первоначально занимаемого положения  $G$ , в дальнейшем будет пребывать в этом последнем, пока снова величина потерь  $s$  не превысит притока  $q$ .

Второй случай — когда характеристическая кривая имеет вид горизонтальной прямой, а объемная кривая — вид восходящей кривой линии.

В этом случае, так же, как и в только что рассмотренном, затвор, находясь в равновесии в заданном положении  $G$  (фиг. 35) при определенном объеме внутренней воды  $O$ , будет сохранять это состояние до тех пор, пока будет существовать равенство между  $s$  и  $q$ .

Если это равенство окажется нарушенным и при этом получится, что

<sup>1</sup> Предполагается, что трение в шарнирах и роликах отсутствует.

$s > q$ , то тогда, как и в предыдущем случае, последует уменьшение объема внутренней воды  $Q$  и переход затвора в новое положение сначала в  $G_1$ , затем  $G_2$  и т. д.; пьезометрический уровень при этом может остаться без изменения.

Если после этого произойдет изменение  $s$  и  $q$  и получится обратное явление, т. е.  $s < q$ , то тогда очевидно избыток воды будет сбрасываться через ребро водосливного щитка, при сохранении затвором занимаемого им положения, т. е. если его гребень был предварительно снижен из положения  $G$  в  $G_1$  или  $G_2$ ,<sup>1</sup> то он обратно в положение  $G$  не возвратится.

Третий случай — характеристическая кривая представляется нисходящей кривой линией, а объемная кривая или в виде горизонтальной прямой, или в виде восходящей или нисходящей кривых линий.

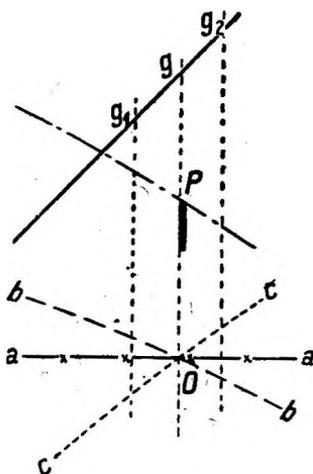
Из фиг. 36 видно, что при  $s = q$  будем иметь, как и в рассмотренных случаях, ненарушимость заданных  $G, P$  и  $O$ .

Для случая же, если  $s > q$ , то в зависимости от вида объемной кривой, очевидно получим:

- при кривой  $aa$  — снижение гребня затвора
- „ „  $bb$  — повышение „ „
- „ „  $cc$  — снижение „ „

Если же после этого произойдет, что  $s < q$ , то

- при кривой  $aa$  — затвор вернуться в прежнее положение не может
- „ „  $bb$  — последует снижение гребня затвора и стремление его занять первоначальное положение
- „ „  $cc$  — затвор вернуться в первоначальное положение не может.



Фиг. 36.

Сопоставляя полученные результаты работы затвора при трех возможных основных видах характеристических кривых, видим, что:

а) в первом случае, т. е. когда характеристическая кривая имеет вид восходящей кривой линии, работа затвора протекает вполне надежно: затвор, выведенный из своего положения при усиленных оттоках воды, вновь возвращается в свое прежнее положение, как только этот отток так или иначе окажется ликвидированным;

б) во втором случае — при горизонтальной характеристической кривой — работа затвора оказывается неудовлетворительной, так как, снизившись по каким-либо причинам, затвор возвратиться затем в свое прежнее положение не сможет;

в) в третьем случае — при характеристической кривой в виде нисходящей кривой — работа затвора, в зависимости от вида кривой изменения объемов внутренней воды, может быть либо удовлетворительной (при объемной кривой в виде нисходящей кривой линии), либо неудовлетворительной (при объемной кривой в виде восходящей кривой или горизонтальной прямой линии). Так как получить конфигурацию затвора, при которой объемная кривая имела бы вид горизонтальной прямой или нисходящей кривой линии, весьма трудно и так как затворы ныне существующих практических форм при наличии в их характеристических кривых участков в виде нис-

<sup>1</sup> В силу неравенства  $s > q$ .

ходящих кривых<sup>1</sup> имеют объемные кривые в виде восходящих кривых, то поэтому есть основание признать, что и в третьем рассмотренном случае работа затвора протекает неудовлетворительно.

Руководствуясь изложенным, можно прийти к такому заключению:

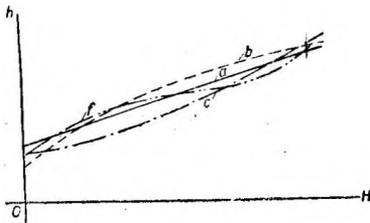
1) когда к крышевидному затвору предъявляется требование, чтобы он мог устанавливаться в любых положениях и удерживаться в них в состоянии равновесия, каковые требования могут иметь место в случаях предназначения затвора для поддержания неизменности уровня воды верхнего бьефа или для пропуска определенных расходов воды, необходимо, чтобы характеристическая кривая такого затвора была обязательно в виде восходящей кривой линии, причем чем круче будет эта последняя, тем работа затвора будет надежнее;

2) когда же к затвору предъявляются упрощенные требования, а именно — только полностью открывать или закрывать обслуживаемое им отверстие, то в этом случае характеристическая кривая может быть любого вида, удовлетворяя лишь условию, чтобы на всем ходе гребня затвора во время его подъема она была ниже кривой изменений уровней воды в верхнем бьефе.

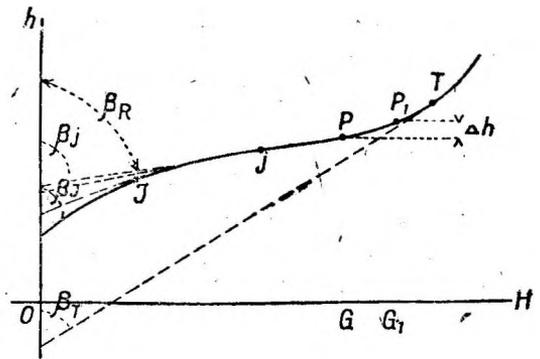
## ГЛАВА V.

### ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КРЫШЕВИДНЫХ ЗАТВОРОВ.

Характеристические кривые крышевидных затворов в виде восходящих кривых линий могут быть вообще весьма разнообразны (фиг. 37, кривые *a*, *b*, *c*, *f*), и хотя работа затворов, при всех этих видах характеристических кривых, должна протекать согласно изложенному в предыдущей главе вполне надежно, можно однако предполагать, что эта работа, при



Фиг. 37.



Фиг. 38.

каждой из приведенных характеристических кривых, будет иметь свои особенности и что по-видимому при некоторых видах очертания этих кривых она будет совершаться более благоприятно, чем при других.

Чтобы убедиться в этом, будет нелишним проследить, как протекает работа затвора на различных участках какой-либо из приведенных на фиг. 37 характеристических кривых, хотя бы, например, характеристической кривой вида *f* и, если удастся, то сделать затем на основе полученных результатов Надлежащие выводы, какому именно очертанию характеристических кривых фиг. 37 надлежит отдавать предпочтение, чтобы получить работу затвора, наилучшую для целей практики.

Пусть имеем некоторый крышевидный затвор с характеристической кривой вида *f* фиг. 38 и допустим, что гребень этого затвора находится в состо-

нии равновесия в некотором положении  $G$ , коему отвечает уровень внутренней воды в точке  $P$  характеристической кривой  $h=f(H)$ , где  $H$  — ход гребня затвора.

Допустим далее, что гребень нашего затвора переместился в некоторое другое весьма близкое положение  $G_1$ , находящееся на расстоянии  $\Delta H$  от точки  $G$ , и что, в связи с этим, последовало изменение положения уровня внутренней воды, и последний занял новое положение в точке  $P_1$ , получив приращение высоты подъема на величину, равную  $\Delta h$ .

Очевидно, что среднее значение степени подъема затвора на рассматриваемом участке  $GG_1$ , приходящееся на единицу высоты получившегося изменения уровней внутренней воды, будет равно:

$$\frac{\Delta H}{\Delta h}.$$

Нетрудно заметить, что эта величина может в достаточной степени служить мерилем для суждения о способности затвора к его подъему или опусканию, т. е. иными словами к его чувствительности на данном участке.

Поэтому не будет допущено какой-либо произвольности, если мы условимся называть величину  $\Delta H/\Delta h$  средней чувствительностью затвора на указан-

ном участке  $GG_1$ , обозначая ее через  $\mu_{gg_1}$ , т. е.

$$\mu_{gg_1} = \frac{\Delta H}{\Delta h}.$$

Ясно, что если начать уменьшать высоту подъема  $\Delta H$  гребня затвора, т. е. заставить приближаться точку  $G_1$  к точке  $G$ , то эта средняя чувствительность  $\mu_{gg_1}$  будет вообще изменяться и перейдет наконец в предел, когда  $G_1$  совпадет с точкой  $G$  и  $\Delta h$  сделается равным нулю, в некоторую величину

$$\lim \frac{\Delta H}{\Delta h} = \frac{dH}{dh} = \operatorname{tg} \beta = \mu, \quad (30)$$

которая очевидно будет представлять собой не что иное как чувствительность затвора в данной точке  $G$  положения его гребня, или другими словами: способность его реагировать в указанной точке гребня к подъему или опусканию при изменении уровня внутренней воды в ту или другую сторону.

Из фиг. 38 и выражения (30) видно, что чувствительность затвора  $\mu$  в любой точке хода гребня определяется тангенсом угла  $\beta$ , составляемого касательной, проведенной к соответственной точке характеристической кривой, отвечающей данному положению гребня, с направлением оси  $h$ , и может быть следовательно всякий раз легко находима.

Рассматривая различные зоны характеристической кривой ( $f$ ) взятого нами затвора с точки зрения его чувствительности, нетрудно заметить, что эта чувствительность  $\mu$  у него всюду различна.

Так, в зоне около точки  $J$  (фиг. 38) она очень велика, почти близка к  $\infty$ ; в зоне около точки  $I$  — сравнительно не велика и наконец, в зоне Около точки  $T$  — в достаточной степени мала.

Посмотрим, может ли это различие чувствительности затвора на отдельных участках его характеристической кривой отражаться на работе затвора.

Начнем с участка, расположенного около точки  $J$ .

Здесь, как указывалось,  $\mu$  близко к  $\infty$ . Очевидно, что если бы кривая

объемов внутренней воды имела на этом участке характеристической кривой вид горизонтальной прямой, при которой при переходе гребня затвора из одного положения в другое приращение объема внутренней воды равно нулю, то тогда затвор в рассматриваемой зоне около точки  $J$  мог бы резко и быстро подниматься или опускаться, причем удержать его в каком-либо желаемом месте этого участка не представлялось бы возможным. Но как было установлено в главе IV, в нашем случае кривая объемов внутренней воды имеет вид восходящей кривой, а поэтому существующее у затвора в точке  $J$  стремление к резкому подъему или опусканию в данном случае становится зависимым от скорости выполнения приращения объема внутренней воды на этом участке при переводе гребня из одного положения в другое с ним смежное.

Интенсивность приращения объема внутренней воды<sup>1</sup> на каком-либо участке характеристической кривой при условии, что управление затвором по переводу его гребня из одного положения в другое производится путем простейшего совершаемого в один прием перемещения водосливного щитка на высоту, соответствующую заданному положению гребня, зависит только от очертания вида характеристической кривой на данном участке.

Как видно, в нашем случае, т. е. в районе точки  $J$  с  $\mu \approx \infty$ , характеристическая кривая имеет довольно пологое очертание и поэтому здесь, при подъеме затвора в какое-либо соседнее положение, водосливный щиток придется поднимать на очень небольшую величину. От такого малого перемещения щитка естественно получится столь малый импульс для притока воды в камеру давления, что для выполнения надлежащего приращения объема внутренней воды потребуется даже при самых благоприятных обстоятельствах довольно много времени и следовательно затвор, несмотря на свою большую чувствительность, будет совершать необходимый переход в какое-либо соседнее положение с затратой практически очень большого периода времени.

Поэтому управлять затвором в районах около точки  $J$  простейшим приемом по-видимому нельзя (подразумевается с точки зрения практики), и в силу этого на данном участке, при подъеме затвора, придется прибегать к более сложному приему, а именно: поднять сначала водосливный щиток на значительно большую величину с тем, чтобы создать достаточно большой импульс для притока воды в камеру давления, произвести необходимое приращение объема внутренней воды с известным избытком и опустить затем щиток, установив его на соответствующем месте, отвечающем заданному положению гребня затвора. Очевидно, что времени на подъем затвора при этом приеме управления потребуется во много раз меньше, чем при обычном приеме, но не трудно заметить, что только-что описанный прием управления много сложнее и почти невыполним при желании заставить затвор быть самодействующим, т. е. управляться автоматически.

Перейдем теперь к рассмотрению участка кривой около точки  $I$ .

Здесь чувствительность затвора  $\mu$  сравнительно не велика; это показывает, что очертание характеристической кривой в районе точки  $I$  имеет достаточно подъемистый вид, в связи с чем в данном случае нет оснований опасаться за затруднительность управления затвором простейшим приемом, ибо, как видно из фиг. 38, можно получить достаточный импульс для приращения воды при переходах гребня затвора в пределах этого участка из одного положения в другое с ним смежное.

Рассматривая наконец участок характеристической кривой в районе точки  $T$ , видим, что чувствительность затвора в этой последней является

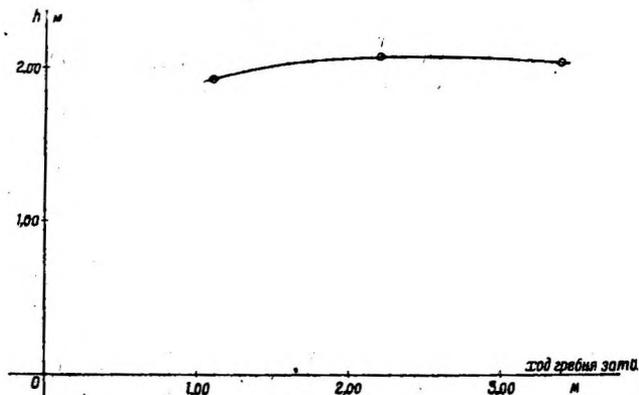
<sup>1</sup> Для затвора какого-либо определенного пролета и определенной конфигурации.

наименьшей из всех, которые он имеет на остальных участках своего хода гребня. Вследствие этого крутизна характеристической кривой на этом участке является наибольшей, а поэтому на основании предыдущего и управление затвором здесь, при простейшем способе, должно протекать наилучшим образом.

Итак, из приведенного вытекает, что затвор с принятой характеристической кривой ( $f$ ), в виду наличия в его очертании участка с весьма большой чувствительностью, не может быть управляем одинаково просто на всем ходе своего гребня. Это обстоятельство очевидно не может не представлять известных неудобств при эксплуатации затвора,<sup>1</sup> а поэтому работа такого с характеристической кривой рассмотренного вида должна быть признана с точки зрения практики недостаточно удовлетворительной.

Применяя этот же прием изучения чувствительности, затвора к исследованию приемов управления им при остальных видах характеристических кривых, приведенных на фиг. 37, можно легко установить, что наиболее совершенной из них в отношении применения простейшего вида управления будет лишь характеристическая кривая вида  $a$  (прямая линия), как имеющая на всем протяжении одну и ту же достаточно малую чувствительность  $\mu$ .

Таким образом, на основе всего выше-изложенного, можно в общем прийти к такому заключению: для надежности работы затвора на всем ходе его гребня, при возможно простейшем приеме управления, необходимо, чтобы характеристическая кривая его, помимо удовлетворения требованию иметь вид восходящей кривой линии,



Фиг. 39.

была бы при этом, в отношении очертания, возможно ближе к прямой линии или, еще лучше, имела бы просто вид восходящей прямой линии с возможно малой чувствительностью  $\mu$ .

Заметим кстати, что согласно данным, приведенных в курсе металлических затворов проф. Н. Kulka,<sup>2</sup> характеристическая кривая затвора Dachwehr (системы Huber & Lütz) имеет в верхней своей части вид, представленный на фиг. 39, т. е. весьма близкий к горизонтальной прямой линии с небольшой у конца выпуклостью, направленной вверх. Вид очертания этой кривой подтвержден также автором патента затвора Dachwehr докт.-инж. J. Huber в его статье в журнале „Deutsche Wasserwirtschaft“ за 1930 г.,<sup>3</sup> в которой он, между прочим, указывает, что наличие такого очертания характеристической кривой представляет собой как бы отличительную особенность затвора, позволяя управлять им почти при одинаковом уровне внутренней воды.

С точки зрения только что изложенного, в отношении чувствительности затвора, а равно и в предыдущей главе, такой вид очертания характе-

<sup>1</sup> В особенности если он должен работать автоматически.

<sup>2</sup> Н. K u l k a, „Der Eisenwasserbau“, Bd. I, 1928 г., S. 308.

<sup>3</sup> № 6 от 20 июня.

ристической кривой в верхней ее части должен являться известным минусом конфигурации затвора системы Н. — L., так как при нем неминуемо должны иметь место усложнения, связанные с убавлением затвора, а также стремления последнего ко всякого рода капризам в отношении самопроизвольного его подъема или опускания.

К сожалению в СССР нет ни одного построенного затвора Dachwehr системы Н. — L., и поэтому нет возможности проверить справедливость высказанных здесь соображений.

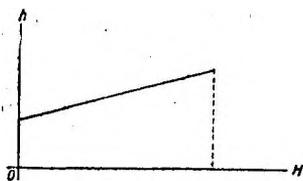
Надо надеяться, что некоторое освещение этого вопроса удастся получить осенью этого года в связи с предполагаемой постановкой в широком масштабе опытов в лаборатории Научно-исследовательского института гидротехники по всестороннему изучению вододействующих затворов и в частности крышевидных.

## ГЛАВА VI.

### НАХОЖДЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ КРЫШЕВИДНОГО ЗАТВОРА ПО ЗАДАННОЙ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ И ЗАДАННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ.

Основываясь на предыдущем, мы видим, что для правильной и надежной работы крышевидного затвора, а также и для простоты управления им на всем ходе его гребня необходимо, чтобы характеристическая кривая затвора имела вид восходящей прямой линии (фиг. 40).

Следовательно задача нахождения рациональной конфигурации управляемого затвора должна сводиться к тому, чтобы получить эту конфигурацию именно такой, при коей характеристическая кривая затвора имела бы указанный вид восходящей прямой линии, наклоненной к оси  $h$  под углом, соответствующим требуемой заданной чувствительности затвора.



Фиг. 40.

Наиболее просто такая задача могла бы быть выполнена, если бы существовала определенная связь между характеристикой затвора и его конфигурацией, ибо тогда, задаваясь желаемым видом характеристической кривой, непосредственно можно

было бы получить отвечающую ей конфигурацию. Но такой зависимости, как было установлено выше, не имеется, а поэтому нахождение конфигурации затвора с желаемой характеристикой может быть получено лишь единственным путем — путем подбора.

Очевидно, что производить этот подбор обычным способом — способом последовательного приближения без предварительного изучения элементов, входящих в состав конфигурации затвора (полотнище верхового щита, полотнище низового щита, горизонтальное и вертикальное расстояние между осевыми линиями шарнирного укрепления щитов на флютбете), трудно, ибо в этом случае пришлось бы в каждом частном задании, в виду наличия сравнительно большого числа этих элементов, исследовать довольно много различных конфигураций, прежде чем удастся установить, в каком направлении следует вести необходимые поиски, чтобы получить нужный результат.

Поэтому весьма желательно в целях облегчения этого подбора прежде всего рассмотреть, хотя бы в общих чертах, каждый из элементов конфигурации и ознакомиться с теми основными соображениями, которыми приходится руководствоваться вообще при назначении размеров этих элементов и их очертания (полотнище верхового и низового щита), так как, распо-

лагая таковыми, очевидно возможно будет значительно облегчить подбор нужной конфигурации, назначая размеры некоторых элементов или путем чисто логических предпосылок, или пользуясь какими-либо практическими данными, и тем самым, следовательно, исключить из рассмотрения при вариациях подбора эти элементы, полагая их уже как бы подобранными.

В виду этого и приступим теперь к указанному ознакомлению, подвергнув обзору в отдельности каждый из основных элементов конфигурации крышевидного затвора. В качестве модели будет целесообразно взять конфигурацию затвора Dachwehr системы Huber & Lütz, так как из всех известных ныне крышевидных затворов только один этот затвор имеет характеристическую кривую, близкую к восходящей кривой<sup>1</sup> и может быть управляем на всем ходе своего гребня.

Верховой щит. Полотнище этого щита в отношении очертания своего контура должно иметь со стороны, омываемой внешней водой, вид криволинейной (цилиндрической) поверхности, у которой в качестве образующей должна быть прямая, параллельная оси шарнирного закрепления щита на флютбете, а в качестве направляющей — некоторый криволинейный контур. Этот последний, очевидно, должен быть выбран таким, чтобы коэффициент расхода воды при всех положениях затвора, когда возможен перелив воды через его гребень, был наибольшим.

В виду того, что подобрать такой контур, который мог бы одновременно удовлетворять всем степеням открытия затвора, невозможно, в практике обычно к этому подбору и не стремятся, а принимают направляющий контур в виде прямой линии и соответственно с этим полотнищу щита придают вид плоскости. Такой вид полотнища верхового щита, не представляя особых удобств в смысле обтекания переливающихся через него струй и в смысле получения повышенных коэффициентов расходов, является тем не менее весьма выгодным в отношении конструктивного выполнения, вследствие чего этот вид полотнища щита и получил свое воплощение во всех в данное время применяемых крышевидных затворах типа Dachwehr и Beartrap системы White.

Что же касается очертания контура полотнища верхового щита со стороны флютбета, то для упрощения конструкции щита его принимают обычно идущим параллельно очертанию внешнего контура.

Размер полотнища в ширину обуславливается очевидно величиной заданного к перекрытию отверстия плотины; что же касается размера высоты полотнища, то эта последняя по-видимому может колебаться в широких пределах от некоторого минимума, равного величине наибольшей водоподдерживающей глубины  $H$ , над порогом затвора до любого максимума.

С точки зрения экономии полотнища щита желательно придерживаться минимальных значений. Однако, достигнуть полного минимума весьма трудно из-за необходимости удовлетворить условиям вписывания полотнища низового щита при перемещениях гребня затвора от одного крайнего положения до другого. С другой стороны, если заботиться лишь о наилучшем вписывании низового щита, то потребуются брать более значительные размеры рассматриваемого полотнища, придавая ему большую пологость, что в свою очередь вызывает потребность назначать довольно солидные размеры флютбета.

Естественно, поэтому, найти такой предел наклона щита, а следовательно, и размер его высоты, при котором будет возможно и облегченное вписывание низового щита и будет сведен до известного минимума размер ширины флютбета (вернее размер горизонтального расстояния между осевыми ли-

<sup>1</sup> См. указания на стр. 41.

ниями шарниров обоих щитов). Таким пределом можно считать, при крайнем верхнем положении гребня затвора, наклон полотнища к горизонту под углом близким к 40—45°.

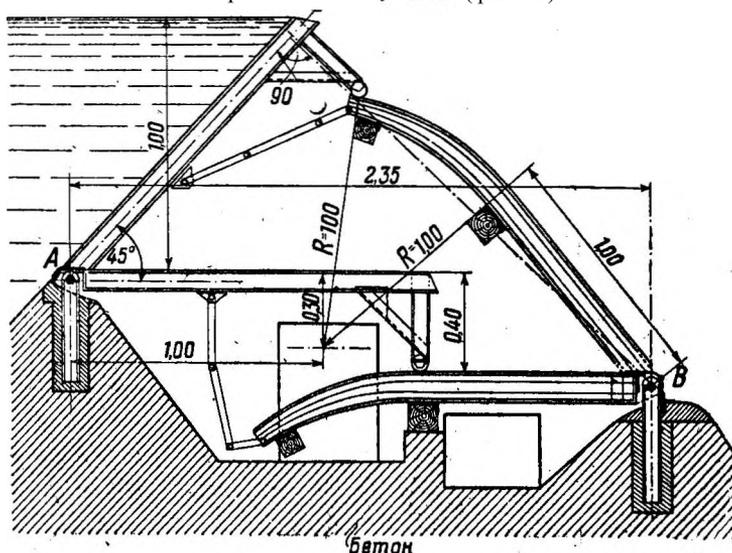
При указанном наклоне полотнища размер высоты его определится примерно величиной

$$B = (1,56 \pm 1,41)H, \quad (31)$$

где  $H$  — наибольшая водоподдерживающая глубина над порогом затвора.

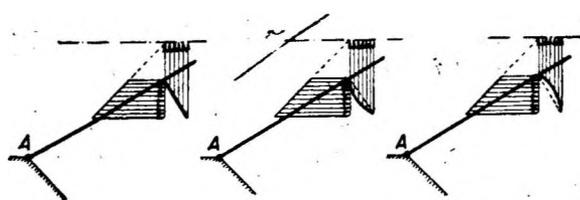
По таким же очевидным соображениям эта величина  $B$  принята в затворах Dachwehr системы Н. — Л. равной

$$\sqrt{2}H \text{ (фиг. 41).}^1$$



Фиг. 41.

**Опорный выступ.** Опорный выступ, входящий в состав конструкции верхнего щита затворов типа Dachwehr и предназначенный главным образом для того, чтобы способствовать понижению в камере затвора уровня внутренней воды при подъеме затвора в крайних нижних положениях,



Фиг. 42.

подобно полотнищу верхнего щита может иметь в общем случае также вид некоторой цилиндрической поверхности, у которой производящей будет прямая линия, параллельная осевой линии опорных шарниров, а направляющей — криволинейной контур,

выбираемый в зависимости от потребности получить тот или иной больший или меньший момент от нагрузки внутренней водой на опорный выступ относительно осевой линии шарнирного укрепления верхнего щита.

Однако в виду сравнительно незначительного выигрыша, который может получить этот момент при криволинейном контуре по сравнению с прямолинейным (фиг. 42), является более удобным применять последний, т. е. прямолинейный контур как более простой в конструктивном отношении.

<sup>1</sup> См. А. Schoklitsch, „Der Wasserbau“, Bd. II, 1930, S. 666.

В этом случае опорный выступ будет иметь вид плоского прямоугольного полотнища с размерами — в ширину, равную ширине полотнища верхового щита, а в высоту — в соответствии с возможностью, во-первых, достигнуть совместно с выбранными размерами низового щита и очертанием его внешнего контура требуемой допустимой высоты уровня внутренней воды в камере затвора при начальном его подъеме; во-вторых — удовлетворить условию свободного вписывания низового щита при различных положениях гребня затвора и, в-третьих, — удовлетворить ряду местных требований, которые могут быть предъявлены при составлении проекта затвора (например — возможности осмотра роликов и других элементов верхового щита и пр. в камере давления при лежачем положении затвора).

В связи с наличием первого из упомянутых соображений естественно нарождается вопрос: до каких пределов целесообразно идти в этом случае при назначении размера высоты опорного выступа.

К сожалению, получить на этот вопрос исчерпывающего разъяснения пока не представляется возможным, ибо каких-либо данных по этому поводу в иностранной литературе не имеется, а экспериментальной проверки эту вопроса у нас в СССР пока еще не проведено.

В силу означенного обстоятельства будет целесообразно, впредь до полного освещения данного вопроса, при суждениях о выборе высоты опорного выступа руководствоваться размерами его высоты, принимаемыми в настоящее время в затворах Dachwehr (системы Н. — L.), т. е. назначать его примерно около  $0,4 H$ , где  $H$  — наибольшая глубина воды над порогом при полном закрытии затвором отверстия плотины, так как при этом размере высоты опорного выступа, как показал опыт проектирования крышевидных затворов, получаются вполне удовлетворительные условия вписывания полотнища низового щита не только такого очертания, которое принято в конфигурации Dachwehr, но и других очертаний (напр. фиг. 11), а также достигаются приемлемые высоты уровней внутренней воды необходимые для начального подъема затвора.

Относительно места примыкания опорного выступа к полотнищу верхового щита необходимо заметить, что это примыкание может быть выполнено по существу двояко: либо непосредственно к ограничивающей кромке верхового щита, как это сделано в затворах системы Dachwehr (см. фиг. 10 и фиг. 41), либо несколько отступая от кромки согласно тому, как это выполнено в проекте затвора для головного регулятора Голодностепского магистрального канала (см. стр. 15 фиг. 11), т. е. со свесом полотнища верхового щита в виде консоли.

Первое из этих примыканий позволяет получить почти при всех положениях затвора условия более или менее спокойного прохода протекающей через затвор воды и вместе с этим ослабления в значительной мере ударов на полотнище низового щита льдин и плавучих предметов, переливающихся через гребень затвора. Но при этом, однако, имеет место постоянное омывание внешней водой полотнища низового щита, а следовательно постоянное наличие нагрузки на большей части последнего от этой внешней воды.

Кроме того, будет нелишним заметить здесь, что при рассматриваемом примыкании опорного выступа, как показали лабораторные наблюдения над моделью затвора подобного типа, происходит (при отсутствии аэрационных приспособлений) периодическое прилипание к внешней поверхности полотнища опорного выступа и отгон от нее струй, переливающихся через гребень затвора, следствием чего, естественно, получается периодическое изменение давления внутренней воды на опорный выступ, влекущее за собой постоянное стремление к нарушению затвором своего устойчивого положения.

Второе из указанных примыканий (с наличием консольного выступа) может быть осуществлено или так, что внешняя вода почти при всех положениях гребня затвора будет протекать минуя полотнище низового щита и следовательно не оказывая на него никакого влияния (в смысле нагрузки), или же она (внешняя вода) будет частично омыwać это полотнище. Очевидно, что в этом последнем случае названное полотнище,, в особенности при нахождении гребня в средних и близких к крайнему верхнему положениях, будет подвергаться довольно значительным ударам как от падающей струи, так и от несомых ею плавучих тел и льдин.

Как указывалось выше (см. стр. 5), наличие такого явления составляет в затворах Beartrap системы White <sup>1</sup> один из существенных недостатков.

Из сказанного не следует однако делать Вывода, что устройство консольного выступа вообще нежелательно, ибо помимо вносимого им в конструкцию затвора недостатка, каковой, кстати сказать, иногда в значительной степени может быть умален, этот выступ может дать и некоторые существенные преимущества, а именно: при нем явится возможным, помимо легкого осуществления аэрирования пространства под струей, значительно уменьшить ширину флютбета, каковое обстоятельство при большом протяжении последнего и большой высоте его, может дать значительную экономии в стоимости всего сооружения.

Таким образом из рассмотрения обоих способов примыкания опорного выступа к полотнищу верхового щита вытекает, что предпрешить заранее, какому из этих способов отдавать предпочтение, довольно трудно: этот вопрос надлежит решать в каждом частном случае, принимая во внимание как высказанные соображения, так и все местные особенности, относящиеся к проектируемому затвору.

Что же касается угла, который должен образовать опорный выступ с полотнищем верхового щита в месте своего примыкания, то, как показали небольшие исследования, произведенные при составлении проекта затвора головного регулятора Голодностепского канала, наиболее рационально этот угол принимать равным 90°.

Низовой щит. Очертание контура полотнища низового щита, как и рассмотренные выше полотнища верхового щита и опорного выступа, может иметь в общем случае вид, некоторой поверхности, образующая коей параллельна горизонтальной осевой линии шарнирного укрепления щита на флютбете, а направляющей является выбранная кривая поперечного контура означенного щита.

В силу того обстоятельства, что поверхность полотнища низового щита никакого влияния на коэффициент расхода воды, переливающейся через гребень затвора, не оказывает, эта кривая контура с этой точки зрения может быть вообще выбрана какого угодно вида, лишь бы она не создавала как при конструировании полотнища, так и при эксплуатации затвора каких-либо серьезных затруднений.

Но в то время как очертание полотнища верхового щита на изменении вида характеристической кривой затвора почти не сказывается, очертание полотнища низового щита на участке его, по которому совершается перемещение роликов опорного выступа, может в значительной степени, эту характеристическую кривую видоизменять в зависимости от того, какое направление будут получать в различных точках этого участка реакции воздействия обоих щитов друг на друга.

46 <sup>1</sup> При средних положениях гребня затвора последний попадает в условия, аналогичные наличию консольного выступа.

Этим обстоятельством, очевидно, можно и должно широко пользоваться при подборе конфигурации затвора в зависимости от заданных условий.

Размер высоты рассматриваемого полотнища (расстояние от крайней свободной кромки до осевой линии шарнирного укрепления) обуславливается, с одной стороны, местоположением осевой линии шарнирного укрепления его на флютбете, а с другой — положением роликов опорного выступа при крайнем верхнем положении гребня затвора.

С точки зрения экономики как самого полотнища, так и всего сооружения в целом, необходимо стремиться к тому, чтобы эта высота была по возможности минимальной, потому что ее размером совместно с вполне определенной высотой полотнища верхового щита (точнее — расстоянием от осевой линии шарниров последнего до места примыкания опорного выступа) устанавливается горизонтальное расстояние между осевыми линиями шарниров обоих щитов, которое в свою очередь определяет нужную ширину флютбета. Чем меньше будет эта последняя, тем соответственно и сооружение будет более экономичным.

С другой стороны, размер высоты низового щита должен быть таков, чтобы при нахождении затвора в крайнем нижнем положении можно было бы при подъеме затвора создать в рабочей части полотнища низового щита совместно с полотнищем опорного выступа необходимый импульс, при котором уровень внутренней воды не превосходил бы некоторой допустимой высоты.

Кроме того необходимо также, чтобы при выполнении обоих приведенных требований было соблюдено условие свободного вписывания полотнища низового щита при всех возможных положениях гребня затвора.

В силу изложенного ясно, что фиксировать заранее размер высоты полотнища низового щита, выражая его в какой-либо доле от наибольшей водоподдерживающей глубины  $H$ , подобно тому как это можно было сделать в отношении полотнища верхового щита, в данном случае не представляется возможным.

Поэтому здесь приходится за редкими исключениями означенный размер предварительно подбирать.

Этот подбор однако по существу затруднений не вызывает: для предварительной наметки искомой высоты полотнища, как показал опыт подбора конфигурации затвора типа *Dachwehr* для головного регулятора Голодно-степского канала, можно пользоваться с достаточной степенью удовлетворительности назначением этой высоты, исходя из предположения, что низовой щит будет плоским и ось вращения его расположена таким образом, что при крайнем нижнем положении затвора щит будет занимать горизонтальное положение. Размер высоты этого предполагаемого щита берется наименьшим из всех возможных, отвечающих условиям хорошего вписывания его на всем ходе гребня затвора при заданных размерах высоты полотнища верхового щита<sup>1</sup> и высоты полотнища опорного выступа.

Указываемую поверку вписывания полотнища низового щита проще всего производить приблизительно путем изготовления в соответствующем масштабе двух бумажных шаблонов, отвечающих контурам обоих щитов, и наблюдения за различными их положениями, поворачивая тот и другой вокруг выбранных осевых точек их шарнирного укрепления на флютбете.

Этого способа определения предварительной высоты полотнища низового щита и надлежит придерживаться.

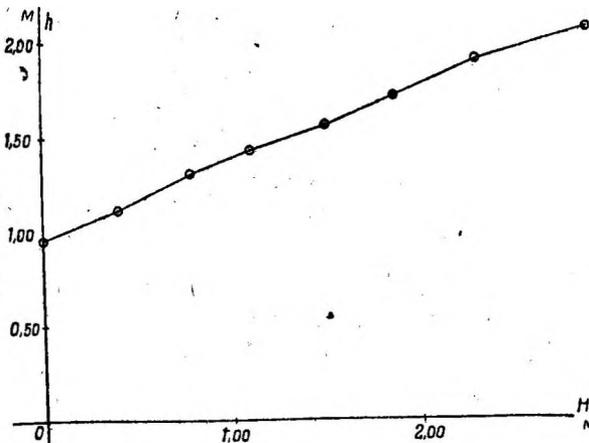
Что же касается установления точных размеров высоты полотнища низового щита, то она может быть получена лишь после того как будет най-

<sup>1</sup> От места укрепления опорного выступа до оси вращения этого щита.

ден необходимый контур его внешнего очертания, причем и в этом случае надлежит стремиться к тому, чтобы при надежной вписываемости щита горизонтальное расстояние между осевыми линиями шарнирного укрепления обоих щитов на флютбете было наименьшим.

В частном случае, когда конфигурация затвора подбирается соответственно характеристической кривой затвора Dachwehr (системы Н. — L.), высоту полотнища низового щита можно брать руководствуясь выработанными для этой конфигурации размерами элементов, а именно примерно равной  $1,3 H$ , где  $H$  — наибольшая водоподдерживающая глубина перед затвором.

**Вертикальное расстояние между осевыми линиями шарнирного укрепления обоих щитов на флютбете.** Это расстояние в затворах типа Dachwehr обуславливается главным образом высотой опорного выступа и отчасти очертанием поперечного контура низового щита и принимается вообще таким, чтобы полотнище низового щита на участке от осевой линии шарниров до места соприкосновения с роликами опорного выступа было,



Фиг. 43.

при крайнем нижнем положении затвора, либо горизонтальным (см. фиг. 10), либо несколько наклоненным в сторону нижнего бьефа (см. фиг. 11), с целью предотвращения на этом участке щита образования вредной впадины, в которой задерживалась бы переливающаяся через гребень затвора вода, и скоплялись бы несомые ею наносы.

В соответствии с этой величиной рассматриваемого расстояния при подборе конфигурации за-

твора надлежит принимать или равной высоте опорного выступа, или несколько отличающейся от этой последней.

В первом приближении, в связи с первоначальным выбором полотнища низового щита плоским, <sup>1</sup> естественно принимают это расстояние равным высоте опорного выступа.

**Горизонтальное расстояние между осевыми линиями шарнирного укрепления обоих щитов на флютбете.** Это расстояние, как нетрудно было заметить из изложенного выше, устанавливается главным образом выбранными размерами полотнищ верхового и низового щитов: коль скоро эти последние намечены, горизонтальное расстояние тем самым получается также вполне определенным.

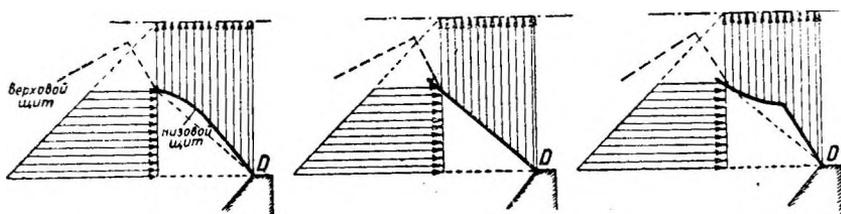
В качестве справочных данных можно указать, что в конфигураций затвора Dachwehr (системы Н. — L.) это расстояние, в соответствии с принятым в них видом характеристической кривой, определяется величиной в  $2,35 H$ , где  $H$  — наибольшая водоподдерживающая глубина над порогом, а в запроектированном затворе типа Dachwehr для головного сооружения Голодно-степского канала это расстояние при конфигурации по фиг. 11 и при характеристической кривой на фиг. 43 получено равным  $2H$ .

Из только что приведенного рассмотрения общих соображений, на основе которых могут быть устанавливаемы предварительные размеры отдельных элементов, входящих в состав конфигурации затвора и намечаемые очертания контуров некоторых из них (полотнище верхового щита и опорного выступа) видно, что при нахождении конфигурации какого-либо затвора типа *Dachwehr* является неизвестным лишь очертание контура низового щита.

Таким образом подбор конфигурации затвора в результате должен сводиться как бы к подбору лишь внешнего контура низового щита.

Следовательно, если иметь упрощенный прием подбора этого контура, то тем самым задача нахождения необходимой конфигурации затвора по заданной характеристической кривой будет в значительной степени облегчена.

Исследование вопроса о нахождении контура низового щита привело к выводу, что в достаточной мере просто и наглядно этот подбор может быть производим нижеследующим приемом, основанным в принципе на том явлении, что моменты от внутренней водяной нагрузки на полотнище низового щита,<sup>1</sup> при различных очертаниях практических форм его контура, в одних и тех же условиях в отношении положения гребня затвора



Фиг. 44.

и уровней внутренней воды, сравнительно мало отличаются от такового же момента для случая, если полотнище низового щита будет плоским (фиг. 44).

В силу этого обстоятельства представляется возможным, при подборе контура низового щита по заданной характеристической кривой, подсчитывать без большой погрешности моменты на низовой щит от внутренней воды упрощенно, предполагая, что полотнище низового щита плоское.

В главе III было указано, что при состоянии равновесия затвора в каком-либо положении его гребня имеют место следующие два уравнения моментов:

$$\begin{aligned} M_B - M_a - N \cdot r_a &= 0, \\ M_H - M_D - N \cdot r_D &= 0, \end{aligned}$$

где, согласно предыдущему:

$M_B$  — момент относительно оси  $A$  нагрузки от внешней воды и собственного веса, приходящиеся на единицу ширины полотнища верхового щита;

$M_H$  — то же, на единицу ширины полотнища низового щита относительно оси  $D$ ;

$M_a$  — момент относительно оси  $A$  нагрузки внутренней водой на единицу ширины полотнища верхового щита;

$M_D$  — то же, на единицу ширины полотнища низового щита относительно оси  $D$ ;

<sup>1</sup> Относительно оси вращения этого щита.

$N$  — величина реакции ролика на низовой щит и обратно — низового щита на ролик, отнесенная к единице ширины полотнища;

$r_a$  и  $r_d$  — расстояния от оси  $A$  и  $D$  до направления реактивной силы  $N$ .

Исключая из этих уравнений  $N$ , получим:

$$M_B - M_a - (M_H - M_D) \frac{r_a}{r_d} = 0$$

или

$$\frac{M_B - M_a}{M_H - M_D} = \frac{r_a}{r_d}. \quad (32)$$

В этом выражении при заданной характеристической кривой, принятом очертании контуров полотнищ верхового щита и опорного выступа, а также возможном допущении в отношении подсчета величины момента воздействия Внутренней воды на полотнище низового щита, моменты  $M_a$  и  $M_D$  можно

считать известными; моменты  $M_B$  и  $M_H$  также можно считать известными, ибо они могут быть подсчитаны или взяты из ранее подсчитанных эпюр. Следовательно в выражении (32) являются неизвестными лишь величины  $r_a$  и  $r_d$ .

Очевидно, что если эти последние будут найдены и отношение между ними будет равно

$$\frac{M_B - M_a}{M_H - M_D},$$

то этим самым будет найдено направление реактивной силы  $N$ , необходимое для создания условия равновесия затвора при желаемом для данного положения гребня положении уровня внутренней воды.

Можно однако поступить и иначе, а именно: найти направление  $N$

таким, чтобы отношение  $\frac{r_a}{r_d}$  было при этом равно отношению  $\frac{M_B - M_a}{M_H - M_D}$ .

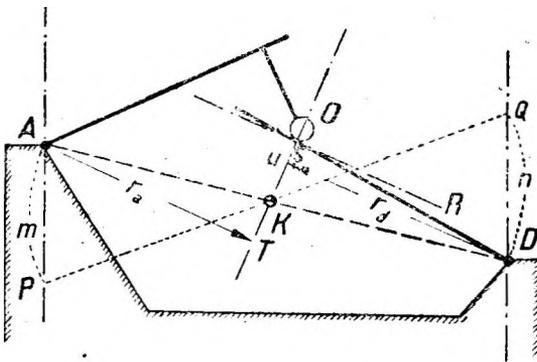
В этом последнем случае решение поставленной задачи можно просто получить графически (фиг. 45).

Для этого достаточно отложить на вертикалях, проходящих через осевые точки шарниров  $A$  и  $D$ , в каком-нибудь масштабе отрезки, выражающие разности моментов  $(M_B - M_a)$  и  $(M_H - M_D)$ . причем отрезок  $m$  первой из них отложить от точки  $A$  по направлению вверх или вниз, а отрезок  $n$  — второй разности — от точки  $D$  в направлении обратном принятому для отрезка  $m$ .

Если соединить теперь прямыми точки  $A$  и  $D$  и точки  $P$  и  $Q$ , то эти прямые пересекутся в некоторой точке  $K$  и отрезки  $AK$  и  $KD$  будут относиться друг к другу, в силу подобия треугольников  $APK$  и  $QKD$

так же, как отрезки  $m$  и  $n$ , т. е. как  $\frac{M_B - M_a}{M_H - M_D}$ .

Соединив далее точку  $K$  с точкою  $O$  (центром оси ролика) прямою  $OK$ , принимаем эту последнюю за направление реактивной силы  $N$ . Пер-



Фиг. 45.

пендикуляры, опущенные на эту прямую из точек  $A$  и  $D$  дадут нам значения  $r_a$  и  $r_d$ , которые в силу подобия треугольников  $AKT$  и  $KUD$  относятся

между собой так же, как

$$\frac{M_B - M_a}{M_H - M_d}$$

Прямая  $OK$ , как это видно из чертежа, будет являться очевидно геометрическим местом центров кривизны полотнища низового щита в данной точке  $S$ ,<sup>1</sup> а нормаль к этой прямой в той же точке  $S$  — касательной  $RS$  к кривой контура низового щита в точке  $S$ .

Построив изложенным приемом направление таких же прямых  $OK$  и касательных  $RS$  для различных положений гребня от крайнего верхнего до крайнего нижнего, можно очевидно получить полное представление, каков, примерно, должен быть контур низового щита, т. е. должен ли он быть очерчен кривою с выпуклостью, обращенною вниз или вверх, или же сложною кривою, имеющей точки перегиба,<sup>2</sup> и затем этот контур надлежащим образом вычертить.

Имея подобранный таким образом контур низового щита необходимо, базируясь на нем, произвести выяснение вида характеристической кривой найденной предварительной конфигурации, и если она окажется близко подходящей к требуемой заданной характеристике, то принять ее за окончательную; в противном случае должны быть внесены дальнейшие небольшие изменения, причем необходимо стремиться к тому, чтобы получить контур низового щита возможно простейшего очертания.

Опыт подбора конфигурации описанным приемом показал, что вполне достаточно бывает 2-3 проб, чтобы более или менее окончательно установить кривую контура низового щита, а вместе с тем следовательно и всю конфигурацию в целом.

Резюмируя вышеизложенное, можно принять для подбора конфигурации затвора, по заданным характеристической кривой его и чувствительности, следующий в достаточной степени рациональный путь:

- 1) контур полотнища верхового щита и опорного выступа принять прямолинейными и размеры их по высоте, а равно и местоположение примыкания опорного выступа к полотнищу верхового щита назначить, исходя из данных проекта затвора и тех соображений, которые были указаны в своем месте;

- 2) размер высоты полотнища низового щита принять, исходя из предположения, что это полотнище будет плоским, наблюдая при этом за тем, чтобы оно было наименьшей возможной высоты и хорошо вписывалось при всех положениях гребня затвора;

- 3) вертикальное расстояние между осевыми линиями шарнирного укрепления щитов на флютбете принять приблизительно равным намеченной высоте опорного выступа;

- 4) горизонтальное расстояние между теми же шарнирами наметить в соответствии с выбранными размерами высоты полотнища верхового щита (точнее с расстоянием от осевой линии шарниров этого щита до места примыкания опорного выступа) и полотнища низового щита;

- 5) подобрать контур низового щита, согласно вышеизложенного приема;

- 6) проверить насколько удачно подобранная предварительная конфигурация удовлетворяет заданным условиям; если она окажется приемлемой, то,

<sup>1</sup> Точка пересечения прямой  $OK$  с окружностью ролика.

<sup>2</sup> При построении прямых  $OK$  для положений гребня, весьма близких к крайнему нижнему, необходимо иметь в виду, что на участке пути ролика ниже прямой  $AD$  ролик движется в обратном направлении, следуя по подобранному уже контуру предыдущих близ расположенных положений гребня затвора.

уточнив размеры всех элементов конфигурации, снова затем проверить ее приемлемость и после этого уже, если потребуется, внести необходимые исправления в очертание контура низового щита; в случае же, если она при первоначальной проверке окажется неудовлетворительной, вновь подобрать очертание контура низового щита и в последующем повторить то, что только что было указано.

## Г Л А В А VII.

### ПРИМЕРЫ ПОДБОРА КОНФИГУРАЦИИ ЗАТВОРА ПО ДАННЫМ О ЕГО ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ РАБОТЕ.

В качестве иллюстрации применения изложенного приема подбора конфигурации крышевидных затворов по заданному виду характеристической кривой рассмотрим здесь два следующие примера подбора такой конфигурации.

**Пример 1.** Подбор конфигурации затвора типа Dachwehr согласно данных, принятых при составлении проекта затвора<sup>1</sup> для головного регулятора Голодностепского канала, а именно:

1. Расчетные водоподдерживающие глубины воды перед затвором при полном закрытии им перекрываемого отверстия должны быть следующие:

$$\begin{aligned} \text{а) } H_{\text{норм}} &= 2,30 \text{ м} \\ \text{б) } H_{\text{макс}} &= 2,73 \text{ „} \\ \text{в) } H_{\text{мин}} &= 1,87 \text{ „} \end{aligned}$$

2. Основание затвора должно быть воздвигнуто на каменном массиве существующего регулятора шириною  $b = 6,40$  м. С расположением осевой линии шарниров низового щита выше самого высокого уровня воды нижнего бьефа.

3. При переливе воды через гребень затвора необходимо, чтобы струи (по возможности при всех положениях гребня затвора), во избежание образования ударов и вакуума, были бы отведены от низовых частей конструкции низового щита и флютбета.

4. При крайнем верхнем положении затвора гребень его должен быть выше наивысшего уровня воды верхнего бьефа на 0,10 м.

5. Характеристическая кривая затвора в условиях нормальной его работы должна быть близкой к прямой линии с чувствительностью не более 6—6,5.

6. Запас напора в камере давления (с учетом динамического воздействия переливающейся через гребень затвора воды и трения в шарнирах) должен быть не менее 0,20 м при всех указанных выше глубинах воды верхнего бьефа.

7. Для возможности механического закрепления затвора в крайнем верхнем положении его гребень должен подниматься на полную высоту при всех указанных глубинах воды.<sup>2</sup>

### ПРОЦЕСС ПОДБОРА КОНФИГУРАЦИИ ЗАТВОРА.

#### Назначение предварительных размеров элементов конфигурации.

**Полотнище верхового щита.** При полной высоте  $H_0$  хода гребня затвора равной:

$$H_{\text{макс}} + 0,10 = 2,73 + 0,10 = 2,83 \text{ м,}$$

<sup>1</sup> В б. Научно-мелиорационном институте, в 1926—1927 г.

<sup>2</sup> Кроме того, имеются указания на отсутствие ледохода через затвор и на наличие перед ним особого преграждения против попадания в канал плавучих тел.

высота полотнища щита может быть принята примерно равной (см. стр. 44):

$$B \approx 1,40 \cdot H_0 = 2,83 \cdot 1,40 = 4,00 \text{ м.}$$

**Опорный выступ.** Исходя из данных отметок порога затвора и максимального уровня воды нижнего бьефа,<sup>1</sup> а также учитывая потребность осмотра затвора при крайнем нижнем положении его гребня, представляется возможным опорный выступ наметить размером

$$B' = 1,37 \text{ м} \approx 0,485 (H + 0,10).$$

**Горизонтальное расстояние между осевыми линиями шарнирного укрепления щитов на флютбете.** Согласно данных пункта 2, под основание затвора должен быть использован существующий каменный массив шириною  $b = 6,4 \text{ м}$ .

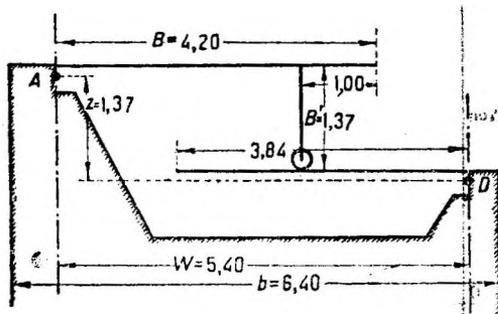
Назначая расстояние от краев этого массива до осевых линий шарнирного укрепления щитов на флютбете равным — со стороны верхнего бьефа  $\sim 0,60 \text{ м}$ ,<sup>2</sup> а со стороны нижнего  $\sim 0,40 \text{ м}$ ,<sup>2</sup> получаем возможным принять означенное горизонтальное расстояние равным

$$W = 6,40 - (0,60 + 0,40) = 5,40 \text{ м.}$$

**Вертикальное расстояние между осевыми линиями шарниров щитов.** Предполагая низовой щит плоским и занимающим в крайнем нижнем положении затвора горизонтальное положение, а также допуская, что осевые линии шарниров расположатся, примерно, на расстоянии  $0,13 \text{ м}^3$  от верхних поверхностей как того, так и другого щитов, искомое расстояние может быть принято, примерно, равным

$$Z = B' = 1,37 \text{ м.}$$

Проверяя затем назначенные размеры в отношении пятого пункта задания, путем приближенного построения траекторий и толщин переливающихся струй<sup>4</sup> при пропуске через затвор различных расходов и выясняя по способу, указанному на стр. 49,



Фиг. 46.

вписываемость низового щита, предполагая таковой плоским, убеждаемся, что назначенный выше размер высоты полотнища верхнего щита в  $4,00 \text{ м}$  является неудовлетворительным и что более удобной в этом отношении будет высота его равная  $4,20 \text{ м}$ .

При этой последней и расположении примыкания опорного выступа в расстоянии  $1,00 \text{ м}$  от свободного края верхнего щита, высота полотнища низового щита, при которой этот щит будет удобно вписываться определится в  $3,84 \text{ м}$  (фиг. 46).

## В. Определение моментов от нагрузки внешней водой и от собственного веса щитов.

Величины моментов от внешней воды на единицу длины ( $1,00 \text{ м}$ ) полотнища верхнего щита при различных положениях гребня затвора получены экспериментально в гидравлической лаборатории Ленинградского политех-

<sup>1</sup> Отметки порога  $298,11 \text{ м}$ , максим. уровня воды нижн. бьефа —  $295,87 \text{ м}$ .

<sup>2</sup> По соображениям о конструкции крепления шарниров в теле флютбета.

<sup>3</sup> Сообразуясь с примерами существующих затворов типа Dachwehr системы

Н. — Л.

<sup>4</sup> По методу, изложенному в главе II.

нического института путем исследования давления воды на модель щита в масштабе 1/20 Н. В.<sup>1</sup>

Кривые изменения моментов этой нагрузки для трех указанных выше положений уровня воды в верхнем бьефе, относительно осевой линии шарнирного укрепления верхового щита на флютбете, приведены на фиг. 47.

Для определения значений моментов от собственного веса щитов произведен приближенный подсчет толщины деревянной обшивки и металлических ребер остова щитов.

Предполагая, что расстояние между ребрами равно  $\sim 1,50$  м, размеры элементов щитов определились: толщина обшивки верхового щита  $\delta \approx 8,0$  см, низового щита  $\delta \approx 10,00$  см, сечение ребер

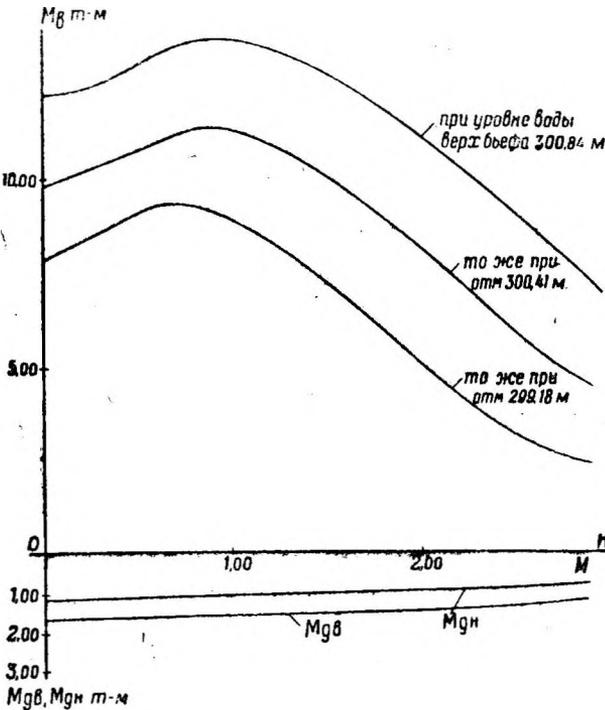
верхового щита — два швеллера № 26, низового щита — два швеллера № 30 и опорного выступа — два швеллера № 16.

Подсчитав далее приблизительно места положения центров тяжести каждого из щитов, найдены искомые величины моментов собственного веса каждого из щитов для различных положений гребня затвора.

Кривые изменения этих моментов, считая на 1,00 пог. м длины щитов, показаны на фиг. 47 (снизу).

### С. Нахождение контура низового щита.

Задаемся условием иметь для нормального уровня воды верхнего бьефа (при Н норм.)



Фиг. 47.

характеристическую кривую затвора в виде восходящей прямой линии с чувствительностью  $\mu = 3,00$ .

Для нахождения контура низового щита, отвечающего этому условию, наметим предварительно какую-либо ориентировочную характеристическую кривую с указанной чувствительностью  $\mu$ . Полагаем, что будет наиболее удобным, если такую наметить, проведя через какую-нибудь точку характеристической кривой нашего предварительно выбранного плоского низового щита, так как в этом случае искомый контур будет вынужден неминуемо близко располагаться к прямолинейному контуру плоского щита, что в свою очередь будет способствовать уменьшению расхождения величин моментов от внутренней воды на тот и другой щиты и, следовательно, облегчать поиски требуемой конфигурации затвора.

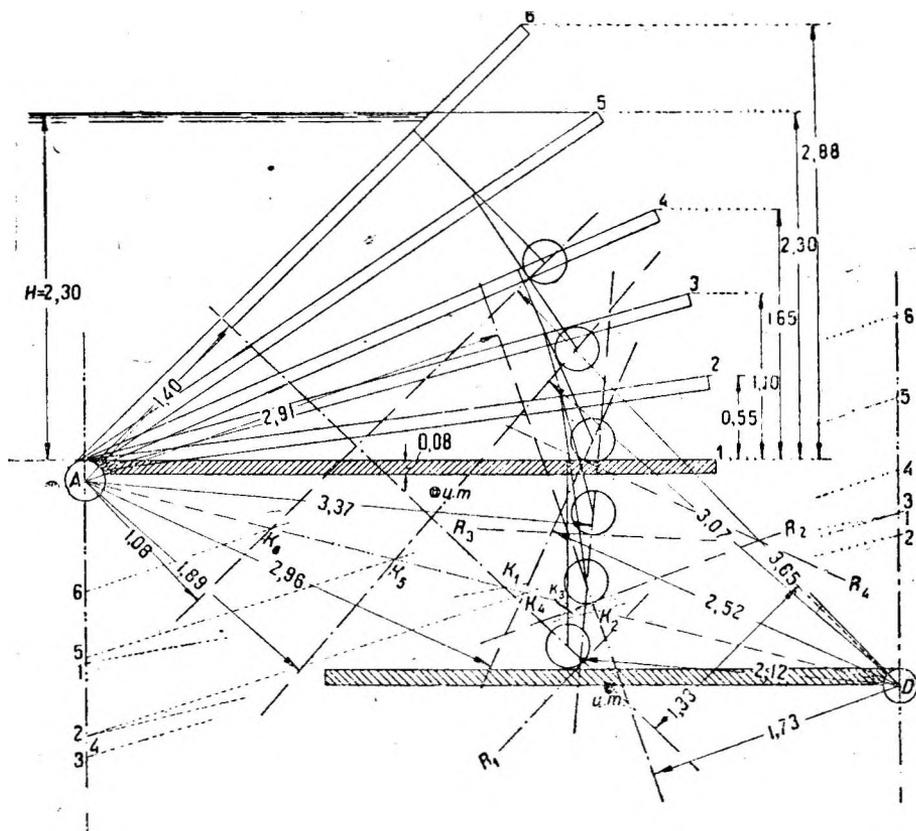


$$M_D = \frac{c^2}{2}(2h' + h_D - 3x) \quad (\text{для полотна низового щита}). \quad (35)$$

Значения входящих в эти формулы букв видны из фиг. 49.

Результаты подсчетов моментов по этим формулам, а равно и величины результирующих моментов на оба щита приведены ниже в таблице 1, в графах, соответствующих  $M_A$  и  $M_D$ .

Откладывая последовательно от точек  $A$  и  $D$  (фиг. 50) значения  $M_A$  и  $M_D$  и поступая в дальнейшем согласно изложенному на стр. 52, находим



Фиг. 50.

необходимые величины  $r_a$  и  $r_D$ , числовые значения коих приведены в той же таблице 1.

Получив направление прямых  $OK$  и касательных в рассматриваемых положениях гребня затвора, легко установить при помощи восковки, переходя от крайнего верхнего положения к последующим нижележащим, примерное очертание контура низового щита, который необходим, чтобы удовлетворить желаемому виду характеристической кривой с чувствительностью  $\mu = 3,00$ .

Означенный контур в данном случае получился таким, как указано на фиг. 51.

Поступая аналогично изложенному и проведя только ориентировочные характеристические кривые  $A_2 B_2$  и  $A_3 B_3$  (фиг. 48) через точки 2 и 3 характеристической кривой, отвечающей плоскому низовому щиту, получим согласно подсчетов, приведенных в таблице 2, и построения, показанного на

фиг. 52, два других очертания искомых контуров низового щита, представленных на фиг. 53 и 54.

Из сопоставления всех трех полученных контуров находим, что наиболее удобным является очевидно контур, представленный на фиг. 51.

Этот контур и принимаем за основной для дальнейших наших поисков установления окончательного вида контура низового щита.

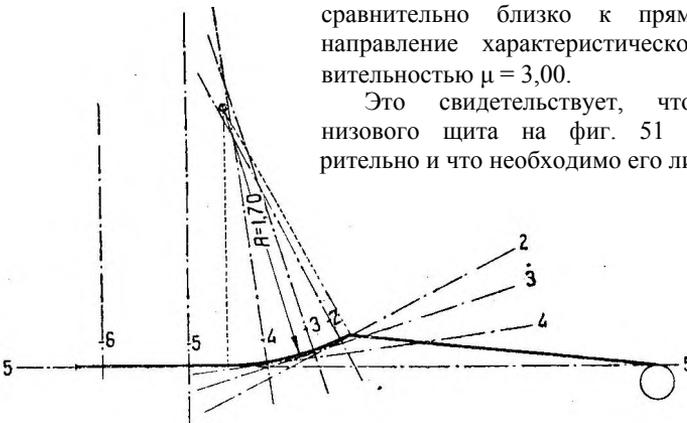
В целях выяснения, насколько удачно принятый основной контур низового щита разрешает вопрос о нахождении конфигурации затвора с требуемой характеристической кривой чувствительностью  $\mu = 3,00$ , определим вид характеристической кривой затвора подобранной нами конфигурации, рассмотрим хотя бы шесть состояний равновесия затвора, соответствующих ранее установленным положениям его гребня (см. фиг. 55).

Самый процесс этого определения проведем графоаналитически, пользуясь линейным видом вышеприведенных выражений (см. стр. 55—56).

Положение искомых точек характеристической кривой очевидно получим в точках пересечения прямых  $M_A r_o$  и  $M_D r_a$  (фиг. 56).

Как видно из фиг. 57, найденные точки лежат сравнительно близко к прямой, представляющей направление характеристической кривой с чувствительностью  $\mu = 3,00$ .

Это свидетельствует, что основной контур низового щита на фиг. 51 подобран удовлетворительно и что необходимо его лишь несколько



Фиг. 51.

выправить, чтобы затем получить окончательный вид контура, при котором были бы устранены те отступления характеристической кривой, которые имеют место на фиг. 57.

В самом деле, приняв за общую точку контуров — искомого и основного — точку касания ролика при пятом положении гребня затвора и поступая согласно предыдущему, получим на основании подсчетов, приведенных в таблице 3, и построения на фиг. 58, контур, низового щита, показанный на фиг. 59.

Этот последний, как видно, весьма мало отличается от контура фиг. 51, принятого нами в качестве основного.

Подсчитанные точки характеристической кривой для новой конфигурации затвора показаны на фиг. 57.

В действительности, однако, не имеет особого смысла стремиться к выправлению основного контура до тех пор, пока не будет выяснен более или менее точный вес обоих щитов, а равно и точное местонахождение их центров тяжести. Только располагая этими данными можно будет подсчитать точные значения моментов от собственного веса, которые вообще значительно отличаются от могущих быть приближенно подсчитанных, как это легко убедиться из таблицы 4 сопоставления моментов весов щитов для шести рассматриваемых положений гребня затвора, найденных нами приближенно согласно данным, приведенных на стр. 56 и точных значений этих моментов, определенных при составлении проекта затвора в б. Научно-мелиорационном институте.

ТАБЛИЦА 1.

Положение гребня затвора.

	1	2	3	4	5	6
$b$	1,29	1,28	1,27	1,23	1,17	1,14
$c$	2,20	2,17	2,30	2,59	3,07	3,65
$h_A$	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
$h_B$	2,38	1,96	1,55	1,12	0,62	0,18
$h'$	3,77	3,25	2,88	2,38	1,76	1,16
$h_D$	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77
$\cos\alpha$	1,00	0,991	0,964	0,920	0,836	0,728
$x_{op}$	1,39	1,21	1,02	0,84	0,62	0,43
$M_a$	6,60	5,86	5,36	4,37	3,47	2,64
$M_\partial$	5,77	5,20	5,72	6,73	8,53	10,65
$M_B$	9,70	10,87	11,00	9,50	6,72	4,40
$M_{gB}$	1,70	1,70	1,66	1,58	1,44	1,18
$M_{gH}$	1,23	1,20	1,13	1,02	0,91	0,84
$M_A$	4,80	6,71	7,30	6,71	4,69	2,92
$M_D$	4,54	4,00	4,59	5,71	7,62	9,81
$r_a$	1,40	2,91	3,37	2,96	1,89	1,08
$r_\partial$	1,33	1,73	2,12	2,52	3,07	3,65
$x_H$	1,39	1,14	0,94	0,80	0,60	0,40

ТАБЛИЦА 2.

Положение гребня.

	1	2	3	4	5	6
$x_{op}$	1,34	1,16	0,98	0,79	0,58	0,38
$(A_2B_2)$						
$M_a$	6,90	6,17	5,47	4,65	3,71	2,91
$M_\partial$	5,88	5,33	5,80	6,89	8,71	11,00
$M_A$	4,50	6,40	7,19	6,43	4,45	2,67
$M_D$	4,65	4,13	4,67	5,41	7,80	10,16
$r_a$	1,15	3,38	3,35	2,98	1,77	0,97
$r_\partial$	1,17	2,18	2,20	2,52	3,08	3,67
$x_{op}$	1,26	1,08	0,90	0,72	0,60	0,30
$(A_3B_3)$						
$M_a$	7,37	6,64	5,95	5,07	4,17	3,36
$M_\partial$	6,09	5,53	6,03	7,13	9,10	11,47
$M_A$	4,03	5,93	9,71	6,01	3,99	2,22
$M_D$	4,86	4,33	4,90	6,11	8,19	10,63
$r_a$	0,84	2,31	3,18	2,53	1,50	0,75
$r_\partial$	0,99	1,70	2,32	2,62	3,10	3,67





I положение (фиг. 55).

$$\begin{aligned}
 h_A &= 2,38 \text{ м} \\
 h_B &= 2,38 \text{ " } \\
 a &= 3,20 \text{ " } \\
 b &= 1,27 \text{ " } \\
 \cos \alpha &= 1,00 \text{ " } \\
 c &= 2,08 \text{ " } \\
 h' &= 3,75 \text{ " } \\
 h_D &= 3,77 \text{ " }
 \end{aligned}$$

$$M_a' = \frac{3,20^2}{2} (2,38 - x)$$

$$M_a'' = \frac{1,27^2}{2} \left( 2,38 + \frac{2 \cdot 1,27}{3} - x \right)$$

$$\begin{aligned}
 M_\partial &= \frac{2,08^2}{6} (2 \times 3,75 + 3,77 - 3x) - \\
 &\quad - 0,07^1
 \end{aligned}$$

$x$	0,00	1,00
$M_a'$	12,20	7,06
$M_a''$	2,60	1,80
$M_a$	14,80	8,86
$M_A$	-3,40	2,54
$M_{A'r_\partial}$	-6,12	4,57
$M_\partial$	8,05	5,90
$M_D$	6,82	4,67
$M_{D'r_a}$	15,50	15,60

II положение.

$$\begin{aligned}
 h_A &= 2,38 \text{ м} \\
 h_B &= 1,96 \text{ " } \\
 a &= 3,20 \text{ " } \\
 b &= 1,27 \text{ " } \\
 \cos \alpha &= 0,991 \text{ " } \\
 c &= 2,05 \text{ " } \\
 h' &= 3,32 \text{ " } \\
 h_\partial &= 3,77 \text{ " }
 \end{aligned}$$

$$M_a' = \frac{3 \cdot 20^2}{2} \left( \frac{1,96 \times 2,38}{3} - x \right)$$

$$\begin{aligned}
 M_a'' &= \frac{1,27^2}{2} \left( 1,96 + \frac{2 \cdot 1,27}{3} \times \right. \\
 &\quad \left. \times 0,991 - x \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_\partial &= \frac{2,05^2}{6} (2 \cdot 3,32 + 3,77 - 3x) - \\
 &\quad - 0,03^1)
 \end{aligned}$$

$x$	0,00	0,50
$M_a'$	10,75	8,20
$M_a''$	2,25	1,85
$M_a$	13,00	10,05
$M_A$	-0,44	2,51
$M_{A'r_\partial}$	-0,765	4,37
$M_\partial$	7,26	6,20
$M_D$	6,06	5,00
$M_{D'r_a}$	17,80	14,70

<sup>1</sup> Добавочный член от кривизны щита.

III положение.

$h_A = 2,38$  м  
 $h_B = 1,55$  " "  
 $a = 3,20$  " "  
 $b = 1,28$  " "  
 $\cos \alpha = 0,964$  " "  
 $c = 2,22$  " "  
 $h' = 2,88$  " "  
 $h_D = 3,77$  " "

$$M_a' = \frac{3,20^2}{2} \left( \frac{2 \times 1,55 + 2,38}{3} - x \right)$$

$$M_a'' = \frac{1,28^2}{2} \left( 1,55 + 2 \cdot \frac{1,28}{3} \times \right. \\ \left. \times 0,964 - x \right)$$

$$M_\partial = \frac{2,22^2}{6} (2 \times 2,83 + 3,77 - \\ - 3x) - 0,15^1$$

$x$	0,00	1,00
$M_a'$	9,37	4,25
$M_a''$	1,94	1,12
$M_a$	11,31	5,37
$M_A$	1,35	7,29
$M_A r_\partial$	2,77	14,95
$M_\partial$	7,68	5,22
$M_D$	6,55	4,09
$M_D r_a$	22,00	13,75

IV положение.

$h_A = 2,38$  м  
 $h_B = 1,12$  " "  
 $a = 3,20$  " "  
 $b = 1,25$  " "  
 $\cos \alpha = 0,920$  " "  
 $c = 2,56$  " "  
 $h' = 2,39$  " "  
 $h_D = 3,77$  " "

$$M_a' = \frac{3,20^2}{2} \left( \frac{2 \times 1,12 + 2,38}{3} - x \right)$$

$$M_a = \frac{1,25^2}{2} \left( 1,12 + \frac{2 \times 1,25}{3} \times \right. \\ \left. \times 0,92 - x \right)$$

$$M_\partial = \frac{2,56^2}{6} (2,39 \times 2 + 3,77 - \\ - 3x) - 0,32^1$$

$x$	0,00	1,00
$M_a'$	7,90	2,77
$M_a''$	1,47	0,69
$M_a$	9,37	3,46
$M_A$	1,71	7,62
$M_A r_\partial$	4,30	19,15
$M_\partial$	9,01	5,74
$M_D$	7,99	4,72
$M_D r_a$	23,95	14,10

V положение.

$h_A = 2,38$  м  
 $h_B = 0,62$  " "  
 $a = 3,20$  " "  
 $b = 1,17$  " "  
 $\cos \alpha = 0,836$  " "  
 $\sin \alpha = 0,545$  " "  
 $c = 3,07$  " "  
 $h' = 1,76$  " "  
 $h_D = 3,77$  " "

$$M_{a'} = \frac{(2,38 - x) \cdot \left(3,20 - \frac{x - 0,62}{0,545}\right)^2}{6}$$

$$M_{a''} = \frac{(0,62 + 1,17 \times 0,836 - x)}{2} \times \left(1,17 - \frac{x - 0,62}{0,836}\right) \times \frac{(x - 0,62 + 2 \times 1,17 \cdot 0,836)}{3 \times 0,836};$$

$$M_{\partial} = \frac{3,07^2}{6} (2 \times 1,76 + 3,77 - 3x) - 0,28^1$$

$x$	0,00	0,50	1,00
$M_{a'}$	11,75	3,66	1,43
$M_{a''}$	0,818	0,530	0,199
$M_a$	12,57	4,19	1,63
$M_A$	-4,41	3,97	6,53
$M_A r_{\partial}$	<b>13,53</b>	<b>12,17</b>	<b>20,10</b>
$M_{\partial}$	11,13	8,80	—
$M_D$	10,22	7,89	—
$M_D r_a$	<b>19,30</b>	<b>14,90</b>	—

VI положение.

$h_A = 2,38$  м  
 $h_B = 0,18$  " "  
 $a = 3,20$  " "  
 $b = 1,14$  " "  
 $\cos \alpha = 0,730$  " "  
 $\sin \alpha = 0,686$  " "  
 $c = 3,63$  " "  
 $h' = 1,16$  " "  
 $h_D = 3,77$  " "

$$M_{a'1} = \frac{(2,38 - x) \left(3,20 - \frac{x - 0,18}{0,686}\right)^2}{6}$$

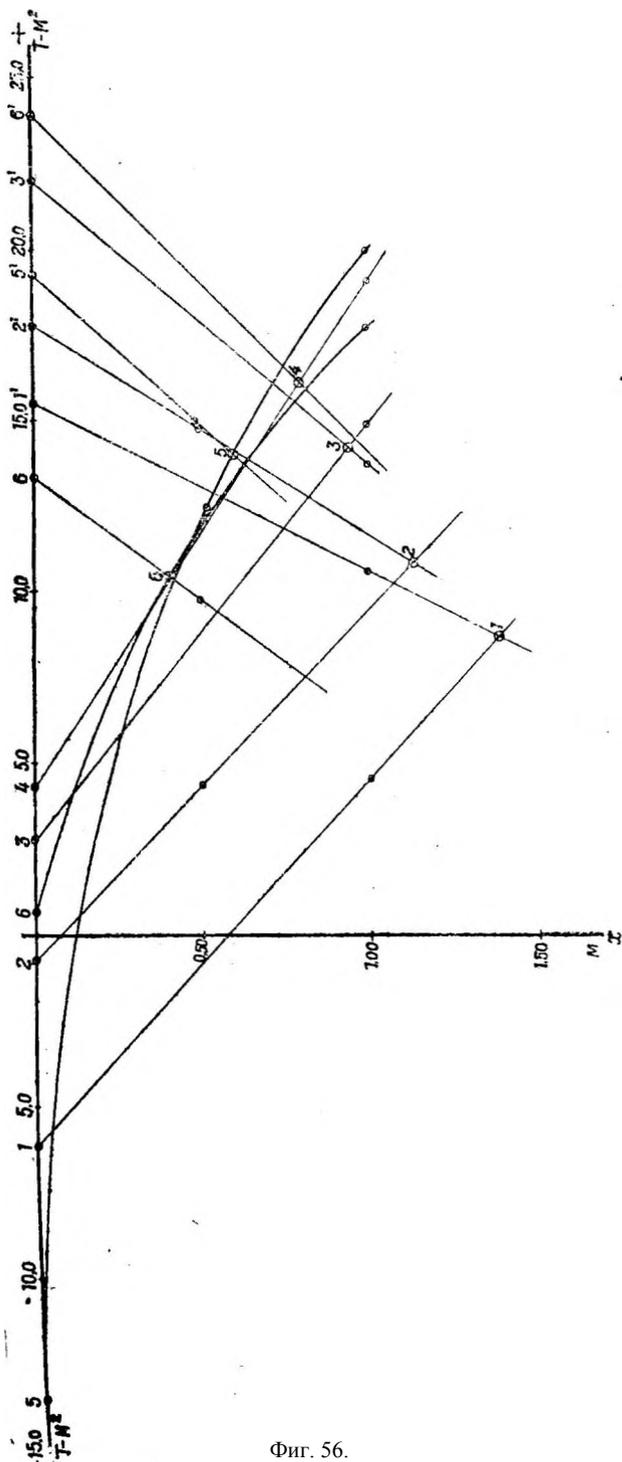
$$M_{a''1} = \frac{(0,18 + 1,14 \cdot 0,73 - x)}{2} \times \left(1,14 - \frac{x - 0,18}{0,73}\right) \times \frac{(x - 0,18 + 2 \times 1,14 \times 0,73)}{3 \times 0,73};$$

$$M_{\partial} = \frac{3,63^2}{6} (2 \times 1,16 + 3,77 - 3x) - 0,26.^2$$

$x$	0,00	0,50	1,00
$M_{a'}$	4,93	2,15	0,67
$M_{a''}$	0,47	0,16	—
$M_a$	<b>5,40</b>	<b>2,31</b>	<b>0,67</b>
$M_A$	0,18	3,27	4,91
$M_A r_{\partial}$	<b>0,65</b>	<b>11,90</b>	<b>17,80</b>
$M_{\partial}$	13,10	9,80	—
$M_D$	12,26	8,96	—
$M_D r_a$	<b>13,36</b>	<b>9,75</b>	—

<sup>1</sup> Подсчет моментов  $M_{a'}$  и  $M_{a''}$  произведен по другим формулам, учитывающим наличие неполного заполнения камеры давления затвора.

<sup>2</sup> Добавочный член от кривизны шита.



Фиг. 56.

Поэтому будет более целесообразно, найдя основной контур, принять его как бы за окончательный, подсчитать точно сечения всех элементов подвижной части затвора (обоих щитов) и затем уже, по установлении всех деталей конструкции и подсчете веса и положения центров тяжести щитов, приступить, если потребуется, к выправлению контура низового щита для получения требуемой чувствительности характеристической кривой во всех ее точках, что, судя по ранее изложенному, никаких затруднений не представит и не вызовет каких-либо серьезных изменений в размерах элементов низового щита.

Пример 2. Согласно данным о величинах водяных нагрузок на верховой и низовой щиты затвора Dachwehr системы Huber & Lütz<sup>1</sup> и данных о весах обоих щитов,<sup>2</sup> были подсчитаны величины моментов ука-

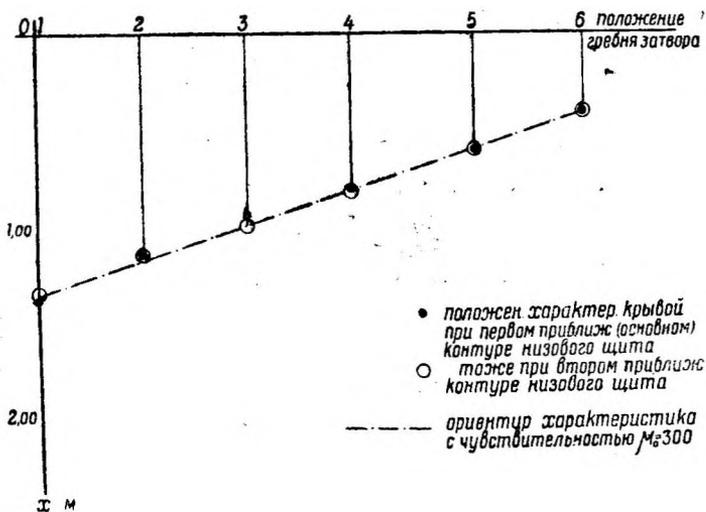
<sup>1</sup> Величины нагрузок от внешней воды на верховой щит определены путем экстраполяции лабораторных данных, полученных для верхового щита крышевидного затвора Голодно-степского регулятора (см. стр. 17 и 23); нагрузка внешней воды на низовой щит получена непосредственно экспериментальным путем (см. стр. 17 и 19).

ТАБЛИЦА 3.

## Положения гребня.

	1	2	3	4	5	6
$h_A$	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
$h_B$	2,38	1,96	1,55	1,12	0,62	0,18
$b$	1,29	1,28	1,34	1,25	1,17	1,14
$c$	2,08	2,05	2,22	2,56	3,07	3,63
$\cos \alpha$	1,00	0,991	0,964	0,920	0,836	0,728
$\sin \alpha$	—	—	—	—	0,545	0,686
$h'$	3,75	3,32	2,88	2,39	1,76	1,16
$h_D$	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77
$M_{HA}$	0,07	0,03	0,15	0,32	0,28	0,26
$r_a$	1,89	2,53	3,33	3,09	1,89	1,02
$r_d$	1,60	1,48	1,89	2,45	3,07	3,63
$x$	1,37	1,16	1,00	0,82	0,60	0,40

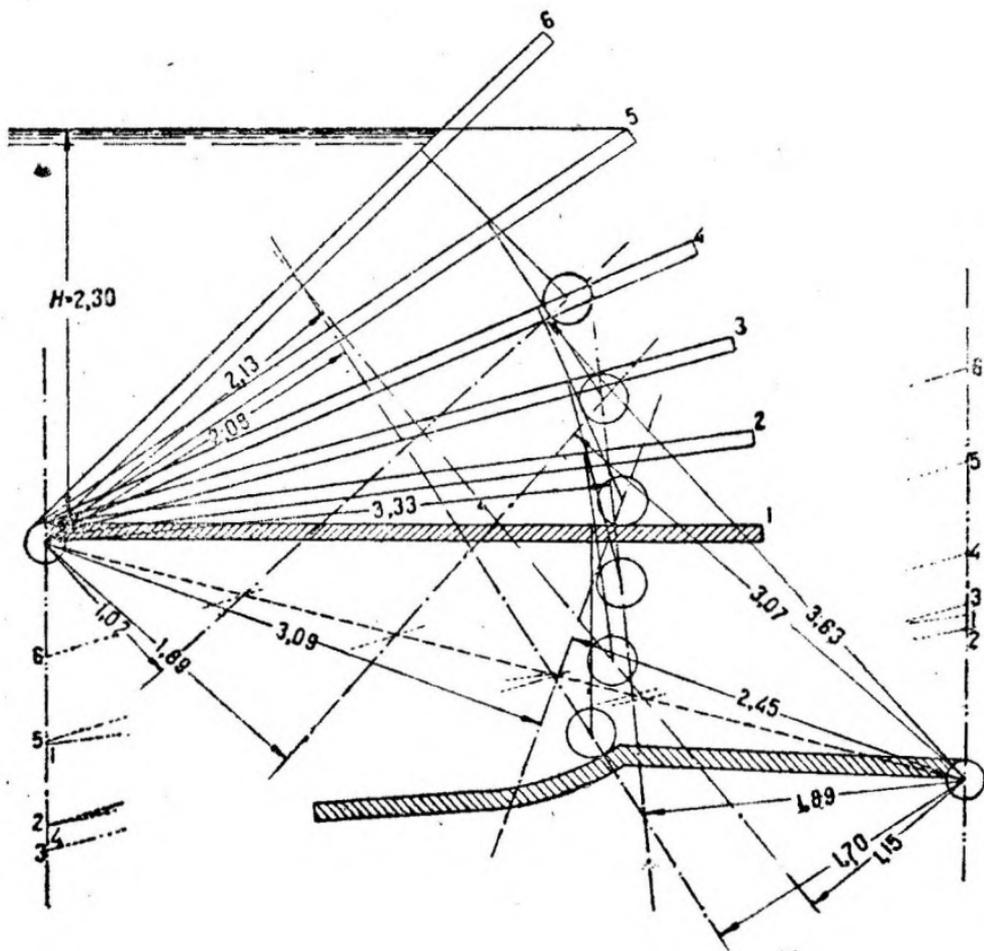
занных нагрузок относительно осевых линий шарниров каждого из щитов (фиг. 60) и затем, пользуясь этими моментами, определена характеристическая кривая рассматриваемого затвора в предположении работы его на поддержание над порогом глубины воды  $H$ , равной 2,71 м (фиг. 61). Связанные с этим определением подсчеты и данные для этих последних сведены в таблице 5.



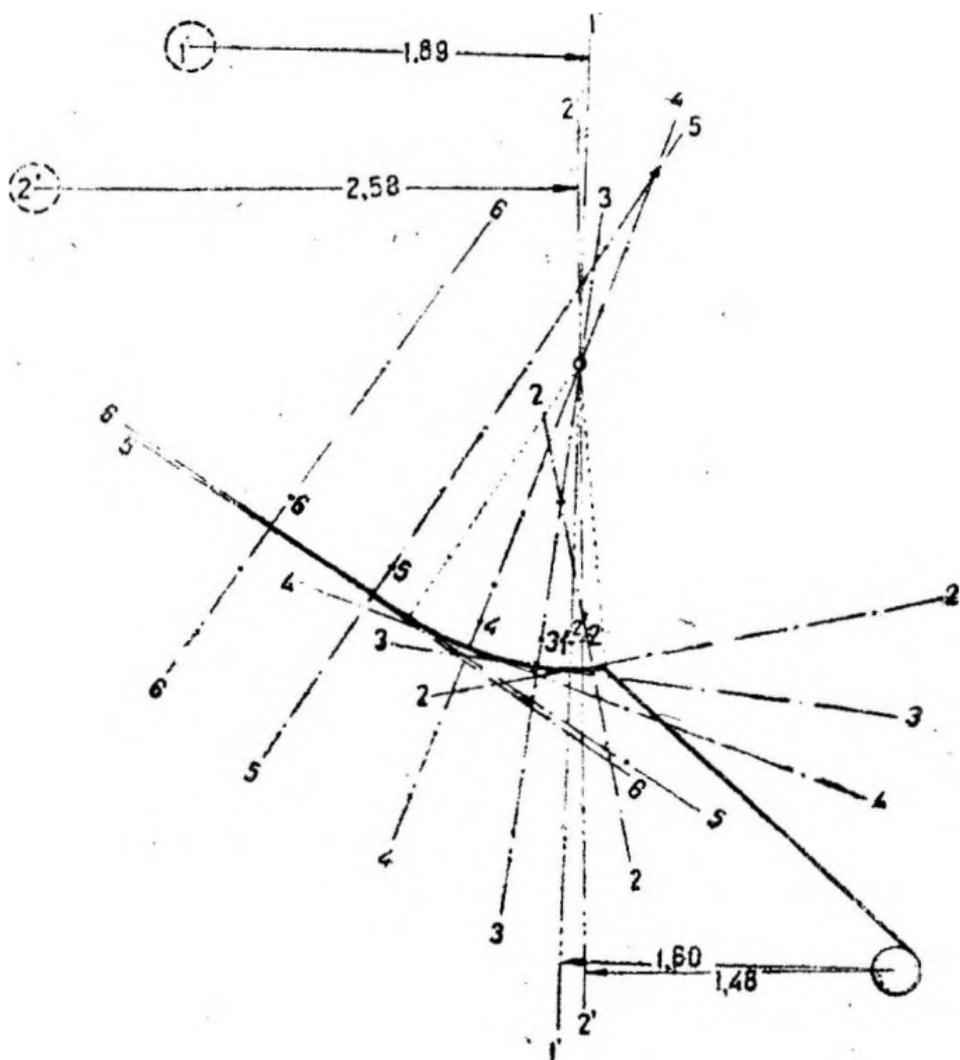
Фиг. 57.

Как видно, полученная характеристическая кривая в верхней концевой части по виду весьма близко совпадают с участком характеристической кривой, приведенной в труде Н. Kulka („Der Eisenwasserbau“, ч. I, 1928), поэтому есть основание предполагать, что она близка к виду действительной характеристической кривой затворов этого типа.

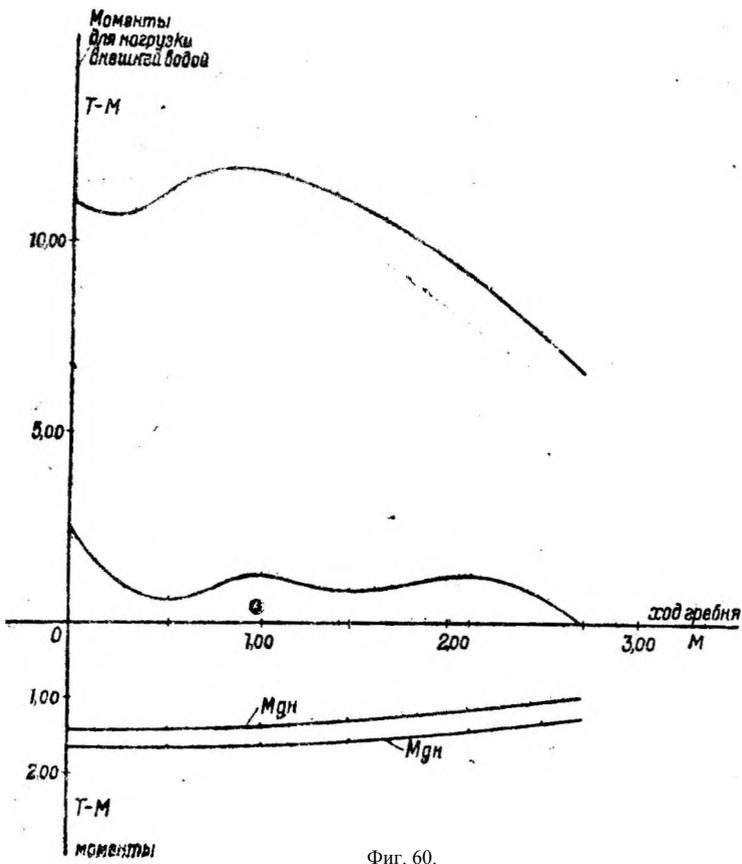
На основании соображений, изложенных на стр. 41 полученная нами кривая в пределах  $A—B$  является неудовлетворительной. В силу этого рассмотрим здесь в качестве примера, как должна видоизмениться конфигурация затвора в отношении контура низового щита, если обусловить, что характеристическая кривая его на участке хода гребня  $CD$  имела бы очертание по восходящей кривой  $EFB$  (фиг. 61).



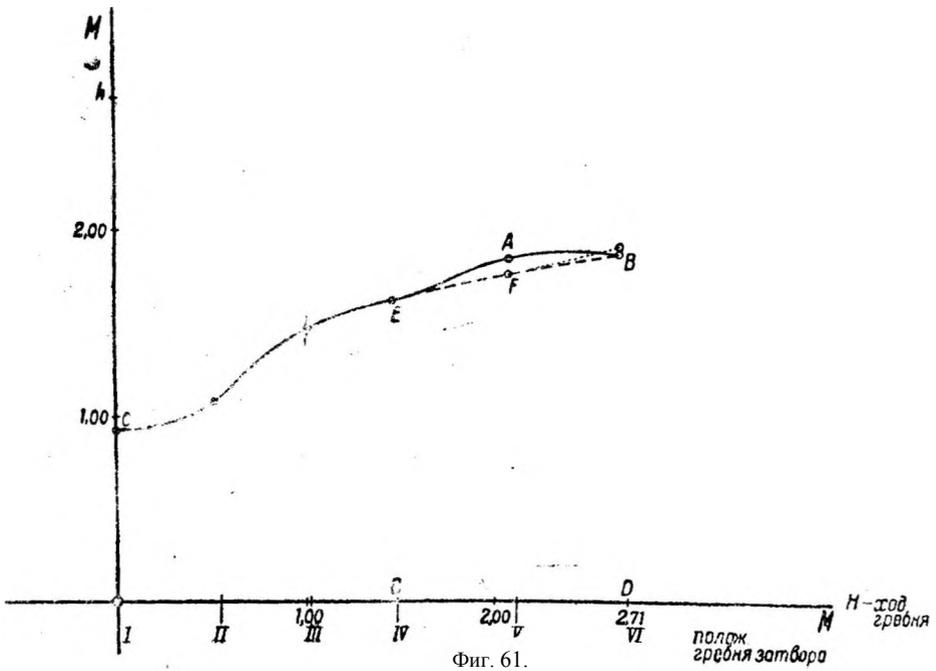
Фиг. 58.



Фиг. 59.



Фиг. 60.



Фиг. 61.

ТАБЛИЦА 4.

Положения		1	2	3	4	5	6
Моменты веса верхо- вого щита ( $m - m$ )	приблизненно	1,70	1,70	1,66	1,58	1,44	1,18
	точно	2,50	2,50	2,45	2,32	2,18	1,92
Моменты веса низового щита ( $m - m$ )	приблизненно	1,23	1,20	1,13	1,02	0,91	0,84
	точно	1,55	1,52	1,40	1,23	1,11	1,02

ТАБЛИЦА 5.

## Положения гребня.

	1	2	3	4	5	6
$b$	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95
$c$	2,59	2,60	2,775	3,06		
$h_A$	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
$h_B$	2,81	2,30	1,81	1,355		
$h'$	3,89	3,365	2,85	2,355		
$h_D$	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89
$\cos \alpha$	1,00	0,989	0,964	0,919	0,829	0,707
$M_{gb}$	1,63	1,62	1,58	1,525	1,39	1,19
$M_{gh}$	1,435	1,41	1,34	1,245	1,095	0,925
$M_A$	11,00	11,50	11,85	11,00	9,05	6,62
$M_D$	2,60	0,60	1,30	0,90	1,30	0,00
$r_a$	3,81	3,88	3,605	3,295	2,94	2,78
$r_d$	2,59	2,61	2,765	3,015	3,42	3,705
$x$	0,92	1,07	1,46	1,60	1,82	1,82

Поступая согласно изложенному выше (см. стр. 50), найдем предварительно для каждого из щитов величины моментов от водяной нагрузки и собственно веса относительно осевых линий их вращения для положения гребня в точке V, предполагая в качестве исходной характеристической кривой кривую  $EFB$ .

Согласно подсчета, эти моменты (при  $x = 0,99$  м) получились:

а) для верхового щита:

момент  $M_A$  от нагрузки внешней водой и от собственного веса + 10,44  $m \cdot m$

момент  $M_a$  от нагрузки внутренней водой — 3,52

---

Суммарный момент  $M_{A0} = + 6,92 m \cdot m$

б) для низового щита:

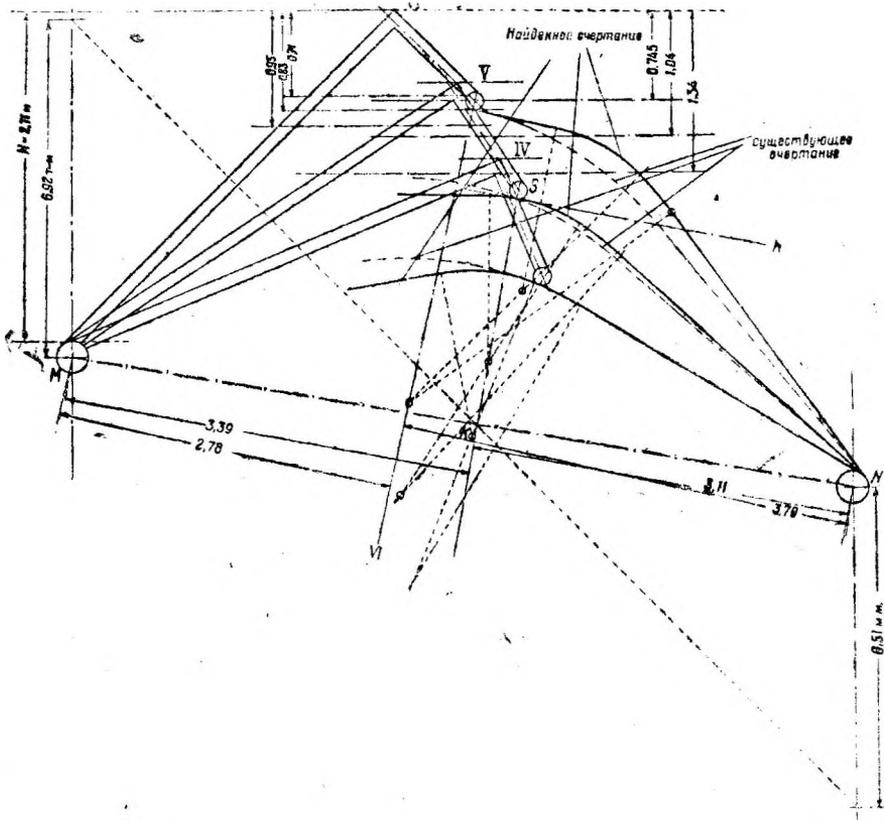
момент  $M_D$  от нагрузки внешней водой и от собственного веса — 2,39  $m \cdot m$

момент  $M_d$  от нагрузки внутренней водой + 8,90  $m \cdot m$

---

Суммарный момент  $M_{D0} = + 6,51 m \cdot m$

Откладываем значения этих суммарных моментов в виде отрезков на вертикалях, проходящих через точки  $M$  и  $N$  (фиг. 62) — моменты  $M_A$  вверх, а моменты  $M_D$  вниз; затем соединяем концы этих отрезков прямой и находим точку  $K$  пересечения ее с прямой  $MN$ , соединяющей центры осей вращения обоих щитов. Проведя теперь прямую получим то направление нормали к кривой очертания контура низового щита, которое он должен был бы иметь, чтобы характеристическая кривая затвора отвечала кривой  $EFB$ . Прямая  $SR$ , перпендикулярная  $KS$ , будет являться касательной и кривой контура в точке  $S$ .



Фиг. 62.

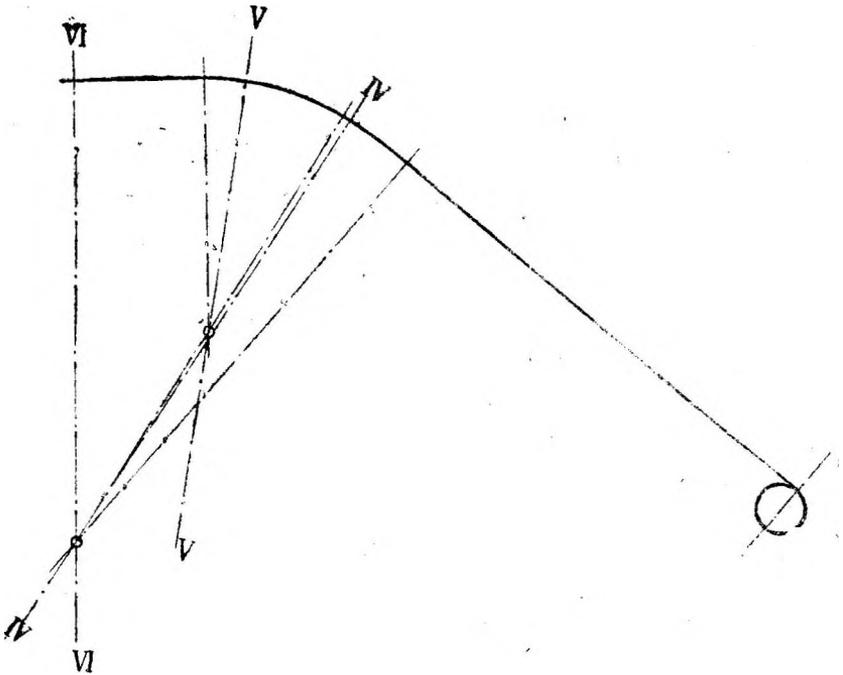
Так как нормали к контуру низового щита, при положениях гребня затвора IV и VI, остаются без изменения (характеристическая кривая в этих точках остается прежней), то имея их и найденное направление  $KS$  (или  $SR$ ), можем очевидно получить, пользуясь восковкой, нужное очертание контура низового щита.

Полученное таким приемом очертание приведено на фиг. 63.

Теперь остается проверить, какова будет действительная характеристическая кривая затвора при конфигурации с найденным очертанием контура низового щита.

Так как очертание этого последнего на участке  $OA$  осталось без изменения, то очевидно и характеристическая кривая на протяжении хода гребня затвора до положения IV останется также без изменения, если конечно при этом предположить, как это мы и сделаем, что вес щита и положение его

центра тяжести останутся такими же, какими они были в первоначальном щите. Следовательно, изменения характеристической кривой, если они будут иметь место, должны произойти лишь на участке хода гребня от положения IV до положения VI.



Фиг. 63.

Поэтому проверим положения точек характеристической кривой лишь для положений гребня затвора пятого и шестого. Проверку произведем по приему, приведенному на стр. 57 и 64.

Согласно этого приема имеем:

Для V положения.

Для VI положения

при $x =$	1,34 м	1,04 м	0,745 м	0,95 м	0,83 м	0,71 м
$M_a$ . . . . .	1,80	3,21	5,14			
$M_A$ . . . . .	10,44	10,44	10,44			
$M_{A_0}$ . . . . .	8,64	7,23	5,30	5,66	5,20	4,69
$M_{A_0} r_{\partial}$ . . . . .	26,28	22,50	16,50	20,85	19,15	17,25
$M_{\partial}$ . . . . .	6,31	8,34	11,07	6,93	8,12	9,27
$M_D$ . . . . .	2,39	2,39	2,39	0,93	0,93	0,93
$M_{D_0}$ . . . . .	3,92	5,95	8,68	6,00	7,19	8,34
$M_{D_0} r_a$ . . . . .	13,30	20,01	29,42	16,68	20,00	23,20

$r_a = 3,39 \text{ м}$   $r_{\partial} = 3,11 \text{ ''}$

$r_a = 2,78 \text{ м}$

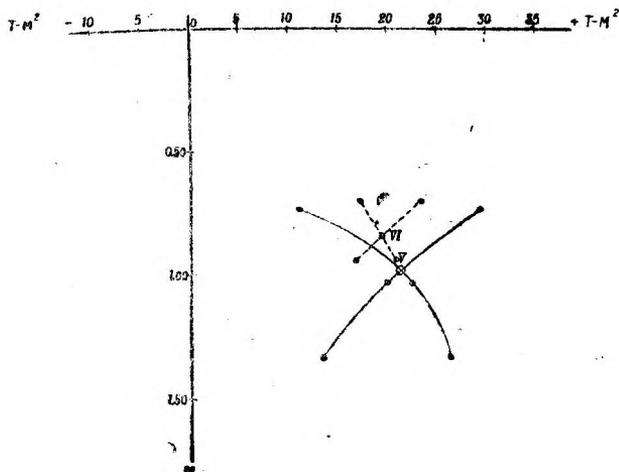
$r_{\partial} = 3,70 \text{ ''}$

Откуда из построения, приведенного на фиг. 64, положение точки характеристической кривой  $x_V$  будет

$$x_V = 1,72 \text{ м.}$$

Откуда

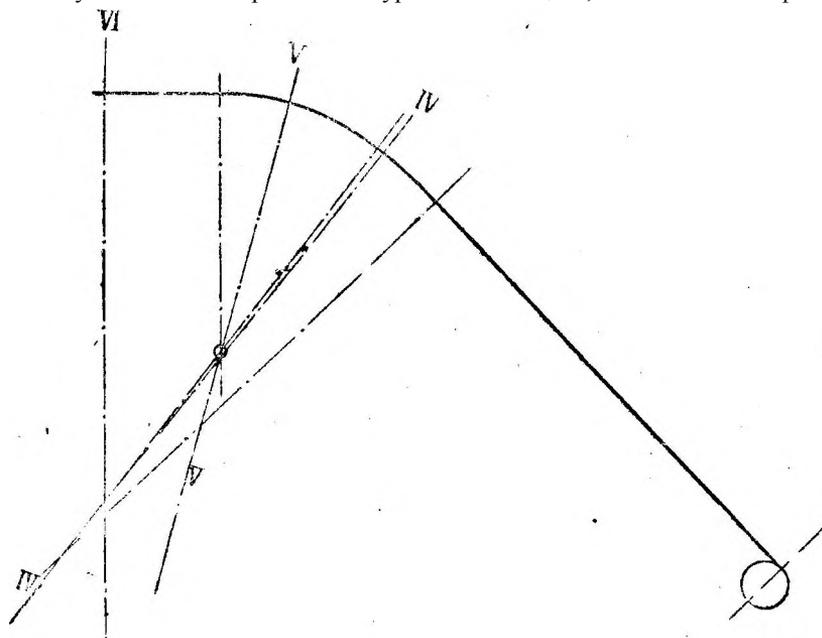
$$x_{VI} = 1,86 \text{ м.}$$



Фиг. 64.

Как видно из фиг. 61, последняя точка несколько поднялась. Ее желательно спустить до прежнего положения.

Чтобы достигнуть этого, поступаем согласно предыдущего. В результате получаем новое очертание контура низового щита, как показано на фиг. 65.<sup>1</sup>



Фиг. 65.

<sup>1</sup> Все цифровые выкладки и построения опущены.

При данном контуре характеристическая кривая имеет вид согласно фиг. 61, т. е. тот, который был обусловлен.

Приведенный пример показывает, что исправление вида характеристической кривой затвора Dachwehr системы Huber & Lütz можно осуществить сравнительно легко, изменив лишь частично кривизну его выпуклости в концевой части.

#### ЛИТЕРАТУРА.

Н. И. А н и с и м о в. Водоподъемные плотины, изд. 1931 г. В. Г. Гебель. Затворы гидротехнических сооружений, Альбом конструкций, изд. 1928 г. И. В. Подарев, Гидротехнические сооружения Плотины. Вып. III. изд. 1925 г. Пояснительная записка к проекту затвора типа Dachwehr, составленному б. Государственным научно-мелиорационным институтом в 1928 г. Г. К. РизенкампФ. К новому проекту орошения Голодной степи, ч. I. изд. 1930 г. Engels. Handbuch des Wasserbaues, Auflage III, 1923, Т. IV. Handbuch des Ingenieur-Wissenschaft, Т. III, В. II, 1912. Н. Kulka. Der Eisenwasserbau, Bd, I, 1928. A. Läufer. Moderne Dachwehranlage, журн. „Zeitschrift des Oester“. Ingenieur-und Architekten-Vereines, 1925, № 29, 30. E. Hüttler. Dachwehranlage Oratwein, журн. „Die Wasserwirtschaft“, 1926, №12. A. Läufer. Stauanlage Schwellöd, журн. „Die Wasserwirtschaft“, 1926, Ns 14. J. H u b e r. Das hydraulische Dachwehr, журн. „Die Bautechnik“, 1927, № 21. Ludwig Betriebserfahrungen mit dem selbsttätigen hydraulischen Dachwehr Huber & Lütz, журн. „Bautechnik“, 1928, № 52. J. Huber. Das hydraulische Dachwehr, журн. Die Wasserwirtschaft, 1930, № 6. J. Huber & Lütz. Selbsttätige Dachwehre in Texas, журн. „Bauingenieur“, 1930, № 13.

#### ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
<i>Предисловие</i> .....	2
Г л а в а I. Типы крышевидных затворов и последовательность их развития	3
Г л а в а II. Силы, действующие на крышевидные затворы.....	14
Г л а в а III. Характеристические кривые крышевидных затворов.....	26
Г л а в а IV. Связь между характеристической кривой и возможной работой затвора. ....	33
Г л а в а V. Чувствительность крышевидных затворов.....	38
Г л а в а VI. Нахождение конфигурации крышевидного затвора по заданной характеристической кривой и заданной чувствительности. ...	42
Г л а в а VII. Примеры подбора конфигурации затвора по данным о его предполагаемой работе.....	52

Отв. редактор Я. М. Ф р и д л я н с к и й . Техн. редактор С. И. Б р у с и л о в с к а я .

Гостройиздат № 438. Индекс С-56-5-4. Тираж 1200. Сдано в набор 12/II 1933 г.

Подписано к печати 11/V 1933 г. Формат бумаги 62×94. Печатных 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> листа.

Количество бумажных листов 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>. Колич. печатных знаков на бум. листе 108864.

Заказ № 211. Ленгортлит № 10127. Выход в свет май 1933 г.

3-я типография ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

1 р. 80 к.

С-56-5-4

