

Депозитарий

В. В. ПОДАРЕВ,
ПРОФЕССОР ПЕТРОВСКОЙ С.-Х. АКАДЕМИИ

620
741



ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

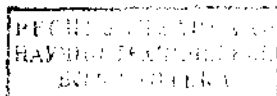
I

ПЛОТИНЫ

Выпуск I

7279

8636



Издательство Наркомзема „НОВАЯ ДЕРЕВНЯ“

Москва — 1922

1305535 11-12395

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Настоящий курс предназначен, главным образом, служить пособием для студентов мелиоративной секции Инженерного Отделения Петровской Сельско-Хозяйственной Академии при проектировании ими основных гидротехнических сооружений—плотин и каналов.

Часть курса, относящуюся к плотинам, предполагается разделить на шестнадцать глав, которые будут выходить четырьмя отдельными выпусками, а описание и проектированию сооружений на каналах будет уделено шесть глав в двух последних выпусках.

Таким образом весь материал курса разбит на шесть выпусков с подразделением на 22 нижеследующих, самостоятельных и вполне законченных глав:

1. Задвижные плотинные затворы с поступательным движением.
2. Поворотные затворы с горизонтальной осью вращения.
3. Затворы прочих типов.
4. Автоматические затворы.
5. Механизмы для маневрирования затворами.
6. Деревянные шлюзы.
7. Каменные „
8. Железобетонные. „
9. Шлюзы с подвижными промежуточными опорами (системы *Поаре* и *Тавернье*).
10. Деревянные плотины.
11. Земляные „

12. Каменные плотины.
13. Железобетон. „
14. Общее расположение составных частей плотин; рыбопроходы в плотинах.
15. Стоимость устройства плотин.
16. Выбор конструкции плотины.
17. Открытые каналы с укрепленными откосами.
18. „ „ с укрепленным дном; перепады на каналах.
19. Открытые каналы с укрепленными откосами и дном; акведуки на каналах.
20. Трубопроводы на каналах.
21. Тоннели на каналах.
22. Стоимость устройства каналов и выбор конструкции.

Числа 5, 10, 25, 50, 100, 250 и т. д., поставленные около номеров чертежей в атласе, выражают, в какую долю натуральной величины вычерчен соответствующий чертеж, а для обозначения метров, как в атласе, так и в тексте курса, принят значек —

Считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность за содействие изданию курса: Опытному-мелиоративному Отделу Управления Водного Хозяйства и Мелиораций Наркомзема, Книгоиздательству студентов Петровской Сельско-Хозяйственной Академии и преподавателю Академии при кафедре общей гидротехники инженер-агроному К. В. Попову, принимающему деятельное участие в подготовке издания.

Константином Викторовичем выполнено большинство чертежей, помещенных в тексте книги, и под его руководством произведен расчет 2 типовых конструкций, приводимых в виде примеров в первом выпуске курса.

Проф. В. Подарев.

Москва.
Петровско-Разумовское.
Сентябрь 1921 г.

ПЛОТИНЫ.

Название плотины дается в курсе всякому сооружению в виде стены из того или другого материала, поставленной поперек естественного или искусственного русла водного потока для того, чтобы поднимать уровень воды в потоке на определенную высоту и поддерживать его на этой высоте в течение более или менее продолжительного промежутка времени.

Плотины, устроенные, главным образом, для образования водохранилищ, называются водоудержательными, а для подъема уровня воды—водоподъемными.

Плотины устраиваются:

- 1) с пригационными целями;
- 2) на осушительных каналах;
- 3) для водоснабжения населенных местностей;
- 4) для работы водяных двигателей;
- 5) с судоходными целями.

Водопропускные отверстия в плотине с затворами для регулирования расхода воды в потоке называются шлюзами.

Плотина без водопропускных отверстий называется глухой.

Конструкция плотинных затворов не зависит от материала и способа устройства остальных частей плотины, а потому изложение курса возможно начать с рассмотрения этих, очень важных и по большей части самых сложных, притом более поддающихся статическим расчетам, а потому наиболее разработанных частей гидротехнических сооружений, причем в первой главе курса описываются конструкции и расчет задвижных затворов.

1. Задвижные плотинные затворы.

Задвижные затворы делаются из дерева, железа или стали и чугуна.

Деревянные затворы применяются в виде щитов из сплоченных между собою горизонтальных брусьев или досок, упирающихся концами в пазы или четверти, устроенные в боковых ограничениях плотинных водопропускных отверстий. Хотя давление воды на отдельные доски возрастает к низу щита и верхние доски могли бы быть тоньше, чем нижние, но обыкновенно щиты делаются из досок или брусьев одной и той же толщины по высоте щита, потому что при таком устройстве удешевляется работа, вследствие упрощения конструкции, хотя материала идет больше, чем для изготовления затвора из досок, точно рассчитанных по приходящемуся на них давлению воды.

При расчетном пролете щита $= l$ метр., напоре воды над нижней кромкой щита $= h$ метров, ширине доски $= b$ метр. и весе 1 куб. мет. воды $= \Delta$ тонны, давление воды на нижнюю доску щита будет $P = h \cdot b \cdot l \cdot \Delta$, и наибольший изгибающий момент для доски, рассматриваемой как балка, свободно лежащая на двух опорах, будет по середине пролета $M = \frac{P \cdot l}{8} = \frac{h \cdot b \cdot l^2 \cdot \Delta}{8}$ и так как $M = k \cdot W$, где k —допускаемое напряжение на изгиб для материала доски, в тоннах на кв. м., и W —момент сопротивления доски, равный $\frac{b \cdot e^2}{6}$, в куб. мет., где e толщина доски в мет., то $\frac{h \cdot b \cdot l^2 \cdot \Delta}{8} = \frac{h \cdot b \cdot e^2}{6}$; откуда $4 \cdot k \cdot e^2 = 3 \cdot h \cdot l^2 \cdot \Delta$ и $e = l \sqrt{\frac{3 \cdot h \cdot \Delta}{4 \cdot k}}$; при $\Delta = 1$ тонне, а $k = 60$ кил. на кв. сант. $= 600$ тонн на кв. мет. (сосна), получим $e = \frac{l \sqrt{h}}{2 \sqrt{3}}$.

Для плотинных затворов деревянные доски толще 5 сант. не применяются.

Сила P , необходимая для подъема или опускания вертикального задвижного затвора весом Q , находящегося под давлением воды P' , определяется по формуле $P = P' \cdot f \pm Q$, где f —коэффициент трения скольжения и знак $+$ относится к случаю подъема затвора, а знак $-$ опускания.

Так как для трения железа по железу f принимается равным 0,5, между тем как для трения дерева по дереву $f = 0,7$, то для уменьшения силы P деревянные скользящие затворы оббивают по концам железом (ч.ч. 2, 5, 6, 12, 19 и 20).

Кроме того, самое сплачивание деревянных щитов производится при помощи железных полос в виде обойм, парных схваток и т. п. (ч.ч. 2—21).

Ч. 1. Из трех досок шириной 0,27", толщиной 0,05", соединенных в шпунт и скрепленных при помощи двух планок шириной 0,15", толщиной 0,03", оканчивающихся сверху ручками для подъема щита.

Ч. 2. Из восьми досок шириной 0,29", толщиной 0,065", обшитых по концам листовым железом толщиной 0,007", загнутым по обе стороны щита на 0,075", и усиленных по середине пролета парной схваткой из железных полос шириной 0,12", толщиной 0,007", к которым сверху при помощи двух накладок прикреплена подъемная тяга из круглого железа диаметром 0,06".

Ч. 3. Три доски шириной 0,30", толщиной 0,06", соединенные в закрой, скреплены с верхней стороны двумя шпонками и, кроме того, двумя железными полосами, соединяющимися сверху в одну полосу, сболоченную с подъемною тиголою из брускового железа 0,05" $\times$ 0,035".

Ч. 4. Три доски средней шириной 0,23", толщиной 0,08" соединены в закрой и скреплены с верхней стороны щита двумя шпонками и парой железных полос 0,06" $\times$ 0,013", врезанных в доски и загнутых концами по другую сторону щита. Каждая полоса кончается сверху кольцом для подъемной цепи.

Ч. 5. Четыре доски 0,25" $\times$ 0,075", на шпихах, скреплены с верхней стороны парой наклонных железных полос 0,07" $\times$ 0,01", соединенных сверху, посередине пролета, в виде скобы для подъемной цепи, а с низовой двумя вертикальными уголками 0,080" $\times$ 0,080" $\times$ 0,010" по краям щита (система Буль).

Ч. 6. Щит состоит из шести досок 0,23" $\times$ 0,075", соединенных шпунтами и скрепленных с верхней стороны двумя уголками 0,087" $\times$ 0,076" $\times$ 0,013", продолжающимися вверх в виде тяг для подъема затвора, и окаймлен с низовой стороны полосовым железом 0,10" $\times$ 0,013".

Ч. 7. Щит сплочен из трех досок $0,20 \times 0,05$ при помощи пары планок и двух наклонных железных полос, оканчивающихся вверху, посредине пролета, проушиной для прикрепления подъемной тяги.

Ч. 8. Щит из семи досок, оплоченных при помощи двух пар наклонных схваток из железных полос, соединенных наверху, посредине пролета, с подъемной тягой, и двух планок по краям щита с прикрепленными к ним кольцами для подъемных цепей.

Ч. 9. Верхняя часть затвора шарнирно соединена с нижней и, благодаря особому устройству пазов, выйдя из воды, откидывается вниз, вследствие чего возможно укоротить винтовой стержень, посредством которого производится подъем и опускание затвора.

Ч. 10. Щит состоит из бруса $0,20 \times 0,20$, скошенного для плотного закрывания затвора, соответственно скосу у выступа каменной кладки шлюза над водопропускным отверстием, и семи досок $0,34 \times 0,13$, соединенных между собою шипами и скрепленных двумя наклонными железными полосами $0,12 \times 0,03$, сходящимися вверху посредине пролета и сболоченными с широкой обоймой (1), к которой прикреплена подъемная тяга (2) из круглого железа $d = 0,05$. По краям затвора кольца (3,3), скрепленные со щитом узкими обоймами из полосового железа $0,08 \times 0,013$, высотой по $0,54$.

Ч. 11. Верхняя часть затвора соединяется с нижней при помощи двух штырей, вставляемых в соответствующие проушины; когда для пропуска воды достаточно поднять только верхний щит, то вынимают штыри из их гнезд. Каждый щит состоит из трех досок $0,26 \times 0,04$, скрепленных двумя обоймами из полосового железа.

Ч. 12. Четыре доски $0,25 \times 0,08$, соединенных шипами, оббиты по концам полосовым железом и, кроме того, скреплены изогнутой железной полосой с проушиной наверху, посредине пролета, для прикрепления подъемной тяги.

Ч. 13. Из четырех брусков $0,23 \times 0,14$, соединенных в закрой и скрепленных у каждого края щита шпонкой и железной полосой, оканчивающейся крюком для подъемной цепи.

Ч. 14. По краям щита имеются захваты для подъемных цепей, как в осевой продольной плоскости (1—1), так и с

обеих сторон от нее, для облегчения подъема затвора в случае его перекашивания.

Ч. 15. Затвор состоит по высоте из двух частей, сплавляемых при помощи шарнирных захватов (1,1); обыкновенно поднимают только верхнюю часть затвора, оставляя нижнюю часть на месте, на дне шлюза, для того чтобы удерживать наносы от проникновения в канал, в голове которого находится шлюз. Верхний щит состоит из бруса (2) $0,20 \times 0,12$, скошенного, для плотного закрывания водопропускного отверстия, соответственно свосу в брус (8), прикрепленном к лицевой стене шлюза, и шести досок $0,38 \times 0,06$, соединенных попарно шипами и скрепленных с верхней стороны тремя вертикальными брусками (4, 4, 4) $0,15 \times 0,08$ и двумя парами наклонных схваток (5,5) из полосового железа $0,07 \times 0,01$, сходящихся вверху, посредине пролета, где они при помощи накладки (6) скреплены с подъемною тягою (7) из полосового железа, $0,10 \times 0,025$; кроме того, по краям затвора имеется по кольцу (8) для подъемной цепи, прикрепленному к щиту при помощи обоймы (9) из полосового железа $0,06 \times 0,025$, высотой по $0,48$. Щит обрамлен железной полосой $0,06 \times 0,01$, стянутой в двух местах по высоте щита поперечными полосами, пропущенными в стыках между досками.

Нижний щит, из двух досок, устроен подобным же образом.

Ч. 16. Затвор состоит по высоте из двух частей, могущих двигаться независимо одна от другой в особых пазах, причем для пропуска малых расходов воды может работать как водослив, при опущенном верхнем щите; каждый щит состоит из трех досок $0,32 \times 0,075$, сплоченных при помощи обойм из полосового железа и плавков.

Ч. 17. Из двух слоев досок, уложенных в одном слое горизонтально и в другом вертикально и усиленных посредине щита парой наклонных железных полос, скрепленных с подъемной тягой, и по краям двумя более короткими вертикальными железными полосами, каждая из которых оканчивается кольцом для подъемной цепи.

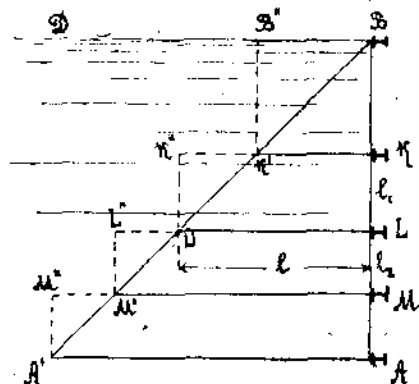
Ч. 18. Из пяти досок $0,26 \times 0,15$, соединенных в закрой и скрепленных двумя шпонками и парой железных по-

лос, каждый из которых оканчивается вверху крюком для подъемной цепи.

Ч. 19. Щит из восьми брусьев толщиной 0,14 и средней шириной 0,26, соединенных шипами и скрепленных шестью парами схваток из полосового железа 0,10 $\times$ 0,013, из которых две средние, наклонно сходящиеся вверху посредине пролета, кончаются кольцом для подъемной цепи и по бокам у смежных схваток имеется еще по кольцу.

Ч. 20. Деталь обделки железом края деревянного щита и паза в стене каменного шлюза для уменьшения трения при подъеме затвора.

Ч. 21. Из шести брусьев 0,24 $\times$ 0,10, соединенных вставными по длине досок шипами и скрепленных двумя парами схваток из полосового железа 0,07 $\times$ 0,01, обшитых с подъемными тягами.



Черт. 1.

Железные затворы состоят из горизонтальных ребер, прикрепленных концами к вертикальным стойкам, и обшивки из листового железа, приклепанного к полкам ребер или, при большем расстоянии между последними, к промежуточным стойкам, скрепленным с ребрами.

Считая промежуточные стойки с обшивкой разрезанными балками, давление воды на отдельные ребра можно определить приблизительно (что допустимо при малых расстояниях между ребрами), заменяя нагрузку на затвор AB по площади треугольника ABA (BD — уровень воды; $\triangle$ — вес одной кубической единицы воды принят равным единице; AB — вертикальна; $AA \perp AB$ и $AA = AB$) (см. ч. 1 текста) нагрузкой по пунктирной ступенчатой линии

$$A' M'' M' I'' I' K'' K' B'' B,$$

при чем на каждое ребро придется $\frac{1}{2}$ нагрузки на два смежных пролета.

Точнее значение для давления на какое-нибудь ребро L равно сумме нагрузок L' и L'' , приходящихся на долю ребра L от нагрузок по трапециям $LKK'L'$ и $LMML'$ на пролеты $LK=l_1$ и $LM=l_2$.

Обозначив напор $BL=LL'$ через l , получим, беря момент силы L' и площади $LKK'L'$ относительно плоскости AKK' :

$$L' = \frac{\frac{l \cdot l_1 \cdot l_1}{2} - \frac{l_1^2 \cdot l_1}{6}}{l_1} = \frac{l_1(3l - l_1)}{6}$$

и подобным же образом

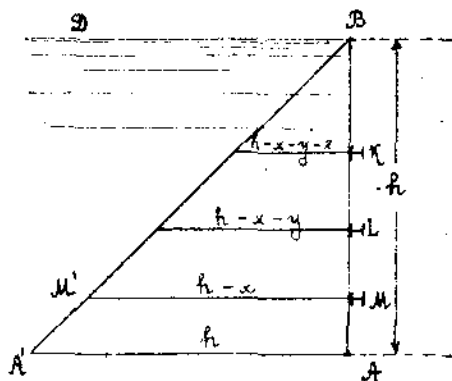
$$L'' = \frac{\frac{(l-l_2) l_2 \cdot l_2}{2} - \frac{l_2^2 \cdot l_2}{3}}{l_2} = \frac{l_2(3l + 3l_2 - 2l_2)}{6} = \frac{l_2(3l + l_2)}{6}.$$

Для упрощения конструкции затворов обыкновенно берут все ребра одинакового размера по высоте щита, располагая их на таком расстоянии друг от друга, чтобы давления на возможно большее число ребер были равны между собою.

Для затвора без окаймляющих ребер (см. ч. 2 текста) можно подобрать расстояния между ребрами так, чтобы давления на все ребра были одинаковы.

Положим, что давление воды на вертикальный затвор AB высотой h , при уровне воды BD наравне с верхом затвора, желательно распределить поровну между тремя ребрами K, L и M .

На единицу длины каждого ребра должно передаваться: $\frac{h^2 \cdot \Delta}{2 \cdot 3} = (\text{при } \Delta = 1) \frac{h^2}{6} = T$. Помещаем нижнее ребро M на таком расстоянии x от A , чтобы площадь M_2 трапеции $AA'MM$ равнялась $\frac{2}{3}T$, где $\alpha = \text{около } \frac{1}{2}$; расстояние $x=AM$ определится из условия: $h \cdot x - \frac{x^2}{2} = M_2$; от пролета LM на



Черт. 2.

ребро M должна передаваться нагрузка $M_1 = T - M_2$ и расстояние $LM = y$ между ребрами L и M определится из уравнения

$$\frac{(h-x)y \cdot y}{2} - \frac{y^2}{2} \cdot \frac{y}{3} = M_1 y$$

откуда:

$$\frac{(h-x)y}{2} - \frac{y^2}{6} = M_1.$$

На ребро L от пролета LM передается нагрузка

$$L_2 = (h-x)y - \frac{y^2}{2} - M_1$$

и от пролета KL на ребро L должна передаться нагрузка $L_1 = T - L_2$, так что расстояние z между ребрами K и L должно удовлетворять условию

$$(h-x-y) \cdot z \cdot \frac{z}{2} - \frac{z^2}{2} \cdot \frac{z}{3} = L_1 z;$$

откуда:

$$\frac{(h-x-y)z}{2} - \frac{z^2}{6} = L_1;$$

от пролета KL на ребро K передается нагрузка

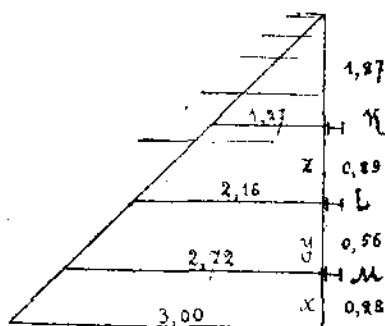
$$K_2 = (h-x-y) \cdot z - \frac{z^2}{2} - L_1$$

и, при верности вычислений, $K_2 + \frac{(h-x-y-z)^2}{2}$ должно равняться T .

Например, при вертикальном затворе высотой $h = 3,00$ и уровне воды наравне с верхом затвора, давление воды

на один метр длины щита $= \frac{h^2}{2} = 4,5$ тонны (см. ч. 3 текста).

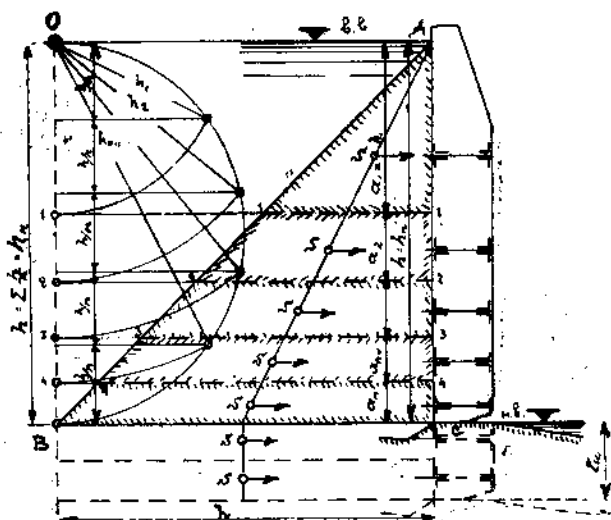
При трех ребрах $T = \frac{4,5}{3} = 1,5t$; принимаем $M_2 = 0,8t$; $3x - \frac{x^2}{2} = 0,80$; $x^2 - 6x + 1,60 = 0$; $x = 3,00 - \sqrt{9,00 - 1,60} = 3,00 - \sqrt{7,40} = 3,00 - 2,72 = 0,28$; $M_1 = 1,50 - 0,80 = 0,70$;



Черт. 3.

$$\begin{aligned} \frac{2,72y}{2} - \frac{y^2}{6} &= 0,70; y^2 - 8,16y + 4,20 = 0; y = 4,08 - \sqrt{16,65 - 4,20} = \\ &= 4,08 - \sqrt{12,45} = 4,08 - 3,52 = 0,56; L_2 = (2,72 - 0,28) 0,56 = \\ &= 0,70 = 2,44 \times 0,56 = 0,70 = 1,37 - 0,70 = 0,67; L_1 = 1,50 - \\ &- 0,67 = 0,83; 2,16 \cdot \frac{z}{2} - \frac{z^2}{6} = 0,83; z^2 - 6,48z + 4,98 = 0; \\ z &= 3,24 - \sqrt{10,50 - 4,98} = 3,24 - \sqrt{5,52} = 3,24 - 2,35 = 0,89. \\ K_2 &= (2,16 - 0,45) 0,89 = 0,83 = 1,71 \times 0,89 = 0,83 = 1,52 - \\ &- 0,83 = 0,69; K_1 = \frac{1,27^2}{2} = \frac{1,61}{2} = 0,80; K_1 + K_2 = 0,80 + 0,69 = \\ &= 1,49 \approx 1,50. \end{aligned}$$

Другой способ решения задачи заключается в том, что ребра помещают против центров тяжести равновеликих пло-



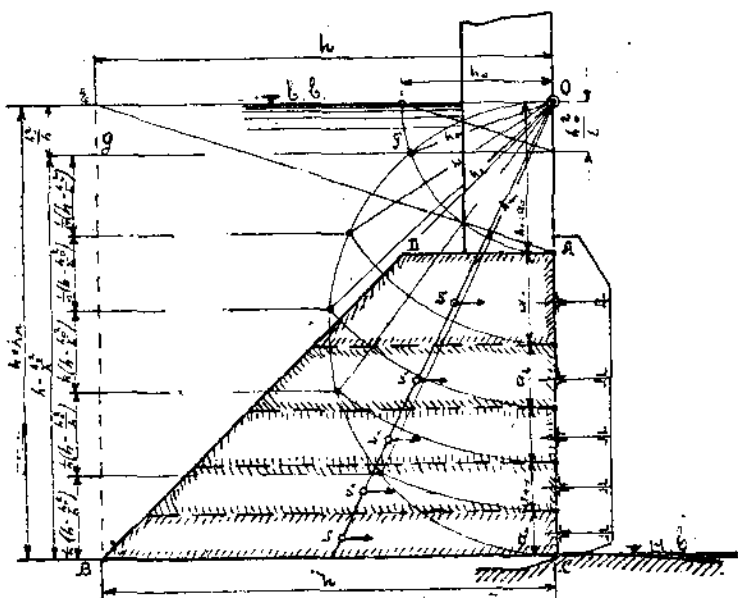
Черт. 4.

щадей, на которые разбивают площадь треугольника или трапеции, соответствующих полному давлению воды на затвор (см. ч. 4 текста).

Если $AC = h$ есть напор, под которым находится вертикальный затвор, то при BC , перпендикулярном к AC и равном AC , площадь треугольника ABC представит давление воды на щит, у которого должно быть, положим, n равно напряженных ребер. Отложим на перпендикуляре к BC отрезок $BO = AC$ и разделим его на n равных частей; из точек деления восставим перпендикуляры к BO до встречи с

полуокружностью, описанной на BO , как на диаметре, и засечем этот диаметр из точки O радиусами, равными хордам $h_1, h_2, \dots, h_n$; перпендикуляры 11, 22, 33, восстановленные к OB из точек засечек, разделят площадь треугольника ABC на n равновеликих частей, потому что по свойству хорды—быть средней пропорциональной между всем диаметром и прилежащим отрезком, $h_1^2 = h \times \frac{h}{n} = \frac{h^2}{n}$ и площадь треугольника 111, равная $\frac{h_1^2}{2} = \frac{h^2}{2n} = \frac{h^2}{2 \cdot n}$, т.е. одной n -ой доли площади треугольника ABC . Площадь треугольника

$$A_{22} = \frac{h_2^2}{2} = \frac{h \times \frac{2h}{n}}{2} = \frac{2h^2}{2n},$$



Черт. 5.

т.е. двум n -ым долям площади треугольника ABC , так что площадь трапеции 1122 тоже равна одной n -ой доли площади треугольника ABC и т. д.

Если давление воды на вертикальный затвор AC выражается площадью трапеции $ACBD$ при уровне воды в OE (см. ч. 5 текста), то, описав на OC , как на диаметре, полуокружность, засекаем ее из O радиусом $OA = h_0$ в точке F .

опускаем из P перпендикуляр FG на линию BE , параллельную CO и разделив за тем отрезок $BG = BE - EG = h - \frac{h_0^2}{h}$ на 2 равных частей, далее поступаем по предыдущему.

По этому способу, предполагающему обшивку щита как бы разрезанной по линиям 11, 22... раздела давлений, результаты получаются иные, чем по вышеизложенному способу. Например, при высоте затвора в 3 метра и трех ребрах расстояния для них от верха затвора получаются: по первому способу 1,27-, 2,16-, 2,72-, а по только что изложенному: 1,15-, 2,11-, 2,74-.

Если давление воды на 1 погонный метр ребра $= P$ и пролет ребра $= l$, то наибольший изгибающий момент по середине пролета будет $\frac{Pl^2}{8}$ и соответствующее поперечное сечение ребра определится по формуле $k \cdot W = \frac{Pl^2}{8}$, где k — допускаемое напряжение на растяжение и сжатие при изгибе, а W — момент сопротивления.

При переменном сечении ребра его размеры определяются по соответствующим моментам.

Для ребер берется: угловое железо (ч. 23), тавровое (ч. 23), двутавровое (ч.ч. 24, 45, 46, 50), зетовое (ч.ч. 25, 47), корытное (ч.ч. 25, 28, 47), клепанные двутавровые балки из 4-х уголков и листа (ч.ч. 26, 50), или из 4-х уголков и сквозной стенки (ч.ч. 27, 51, 52).

Опорные стойки делаются: из корытного железа (ч.ч. 23, 25, 27, 28, 40), из двутаврового железа (ч.ч. 45, 50), из зетового (ч. 47), из листа и 2-х уголков (ч.ч. 24, 26, 46).

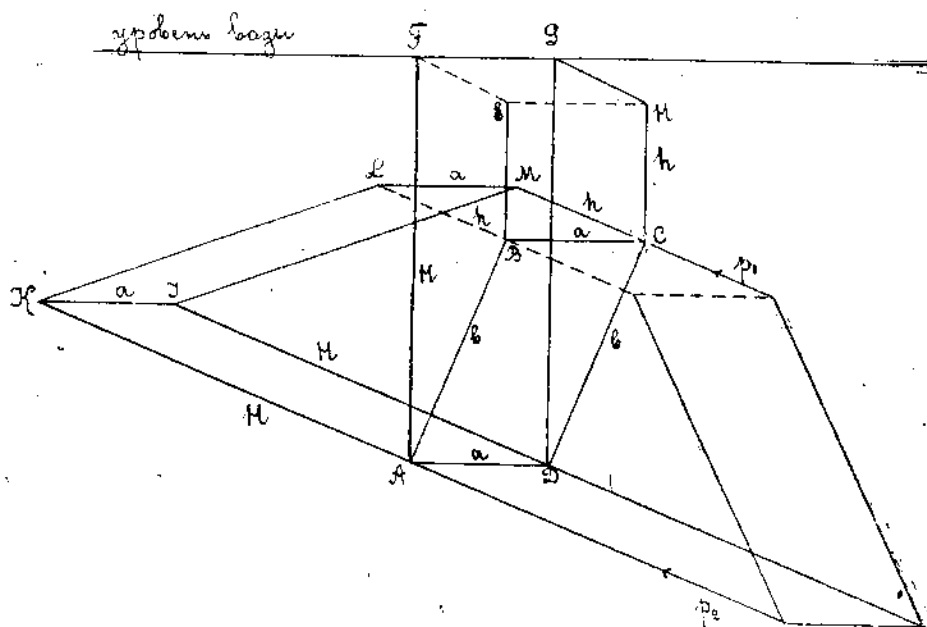
Для промежуточных стоек берется: корытное железо (ч.ч. 48, 50), тавровое (ч. 46), угловое (ч. 41).

Промежуточные стойки рассчитываются, смотря по конструкции, или как неразрезные балки (ч. 41), или как балки, одним концом заделанные, или же как балки с полузаделанными концами.

Обшивка обыкновенно устраивается из листового железа и рассчитывается или как неразрезная балка с ступенчатой нагрузкой (см. ч. 1 текста), или как плита, равномерно нагруженная, по формуле:

$$c = \sqrt{\frac{q \cdot b^2 \cdot r}{2k(1+m^2)}},$$

где e толщина плиты, $m = \frac{b}{a}$, где b и a стороны плиты, k — допускаемое напряжение материала плиты на растяжение и сжатие при изгибе, p давление воды на 1 кв. единицу и $\varphi = 0,56 - 0,75$ для полного закрепления краев плиты и $\varphi = 1,13$ для свободно-лежащей плиты, и, наконец, как плита с нагрузкой по площади трапеции, не принимая во внимание закрепления заклепками, по формуле Бага, которая выводится следующим образом:



Черт. 6.

При ширине AD плиты $ABCD$ равной a , высоте AB равной b , напоре воды над верхней кромкой плиты b и нижней — H , давление воды P на плиту выразится весом водяной призмы $ABCD-IKLM = \frac{\Delta \cdot a \cdot b \cdot (H + b)}{2}$, где Δ вес единицы объема воды (см. ч. 6 текста).

Обозначив реакцию верхней кромки плиты на единицу длины a через p_1 и нижней — через p_2 (см. ч. 7 текста) и предположив, что реакции горизонтальных кромок плиты постоянны по длине их (по ширине плиты), а реакции верти-

кальных кромок (боковых) возрастают по закону прямой, увеличиваясь от верха до низа плиты, получим, приравняв сумму реакций, действующих перпендикулярно к плите сил, полному давлению P на плиту.

$$p_1 a + p_2 a + \frac{(p_1 + p_2)b}{2} + \frac{(p_1 + p_2)b}{2} = \frac{(H + h)b}{2} \cdot a \cdot \Delta$$

или:

$$p_1 a + p_2 a + (p_1 + p_2)b = \frac{(H + h)b}{2} \cdot a \cdot \Delta;$$

или:

$$2p_1(a + b) + 2p_2(a + b) = \Delta \cdot ab \cdot H + \Delta abh;$$

преобразовывая, получим:

$$p_1(2a + 2b) + p_2(2a + 2b) = \Delta \cdot a \cdot b \cdot H + \Delta \cdot a \cdot b \cdot h \dots (1).$$

Беря моменты относительно нижней кромки всех сил, действующих на плиту, получим:

$$p_1 ab + 2 \cdot p_1 b \cdot \frac{b}{2} + \frac{2(p_2 - p_1)b}{2} \cdot \frac{b}{3} = \Delta abh \cdot \frac{b}{2} + \frac{\Delta \cdot a \cdot b (H - h)}{2} \cdot \frac{b}{3},$$

или, сокращая на b и освобождаясь от дробей, будем иметь:

$$p_1 \cdot 6a + p_1 \cdot 6b + p_2 \cdot 2b - p_1 \cdot 2b = 3 \Delta abh + \Delta abH - \Delta abh$$

или:

$$p_1(6a + 4b) + p_2 2b = \Delta \cdot abH + 2 \Delta \cdot ab \cdot h \dots (2).$$

Решая уравнения (1) и (2) относительно p_1 и p_2 , найдем:

$$p_1(2a + 2b) + p_2(2a + 2b) = \Delta \cdot a \cdot b \cdot H + \Delta abh \dots (-b)$$

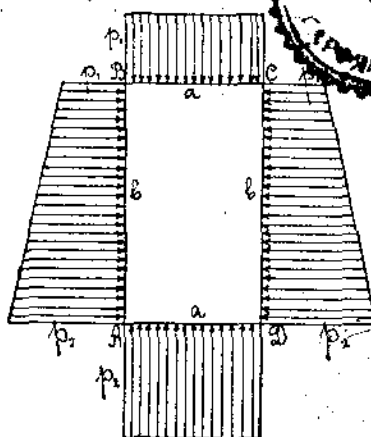
$$p_1(6a + 4b) + p_2 \cdot 2b = \Delta abH + 2 \Delta abh \dots (a + b)$$

$$p_1(6a^2 + 4ab + 6ab + 4b^2 - 2ab - 2b^2) = \Delta \cdot ab(aH + 2ah + bH + 2bh - bH - bh)$$

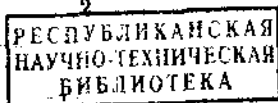
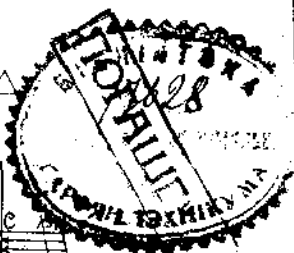
или:

$$p_1(6a^2 + 8ab + 2b^2) = \Delta \cdot ab(aH + 2ah + bh);$$

Подарев. Курс гидротехнич. сооружений.



черт. 7



Так как трехчлен:

$$6a^2 + 8ab + 2b^2 = 2(3a^2 + 4ab + b^2) = 2(a+b)(3a+b),$$

то

$$p_1 = \frac{\Delta \cdot ab(aH + 2ah + bh)}{2(a+b)(3a+b)},$$

Подставляя значение p_1 в уравнение (1), получим:

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 &= \frac{\Delta abH + \Delta abh}{2(a+b)}; \\ p_2 &= \frac{\Delta abH + \Delta abh}{2(a+b)} - p_1 = \frac{\Delta abH + \Delta abh}{2(a+b)} - \frac{\Delta ab(aH + 2ah + bh)}{2(a+b)(3a+b)} = \\ &= \frac{\Delta ab(H+b)(3a+b) - \Delta ab(aH + 2ah + bh)}{2(a+b)(3a+b)} = \\ &= \frac{\Delta ab[(H+b)(3a+b) - (aH + 2ah + bh)]}{2(a+b)(3a+b)} = \\ &= \frac{\Delta ab[3aH + 3ah + bH + bh - aH - 2ah - bh]}{2(a+b)(3a+b)}, \end{aligned}$$

или:

$$p_2 = \frac{\Delta ab(2aH + bH + ah)}{2(a+b)(3a+b)}.$$

Предположим, что наибольшее напряжение будет испытывать диагональное сечение AC . Найдём момент всех сил относительно этого сечения. Реакция S_1 на кромку (см. черт. 8 текста) AD приложена посередине кромки в точке O_1 и равна ap_2 ; плечо ее O_1K_1 относительно AC определится из подобия треугольников ΔO_1K_1 и ΔACD ; $O_1K_1 : O_1A = CD : AC$ или:

$$O_1K_1 : \frac{a}{2} = b : \sqrt{a^2 + b^2},$$

откуда:

$$O_1K_1 = \frac{ab}{2\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Момент силы S_1 относительно $AC = \frac{p_2 \cdot a^2 \cdot b}{2\sqrt{a^2 + b^2}}.$

Реакцию на вертикальную кромку CD разложим на две составляющие силы: одну $S_2 = p_1 b$, приложенную в середине O_2 кромки, и другую $S_3 = \left(\frac{p_2 - p_1}{2}\right) \cdot b$, приложенную в точке O_3 на расстоянии $\frac{b}{3}$ от кромки AD . Плечо O_2K_2 силы S_2 относительно AC определится из подобия треугольников

Сумма моментов сил S_1 , S_2 и S_3 относительно $AC =$

$$\begin{aligned} &= \frac{ab(3ap_2 + 3bp_1 + 2bp_2 - 2bp_1)}{6\sqrt{a^2 + b^2}} = \\ &= \frac{ab[bp_1 + p_2(3a + 2b)]}{6\sqrt{a^2 + b^2}}; \end{aligned}$$

Подставляя вместо p_1 и p_2 их значения, получим:

$$\begin{aligned} &\frac{\Delta a^2 b^2 (abH + 2abh + b^2h + 6a^2H + 3abH + 3a^2h + 4abH + 2b^2H + 2abh)}{12(a+b)(3a+b)\sqrt{a^2+b^2}} = \\ &= \frac{\Delta a^2 b^2 (8abH + 6a^2H + 2b^2H + 4abh + 3a^2h + b^2h)}{12(a+b)(3a+b)\sqrt{a^2+b^2}} = \\ &= \frac{\Delta a^2 b^2 (3a^2 + 4ab + b^2)(2H + h)}{12(a+b)(3a+b)\sqrt{a^2+b^2}} = \\ &= \frac{\Delta a^2 b^2 (2H + h)}{12\sqrt{a^2+b^2}}. \end{aligned}$$

Нагрузку на треугольник ACD разобьем на две части: одну равномерно-распределенную и другую увеличивающуюся по закону прямой от точки C до кромки плиты AD .

Равнодействующая первой нагрузки равна $\frac{\Delta a \cdot b \cdot h}{2}$ и приложена в центре тяжести N треугольника ACD ($O_3L \parallel AD$ и $LN = NO_3$); плечо MN этой силы относительно AC определится из подобия треугольников

$$LMN \sim ACD; MN:LN = CD:AC; MN: \frac{a}{3} = b:\sqrt{a^2 + b^2};$$

откуда:

$$MN = \frac{ab}{3\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Момент этой силы относительно AC будет $\frac{\Delta \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot h}{6\sqrt{a^2 + b^2}}$.

Для определения момента от нагрузки второй части, рассмотрим отрезок шириною $UV = dx$, взятый на расстоянии $CH = x$ от точки C ; здесь единичное давление равно $UW \cdot \Delta$ и определится из подобия треугольников CUW и CDT ;

$$UW:CU = DT:CD; UW:x = (H-h):b; UW = \frac{x(H-h)}{b};$$

длину отрезка UZ определим из подобия треугольников

$$CUZ \sim ACD; UZ:CU = AD:CD; UZ:x = a:b; UZ = \frac{ax}{b};$$

нагрузка на весь отрезок шириною dx выразится

$$\frac{\Delta ax^2 (H-h) dx}{b^2};$$

плечо RY этой нагрузки относительно AC найдем из подобия треугольников RYZ и ACD ; $RY:RZ = CD:AC$;

$$RY: \frac{ax}{2b} = b: \sqrt{a^2 + b^2};$$

откуда имеем, что $RY = \frac{a \cdot x \cdot b}{2b \cdot \sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{ax}{2\sqrt{a^2 + b^2}}$.

Элементарный момент второй части будет =

$$= \frac{\Delta \cdot a^2 x^3 (H-h) dx}{2b^2 \sqrt{a^2 + b^2}};$$

полный момент второй части будет =

$$\int_0^h \frac{\Delta \cdot a^2 x^3 (H-h)}{2b^2 \sqrt{a^2 + b^2}} \cdot dx = \frac{\Delta \cdot a^2 b^4 (H-h)}{8b^2 \sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\Delta \cdot a^2 b^2 (H-h)}{8\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Таким образом, полный изгибающий момент относительно AC от нагрузки на треугольник ACD будет:

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta \cdot a^2 b^2 h}{6\sqrt{a^2 + b^2}} + \frac{\Delta \cdot a^2 b^2 (H-h)}{8\sqrt{a^2 + b^2}} = \\ & = \frac{\Delta \cdot a^2 b^2 (4h + 3H - 3h)}{24\sqrt{a^2 + b^2}} = \\ & = \frac{\Delta \cdot a^2 b^2 (3H + h)}{24\sqrt{a^2 + b^2}}. \end{aligned}$$

Момент всех сил, действующих на треугольник ACD относительно AC будет =

$$\begin{aligned} & = \frac{\Delta a^2 b^2 (2H + h)}{12\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{\Delta a^2 b^2 (3H + h)}{24\sqrt{a^2 + b^2}} = \\ & = \frac{\Delta a^2 b^2 (4H + 2h - 3H - h)}{24\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\Delta \cdot a^2 b^2 (H + h)}{24\sqrt{a^2 + b^2}}. \end{aligned}$$

Если обозначим толщину обшивки через e , то момент сопротивления W плиты по диагонали будет:

$$\frac{\sqrt{a^2 + b^2} \cdot e^2}{6}$$

и так как $M_{\max} = k \cdot W$, где k — допускаемое напряжение обшивки на изгиб, то имеем:

$$\frac{\Delta \cdot a^2 b^2 (H + h)}{24 \sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{e^3 \cdot \sqrt{a^2 + b^2}}{6} \cdot k;$$

откуда:

$$e^3 = \frac{\Delta \cdot a^2 b^2 (H + h)}{4k (a^2 + b^2)} \quad \text{и} \quad e = 0,5ab \sqrt{\frac{\Delta (H + h)}{k (a^2 + b^2)}}.$$

При $k = 1000$ кил. на кв. сант. и $\Delta = 0,001$ кил. в 1 кубич. сант., получим, что

$$e = 0,0005ab \sqrt{\frac{H + h}{a^2 + b^2}}.$$

К полученной величине прибавляют 1 миллим. в запас на ржавление железа, и окончательно для толщины обшивки получим формулу:

$$e = 0,1 + 0,0005ab \sqrt{\frac{H + h}{a^2 + b^2}}.$$

Все величины в формуле выражены в сантиметрах.

При уменьшении числа горизонтальных ребер отдельные части затворов получаются более солидных размеров, вследствие чего они могут лучше сопротивляться ударам льдин и ржавлению, не говоря уже о том, что расчет конструкции значительно упрощается, становясь вполне определенным для затворов с двух ребрах.

Для уменьшения силы, необходимой для маневрирования железными затворами, применяются бронзовые полосы, прикрепляемые к самим затворам, или к пазам в стенах водопропускных отверстий (ч.ч. 24, 27), так как коэффициент трения железа по бронзе $= 0,3$, между тем как для железа по железу он $= 0,5$.

Ч. 22. Переносный затвор для небольших оросительных канав, состоящий из листа в виде полукруга диаметром 0,80-, толщиной 0,025-, усиленного сверху двумя планками 0,07- $\times$ 0,015-, к которым прикреплена ручка для подъема щита.

Ч. 23. Окаймляющие ребра щита из уголков 0,090- $\times$ 0,090- $\times$ 0,010-, а остальные — из тавров 0,110- $\times$ 0,080- $\times$ 0,010-; опорные стойки из двутаврового железа 0,120- $\times$ 0,080- $\times$ 0,010-. Обшивка из листового железа толщиной 0,010-, приклепанного к полкам ребер и стоек.

Ч. 24. Ребра (1) из двутаврового железа $0,300 \times 0,140 \times 0,010$ приклепаны при помощи коротких уголков (2) размерами $0,055 \times 0,055 \times 0,010$ к опорным стойкам, состоящим из листа (3) $0,340 \times 0,010$ и (4) двух уголков $0,070 \times 0,070 \times 0,010$. Обшивка из $0,010$ - листового железа. (5) направляющий ролик. Для уменьшения силы трения при подъеме затвора к опорным стойкам, усиленным с низовой стороны листом (6), прикреплен стальная полоса (7), а к пазу — в каменной стене пилуза — соответственной величины бронзовая полоса (8).

Ч. 25. К двум опорным стойкам из корытного железа $0,100 \times 0,050 \times 0,006$, обращенного полками в наружу затвора, приклепаны при помощи коротких уголков $0,140 \times 0,140 \times 0,012$ восемь ребер, из которых два крайних из корыт $0,080 \times 0,045 \times 0,006$, а шесть средних из зетов $0,080 \times 0,050 \times 0,006$, усиленных с низовой стороны затвора двумя раскосами из полосового железа $0,070 \times 0,006$ длиною по $1,70$; обшивка из листового железа в $0,006$ толщиной. Тяга из круглого железа диаметром в $0,06$ проходит через пять верхних ребер и закреплена у каждого двумя штырями по обе стороны.

Ч. 26. Водопропускное отверстие закрывается двумя щитами, расположенными один над другим с особыми пазами для каждого. У верхнего затвора четыре ребра, состоящих каждое из горизонтального листа толщиной в $\frac{1}{4}$ " и шириной посредине в $7\frac{1}{4}$ " и по концам в 5 ", обращенного выпуклостью к низовой воде, и двух или четырех уголков, а именно — первое сверху ребро из двух $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times \frac{1}{4}"$; второе — из четырех $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times \frac{1}{4}"$; третье и четвертое из четырех $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times \frac{3}{8}"$. Каждая из опорных стоек состоит из вертикального листа, толщиной $\frac{1}{4}$ " и шириной 5 " и двух уголков $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times \frac{3}{8}"$, обращенных полками во внутрь затвора, и усилена с низовой стороны вертикальным листом шириною в $1'6$ ", идущим во всю высоту затвора. Обшивка из трех полос листового железа, толщиной $\frac{1}{4}$ " с накладками изнутри затвора на вертикальных стыках, расположенных в разбежку. Два верхних ребра, через которые по обе стороны оси затвора на расстоянии $0,47$ — проходит по болту диаметром $1\frac{1}{4}"$, кончающемуся кольцом для подъ-

емной цепи, усилены каждый горизонтальным листом длиной по 1,35, толщиной $1\frac{1}{4}$.

У нижнего затвора каждая опорная стойка состоит из вертикального листа $5" \times 1\frac{1}{4}"$ и двух уголков $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times 3\frac{3}{8}"$ и усилена с низовой стороны вертикальным листом шириною 1'6", идущим во всю высоту затвора и вверху изнутри щита коротким вертикальным листом, скрепленным с шарниром подъемной тяги. Верхнее ребро — горизонтальный лист, шириною: по концам $5"$ и $8\frac{1}{4}"$ посередине пролета, где он для прикрепления подъемной цепи усилен коротким листом: два уголка $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times 1\frac{1}{2}"$, обращенных полками внутрь затвора, и вертикальный лист $3" \times 1\frac{1}{2}"$ с низовой стороны. Второе ребро состоит из горизонтального листа таких же размеров, как у верхнего, усиленного посередине пролета четырьмя поперечными короткими уголками, из четырех уголков $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times 1\frac{1}{2}"$ и вертикального листа $5\frac{1}{4}" \times 3\frac{3}{8}"$ с низовой стороны. У нижнего ребра четыре уголка $2\frac{1}{2}" \times 2\frac{1}{2}" \times 3\frac{3}{8}"$, вертикальный лист $5\frac{1}{4}" \times 1\frac{1}{4}"$ с низовой стороны и горизонтальный лист таких же размеров и с таким же усилением посередине пролета, как у второго ребра.

Обшивка из двух полос листового железа толщиной $\frac{5}{16}"$ и $\frac{3}{8}"$. Нижний затвор обращен выпуклостью к верховой воде.

Ч. 27. Обшивка из двух продольных полос листового железа, толщиной 0,010 и шириною вверху 0,930 и внизу 1,200 с соответствующей накладкой, приклепана к шести горизонтальным ребрам, отстоящим одно от другого, считая снизу на: 0,350, 0,400, 0,410, 0,510 и 0,410, при чем верхнее и нижнее ребра состоят каждое из сплошного горизонтального листа толщиной 0,010 и двух уголков размерами $0,080 \times 0,080 \times 0,010$, обращенных во внутрь затвора, а четыре средних ребра из четырех уголков $0,080 \times 0,080 \times 0,010$, двух горизонтальных листов, толщиной 0,010 и длиной 0,733 по концам, и решетки из восьми раскосов полосового железа $0,080 \times 0,010$ по середине. Ребра в плане криволинейного очертания с верховой стороны, при высоте посередине пролета = 0,325 и по концам по 0,180, приклепаны при помощи коротких уголков $0,140 \times 0,140 \times 0,014$ к двум опорным стойкам, высотой по 2,150 из

корытного железа $0,180 \times 0,070 \times 0,08$, усиленного с низовой стороны вертикальным листом во всю высоту затвора, шириною $0,250$, снабженным бронзовой полосой для уменьшения силы трения при перемещении затвора. По обоим концам, на расстоянии $1,023$ от оси, к затвору приклепано по два корытных железа $0,160 \times 0,065 \times 0,0075$, высотой с низовой стороны $2,30$ и с верховой $0,50$ для прикрепления подъемных цепей, при чем каждая пара корыт усилена сверху двумя уголками (1,1), приклепанными нормально к плоскости затвора как к корытам, так и к верхнему ребру затвора.

Ч. 28. К двум опорным стойкам из корытного железа $0,200 \times 0,075 \times 0,0085$ приклепаны при помощи уголков, $0,070 \times 0,070 \times 0,009$, длиною по $0,180$, пять ребер из таких же корыт, сплоченных обшивкой из двух продольных полос листового железа толщиной $0,010$, шириною по $0,815$, приклепанных с верховой стороны затвора к полкам ребер и стоек и, кроме того, соединенных накладкой $0,170 \times 0,010$. С обоих концов, для прикрепления подъемной цепи на расстоянии $0,970$ от края, к затвору приклепано по четыре полосы $0,080 \times 0,010$, доходящих с низовой стороны до низа щита, а с верховой до низа второго ребра и скрепленных сверху двумя корытами $0,200 \times 0,075 \times 0,0085$ высотой по $0,200$, приклепанными при помощи коротких уголков $0,070 \times 0,070 \times 0,009$ к верхнему ребру затвора и усиленными с их сторон, обращенных одна к другой, вертикальными листами (1,1).

Для уменьшения силы трения при передвижении затвора к стойкам с низовой стороны прикреплены бронзовые полосы (2). Для уплотнения затвора снизу служит деревянный брус (3), прикрепленный к нижнему ребру.

Чугунные затворы состоят из плит без ребер или с ребрами, при чем при большой высоте затвора свивчиваются из нескольких плит (ч. 32). Расчет затворов производится обычным способом, как плит, опирающихся по всему периметру или только по концам, принимая во внимание усиление ребрами.

Ч. 29. Чугунная плита толщиной $0,03$ привинчена к подъемной тяге диаметром $0,06$ двумя обоймами при помощи болтов.

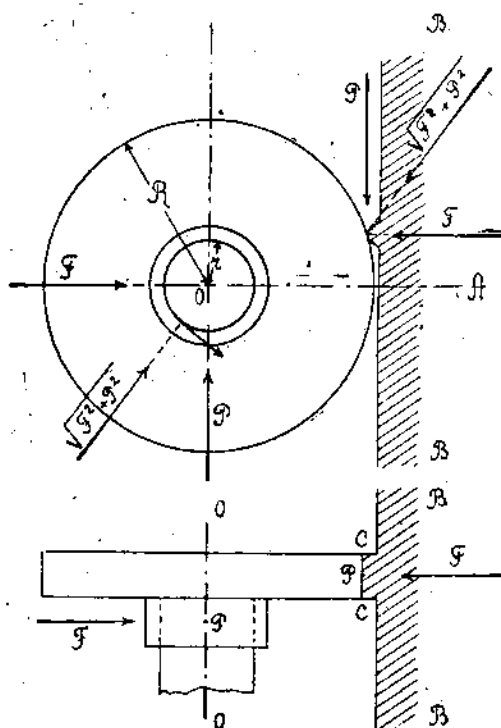
Ч. 30. Чугунная плита толщиной 0,04", усиленная двумя диагональными ребрами, прикреплена к подъемной тяге диаметром 0,08" тремя болтами.

Ч. 31. Чугунная плита толщиной 0,03" усилена двумя вертикальными и четырьмя горизонтальными ребрами и

скреплена при помощи четырех гаек с винтовой подъемной тягой диаметром 0,08" проходящей через два верхних ребра.

Ч. 32. Затвор состоит из трех чугунных плит, толщиной по 0,03" с трубчатыми утолщениями по концам для пропуска болтов, скрепляющих плиту в одно целое и прикрепленных к подъемным цепям.

Каждая плита усилена тремя вертикальными ребрами и двумя горизонтальными по краям, а нижняя, как находящаяся под большим



Черт. 9.

напором воды, кроме того еще промежуточным ребром.

Колесные и катковые затворы. Силу, необходимую для перемещения шлюзовых затворов, можно значительно уменьшить, устраивая вместо скользящих задвижные затворы на колесах, и еще более понизить—применяя катки.

Обозначая через F давление воды на затвор, приходящееся на долю одного колеса, через P соответствующую движущую силу, нормальную к плоскости OA (см. ч. 9 текста), проходящей через F и ось OO колеса, и параллельную плоскости BB катания колеса, через m коэффициент трения

оси в подшипнике, через t коэффициент трения катания колеса, т.-е. расстояние линии CC соприкосновения колеса с плоскостью катания от плоскости OA и через R и r радиусы колеса и подшипника, найдем, что, не принимая во внимание веса затвора, который обыкновенно уравнивается противовесом, для равновесия двух пар сил, действующих на колесо нормально к OO :

$$\sqrt{F^2 + P^2}; \sqrt{F^2 + P^2}; m \cdot \sqrt{F^2 + P^2}; m \cdot \sqrt{F^2 + P^2},$$

необходимо, чтобы сумма моментов этих сил относительно OO была равна нулю, т.-е., чтобы

$$P \cdot R - F \cdot t - m \cdot \sqrt{F^2 + P^2} \cdot r = 0;$$

откуда:

$$P = \frac{(F \cdot t + m \cdot \sqrt{F^2 + P^2} \cdot r)}{R},$$

или приближенно, так как P мало в сравнении с F ,

$$P \approx \frac{F \cdot (t + m \cdot r)}{R}.$$

Полагая:

$$m = 0,2; t = 0,0005; R = 0,175 \text{ и } r = 0,04,$$

как в затворах Силезской плотины *Маркисса* в Германии (ч. 45), найдем: $P = 0,05 \cdot F$.

Оставляя для каткового затвора те же обозначения F, P, t, R и предполагая, что вес затвора уравновешен противовесом, найдем, что для равновесия пары сил $\sqrt{F^2 + P^2}; \sqrt{F^2 + P^2}$, действующих на каток, необходимо, чтобы сумма моментов этих сил относительно оси OO катка была равна нулю, т.-е.

$$P \cdot R + P \cdot R - F \cdot t - F \cdot t = 0, \text{ или } P \cdot R - F \cdot t = 0;$$

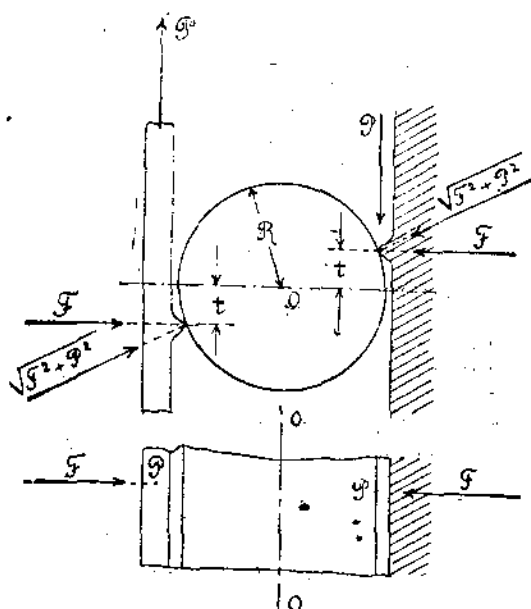
откуда:

$$P = \frac{F \cdot t}{R}.$$

Полагая $t = 0,0005$ и $R = 0,10$, как в затворах плотины *Шеер* на реке *Роне* в Швейцарии, получим, что

$$P = 0,005 \cdot F.$$

Так как для железного скользящего затвора, не принимая во внимание его веса, $P = 0,5 \cdot F$, то для каткового затвора подъемная сила в 100 раз меньше, а для колесного



Черт. 10.

в 10 раз меньше. При неблагоприятных условиях работы, например, если затвор может примерзнуть к пазам, или можно ожидать заедания его наносами, коэффициентам f , t и m даются значительно большие значения, чем вышеприведенные 0,5, 0,0005 и 0,2.

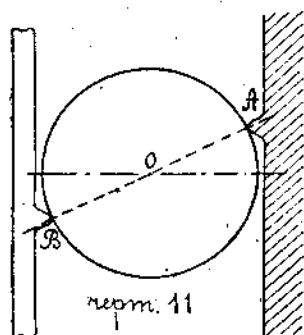
Подшипники колес, расположенных на таком расстоянии друг от друга, чтобы они были одинаково напряжены, прикрепляются обыкновенно к опорным стойкам затворов.

Для уплотнения колесных затворов с боков применяются: пенные канаты (А) (ч. 39), кожаные каймы (В) (ч. 37, 42), резиновые накладки (С) (ч.ч. 35) и прокладки (D), (ч. 34), деревянные бруски (Е) (ч. 43) и металлические прижимные пластины (F) (ч.ч. 38, 44, 47).

В катковых затворах, называемых также Стонеевскими по имени их изобретателя, английского инженера Стонея, катки (1) (ч. 49) размещаются на таком расстоянии друг от друга, чтобы на каждый каток приходилось одно и то же давление, и вращаются около осей с так или иначе устроенными опорами в планках (2, 2), стянутых при помощи распорок (3) в раму, снабженную сверху шквором (4), около которого обогнут канат (5), одним концом прикрепленный к верху затвора и другим — к перекрытию водопропускного отверстия.

Так как при таком устройстве путь, проходимый катковой рамой, вдвое меньше пути, проходимого затвором, то в каждый момент движения при вращении катка около мгновенного центра А, дуга, описанная точкою В соприкосновения окружности катка с затвором, вдвое больше дуги,

описанной центром O окружности, и, следовательно, катание катка по неподвижной плоскости паза и по затвору совершается без скольжения (см. ч. 11 текста). Для уплотнения катковых затворов с боков обыкновенно применяют металлические, по большей части, медные или бронзовые, как не ржавеющие, пруты (ч.ч. 49, 51, 53, 54), прикрепленные шарнирно к затвору с его верхней стороны таким образом, что они легко зажимаются от давления воды в зазор между обшивкой затвора и рамой, окаймляющей водопропускное отверстие, или деревянные бруски, заложенные между двумя балками корытного сечения (ч. 52), из которых одна прикреплена к обшивке затвора, а другая к нише в стенке водопропускного отверстия, или же, наконец, пружинящие металлические пластинки, прикрепленные к затвору и прижимаемые водою к нише (ч. 50).



Для уплотнения затворов снизу обыкновенно служит деревянный брус, прикрепленный к затвору (ч.ч. 50, 52).

Колеса и катки рассчитываются на сжатие по формуле Герца

$$k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot E}{R}}$$

где R — радиус колеса или катка, E — модуль упругости на сжатие, p — давление на погонную единицу линии касания колеса или катка с плоскостью и k — напряжение на сжатие, которое для лучшей стали не должно быть более 7000 килогр. на 1 кв. см.

Благодаря легкости маневрирования стонеевскими щитами, этот тип затворов применяется широко на реках с сильными и быстрыми колебаниями уровня воды и сильными ледоходами, при чем размеры щитов достигают внушительных размеров. Так, на р. Рейне, в плотине *Аугст-Вилем* в Швейцарии, катковые затворы при площади в 144,00 кв. мет. (ширина 16,00, высота 9,0) весят по 43 тонны (0,3 тонны

на 1 кв. мет.) (чер. 52). На реке Роне, а плотине *Шевр* в Швейцарии, затворы при площади 96, 90 кв. мет. (ширина 11,4[—], высота 8,5[—]) весят по 50 тонн (черт. 51). В *Глазовской* плотине в Англии затворы 26,0[—] × 3,7[—] = 96,20 кв. мет. Но чем больше затвор, тем сложнее его устройство.

Так как при поднятом затворе катковые рамы выступают из-под него на половину высоты подъема, то должны быть приняты меры для предохранения катков от ударов воды, расстраивающих все сооружение, и наносов, истирающих как катки, так и их оси и подшипники, что, обыкновенно, достигается постановкой струеотклоняющих щитов (*H* и *K*) (ч.ч. 51, 53, 54), или же значительным уширением водопропускного отверстия с низовой стороны затвора (ч. 52), а для уменьшения сотрясения катковых рам от ударов воды, применяют конструкцию по чертежу 55, т.е. устраивают раму с направляющими обоймами.

При больших пролетах затворов применяют вертикальные шарниры для нормальной передачи давления на катки при изгибе щита (ч.ч. 52, 54).

Для того, чтобы катки не примерзали к пазам, применяют иногда прогревание их отработавшим паром, пускаемым по трубам, заложенным в кладку стен шлюза вблизи пазов.

Черт. 33. Подшипники осей двух пар колес прикреплены к опорным стойкам, скрепленным тремя горизонтальными ребрами: верхнее ребро из корытного железа 0,160[—] × 0,063[—] × 0,0075[—] × 0,0105[—], нижнее, расположенное на 0,300[—] от низа затвора, из зета 0,160[—] × 0,070[—] × 0,0085[—] × 0,011[—] и среднее из корыта 0,120[—] × 0,055[—] × 0,007[—] × 0,009[—] и двух 0,050[—] × 0,050[—] × 0,009[—] уголков; каждая опорная стойка состоит из корытного железа 0,160[—] × 0,063[—] × 0,0075[—] × 0,0105[—] и двух уголков 0,060[—] × 0,060[—] × 0,010[—]. Обшивка между верхним и нижним ребром из лоткового железа толщиной 0,009[—] и внизу из листового железа толщиной 0,009[—], усиленного тремя таврами 0,120[—] × 0,120[—] × 0,013[—], приклепанными к нижнему ребру.

Уплотнение затвора достигается при помощи стальных брусков, окаймляющих со всех сторон затвор и плотно прижимающихся к таким же брускам, прикрепленным к раме водопропускного отверстия, после того, как колеса в конце своего хода зайдут в соответственные углубления в пазах.

Ч. 34. Затвор в виде закрытого со всех сторон железного ящика, перекатывающегося на четырех колесах по двум рельсам, поверхность которых кверху несколько уклоняется от вертикальной плоскости, по которой обделана рама водопропускного отверстия. Затвор окаймлен со всех сторон желобком, в котором помещается резиновая прокладка (С), покрытая медным или бронзовым тавром, высота которого подобрана таким образом, что, когда затвор находится в конце своего хода, резина, сплюсываясь под давлением воды, прижимает тавр плотно к раме, закрывая зазор между рамой и затвором.

Ч. 35. У колес, перекатывающих по рельсам, расположенным как с низовой, так и с верховой стороны затвора, подшипники на катках. С — резиновые накладки для уплотнения затвора с боков.

Ч. 36. Деталь прикрепления стальных колес, диаметром 0,43", к деревянному щиту. Два варианта устройства подшипников на шариках (диаметром 0,075"). Бронзовые направляющие ролики диаметром 0,25".

Ч. 37. При закрытом водопропускном отверстии затвор упирается концами в передние уступы (1) пазов, а по задним (2), при перемещении затвора, перекатываются ролики (3), связанные в одно целое рамами (4), по одной на паз, шарнирно скрепленными с затвором короткими поводками (5), при чем степень удаления роликов от щита регулируется рычагами (6). Кожаные каймы В служат для лучшего уплотнения затвора с боков.

Ч. 38. Деталь прикрепления осей колес к опорным стойкам затвора. F — прижимные металлические пластинки для уплотнения затвора с боков.

Ч. 39. Деталь прикрепления оси колеса к опорной стойке затвора. А — пеньковый канат для уплотнения затвора с боков.

Ч. 40. Обшивка из листового железа, приклепанного к шести горизонтальным ребрам из корытного железа, скрепленным в свою очередь с двумя опорными стойками, состоящими каждая из листа и двух уголков. К стойкам прикреплены подшипники осей двух пар колес и по два стальных бруска, квиву сближающихся между собой клинообразно и, при закрытом затворе, прижимающихся к стальным бру-

скам, прикрепленным к раме водопропускного отверстия. Уплотнение затвора сверху достигается при помощи двух пар несколько скошенных стальных брусков, прикрепленных соответственно к затвору и раме, а снизу с помощью деревянного бруса сболченного с двумя нижними ребрами, помещенными вплотную одно около другого.

Ч. 41. Затвор состоит из шести горизонтальных ребер из корытного железа, при чем два верхние ребра из корыт № 14 по германскому нормальному сортаменту, а четыре нижних из корыт № 20, двух опорных стоек из корыт № 20, доходящих внизу до второго ребра снизу, шести промежуточных стоек из уголков $0,090 \times 0,090 \times 0,010$, и обшивки из трех вертикальных полос листового железа, толщиной $0,010$, приклепанных к уrolкам. Два верхних колеса меньшего диаметра, чем дв нижних, перекатываются по особому кривому пути, устроенному таким образом, что затвор в конце своего хода ложится горизонтально под мост, перекрывающий водопропускное отверстие.

Ч. 42—44. Детали устройства колес. *B* — кожаные каймы, *E* — деревянный прижимный брусок, прикрепленный к затвору пружинающими металлическими пластинками *E*¹, *F* — прижимная металлическая пластинка для уплотнения затворов с боков.

Ч. 45. Затвор перекачивается по рельсам на шести колесах, подшипники которых прикреплены к двум опорным стойкам из двутаврового железа № 20 по германскому нормальному сортаменту, приклепанным к четырем ребрам из двутаврового железа № 25, скрепленным между собой, кроме того, еще двумя промежуточными стойками из двутаврового железа № 20. Обшивка из $0,010$ листового железа.

Ч. 46. Обшивка из пяти полос листового железа, толщиной $0,012$; $0,012$; $0,012$; $0,011$ и $0,010$, приклепанных к шести горизонтальным ребрам из двутаврового железа № 22 по германскому нормальному сортаменту, приклепанным концами к опорным стойкам, каждая из которых состоит из вертикального листа $0,510 \times 0,010$ и двух уголков $0,055 \times 0,055 \times 0,010$.

Ребра, кроме того, скреплены тремя промежуточными стойками из таврового железа $0,100 \times 0,100 \times 0,010$ и усилены с нижней стороны фасонными листами железа,

шириною у ребер 0,400" и посредине пролета между ребрами 0,075", приклепанными к полкам ребер и соответственных уголков опорных стоек.

Ч. 47. Верхнее ребро из корытного железа, остальные также, как и опорные стойки, из зетов. F — металлическая прижимная пластинка для уплотнения затвора с боков, а снизу, для той же цели, к затвору прикреплен деревянный брус.

Ч. 48. Затвор состоит: 1) из двух горизонтальных ребер — верхнего, в виде прокатного двутаврового железа № 40, по германскому нормальному сортаменту, и нижнего — из двутавровой балки, склепанной из четырех уголков $0,100 \times 0,100 \times 0,010$ и горизонтального листа толщиной 0,010" и шириной посредине пролета 0,550" и по концам 0,400" и усиленной, посредине пролета, с низовой стороны, вертикальным листом длиной 1,75", высотой 0,210" и толщиной 0,010", скрепленных: 2) промежуточными стойками из корытного железа № 10, продолжающимися до низа затвора, и приклепанных по концам к: 3) двум опорным стойкам коробчатого сечения, внутри которых помещено: 4) по два колеса диаметром 0,425", несколько выдающихся из-за стоек и могущих перекатываться по рельсам, расположенным как с низовой, так и с верховой стороны затвора и 5) из обшивки из стальных листов толщиной 0,010", приклепанных с верховой стороны к расположенным в одной плоскости полкам стоек и горизонтальных балок. Затвор подвешен к двум галлевским цепям.

Ч. 49. Затвор состоит из двух опорных стоек из двутаврового железа высотой 18", весом 55 фунтов в 1 погон. фута, девяти горизонтальных ребер из двутаврового железа, высотой 15", весом 42 фунта в 1 погон. фута, приклепанных к стойкам при помощи коротких уголков и усиленных с низовой стороны двумя наклонными полосами и, сходящимися вверху, посредине затвора, где приклепано кольцо для подъемной цепи, и обшивки из железных листов толщиной $\frac{3}{8}$ ". В затворе имеется щитовое окно, которое открывают перед подъемом затвора для того, чтобы поднять уровень воды с низовой стороны затвора и тем облегчить его подъем.

Уплотнение затвора с боков достигается при помощи прижимных металлических прутьев (6), а сверху — при помощи гибкой пластинки (6), приклепанной к затвору и прижимающейся под давлением воды к деревянному бруску (7), прикрепленному к лицевой стенке шлюза.

Ч. 50. К двум опорным стойкам из двутаврового железа № 42¹/₂, по германскому нормальному сортаменту, приклепаны при помощи коротких уголков 0,070" × 0,070" × 0,009" два горизонтальных ребра: верхнее из двутаврового железа № 42¹/₂ и нижнее — в виде клепанной балки из четырех уголков 0,100" × 0,100" × 0,012" и горизонтального листа, толщиной 0,010" и шириною, посредине пролета, 0,600" и у опор 0,425", усиленной с низовой стороны, посредине пролета, на протяжении 2,20" вертикальным листом 0,210" × 0,010".

Обшивка из четырех полос листового железа толщиной 0,010" усилена одиннадцатью вертикальными ребрами из корытного железа № 16, приклепанными при помощи фасонных листов к горизонтальным ребрам. В каждой катковой раме по десять катков, диаметром 0,090". Для пропуска малых расходов воды и льда над катковым затвором сверху помещено четыре щитка высотой по 0,300" с горизонтальной осью вращения, которыми маневрируют при помощи особых цепей, по две на щиток, одной для его открывания и другой для закрывания. Затвор подвешен на двух проволочных канатах по краям, с противовесами, и на двух зубчатых рейках.

На чертежах 51 — 54 представлены катковые затворы швейцарских плотин:

Ч. 51. *Шевр* на реке Роне.

Ч. 52. *Аугст-Вилен* на реке Рейне.

Ч. 53. *Азбула*.

Ч. 54. *Лейк*.

Ч. 55. Деталь устройства катковой рамы с направляющими обоймами для уменьшения сотрясений от ударов воды.

Ч. 56. Затвор состоит из шести горизонтальных ребер, из прокатного железа по краям зетового № 20, по германскому нормальному сортаменту, и посредине корытного № 20, на двух опорных стоек из корыт № 12, усиленных уголками и приклепанных к ребрам при помощи коротких уголков и

6 миллиметровой обшивки, как с верховой, так и с низовой стороны затвора. Шары, диаметром 60 мм., могут свободно вращаться в медных царных обоймах, зажатых при помощи болтов между железными полосами. Уплотнение затвора достигается при помощи деревянных брусков, окаймляющих затвор со всех сторон.

Шандорные и спицевые затворы. Затвор, составленный из нескольких отдельных горизонтальных брусьев или досок, положенных друг на друга и упирающихся концами в пазы, устроенные в боковых стенках водопропускного отверстия, называется шандорным, а спицевым называется затвор, состоящий из ряда отдельных брусьев, поставленных стоймя друг около друга и имеющих упор сверху и внизу водопропускного отверстия.

Для шандорных затворов часто применяют деревянные брусья значительных размеров. Так, каждый из пятидесяти пролетов Канадской плотины *Шодьер* на р. Оттаве закрывается одиннадцатью шандорами длиной по 7,75— и вышиною по 0,40— (черт. 62), при чем толщина брусьев изменяется от 0,46— внизу до 0,36— сверху, а в затворе одной из плотин на р. Молдаве в гор. *Праге* в Богемии шандоры состоят из брусьев длиной 11,5— и вышиною 0,25—, при чем они снабжены по концам роликами для уменьшения трения, а зазоры с боков затвора закрываются особыми вертикальными брусьями (черт. 63).

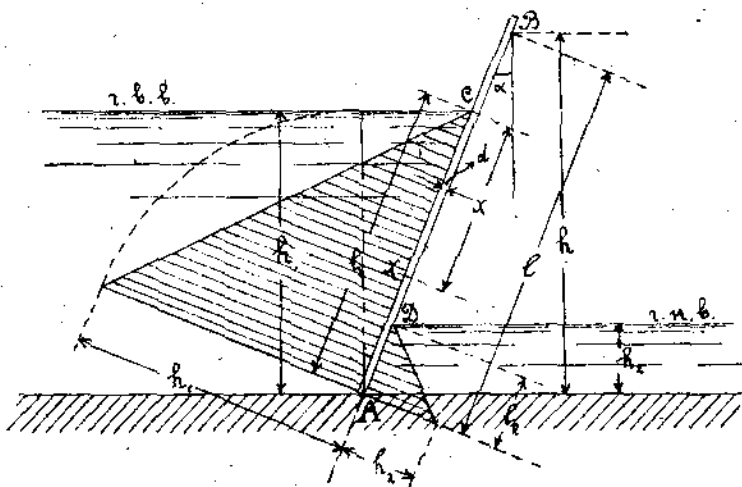
На чертежах 64—69 показаны различные захваты у шандоров в виде колец, скоб, штырей и т. п. для подъема шандоров баграми.

Шандоры делают также и металлическими из прокатных, или клепанных двутавровых балок, достигающих иногда значительных размеров.

Спицы делаются исключительно деревянные из брусьев не тоньше 0,05—, при чем высота их доходит до 5,50—, а вес до 400 кил. (черт. 71).

Для подъема вручную вес спицы не должен быть больше 30 килогр.

Толщина d спицы со свободно опертыми концами A и B см. ч. 12 текста), наклоненной к вертикали под углом α и находящейся под давлением воды слоем h_1 с верховой и h_2 с низовой стороны, определяется по наибольшему изгибаю-



Черт. 12.

щему моменту от нагрузок по заштрихованным площадям треугольников. Обозначив вес 1 куб. метра воды через Δ ; $AB=l$; $AC=l_1$; $AD=l_2$, найдем для реакции B верхней опоры значение:

$$B = \frac{\left[\frac{h_1 l_1}{2} \cdot \frac{l_1}{3} - \frac{h_2 l_2}{2} \cdot \frac{l_2}{3} \right] \cdot \Delta}{l} = \frac{(l_1^3 - l_2^3) \cos \alpha \cdot \Delta}{6l};$$

и для изгибающего момента в произвольном сечении X между B и D на расстоянии x от C будем иметь:

$$M_x = B(x + l - l_1) - \frac{x^3 \cos \alpha \cdot \Delta}{6};$$

Положив:

$$\frac{d(M_x)}{dx} = 0,$$

найдем:

$$B - \frac{x^2 \cos \alpha \cdot \Delta}{2} = 0;$$

откуда:

$$x = \sqrt{\frac{2B}{\cos \alpha \cdot \Delta}} = \sqrt{\frac{l_1^3 - l_2^3}{3l}}$$

и

$$M_{max} = \left(\frac{h_1^3 - h_2^3}{6h} \cdot \frac{\Delta}{\cos^2 \alpha} \right) \cdot \left[(h - h_1) + \frac{2}{3} \right] \sqrt{\frac{h_1^3 - h_2^3}{3h}}$$

Положив $h_2 = a$, получим:

$$M_{max} = -\frac{h_1^3}{6h} \cdot \frac{EJ}{\cos^2 \alpha} \left[(h - h_1) + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{h_1^3}{3h}} \right]$$

Так как h_1 обыкновенно мало отличается от h , то, положив $h_1 = h$, получим:

$$M_{max} = -\frac{h^3}{9 \cdot 3 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot EJ$$

$\cos^2 \alpha$ редко делается меньше 0,9; полагая $\Delta = 1$; $\cos^2 \alpha = 0,9$, получим:

$$M_{max} = 0,07 h^3 \cdot EJ$$

Если положить, что $\cos^2 \alpha = 1$, то получим:

$$M_{max} = 0,064 h^3 \cdot EJ$$

Если обозначить допускаемое напряжение на изгиб для материала спиц через k в килограммах на 1 кв. сант. и толщина спицы d выражена в сант., а M_{max} в тоннометрах,

то
$$1000 M_{max} = \frac{d^3}{6} \cdot k;$$

откуда

$$d = \sqrt[3]{\frac{6000 \cdot M_{max}}{k}};$$

для значения $k = 100 \frac{\text{кг.}}{\text{см.}^2}$ найдем, что

$$d = 7,75 \sqrt[3]{M_{max}}.$$

Если $h_1 = h$ и $\cos \alpha = 1$, то для значения $k = 60 \frac{\text{кг.}}{\text{см.}^2}$

$d = 2,53 \sqrt[3]{h^3}$; для $k = 80 \frac{\text{кг.}}{\text{см.}^2}$; $d = 2,20 \sqrt[3]{h^3}$ и для $k = 100 \frac{\text{кг.}}{\text{см.}^2}$ $d = 1,96 \sqrt[3]{h^3}$ при h , выраженном в метрах.

Толщина шандоров определяется по соответственно распределенной нагрузке от давления воды, как при расчете деревянных задвижных затворов или ребер у железных затворов.

На ч.ч. 57—60 показаны устройства для быстрого открывания шандорных затворов.

Ч. 57. Шандоры упираются одним концом в брус (1) с вертикальною осью вращения, выдающийся из стен плюза

и удерживаемый на месте клином (2), и другим концом — в паз, устроенный обычным способом в другой стене шлюза. По вынудии клина из его гнезда, брус под напором давления воды на шандоры, поворачивается на своей оси, заходя в соответствующее углубление в стене шлюза, и шандоры, потеряв тут опору, поворачиваются в горизонтальном направлении около неподвижной опоры, открывая водопропускное отверстие.

Ч. 58. Упорный брус в виде полуцилиндра, с вертикальной осью вращения, удерживается на месте, при закрытом шлюзе, крючком (1).

Ч. 59. Упорный брус прикреплен к полу шлюза шарниром с горизонтальной осью вращения.

Ч. 60. Средняя подвижная опора двухпролетного шлюза^а устроена в виде стойки таврового сечения, прикрепленной шарнирно к полу шлюза также, как и подкос, подпирающий ее при закрытом шлюзе.

Для того, чтобы открыть шлюз, нужно оттянуть подкос от стойки при помощи цепи с берега канала.

При спицевых затворах верхний упорный брус тоже может быть устроен поворотным около горизонтальной или вертикальной оси для того, чтобы дать возможность спицам быстро открывать водопропускное отверстие.

В подобных конструкциях шандоры и спицы привязывают на цепях или веревках к стене шлюза для того, чтобы их не уносило течением (ч.ч. 58—60).

Для пропуска через шандорные затворы малых расходов воды и небольших количеств льда достаточно поднять один или несколько верхних шандоров, в чем этот тип выгодно отличается от задвижных щитов больших размеров, но как шандоры, так и спицы плохо держат воду, благодаря обилию стыков, для уплотнения которых до некоторой степени может служить такой материал, как деревянные опилки, хвоя и т. п., насыпанные в воду с верхней стороны затвора, и кроме того, на сборку шандорных и спицевых затворов, а также их разборку, в случае, если не имеется на то особых приспособлений, требуется значительно больше времени, чем для маневрирования с задвижными щитами, а потому шандорные затворы очень часто применяются только в качестве вспомогательных на случай порчи или ремонта глав-

ных затворов какого-нибудь другого типа, для чего в стенах шлюза делаются особые пазы, как с верхней, так иногда и с нижней стороны основного затвора.

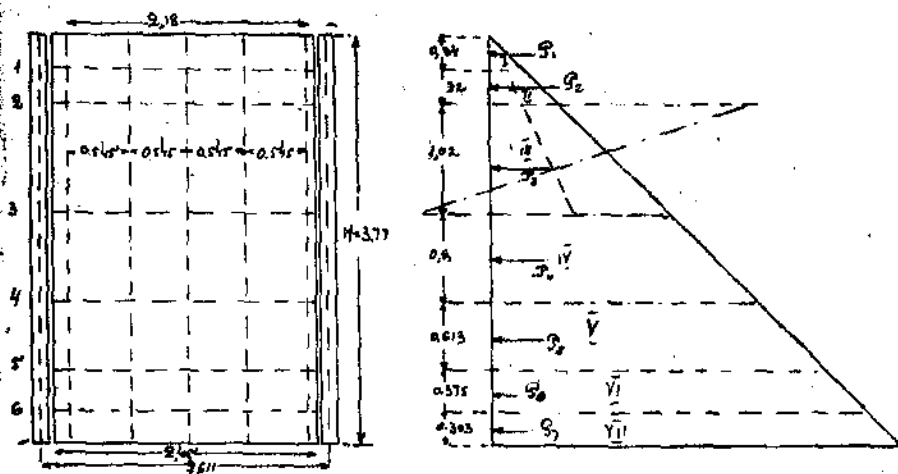
Расчет колесного плотинного затвора, представленного на черт. 41.

Высота щита $H = 3,77$ м.

Ширина „ $b = 2,45$ „

1) Расчет горизонтальных балок (ребер).

Длина пролета балок $l = 2,18$ м.



Черт. 13.

Определим нагрузку от давления воды, приходящуюся на 1 пог. метр длины каждой из горизонтальных балок.

Для этого найдем силы давления воды в отдельных частях (секциях) щита, разграничиваемых балками.

$$P_1 = f_1 \cdot b^1 \cdot q = \frac{0,34 \times 0,34}{2} \times 1 \times 1000 = 57,8 \text{ кгр.}$$

где f_1 — соотв. грузовая площадь,

„ b^1 — 1 пог. метр. ширины щита,

„ q — вес 1 куб. метра воды = 1000 кгр.

$$P_2 = f_2 \cdot b^1 \cdot q = \frac{0,34 + 0,66}{2} \times 0,32 \times 1 \times 1000 = 160,0 \text{ кгр.}$$

$$P_3 = f_3 \cdot b^1 \cdot q = \frac{0,66 + 1,68}{2} \times 1,02 \times 1 \times 1000 = 1193,4 \text{ кгр.}$$

$$P_4 = f_4 \cdot b^1 \cdot q = \frac{1,68 + 2,48}{2} \times 0,8 \times 1 \times 1000 = 1664,0 \text{ кгр.}$$

$$P_5 = f_5 \cdot b^1 \cdot q = \frac{2,48 + 3,093}{2} \times 0,613 \times 1 \times 1000 = 1708,1 \text{ кгр.}$$

$$P_6 = f_6 \cdot b^1 \cdot q = \frac{3,093 + 3,468}{2} \times 0,375 \times 1 \times 1000 = 1230,2 \text{ кгр.}$$

$$P_7 = f_7 \cdot b^1 \cdot q = \frac{3,468 + 3,770}{2} \times 0,303 \times 1 \times 1000 = 1096,6 \text{ кгр.}$$

Точки приложения указанных сил (в центре тяжести соотв. грузовой площади) находим графически, как изображено на черт. 13 текста.

Определенные выше, силы давления воды по закону рычага передаются на горизонтальные балки следующим образом: (см. черт. 14 текста).

Балка I.

$A_1 = A'_1 + A''_1$; где A'_1 = результат действия силы P_1 на балку A_1
 " A''_1 = результат действия силы P_2 на балку A_1

$$A'_1 = P_1 = 57,8 \text{ кгр.}$$

$$A''_1 = \frac{P_2 \cdot l''_2}{l_2} = \frac{160 \times 0,146}{0,32} = 73 \text{ кгр.}$$

(плечо l''_2 взято графически из черт. 13).

$$A_1 = A'_1 + A''_1 = 57,8 + 73 = 130,8 \text{ кгр.}$$

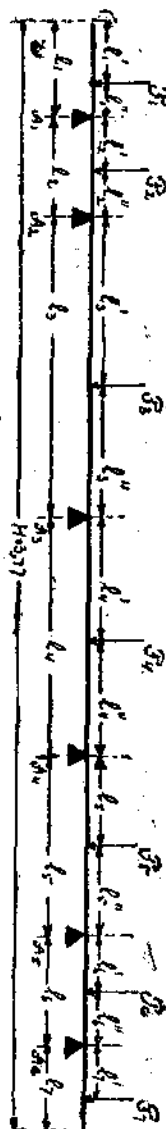
Балка II.

$$A_2 = A'_2 + A''_2; A'_2 = P_2 - A''_1 = 160 - 73 = 87,0 \text{ кгр.}$$

$$A''_2 = \frac{P_3 \cdot l''_3}{l_3} = \frac{1193,4 \times 0,44}{1,02} \times 514,8 \text{ кгр.}$$

$$A_2 = 87 + 514,8 = 601,8 \text{ кгр.}$$

Черт. 14.



Балка III.

$$A_3 = A'_3 + A''_3; \quad A'_3 = P_3 - A''_2 = 1193,4 - 514,8 = 678,6 \text{ кгp.}$$

$$A''_3 = \frac{P_3 \cdot l_4}{l_3} = \frac{1664 \times 0,375}{0,8} = 780,0 \text{ кгp.}$$

$$A_3 = 678,6 + 780 = 1458,6 \text{ кгp.}$$

Балка IV.

$$A_4 = A'_4 + A''_4; \quad A'_4 = P_4 - A''_3 = 1664,0 - 780,0 = 884,0 \text{ кгp.}$$

$$A''_4 = \frac{P_4 \cdot l_5}{l_4} = \frac{1708,1 \times 0,3}{0,613} = 852,5 \text{ кгp.}$$

$$A_4 = 884 + 852,5 = 1736,5 \text{ кгp.}$$

Балка V.

$$A_5 = A'_5 + A''_5; \quad A'_5 = P_5 - A''_4 = 1708,1 - 852,5 = 855,6 \text{ кгp.,}$$

$$A''_5 = \frac{P_5 \cdot l_6}{l_5} = \frac{1230,2 \times 0,185}{0,375} = 606,9 \text{ кгp.}$$

$$A_5 = 855,6 + 606,9 = 1462,5 \text{ кгp.}$$

Балка VI.

$$A_6 = A'_6 + A''_6; \quad A'_6 = P_6 - A_5 = 1230,2 - 606,9 = 623,3 \text{ кгp.}$$

$$A''_6 = P_7 = 1096,6 \text{ кгp.}$$

$$A_6 = 623,3 + 1096,6 = 1719,9 \text{ кгp.}$$

Проверка нагрузки на 1 пог. метр ширины щита по всей высоте щита (по треугольнику давления):

$$Q = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 130,8 + 601,8 + 1458,6 + 1736,5 + 1462,5 + 1719,9 = 7110,1 \text{ кгp.}$$

$$Q = f \cdot b \cdot q = \frac{3,77 \times 3,77}{2} \times 1 \times 1000 = 7106,5 \text{ кгp.,}$$

что показывает достаточную точность подсчета.

Все балки нагружены соответствующей нагрузкой A , сосредоточенной в 5 точках (посредством 5 стоек), отстоя-

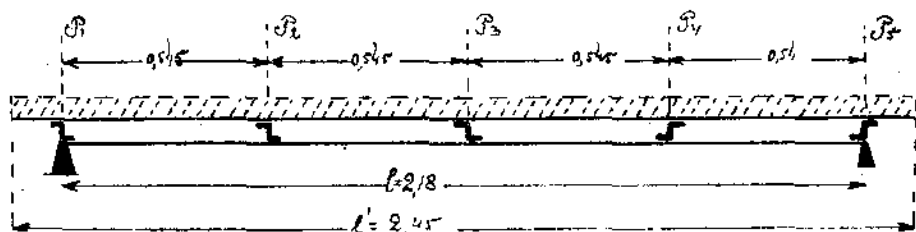
щих друг от друга на равных расстояниях (см. ч. 15 текста). Следовательно, для определения M_{max} можем применить формулу равномерно распределенной нагрузки, что аналитически одно и то же:

$M_{max} = \frac{P \cdot l}{8}$, где $P = A \cdot l'$ — вся нагрузка, приходящаяся на каждую горизонтальную балку.

l' — вся ширина обшивки = 2,45 мет.,

A — нагрузка на 1 пог. метр ширины обшивки.

l — длина горизонт. балок = 2,18 мет.



Черт. 15.

По конструктивным соображениям, балки 1 и 2 берем одного размера, а балки 3, 4, 5 и 6 также одного между собою размера, но большего, чем первые.

Из 3, 4, 5 и 6 горизонтальных балок рассчитаем только 4-ю, как наиболее нагруженную.

$$A_4 = 1736,5 \text{ кгр.}; P_4 = A_4 \cdot l' = 1736,5 \times 2,45 = 4253,8 \text{ кгр.}$$

$$M_{4max} = \frac{P_4 \cdot l \cdot 100}{8} = \frac{4253,8 \times 2,18 \times 100}{8} = 115917 \text{ кгр. см.}$$

Из двух одинакового размера балок 1 и 2 рассчитываем 2-ю, как более нагруженную.

$$M_{2max} = \frac{P_2 \cdot l}{8}; P_2 = A_2 \cdot l' = 610,8 \times 2,45 = 1474,4 \text{ кгр.}$$

$$M_{2max} = \frac{P_2 \cdot l \cdot 100}{8} = \frac{1474,4 \cdot 2,18 \cdot 100}{8} = 40178 \text{ кгр. см.}$$

Переходим к подбору сечений.

Начнем с балки № 2; $M_{max} = 40178 \text{ кгр. см.}$

$$W = \frac{M_{max}}{\sigma} = \frac{40178}{1000} = 40,18 \text{ см.}^3$$

Берем швеллер № 14 русского норм. сортамента (см. (ч.) 16 текста).

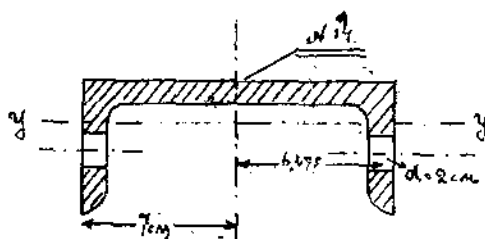
$$I_{brutto} = 624 \text{ см.}^4.$$

Диаметр всех заклепок шита берем $d = 2 \text{ см.}$

$$I_{\text{закл. отн. средн. линии}} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2 \times 1,05^3}{12} = 0,19 \text{ см.}^4 = 0,2 \text{ см.}^4$$

I' заклепок отн. нейтр. сечения =

$$= I + f \cdot r^2 = 0,20 + 2 \times 1,05 \times 6,475^2 = 88,25 \text{ см.}^4$$



Черт. 16.

Для 2-х заклепок $P = 2 \times 88,25 = 176,5 \text{ см.}^4$

$$I'_{netto} = 624 - 176,5 = 447,5 \text{ см.}^4$$

$$W_{netto} = \frac{447,5}{1} = 64,0 \text{ см.}^3;$$

$$n = \frac{M_{max}}{W} = \frac{40176}{64,5} = 628 \text{ кгр./см.}^2 < \text{допускаемого на изгиб.}$$

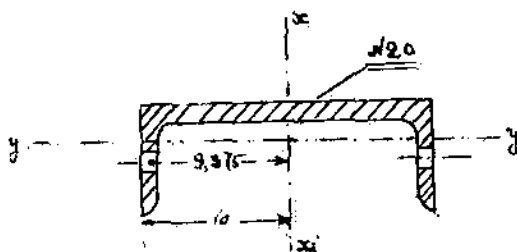
Балка 4-я.

$$W_4 = \frac{M_{max}}{n} = \frac{115917 \text{ кгр.}}{1000} = 115,9 \text{ см.}^3$$

Взял швеллер № 20 по норм. русскому сортаменту (см. черт. 17 текста).

$$I_{br.} = 2018 \text{ см.}^4$$

$$I_{\text{закл.}} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2 \times 1,25^3}{12} = 0,325 \text{ см.}^4$$



Черт. 17.

закл. отн. нейтр. оси сечения: $I + f \cdot r^2$.

$$= 0,325 + 2 \times 1,25 \times 9,375^2 = 220,3 \text{ см.}^4$$

Для 2-х заклепок: $2 \times I' = 2 \times 220,3 = 440,6 \text{ см.}^4$

$$I_{\text{netto}} = 2018 - 440,6 = 1577,4 \text{ см.}^4;$$

$$W = \frac{1577,4}{10} = 157,74 \text{ см.}^3$$

$$n = \frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{115917}{157,74} = 734,86 \text{ кгр./см.}^2 < \text{допускаемого на изгиб.}$$

Определим площадь сечения 4-х болтов, прикрепляющих балку № 6 к подшипникам.

Болты берем стальные; напряжение принимаем

$$\sigma = 800 \text{ кгр. см.}^2$$

Поперечная сила на опоре:

$$A = \frac{A_6 \times l'}{2} = \frac{1719,9 \times 2,45}{2} = 2106,8 \text{ кгр.}$$

Площадь сечения болтов:

$$\omega = \frac{2106,8}{800} = 2,63 \text{ см.}^2$$

Площадь сечения каждого болта:

$$\omega' = \frac{2,63}{4} = 0,66 \approx 1 \text{ см.}^2$$

Берем 4 болта, диаметром $d = 3/4'' = (1,95 \text{ см.})$.

Площадь сечения каждого болта будет: $\omega' = 2,83 \text{ см.}^2$

К горизонтальным балкам приклепываются стойки из уголков. Принимая во внимание только что рассмотренный выше расчет болтов, будет вполне достаточно разместить в каждой стойке по 1 заклепке (считая по одной горизонтали и принимая во внимание 5 стоек).

Число и размер болтов, прикрепляющих балку к верхним подшипникам, берем те же самые, что и у нижних подшипников.

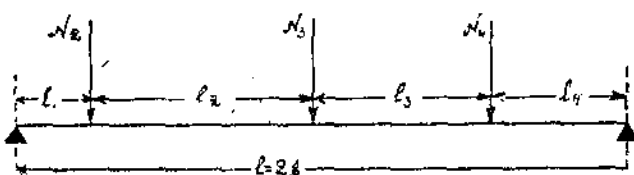
2) Расчет опорных стоек, расположенных по своей высоте между 1 и 5 горизонт. балками (см. ч. 18 текста).

Сила, действующая на каждую из стоек, от давления соответствующей горизонтальной балки N_2 , N_3 и N_4 будет:

$$P_{N_2} = \frac{A_2 P}{l_2} = \frac{691,8 \cdot 2,45}{2} = 737,2 \text{ кгp.}$$

$$P_{N_3} = \frac{A_3 P}{2} = \frac{1453,6 \cdot 2,45}{2} = 1786,76 \text{ кгp.}$$

$$P_{N_4} = \frac{A_4 P}{2} = \frac{1536,5 \cdot 2,45}{2} = 2126,92 \text{ кгp.}$$



Черт. 18.

Реакции опор будут:

$$N_1 l = P_{N_4} \cdot l_4 + P_{N_3} (l_4 + l_3) + P_{N_2} (l_4 + l_3 + l_2) = 2126,92 \cdot 0,61 + 1786,76 \cdot (0,61 + 0,80) + 737,2 \cdot (0,61 + 0,80 + 1,02) = 5608,148;$$

$$N_1 = \frac{5608,148}{2,8} = 2002,91 \text{ кгp.}$$

$$N_5 = 737,2 + 1786,76 + 2126,92 - 2002,91 = 2647,97 \text{ кгp.}$$

$$M_{max} = [N_5 \cdot (l_4 + l_3) - P_{N_4} \cdot l_3] \times 100 = \\ = [2647,97 \cdot 1,41 - 2126,92 \cdot 0,8] \cdot 100 = 203209,8 \text{ кгp. см.}$$

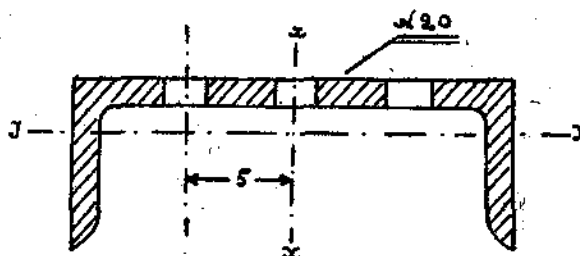
$$W = \frac{M_{max}}{n} = \frac{203209,8}{1000} = 203,21 \text{ см.}^3$$

Взят швеллер № 20 норм. русского сортамента (см. ч. 19 текста).

$$W_{br.} = 202 \text{ см.}^3; W_{закл.} = \frac{2 \times 2 \times 0,85 \times 5^2}{10} = 8,5 \text{ см.}^3$$

$$W_{net.} = 202 - 8,5 = 193,5 \text{ см.}^3$$

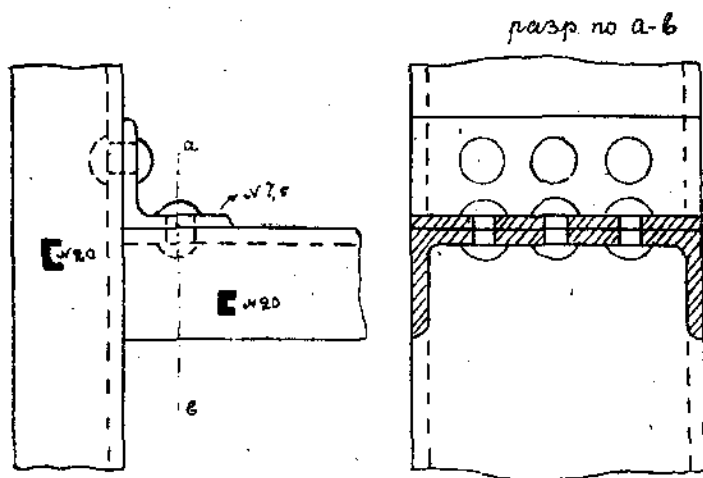
$$n = \frac{M_{max}}{W} = \frac{203209,8}{193,5} = 1051 \text{ кгp./см.}^2, \text{ что допустимо.}$$



Черт. 19.

Площадь сечения заклепок, прикрепляющих горизонтальные балки к опорным стойкам (см. ч. 20 текста).

$$Q = \frac{A}{\text{перезывание}} = \frac{2127}{800} = 2,66 \text{ см.}^2,$$



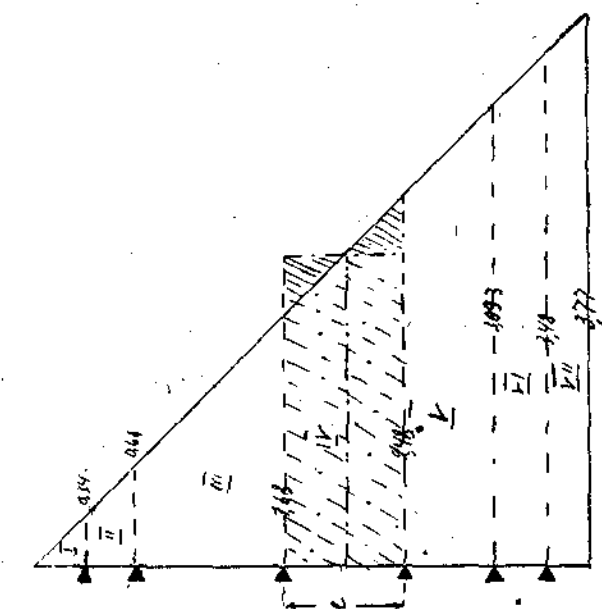
Черт. 20.

следовательно, трех заклепок, диаметром $d=2$ см. и общей площадью $3 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = f \approx 9,5 \text{ см.}^2$, будет вполне достаточно.

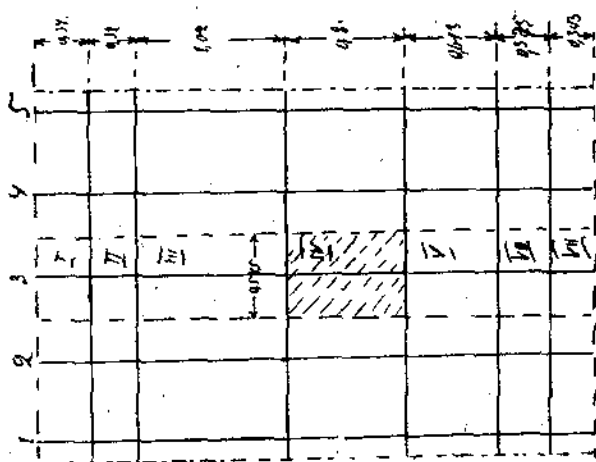
3) Расчет промежуточных стоек. (См. ч. 21 текста).

Стойки нагружены сплошной равномерно увеличивающейся книзу нагрузкой.

С достаточной точностью для практических целей, мы можем их рассматривать как балки, равномерно нагружен-



Черт. 21.



ные средней нагрузкой, равной горизонтальной стороне прямоугольника, равновеликого соответствующей грузовой площади (трапеции).

Для общности расчета, впоследствии укажем точные, хотя и более сложные, аналитический и графический способы расчета.

Стойки все нагружены более или менее одинаково; для расчета возьмем среднюю и определим M_{max} во всех секциях, кроме I и II, где нагрузки будут незначительны.

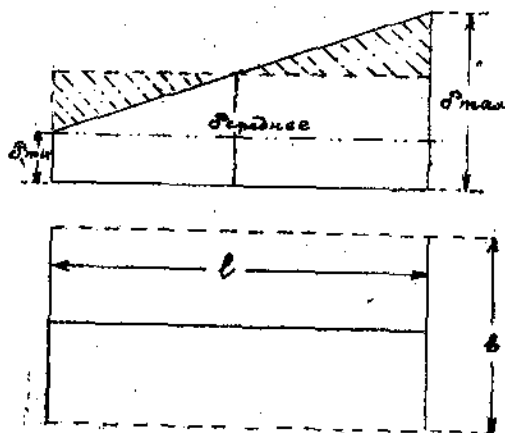
3,а. Расчет по среднему давлению (см. ч. 22 текста).

Начнем с III секции:

b = ширине распределения нагрузки на каждую балку =
= 0,545 мт.

l = длине балки в мт.

q = весу 1 мт.³ воды = 1000 кгр.



Черт. 22.

$$P_{ср. III} = b \cdot l \cdot \frac{h_{min} + h_{max}}{2} \cdot q = 0,545 \times 1 \times \frac{0,66 + 1,68}{2} \cdot 1000 = 637,65 \text{ кгр.}$$

$$M_{max, III} = \frac{l^2 \cdot 100}{8} = \frac{637,65 \times 1,02^2 \times 100}{8} = 8292,6 \text{ кгр. см.}$$

IV Секция.

$$P_{ср. IV} = b \cdot l \cdot \frac{h_{min} + h_{max}}{2} \cdot q = 0,545 \times 1 \times \frac{1,68 + 2,48}{2} \times 1000 = 1133,6 \text{ кгр.}$$

$$M_{max, IV} = \frac{P_{ср. IV} \cdot l^2 \cdot 100}{8} = \frac{1133,6 \times 0,8^2 \times 100}{8} = 9068,8 \text{ кгр. см.}$$

V Секция.

$$P_{\text{ср. v}} = b \cdot l \cdot \frac{h_{\text{min}} + h_{\text{max}}}{2} = 0,545 \times 1 \times \frac{2,480 + 3,093}{2} \times \\ \times 1000 = 1518,64 \text{ кгp}$$

$$M_{\text{max. v}} = \frac{P_{\text{v}} l^2 \cdot 100}{8} = \frac{1518,64 \times 0,613^2 \times 100}{8} = 7137,6 \text{ кгp. см.}$$

VI Секция.

$$P_{\text{ср. vi}} = b \cdot l \cdot \frac{h_{\text{min}} + h_{\text{max}}}{2} = 0,545 \times 1 \times \frac{3,093 + 3,468}{2} \times \\ \times 1000 = 1787,8 \text{ кгp.}$$

$$M_{\text{max. vi}} = \frac{P_{\text{vi}} l^2 \cdot 100}{8} = \frac{1787,8 \times 0,375^2 \cdot 100}{8} = 3142,7 \text{ кгp. см.}$$

VII Секция.

$$P_{\text{ср. vii}} = 0,545 \times 1 \cdot \frac{3,468 + 3,770}{2} \times 1000 = 1972,4 \text{ кгp.}$$

$$M_{\text{max. vii}} = \frac{P_{\text{vii}} l^2 \cdot 100}{8} = \frac{1972,4 \times 0,303^2 \times 100}{8} = 2268,3 \text{ кгp. см.}$$

Секция I и II, как незначительно нагруженные, вовсе не рассчитываем на том основании, что стойки снизу до верху по конструктивным соображениям берутся одинакового размера.

Наиболее нагруженной частью для стоек будет секция IV с $M_{\text{max}} = 9068,8 \text{ кгp. см.}$

Прежде, чем перейти к подбору сечения стойки, определим M_{max} для данной ее части аналитически и графически (IV секция).

3, в. Аналитический способ (см. ч. 23 текста).

Балку рассматриваем, как нагруженную равномерной нагрузкой 1) $p_1 = 9,156 \text{ кгp. на пог. см.}$ и 2) по треугольнику с $p_2 = 4,36 \text{ кгp. на пог. см.,}$

$$\text{где } P = p_1 \cdot l = 9,156 \times 80 = 732,48 \text{ кгp.}$$

$$\text{и } Q = \frac{p_2 l}{2} = \frac{4,36 \times 80}{2} = 174,4 \text{ кгp.}$$

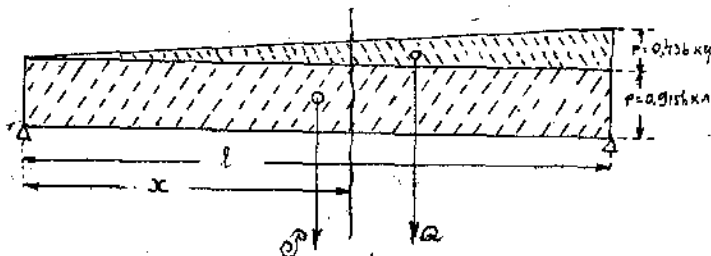
Определим положение опасного сечения M_{max} .

$$M_{max} = \frac{P}{2} x \left(1 - \frac{x}{l}\right) + \frac{Q}{3} x \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right).$$

Для определения расстояния x опасного сечения от левой опоры, берем первую производную от M_{max} и приравняем ее нулю.

$$\frac{dM}{dx} = \frac{P}{2} - \frac{P \cdot x}{l} + \frac{Q}{3} - \frac{Qx^2}{l^2} = 0; \quad \frac{Q}{l^2} x^2 + \frac{P}{l} x - \left(\frac{P}{2} + \frac{Q}{3}\right) = 0.$$

$$x = \frac{-\frac{P}{l} \pm \sqrt{\frac{P^2}{l^2} + 4 \frac{Q}{l^2} \left(\frac{P}{2} + \frac{Q}{3}\right)}}{2 \frac{Q}{l^2}}$$



Черт. 25.

или после упрощения:

$$x = \frac{-6Pl \pm l \sqrt{36P^2 + 24Q(3P + 2Q)}}{12Q},$$

$$x = \frac{-6 \times 732,48 \times 0,8 + 0,8 \sqrt{36 \times (732,48^2 + 24 \times 174,4(3 \cdot 732,48 + 2 \cdot 174,4))}}{12 \times 174,4},$$

отсюда:

$$(+) x_1 = 0,4127 \text{ мт.} = 41,27 \text{ см.}$$

$$(-) x_2 = 3,772 \text{ мт.}$$

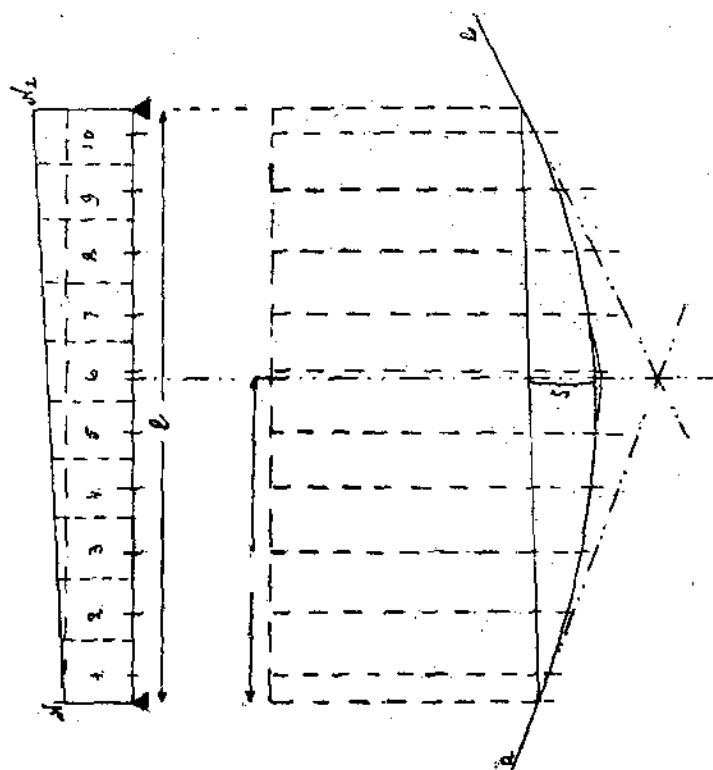
$$M_{max} = \frac{P}{2} x \left(1 - \frac{x}{l}\right) + \frac{Q}{3} x \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right) = \frac{732,48}{2} \times 41,27 \times \left(1 - \frac{41,27}{80}\right) + \left(\frac{174,4}{3} \times 41,27\right) \times \left(1 - \frac{41,27^2}{80^2}\right) = 9076 \text{ кгр. см.}$$

3,с. Графический способ (см. ч. 24 текста).

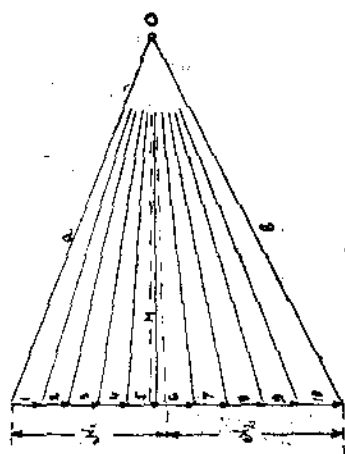
Принимаем:

1) γ = масшт. длин = 1 м/м. = 1 см.

1) μ = " сил = 1 м.м. = 20 кгр.



Черт. 24.



и DD' (перпендикулярная к OY) $\cdot DE = \frac{DE}{\sqrt{2}} = \frac{35}{141} = 2,48$ сант.

$$AE = AF + 2 = 0,5 + 1,41 = 0,71 \text{ сант.}$$

$$EO = AO - AE = 3,30 - 0,71 = 2,59 \text{ сант.}$$

$$DO = EO - DE = 2,59 - 2,48 = 0,11 \text{ сант.}$$

Расстояние OD — центра тяжести ослабленного сочления от O определится из соотношения: $15,11 \cdot x = 4 \cdot (x + 0,11) \cdot 10$ откуда $11,11 \cdot x = 0,44$; $x = 0,04$ сант. и расстояние центра тяжести D заделки от новой оси X — ов, проходящей через O' , равно $0,04 + 0,11 = 0,15$ сант. Проведа через точки D и K (на левой стороне ч. 25 текста) линии $UDRS$ и KLM параллельные OX и через точки J и L линии JL и KS перпендикулярные к OX , найдем, что

$$KM = JK \cdot \sqrt{2} = 1 \cdot \sqrt{2} = 1,41;$$

$$JL = KL = \frac{1}{2} KM = \frac{1}{2} \sqrt{2};$$

$$KS = \frac{KR}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2 \cdot 2} = \frac{1}{4} \sqrt{2};$$

центр тяжести N треугольника JKM находится от KM на расстоянии

$$LN = \frac{1}{3} JL = \frac{1}{6} \sqrt{2}$$

и от линии $UDRS$ на расстоянии

$$LN + KS = \frac{1}{6} \sqrt{2} + \frac{1}{4} \sqrt{2} = \frac{5}{12} \sqrt{2}.$$

Момент инерции треугольника JKM относительно оси, проходящей через N и параллельной OX , равен

$$\frac{1}{36} \cdot KM \cdot (JL)^3 = \frac{1}{36} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{8} \cdot 2 \sqrt{2} = \frac{2 \cdot 2}{36 \cdot 8} = \frac{1}{36 \cdot 2} = \frac{1}{72} \text{ сант.}^4,$$

и момент инерции этого же треугольника относительно оси $UDRS$ будет

$$\frac{1}{72} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{5}{12} \sqrt{2} \right)^2 = \frac{1}{72} + \frac{2 \cdot 25 \cdot 2}{4 \cdot 144} = \frac{1}{72} + \frac{25}{144} = \frac{27}{144} = \frac{3}{16} \text{ сант.}^4;$$

затем момент инерции параллелограмма $MKRU$ относительно оси UR будет

$$\frac{1}{3} \cdot UR \cdot KS^3 = \frac{1}{3} \cdot 4 \sqrt{2} \left(\frac{1}{4} \sqrt{2} \right)^3 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2}{3 \cdot 64} = \frac{4}{3 \cdot 64} = \frac{1}{3 \cdot 16} = \frac{1}{48} \text{ сант.}^4$$

и потому момент инерции трапеции $JKRU$ относительно оси UR будет равен

$$\frac{3}{16} + \frac{1}{48} = \frac{10}{48} = \frac{5}{24} \text{ сант.}^4$$

и момент инерции всей заклепки относительно оси, проходящей через ее центр тяжести D и параллельной OX будет

$$2 \cdot \frac{5}{24} = \frac{5}{12} = 0,417 \text{ сант.}^4$$

Момент инерции заклепки относительно оси, проходящей через D и параллельной OY , будет такой же. Момент инерции ослабленного сечения относительно оси $O'X'$ (параллельной OX) будет

$$\begin{aligned} I_x &= 35,8 + 15,11 \cdot (0,04)^2 - 2 \cdot [0,417 + 2 \cdot (0,15)^2] = \\ &= 35,800 + 0,024 - 2[0,417 + 0,045] = 35,824 - 2 \cdot 0,462 = \\ &= 35,824 - 0,924 = 34,9 \text{ сант.}^4, \end{aligned}$$

а момент инерции ослабленного сечения относительно оси OY определится в

$$\begin{aligned} I_y &= 138,6 - 2[0,417 + 2 \cdot (2,48)^2] = 138,6 - 2(0,417 + 12,250) \\ &= 138,6 - 2 \cdot 12,667 = 138,600 - 25,334 = 113,3 \text{ сант.}^4 \end{aligned}$$

Разлагая изгибающий момент для стойки равный 9068,7 км. сант. на два момента M_x и M_y , действующие в плоскостях перпендикулярных к $O'X$ и $O'Y$, получим

$$\begin{aligned} M_x = M_y &= \frac{9068,7}{\sqrt{2}} = \frac{9068,7}{1,41} = 6432 \text{ кил. сант.} \text{ Затем вычислим} \\ \frac{M_x}{I_x} &= \frac{6432}{34,9} = 184 \cdot \frac{\text{кил.}}{\text{санти.}^3} \\ \frac{M_y}{I_y} &= \frac{6432}{113,3} = 57 \cdot \frac{\text{кил.}}{\text{санти.}^3} \end{aligned}$$

Опустив из точек B и C перпендикуляры BB' и CC' на OY , получим:

$$\begin{aligned} x_1 &= BB' = AB' = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5,67 \text{ сант.}, \\ y_1 &= B'O = AB' - AO = 5,67 - 3,34 = 2,33 \text{ сант.} \\ x_2 &= CC' = GC' = \frac{7}{\sqrt{2}} = 4,96 \text{ сант.} \end{aligned}$$

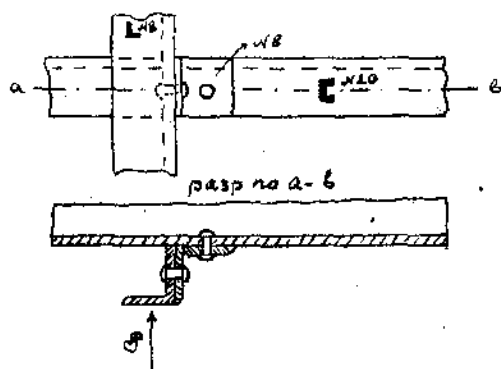
$$y_2 = C'O = B'O + \frac{1}{\sqrt{2}} = 2,33 + 0,71 = 3,04 \text{ сант.}$$

от моментов M_x и M_y в точках B и C получаются напряжения:

в точке B $184,2,33 + 57,5,67 = 428,72 + 323,19 = 752$ кил.
на кв. сант.

и в точке C $184,3,04 + 57,4,96 = 559,36 + 282,72 = 842$ кил.
на кв. сант.,

в точке же A получится значительно меньшее напряжение.

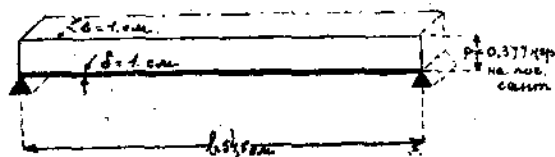


Черт. 26.

Уголки, прикрепляющие средние стойки к горизонтальным балкам (см. ч. 26 текста), подбираем по конструктивным соображениям на возможность разместить по одной заклепке $d=2$ см. Взял уголок № 8.

1) Расчет обшивки щита.

Так как обшивка щита приклепывается к вертикальным стойкам, не касаясь горизонтальных балок, то ее рассматри-



Черт. 27.

ваем, как балку равномерно нагруженную и опирающуюся на две опоры—промежуточные стойки. Для расчета вырезаем на глубине 3,77 м. в горизонтальном направлении свой шириной 1 см., длиной $l=54,5$ см. (м. ч. 27 текста).

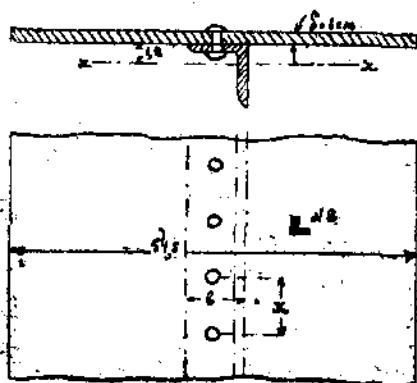
Равномерная нагрузка, приходящаяся на 1 пог. см. длины рассматриваемого слоя:

$$p = 1 \times 1 \times 377 = 377 \text{ гр.} = 0,377 \text{ кгр. на 1 пог. см.}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot l^2}{8} = \frac{0,377 \times 54,5^2}{8} = 139,97 = 140 \text{ кгр. см.}$$

Обшивка взята толщиной $\tau = 10 \text{ м/м.}$

$$n = \frac{M}{bh^2} = \frac{140}{\frac{11}{6}} = \frac{140}{1} = 840 \text{ кгр./см.}^2, \text{ что допустимо.}$$



Черт. 28.

Для заклепок, прикрепляющих обшивку к стойкам, принят шаг в 10 сант. (см. ч. 28 текста).

5) Расчет осей щита. (см. ч. 29 текста).

Полное давление на щит:

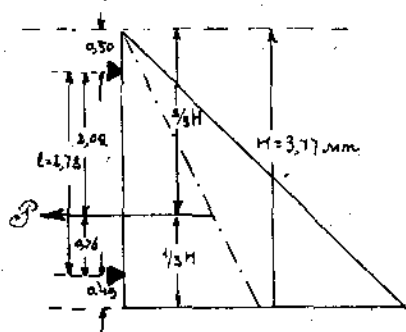
$$P = (Q \cdot b) = f \cdot b = \frac{3,77 \times 3,77}{2} \times 2,45 \times 1000 = 17410,8 \text{ кгр.}$$

На верхнюю ось по закону рычага передается давление (см. ч. 29 текста).

$$P_1 = \frac{P \cdot l^2}{l} = \frac{17410,8 \times 0,76}{2,78} = 4759,7 \text{ кгр.}$$

На нижнюю ось передается давление:

$$P_2 = \frac{P \cdot l_1}{l} = \frac{17410,8 \times 2,02}{2,78} = 12651,1 \text{ кгр.}$$



Черт. 29.

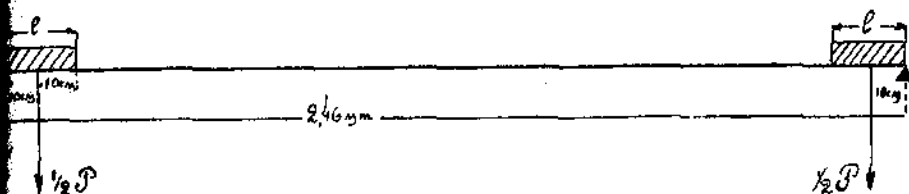
Для верхней оси (см. ч. 30 текста).

$$M_{max} = \frac{P_1 l}{4} = \frac{4759,7 \times 20}{4} = 23798,5 \text{ кг. см.}$$

$$W = \frac{M_{из}}{\sigma} ; \quad \frac{\pi d^3}{32} = \frac{23798,5}{1000} ;$$

откуда:

$$d = \sqrt[3]{\frac{23798,5}{1000 \cdot 0,098}} = 6,2 \text{ см.}; \text{ берем } d = 7 \text{ см.}$$



Черт. 30.

для нижней оси

$$M_{max} = \frac{P_2 l}{4} = \frac{12651,1 \times 20}{4} = 63255,5 \text{ кг. см.}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{63255,5}{0,098 \times 1000}} = 8,5 \text{ см.}, \text{ берем } d = 9 \text{ см.}$$

б) Расчет колес.

Из расчета осей имеем:

P_1 — давление на верхнюю пару колес = 4759,7 кл.

P_2 — " " нижнюю " " = 12651,1 "

Для расчета колес применяем формулу Герца

$$\sigma_a = 0,423 \sqrt{\frac{P \cdot E}{r \cdot b}},$$

где P — давление на пару колес

„ E — модуль упругости в тоннах на сантим.² = 2200
для стали,

„ r — рад. колеса в см.

„ b — ширина обоих колес в см.

„ σ — напряжение в тоннах на см.²

Для верхней пары колес имеем $r = 10,75$; $b = 10$ см.

$$\sigma = 0,423 \sqrt{\frac{4,7597 \cdot 2200}{10,75 \cdot 10}} = 4,17 = 004,2 \text{ т/см.}^2$$

Для нижней пары имеем: $r = 16,25$ см.; $b = 12,5$ см.

$$\sigma = 0,423 \sqrt{\frac{12,6511 \cdot 2200}{16,25 \cdot 12,5}} = 4,95 = 005 \text{ т/см.}^2$$

7) Подсчет веса щита.

обшивка	3,77.2,45.78 = 721
промежуточные стойка	10.3,77.11,86 = 447
опорные	2.2,8.25,05 = 140
ребра	4.2,45.25,05 = 245
„	2.2,45.16,42 = 80
верхняя ось	2,55.30,21 = 77
нижняя „	2,55.49,95 = 127
верхние подшипники	2.15 = 30
нижние „	2.25 = 50
верхние колеса	2.10 = 20
нижние „	2.15 = 30
на закрепочные головки, наклад-	
ки и прочее, около 50%	103
всего	2070 кил.

8) Расчет подъемной силы.

Подъемная сила равняется весу щита G , сложенному с силой P трения в подшипниках и колесах от давления воды.

Для определения P имеем формулу

$$P = \frac{Q(t + p \cdot r)}{R}$$

- где Q — давление воды, приходящ. на пару колес,
 „ $f = 0,055 - 0,1$ сант. коэф. трения качения колес,
 „ $\mu = 0,2$ коэф. трения в подшипниках,
 „ R — рад. колеса,
 „ r — рад. оси.

По ранее определенному нам известно:
 для верхней оси

$$Q = 4759,7 \text{ кл.}$$

$$d = 7 \text{ см.}$$

$$D = 21,5 \text{ см.,}$$

для нижней оси:

$$Q = 12651,1 \text{ кл.}$$

$$d = 9 \text{ см.}$$

$$D = 32,5 \text{ см.}$$

Откуда имеем:

$$P_1 \text{ верхн. оси} = \frac{4759,7 \cdot (0,1 + 0,2 \cdot 3,5)}{10,75} = 354,2 \text{ кгр.}$$

$$P_2 \text{ нижн. оси} = \frac{12651,1 \cdot (0,1 + 0,2 \cdot 4,5)}{16,25} = 778,5 \text{ кгр.}$$

Следовательно, для подъема щита необходима сила:

$$P = G + P_1 + P_2 = 2070,0 + 354,2 + 778,5 = 3203 \text{ кгр.}$$

9) Расчет напряжений от собственного веса затвора.

Приняв, что каждое ребро вместе с соответственной долей промежуточных стоек и обшивки изгибается от собственного веса независимо от прочих ребер, получим для четвертого ребра при его весе $26,6 \cdot 2,45 = 65$ кл.; половине веса 5 стоек в двух смежных пролетах

$$5 \cdot \frac{0,80 + 0,61}{2} \cdot 11,9 = 5 \cdot 0,7 \cdot 11,9 = 3,5 \cdot 11,9 = 42 \text{ кл.}$$

и половине веса обшивки в этих же пролетах

$$2,45 \cdot 0,7 \cdot 78 = 1,715 \cdot 78 = 134 \text{ кл.}$$

наибольший изгибающий момент посредине ребра

$$(65 + 42 + 134) \frac{245}{8} = \frac{241 \cdot 245}{8} = 7380 \text{ кл. сант.}$$

Затем, так как площадь швеллера № 20 равна 33,9 сант.², а площадь двух заклепок $2 \cdot 1,25 \cdot 2 = 5,0$ сант.², расстояние центра тяжести швеллера от подошвы его основания = 2,1 Сант. а расстояние центра тяжести заклепок от этой же линии = 3,7 сант., то положение центра тяжести ослабленного сечения определится из соотношения:

$$(33,9 - 5,0) x = 33,9 \cdot 2,1 - 5 \cdot 3,7, \text{ или}$$

$$28,9 x = 71,19 - 18,50 = 52,69, \quad x = \frac{52,69}{28,9} = 1,8 \text{ сант.}$$

момент инерции ослабленного сечения относительно горизонтальной оси будет

$$159,2 + 33,9 (2,1 - 1,8)^2 - 5 \cdot (3,7 - 1,8)^2 \\ = 159,2 + 3,1 - 18,1 = 144,2 \text{ сант.}^4$$

и так как расстояние наиболее удаленного волокна от нейтральной оси = $7,5 - 1,8 = 5,7$ сант., то дополнительное напряжение в ребре от собственного веса будет

$$\frac{7380}{144,2} \cdot 5,7 = 292 \text{ кил. на кв. сант.}$$

В действительности напряжение от собственного веса будет меньше, потому что отдельные части затвора довольно жестко соединены одна с другой и затвор от действия собственного веса будет изгибаться, в некоторой степени как одно целое. (Большая часть приведенного выше расчета выполнена под руководством К. В. Попова).

Расчет плотинного затвора системы Стоя, представленного на ч. 50.

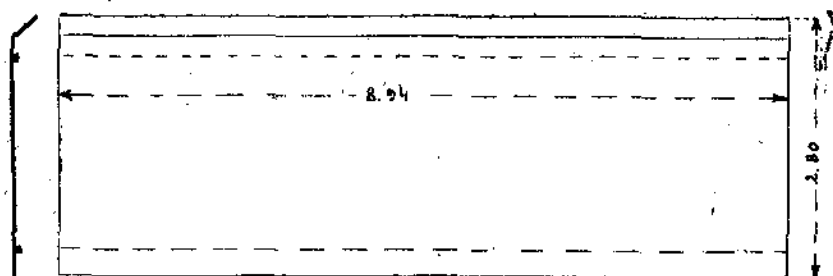
$$\text{Высота } H = 2,80 \text{ мт.}$$

$$\text{Ширина } b = 8,94 \text{ „}$$

Как обычно, при определении расчетной высоты напора воды, не принимаем во внимание ее противодействия с стороны низовой.

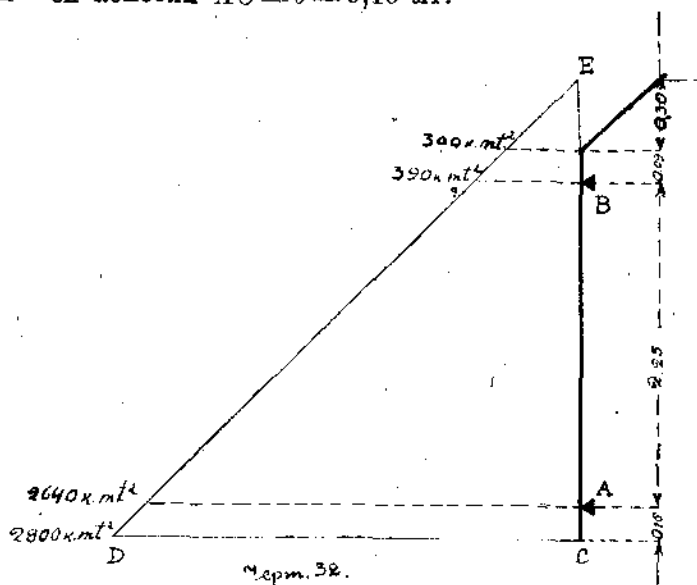
Наклонная часть щита, кроме горизонтального давления воды, испытывает также и вертикальное, равное весу находящейся над ней призмы воды. В видах упрощения расчета этого вертикального давления учитывать не будем.

Схематический разрез щита представляется таким (см. ч. 31 текста): общая высота щита $H=2,80$ мт., следовательно нижняя часть щита испытывает давление в 2800 кгр. на квадратный метр.



Черт. 31.

Горизонтальные балки—ребра A и B (см. ч. 32 текста) испытывают давление, равное реакциям опор A и B консольной балки CE , подверженной действию нагрузки с интенсивностью, изменяющейся по закону треугольника. Средний пролет AB рассматриваемой консольной балки $l=2,25$ мт., верхняя консоль $BE=a=0,09+0,30=0,39$ мт., величина же нижней консоли $AC=b=0,16$ мт.



Расстояние от направления равнодействующей давления до опоры A

$$h_A = \frac{a + l + b}{3} \cdot b = \frac{1}{3}(a + l + 2b) = \frac{1}{3}(0,39 + 2,25 + 2 \cdot 0,16) = \\ = 0,773 \text{ мт.},$$

а до опоры B

$$h_B = \frac{2}{3}(a + l + b) - a = \frac{1}{3}(2l + 2b - a) = \frac{1}{3}(2 \cdot 2,25 + 2 \cdot 0,16 - \\ - 0,39) = 1,477 \text{ мт.}$$

Взяв моменты относительно точек A и B равнодействующей давления воды, соответствующей площади треугольника CDE , определим реакции опор A и B .

$$P = \frac{1}{2} \cdot 2800 \cdot 2,8 = 3920 \text{ кгр. на 1 мт. ширины.}$$

$$2,25B = 3920 \cdot 0,773;$$

$$B = \frac{3920 \cdot 0,773}{2,25} = 1346,7 \text{ кгр.}$$

$$2,25A = 3920 \cdot 1,477;$$

$$A = \frac{3920 \cdot 1,477}{2,25} = 2573,3 \text{ кгр.}$$

Округленно принимаем $B = 1347$ кгр., $A = 2573$ кгр. Эти величины реакций, выражающие интенсивность нагрузки на верхнюю (B) и нижнюю (A) двутавровые балки, — в килогр. на погонный метр их длины — позволят определить размеры этих балок.

1) Расчет горизонтальных балок и обшивки.

Полная нагрузка, воспринимаемая верхней балкой.

$$Q_1 = 1347 \cdot 8,94 = 12042 \text{ кгр.}$$

Наибольший изгибающий момент в середине балки

$$M_{\text{max}} = \frac{Q_1 l}{8} = \frac{12042 \cdot 894}{8} = 1345694 \text{ кгр. см.}$$

Необходимый момент сопротивления:

$$W_{\text{нужн}} = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{доп.}}} = \frac{1345694}{1000} = 1346 \text{ см.}^3$$

Выбираем двутавровое железо № 42 $\frac{1}{2}$ по нормальному германскому сортаменту, для которого $W_x = 1740 \text{ см.}^3$ В рабочую площадь сечения балки введем также часть обшивки, шириною 16,3 см., равную ширине полки балки. Для этого определим сначала толщину обшивки, пользуясь формулой Бази. Для расчета выделяем часть обшивки, ограниченную двумя вертикальными балками, соединительным швом между верхней и нижней частями обшивки и снизу — двутавровой балкой. Размеры выделенной части таковы:

$$\begin{aligned} \text{высота } a &= 109 \text{ см.,} \\ \text{ширина } b &= 74,5 \text{ см.,} \end{aligned}$$

высота воды над верхним краем рассматриваемой части обшивки $h = 155 \text{ см.}$

Тогда толщина обшивки

$$\begin{aligned} c &= 0,1 + 0,0005ab \sqrt{\frac{2h+a}{a^2+b^2}} = 0,1 + 0,0005 \cdot 109 \cdot 74,5 \cdot \\ &\sqrt{\frac{2 \cdot 155 + 109}{109^2 + 74,5^2}} = 0,1 + 4,0603 \cdot \sqrt{\frac{419}{17431}} = 0,1 + 4,0603 \cdot \sqrt{0,0244} = \\ &= 0,1 + 0,65 \text{ см.} = 0,75 \text{ см.,} \text{ принимаем } e = 10 \text{ м/м.} \end{aligned}$$

Произведем теперь проверку напряжений; находим координату центра тяжести рабочего сечения балки, приняв в нее часть обшивки, шириною в 16,3 см. = ширине полки,

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{16,3 \cdot 1 \cdot 21,75}{16,3 + 132} = \frac{354,5}{148,3} = 2,39 \text{ см.,} \\ I_{x1}(br) &= 36973 + (16,3 \cdot 21,75^2 + \frac{16,3 \cdot 1^3}{12}) = 44685 \text{ см.}^4, \\ I_{x0}(br) &= 44685 - 148,3 \cdot 2,39^2 = 43840 \text{ см.}^4, \end{aligned}$$

ослабление заклепками

$$\begin{aligned} I_{x1} &= 2 \cdot 3,3 \cdot 1,8 \cdot 20,6^2 + 2 \cdot 2,3 \cdot 1,8 \cdot 20,1^2 + 2 \cdot 1,53 \cdot 1,8 \cdot 11,35^2 + \\ &+ 2 \cdot 1,53 \cdot 1,8 \cdot 3,75^2 = 5041 + 3345 + 709 + 77 = 9172 \text{ см.}^4 \\ I_{x0} &= 9172 - 31,18 \cdot 2,39^2 = 9172 - 178 = 8994 \text{ см.}^4 \\ I(\text{netto}) &= 43840 - 8994 = 34846 \text{ см.}^4 \end{aligned}$$

Наибольшее напряжение в волокне, удаленном от нейтральной оси на $y = 23,64 \text{ см.}$

$$\sigma_{max} = \frac{My}{I_{netto}} = \frac{1345694 \cdot 23,64}{34846} = 913 \text{ км./см.}^2 < 1000.$$

Если же в рабочее сечение вовсе не вводить обшивки, то мы получим:

$$I_o'(br) = 36973 \text{ см.}^4, I_o' \text{ закл.} = 7477 \text{ см.}^4$$

$$I_o' \text{ netto} = 36973 - 7477 = 29496 \text{ см.}^4$$

$$W \text{ netto} = \frac{29496}{21,25} = 1388 \text{ кгр./см.}^3$$

$$n = \frac{1345694}{1388} = 970 \text{ кгр. см.}^2 < 1000 \text{ кгр. см.}^2$$

Полная нагрузка на нижнюю балку:

$$Q_2 = Al = 2573.8,94 = 23003 \text{ кгр.}$$

Наибольший изгибающий момент в середине балки:

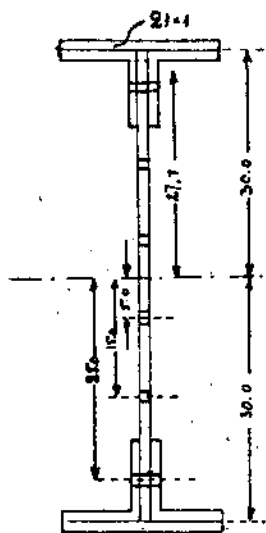
$$M_{2 \text{ max}} = \frac{Q_2 l}{8} = \frac{23003.891}{8} = 2570585 \text{ кгр. см.,}$$

необходимый момент сопротивления

$$W_{\text{netto}} = \frac{M_{2 \text{ max}}}{n \text{ доп.}} = \frac{2570585}{1000} = 2571 \text{ см.}^3$$

Сечение двутавровой клепаной балки для этого случая составляем из вертикальной стенки, высотой 60 см., толщиной 1 см., 4 равнобоких уголков, 10.10.1,2 см., и двух поясных листов, 21.1 см. (один из них, как и раньше, является выделенной частью обшивки). Один поясной лист мы не будем продолжать во всю длину, а оборвем, где это позволит сделать величина изгибающего момента.

Полное рабочее сечение (см. ч. 33 текста).



Черт. 33.

$$I_{br} = 2 \cdot \left[\frac{21 \times 1^3}{12} + 21 \cdot 30,5^2 \right] (\text{поясн. л.}) + \frac{1 \cdot 60^3}{12} (\text{стенка}) + 4 \cdot$$

$$(206,4 + 22,73 \cdot 27,1^2) (\text{уголки}) = 2 \cdot [2 + 19535] + 18000 + 4 \cdot$$

$$[206,4 + 16693] = 39074 + 18000 + 67598 = 124672 \text{ см.}^4$$

Ослабление заклепками (диаметр $d = 18$ м/м.) — 4 заклепки в поясных листах и 6 заклепочных отверстий в стенках балки.

$$I_{\text{закл.}} = 4 \cdot 2,2 \cdot 1,8 \cdot 29,9^2 + 2 \cdot 3,4 \cdot 1,8 \cdot 25,0^2 + 2 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 15,0^2 + 2 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 5,0^2 = 14161 + 7650 + 810 + 90 = 22711 \text{ см.}^4$$

$$I_{\text{netto}} = 124672 - 22711 = 101961 \text{ см.}^4$$

$$W_{\text{netto}} = \frac{101961}{31} = 3289 \text{ см.}^3 > 2571 \text{ см.}^3$$

Наибольшее нормальное напряжение в середине балки

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{netto}}} = \frac{2570585}{3289} = 782 \text{ кгр./см.}^2$$

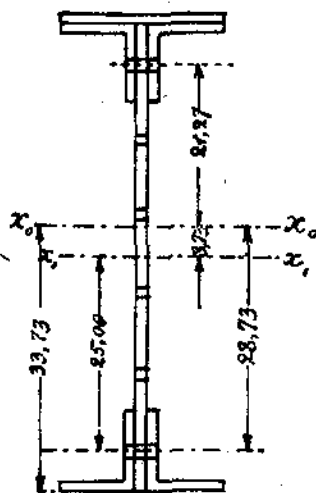
Определяем процентную неточность подбора сечения.

$$k = \frac{3289 - 2571}{2571} \cdot 100 = 28\%$$

Несмотря на эту как бы большую неточность, на данном сечении мы и останавливаем свой выбор.

Дело в том, что при расчете не принимался во внимание собственный вес всей конструкции; вес же щита больше всего действует на рассматриваемую балку, что и заставляет нас сохранить подобранное сечение. Определим теперь то расстояние x от опоры, на котором, считая от последней, сечение балки может быть ослаблено удалением 1 поясного листа 21.1 см. Для этого определим момент инерции ослабленного сечения.

Расстояние от старой нейтральной оси до нейтральной оси ослабленного сечения (см. ч. 34 текста).



Черт. 34.

$$y_0 = \frac{30,5 \cdot 21,1}{21 + 60 + 4 \cdot 22,73} = \frac{640,5}{171,92} = 3,73 \text{ см.}$$

Момент инерции сечения относительно старой оси:

$$I_{x1} = \left[\frac{21.1^3}{12} + 21.30,5^2 \right] + \frac{1.60^3}{12} + 4 \cdot (206,4 + 22,73 \cdot 27,1) = \\ = 19537 + 18000 + 67598 = 105135 \text{ см.}^4$$

Момент инерции относительно нейтральной оси (*brutto*)

$$I_{x0} = I_{x1} - \omega y_0^2 = 105135 - 171,92 \cdot 3,73^2 = 105135 - 2391 = \\ = 102744 \text{ см.}^4$$

Ослабление заклепками:

$$I_{x1} \text{ закл.} = 2 \cdot 2,2 \cdot 1,8 \cdot 29,9^2 + 2 \cdot 1,2 \cdot 1,8 \cdot 29,4^2 + 2 \cdot 3,4 \cdot 1,8 \cdot 25^2 + \\ + 2 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 15^2 + 2 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 5^2 = 7080 + 3734 + 7650 + 810 + 90 = \\ = 19364 \text{ см.}^4$$

Площадь заклепочных отверстий:

$$\omega_1 = (2 \cdot 2,2 + 2 \cdot 1,2 + 2 \cdot 3,4 + 4 \cdot 1) \cdot 1,8 = 31,68 \text{ см.}^2$$

$$I_{x0} \text{ закл.} = 19364 - 31,68 \cdot 3,73^2 = 19364 - 440 = 18924 \text{ см.}^4$$

$$I_{x0} \text{ netto} = 102744 - 18924 = 83820 \text{ см.}^4$$

$$W_{x0} \text{ netto} = \frac{83820}{33,73} = 2485 \text{ см.}^3 < 2571 \text{ см.}^3$$

Сечение балки с моментом сопротивления $W_{\text{netto}} = 2485 \text{ см.}^3$ будет пригодно только для той ее части, где величина изгибающего момента не превосходит $M = W_{\text{netto}} \cdot R = 2485 \cdot 1000 = 2485000 \text{ кгс. см.}$

Определим расстояние от опоры, где $M_x = 2485000 \text{ кгс. см.}$
Общее уравнение момента равномерно нагруженной балки

$$M_x = \frac{pl}{2} x - \frac{p}{2} x^2;$$

следовательно, для нашего случая:

$$2485000 = \frac{25,73 \cdot 894 \cdot x}{2} - \frac{25,73 \cdot x^2}{2}; \quad x^2 - 894x + 193160 = 0;$$

$$x = 447 \pm \sqrt{447^2 - 193160} = 447 \pm 82; \quad x_1 = 365 \text{ см.}, \quad x_2 = 529 \text{ см.}$$

Следовательно, на расстоянии 365 см. от опоры надобности в одном листе 21.1 см. не имеется. Этим расстоянием определяется теоретическое место обрыва поясного листа. Дей-

ствительное же место обрыва приближается к опорам на величину полунакладки стыка этого листа (Патон., „Железные мосты“, т. I, гл. X, § 98). Рабочая площадь обрываемого листа, за вычетом 2 заклепок,

$$d = 1,8 \text{ см.}, \omega_{\text{netto}} = 21,1 - 2 \cdot 1,1 \cdot 1,8 = 21,0 - 3,6 = 17,4 \text{ см.}^2$$

Число заклепок

$$n = \frac{\omega_{\text{netto}}}{0,8 \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{17,4}{0,8 \frac{\pi \cdot 1,8^2}{4}} = 8,5 \text{ закл.} \approx 10$$

Расстояние между заклепками $3d = l_1 = 3 \cdot 1,8 = 5,4 \text{ м/м.} \approx 5 \text{ см.}$ Расстояние от последней пары заклепок до края листа

$$= 1,5 = 1,5 \cdot 1,8 = 3 \text{ см.}$$

Теоретическая длина поясного листа

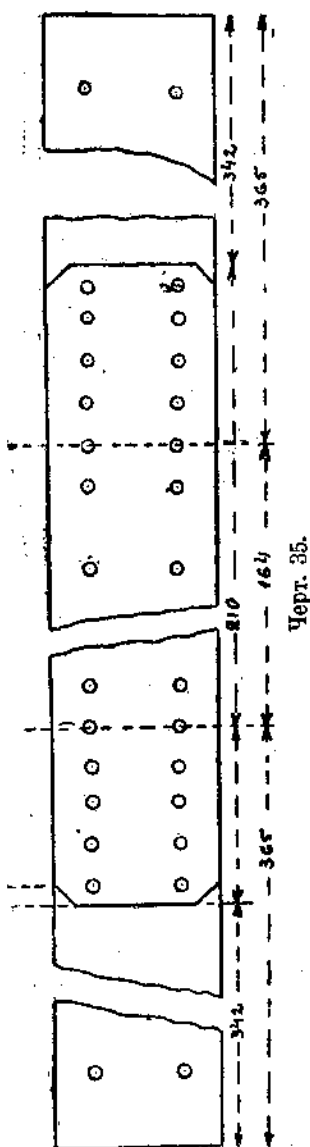
$$l_1 = x_2 - x_1 = 529 - 365 = 164 \text{ см.},$$

благодаря же заклепочным соединениям (5 пар заклепок на расстоянии 50 м/м.), длина листа с каждой стороны увеличивается на $5,04 + 3 = 23 \text{ см.}$, следовательно, истинная длина листа $l = l_1 + 23 \cdot 2 = 164 + 46 = 210 \text{ см.}$, что поясняется чертежом (см. ч. 35 текста).

В месте теоретического обрыва поясного листа произведем проверку на косые нормальные и касательные напряжения для волокна на расстоянии 28,73 см. от нейтральной оси. Величина изгибающего момента в месте теоретического обрыва поясного листа

$$M_{365} = \frac{1}{2} \cdot 25,73 \cdot 894 \cdot 365 - \frac{1}{2} \cdot 25,73 \cdot 365^2 = 2484039 \text{ игр. см.}$$

5*



Статический момент половины сечения с парой уголков и частью стенки ниже заклепочного отверстия $S = 2 \cdot [27,1 + 3,73] \cdot 22,73 + 4,1 \cdot 31,68 = 2 \cdot 22,73 \cdot 30,83 + 130 = 1432 \text{ см.}^3$
Нормальное напряжение на уровне оси заклепки, прикреляющей уголки к стенке:

$$n = \frac{Mg}{I_{\text{netto}}} = \frac{2484039 \cdot 28,73}{83820} = 852 \text{ кгp./см.}^2$$

Касательное напряжение

$$t = \frac{Q \cdot S}{Ib} \cdot \frac{e}{e-d}$$

Поперечная сила

$$Q = \frac{23003}{2} - 2573 \cdot 3,65 = 2110 \text{ кгp.}$$

Шаг заклепок заранее принимаем $e = 10 \text{ см.}$, тогда касательное напряжение

$$t = \frac{2110 \cdot 1432}{102744 \cdot 1} \cdot \frac{10}{10 - 1,8} = 36 \text{ кгp./см.}^2,$$

наибольшее косое нормальное напряжение:

$$n' = \frac{n}{2} + \sqrt{\frac{n^2}{4} + t^2} = \frac{852}{2} + \sqrt{\frac{852^2}{4} + 36^2} = 853 \text{ кгp./см.}^2, \\ < 1000 \text{ кгp./см.}^2,$$

наибольшее косое касательное напряжение:

$$t' = \sqrt{\frac{n^2}{4} + t^2} = \sqrt{\frac{852^2}{4} + 36^2} = 427 \text{ кгp./см.}^2 < 800 \text{ кгp. см.}^2,$$

наибольшее же нормальное напряжение:

$$n_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{netto}}} = \frac{2484039}{2485} = 999,7 \text{ кгp./см.}^2 < 1000 \text{ кгp. см.}^2$$

Определим теперь шаг поясных заклепок. Касательная сила, приходящаяся на единицу длины балки около опоры, стремящаяся сдвинуть поясной лист и уголки со стенки $T = \frac{QS}{I}$, где Q — поперечная сила на опоре, S — статический момент двух уголков и листа.

Находим момент инерции (*brutto*) сечения с высотой стенки $h = 41,5 \text{ см.}$, так как по конструктивным соображе-

Из второго неравенства:

$$a < \frac{1,8 \cdot 1}{279} \cdot 2000; a < 12,9 \text{ см.}$$

Третье неравенство дает предел:

$$a > \frac{1,8}{1 - \frac{279}{1.800}}; a > 2,9 \text{ см.}$$

На основании всех этих неравенств принимаем шаг в 10 см. Поверим далее скалывающие напряжения у опор балки

$$t = \frac{QS}{I_{xb}} \cdot \frac{e}{e - d},$$

где S — статический момент поперечного сечения на опоре (*brutto*).

$$S = 2 \cdot 22,73 \cdot 14,94 + 21 \cdot 1 \cdot 18,34 + 17,84 \cdot 1 \cdot 8,92 = \\ = 679 + 385 + 159 = 1223 \text{ см.}^3$$

$$t = \frac{11502 \cdot 1223}{43936 \cdot 1} \cdot \frac{10}{10 - 1,8} = 390 \text{ кгр./см.}^2,$$

что менее допускаемого напряжения на скалывание $R_t = 0,8R = 800 \text{ кгр. см.}^2$

2) Расчет стоек.

Стойки доходят до полки верхних и нижних горизонтальных балок двутаврового сечения, тем не менее, при расчете полагаем, что длина их равна расстоянию между центрами тяжести сечения двутавровых балок, т. е. $l = 2,25 \text{ мт.} = 225 \text{ см.}$

Истинная же длина их:

$$l = 225 - \left[10,5 + \frac{16,3}{2} \right] = 225 \text{ см.} - 18,65 = 206,4 \text{ см., где } 10,5 -$$

расстояние от края уголка (10.10.1,2) до оси, проходящей через центр тяжести сечения нижней балки, а величина $\frac{16,3}{2}$ — половина ширины полки верхней двутавровой балки № 42,5.

Трапецию давления воды разбиваем на составляющие ее прямоугольник и треугольник (см. ч. 37 текста). Определим величину каждого составляющего давления на часть

щита, шириною 0,745 мт.
(расстояние между вертикальными стойками).

Величина нагрузки прямоугольником:

$$p_1 = 390 \cdot 2,25 \cdot 0,75 = 654 \text{ кгр.}$$

Нагрузка треугольником:

$$p_2 = (2640 - 390) \cdot \frac{2,25}{2} \cdot 0,75 = 1886 \text{ кгр.}$$

Под действием равномерно распределенной нагрузки, общим весом p_1 , балка подвергаетсягибающему моменту

$$M'_x = \frac{p_1 x}{2} \left(1 - \frac{x}{l}\right).$$

Найдем также общее выражение момента в случае распределения нагрузки по закону треугольника (см. ч. 38 текста). Пусть интенсивность нагрузки на опоре A — p кгг. на пог. метр, величина пролета $= l$.

Величина всей нагрузки:

$$p_2 = \frac{1}{2} p l,$$

опорные реакции:

$$A = \frac{2}{3} p_2, \quad B = \frac{1}{3} p_2,$$

а момент в расстоянии x от опоры B :

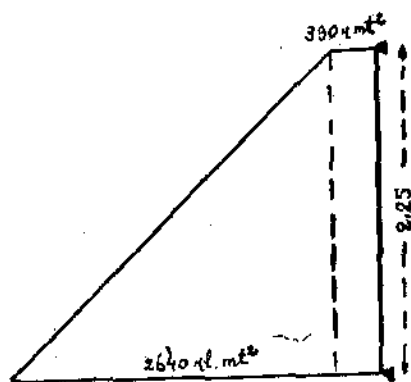
$$M''_x = Bx - \left[\frac{1}{2} p_x \right] \frac{x}{3}.$$

Величину p_x определяем из отношения

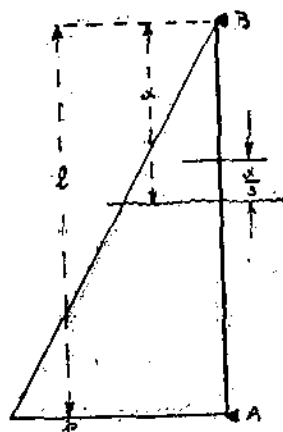
$$\frac{p_x}{p} = \frac{x}{l}, \quad p_x = \frac{px}{l}.$$

Тогда

$$M''_x = \frac{p_2}{3} x - \left[\frac{1}{2} \frac{px}{l} \right] \frac{x}{3}, \quad p = \frac{p_2}{l/2} = \frac{2p_2}{l}.$$



Черт. 37



Черт. 38.

Следовательно:

$$M''_x = \frac{p_2 x}{3} - \frac{1}{2} \cdot \frac{2p_2 x^2}{l} \cdot \frac{x}{3} = \frac{p_2 x}{3} \left[1 - \frac{x^2}{l^2} \right].$$

Суммарная же величина момента в любом сечении при одновременном действии обеих нагрузок.

$$M_x = M'_x + M''_x = \frac{p_1 x}{2} \left(1 - \frac{x}{l} \right) + \frac{p_2 x}{3} \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right).$$

Подставляя значения p_1 и p_2 , находим максимальный изгибающий момент:

$$M_x = \frac{654x}{2} \left[1 - \frac{x}{225} \right] + \frac{1886x}{3} \left[1 - \frac{x^2}{225^2} \right] = 955,7x - 1,453x^2 - 0,01242x^3.$$

$$\frac{dM_x}{dx} = -3,0,01242x^2 - 2,1,453x + 955,7 = 0,03726x^2 + 2,906x - 955,7 = 0,$$

$$x = \frac{-2,906 \pm \sqrt{2,906^2 + 4 \cdot 0,03726 \cdot 955,7}}{2 \cdot 0,03726} = \frac{2,906 \pm 12,283}{0,07452},$$

$$x = \frac{12,283 - 2,906}{0,07452} = \frac{9,377}{0,07452} = 126 \text{ см.}$$

Величина наибольшего изгибающего момента

$$M_{\max} = 955,7 \cdot 126 - 1,453 \cdot 126^2 - 0,01242 \cdot 126^3 = 120418 - 23068 - 24845 = 72505 \text{ кгр. см.}$$

Для данного $M_{\max}$ необходим момент сопротивления

$$W_{\text{netto}} = \frac{72505}{1000} = 73 \text{ см.}^3$$

По русскому нормальному сортаменту выбираем профиль корытного железа № 16 с моментом инерции $I = 954 \text{ см.}^4$ и $W = 119 \text{ см.}^3$ (см. ч. 39 текста).

Вводим ослабление 2 заклепками в полках, как показано на чертеже,

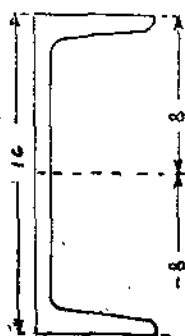
$$I_{\text{закл.}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 1,1 \cdot 7,45^2 = 220 \text{ см.}^4$$

$$I_{\text{netto}} = 954 - 220 = 734 \text{ см.}^4$$

$$W_{\text{netto}} = \frac{734}{8} = 92 \text{ см.}^3 > 73 \text{ см.}^3$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{72505}{92} = 788 \text{ кгр./см.}^2 < 1000 \text{ кгр./см.}^2$$



Черт. 39.

По второму способу рассчитываем данную стойку, как балку, закрепленную своими концами и, для простоты расчета, загруженную равномерной нагрузкой средней для пролета интенсивности.

Полный вес этой нагрузки

$$P = p_1 + p_2 = 654 + 1886 = 2540 \text{ кгр.}$$

Тогда наибольший по абсолютной величине изгибающий момент на опоре:

$$M_{\text{max}} = \frac{Pl}{12} = \frac{2540 \cdot 225}{12} = 47625 \text{ кгр. см.}$$

и напряжение в этом случае:

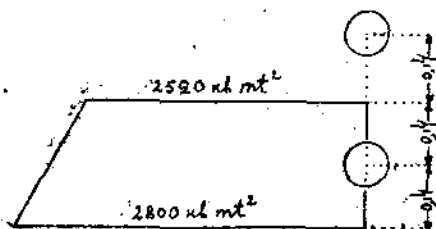
$$n' = \frac{47625}{92} = 518 \text{ кгр./см.}^2$$

В действительности же способ закрепления балки занимает некоторое среднее положение между двумя разобранными нами случаями, т.-е. можно считать, что стойка не вполне закреплена своими концами.

Тогда среднее напряжение:

$$n \text{ ср.} = \frac{1}{2}(n + n') = \frac{1}{2}(788 + 518) = 653 \text{ кгр./см.}^2$$

Для большей тяжести всей конструкции, напряжения в вертикальных стойках не повышаем, а все стойки делаем из корытного железа № 16. Шаг заклепок, связывающих обшивку с вертикальными стойками, оставляем равным шагу поясных заклепок нижней горизонтальной двутавровой клепаной балки $l = 10 \text{ см.}$



Черт. 40.

3) Расчет катков.

Расчет катков, воспринимающих давление воды, ведем как расчет таковых для мостовых опор, исходя из наибольшего усилия, воспринимаемого нижней парой катков. Полагаем, что на каждой стороне щита находится 10 катков

на расстоянии h один от другого, нижние же катки отстоят от дна шлюза на величину $\frac{h}{2}$. (см. ч. 40 текста).

В этом случае:

$$\frac{H}{10} = h = \frac{280}{10} = 28 \text{ см.} = 0,28 \text{ мт.}$$

$$\frac{h}{2} = \frac{28}{2} = 14 \text{ см.} = 0,14 \text{ мт.}$$

Давление, воспринимаемое парой нижних катков:

$$2P = \frac{1}{2} \cdot (2800 + 2520) \cdot 0,288,94 = 6659 \text{ кгр.}$$

На каждый же каток передается

$$P = \frac{6659}{2} = 3329 \text{ кгр.}$$

Задаемся размерами катка, принимая длину его $l = 20$ см., $d = 10$ см., и производим проверку по формуле Гертца. Напряжение в месте соприкосновения катка с плоскостью качения:

$$\delta = 0,598 \sqrt{\frac{p}{r} \cdot \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}},$$

где p — нагрузка на единицу длины катка,

r — радиус катка в см.,

E_1 и E_2 — модули упругости материалов катка и плоскости качения,

т.-е.

$$p = \frac{P}{l} = \frac{3329}{20} = 166 \text{ кгр.} = 0,166 \text{ тонн.},$$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ см.},$$

$$E_1 = 2150 \text{ для литого железа,}$$

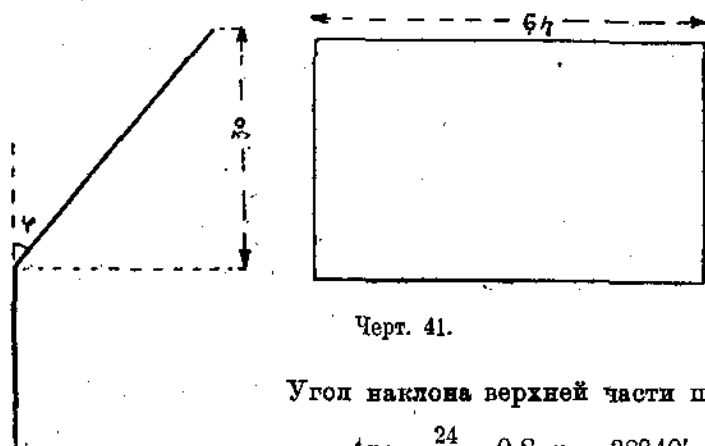
$$E_2 = 2200 \text{ для стали.}$$

Тогда

$$\delta = 0,588 \sqrt{\frac{0,166 \cdot 2150 \cdot 2200}{5 \cdot (2150 + 2200)}} = 3,5 \text{ тонн. на кв. сант.}$$

4) Расчет наклонной части щита.

Наклонную часть рассчитываем как мачен, по формуле Баха, учитывая наклон ее к горизонту под углом α (см. ч. 41 текста).



Черт. 41.

Угол наклона верхней части щита:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{24}{30} = 0,8; \varphi = 38^{\circ} 40'.$$

Длина наклонной части:

$$AB = \frac{30}{\cos 38^{\circ} 40'} = 38 \text{ см.}$$

Толщина щита:

$$\begin{aligned} \delta &= 0,1 + 0,0005ab \sqrt{\frac{h}{a^2 + b^2}} = \\ &= 0,1 + 0,0005 \cdot 49 \cdot 38 \sqrt{\frac{30}{49^2 + 38^2}} = 0,13 \text{ см.} \end{aligned}$$

Принимаем

$$\delta = 5 \text{ м/м.}$$

5) Подсчет веса щита.

Вертикальная обшивка $v = (894 + 16,3) \cdot 250 = 227575 \text{ см.}^3$,

$$p = v \cdot d = 227575 \cdot 7,8 = 1775085 \text{ гр.} = \infty 1775 \text{ кгр.}$$

Наклонная обшивка $v = 38,4 \cdot 894 \cdot 0,5 = 17165 \text{ см.}^3$,

$$p = v \cdot d = 17165 \cdot 7,8 = 133887 \text{ гр.} = \infty 134 \text{ кгр.}$$

Вертикальные стойки I железа 11 штук № 16 по 2,064 мт.

$$p = 11 \cdot 2,064 \cdot 18,56 = 421 \text{ кгр.}$$

Боковые стойки I железа 2 шт. № 42,5 по 2,25 мт.

$$2 \cdot 2,25 \cdot 104 = 468 \text{ кгр.}$$

Верхняя горизонтальная балка I жел. № 42,5 в 8,94 мт.

$$104 \cdot 8,94 = \infty 930 \text{ кгр.}$$

Уголки $10 \times 10 \times 1,2$ нижней клепаной балки—4 шт. по 8,94 мт.

$$17,84 \cdot 4 \cdot 8,94 = \infty 638 \text{ кгр.}$$

Уголки 7,0.7,0.0,9 на нижней балке 11 шт.

$$9,32 \cdot 11 \cdot 0,6 = \infty 62 \text{ кгр.}$$

Стенка клепаной балки

$$v = 60.894.1 = 53640 \text{ см.}^3,$$

$$p = vd = 53640.7,8 = 418392 \text{ гр.} = \infty 418 \text{ кгр.}$$

Поясной лист клепаной балки:

$$v = 21.210.1 = 4410 \text{ см.}^3$$

$$p = vd = 4410.7,8 = 34398 \text{ гр.} = 34 \text{ кгр.}$$

Накладки для склепки листов, шириною 12 см.,

$$v = (250 + 894) \cdot 12.1 = 13728 \text{ см.}^3$$

$$p = vd = 13728.7,8 = 107078 \text{ гр.} = \infty 107 \text{ кгр.}$$

Фасонные прокладки для скрепления горизонтальных балок с вертикальными стойками 10 шт. по 6 кгр.

$$6 \times 10 = 60 \text{ кгр.}$$

Дубовый брус 14,3.20 см. =

$$= 14,3.20.894.1 = 255684 \text{ гр.} = \infty 256 \text{ кгр.}$$

$$5303 \text{ кгр.}$$

$$\infty 5\% \text{ на заклепочные головки} \quad 275 \text{ кгр.}$$

$$\text{Итого } P_1 = 5578 \text{ кгр.}$$

6) Расчет подъемной силы.

Для преодоления силы трения необходимо приложить силу:

$$Q = P_2 \cdot \frac{f}{r},$$

где P_2 — полное давление воды на щит,

„ f — коэффициент трения качения = 0,1 сант.,

„ r — радиус катка = 5 см.

Полное горизонтальное давление воды на щит

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot 2800 \cdot 2,8 \cdot 8,94 = 35045 \text{ кгр.,}$$

поэтому:

$$Q = 35045 \cdot \frac{0,1}{5} = 701 \text{ кгр.}$$

Наклонная часть щита вызывает появление вертикального давления воды, равного весу призмы воды,

$$P_3 = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 0,24 \cdot 8,94 \cdot 1000 = 322 \text{ кгр.}$$

Следовательно, для подъема щита необходима сила

$$P = P_1 + Q + P_3 = 5578 + 701 + 322 = 6601 \text{ кгр.}$$

Принимая во внимание возможность различных случайных сопротивлений при подъеме, подъемный механизм рассчитываем на силу 6700 кгр.

7) Расчет напряжений от собственного веса затвора.

Так как отдельные части затвора довольно жестко соединены между собой, то весь затвор от действия собственного веса изгибается до некоторой степени как одно целое и задача нахождения величины напряжений в частях затвора довольно неопределенна, тем более, что напряжения зависят и от веса противовесов; если же принять, с значительным запасом в пользу прочности, что, например, нижнее ребро затвора вместе с соответствующую долей промежуточных стоек и обшивки изгибается независимо от верхнего ребра, то при весе ребра в 1152 кил., весе половины всех промежуточных стоек = 210 кил. и весе половины обшивки = 887 кил., вес ребра со стойками и обшивкой будет

$$1152 + 210 + 887 = 2249 \text{ кил.}$$

и, следовательно, вес одного погонного сантиметра будет

$$2249 : 894 = 2,52 \text{ кил.,}$$

и если рассматривать ребро как неразрезную балку на четырех опорах, соответствующих точкам прикрепления к затвору двух зубчатых реек, отстоящих одна от другой на 452 сант. и двух проволочных канатов, идущих к противовесам, по концам, отстоящих на 221 сант. от зубчатых реек,

то момент M на одной из средних опор определится, по теореме о трех моментах, из соотношения:

$$2M(221 + 452) + M \cdot 452 = -6,2,52 \cdot \frac{221^3}{12} \cdot \frac{1}{2} - 6,2,52 \cdot \frac{452^3}{12} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\text{или } 1798 M = -0,63(221^3 + 452^3)$$

$$\text{откуда } M = -\frac{0,63(48841 + 204304)}{1798} = -0,63 \cdot \frac{253145}{1798} = -0,63 \cdot 141 =$$

$$= -88,83 \text{ кил. сант.}$$

Реакция R крайней опоры определится из равенства

$$R \cdot 221 - 2,52 \cdot \frac{221^3}{2} = -88,83;$$

$$\text{откуда } R = 1,26 \cdot 221 - \frac{88,83}{221} = 278,5 - 0,4 = 278 \text{ кил.}$$

и реакция S средней опоры будет

$$S = \frac{2249}{2} - 278 = 1125 - 278 = 847 \text{ кил.}$$

Наибольший изгибающий момент будет посредине ребра и равен

$$278(221 + 226) + 847 \cdot 226 - \frac{2,52}{2}(221 + 226)^2$$

$$\text{или } 278 \cdot 447 + 847 \cdot 226 - 1,26 \cdot 447^2 = 124266 + 191422 - 251759 =$$

$$= 63929 \text{ кил. сант.,}$$

так как момент инерции ребра относительно горизонтальной оси будет

$$60 \cdot \frac{1}{12} + 2 \cdot 1 \cdot \frac{21^3}{12} + 4(206,4 + 22,7 \cdot 3,4^2) - 4 \cdot 1,8 \cdot 2,5 \cdot 5^2 =$$

$$= 5 + 1543 + 4(206,4 + 22,7 \cdot 11,56) - 3,96 \cdot 121 =$$

$$= 1548 + 4(206,4 + 262,4) - 479 = 1069 + 1875 = 2944 \text{ сант.}^4,$$

и так как расстояние наиболее удаленного волокна от нейтральной оси = 10,5 сант., то добавочное напряжение в нижнем ребре затвора от собственного веса будет

$$\frac{63929}{2944} \cdot 10,5 = 21 \times 10,5 = 230 \text{ кил. на кв. сант.}$$

(Большая часть вышеприведенного расчета выполнена под руководством К. В. Попова).

Чертежи 1 — 71, помещенные на первых шестнадцати листах атласа, заимствованы, главным образом, из следующих сочинений:

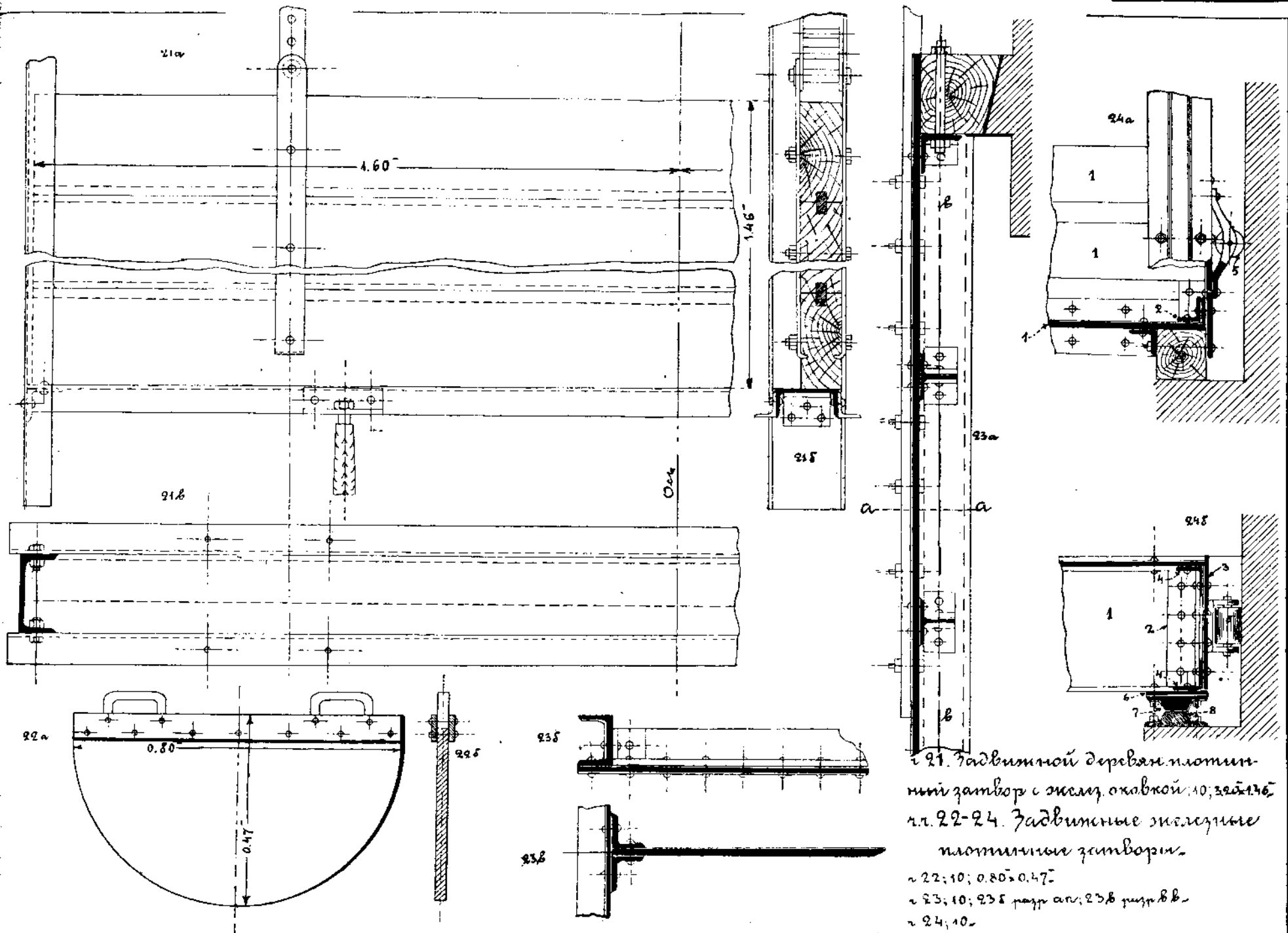
- 1) Prof. K. E. Hilgard, M. Am. Soc. C. E., Zürich.
Die beweglichen Wehre.
(Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Dritter Teil. (Der Wasserbau) Zweiter Band (Stauwerke). Erste Abteilung (Wehre und Fischwege). Vierte Auflage. Leipzig. 1912).
- 2) Dr.—Ing. Adolf Ludin.
Die Wasserkräfte, ihr Ausbau und ihre wirtschaftliche Ausnutzung.
Berlin. 1913.
- 3) E. Mattern. Die Talsperren. Technische und wirtschaftliche Grundlagen.
(Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Dritter Teil. (Der Wasserbau) Zweiter Band (Stauwerke). Dritter Abschnitt (Talsperren) Vierte Auflage. Leipzig und Berlin. 1913.
- 4) Max Möller. Grundriss des Wasserbaues. Für Studierende und Ingenieure.
In zwei Bänden. Leipzig. 1906.
- 5) C. Schiffmann. Leitfaden des Wasserbaues. Leipzig. 1905.
- 6) Friedrich. Kulturtechnischer Wasserbau 1912.
- 7) S. Deutsch. Der Wasserbau. 1906.
- 8) Robert Burton Buckley, C. S. I. The Irrigation Works of India. Second Edition. London. New-York. 1905.
- 9) W. Willcocks, Egyptian Irrigation, 1913.
- 10) N. H. Henket, Dr. Ch. M. Schols en J. M. Telders. Waterbouwkunde.
Eerste Deel. Afd. VII. Bevoeiingen bewerkt door I. E. de Meijer
'S—Gravenhage. 1891.
- 11) Turazza. Derivazione dei canali artefatti dai fiumi o dai torrenti 1889.

Из журналов.

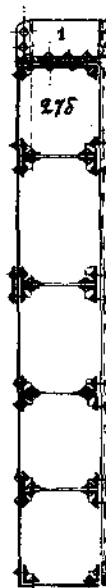
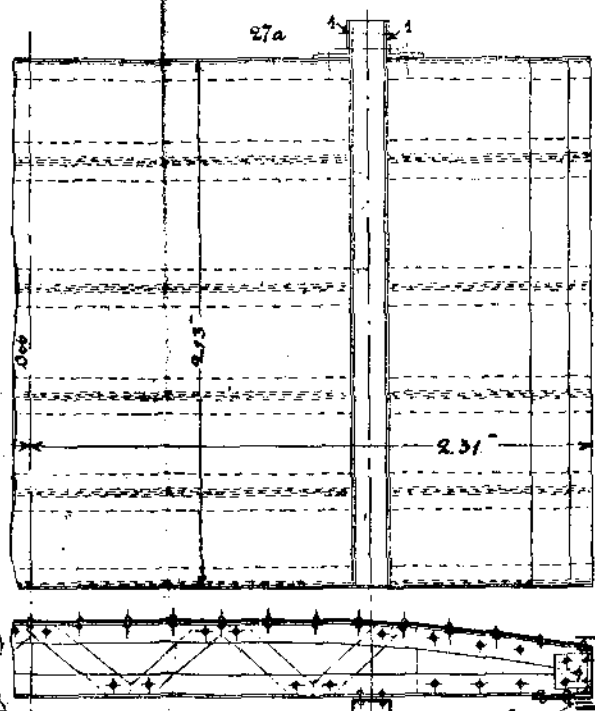
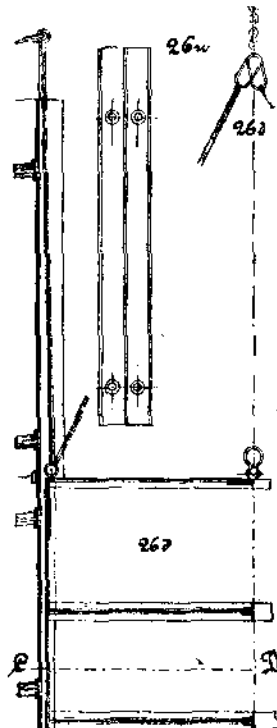
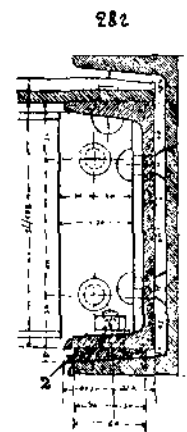
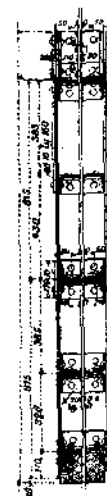
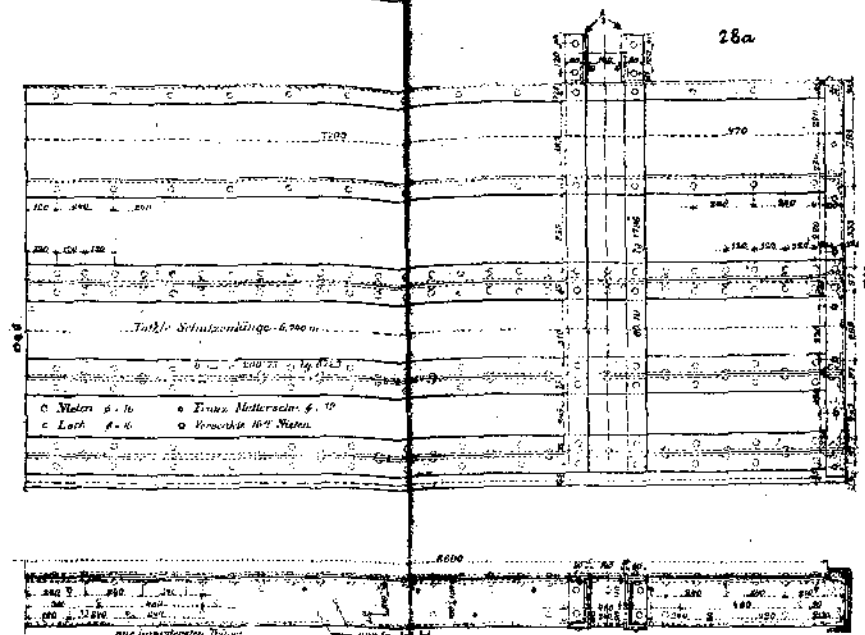
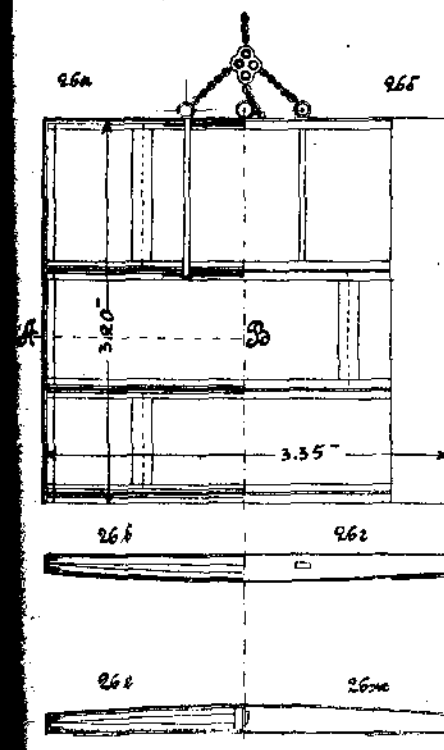
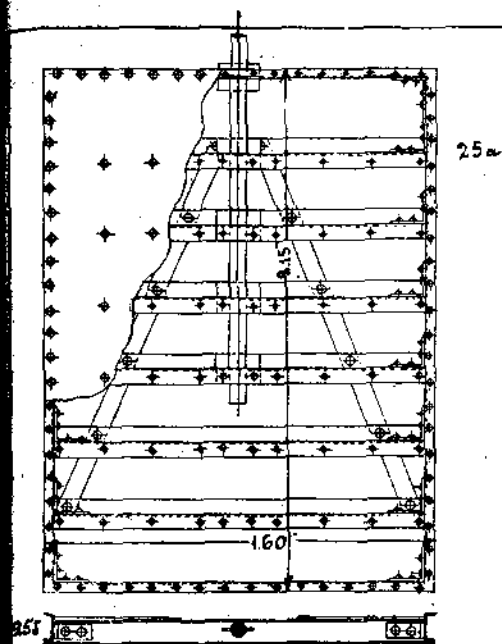
- I) Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure.
- II) Zeitschrift für Bauwesen.
- III) Engineering News.
- IV) Engineering Record.
- V) Engineering News-Record.

Громадное большинство чертежей были вычерчены заново в раз навсегда определенных масштабах: 1:5; 1:10; 1:25; 1:50; 1:100; 1:250 и т. д.) эта работа была выполнена преимущественно инженером-агрономом Е. М. Чумичевым). но, к сожалению, при изготовлении клише, по недоразумению, все чертежи на первых листах атласа, копча шестнадцатым, были уменьшены в 1,25 раз, так что вместо 1:5 получился ни с чем несообразный масштаб 1:6,25 вместо 1:10 — 1:12,5; вместо 1:25 — 1:31,25; вместо 1:50 — 1:62,5; вместо 1:100 — 1:125 и т. д.

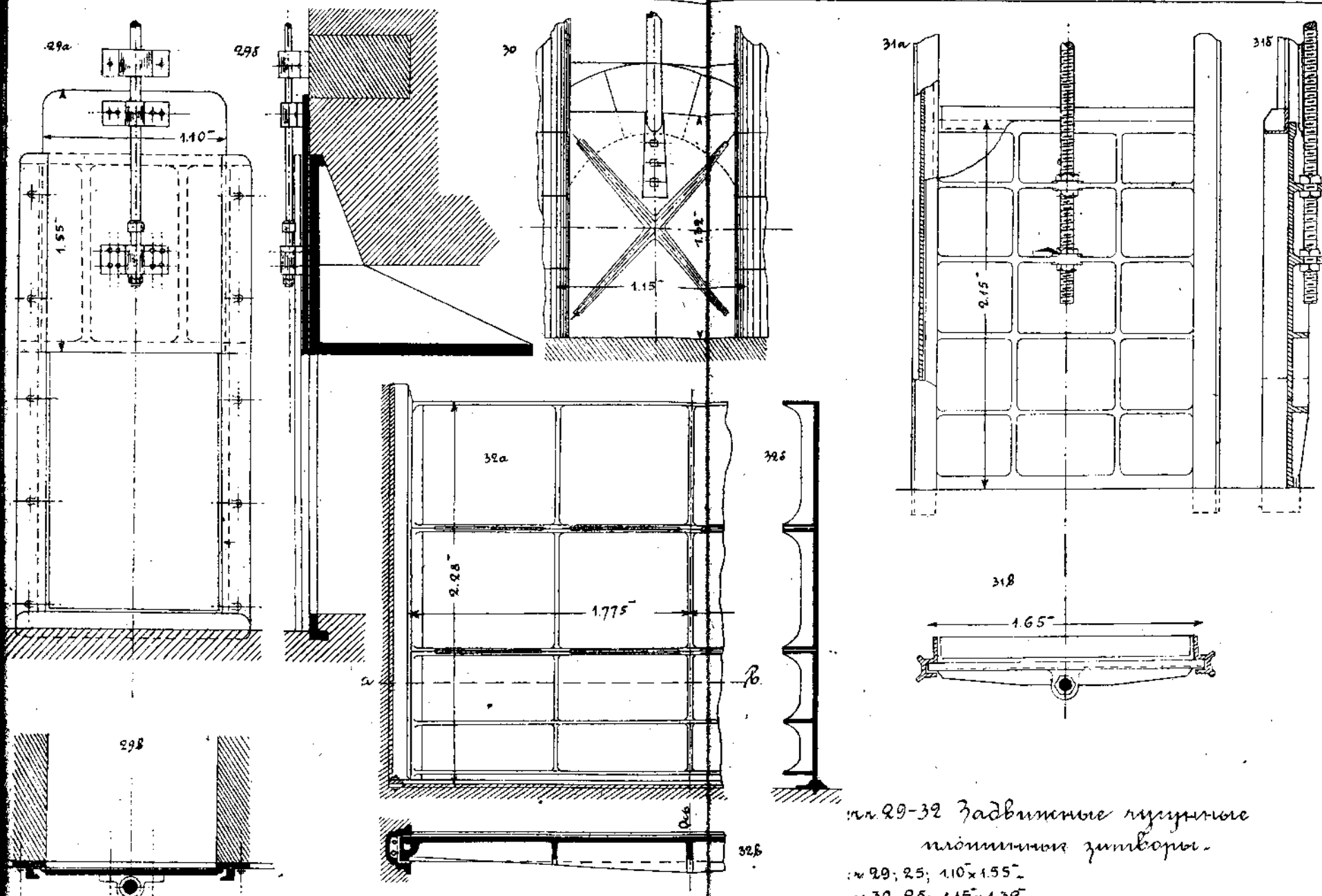
На ч. 39 текста должно быть по заклёнке в каждой из полок.



21. Задвижной деревянный плотный затвор с металлич. окантовкой 10; 22, 23, 24. Задвижные металлич. плотные затворы.
 ~ 22; 10; 0.80x0.47
 ~ 23; 10; 23г разгр аа; 23в разгр бб
 ~ 24; 10

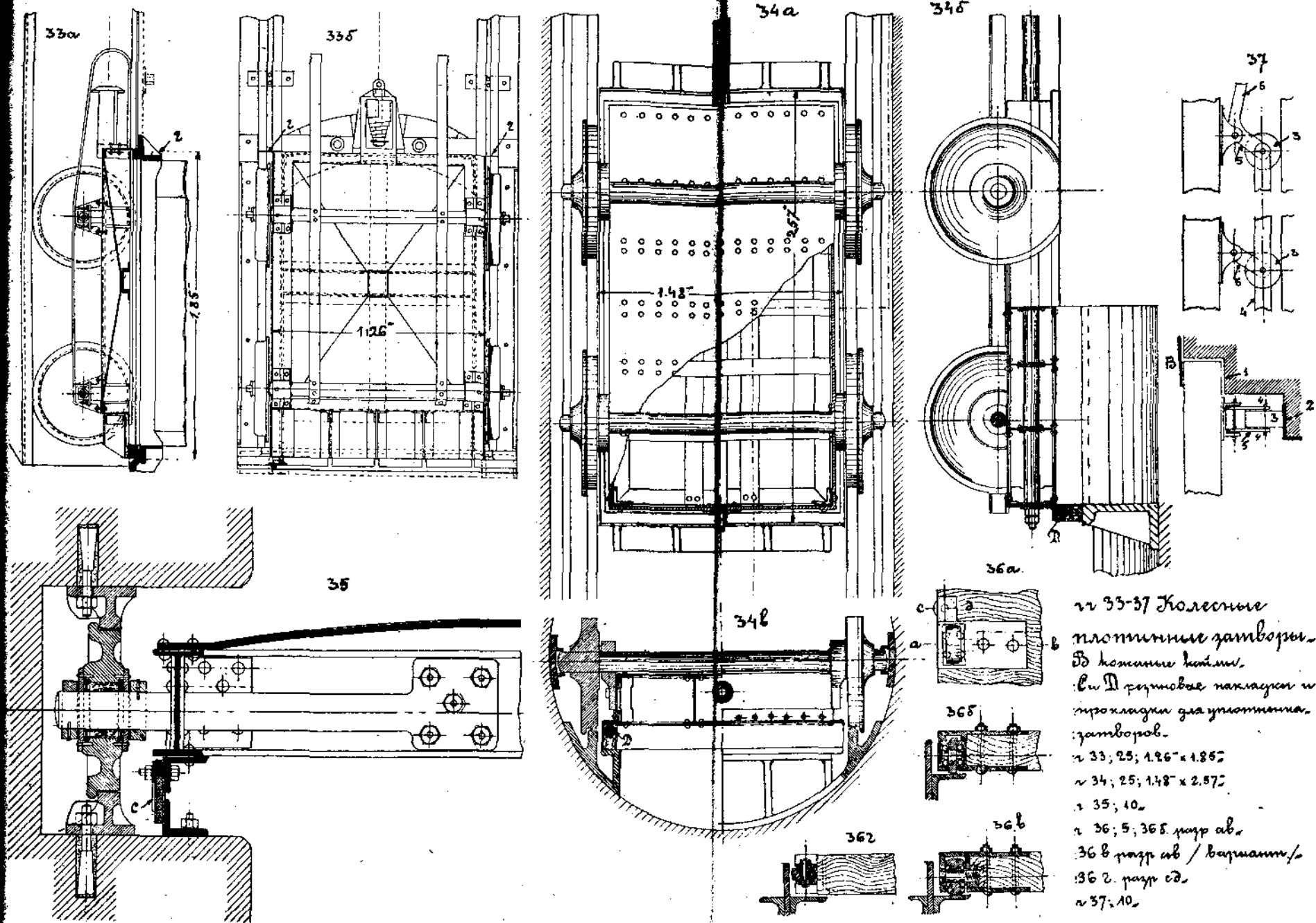


и 25-28 задвиж-
 ные толстые пло-
 тные замборы:
 и 25; 25; 1,60 x 2,15,
 и 26; 50; 26 а-26 в верх-
 ная часть замборы;
 : 26 а борти разр.
 : 26 б шир. вид
 : 26 б разр. ДБ.
 : 26 в вид сверху,
 : 26 д-26 ж толстая часть
 замборы: 26 з, борти разр.
 26 е разр. ДД. 26 ж вид
 сверху; 26 з борти разр по
 сев замборы
 , 26 в док. вид параб 3,35 x 5,15
 и 27; 25; 4,62 x 2,15.
 и 28; 28 а-28 б; 25,,
 , 28 з; 5; 6,74 x 1,65,

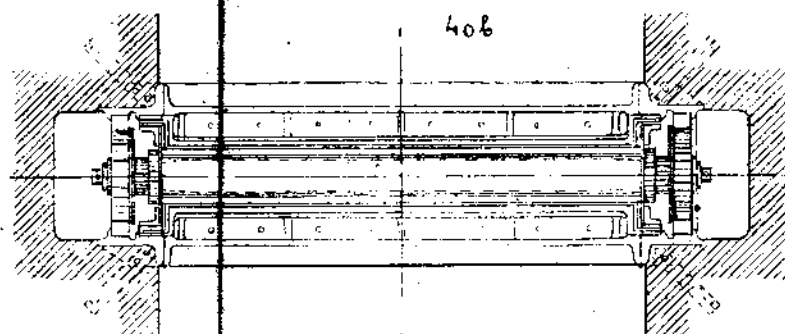
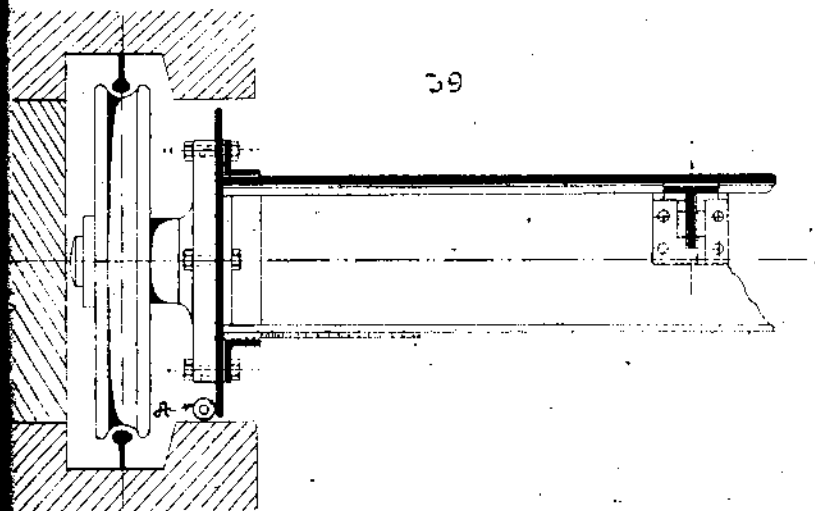
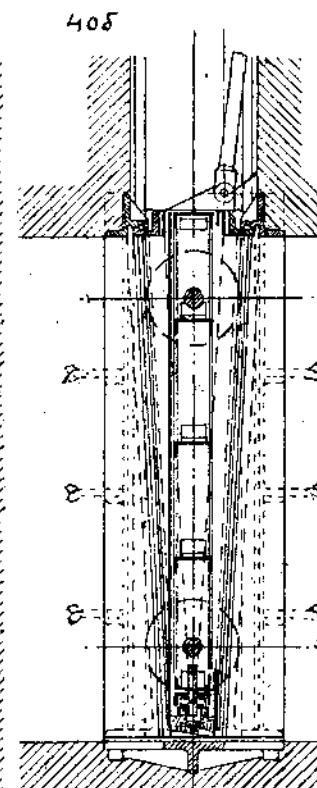
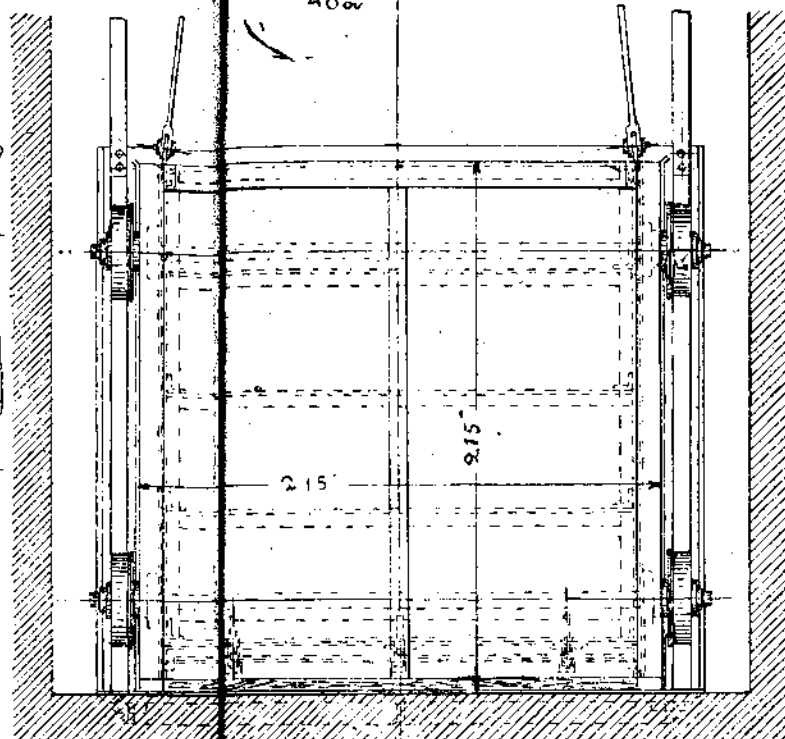
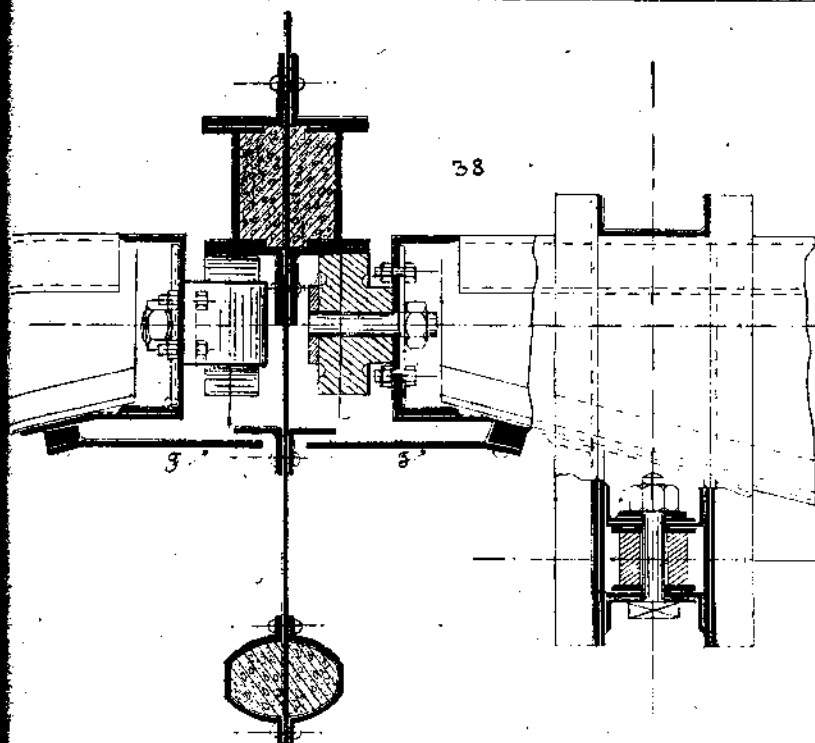


м. 29-32 Задвижные створчатые
оконные рамы.

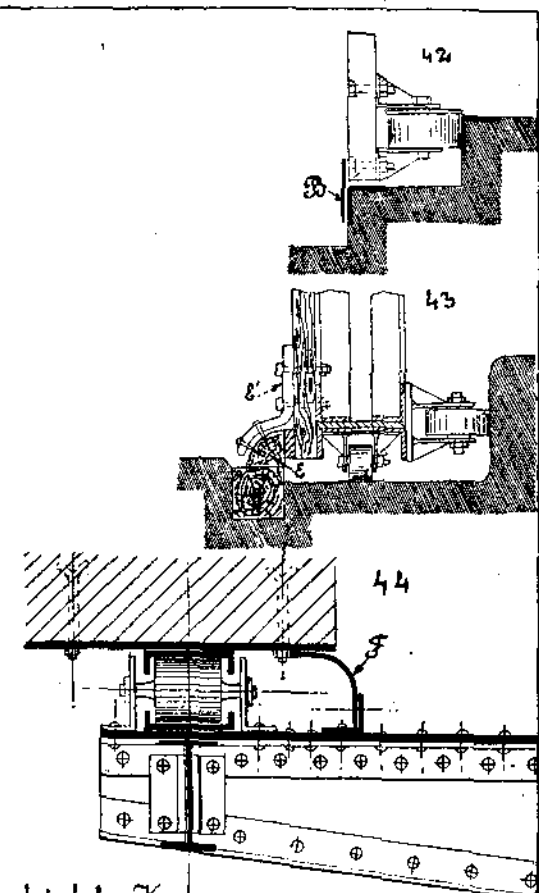
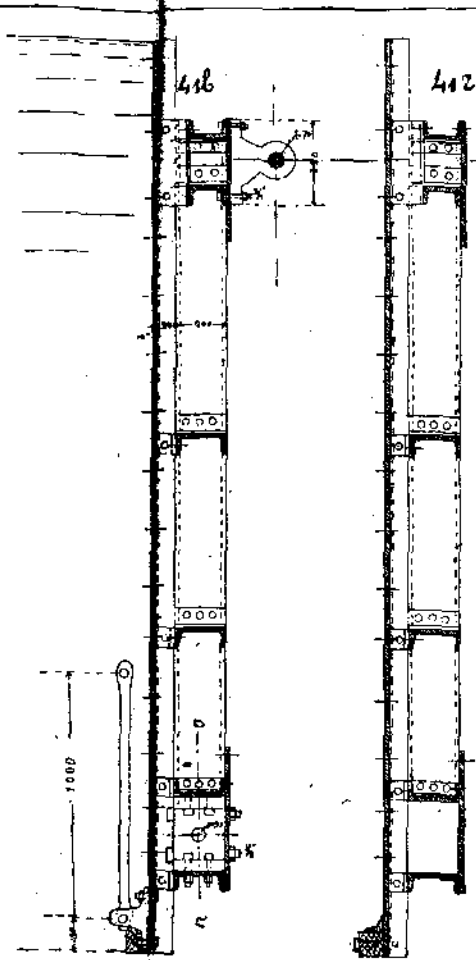
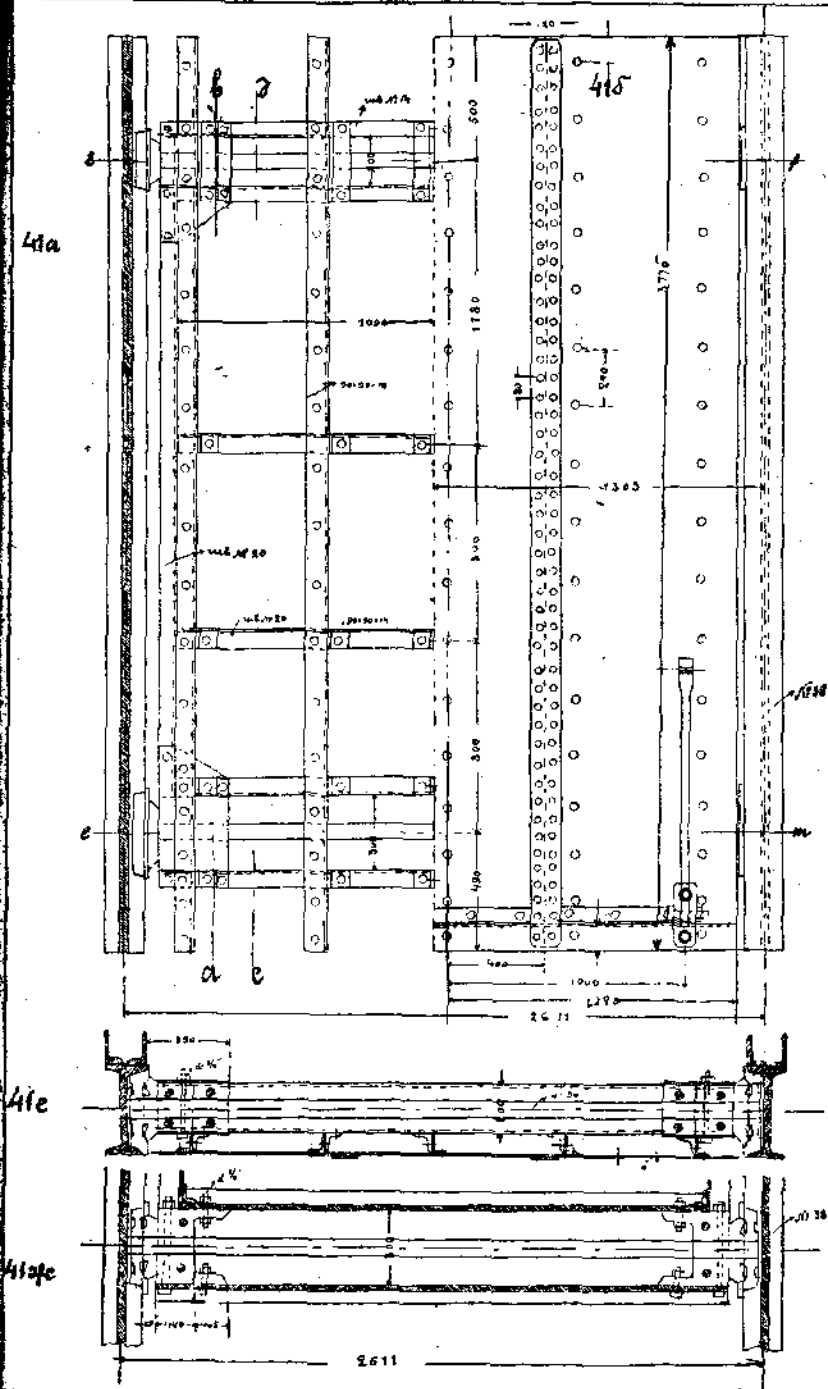
- м. 29; 25; 1.10" x 1.55"
- м. 30; 25; 1.15" x 1.32"
- м. 31; 25; 1.65" x 2.15"
- м. 32; 25; 32.8" x 2.28"



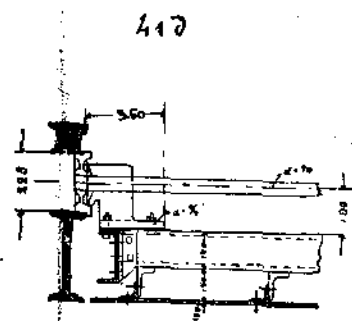
и 33-37 Колесные
противные затворы.
В корпусе латунь,
в штифтовые накладки и
прокладки для уплотнения
затворов.
~ 33, 25; 1,26" x 1,26"
~ 34, 25; 1,48" x 2,57"
~ 35, 10,
~ 36, 5; 36 в. разр. а в,
36 в. разр. а в / вариант /
36 в. разр. в в,
~ 37, 10,

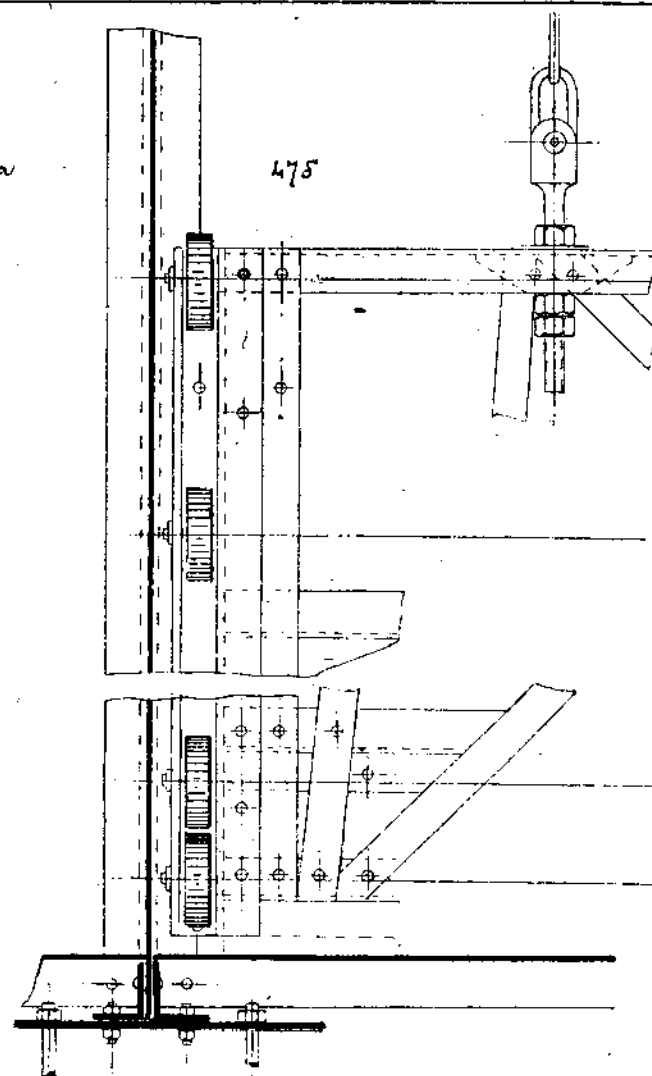
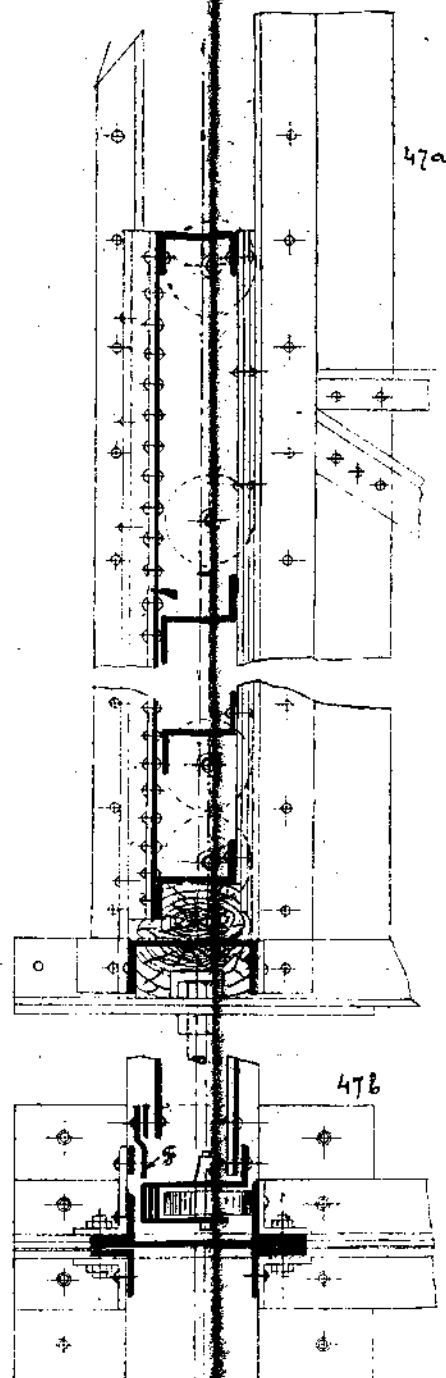
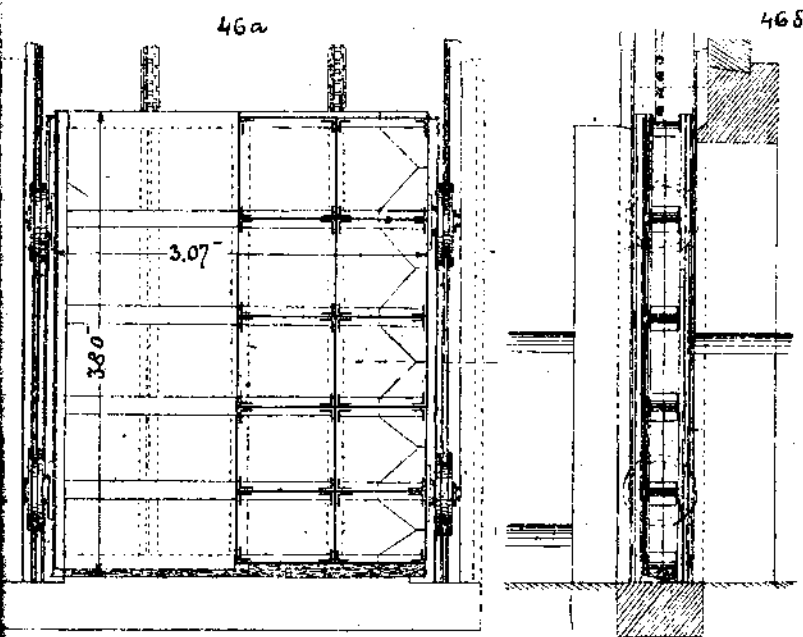
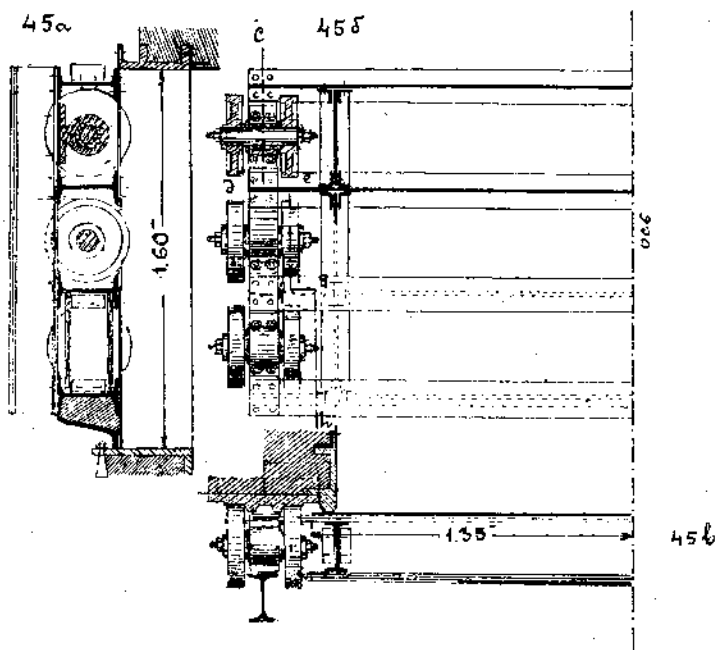


та. 38-40 Железные
плотные
затворы.
А. стальные канаты.
Б. стальные канаты.
В. стальные канаты
для уплотнения зат-
воров.
~ 38; 10,
~ 39; 10,
~ 40; 25; 2,15" x 2,15"

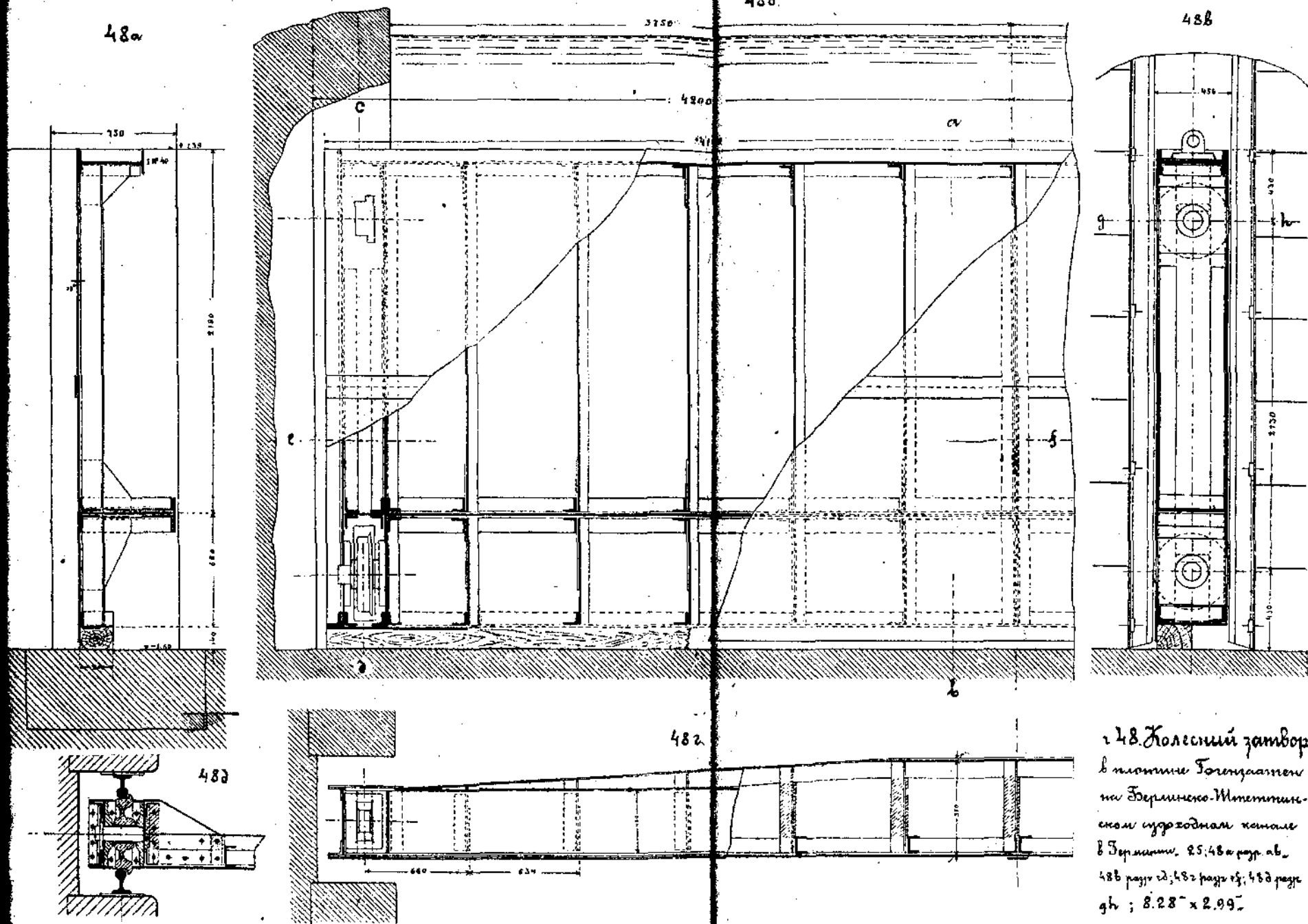


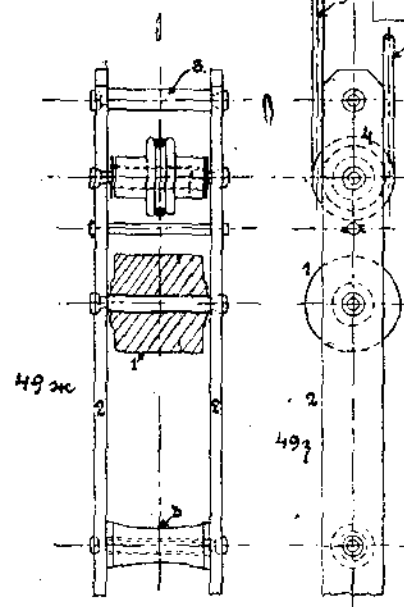
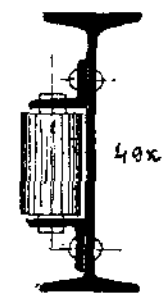
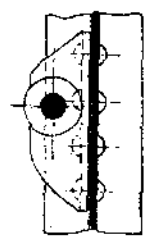
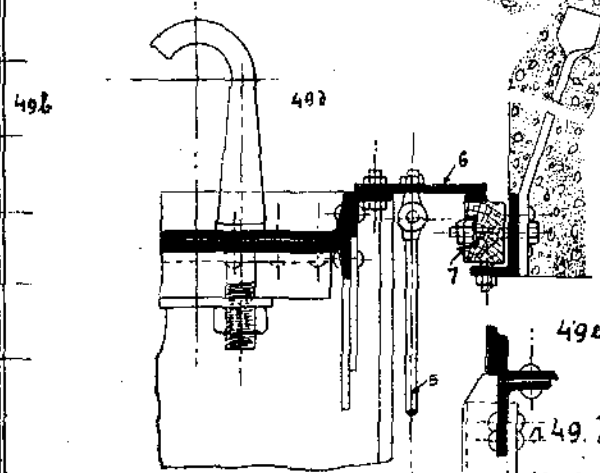
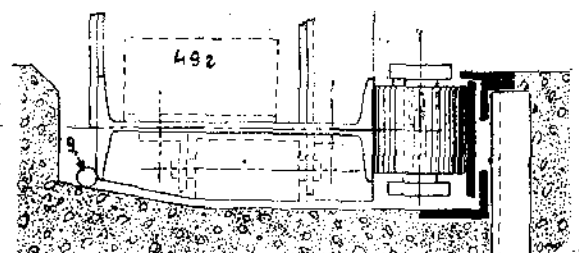
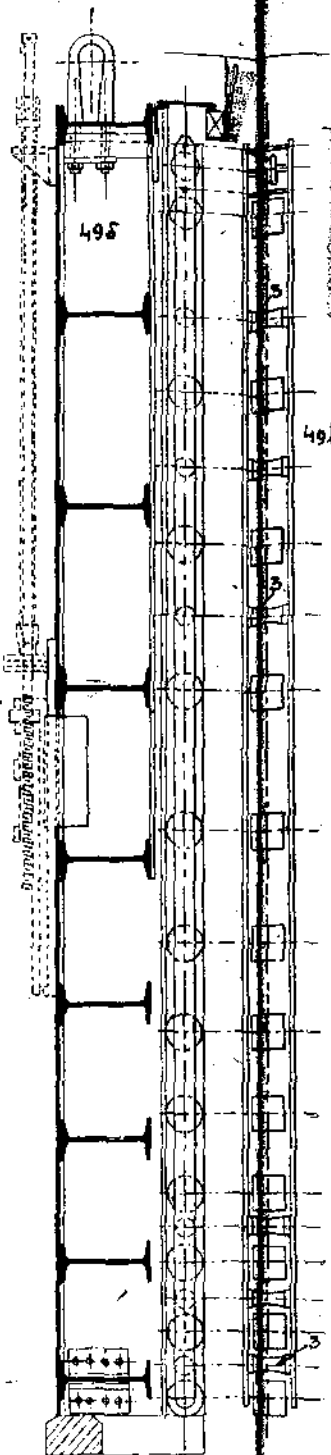
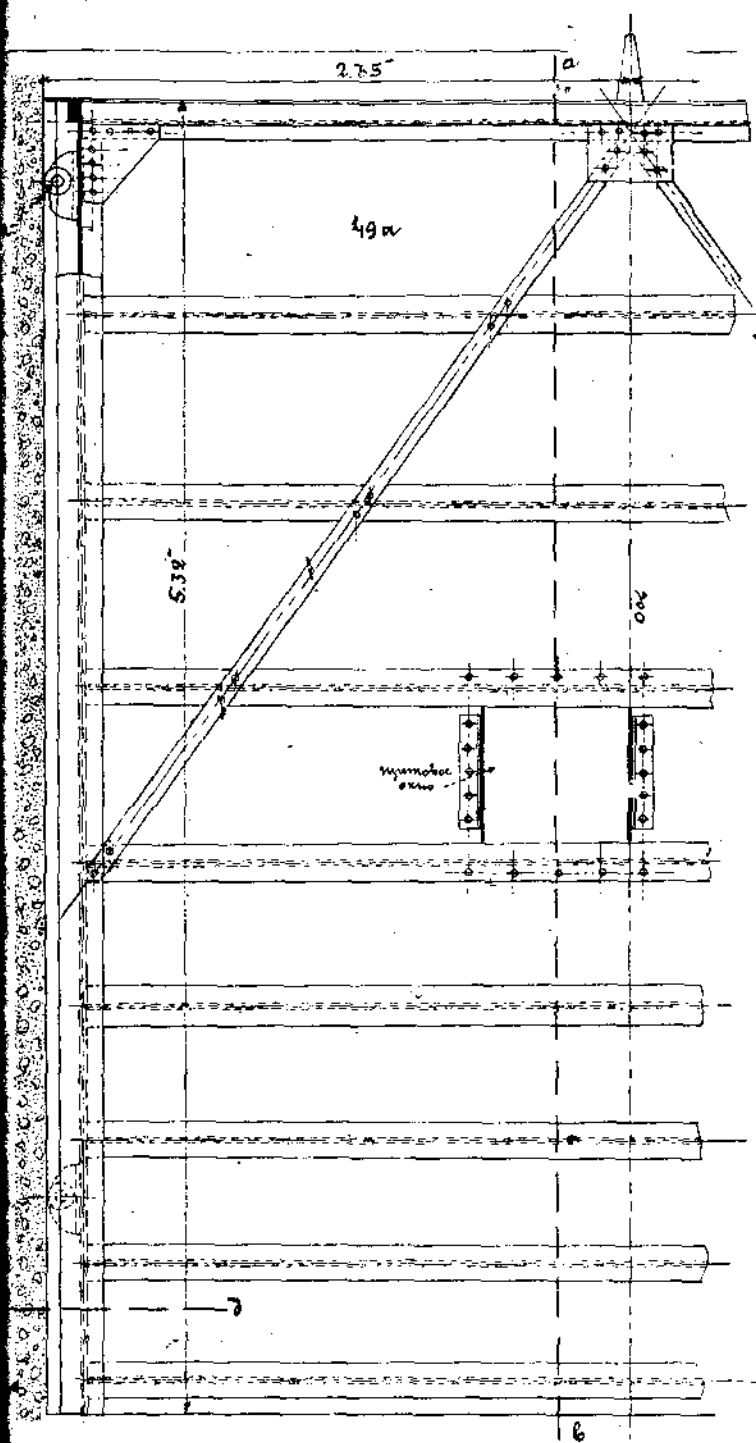
и 41-44 Железные
плотинные замборы.
В составе кранов. С деревянными прутами
и брусьями. С металлическими прутами и
прутьями для укрепления замборов.
и 41, 25 41а без буг для обшивки,
41б с обшивкой; 41б пруты аб; 412 пруты од,
41д пруты ef; 41е пруты km; 41 и пруты no,
245 x 3.77
и 42; 25,
и 43; 25,
и 44; 10,



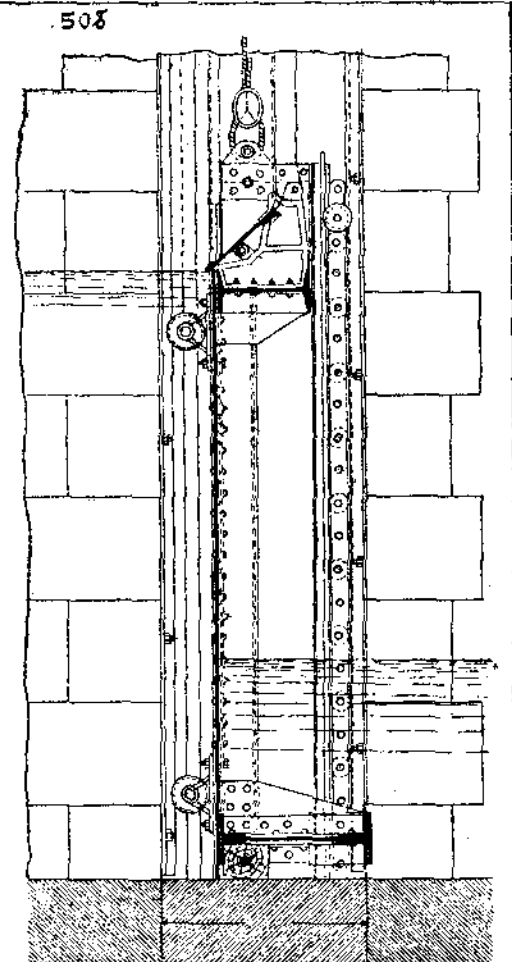
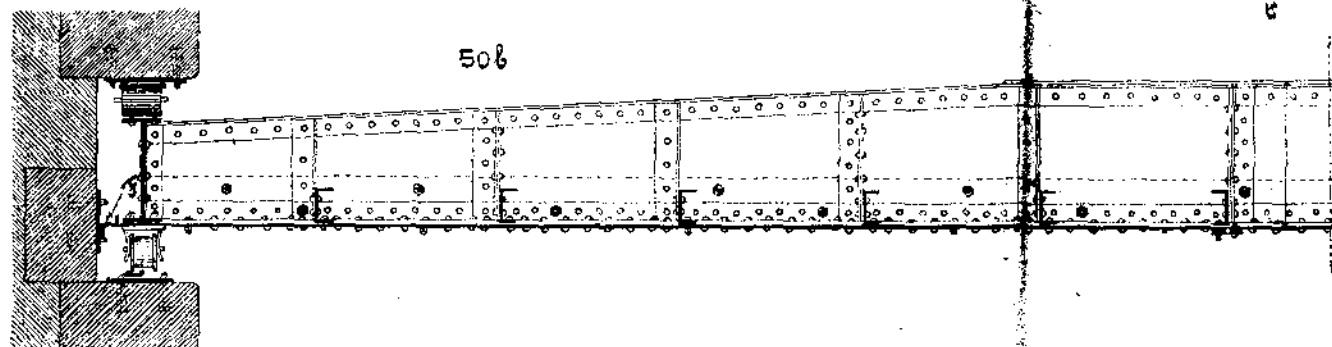
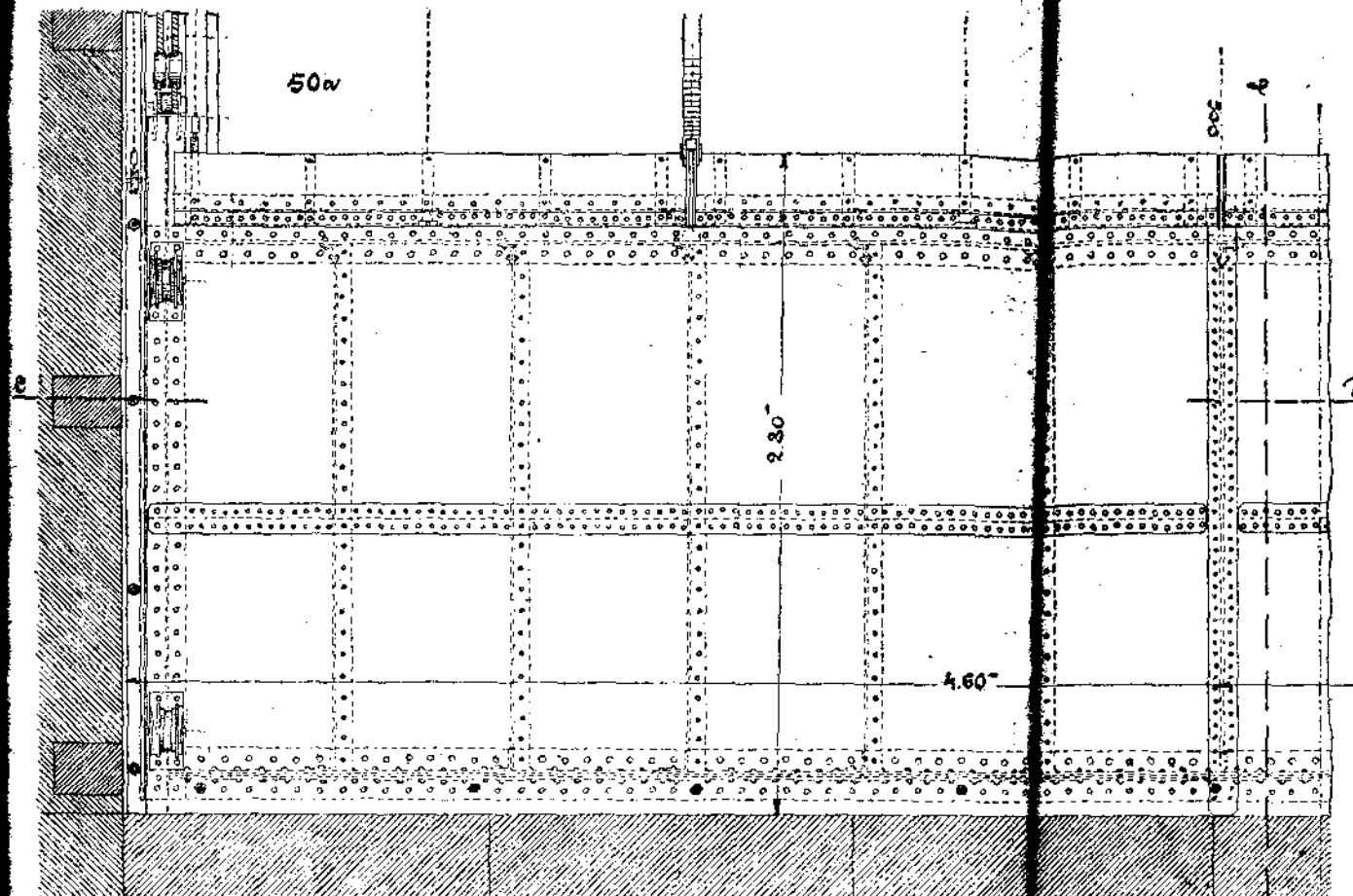


из 45-47 Железные листовые затворы.
 Внутренние монтажные элементы для
 уплотнения затворов.
 а 45; 25; 45а размер e d f g h; на водоудерживающей
 ленте Маркисса в Берлине.
 2.70 x 1.60;
 а 46; 50; 3.07 x 3.80;
 а 47; 40.

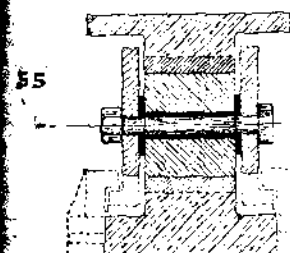
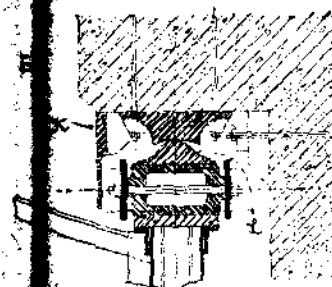
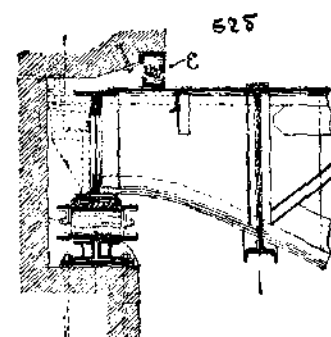
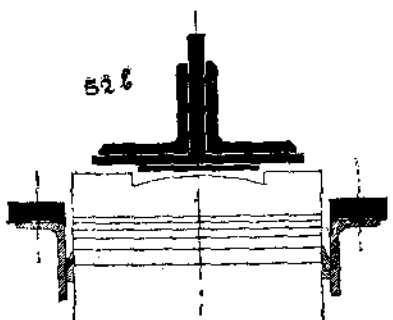
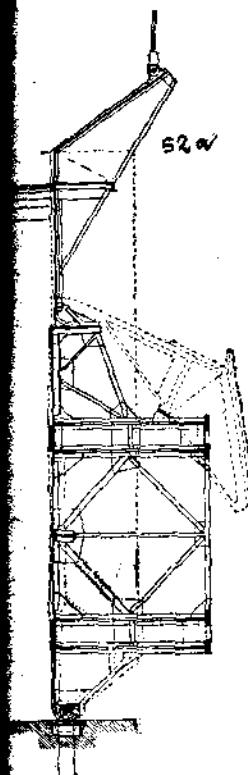
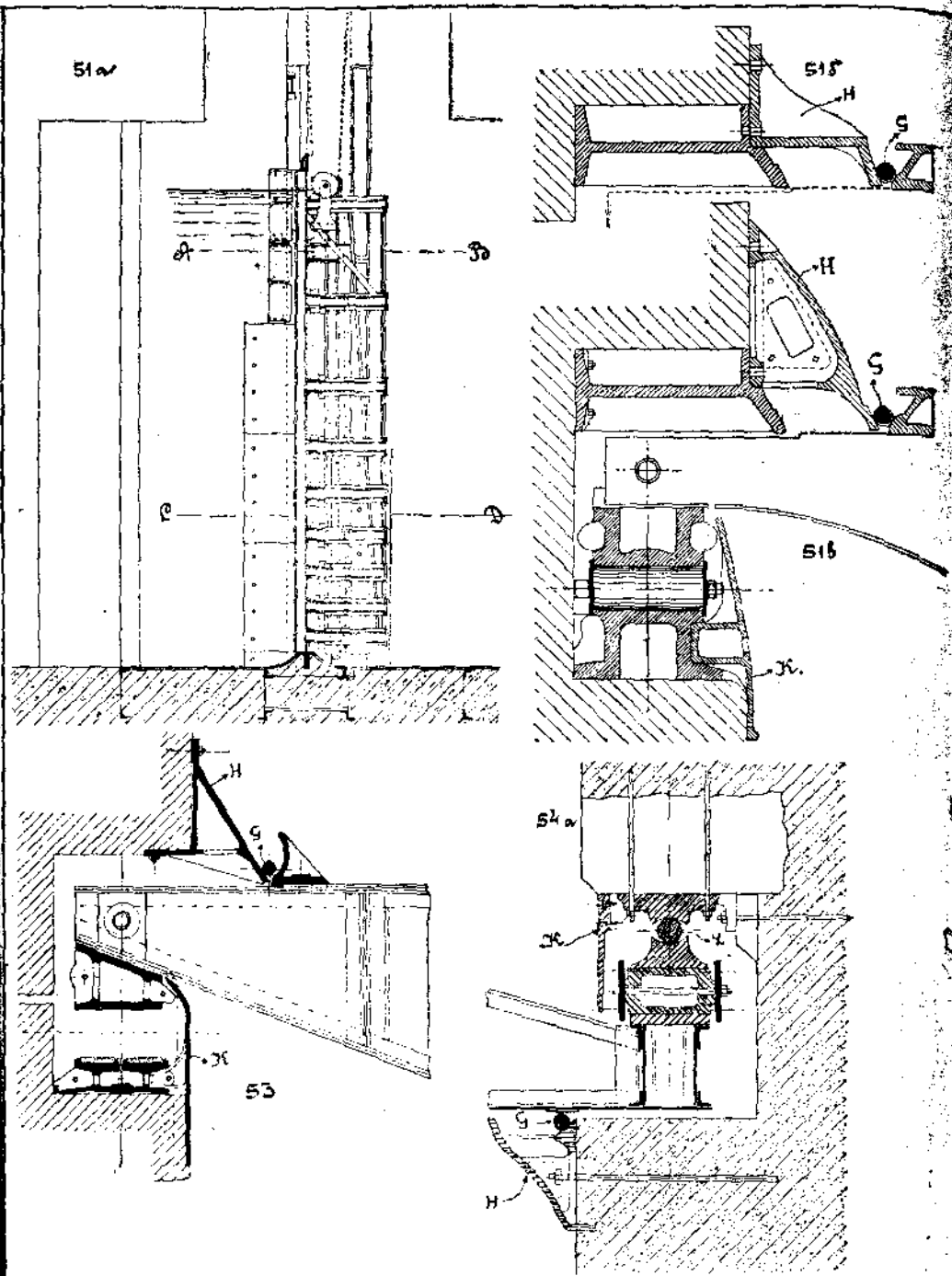




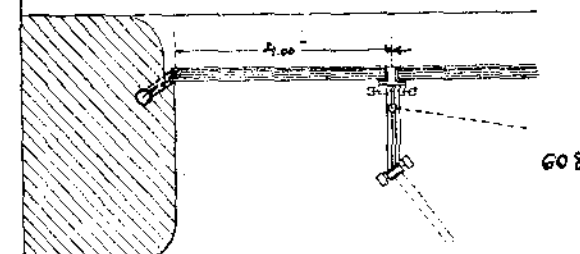
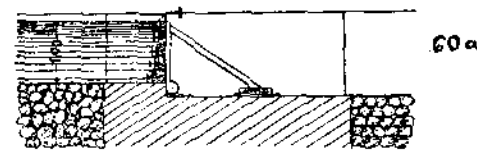
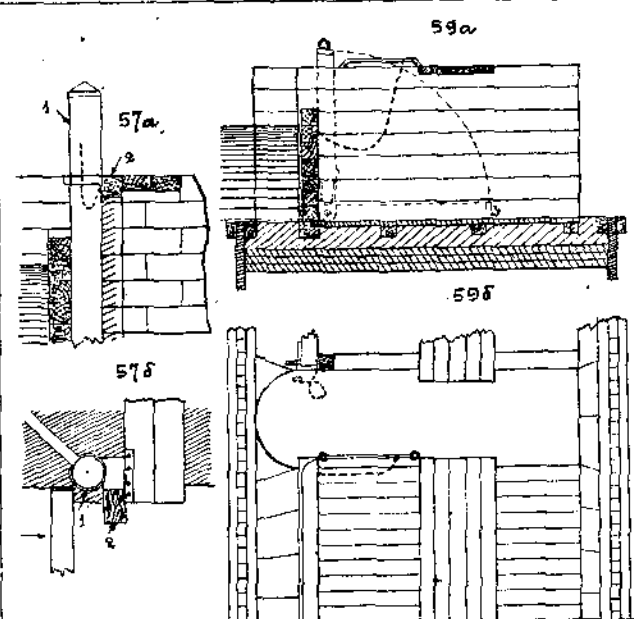
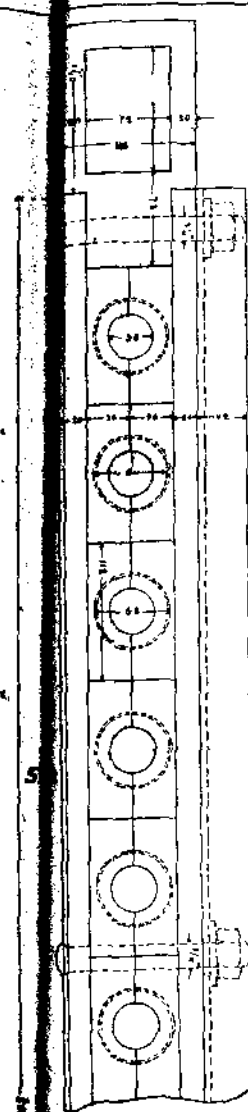
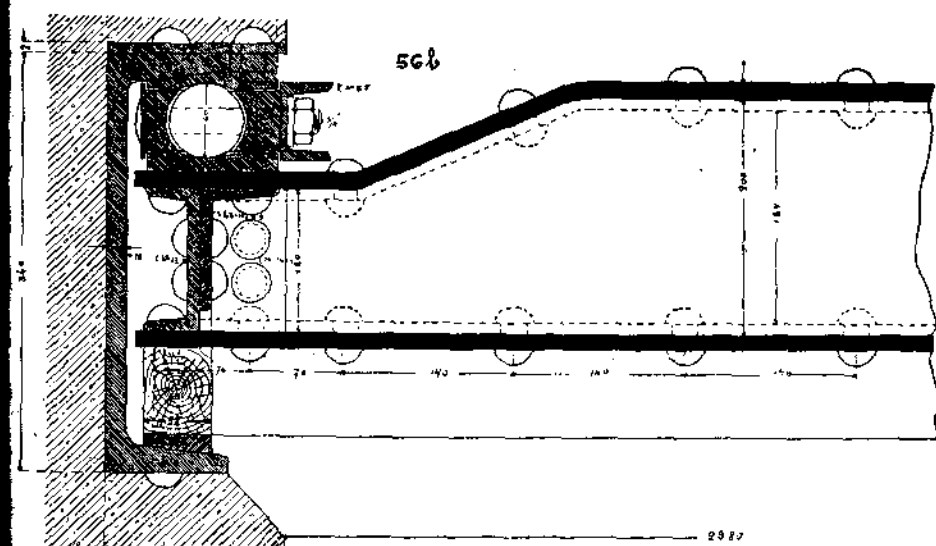
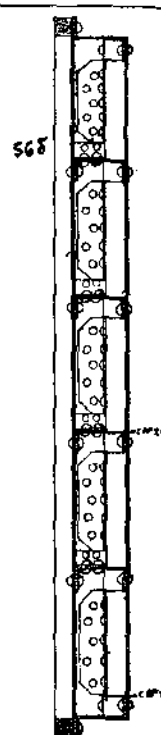
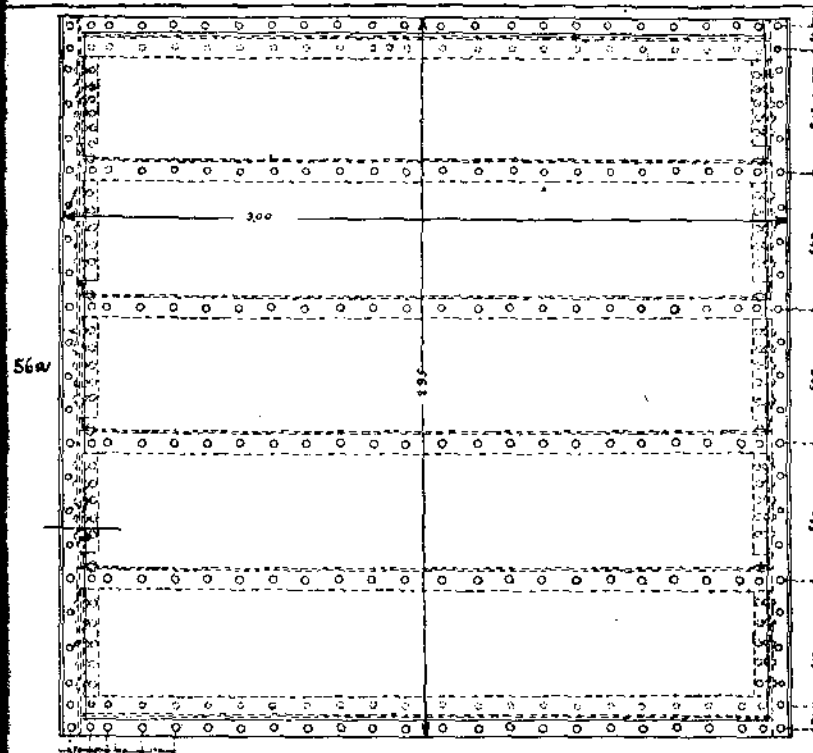
49. Крановый
 плотный замок
 на р. Миссисипи в 8 милях
 выше г. Миннеаполис
 в Л. Америке.
 3-х ступенчатый металлический
 замок для уплотнения затвора
 49a; 25; изгот. вид.
 49b; 25; разр. ав.
 49c; 25; изгот. вид крановой
 рамы.
 49d; 10; разр. од.
 49e-49g; 10; детали зап.-
 работы верхнего затвора.
 49h; 49i; 10; детали
 зап.-работы нижнего за-
 пера рамы М.
 4,70 x 5,32.



к 50; Кантовый затвор
в мосту Березы на р. Дан-
на. Дортмунд-Экспресс суд-
ходной канале в Берлине 25.
50в разр. об; 50б разр. об.
9.20' x 2.80'; Функциональная конструкция
механизма для управления затвором.



к 51-55. Детали устройства
каменных плотинных затворов.
В деревянных применяются бруски
Г и деревянные шпильки для упрочнения затворов.
И. К. шпильки для предохранения камней от
ударов воды и камней.
Л. деревянные шпильки для упрочнения
перегородки в каменных на каменных шпильках
затворов.
51а, 100; 51б, 25 пирр. АБ; 51в, 25.
пирр. ВД.
52а, 100; 52б, 50; 52в, 10.
53, 25.
54, 25. 54а багетом 54а.
55, 10.



~ 56 Плотный затвор на тарихах.
56a, 56b, 25; 56b, 56z, 5, 300x295.
~ 57-60 Мандорные плотные
затворы.
~ 57; 50.
~ 58; 25.
~ 59; 50.
~ 60; 100; 8.00x1.00.

