

РУКОВОДСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ ВТУЗОВ

ПРОФ. Н. И. АНИСИМОВ

627.82

а-67

ВОДОПОДЪЕМНЫЕ ПЛОТИНЫ

ПРИУДО
1931
ЦЕНТРАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ КАДРАМИ НКПС
ДОПУЩЕНО, КАК УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВТУЗОВ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

500 ЧЕРТЕЖЕЙ В ТЕКСТЕ

М
О
ТРАНСПЕЧАТЬ НКПС
МОСКВА 1931

5 ТИПОГРАФИЯ
СТАНДАРТ

Москва, Калач. тун., 3/5.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие ко второму изданию	5
Введение	6

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Основные принципы проектирования плотин

Глава первая. Общие соображения. Классификация плотин	7
Глава вторая. Основные части профиля водоподъемной плотины и их роль в службе сооружения	8
Глава третья. Основные группы вопросов при установлении принципов проектирования флютбетов плотин на сыпучих грунтах	9
Глава четвертая. Движение воды под флютбетом	10
1. Данные русской практики	—
2. Данные германской практики	12
3. Данные английской практики	—
4. Данные американской практики	14
5. Данные французской практики	15
6. Экспериментальные работы в лабораториях	16
7. Теоретические исследования за границей	18
8. Теоретические исследования в СССР	22
9. Данные непосредственных наблюдений на существующих сооружениях	23
10. Заключение	24
Глава пятая. Движение воды над флютбетом	29
Глава шестая. Прочность и устойчивость флютбета	33
Глава седьмая. Флютбеты плотин на скалистых основаниях	34

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Водосливные плотины

Глава восьмая. Каменные водосливные плотины	37
1. Основные типы каменных водосливных плотин	—
2. Форма низовой поверхности безвакуумного водослива с криволинейным очертанием низовой грани	39
3. Ступенчатые водосливы	41
4. Движение воды через водосливную плотину с криволинейной низовой гранью	42
5. Статический расчет каменной водосливной плотины	44
6. Сравнительная характеристика основных типов очертания флютбета водосливной плотины	49
7. Конструкция каменных водосливных плотин	—
Глава девятая. Железо-бетонные плотины	61
Глава десятая. Габрионные водосливные плотины	69
Глава одиннадцатая. Применение водосливных плотин	70

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Разборчатые плотины

	<i>Стр.</i>
Глава двенадцатая. Введение. Возникновение разборчатых плотин, их развитие и главные типы. Принятая классификация	74
Глава тринадцатая. Русский тип деревянной щитовой плотины	81
1. Русский тип деревянной щитовой плотины с постоянными стойками	—
2. Русский тип деревянной щитовой плотины со съёмными стойками	120
3. Описание конструкции Васняковской плотины на Вюртембергской системе (съёмные стойки)	125
Глава четырнадцатая. Плотины с шандорными затворами	134
Глава пятнадцатая. Плотины со спицевыми затворами	136
Глава шестнадцатая. Плотины с металлическими щитовыми затворами	140
1. Основные данные	—
2. Эволюция щитового затвора	151
3. Щитовой затвор донного типа	158
Глава семнадцатая. Сегментные плотины	163
1. Основные данные	—
2. Эволюция сегментного затвора	166
3. Сегментный затвор пролетом 15 м и глубиной на пороге 2,75 м (пример расчета и конструкции)	168
4. Механизмы и служебный мост к сегментному с противовесом затвору для отверстий плотины на р. Самур	213
Глава восемнадцатая. Вальцовые плотины	255
1. Основные данные	—
2. Эволюция вальцового затвора	272
Глава девятнадцатая. Плотины гидравлического действия (полуавтоматические)	280
1. Секторные плотины	—
2. Плотина Bear-trap	281
3. Дахвер	294
Глава двадцатая. Автоматические затворы	309
Глава двадцать первая. Выбор типа плотины для гидроустановки	319
Глава двадцать вторая. Плотина Поаре и ее видоизменения	324
Глава двадцать третья. Плотина Томаса	355
Глава двадцать четвертая. Плотина Тенара	360
Глава двадцать пятая. Плотина Шаноана	361
Глава двадцать шестая. Мостовые плотины	376
Глава двадцать седьмая. Дополнительные устройства при плотине	382
1. Рыбоходы	—
2. Лесосплавные устройства	398
Глава двадцать восьмая. Выбор типа судоходной плотины	401
Глава двадцать девятая. Расположение сооружений в плане. Укрепление б-регов	403
Глава тридцатая. Объем исследований перед постройкой плотины	406
Главнейшая литература по водоподъемным плотинам	417

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Второе издание „Водоподъемных плотин“ выходит из печати через 8 лет после написания первого издания.

Протекшее время внесло много новостей и изменений в конструкции плотин, а также пролило больше света в вопросы движения воды над флютбетом и под ним.

И хотя проектирование флютбета при практическом его разрешении попрежнему является в значительной мере искусством, однако в данное время необходима отдельная часть книги, являющаяся введением в это искусство. Знание этой части позволяет инженеру выбрать не один путь для получения благоприятных результатов, что предохраняет от шаблона в разрешении практических задач, способствуя тем самым дальнейшему углублению наших знаний.

Однако теперь же можно заявить, что разнообразие грунтовых условий и нередко различие их даже в пределах одного сооружения, а также различная степень несовершенства шпунтовых рядов позволяют думать о нескором наступлении периода, когда решение будет производиться путем использования особо составленного „прейскуранта“, устраняющего необходимость личного практического опыта в этой отрасли строительного искусства.

В ближайшее же время творческая мысль и опыт конструктора попрежнему будут господствовать в этом вопросе, но уже подкрепленные позднейшими научными и экспериментальными выводами.

В В Е Д Е Н И Е

Плотины являются отраслью строительного искусства, а именно: в отношении флютбета они опираются на курс оснований и фундаментов, но в „обводненной“ трактовке; в отношении затворов и верхнего строения—на конструкции.

Поэтому приступающий к проектированию водоподъемных плотин должен быть прежде всего подготовлен в отношении оснований и фундаментов, в особенности на слабых грунтах.

Такая подготовка предохранит проектирующего от крупных ошибок, могущих вызвать повреждение или даже разрушение плотины, осуществленной по проекту начинающего гидротехника.

Знание деревянных, каменных, железо-бетонных и металлических конструкций обеспечит надлежащее проектирование надводной части плотины, а хорошее знакомство с общими началами строительного искусства (строительные работы) позволит избежать ошибок в мелочах, играющих, однако, серьезную роль при эксплуатации плотины.

Умение комбинировать знания о всех условиях работы флютбета в целях отыскания найдешевейшей конструкции, надежной в эксплуатации,— вот главная задача инженера при проектировании и осуществлении флютбета плотины. Пока это—искусство, так как при одинаковой осведомленности об условиях службы флютбета решения даются различные и часто далеко не одинаково удачные.

Конечно, знание законов, управляющих жизнью русла реки (речной быт), а также условий эксплуатации сооружения являются последующими категориями знаний, которые подлежат усвоению в дальнейшей практической деятельности начинающего гидротехника.

Правда, они играют большую роль при проектировании. Трактовка вопроса о флютбетах дана автором в той инженерной постановке, которая требуется сознательным подходом к проектированию при современном состоянии знаний.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОТИН

Глава первая

Общие соображения. Классификация плотин

В настоящем труде рассматриваются лишь плотины, устраиваемые на естественных и искусственно созданных водных потоках в целях поднятия горизонта воды до требуемого уровня, а также водосливные участки плотин водохранилищных¹.

Такое поднятие горизонта воды бывает необходимо: для орошения, когда вода направляется к поливным угодьям самотеком; для получения разности горизонтов (т. е. подпора) в целях использования силы падения воды; для улучшения судоходных условий рек и др. целей.

При этом плотина может представлять собою сплошную, без отверстий, преграду для воды, переливающейся чрез верх (т. е. гребень) плотины (1), а иногда может быть частично (2) или полностью разобрана с освобождением отверстий для прохода воды. Нередко плотина разбирается от берега до берега и до дна реки, где устроено искусственное основание плотины, называемое флютбетом (3).

В первом случае плотина называется глухой водосливной, во втором — водосливно-разборчатой или разборчатой, смотря по тому, устроены ли разбираемые части на гребне плотины или на флютбете, и наконец — в третьем случае — полно-разборчатой плотинной.

Для лучшего усвоения вопроса нужна классификация, отвечающая современному состоянию этой отрасли техники.

С момента написания мной предыдущего издания прошло 8 лет. Если в 1921 г. при установлении классификации плотин необходимо было строго систематизировать данные, накопившиеся уже к 1917 г., то в настоящее время, когда появилось множество новых материалов как по конструкции плотин, так и по течениям во взглядах на таковые, необходимо было установить подразделение материала и классификацию достаточно простые, ясные и позволяющие с наибольшей простотой и легкостью обнять материал, детальнейшая разбивка которого по логическим признакам могла бы способствовать менее свежим восприятиям изучающего плотины.

Усматривая роль и смысл классификации лишь в этом последнем, автор распределил материал на три части, выделив в самостоя-

¹ Н. И. Анисимов, Вододержательные плотины.

тельную часть „Основные принципы проектирования плотин“, одновременно внося достаточную простоту в классификацию разборчатых плотин, заострив внимание читателя на выборе типа плотины.

Глава вторая

Основные части профиля водоподъемной плотины и их роль в службе сооружения

Каждая водоподъемная плотина, если она не устроена на прочном скалистом основании, состоит из трех частей: понура, водобоя и слива, или рисбермы (рис. 1), вместе составляющих одно целое, называемое флютбетом.

Назначение понура—укрепление подхода русла к основной части (водобоя), а при водонепроницаемом теле понура—также ослабление фильтрации воды под флютбетом в силу удлинения пути фильтрации.

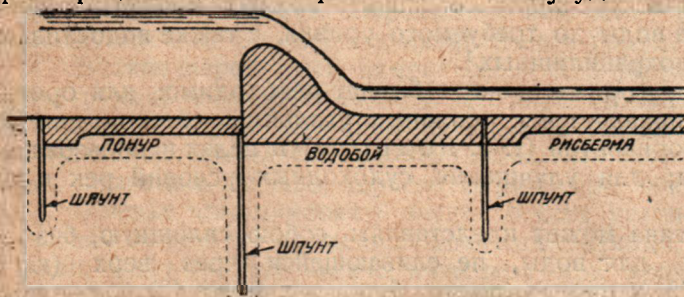


Рис. 1.

Водонепроницаемый понур, как относительно дешевая конструкция, устраивается, чтобы не увеличивать длину дорогого водобоя, при потребности в большей длине пути фильтрации.

Чем длиннее понур, тем боль-

шая часть напора фильтрационных вод погасится на его длине и тем меньшая останется по подошве водобоя, что вызывает уменьшение потребной толщины дорогого водобоя.

Однако, в виду не вполне удовлетворительных конструктивных форм, не обеспечивающих надлежащее сопряжение понура с водобоем с сохранением непрерывности пути фильтрации, надо помнить, что водонепроницаемый понур не следует вводить в расчет со слишком большой длиной, выключение которой могло бы послужить в будущем причиной повреждения или разрушения сооружения в виду возможного резкого увеличения скоростей фильтрующей воды под флютбетом на пути ее к нижнему бьефу: Обнаружить трещины не легко, а длительное их существование может привести к печальным результатам вследствие постепенного вымывания грунта под флютбетом.

Интересно отметить, что северо-донецкие плотины, выстроенные к 1914 г. (6 плотин), не имеют ни водонепроницаемого понура ни водонепроницаемого слива: лишь водобой является водонепроницаемой частью флютбета, на которой гасится напор фильтрационных вод (подпор плотин 3,2 и 3,5 м), при длине водобоя, равной четырехкратной величине подпора.

Состояние плотин на 1930 г., т. е. на 16-году службы, надо признать хорошим.

Водобой является главной частью флютбета, всегда водонепроницаемой.

Водобой служит как для погашения энергии падающей воды, так и для погашения напора и скоростей воды по пути фильтрации под водобоем.

Назначение третьей части флютбета—слива (рисбермы)—противостоять размывающему действию воды, еще не выравнившей своей скорости до величины бытовой.

Слив устраивается обычно из каменной наброски с мощением поверху или из сухой кладки и заканчивается или сплошным рядом круглых свай или, при невозможности их забивки, зубом из сухой кладки.

При соединении слива с водобоем слив утолщен, так как здесь разрушительное действие воды сильнее сказывается.

Когда водобой слишком короток для погашения напора фильтрационных вод или когда не удастся погасить живую силу падающей воды на избранной длине водобоя, слив устраивают иногда также применение короткого водобоя с глубоким низовым зубом, опущенным ниже зоны ожидаемого размыва, с укреплением ложа реки ниже зуба глыбами камня или крупным камнем.

Вопрос об устройстве бетонного слива должен быть всякий раз серьезно обсужден под углом отказа от него с тем, чтобы конструкция получила осуществление лишь при действительной в ней надобности.

Бетонный слив, естественно, имеет меньшую толщину чем водобой в виду уменьшения взвешивающего давления фильтрационной воды, притекающей к подошве слива.

При прочном скалистом грунте нет надобности в устройстве понура и слива: здесь все три части флютбета заменяются водобоем, на котором может быть возведен водослив. Однако при значительной высоте сооружения и здесь скала защищается бетоном непосредственно ниже водослива (см. ниже).

Глава третья

Основные группы вопросов при установлении принципов проектирования флютбетов плотин на сыпучих грунтах

При проектировании флютбетов на пористых размываемых основаниях (песок, гравий, песчано-глинистый грунт и проч.), пропускающих воду по всей своей массе, инженеру приходится учитывать следующие явления:

1. Движение воды под флютбетом, возникающее вследствие подпора.

2. Движение воды над флютбетом.

3. Статическую устойчивость и прочность флютбета.

4. Моменты, вносимые производством работ.

Окончательный рациональный вид конструкция может принять лишь по учете всех указанных явлений.

Движение воды под флютбетом интересует инженера с точки зрения величины скорости фильтрующей воды и степени опасности ее

для грунтов основания (опасность вымывания грунта в основании), а также величины подземного расхода воды и напора фильтрующей воды, давящей на флютбет снизу (взвешивающее давление воды), и с точки зрения условий рационального погашения этого напора. Это взвешивающее давление воды в значительной мере определяет толщину водобоя.

Движение воды над флютбетом интересует инженера с точки зрения потребной длины флютбета, считая по течению, а также (во избежание размыва ложа реки ниже плотины) с точки зрения рациональной формы флютбета с верхней стороны, где движется вода.

Таким образом эти два независимых вопроса вместе влияют на конечные размеры, очертание и конструкцию флютбета.

Намеченная конструкция, удовлетворяющая требованиям, выдвигнутым анализом первых двух явлений, должна быть проверена на прочность и устойчивость на сдвиг, а также на выпирание основания, и в случае надобности должна быть усилена с соответственными изменениями в элементах, установленных в предыдущем.

Наконец производственная сторона вопроса вносит свои коррективы в конструкцию сооружения: условия забивки шпунта в данный грунт, условия водоотлива и проч. вносят коррективы как в размеры отдельных элементов конструкции, так и выбор этих элементов, с чем надо сообразоваться заранее, рассматривая движение воды под флютбетом.

Первые две группы указанных вопросов наименее исследованы до настоящего времени.

Если в отношении первой группы надо сказать, что она не исследована до такой степени, чтобы могла дать строго обоснованное решение для большинства случаев практики, то относительно второй группы приходится констатировать, что, несмотря на практические данные, лабораторные и математические исследования, а также наблюдения над существующими сооружениями, учет явлений под флютбетом представляет по настоящий день далеко не решенную задачу, требующую дальнейших экспериментальных исследований в большом масштабе, отвечающем значению выводов для целей практики.

Однако свет пролит и в эту область знания, вследствие чего при проектировании представляется возможным руководствоваться целым рядом уже установленных выводов совместными усилиями практики, лабораторий, теоретиков и наблюдений над существующими сооружениями.

Глава четвертая

Движение воды под флютбетом

1. Данные русской практики

Русская практика уже к 1910 г. сделала ряд выводов, частично уловив некоторые явления при движении воды под флютбетом.

Эти выводы можно изложить вкратце в следующем виде:

1. Верховой шпунтовый ряд водоподъемной плотины подпора **H** должен иметь максимальную глубину, допустимую условиями забивки

свай (т. е. грунтовыми условиями и наличием оборудования, желатель-но $2H$); однако он не должен быть менее величины подпора, считая от подошвы флютбета.

2. Низовой шпунтовый ряд должен быть короче верхового на 1—1,5 м для уменьшения взвешивающего давления фильтрационной воды; при производстве работ надлежит повысить требования при приемке верхового шпунтового ряда.

3. При выполнении условий 1 и 2, при устройстве водобоя вчетверо длиннее подпора H , т. е. $4H$, нет острой надобности в водонепроницаемых понуре и рисберме; лишь сильно фильтрующие, сильно размываемые породы могут потребовать этого.

4. Нет оснований утоньшать флютбет по его длине по соображениям уменьшения взвешивающего давления воды, так как при не вполне удовлетворительных шпунтах—с одной стороны, и при учете вымывания грунта из-под забетонированных частей флютбета при водоотливе—с другой, могут произойти увеличение и выравнивание взвешивающего давления воды на флютбет.

5. Если шпунт не идет в грунт, можно удовлетвориться одним водонепроницаемым водобоем, устроенным согласно п. 3.

6. Толщину [флютбета в песчаном грунте надо брать $\frac{2}{3} H$, а в песчано-глинистом — $\frac{H}{2}$. Проверка устойчивости сооружения на сдвиг не отпадает при этом.

По этим данным были, между прочим, построены шесть плотин на р. Сев. Донце в 1911—1914 гг. Лишь п. 2 был устранен, и шпунты забиты были одинаковой глубины.

Сделано это было в целях устранения вымывания грунта из коробки, образованной шпунтами, при убеждении в достаточности толщины флютбета для сопротивления взвешивающему давлению фильтрационных вод.

Как известно, северо-донецкие сооружения являются лучшими в СССР по состоянию их на 1930 г., а по сравнению с западно-европейскими образцами тех же лет—более экономичными (меньшая толщина флютбета).

Применяя эти нормы, получаем надежное сооружение с точки зрения возникающих скоростей фильтрационной воды под флютбетом и с точки зрения взвешивающего давления воды под флютбетом.

В самом деле, применение этих норм до сих пор не дало ни одного случая подмыва флютбета токами фильтрационных вод; ни разу не пришлось констатировать большего давления воды на флютбет, чем принято в сооружении, обычно имеющем коэффициент устойчивости на скольжение $k=1,05—1,15$, редко более.

При таких обстоятельствах трудно думать, что теоретические исследования дадут возможность получить дополнительную большую экономию, вызванную отчетливыми представлениями о движении воды под флютбетом, экономию, не показанную ни в данном параграфе, ни в §§ 7 и 9 настоящей главы.

Однако это не должно понижать нашего интереса к теоретическим исследованиям вопросов движения воды над и под флютбетом, так как лишь они в конце концов смогут связать все указанные явления в одну стройную картину; следует

оговориться, что здесь призваны играть огромную роль исследования, поставленные над сооружением, специально для сего построенным и надлежаще оборудованным измерительными приборами.

Этими данными руководствовались русские строители плотин по настоящее время при постройке сооружений на водных путях, а в последние годы—иногда отступая в сторону запаса, последнее время вводя глиняный понур часто без достаточных однако оснований, не подтвержденных опытом службы плотин (вредное влияние Bligh с 1910 г.).

Можно заявить, что разборчатая плотина, тщательно выстроенная по этим нормам, будет исправно работать. В неявном виде здесь учтена и шелестость шпунта, нередко имеющая место на деле.

Однако нормы установлены без каких-либо научных оснований.

2. Данные германской практики

К тому же времени германская практика установила свои практические нормы, опубликованные инженером Köhn'ом.

1. Верховой шпунтовый ряд перед водобоем должен быть забит на глубину не менее величины подпора, считая от подошвы флютбета.

2. Низовой шпунтовый ряд должен быть не менее 1,5 м во избежание вымывания грунта в основании.

3. Общая длина вертикальных путей фильтрации должна быть не менее 4—6*H*, в зависимости от рода грунта (песчано-глинистому отвечает 4*H*, мелкому песку—6*H*). Такую же длину должны иметь горизонтальные пути фильтрации.

Также можно заявить, что сооружение, тщательно выстроенное по этим нормам, будет исправно служить: тому гарантией является весьма большой опыт.

Положительная сторона этих норм—в попытке установить нужный путь фильтрации в зависимости от напора и рода грунта. Однако при этом не была забыта роль вертикальных путей фильтрации, принятых в этих нормах в 50% от общей длины пути фильтрационных вод. К тому обязывал инженерный опыт.

Вторая положительная сторона—в признании возможности значительно укоротить низовой шпунтовый ряд. В этом сказалось более четкое понимание явлений фильтрации под сооружением, при длинном водобое вызывающее укорочение низового шпунта.

Однако, в целях предотвращения вымывания грунта в основании, оставлен низовой шпунтовый ряд глубиной не менее 1,5 м.

Отрицательная сторона этих норм—в отсутствии исключений, отмеченных в п. 5 русских норм, что может или могло вызывать лишние затраты, при неиспользовании опыта службы плотин на грунтах, не дающих шпунтов удовлетворительного качества.

Конечно германские нормы также не были подкреплены научными обоснованиями.

3. Данные английской практики

Инженер Бляй (Bligh), работавший по ирригационному строительству, опираясь, правда, на значительно меньший опыт службы сооружений¹, чем это имело место в предыдущем изложении

¹ Сооружения эти по преимуществу дефективного типа (со слабой ролью шпунтов).

(§§ 2 и 1), пришел к 1910 г. к заключению, что, во избежание вымывания частиц грунта фильтрующей водой под водонепроницаемым флутбетом, необходимо придать такую длину этому пути L по обводу флутбета, чтобы скорость фильтрующей воды, пропорциональная пьезометрическому уклону, равному $\frac{H}{L} = i$, не была опасна для данного грунта, т. е. $v = K \cdot i \leq v$ опасной.

Bligh дал грубо-ориентировочную таблицу значений величин C для ряда грунтов, где C — отвлеченное число, на которое надо умножить подпор H , чтобы получить минимально потребный путь $L = C \cdot H$ безопасной фильтрации.

Эту таблицу значений величины C приводим ниже.

1. Тонкий ил или легкий песок, подобный нильскому...	18
2. Мелкий песок, подобный колорадскому.....	15
3. Крупный песок	12
4. Гравий с песком.....	9
5. Галька с песком, булыги с песком	6—4

Здесь не указана крупность песка, что является дефектом таблицы, в значительной мере ее обесценивающим.

При этом Bligh полагает, что наиболее опасная фильтрация идет по нижнему обводу водонепроницаемой части флутбета (это предположение в глухом виде имеет место и в предыдущем изложении, §§ 1 и 2)—с одной стороны, а с другой—устанавливает заведомо неверное положение, что потеря напора фильтрационных вод в данной точке под флутбетом прямо пропорциональна длине пути фильтрации, не завися от направления пути.

Между тем, оперируя данными лишь по сооружениям со слабо развитыми вертикальными путями фильтрации, Bligh имел все основания отнести все свои выводы, сводящиеся к приведенной примитивной таблице, лишь к подобным сооружениям.

В таком виде данные Bligh'a являлись бы полезным дополнением к данным русской и германской практики; ныне, с введением в практику короткого флутбета с глубоким низовым зубом, эта польза сходит на-нет.

Момент опубликования данных Bligh'a совпал с огромным ростом интереса к ирригационному строительству в нашей стране.

Данные Bligh'a помещены были им в труде по ирригационным сооружениям, вышедшем в свет в 1910 г. (The practical disign of irrigation works).

Наконец группы русских технических работников, занимавшиеся изучением литературных данных по ирригации, лишенные практического опыта, были многочисленны в указанное время, когда прочие отрасли водного строительства протекали в ведомственно-замкнутой обстановке, без широкого общественного обсуждения технических вопросов и без опубликования своих данных.

Нет ничего удивительного в том, что в таблицу Bligh'a уверовал огромный ряд технических работников по Отделу земельных улучшений б. Министерства земледелия, всячески поощрявшему интерес к английской технической литературе.

Этим надо объяснить, что более слабые в техническом отношении нормы (игнорирующие особое значение шпунтов), так же мало научно обоснованные, как предыдущие, но менее практически обоснованные чем эти последние, нашли широкое применение в русских проектах.

Однако, так как постройка крупных плотин до 1918 г. фактически была сосредоточена лишь в б. Министерстве путей сообщения, а б. Министерство земледелия лишь кабинетно трактовало вопросы, не прибегая к постройкам, то плотины в нашей стране продолжали строиться по русским нормам, минуя Bligh'a.

Однако русские последователи Bligh'a составили немало проектов по его таблице, произвольно вписав в нее недостающие значения величин коэффициента для прочих грунтов.

Эти проекты в большинстве случаев не осуществлены.

В заключение надо отметить, что выводы Bligh'a могут быть применимы лишь к тем самым сооружениям, по которым он нашел свою таблицу.

Однако эти последние сооружения запроектированы нерационально, так как флютбеты получились длинные и дорогие; взамен их с успехом можно было построить короткие флютбеты с глубоким низовым зубом, каковое решение при грунтах, не допускающих устройства удовлетворительных шпунтовых рядов, всегда лучшее.

При этом понур и слив при малых подпорах становятся необязательными. Практика плотностроения дала к 1930 г. немало примеров такого решения (см. гл. XIX и § 3 настоящей главы).

Сравнением норм Bligh'a с русскими и германскими практическими нормами можно установить расточительность норм Bligh'a, ничем не вызываемую, при одновременно допущенном нерациональном распределении ролей между горизонтальными и вертикальными путями фильтрации.

Самое определение толщины флюتبета по Bligh'у не приводим в виду расточительности норм и необоснованности их.

Интересующиеся вопросом с исторической точки зрения могут найти ответ в работе проф. Н. Н. Павловского, Об определении толщины флюتبета (сентябрь 1923 г., вып. 6 „Известий Научно-мелиорационного института“), широко использованной молодыми проектировщиками в последующие годы при проектировании флютбетов плотин по Bligh'у. Падение напора принималось при этом линейное по Bligh'у, тогда к к на самом деле шпунты резко понижают напор фильтрационных вод (§§ 9 и 37). Таким образом происходило ненужное утолщение и удлинение флюتبета (по Bligh'у $L_{\text{макс.}} = c \cdot H = 18 \cdot H$, чего не находим ни в § 1, ни в § 2 при наличии вертикальных путей фильтрации в 50% от $c \cdot H$).

4. Данные американской практики

Американская практика, отмечая случаи разрушения водосливных плотин на песчаных основаниях, приписывает целый ряд случаев вымыванию грунта под флютбетом водой, фильтрующей в основании при поднятом подпоре.

Инж. Арнольд Кениг¹, отмечая роль шпунтовых рядов в плотинах на песчаном основании, рекомендует всемерно увеличивать глубину d

¹ Transactions of the American Society of civil Engineers, Paper № 1196, 1911 г.

шпунтовых рядов, не отступая в сторону уменьшения от данных таблицы, где H — подпор.

d	H
$d = 2H$	$H \leq 2,5 \text{ м}$
$d = H + 1,5$	$2,5 < H \leq 7,5 \text{ „}$
$d = H$	$H > 9 \text{ „}$

Постепенное уменьшение роли шпунта внесено Кенигом исключительно в силу невозможности получить деревянный шпунт хорошего качества при большой глубине забивки его в песок.

При этом Кениг пытается теоретически установить минимальную глубину забивки шпунта следующим образом.

Если напор воды с верховой стороны шпунта близ остряка принять с запасом H , удельный вес песка — 2,65, а процент пустот — 40, то, в целях невозможности поднятия песка из-под шпунта под напором воды, необходимо, по Кенигу, иметь:

$$d = \frac{H}{2,65(1-0,4)} = 0,629 \cdot H.$$

Если принять удельный вес песка не 2,65, как берет Кениг, а 2,65 — 1 = 1,65, получим $d_{\text{мин.}} = H$.

Длину флутбета Кениг рекомендует брать не менее $4 \cdot H$ (см. п. 1).

Сравнивая данные Кенига с предыдущими, видим, что американская практика постройки плотин, которая шла своим путем, потерпев значительный ряд аварий, еще решительнее отстаивает роль шпунтовых рядов в момент, когда исполнился год со дня выхода в свет труда Bligh'a, где опрометчиво игнорирована особая роль верхового шпунтового ряда, сильнее погашающего напор, чем горизонтальные пути фильтрации.

5. Данные французской практики

Французские данные¹ касаются главным образом плотин на гравелистых и гравелисто-галечных грунтах, для которых рекомендуется брать длину водонепроницаемой части флутбета от 1,5 до 2,5 H , где H — подпор плотины.

В зависимости от этой длины флутбета находится глубина низовой шпоры, глубже погружаемой, нежели верховая, в целях ослабления вымывания мелких частиц грунта из-под флутбета.

Длина флутбета	Глубина низовой шпоры
1,5 H	1,5 H
2 H	1,25 H
2,5 H	H

Указанные соотношения, предусматривающие короткий флутбет с глубоким погружением шпор, относятся к случаям оснований, возведенных с применением сжатого воздуха. Водонепроницаемые части флутбета отсутствуют.

Верховая шпора берется не $< 0,9 H - 1 H$ (рис. 2).

¹ См. напр. René Koechlin, Mécanisme de l'eau, édition 1926, Paris et Liège Béranger.

При устройстве плотин с применением перемычек длина флютбета берется часто до $4H$ при одинаковой глубине верхового и низового шпунтов, что вполне понятно: при работе на открытом воздухе выгоднее вести работы на несколько большей площади, но на меньшей глубине. Этим устанавливается граница выгоды применения того или иного типа основания.

Необходимо отметить стремление французов понизить поверхность водобоя до $1-2$ м против горизонта порога в целях уменьшения вредного влияния струй движущейся воды на флютбет (рис. 3—4).

6. Экспериментальные работы в лабораториях

Экспериментальные работы в лабораториях велись целым рядом лиц.

Из них надо отметить Клибборна (Clibborn, 1896 г.), который за 14 лет до Vligh'a подошел к явлениям падения напора на пути филь-

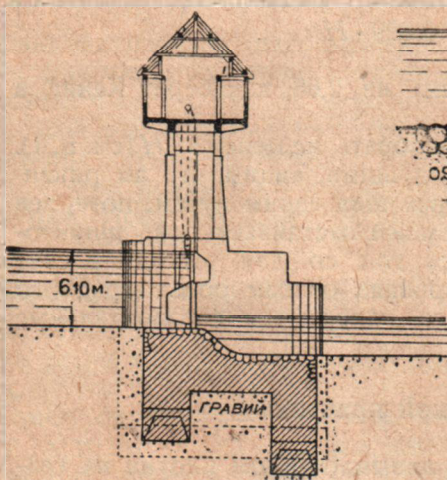


Рис. 2.

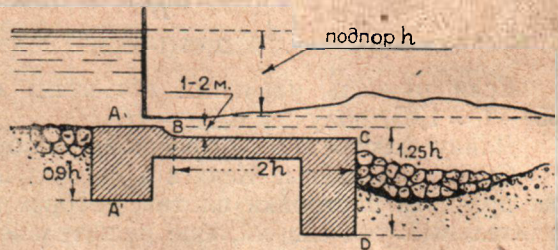


Рис. 3.

трации и необходимости научного подхода к изучению движения воды под флютбетом, а также Hays'a и Colmann'a (1915 г.) и др.

Исследования инж. Кольмана, произведенные в 1915/16 г. в лаборатории Мичиганского университета, ставили своей задачей чисто

экспериментальным путем, без какой-либо руководящей теории, определить зависимость, существующую между высотой напора воды в верхнем бьефе, длиной горизонтального пути фильтрации, распределением взвешивающего давления воды по подошве флютбета и влиянием верхового, а также низового шпунтовых рядов, с учетом порозности и действующего диаметра зерен (действующий диаметр—тот диаметр, меньше которого имеется зерен в исследуемом грунте; 10% —база, установленная Hazen'ом).

Для указанной цели Colmann устроил ящик, позволяющий менять длину флютбета от $1,3$ до $2,5$ м при глубине песчаного слоя d в ящике $1,5$ м, глубине шпунтовых рядов от 0 до $0,9$ м с верховой стороны и от 0 до $0,7$ м—с низовой, при величине напора H_1 с верховой стороны от $1,5$ до $1,55$ м и с низовой— $H_2 = 0$.

Colmann считает, что, поскольку чисто теоретические исследования пока не могут быть приняты в основу проектирования плотин—с одной стороны, а с другой—лабораторные исследования имели дело лишь с вертикальным течением воды

в трубках, постольку имеется заведомая необходимость в экспериментах, приближающих явления к тем, на кои собираемся распространить выводы.

С этим положением Colmann'a, высказанным в 1915 г., нельзя не согласиться и ныне.

Малый масштаб модели¹ для ответственных выводов по плотностроению и некоторая поспешность в проведении работы, при стремлении сделать выводы из всех результатов наблюдений в предположении безошибочности их постановки, привели Colmann'a к целому ряду заключений, не разделенных целым рядом американских гидротехников (Oakes, Wegmann, Creager, Hays и др.), выступавших в дискуссиях по вопросу.

Не останавливаясь на отрицательных сторонах работы Colmann'a, отметим положительные ее стороны.

Кольман установил, что:

1. Наличие верхового шпунтового ряда понижает взвешивающее давление воды на флютбет.

2. Наличие низового шпунтового ряда повышает взвешивающее давление воды на флютбет.

3. Верховой шпунтовый ряд должен быть действительно водонепроницаемым во избежание утраты им своего значения с точки зрения п. 1.

4. Низовой шпунтовый ряд должен быть щелистым для уменьшения взвешивающего давления воды на флютбет.

Эти положения Кольмана дополнительно подкрепляют

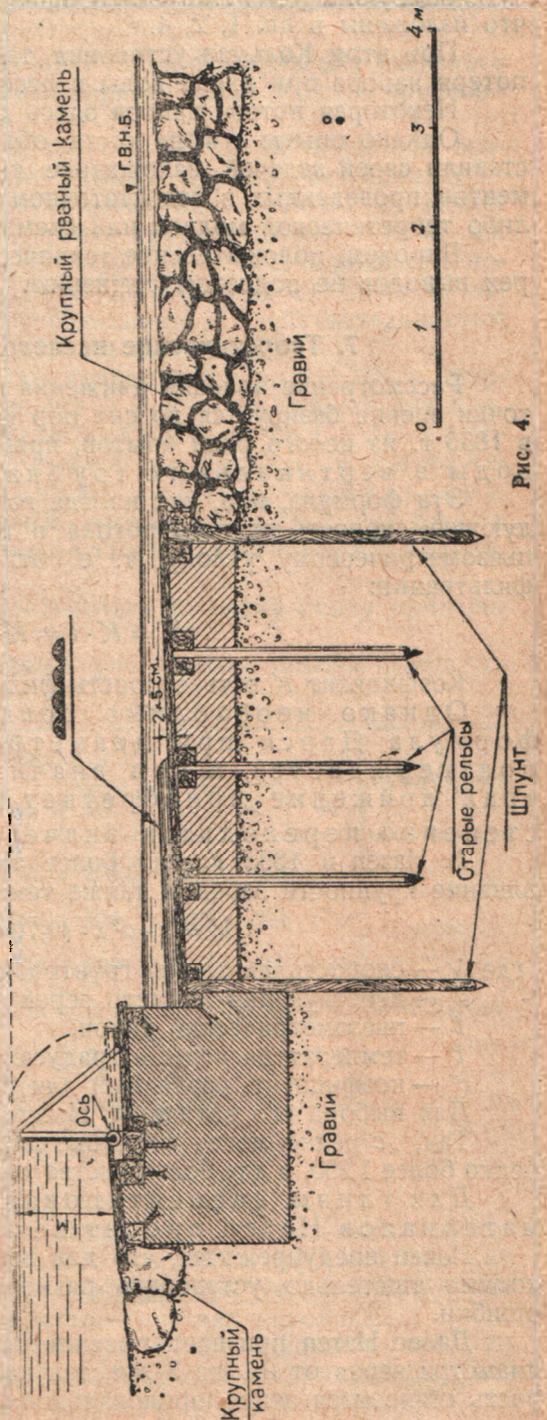


Рис. 4.

¹ К глубокому сожалению, в позднейших исследованиях масштаб нередко брался еще меньше.

ту скромную базу действительно правильных практических сведений, что изложены в пп. 1, 2, 4.

При этом Кольман установил также, что имеется значительная потеря напора при входе воды в песок.

Некоторая потеря напора здесь должна иметь место.

Однако опыты эти не были объединены какой-либо теорией, а ставили своей задачей нахождение теории из результатов экспериментов, проведенных в недостаточном масштабе, при отсутствии какой-либо теоретической модели или схемы.

Впрочем, положительное техническое значение приведенных четырех выводов не подлежит сомнению.

7. Теоретические исследования за границей

Рассмотрение явления движения грунтовых вод с теоретической точки зрения базируется до сих пор на формуле Дарси, выведенной в 1855 г. из целого ряда опытов, правда в условиях движения воды в вертикальных трубках с песком.

Эта формула, или, как иногда говорят, закон Дарси, гласит следующее: скорость водного потока в грунте прямо пропорциональна пьезометрическому уклону, т. е. отношению напора к длине пути фильтрации:

$$V = K \cdot i = K \cdot \frac{H}{L}.$$

Коэффициент K есть скорость фильтрации при уклоне $i = 1$.

Однако необходимо сразу же оговориться, что формула Дарси при диаметре зерен свыше 3 мм не подтверждается, а при значительно больших диаметрах движение приобретает иной характер, и V постепенно переходит к значению $V = K' \cdot \sqrt{i}$.

А. Hazen в 1892 г. дал более точную формулу, учитывающую влияние крупности зерен, а также температуры:

$$V = c \cdot d^2 i \cdot (0,70 + 0,3 \cdot t),$$

где V — скорость движения грунтовой воды в метрах в сутки;

d — действующий диаметр зерен в мм, найденный по Hazen'y;

i — пьезометрический уклон;

t — температура воды в градусах по Цельсию;

c — коэффициент, различный для различных песков.

Для выбора его величины Hazen дает недостаточное указание.

Так, „ c редко менее 400 даже для старого и грязного песка и редко более 1 200, а для большинства обычных песков $c = 700 - 1 000$ “.

Для глины, цементированного гравия, земли и др. материалов Hazen просит не применять его формулы.

Hazen предупреждает, что для пользования его формулой необходимо тщательно установить размер зерен во избежание крупной ошибки.

Далее Hazen признает правильность своей формулы лишь при диаметре зерен от 0,1 до 3 мм, так как при большем диаметре скорость становится непропорциональной i , а при дальнейшем возрастании крупности зерен $V = K' \cdot \sqrt{i}$ (см. заявление Hazen'a на стр. 201, paper 1196, Bd 80, 1916 г. TASCЕ).

В этом последнем случае (так показал опыт) влияние температуры почти утрачивает свое значение.

Hazen утверждает, что с помощью своей формулы ему удавалось достаточно точно для целей практики определять количество профильтровавшей воды.

Однако совершенно очевидно, что ошибка на 50% вполне возможна, если оперировать лишь теми указаниями, что дает Hazen.

Ряд опытов, проделанных Massachusetts State of Board of Health в 1892 г. для просеянного песка и гравия крупностью от 3 до 40 мм (действительный диаметр) при $0,0005 \geq i \geq 0,01$ и 40% порозности, показал, что формула Hazen'a для песка крупностью от 3 до 40 мм гравия дает результаты, резко расходящиеся с действительностью в сторону преувеличения на 50% и более (до 800%).

Так как формула Hazen'a легко приводится при $t = 10^\circ$ к формуле Дарси при $ca^2 = p$, принимая вид $V = p \cdot i$, то лишний раз подчеркнем, что формулы Дарси и Hazen'a дают метод для нахождения скорости фильтрующей воды, но, к сожалению, пока еще не обеспечивают сколько-нибудь правильных числовых значений величин этой скорости при имеющихся экспериментальных данных, в особенности при зернах > 3 мм¹.

Сближение науки с действительностью по этому стыку принесет исключительно ценные результаты.

Ниже помещаем таблицу данных упомянутых опытов (скорость в метрах в сутки)¹.

Уклон i	Действующий диаметр в мм										Примечания
	3	5	8	10	15	20	25	30	35	40	
0,0005	8,40	24,6	49,2	73,8	123	196,8	270,6	369	492	615	Скорости меняются от 0,097 до 40 мм/сек
0,001	17,10	51,6	100,5	141,5	246	363	504	675	909	1107	
0,002	34,50	98,4	191,7	270,6	465	675	909	1179	1449	1746	
0,004	66,3	189,3	369	510	861	1179	1500	1818	2139	2460	
0,006	100,8	275,4	507	675	1107	1524	1917	2286	2679	3030	
0,008	132,9	348	618	834	1302	1770	2214	2679	3120	3540	
0,01	164,7	423	738	945	1500	2040	2532	3000	3450		

Надо признать, что вопрос об отыскании действительных расходов фильтрационных вод по каким-либо формулам не решен до сих пор для ответственного приложения в жизни при создании подпора на реках в обычных реальных гидрогеологических условиях.

Что же касается величины напора фильтрационных вод, то к этому вопросу до сих пор не было подхода с какими-либо универсальными формулами, претендующими на научные основания.

¹ См. vol, 80, 1916 г. TASCE.

Однако полное теоретическое рассмотрение вопроса о движении воды под флютбетом было произведено в 1916 г. проф. Математического факультета Висконсинского университета Н. С. Wolff'ом, который подошел к вопросу, как к задаче математической физики, нашел строгое решение с применением уравнения Лапласа, по аналогии с тепловыми явлениями (случай флютбета с одним шпунтом).

Интересно отметить, что решение Вольфом дано для различных величин отношения глубины верхового шпунта к длине флютбета $\left(\frac{d}{L}\right)$.

Результаты исследований Вольфа в применении к случаю $d = 1,6 \cdot H$ и $L = 1,5 \cdot d$ изображены на рис. 5, где показано постепенное

Подпор— H

Глубина забивки шпунта $d=1,6$

Длина флютбета $d=1,5$

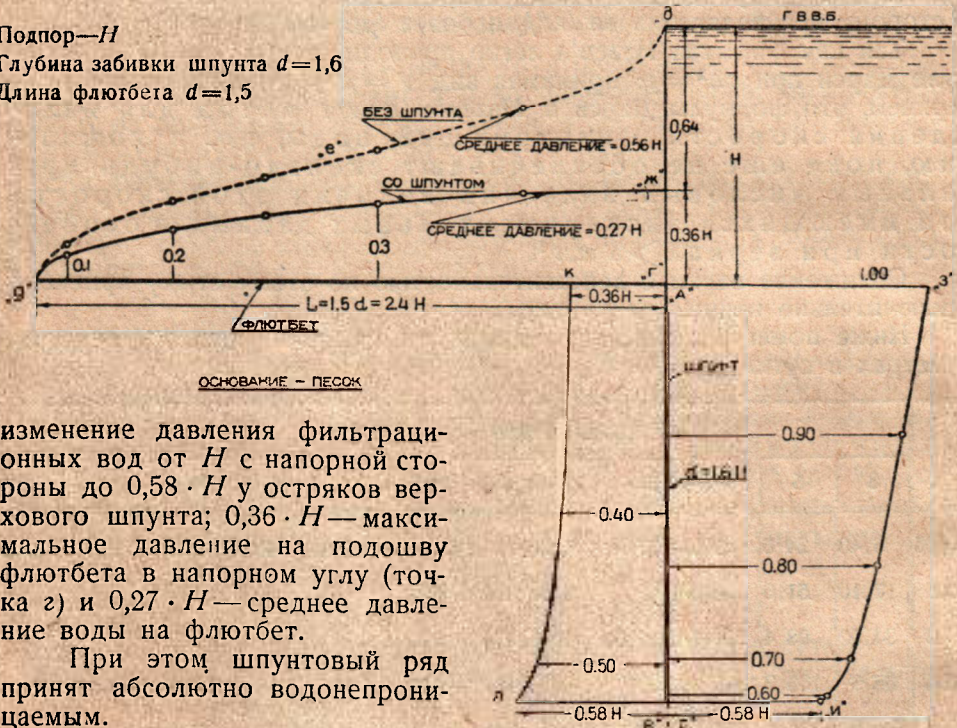


Рис. 5.

изменение давления фильтрационных вод от H с напорной стороны до $0,58 \cdot H$ у острия верхового шпунта; $0,36 \cdot H$ — максимальное давление на подошву флютбета в напорном углу (точка z) и $0,27 \cdot H$ — среднее давление воды на флютбет.

При этом шпунтовый ряд принят абсолютно водонепроницаемым.

Еще более интересный график не только для чистых математиков, но и для инженеров, изображен на рис. 6, где установлена непосредственная зависимость между величиной среднего и максимального давления воды на флютбет в долях подпора H плотины и величиной отношения глубины шпунта к длине флютбета $\left(\frac{d}{L}\right)$.

Этот последний график, построенный для всех величин $\frac{d}{L}$, встречающихся на практике, являлся бы драгоценным, если бы на практике явления протекали в том же порядке, как это имело место в предположениях Вольфа (при щелистых шпунтах картина меняется).

Во всяком случае, если инженер ожидает от математика решения рассматриваемой задачи, то окончательный вид результатов исследо-

ваний должен быть сведен к рис. 6 для грунтов всех встречающихся родов (см. Trans, Am. Soc. C. E. 1911, vol 13).

Следовательно выводами Вольфа для песчаных грунтов можно непосредственно пользоваться во всех случаях, когда верховой шпунтовый ряд забит безупречно, а низовой отсутствует¹.

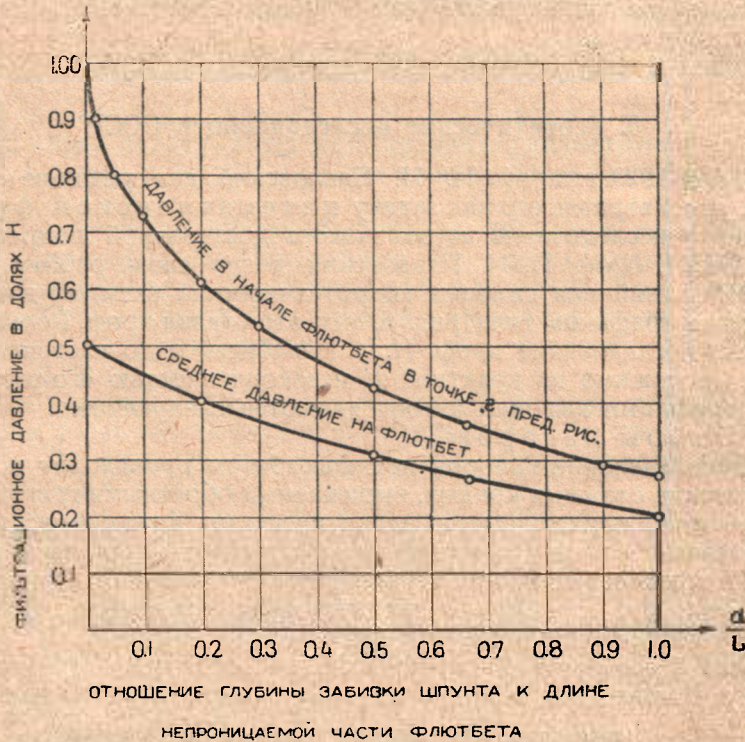


Рис. 6.

Рассматривая график 5, видим, что при $d = 1,6 H$ на длине $2d = 3,2 \cdot H$ потеряно в напоре $0,64 H$, т. е. на длине H потеряно $0,2 H$, т. е. $i = 0,2$.

На горизонтальном же пути фильтрации при длине его $L = 1,5 \cdot d = 2,4 H$ потеря равна $0,34 \cdot H$, что дает на длине H среднюю потерю $0,14 H$, т. е. в $1\frac{1}{2}$ раза меньшую; однако, исключая концентрированные потери у выхода воды из-под флютбета, на первой половине флютбета получим потерю $0,06 H$ на длине $1,2 H$, т. е. $i = \frac{1}{20}$. Другими словами, вер-

тикальные пути фильтрации, оцененные практикой плотиностроения всех стран, нашли опору в строго научном решении вопроса, данного проф. Вольфом.

Хотя по Вольфу удельное значение шпунтового ряда падает с увеличением глубины (речь идет о напоре воды снизу на флютбет)

¹ Эти выводы проф. Вольфа также помещены для использования в инженерном деле в труде „American Civil Engineers Handbook“, изд. 1930 г., (см. стр. 939), составленном крупными специалистами Америки.

(рис. 6), однако увеличение глубины шпунтового ряда до значения $\frac{a}{L} = 1$ непрерывно сопровождается падением давления воды на флютбет снизу, что покупается наиболее дешевым способом, а именно—применением шпунтового ряда.

Вследствие изложенного, чем глубже шпунт, тем более совершенно сооружение.

Однако к тому имеются препятствия (см. п. 10).

8. Теоретические исследования в СССР

К 1/VII 1920 г. проф. Н. Н. Павловский дал решение того же вопроса, рассматривая его как задачу математической физики¹.

Однако исследование не отличалось достаточной подробностью. К 1923 г. проф. Н. Н. Павловский довел свою работу до конкретных решений для типовых гидротехнических схем, не дав однако обобщенных графиков типа рис. 6, как это сделал проф. Вольф, вследствие чего исследование проф. Н. Н. Павловского до настоящего времени не приложимо на практике за незаконченностью его разработки.

Главнейшими выводам автора являются следующие:

А. Эпюры напоров.

1. Распределение напоров под флютбетом происходит по закону нередко весьма сложных кривых, выражаемых обратными тригонометрическими, гиперболическими и эллиптическими функциями; тип этих кривых зависит от типа пограничного контура водопроницаемого слоя.

2. Распределение напоров уклоняется от линейного падения напора по контуру, произвольно принятого Bligh'ом, весьма значительно; уклонение достигает иногда 70 и даже 80%.

3. Для бесшпунтовых сооружений, при отношении глубины проницаемого основания h к длине водонепроницаемой части флютбета L , равном $\frac{h}{L} \geq \frac{1}{2}$, при подсчете напоров можно не учитывать глубину проницаемого слоя, не рискуя впасть в ошибку более 10%.

4. При уменьшении величины $\frac{h}{L}$ падение напора приближается к прямолинейному.

5. Толщина флютбета не оказывает заметного влияния на распределение напоров.

Б. Скорости фильтрации.

Из рассмотрения линий равных скоростей (изотак) фильтрации видно, что в некоторых точках получается сгущение изотак; анализ дает здесь беспредельно большие скорости.

Такие пункты, названные проф. Н. Н. Павловским фокусами размыва, расположены в следующих пунктах подземного контура флютбета:

- а) нижние углы флютбета, не снабженные зубьями или шпунтами;
- б) острия шпунтов;
- в) начало тонкого понура и конец водобоя и др.

Для устранения фокуса размыва у остриев шпунта, по мнению проф. Н. Н. Павловского, надо было бы шпунт кончить внизу не острием, а однотавром с полкой, вниз обращенной (\perp).

¹ Теория фильтрации была дана ранее проф. Н. Е. Жуковским.

Практически это неосуществимо, почему простое углубление шпунта, устраняя опасность размыва, является достаточным решением.

Устранение фокуса размыва в конце водонепроницаемой части флютбета происходит при устройстве низового шпунта или зуба, менее глубокого, чем верхового.

В. Глубину верхового шпунта при мощных слоях проницаемого грунта ($\frac{h}{L} \geq \frac{1}{4}$) нет смысла задавать более $\frac{L}{4}$; при $\frac{h}{L} \leq \frac{1}{4}$ эффект шпунта увеличивается с глубиной забивки.

По этому пункту интересно сравнить диаметрально противоположные выводы проф. Вольфа для мощных слоев проницаемого грунта (рис. 5).

Кроме того практический опыт не позволяет пока согласиться с этим выводом Н. Н. Павловского, во многих случаях практически обесценивающим роль шпунтового ряда в то время, как измерения на существующих сооружениях дают результаты, согласные в этом вопросе с выводами проф. Вольфа (см. § 9).

При расположении шпунта с низовой стороны устраняется фокус размыва и уменьшается расход фильтрующей воды, что уместно использовать в плотинах с толстым флютбетом, выдерживающим фильтрационное давление воды.

При отсутствии шпунтов фильтрационное давление не слишком отклоняется от линейного распределения его по обводу флютбета (см. п. 3, а также рис. 5 Вольфа).

Если качественная сторона явлений уловлена и могла быть сообщена в виде стройных положений, то данных для проектирования мы не получаем из работы Н. Н. Павловского. Выполнять же всякий раз вместо проектирования целое исследование по принципам Н. Н. Павловского не представляется рациональным.

Если теория разработана настолько, что может быть закончена выводами, аналогичными рис. 5—6, то это надо сделать самому автору, чтобы инженер не испытывал потребности заниматься сложнейшим исследованием всякий раз при проектировании флютбета. Это достаточно сделать один раз, чтобы понять явление; в дальнейшем ответ должен быть в готовых формулах и графиках типа рис. 5 - 6 или аналогично таблицам для расчета жестких рам или для определения стрел прогиба. Однако за 10 лет (1920—1930 гг.) мы не получили решений, что свидетельствует о незаконченности разработки вопроса Н. Н. Павловским. Возможно отчасти этим объясняется, что работа Н. Н. Павловского не нашла никакого отражения в иностранных трудах по плотинам, о чем, конечно, можно лишь пожалеть.

9. Данные непосредственных наблюдений на существующих сооружениях

Таковых наблюдений, произведенных должным образом на сооружениях, представляющих подходящий тип для распространения полученных выводов на прочие сооружения, имеем немного.

Мы приводим лишь один пример наблюдений на плотине Sherman Island, опубликованные в журнале „Proceedings of the

Amer. Society of civil Engineers"¹ (наблюдения вскоре после постройки).

Плотина устроена на весьма большой толще песчано-гравелисто-галечного грунта.

Наблюдения показали, что при весьма большой толще песка с гравием и галькой в основании плотины шпунтовые ряды, забитые на глубину $> \frac{L}{3}$, дали падение напора на 1 п. м длины пути фильтрации 0,38 м, если не считать загрузку флютбета сверху песком; в противном случае имеем 0,29 м, тогда как на горизонтальных путях фильтрации имеем всего лишь вчетверо меньшее падение напора на 1 п. м.

По предварительным проектным теоретическим подсчетам американцев средняя величина напора воды на флютбет допущена была до 0,26Н, что отвечает по графику проф. Вольфа отношению $\frac{d}{L} = 0,75$.

На самом деле давление на флютбет в среднем равно 0,22Н.

По чертежам плотины Шерман $\frac{d}{L} = \frac{25}{32,4} = 0,75$, если кончить горизонтальный путь по непроницаемому контуру на конце контрфорса, а d взять 25 м, включив слой песка в длину вертикального пути.

В проекте такой подсчет мог иметь место. В действительности сыграли роль большая крупность песка и вдвоенный шпунт при такой его конструкции, которая, кстати сказать, ослабила фокус размыва. Второй шпунт был забит по причине выяснившихся дефектов в первом шпунте; качество первого неизвестно.

На этом примере, где было устроено 39 трубок $d = 7,5$ см, по 160 дыр в каждой диаметром 3 мм, доказано исключительное значение шпунтового ряда вообще (и вдвоенного в частности) в погашении напора фильтрационных вод.

Фильтрационное давление оказалось сильнее у северного берега, где песок был мельче.

Температура также сильно влияла на показания в трубках².

10. Заключение

Своевременно, в пределах имеющихся данных, перейти к предварительным заключениям, все же необходимым в данное время, пока согласованные результаты теоретических исследований и экспериментальных не приведут к графикам, разрешающим все вопросы для основных случаев однородных грунтов под флютбетом.

В отношении роли верхового шпунта вопрос можно было бы считать поконченным, если бы не странное отхождение данных Н. Н. Павловского для случая большой толщи проницаемого грунта в основании.

Однако нельзя не отметить полного совпадения практических данных по плотиностроению, экспериментальных работ и исследований Вольфа в отношении роли шпунтовых рядов.

Поэтому мы склоняемся к выводу проф. Вольфа, как к установленному также теоретически, т. е. к правильному в предположении абсолютно непроницаемого шпунта. Другими словами, при проектиро-

¹ Н. И. Анисимов, Плотины, ч. I, изд. 1928 г.

² Там же.

вании флутбета плотины на проницаемом основании необходимо брать максимальную глубину шпунтового ряда, определяемую условиями его забивки (род грунта, наличие оборудования, степень опытности закоперщиков; последнее играет огромную роль). При безупречной работе при отсутствии гальки и карчей нет оснований отказываться от применения выводов Вольфа и при деревянных шпунтах¹.

В отношении низового шпунтового ряда можно установить мнение, наиболее покрывающее предшествующее изложение, а именно— применить шпунт того же сечения, что и верховой, но уменьшить глубину его забивки в зависимости от устройства рисбермы.

Конечно, при рассмотрении движения воды поверху придется вновь вернуться к этому последнему вопросу, связанному с конструктивными мерами борьбы с размывом от действия воды, протекающей над флутбетом.

В отношении потребной величины пути фильтрации надо признать, что данные Кohn'a отличаются осторожностью; это усматривается из их сравнения с выводами Вольфа.

Данные Вольфа указывают, что построенные русские разборчатые плотины на песчаных грунтах имеют толщину флутбета, отвечающую коэффициенту запаса не более 1,25 на всплывание против максимального взвешивающего давления воды (при фактическом отношении $\frac{d}{L} = \frac{1}{3}$ имеем по рис. 6 максимальное давление $0,55 \cdot H = 0,55 \cdot 3,40 = 1,87 \text{ м}^2$) при толщине флутбета 2 м, что дает коэффициент запаса $\frac{2(2,2-1)}{1,87} = 1,25$.

Причины выбора не среднего давления, а максимального будут изложены ниже в данном же параграфе.

Длина водобоя пока может быть установлена не более $4 \cdot H$ с точки зрения длины пути фильтрации.

Русские водоподъемные плотины на сыпучих грунтах, не допускающих забивку свай, выполнены при длине водобоя, также равном $4 \cdot H$ (при отсутствии водонепроницаемых понура и слива)².

При этом толщина флутбета принята из расчета того же взвешивающего давления $0,55 \cdot H$ при удельном весе материала флутбета $2,2 - 1 = 1,2$.

Пока нет оснований отходить от этой нормы в сторону ее увеличения.

Эти грунты характеризуются большим сопротивлением размывающему действию фильтрационных вод в виду иного состава их (гравелисто-галечный, со щебнем и булыгами).

Изложенные предварительные заключения подлежат корректированию данными производственного опыта.

Эти данные, играющие огромное значение при сознательном проектировании, касаются в главнейшем следующих вопросов: качества шпунтовых рядов, достигаемого на производстве, рода шпунтовых рядов, допустимой глубины по условиям забивки в различных грунтах и условий водоотлива при бетонировании нижних слоев флутбета.

¹ Лишь наблюдения на специально построенных плотинах, надлежаще оборудованных приборами, могут корректировать вопрос в ту или другую сторону.

² Например плотина № 5 на Сев. Донце у хутора Дядина, выстроенная в 1913 г. Здесь уместно устройство бетонного зуба (верхового).

В виду ясности вопроса мы не будем загромождать изложение обилием фактических данных, подтверждающих ниже установленные положения, ограничившись данными по постройке ряда плотин на р. Ohio (Огайо), реках Донце и Шексне.

Судя по литературным данным, по дискуссиям американских инженеров, постройка плотин в Америке не сопровождалась столь суровым техническим надзором, как это имело место у нас до войны.

Самая забивка деревянного шпунта, требующая большой педантичности и максимальных опыта и сознательности низового персонала, производилась в Америке повидимому с меньшим успехом, чем это можно отметить в нашей стране. Однако в общем с некоторыми оговорками нельзя не разделить мнения инж. Oakes'a, наблюдавшего за постройкой шлюзов и плотин №№ 43 и 48 на р. Ohio, что водонепроницаемый деревянный шпунт при песчаном основании иметь почти невозможно при значительной глубине забивки.

Уместно вспомнить резонное влечение английских инженеров в Индии к бетонным шпорам с верховой стороны при гравелистом грунте.

Обращаясь к своему опыту по забивке шпунтов в грунты песчано-глинистые, глинисто-илистые, песчаные при средней крупности песка, с карчами и без этих последних, в мелкий песок с илом, гравелисто-галечные (всего под моим надзором забито в разных условиях 3 500 п. м шпунтового ряда (в плане) при глубине забивки от 2 до 9 м, при длине свай от 4 до 9,5 м, при толщине шпунтовых свай 7,5 и 18 см), должен отметить следующее.

Деревянный шпунтовый ряд вполне удовлетворительного качества, при хороших закоперщиках и педантичной работе, по моему мнению, можно получить при следующих данных:

Г р у н т	Глубина забивки не свыше	Толщина шпунта в см	Способ забивки	Примечание
Песок крупный	5	18	Баба весом 1500 кг с высоты 1,3 м,	Забивку шпунта, остающегося в конструкции, надо вести лишь по открытию котлована до проектных отметок
Песок средний и мелкий	6	18	паровой копер; соединять по 2—3	
Мягкий глинистый грунт	9	18	доски в одну	
Песчано-глинистый . . .	8	18	ставку	

Если бы при этом шпунт получился в нижней трети щелистым (до 5% щелистости на нижней трети), то результаты надо признать совсем неплохими.

Однако при отсутствии уверенности в подборе весьма квалифицированных закоперщиков, поставленных в условия наивысшего выявления их ценных качеств, указанные данные могут показаться слишком высокими и подлежащими ослаблению на 20—30% в отношении глубины при средней квалификации закоперщиков, но все же внимательном надзоре.

При толщине шпунта 7,5 см необходимо вести забивку бабой весом не > 900 кг, прибегая к частым ударам с высоты 20—40 см,

устраивая сваи из 2—3 досок, избегая длинных пружинящих свай и выбирая сваи как раз нужной длины без запасов.

При этом глубина забивки для получения достаточного шпунта указанного качества должна быть уменьшена на 50% против данных таблицы.

Заявление инж. Oakes'a относится главным образом к шпунтам, забитым в песок на глубину 7—10 м; нельзя не согласиться с инж. Oakes'ом.

Если бы отойти от деревянных шпунтовых рядов к металлическим, то мы получили бы возможность удовлетворительно забивать их на глубину до 15 м при наличии гальки в грунте, прибегая к наращиванию свай в целях уменьшения длины забиваемых свай: длинные сваи пружинят при забивке.

Однако не всегда и не везде металлический шпунтовый ряд водонепроницаем, будучи гораздо более дорогим и часто мало доступным. Опыт показал, что прекрасное качество его вверху также не является гарантией такого же состояния внизу, что установлено при выдергивании металлических шпунтов¹ (крупная галька).

При этом надо помнить, что деревянные шпунтовые ряды с течением времени протачиваются фильтрующей водой, что весьма наглядно обнаружилось при ремонте плотин Северо-западным управлением водного транспорта в 1922—1925 гг.

Металлический шпунт может еще более серьезно пострадать при действии сернистых соединений, нередко встречающихся в грунтах устьевых участков рек, что при большой его глубине забивки может принести и большой вред.

Поэтому, не разделяя взгляда инж. Oakes'a, по которому лишь по этой причине следует считать давление воды равномерно распределенным на флутбет, мы полагали бы совершенно своевременным произвести теоретические и экспериментальные исследования с выводами в виде рис. 6, рассмотрев шпунтовые ряды щелистые (до 5% щелистости), деревянные (см. таблицу) и металлические глубиной до 15 м².

Это послужило бы сближению теории и производства, оставив неувязанным лишь ряд вопросов, вызываемых разнородностью грунтов и условий их залегания по длине сооружения от берега до берега.

Далее, при водоотливе приходится устраивать кюветы вплотную к верховому и низовому шпунтам (низовой шпунт можно было бы забивать до открытия кювета, что упростило бы последнюю работу и не противоречило бы предшествующим выводам).

Эти кюветы требуют местами соединения между собой поперечными или косыми (диагональными) канавами.

При укладке первых слоев бетона с водоотливом неизбежно вымывание песка из-под ранее уложенного бетона, как бы нависающего на сваях. Это отмечает инж. Oakes, наблюдавший за постройкой плотин №№ 43 и 48 на р. Ohio, где все сооружения возведены на песке громадной толщи.

Мы имеем к этому добавить, что указанное явление особенно ярко наблюдалось в 1912 г. при постройке шлюза и плотины № 3 на р. Сев. Донце (хут. Журавский), где под бетон, висевший

¹ См. TASCЕ, vol. 80, 1916 г., p. 211.

² По мнению американских специалистов, металлический шпунт можно безупречно забить на глубину до 15 м при отсутствии валунов в грунте.

на сваях, пролезла не только трость представителя технического надзора, но и рука до плеча, державшая эту трость.

Сооружение рассчитано на максимальное равномерное давление фильтрационной воды на флютбет. То же было и на р. Оке¹.

Нам кажется, что действительно необходимо притти к заключению о безусловной правильности расчета флютбетов на песчаных основаниях на максимальное давление фильтрационной воды, равномерно распределенное по длине флютбета на песчаном основании независимо от того, имеется ли свайное основание или нет, так как в этом последнем случае бетон также повисает на соседних массах его.

При возведении плотин необходимо помнить, что применение перемычек с деревянными шпунтовыми рядами в случае мощных галечных подстилающих слоев может привести к последствиям, которые должен учесть проектирующий.

Дело в том, что мощность насосов при этом резко возрастает, вследствие чего при работе водоотливных средств происходит высасывание верхнего песчаного слоя, прилегающего к подошве флютбета, с изменением порозности грунта при ухудшении условий службы плотины.

Применение металлического шпунта глубокой забивки, или грунтового водоотлива, или подводного бетонирования—вот средства для сохранения проектных условий службы плотины.

Таким образом все существующие теории, особенно пригодные для песка, во многих случаях как раз для этого грунта не дают деловых инженерных выводов, а пока устанавливают лишь научно обоснованный метод решения задачи. Необходимо направить мысль исследователей к применению щелистого шпунта 5⁰/₀ и к учету свободных путей сообщения воды от верхового края подошвы флютбета к низовому.

В результате таких исследований будут получены новые выводы, которые несомненно представят огромную ценность для инженера-проектировщика, несущего моральную и юридическую ответственность за вид, конструкцию и размеры флютбета и его частей².

Чтобы нести такую ответственность, конечно недостаточно иметь глубокое убеждение лишь в правильности избранного научного метода; надо иметь больше—уверенность, что запроектировано заведомо прочное сооружение при возможно полном учете результатов всех позднейших теоретических и экспериментальных работ, а также условий постройки сооружения, без внесения притом запасов, которых не имеют многие благополучно работающие сооружения, экономно построенные.

Размышляя о путях сближения теоретических выводов и практики, приходим к заключению, что применение грунтового водоотлива (а не поверхностного) при устройстве флютбетов на песчаных основаниях позволяет избежать равномерного распределения давления воды на подошву флютбета (снизу вверх), тем самым способствуя более эко-

¹ См. „Фундаменты“ проф. Н. П. Пузыревского.

² Продолжение же лабораторных исследований над моделями малого размера надо назвать беспредметным: если это кое в чем подтвердит известное—в этом нет надобности; новизна же выводов должна вызвать осторожность, граничащую с недоверием (масштаб). Пока же в указанной степени можно пользоваться выводом проф. Вольфа (см. выше).

домичному решению. Однако, что касается шпунтовых рядов, то щелистые шпунтовые ряды должны быть в теоретических исследованиях рассмотрены одновременно с абсолютно водонепроницаемыми, так как и те и другие имеют место в плотностроении (первые чаще, чем вторые).

Так приходится рассуждать, пока теория не в состоянии учесть всю фактическую картину явлений.

Г л а в а п я т а я

Движение воды над флютбетом

Полная картина скоростей движения воды при расчетном расходе, начиная от понура и кончая профилями, где размыв русла прекращается¹—лучший советник в вопросах длины и типов укрепления флютбета и слива.

Так как в каждом данном случае картина скоростей своя, бытовые скорости, выдерживаемые руслом, свои, то нельзя, конечно, установить общих правил, пригодных во всех случаях, тем более вне зависимости от местных цен на дерево, камень и бетон.

Однако, в порядке разрешения отдельных вопросов в лабораториях, мысль экспериментаторов установила ряд приемов гашения энергии воды, текущей по флютбету.

Во-первых, применение мультобразного верхнего очертания низовой части водобоя способствует ясно выраженному ослаблению разрушительного действия воды на низовых по течению участках. Это установлено было чешскими опытами к 1910 г. (инж. Drahorad), когда было констатировано, что наличие мульды (чаши) во флютбете создает вращение цилиндра воды в направлении, противоположном течению реки, чем отчасти погашается живая сила потока, в результате чего стремительное движение воды заменяется волнообразным.

Однако опыты преследовали лишь узкую цель—найти лучшую форму очертания верхней части водобоя водосливной плотины при заданных размерах.

Тогда же было выяснено в Чехии, что более дешевое решение дает устройство водяной подушки (H —небольшое).

Однако вопрос о размерах водяной подушки при разных величинах перепада воды и разных количествах воды не ставился еще в лабораториях, вследствие чего не имеется и сводки выводов для облегчения задач проектирования.

Американская практика до 1918 г., опираясь на наблюдения над естественными водопадами, считала возможным устраивать водяную подушку толщиной, равной $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{7}$ от высоты падения, при длине подушки в 6—8 раз больше толщины переливающегося слоя.

Однако эти грубые придержки в настоящее время не могут удовлетворить ни проектирующего ни хозяйственника.

В целях сокращения длины флютбета путем устранения образования прыжка воды с огромными скоростями течения ее по флют-

¹ Переход к бытовым скоростям.

бету американцы в Гатунской плотине применили отдельно стоящие шашки-волнорезы высотой 2,7 м при скоростях течения воды, доходивших до 18 м/сек.

Шашки армированы и скреплены с арматурой флютбета.

Гидравлические расчеты, определяющие размеры подушки, приведены у А. Н. Ахутина в его „Примерах гидравлических расчетов“.

Однако при осуществлении сооружения совершенно необходимо испытать модель в лаборатории для проверки теоретических выводов.

Проф. Rehbock в своей лаборатории, а затем на выстроенных сооружениях установил, что, применяя зубчатый порог по флютбету, можно быстро погасить энергию движущейся воды (H —значительное).

Принцип гашения энергии зубцами Ребока заключается в том, что ниже зубцов (по течению) создается водоворот: образуется цилиндр воды, который приходит в движение, обратное движению воды, ниспадающей с гребня водослива (рис. 7).

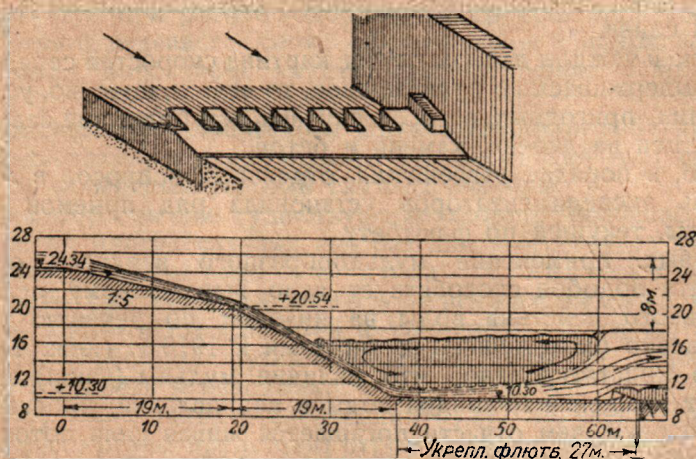


Рис. 7.

Этот водоворот обращает течение стремительное в волнообразное, с резким уменьшением скоростей течения воды по дну.

По вычислениям, опытам и действительной работе таких успокоителей энергии воды, падающей с высоты H , необходимо иметь объем вращающегося цилиндра воды в пределах от $3,6 \cdot Q \sqrt{\frac{H}{g}}$ до $7,2 \cdot Q \sqrt{\frac{H}{g}}$, где g —ускорение сила тяжести, Q —расход воды.

Относя явление к 1 п. м флютбета шириной B , получим при глубине воды в успокоителе h' , что длина успокоителя A равна:

$$\frac{3,6 \cdot Q \sqrt{\frac{H}{g}}}{B \cdot h'} \leq A \leq \frac{7,2 \cdot Q \sqrt{\frac{H}{g}}}{B \cdot h'}$$

Глубина же воды в успокоителе равна глубине на пороге, сложенной с величиной перепада на нем и с высотой зубчатого порога.

Зубчатый порог, по данным Ребока, должен удовлетворять следующим условиям:

- 1) лицевая грань должна быть вертикальна;
- 2) уклон подошвы между зубцами—против течения (подъем по течению); это позволяет избегать накопления наносов впереди порога;
- 3) плавный небольшой уклон низовой стороны порога в сторону течения.

Этот способ гашения энергии применен с большим успехом в ряде крупных гидроустановок в Восточной Пруссии, в Баденском герцогстве и в САСШ.

При проектировании сооружений в Малой Азии, Египте и др. местах произведены были лабораторные опыты над этими порогами, при чем оказалось, что зубчатые пороги надлежаще подобранных размеров и в надлежащих местах поставленные уменьшают на 70% глубину размыва неукрепленного дна ниже порогов.

Высота порога в лаборатории установлена до сих пор в пределах от $\frac{1}{24}$ до $\frac{1}{12}$ от высоты перепада воды, а высота зубьев—от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{12}$ от той же величины.

Относительные размеры основных элементов порога устанавливаются также в лаборатории. Однако в осуществленных конструкциях имеем более или менее выдержанные соотношения, приводимые ниже, а именно (рис. 8) ¹:

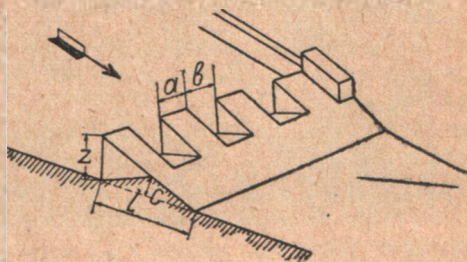


Рис. 8.

Высота порога = C .

Высота зуба = $Z = 2C$.

Ширина порога = $l = 5 \cdot C$.

Ширина зуба = $a = C$.

Просвет между зубьями = $b = C$.

Целый ряд других успокоителей или глушителей испытан в современных лабораториях; однако они относятся преимущественно к случаям значительного падения воды, т. е. весьма мало относятся к флютбетам на сыпучих грунтах. Рис. 9 изображает гаситель в виде шашек-волнорезов, описанных выше (американский прием).

В этом же последнем случае, когда имеем дело с относительно малыми напорами, гашение энергии воды происходит или подушками или мульдами.

В судоходных плотинах при $L = 4 \cdot H$ и наличии дешевой рисбермы вопрос о гашении разрешается автоматически при наличии глубины в нижнем бьефе, что заменяет подушку.

Однако при галечно-гравелистом основании оказывается достаточным взять водобой $L = 3 \cdot H$ по условиям движения воды под

¹ Зубцы Ребока нельзя ставить близко к водосливу во избежание их слабого действия.

флютбетом; при этом устраивают низовую шпору во избежание подмыва флютбета и потерь воды на фильтрацию (рис. 2).

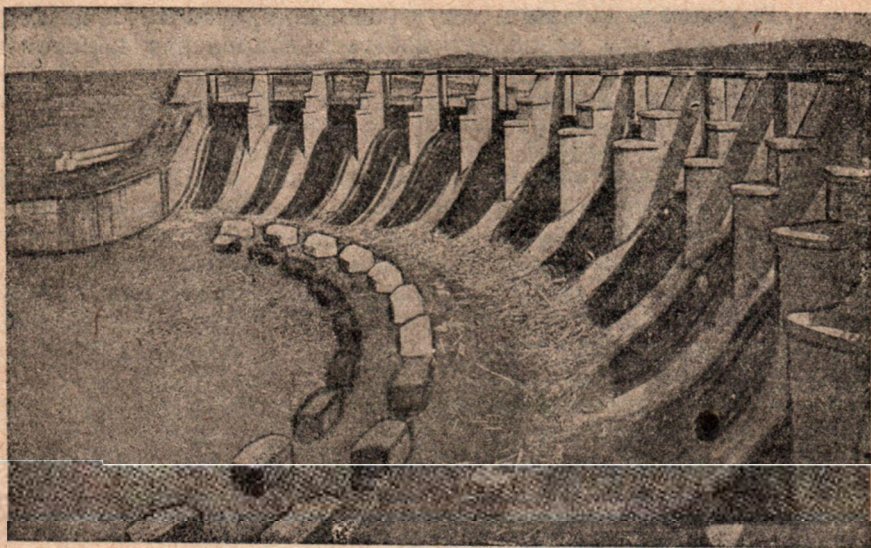


Рис. 9.

В этом случае необходимо принять искусственные меры к погашению энергии воды, движущейся по флютбету, связывая вопрос с типом затвора (рис. 10).

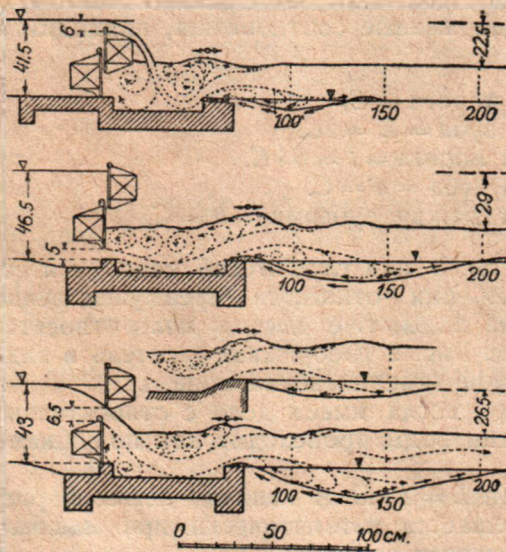


Рис. 10.

Впрочем, очертание наружной поверхности флютбета вообще целесообразно задавать, исходя из условий истечения воды из отверстий, перекрываемых затворами.

Здесь решение опять дает лишь лаборатория.

Мы находимся в таком периоде знаний, когда сгруппированных данных лабораторий по всем этим вопросам составить еще нельзя, вследствие чего приходится идти от случая к случаю, всякий раз прибегая к лаборатории, предварительно останавливаясь на длине флютбета от $3 \cdot H$ до $4 \cdot H$ в зависимости от рода грунта в основании.

Лаборатория может путем выработки рациональной формы водобоя сократить расходы на сливную часть, предотвращая размыв ниже водобоя, где устроен низовой шпунтовый ряд.

Таким образом приходим к заключению, что при подпорах, обычных при устройстве разборчатых плотин, никак не приходится увеличивать длину водобоя сверх $4 \cdot H$ по соображениям движения воды над флютбетом.

При этом сливом служит или сухая кладка, или каменная наброска, законченная поверху мощением в два слоя, или ряж, загруженный камнем и опущенный до подошвы. Это последнее решение, как наиболее дорогое, применяется лишь при несколько укороченном флютбете и укороченном сливе, зато углубленном, вследствие чего размывы ниже ряжа не являются опасными для плотины, так как зона размыва не достигает подошвы ряжа.

Изложенное указывает, что вопрос о движении воды над флютбетом далеко не разрешен, коль скоро без лабораторных испытаний мы не можем до сих пор гарантировать правильную и удовлетворительную службу рационально запроектированных гасителей энергии воды.

Сопоставляя данные главы IV с таковыми главы V, должны отметить, что тип флютбета может быть двойкий при полном соответствии условиям службы сооружения при движении воды как под флютбетом, так и над ним, а именно:

I тип—с возможно глубоким верховым шпунтом, а также низовым шпунтом, по возможности без понура или с таковым при невозможности дешевле и рациональнейшим образом обеспечить необходимый путь фильтрации;

II тип—с коротким флютбетом и глубокими зубьями—верховым и в особенности низовым, в целях устранения вымывания частиц грунта из-под флютбета, а также в целях устранения размыва грунта ниже флютбета; понур и рисберма здесь, вообще говоря, отпадают.

I тип отвечает меньшим подпорам, производству работ без применения сжатого воздуха, применяется при этих условиях для плотин, по своей конструкции не требующих толстого флютбета.

II тип может оказаться экономически предпочтительным даже при тех же подпорах, если флютбет и без того приходится делать толстым (бертреп, секторная плотина, дахвер); принятая толщина флютбета достаточна и при действии повышенного взвешивающего давления, вызываемого углублением низового зуба; явно предпочтительен этот тип при больших подпорах, когда есть возможность упереть глубокие зубья, удовлетворяющие требованиям прочности и устойчивости флютбета, в плотный, хотя бы и водопроницаемый грунт, например гравий (плотина Гесген, построенная к 1917 г. на гравии при $H = 6,5$ м). Применение сжатого воздуха характерно лишь при больших подпорах.

Справедливость требует отметить, что II тип, согласующийся с нынешними теоретическими представлениями, выдвинут и установлен так же практикой, как и I тип (плотина Гесген была готова к 1917 г., к каковому времени теория еще не дала полного объяснения роли глубокого низового шпунта).

Глава шестая

Прочность и устойчивость флютбета

При установлении размеров флютбета необходимо произвести также поверку устойчивости его на скольжение и на выпирание грунта

в основании (проверка на опрокидывание флютбета в целом обычно не нужна, в виду очевидности запаса устойчивости на опрокидывание).

Приводимая ниже схема действия сил на флютбет дает возможность произвести нужные проверки (рис. 11).

Оставляя в запасе отпор грунта и пренебрегая возможным некоторым добавочным активным давлением грунта $= \infty P'_4 - P'_6$, имеем коэффициент устойчивости на скольжение:

$$\eta_{\text{скольж.}} = \infty \frac{(P_2 + P_3 - P_5) \cdot f}{P_1 + P_4 + P_7 \cdot P_6 - P_8}$$

где f —коэффициент трения в состоянии покоя, равный 0,40—0,45 для песка и 0,27—0,30 для глины ¹.

Необходимо иметь $\eta > 1,00$, хотя бы при учете отпора грунта и сопротивления свайного основания до его подвижки.

Проверка на выпирание грунта может быть произведена по формуле для потребной глубины заложения основания: $h = M \cdot H_1$, где H_1 —высота столба земли, имеющего тот же вес на 1 м² основания, что и сооружение с фундаментом; H_1 берется по величине максимального сжатия в основании флютбета.

Величина $M = \frac{\text{ctg} \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi}{\text{ctg} \varphi + \frac{\pi}{2} + \varphi}$ может быть взята из таблицы ².

φ	5	10	15	20	25	30	35	40
M	0,760	0,576	0,435	0,327	0,243	0,179	0,130	0,092

Необходимо отметить, что для получения устойчивого на скольжение флютбета разборчатой плотины не приходится утоньшать его до величин, которые могли бы быть найдены при небольших подпорах, исходя лишь из эпюры взвешивающего давления воды и желая предотвратить всплывание флютбета ³.

Это обстоятельство, на ряду с ограниченным учетом сопротивления свай срезыванию, вынуждает иногда идти в обратном порядке,— с обеспечения устойчивости на скольжение путем придания нужной толщины флютбету с последующей проверкой потребной глубины шпунтовых рядов.

Таким образом констатируем полную связанность всех вопросов глав III, IV, V и VI, в совокупности устанавливающих размеры элементов флютбета.

Глава седьмая

Флютбеты плотин на скалистых основаниях

Этот род основания отличается от предыдущего прежде всего тем, что здесь мы обычно в относительно малой степени опасаемся подмыва флютбета фильтрующей водой, так как частицы грунта не являются

¹ Ниже 0,25 этот коэффициент не падает (глина с водоносными прослойками).

² Проф Н. П. Пузыревский. Расчеты фундаментов.

³ Слабые грунты вызывают необходимость свайного основания. При этом величину i можно несколько повысить, отказавшись от учета сопротивления свай срезыванию при возможном боковом изгибе их.

здесь несвязанными, или слабо связанными, а, наоборот, крепко сцементированными.

Пористость основания и здесь может иметь место (в известняках могут быть даже каверны, песчаники во всей своей массе пористы), но же при небольших подпорах она не может здесь иметь тех последствий, каких опасаемся мы в грунтах сыпучих, т. е. размываемых.

Однако проницаемость породы и здесь является главнейшим фактором, останавливающим внимание инженера при проектировании, так как прежде всего она определяет условия расчета, постройки и службы плотины при сколько-нибудь значительном подпоре (водостивные плотины).

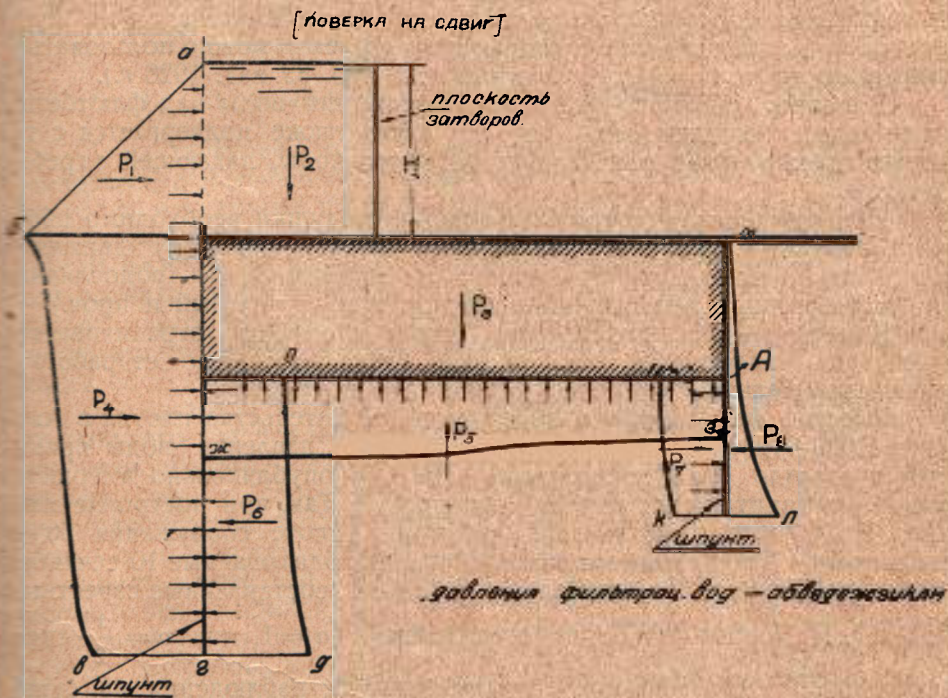


Рис. 11.

Впрочем современные способы борьбы с этим дефектом основания из осадочных пород достигли значительной степени совершенства (цементация основания).

При всем этом практика плотиностроения указывает, что, несмотря на цементацию основания, эпюра давления фильтрационных вод в основании плотины должна быть принята более осторожная в случае заведомо проницаемого скалистого основания.

Многие изверженные горные породы дают прекрасное основание, где опасаться фильтрации можно лишь в относительно малой степени, что неизменно отражается на построении эпюры взвешивающего давления воды, при лучшей скале в основании принимаемого ныне

$a > \frac{1}{3}$. От $a < \frac{1}{3}$ американцы к 1930 г. вовсе отказались.

Все предыдущие рассуждения относятся к каменным плотинам.

Если устойчивость железо-бетонной плотины на скалистом грунте мало зависит от степени проницаемости грунта в основании, так как мала поверхность, на которую может давить фильтрующая вода, то заботы по сбережению подпертой воды — с одной стороны, а с другой — стремление обезопасить основание от длительного и непрерывного действия токов воды на породу вызывают также заботы по цементации основания, в месте заделки зуба плотины в скалистый грунт.

Этим и ограничивается учет явления фильтрации воды в основании. При малых подпорах заботы упрощаются: кроме тщательного сопряжения флютбета с основанием никаких других мер не принимается. Толщина флютбета при этом минимальная, устанавливаемая не расчетом, а породой, степень ее разрушения с поверхности, ее прочностью и способностью ее к окалыванию. При назначении величины α при определении взвешивающего давления можно пользоваться итальянскими нормами (см. Плотины ч. I, стр. 89 изд. 1928 г.).

Наоборот, рассмотрение явления движения воды над флютбетом играет здесь большую роль, так как скала также подвергается с течением времени разрушительному действию воды, падающей с гребня плотины.

При отсутствии естественной водяной подушки необходимо обделывать флютбет сверху по форме, отвечающей характеру движения воды, что связано с типом затвора и типом плотины (водосливная или полноразборчатая; вальцовый затвор или сегментный и проч.).

Конечно, длина укрепленной части флютбета ограничивается здесь лишь водобоем: в качестве слива скала всегда сможет работать удовлетворительно.

Уместно указать, что в позднейшем строительстве плотин в Америке (1929—1930 гг.) эпюра взвешивающего давления воды принимается гораздо более осторожная, чем это опубликовано американцами в их капитальных трудах по вопросу¹. Так, при постройке плотины Bull Run на базальтовой лаве при высоте сооружения 60 м коэффициент α эпюры взят равным единице. Опубликованные 10 сентября 1929 г. в „Western Construction News“ нормы, составленные известным инженером Noetzli, также предусматривают $\alpha = 1$, при $\alpha = \frac{1}{2}$ лишь для хорошей скалы, но при наличии дренажа; наблюдения на существующих сооружениях при наличии дренажа и хорошей цементации основания дают $\alpha \leq \frac{2}{3}$ (плотины Willwood, American Falls, Oester, Neys, Brull fiolr, Medina, Pit River, Mulholland, Gibson). Изменения во взглядах американцев произошли после разрушения ряда плотин из-за дефектов основания при $\alpha = 0$.

¹ Н. И. Анисимов, Плотины, ч. I, изд. 1928 г.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ВОДОСЛИВНЫЕ ПЛОТИНЫ

Глава восьмая

Каменные водосливные плотины

1. Основные типы каменных водосливных плотин

Существующие водосливные плотины различаются двух родов: во-первых, с плавным очертанием низовой поверхности водослива по параболе или другой плавной кривой, или с иным плавным очертанием упрощенного типа и, во-вторых, ступенчатые водосливы.

В плотинах первого типа струя плавно перекачивается по гладкой поверхности водослива, разбиваясь внизу или о водяную подушку или об иного типа гаситель энергии, или падает вниз, отделяясь от поверхности кладки; в плотинах второго типа струя воды разбивается, падая со ступеньки на ступеньку.

До настоящего времени не имеется строгого обоснования для правильного установления границы при выборе типа водослива первого или второго рода, несмотря на преобладающую роль водослива первого типа в современном плотиностроении, что надо объяснить недостаточностью научно поставленных опытов в лабораторной обстановке и на существующих сооружениях.

Дело в том, что придание водосливу ступенчатого очертания с достаточной шириной проступи, обеспечивающей гашение энергии падающей струи, при данной величине расхода на 1 п. м водослива, может потребовать уширения, т. е. удорожания профиля; зато не возникает потребности в больших затратах на гашение струи, падающей на флютбет с ослабленной энергией.

При движении воды по водосливу с плавным очертанием низовой грани, если сооружение не имеет большой высоты, достаточен профиль, получающийся из статического расчета плотины при действии сил: горизонтального давления воды, льда, наносов, силы веса и взвешивающего давления воды. Нужны однако затраты на гашение энергии падающей на флютбет воды. При этом можно допустить отделение струи от поверхности водослива, чтобы не появилось вакуума.

При большой высоте сооружения явление осложняется тем, что падающая струя воды при более полном профиле, чем в предыдущем, не плотно прилегает к низовой поверхности водослива, порождая вакуум, т. е. новую силу, сдвигающую плотину в сторону нижнего бьефа.

В предотвращение возникновения этой последней силы необходимо уширение профиля по определенному закону, установленному ниже (п. 2).

Однако это не предохраняет от дополнительных затрат на гашение энергии по флютбету.

Отсюда ясно, что обоснование заведомой правильности выбора типа водослива, вообще говоря, достаточно сложная задача, правда, облегчающаяся при весьма больших расходах воды на 1 п. м водослива, при значительной скорости подхода воды, когда потребовалось бы явно проигрышное уширение профиля ступенчатого водослива во избежание слабого действия коротких проступей.

Здесь неизбежно применение водослива наиболее распространенного типа, т. е. с плавным очертанием нижней грани и гасителем энергии падающей на флютбет воды в виде водяной подушки, зубьев Ребока или иных устройств на флютбете.

При малых расходах на 1 п. м практически можно рассматривать каждую ступень как независимый перепад.

Ступени облицовываются облицовкой местных пород (гранит, известняк, песчаник и т. д.), достаточно прочной для работы в намеченных условиях.

Ступенчатые водосливы имеют на следующих плотинах: Pedlar River, Gilboa, Crosswood, Rosebery в Шотландии, Urft в Германии и др. (рис. 12).

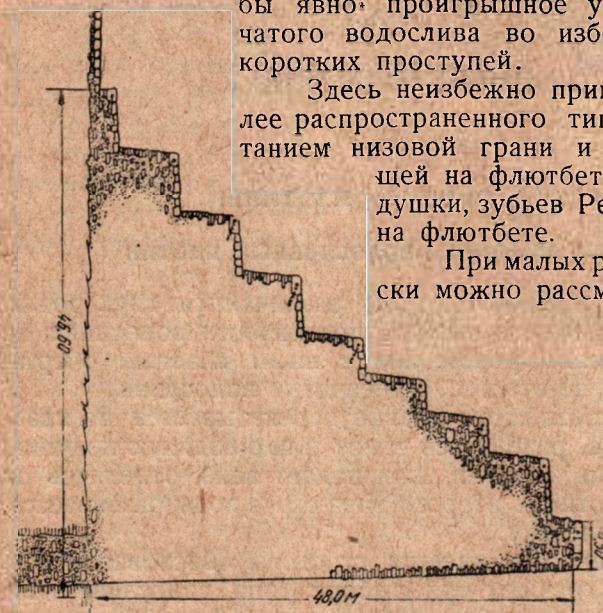


Рис. 12.

G. S. Williams, исследуя условия образования вакуума в проектируемой водосливной плотине с плавной нижней гранью, нашел вакуум в $\frac{1}{6}$ атмосферы в нижней части профиля.

Испытания были произведены на модели высотой 2,4 м при толщине переливающегося слоя 0,6 м.

$\frac{1}{6}$ атмосферы дает силу в $\frac{1}{6} \cdot 10 = \frac{5}{3} \text{ т/м}^2$ нижней поверхности с вакуумом.

Такая сила не может не обратить внимания с точки зрения устойчивости высокой плотины.

При увеличении высоты сооружения добавляется новое обстоятельство: возникает опасность для облицовки, находящейся под струей, при действии выдергивающих сил заметной величины.

Этими соображениями объясняется стремление предусмотреть в современных проектах водосливных плотин такое протекание струи по нижней поверхности водослива, когда вакуум образоваться не может, или когда он сведен к незначительному, не представляющему интереса с точки зрения службы сооружения. Безвакуумное очертание водослива, когда струя воды все время прилипает к кладке,

требует обычно более полного, т. е. более дорогого профиля, нежели тот, что устанавливается статическими расчетами прочности и устойчивости при скалистом основании.

Однако вряд ли следует всюду и везде вносить заведомое удорожание, не убедившись в действительной потребности уширения профиля по указанной причине при данной высоте сооружения.

Накопление лабораторных опытов для плотин разной высоты, работающих при различной толщине переливающегося слоя позволит в дальнейшем с большей определенностью установить без лабораторных испытаний потребность в уширении профиля или отсутствие таковой потребности в виду практически ничтожного вакуума или в виду возможности создать отрыв струи от поверхности кладки, что дает более дешевое решение, более уместное при небольших высотах плотины.

Конечно, если плотина не устойчива на скольжение (грунт—глина)¹, то всегда следует утяжелить профиль; в этом и лишь в этом случае всегда, независимо от высоты плотины, надо рекомендовать разместить потребные добавочные массы кладки так, чтобы вовсе предотвратить образование вакуума.

2. Форма низовой поверхности безвакуумного водослива с криволинейным очертанием низовой грани

Низовая грань безвакуумного водослива должна быть очерчена по кривой, совпадающей с теоретической формой нижней поверхности ниспадающей струи; тогда струя при своем движении не отстанет от кладки.

Однако лучше иметь нажим струи на кладку: тогда больше гарантий безвакуумного движения струи.

Явление вакуума имеет следующее объяснение.

При движении воды через водослив вода вследствие трения постепенно уносит воздух из пространства между струей и кладкой; так как это пространство с наружным воздухом не имеет сообщения и следовательно пополняющего притока воздуха не происходит, то через некоторое время наступает разрежение, степень которого определяется полнотой и формой очертания профиля, высотой сооружения и расходом воды на 1 п. м водослива.

Ниспадающая с гребня водослива струя испытывает при этом неодинаковое давление на наружной и внутренней поверхностях, что вызывает перераспределение как величин, так и направлений скоростей в толще струи.

Вызываемое тем самым колебание струи и даже разрыв ее приводят к тому, что воздух вновь попадает в пространство между струей и кладкой, и атмосферное давление под струей вновь восстанавливается, чтобы уступить место вакууму, вновь появляющемуся по причинам, изложенным выше.

Если трубками подвести воздух в пространство с вакуумом, то последний исчезнет.

¹ Коэффициент трения тела плотины по грунту может отличаться один от другого в 2 раза, например 0,27 и 0,50; в том же отношении меняется объем кладки.

Такие примеры решения вопроса имеются; например, в плотине Green River устроены трубки $d = 20$ см, расставленные через 6 м центр от центра, перпендикулярно гребню, и соединяющиеся с питающей трубкой, параллельной гребню, выходящей у устоев наружу для соединения с атмосферой.

Высота плотины—4,85 м при толщине переливающегося слоя до 4,5 м и длине водослива в 45 м.

При такой высоте сооружения нет особых затруднений к получению водослива с отрывом струи от кладки.

Отысканием теоретической формы ниспадающей струи занималось много инженеров.

В современной проектной практике обычно принято пользоваться данными американского инженера Крегера (Creager).

Однако полное теоретическое решение вопроса дано лишь заслуженным деятелем науки и техники проф. Н. П. Пузыревским при сотрудничестве инж. Л. В. Казанской¹.

В построении инж. Крегера кладка заходит внутрь теоретической струи; сделано это для большей уверенности, что струя не отойдет от кладки.

Однако величина погружения кладки внутрь струи у Крегера не имеет научного обоснования, являясь произвольной и не обеспечивающей безвакуумного движения струи.

Для построения очертания внутренней поверхности струи, найденного по методу проф. Н. П. Пузыревского, надо данные ниже приведенной таблицы умножить на $+ \frac{h_{zp.}}{0,888}$, где $h_{zp.}$ —толщина слоя переливающейся струи в метрах.

Очерчивая кладку по нижней поверхности струи, вводим также прижим в той величине, которая сближает решения проф. Н. П. Пузыревского и инж. Крегера.

Начало координат—в верхней точке вертикальной напорной грани водослива (при $x = 0$, $y = 0$).

X	0,1014	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900
Y	-0,0850	-0,109	-0,113	-0,105	-0,085	-0,052	0,00	0,050	0,115
X	0,1028	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500	1,600	1,700	1,800
Y	0,2050	0,292	0,389	0,490	0,607	0,710	0,830	0,960	1,098
X	2,0000	2,100	2,200	2,300	2,400	2,500	2,600	2,700	2,800
Y	1,3800	1,535	1,700	1,880	2,065	2,262	2,465	2,670	2,895
X	2,9000	3,000	3,100	3,200	3,300	3,400	—	—	—
Y	3,1050	3,365	3,600	3,858	4,120	4,900	—	—	—

¹ Л. В. Казанская, Водосливные плотины, 1927 г.

Для наружной поверхности имеем таблицу:

X	0,1014	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900
Y	-0,8260	-0,795	-0,768	-0,728	-0,689	-0,640	-0,581	-0,525	-0,455
X	1,0280	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500	1,600	1,700	1,800
Y	-0,3550	-0,300	-0,205	-0,105	0,050	0,130	0,260	0,390	0,530
X	2,0000	2,100	2,200	2,300	2,400	2,500	2,600	2,700	2,800
Y	0,8280	0,990	1,148	1,320	1,510	1,705	1,915	2,125	2,335
X	2,9000	3,000	3,100	3,200	3,300	3,400	—	—	—
Y	2,5450	2,790	3,030	3,295	3,572	3,840	—	—	—

При $x = 0$, $y = -0,851$.

3. Ступенчатые водосливы

Этот тип водослива пока применяется в случае небольшого расхода воды на 1 п. м сооружения.

Одна из наиболее высоких водосливных плотин—Gilboa, имеющая высоту 48 м (рис. 12).

При составлении проекта предполагалось, что на ступенях ниспадающая струя потеряет значительную часть скорости вследствие последовательного изменения направления движения на каждой из ступеней.

Лабораторным испытаниям подверглись три модели в масштабах: $1/8$, $1/20$ и $1/50$ натуральной величины при различных формах ступеней: с горизонтальной проступью и с наклонными вверх и вниз.

Для плотины принята была последняя форма ступеней, как давшая наиболее удовлетворительные результаты.

Пока толщина переливающегося слоя воды не превышала 1,20 м, струя падала со ступени на ступень, и продольный профиль струи имел изломы, соответствующие ступеням.

С увеличением высоты слоя воды на гребне до 3 м струя при движении своим пропущала две, а иногда и более ступеней.

Надо отметить, что на первой ступени моделей были помещены перегородки, замедлявшие движение струи в начале ее пути.

Для гребня без перегородок струя вовсе не следовала в своем движении за ступенями.

Опыт применения моделей разного масштаба привел к заключению о необходимости более крупного масштаба, например, для плотины Gilboa не менее $1/2,4$ натуральной величины; толщину же слоя воды на гребне принимать не пропорционально отношению масштабов, а несколько меньше.

Таким образом хотя эти опыты и дали ценные материалы по теории моделей, но они не дали указаний относительно рациональных размеров ступеней для погашения энергии ниспадающей струи.

Профиль Gilboa не дает уменьшения скоростей.

Такое уменьшение могло бы получиться при большей ширине ступеней и меньшей высоте подступенка. Устройство на каждой ступени колодца дает некоторый успех в гашении энергии струи.

Таким образом вопрос о гашении энергии струи воды значительной толщины при движении ее по низовой грани водослива вряд ли может быть связан с применением ступенчатого водослива.

4. Движение воды через водосливную плотину с криволинейной низовой гранью

Движение воды от гребня к водосливу по низовой грани рассмотрено в п. 2.

При дальнейшем движении струи останавливают внимание следующие вопросы:

1. Проходит ли струя при затоплении ее водой нижнего бьефа (рис. 13) или имеет место отогнанный прыжок (рис. 14).

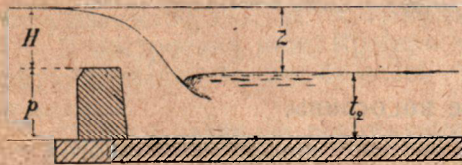


Рис. 13.

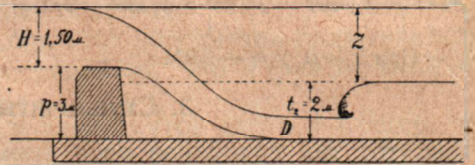


Рис. 14.

2. Является ли более выгодным в данных условиях устройство водобойного колодца (рис. 15) для уничтожения отогнанного прыжка воды нижнего бьефа при увеличенных скоростях воды по флютбету, или предпочтительно устройство водобойной стенки (рис. 16).

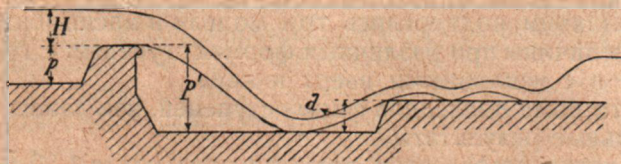


Рис. 15.

Все эти вопросы разрешаются в первом приближении методами гидравлики при местных данных об условиях и стоимости устройства упомянутых колодца или стенки.

В виду того, что на русском языке вышла работа, с полной ясностью трактующая вопрос на числовых примерах¹, не считаем целесообразным повторять в деталях эти приемы, ограничившись лишь изложением основ вопроса.

Ниспадающая с водослива струя может иметь один из двух основных типов сопряжения с уровнем нижнего бьефа:

1. Струя затопленная, когда уровень воды нижнего бьефа надвинут на ниспадающую струю (рис. 13).

2. Струя с отогнанным прыжком, когда уровень нижнего бьефа отогнан и сопрягается с ниспадающей струей посредством прыжка (рис. 14).

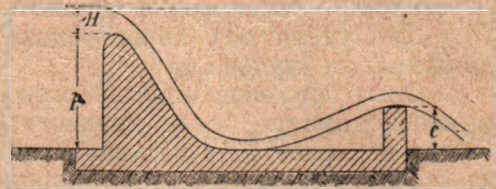


Рис. 16.

¹ Инж. А. Н. Ахутин, Примеры гидравлических расчетов, 1928 г.

Это последнее явление останавливает внимание гидротехника по той причине, что в данном случае, при уменьшении глубины в нижнем бьефе перед прыжком, возникают большие скорости течения воды, иногда опасные для флютбета—с одной стороны, а с другой—условия статического расчета водослива изменяются в худшую сторону, так как уменьшается глубина воды в нижнем бьефе, т. е. увеличивается подпор плотины.

Основными мерами борьбы с нежелательным явлением¹ отогнанного прыжка являются: водобойный колодец и водобойная стенка (рис. 15—16).

Выбирается решение, наиболее дешевое в данных условиях.

Предварительно, до выбора, необходимо произвести гидравлические расчеты.

Найденное решение для всякого сколько-нибудь значительного сооружения надо проверить в лаборатории.

При данном соотношении элементов испытываемого сооружения прыжок получается более отогнанным при уменьшении глубины в нижнем бьефе, т. е. на большем расстоянии от водослива установится прыжок.

Наоборот, с увеличением глубины воды в нижнем бьефе прыжок придвигается к водосливу.

Предельной является глубина, когда прыжок подходит к самой подошве ниспадающей струи, где она имеет наименьшую толщину.

Дальнейшее увеличение глубины в нижнем бьефе ведет к изменению формы сопряжения: струя обращается в затопленную покрытую.

Следовательно наибольший интерес представляет установление указанной предельной глубины нижнего бьефа, т. е. границы между двумя возможными формами явления.

Базен установил, что наличие той или другой формы сопряжения зависит от относительного перепада, т. е. от величины $\frac{Z}{P}$ (рис. 13—14).

Базен опытным путем показал, что критическая, разделяющая две возможные формы явления величина относительного перепада остается при опытах в общем постоянной и равна примерно $\infty \frac{Z}{P} = 0,75$.

При $\frac{Z}{P} > 0,75$ струя получается с отогнанным прыжком; при $\frac{Z}{P} < 0,75$ уровень нижнего бьефа надвигается на ниспадающую струю и затопляет ее.

При недостаточной глубине колодца, т. е. при $\frac{Z}{P} > 0,75$, струя выскочит из колодца, приобретая вид, изображенный на рис. 15.

Могут представить интерес американские практические формулы².

Ширина водяной подушки в метрах должна быть взята в пределах от $3,3 \sqrt[3]{h}$ до $4,4 \sqrt[3]{h}$, где h —толщина струи на гребне водослива в метрах.

¹ Желательным это явление может быть лишь при стремлении увеличить напор гидроустановки, работающей при плотине.

² См. Waterworks Handbook. Flinn, Bogert and Weston. edit, 1928, p. 148.

5. Статический расчет каменной водосливной плотины

Проверка устойчивости и прочности водослива должна быть произведена для следующих случаев:

1. Момент прохода высоких вод.
2. Момент наполнения верхнего бьефа.
3. Момент низкой межи с давлением льда, если зимой не сбрасывается горизонт воды в водохранилище; в противном случае остаются лишь два первых случая.

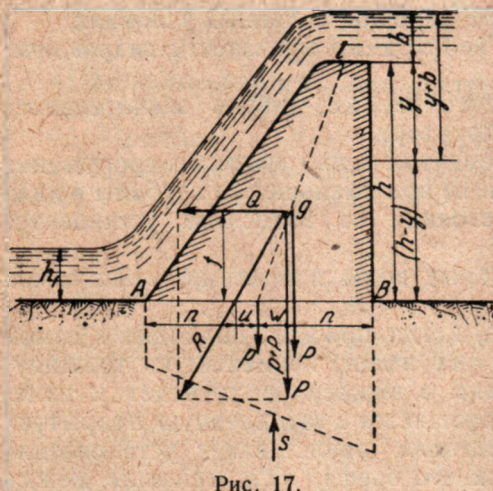


Рис. 17.

Случай 1 интересен в том отношении, что в этот момент имеем особо большое гидростатическое давление воды верхнего бьефа, а также исключительно большое взвешивающее давление воды¹.

Случай 2 интересен в том отношении, что в нижнем бьефе практически может почти не оказаться воды в то время, как в верхнем бьефе вода может быть не только на гребне водослива, но и выше, на уровне, определяемом наличием затворов на гребне.

Случай 3 представляет интерес по причине возможного значительного давления льда на севере (20—30 т/п. м и более)².

Для расчета можно было бы применить графический или аналитический метод.

Однако графический метод применим лишь при заданном очертании, тогда как аналитический позволяет найти минимум кладки по условиям статического равновесия и прочности.

Рассмотрим случай 1 (рис. 17) при графическом методе. Горизонтальное давление воды верхнего бьефа равно:

$$Q = \int_0^h (y + b) dy = \frac{h}{2} (h + 2b).$$

Это давление приложено не на $\frac{1}{3}$ высоты h или высоты $h + b$, а на расстоянии t , определяемом из двух нижеприведенных уравнений: с одной стороны

$$Q \cdot t = \int_0^h (y + b) (y - h) dy,$$

а с другой:

$$Q = \frac{h}{2} (h + 2b).$$

¹ Н. И. Анисимов, Плотины, ч. I.

² По исследованиям шведского инж. Royen, в самых неблагоприятных условиях давление льда при толщине его 1,00 м никак не может превзойти 30 т на 1 пог. м (Ludin. Die nordischen Wasserkräfte, 1930 г.).

Отсюда

$$t = \frac{\frac{h^3}{6}(h+3b)}{\frac{h}{2}(h+2b)} = \frac{h(h+3b)}{3(h+2b)}$$

так как

$$\int_0^h (y+b)(h-y) dy = \frac{h^3}{6}(h+3b)$$

При ширине гребня l и основания L определим вес воды, давящей на плотину сверху, а именно: $p = Lb$.

Далее находим вес тела плотины:

$$P = h \cdot \frac{L+l}{2} \cdot \gamma_1,$$

где γ_1 — вес 1 м³ кладки в тоннах;

горизонтальное расстояние точки приложения силы p до центра давления равно u .

Горизонтальное расстояние от центра давления до точки приложения силы P равно $u+w$.

Фильтрационное взвешивающее давление S от центра давления отстоит на величину:

$$u + \frac{L}{2} - \frac{L}{3} \cdot \frac{h_1+2h}{h_1+h} = u + v,$$

где

$$v = \frac{L}{2} - \frac{L}{3} \cdot \frac{h_1+2h}{h_1+h}$$

Давление воды Q' нижнего бьефа равно $\frac{h_1^2}{2}$; плечо этой силы равно $\frac{h_1}{3}$, и момент относительно центра давления равен $\frac{h_1^3}{6}$.

Напишем уравнение моментов приведенных сил относительно центра давления:

$$\gamma_1 \cdot h \cdot \frac{L+l}{2}(u+w) + L \cdot b \cdot u + \frac{h_1^3}{6} = \frac{h^2}{6}(h+3b) + S(u+v),$$

или

$$\begin{aligned} u \left(\gamma_1 \cdot h \frac{L+l}{2} + Lb - S \right) + \gamma_1 \cdot h \cdot \frac{L+l}{2} \cdot w &= \\ &= \frac{h^2}{6}(h+3b) - \frac{h_1^3}{6} + S \cdot v. \end{aligned}$$

Но сила веса P отстоит от середины основания L на величину:

$$w = \frac{\left(\frac{L}{2} + l\right)(L-l)}{3(L+l)}$$

Тогда нетрудно найти u , зная ω и все прочие величины, а именно:

$$u = \frac{\frac{h^2}{6}(h+3b) - \frac{h_1^3}{6}}{\gamma_1 \cdot h \cdot \frac{L+l}{2}} \cdot S \cdot \omega$$

Зная величину u , немедленно находим напряжения σ_1 и σ_2 в точках А и В по формуле:

$$\sigma = \frac{P+p-S}{L} \pm \frac{6(P+p-S)}{L^2} \cdot u = \frac{P+p-S}{L} \left(1 \pm \frac{6u}{L} \right);$$

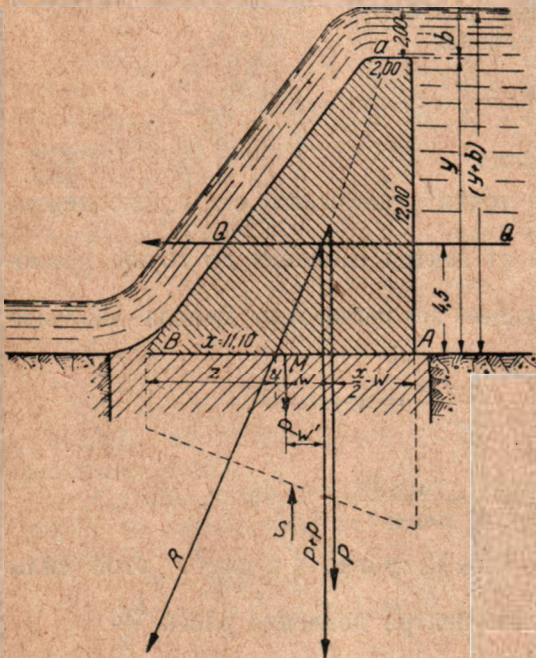


Рис. 18.

отсюда

$$\sigma_1^A = \frac{P+p-S}{L} \left(1 + \frac{6u}{L} \right)$$

и

$$\sigma_2^B = \frac{P+p-S}{L} \left(1 - \frac{6u}{L} \right).$$

Очевидно, надо удовлетворить неравенству $u \leq \frac{L}{6}$, чтобы не было растяжения в точке А.

Кроме того, напряжение в точке В не должно быть выше допускаемого ¹.

Однако не менее важна проверка на сдвиг сооружения в нижний бьеф при действии силы $Q-Q^1$ и при сопротивляющейся сдвигу силе $(P+p-S) \cdot f$, где $f = \infty 0,65$ для случая неглубокой заделки плотины в скалу.

При глубокой заделке надо посчитать дополнительно силу, потребную для скалывания скалы, в которую врезана кладка. Практически здесь идут на увеличение f до 0,80—0,85 в зависимости от качества скалы и глубины заделки тела плотины.

При песчаном грунте $f = 0,35—0,4$ и при глинистом грунте $f = 0,25—0,3$ в зависимости от наличия или отсутствия водоносных пластов ниже глины и толщины пластов последней.

Однако дополнительно надо обратить внимание на падение пластов глины.

Проверка сооружения на сдвиг является в сущности главной проверкой при большом подъеме горизонта воды в паводок.

Аналитический метод позволяет, не проделывая предварительной работы по подбору профиля, найти ширину основания профиля при

¹ Н. И. Анисимов, Плотины, ч. I.

данных: высоте плотины, толщине переливающегося слоя и горизонте воды нижнего бьефа (рис. 18).

Действующими силами являются:

Вес кладки $\gamma_1 \cdot y \cdot \frac{a+x}{2}$ с плечом $\frac{x}{2} - z + w$ относительно центра давления.

Вес воды над плотиной bx с плечом u относительно той же точки.

Давление воды верхнего бьефа $\frac{y}{2} (y + 2b)$ с плечом

$$\frac{y(y+3b)}{3(y+2b)}.$$

Давление воды нижнего бьефа $\frac{h_1^2}{2}$ с плечом $\frac{h_1}{3}$.

Взвешивающее давление воды $x \cdot \frac{y+b+h_1}{2} \cdot \alpha$, где α зависит от рода грунта и осторожности строителя, колеблясь в современной практике от 0,3 до 1,0 при более частых значениях 0,5—1¹.

Плечо этой силы относительно центра давления равно

$$\frac{x}{2} + u - \frac{x}{3} \cdot \frac{h_1 + 2 \cdot y}{h_1 + y} \quad (\text{сечение в основании профиля}).$$

Уравнение моментов сил примет вид:

$$\gamma_1 \cdot y \cdot \frac{a+x}{2} \left(\frac{x}{2} - z + u \right) + bx \left(\frac{x}{2} - z \right) = \frac{h_1^2}{6} + \frac{y}{2} (y + 2b) \cdot \frac{y(y+3b)}{3(y+2b)} + \left(\frac{x}{2} + u - \frac{x}{3} \frac{h_1 + 2y}{h_1 + y} \right) \cdot x \cdot \left(\frac{y+b+h_1}{2} \right) \alpha.$$

Так как

$$w = \frac{\left(\frac{x}{2} + a \right) (x - a)}{3(x + a)},$$

$$u = \frac{x}{2} - z,$$

то легко можем выразить:

$$z = f(x, y, b, \gamma_1, h_1, a),$$

приняв во внимание, что

$$(a+x) \left(\frac{x}{2} - z + w \right) = \frac{2x^2}{3} + \frac{2ax}{3} - 3z(a+x) - a^2.$$

и именно:

$$\frac{\gamma_1 y}{6} (2x^2 + 2ax - a^2) - \frac{\gamma_1 y}{2} (a+x) z + bx \left(\frac{x}{2} - z \right) = \frac{h_1^2}{6} (y+3b) - \frac{h_1^2}{6} + \left[x - \frac{x}{3} \cdot \frac{h_1 + 2y}{h_1 + y} \right] \left(\frac{y+b+h_1}{2} \right) \cdot x \cdot \alpha - z \left(\frac{y+b+h_1}{2} \right) \cdot x \cdot \alpha.$$

¹ Н. И. Анисимов, Плотины, ч. I. Итальянские нормы, а также стр. 35—36 настоящего труда.

Отсюда находим:

$$z = \frac{\frac{\gamma_1 y}{6}(2x^2 + 2ax - a^2) + \frac{bx^2}{2} + \frac{h_1^2}{3} - \frac{y^3}{6}(y + 3b) + \left(x - \frac{x}{3} \cdot \frac{h_1 + 2y}{h_1 + y}\right) \left(\frac{y + b + h_1}{2}\right) \cdot x \cdot a}{-\frac{y + b + h_1}{2} \cdot x \cdot a + \frac{\gamma_1 y}{2}(a + x) + bx}$$

С другой стороны, напряжение σ_2 в точке B не должно быть больше наперед заданного.

По формуле неравномерного сжатия имеем:

$$\sigma_1 = \frac{\frac{\gamma_1 y(x+a)}{2} + bx - S}{x} + \left[\frac{\frac{\gamma_1 y(x+a)}{2} + bx - S}{x} \right] \left(\frac{x}{2} - z \right) \frac{x}{2}$$

Отсюда находим также z .

Приравняв оба найденных значения z , получим лишь одно уравнение с одним неизвестным x , которое и решаем при известных a, y, α, b, h_1 (находим x').

Аналогично находим:

$$\sigma_2 = \frac{\frac{\gamma_1 y(x+a)}{2} + bx - S}{x} - \left[\frac{\frac{\gamma_1 y(x+a)}{2} + bx - S}{x} \right] \left(\frac{x}{2} - z \right) \frac{x}{2}$$

откуда также находим z при заданном σ_2 .

Приравняв это третье значение z первому, вновь получим выражение для нахождения величины x (находим x'').

Очевидно напряжения σ_2 будут более значительными для сечения с $S = 0$ (несколько выше скалы).

Для этого случая, приравнявая $h_1 = 0$, что иногда практически не вносит разницы, получим уравнения для нахождения x' и x'' .

$$y^2(y + 3b) - \sigma_1 \cdot x^2 + \gamma a^2 y + bx^2 = 0 \quad (x')$$

и

$$y^2(y + 3b) + \sigma_2 \cdot x^2 - \gamma_1 y(x^2 + \gamma_1 x - a^2) - bx^2 = 0 \quad (x'')$$

Выбирать надо большую из этих величин, задавшись предварительно допускаемым напряжением σ_1 , а также σ_2 (например $\sigma_2 = y + b \text{ м/м}^2$ или меньше, до 0).

Для малых значений y большая величина x определится по x' .

Приравнявая эти значения x' и x'' , получим при $a = 0$, что

$$y_1 = \frac{\sigma_1 - b}{\gamma_1 - 1}.$$

Для высоты плотины, большей y_1 , надо находить x по выражению x'' .

Так, при $\gamma_1 = 2,2 \text{ м/м}^3$, $\sigma_1 = 120 \text{ м/м}^2$ и $b = 3 \text{ м}$ получим:

$$y_1 = \frac{120 - 3}{1,2} = \frac{117}{1,2} = 97,5 \text{ м.}$$

Другими словами, практическое применение для нахождения x может иметь место лишь вышенаписанное уравнение для x' .

Однако поверка на сдвиг должна быть сделана в самом основании, где надо принять наличие силы взвешивающего давления S .

Очевидно, нет никаких затруднений для рассмотрения в том же порядке случаев 2 и 3, упомянутых в самом начале настоящего параграфа.

Впрочем, такой расчет не является сколько-нибудь ведущим в случае грунта с коэффициентом трения кладки по нему, меньшим $f = 0,75$, так как поверка на скольжение при малом f является главной, определяющей размеры профиля даже при небольших напряжениях σ_1 , значительно меньших допускаемых.

6. Сравнительная характеристика основных типов очертания флютбета водосливной плотины

При небольших высотах плотин целесообразно вообще отказаться от очертаний нижней грани водослива, описанных выше, прибегнув к свободному падению струи с гребня водослива, если расход на 1 п. м водослива не слишком велик.

Удар воды погашается при этом водяной подушкой, что в совокупности позволяет сильно сократить длину флютбета плотины по сравнению с профилем гуськообразным рис. 19а; (рис. 19б— x иллюстрируют результаты опытов над моделями плотин в смысле различной степени размыва при том или ином профиле и окончательно избранный профиль рис. 20, он же рис. 19).

При значительной высоте плотины, когда свободное падение струи могло бы потребовать весьма глубоких колодцев, энергия падающей воды гасится способами, изложенными в главе V.

Надо признать, что в сомнительных случаях решение дает лишь лаборатория, где должны быть испытаны модели в $1/20$ натуральной величины, а при наличии возможности — еще более крупные.

7. Конструкция каменных водосливных плотин

Каменные водосливные плотины устраиваются на грунтах скалистых, глинистых, песчаных, гравелистых, галечных и других.

При этом при одних и тех же высоте плотины над грунтом и величине подпора, получаем, в зависимости от рода грунта, разницу в размерах и конструкции не только флютбета, что зависит от учета явлений движения воды под и над флютбетом, но также и тела водослива; последнее зависит от рода грунта, на котором возводится сооружение, глубины заложения основания и от коэффициента трения тела плотины по грунту.

Состав тела плотины — бетон от 1:4:8; 1:3:6 и до 1:2 $\frac{1}{2}$:5, считая от нижней грани к верхней с облицовкой поверхностей камнем полустой тески, а также бут на растворе 1:3.

Более жирный состав применяется при больших высотах. Однако граница перехода от одного состава бетона к другому в значительной мере зависит от климатических условий и усмотрения строителя¹.

¹ Вполне морозоупорным является бетон с содержанием цемента не менее 300 кг на 1 м³ бетона; однако идти на такие затраты может оказаться менее выгодным, чем периодическое восстановление кладки с поверхности (штукатурка, торкрет).

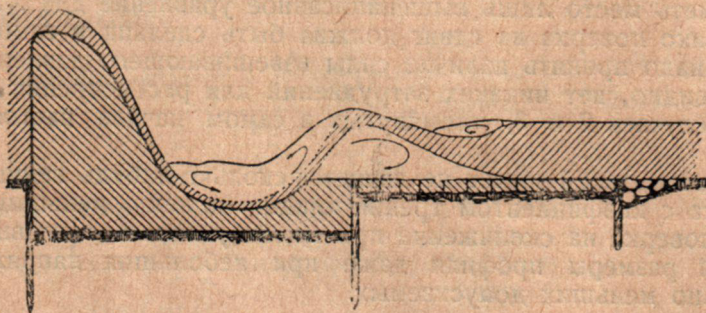


Рис. 19а.

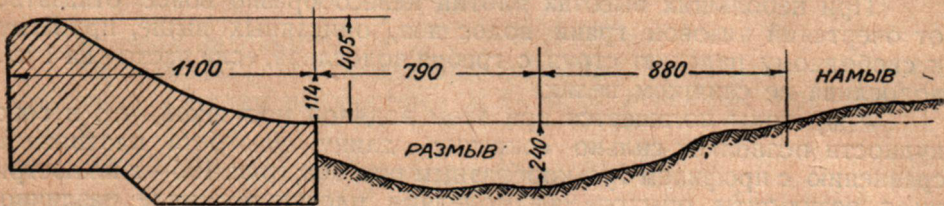


Рис. 19б.



Рис. 19в.

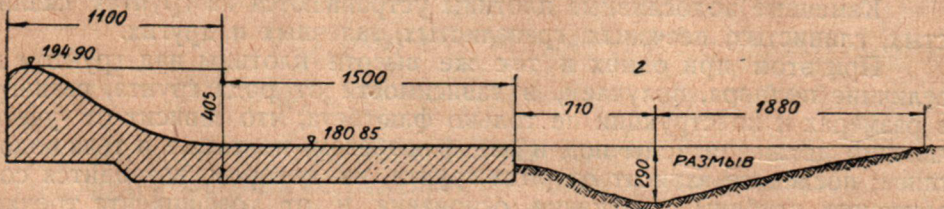


Рис. 19г.

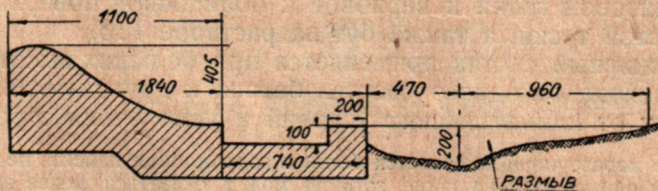


Рис. 19д.

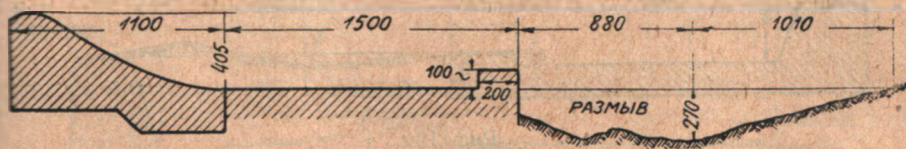
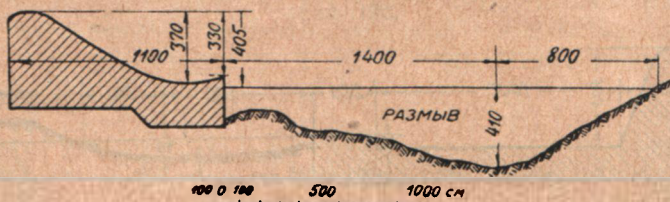


Рис. 19е.



100 0 100 500 1000 см

Рис. 19ж.

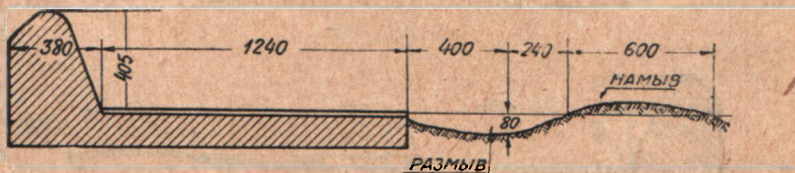


Рис. 19з.

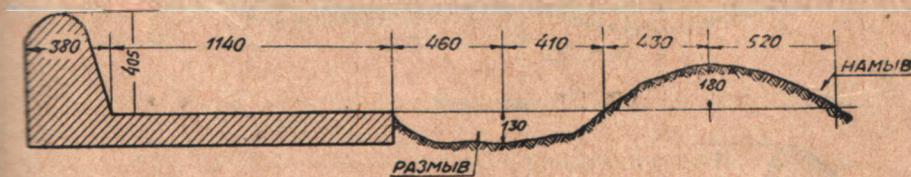


Рис. 19и.

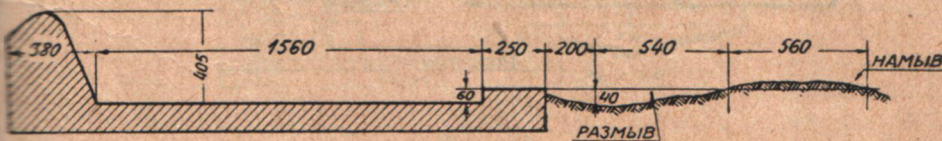


Рис. 19к.

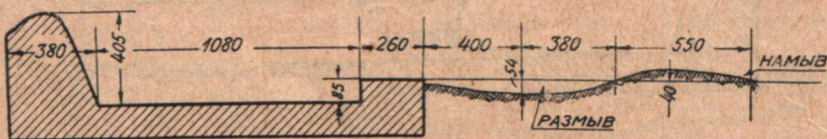


Рис. 19л.

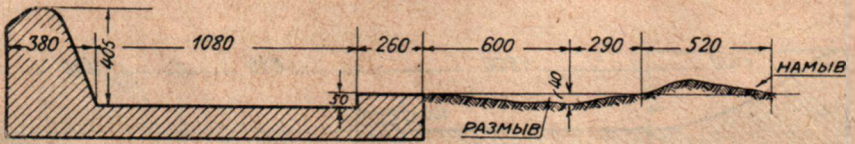


Рис. 19м.

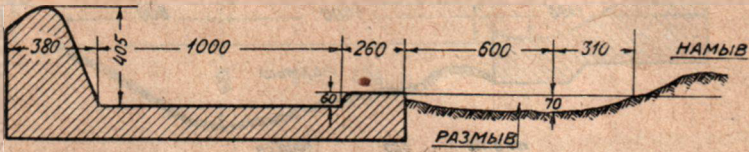


Рис. 19н.

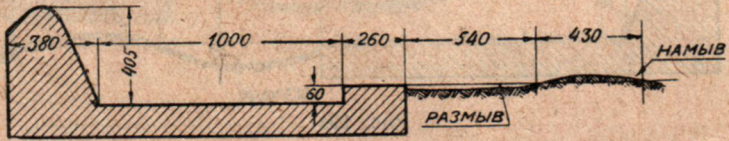


Рис. 19о (избранный профиль).

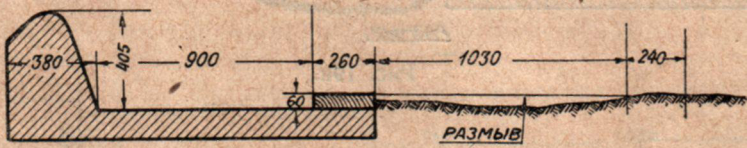


Рис. 19п.

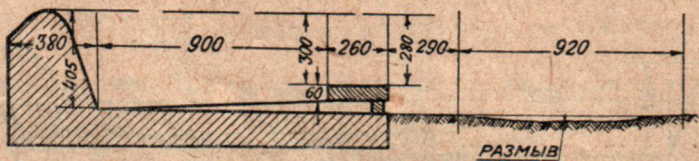


Рис. 19р.

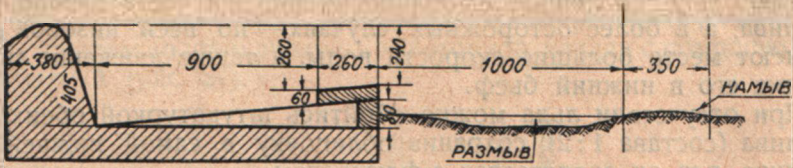


Рис. 19с.

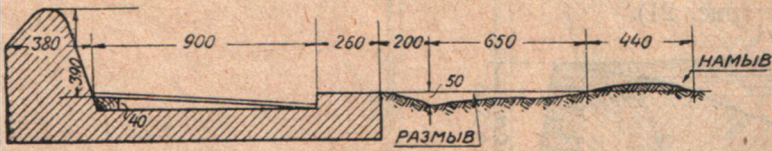


Рис. 19г.

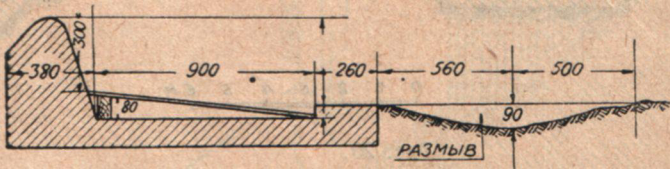


Рис. 19у.

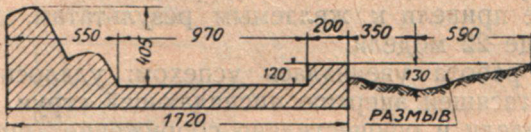


Рис. 19ф.

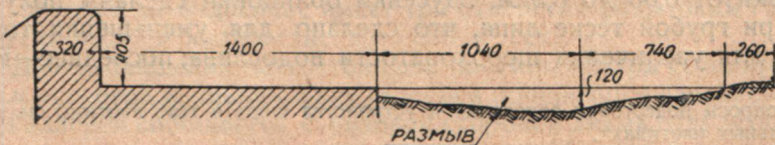


Рис. 19х.

Каменная облицовка — дорогая часть конструкции. Поэтому к ней прибегают нередко лишь для облицовки нижней части низовой грани водослива, а в более осторожных случаях — по всей низовой грани, где имеют место большие скорости воды, а также движение льда при пропуске его в нижний бьеф.

При отсутствии льда можно обойтись штукатуркой обеих граней водослива (состава 1:2), сохранив облицовку в самой нижней части водослива, где он сопрягается с флютбетом.

Наличие даже хорошего скалистого грунта не должно избавлять от устройства укрепления подошвы плотины, если она имеет скользко-нибудь значительную высоту¹.

Пример 1. Водосливная плотина Земо-Авчальской гидроэлектрической станции (у г. Тифлиса), построенная к 1927 г., имеет высоту до 23 м (рис. 21).

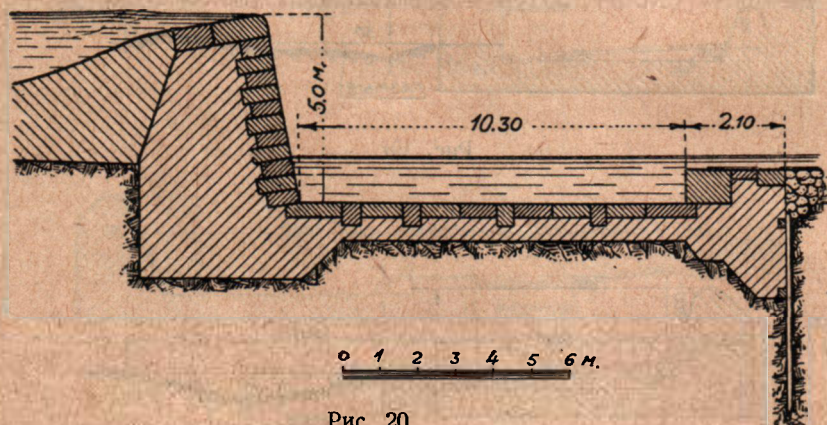


Рис. 20.

Плотина возведена на плотном песчанике.

В целях отыскания профиля, дающего наименьшее разрушение грунта ниже водослива, были произведены опыты на трех моделях в Шарлотенбургской лаборатории.

Однако результаты этих опытов, проведенных под руководством проф. Людин, не привели к желаемым результатам, вследствие чего изучено было еще 22 модели.

Последняя работа увенчалась успехом: удалось найти форму модели, быстро гасящей энергию ниспадающей струи.

По этой модели и осуществлено сооружение (рис. 21), выгодно отличающееся коротким флютбетом.

Тело плотины сделано из бетона различных составов: низовая часть флютбета — состава 1:4:8, водослив — 1:3:6 и 1:2¹/₂:5 (последний состав — к верховой грани).

Верховая грань покрыта гранитной облицовкой² при высоте ряда облицовки от 0,35 до 0,5 м. Заусенки облицовки сделаны получистой тески при грубой теске лица, что сделано для уменьшения толщины швов и для увеличения шероховатости водослива; последнее — в целях

¹ Вопросы подготовки основания и устройства швов в теле плотины см. в „Водоудержательных плотинах“.

² Ср. с Волховской плотинной.

частичного погашения энергии воды при движении ее по водосливу при одновременной экономии на каменотесных работах.

Облицовочные камни, во избежание выдергивания их движущейся водой, тщательно прикреплены к бетонной кладке с помощью анкеров и штырей (рис. 21).

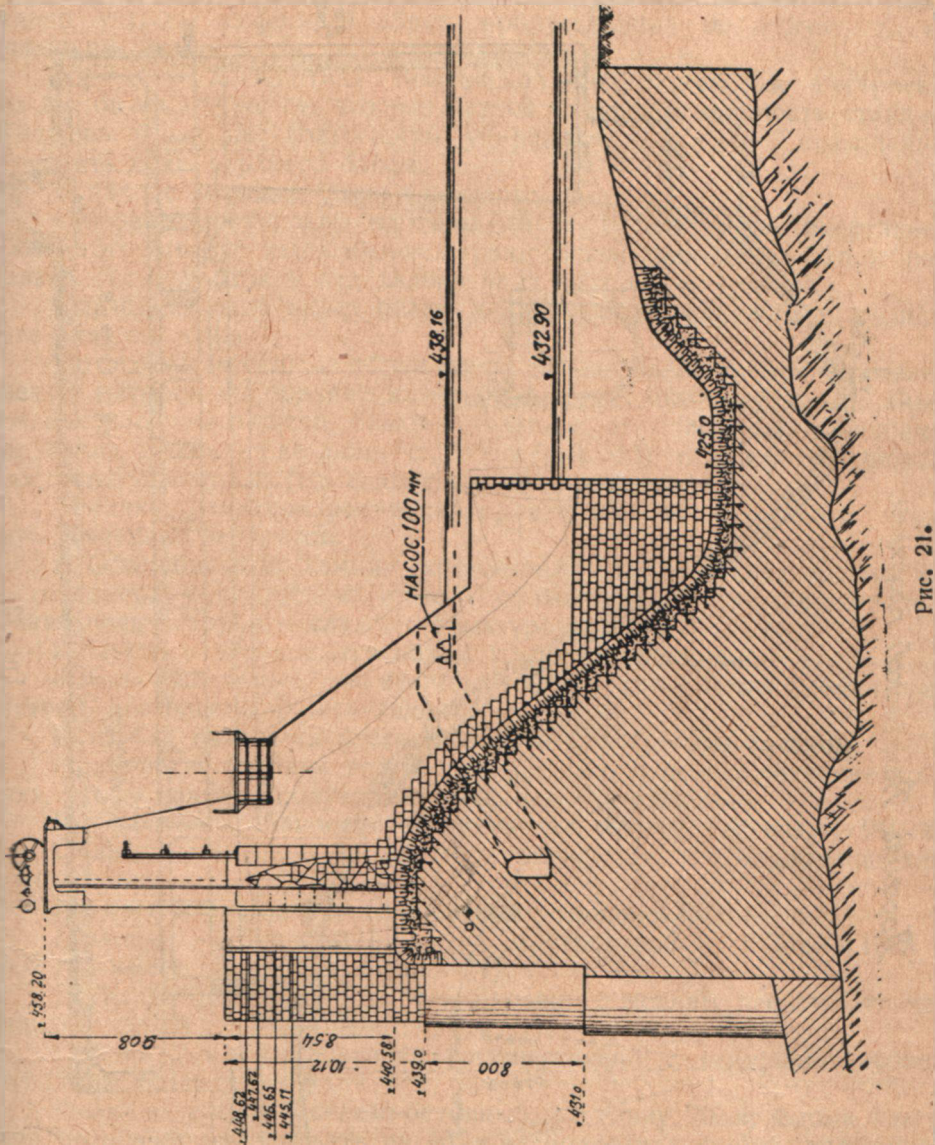


Рис. 21.

Плотина на водосливе имеет три отверстия размерами $7 \cdot 13$ м для пропуска воды в количестве до $1500 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Для наблюдения за состоянием плотины внутри ее на протяжении 51 п. м устроена инспекционная галерея поперечным сечением $2 \cdot 1,5$ м.

Галерея сообщается с низовой стороной двумя отверстиями: одно из них служит для входа в галерею, другое (малое)—для вентиляции.

Перед входным отверстием в галерею сделано углубление для сборки фильтрующей воды, куда может быть вставлен хrapок насоса для откачки воды.

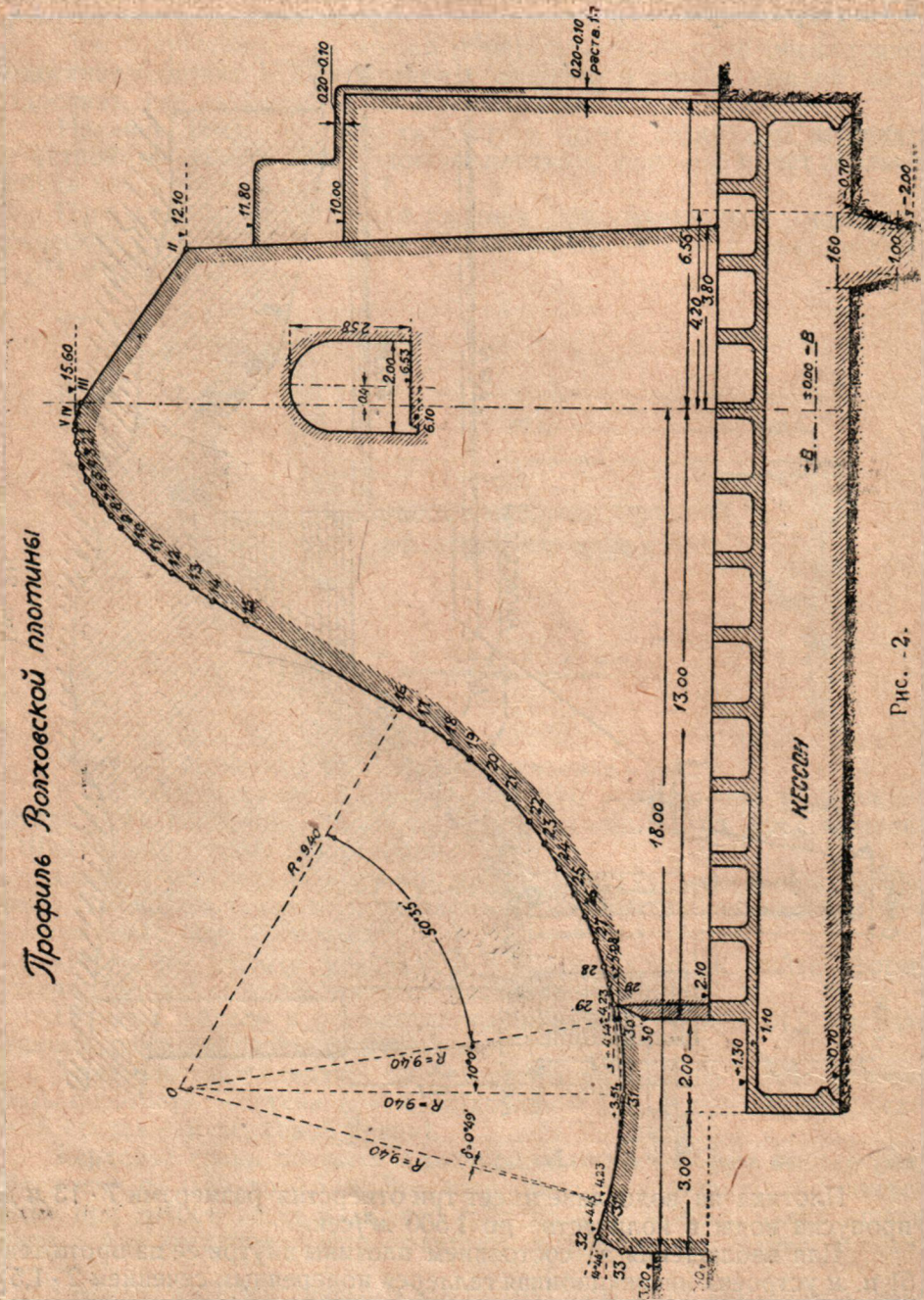


Рис. -2.

В первое время эксплуатации фильтрация установлена в раз-
мере 1,5 л/сек.

Каждый щит обслуживается самостоятельной лебедкой. Подъем щита может совершаться как вручную (время подъема—16 часов), так и с помощью электромотора (время подъема—40 мин.) мощностью в 12 л. с.

В целях устранения частого маневрирования щитами дополнительно устроен сифонный сброс, пропускающий 90 м³/сек., т. е. меженный расход Куры.

Пример 2. Плотина Волховской гидроустановки выстроена без щитов на гребне ее, что без нужды уменьшает мощность станции в межень: в высокие воды щиты убираются, не создавая повышения горизонта воды верхнего бьефа.

В данное время плотина снабжается щитами.

Профиль Волховской плотины имеет безвакуумное очертание; кроме того нижняя часть низовой грани слегка приподнята, что отбрасывает как воду, так и лед далеко вниз по течению (рис. 22).

Последняя мера имеет целью не допускать повреждений флютбета близ водослива.

По экономическим соображениям, не разделявшимся и не разделяемым автором по причине их неуместности¹, при сооружении Волховской плотины решено было отказаться от сплошной облицовки водослива, применив ее лишь частично (рис. 23) там, где облицовка в особенности нужна (ср. с предыдущим примером).

Укладка гранитной облицовки произведена по следующим указаниям шведских экспертов.

1. Облицовочные камни, скрепленные вместе, укладываются на место поверх слоя щебня; в него вложены стальные стержни, конечная цель которых — служить арматурой.

2. Пустоты заполняются водой до верха облицовки.

3. Сквозь заранее уложенные трубки нагнетается цементный раствор, постепенно вытесняющий воду.

В трубки наливался раствор состава 1:1 густоты сметаны.

Применение заливки водой преследовало целью вытеснение воздуха, чтобы заливка получилась наиболее совершенной.

По флютбету облицовка уложена по бетону состава 1:2½:3.

Облицовка Волховской плотины получистая, т. е. нормальная для таких условий.

Пример 3. Плотина Сызранской установки².

Пример 4. Плотина Авиньонё, выстроенная на р. Драк в 1899—1902 гг., имеет высоту 23 м (рис. 24).

Грунт в основании — плотный гравий с мелким песком, отличающийся малой водопроницаемостью.

Сопряжение с основанием осуществлено с помощью зубьев толщиной 2,5 м и глубиной 4 м.

Флютбет устроен железо-бетонный, на длину 20 м; форма флютбета позволяет отбрасывать на 40 м от водослива струю, падающую с этого последнего; высота переливающегося слоя доходит до 5 м.

Сооружение надо признать смелым и удачным. Оно сделано из бетона состава: в основании — 300 кг цемента, 0,8 м³ гравия и 0,4 м³

¹ Автор не знает условий, более подходящих для устройства сплошной облицовки, чем в данном случае: суровая зима, тяжелый ледоход, наличие больших средств и строителей, огромное значение сооружения.

² См. „Водоудержательные плотины“, изд. 1928 г.

песка на 1 м^3 кладки, что отвечает составу $\approx 1:2:4\frac{1}{2}$; тело водослива — $1:3:6\frac{1}{2}$ ($0,8 \text{ м}^3$ гравия, $0,4 \text{ м}^3$ песка и 200 кг цемента).

Для удаления гравия, приносимого рекой к плотине, устроено в левом берегу отверстие размерами (ширина, высота) $9 \cdot 7 \text{ м}$ с порогом на 7 м ниже гребня плотины и на $2,45 \text{ м}$ ниже порога водоприемника гидроустановки.

Указанное отверстие пропускает до $400 \text{ м}^3/\text{сек}$. Для сброса паводковых вод предусмотрен водослив шириной 65 м .

Пример 5. Плотина Аустин (Texas) подпором $18,3 \text{ м}$, выстроена за время с 1890 по 1893 г.; разрушилась 7 апреля 1900 г., когда тол-

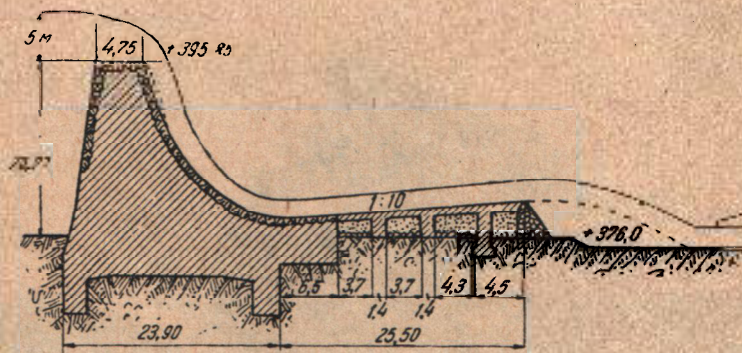


Рис. 24.

щина переливающегося слоя воды достигла $3,36 \text{ м}$ (по расчету допущено было $4,57 \text{ м}$).

Высота сооружения — до $20,3 \text{ м}$.

Грунт в основании — не вполне удовлетворительного качества мягкий известняк, фильтровавший и подвергавшийся разрушению падающей водой (флютбет отсутствовал; рис. 25).

В результате сооружение было подмыто (рис. 25 и 26) и у левого берега сдвинулось по течению¹.

Пример 6. Плотина Келиф (Chélif), построенная в Алжире за период времени с 1911 по 1916 г., имеет длину 180 м , подпор $3,11 \text{ м}$ и высоту над грунтом до 4 м (рис. 27 и 27а). Бетонный флютбет толщиной $1,2 \text{ м}$ ограничен с низовой стороны сплошным рядом рельс.

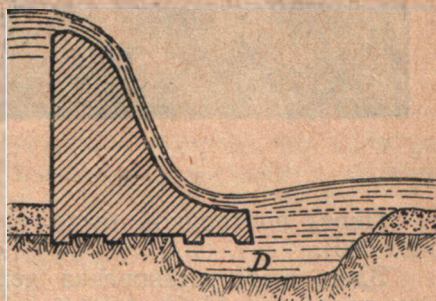


Рис. 25.

В виду установленной на месте невозможности забить шпунт в указанный грунт, решено было применить опускные колодцы.

Работа выполнена была без затруднений. Колодцы имели внешние размеры $10 \cdot 7,5 \cdot 7 \text{ м}$ с отверстием внутри $5,8 \cdot 3,3 \text{ м}$, разделенным на двое железобетонной стенкой толщиной 1 м и высотой 3 м .

¹ Этот случай с плотиной нельзя смешивать с другим, имевшим место в Пенсильвании 30 сентября 1911 г. с плотиной того же названия (Austin), но меньшей высоты ($12,8 \text{ м}$).

Опускание произведено подмывом с помощью помп, приводимых в движение электромотором.

Очевидно при отказе от такого способа работ пришлось бы устроить неглубокий, но длинный флютбет, который мог бы оказаться более дорогим.

Пример 7. Молдавская плотина; является примером сооружения, где гашение энергии воды, падающей слоем до 3 м, происходит на флютбете с помощью водяной подушки (рис. 20).

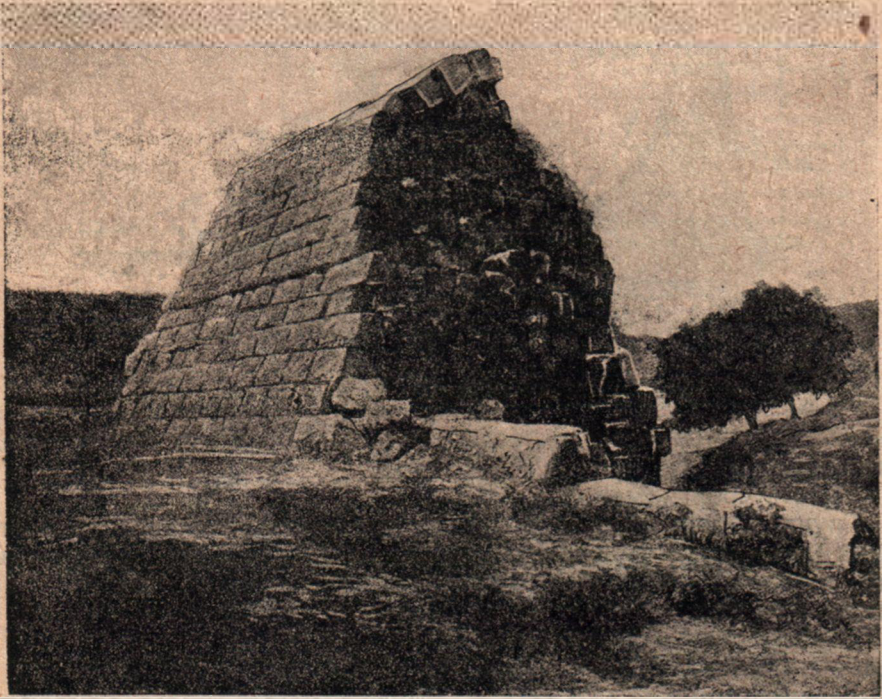


Рис. 26.

Перед постройкой было испытано в лаборатории 20 моделей (рис. 19б).

Здесь была установлена невыгодность гуськообразных профилей и им подобных. Избранный профиль изображен на рис. 19о.

Найденные соотношения между подпором, толщиной подушки и ее длиной, а также толщиной переливающейся струи не представляется однако возможным распространить на сооружения других размеров. В этом последнем случае вновь необходимо решать задачу в лаборатории, предварительно прибегнув к решению задачи по методам гидравлики¹.

Пример 8. Плотина на канале Кавур (рис. 28) является примером удовлетворительно запроектированного сооружения на весьма размываемом грунте. Можно лишь пожелать устройства хотя бы не-

¹ Инж. А. Н. Ахутин, Гидравлические расчеты, 1928 г.

Для защиты поверхности подкоса от ударов воды сваи защищаются досчатым покровом, укрепленным во флютбете плотины. Верх свай дополнительно обделан бетоном, чтобы придать ему прочность и форму водослива.

Железо-бетонные шпунтовые сваи имеют сечение $25 \cdot 40$ см. Упорные сваи, расставленные на расстоянии $2,4$ м, имеют сечение $30 \cdot 30$ см.

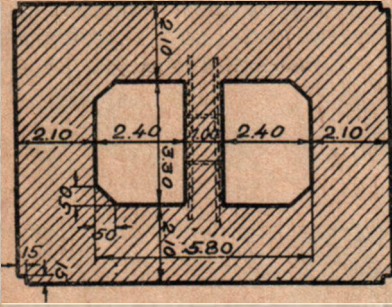


Рис. 27а.

Водобойная часть при значительном подборе требует устройства водяной подушки, как требуют этого и каменные водосливы.

Рис. 31а и 32 изображают полуу железно-бетонную плотину на скалистом, а также на сыпучем. грунте¹.

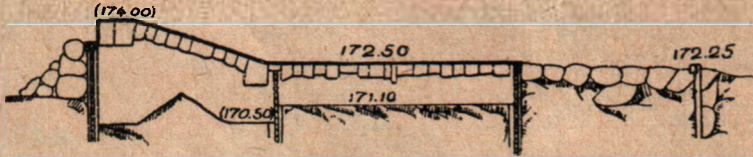


Рис. 28.

Правильный выбор угла наклона напорной грани имеет большую роль в распределении напряжений в теле полый плотины.

Определим вычислениями величину этого угла α в зависимости от высоты плотины p и толщины переливающегося слоя h_0 (рис. 33).

Горизонтальное давление воды на плотину назовем W_2 , вертикальное давление на переднюю грань — W_1 . На 1 п. м длины сооружения, при весе 1 м^3 воды — γ , имеем:

$$W_2 = \frac{p^2 + 2 p h_0}{2} \cdot \gamma \text{ в м};$$

$$W_1 = \frac{p^2 + 2 p h_0}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \gamma \text{ в м}.$$

Чем меньше α , тем больше величина W_1 . Силы W_1 и W_2 пересекаются в точке P и заменяются равнодействующей R при расстоянии a точки P от подошвы, при чем

$$a = \frac{p(p + 3 h_0)}{3 p + 2 h_0}.$$

¹ Самое значительное сооружение данного типа на сыпучем грунте — плотина Шерман (основание — песок с валунами).

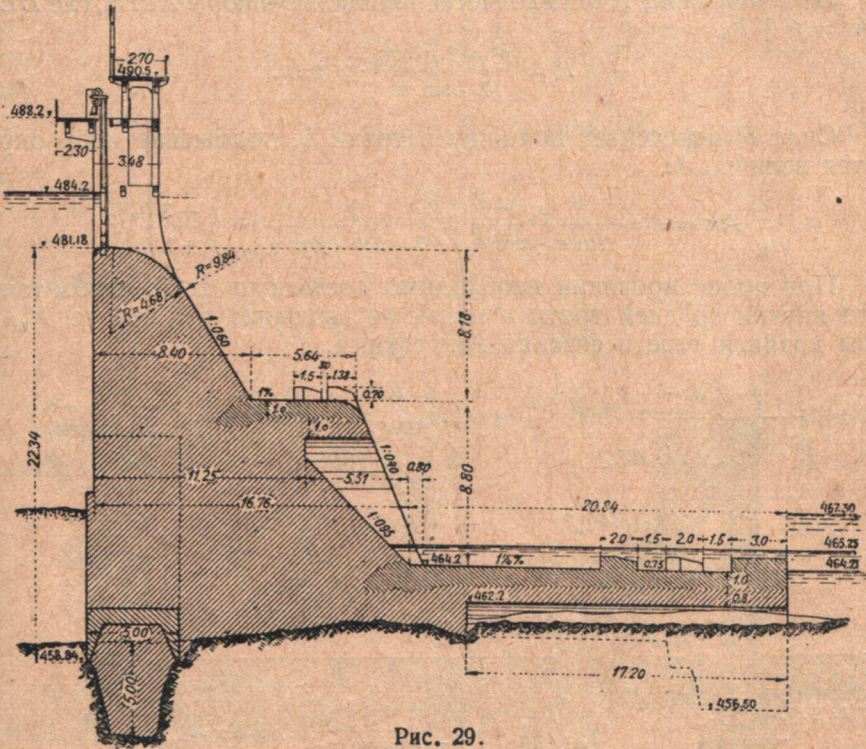


Рис. 29.

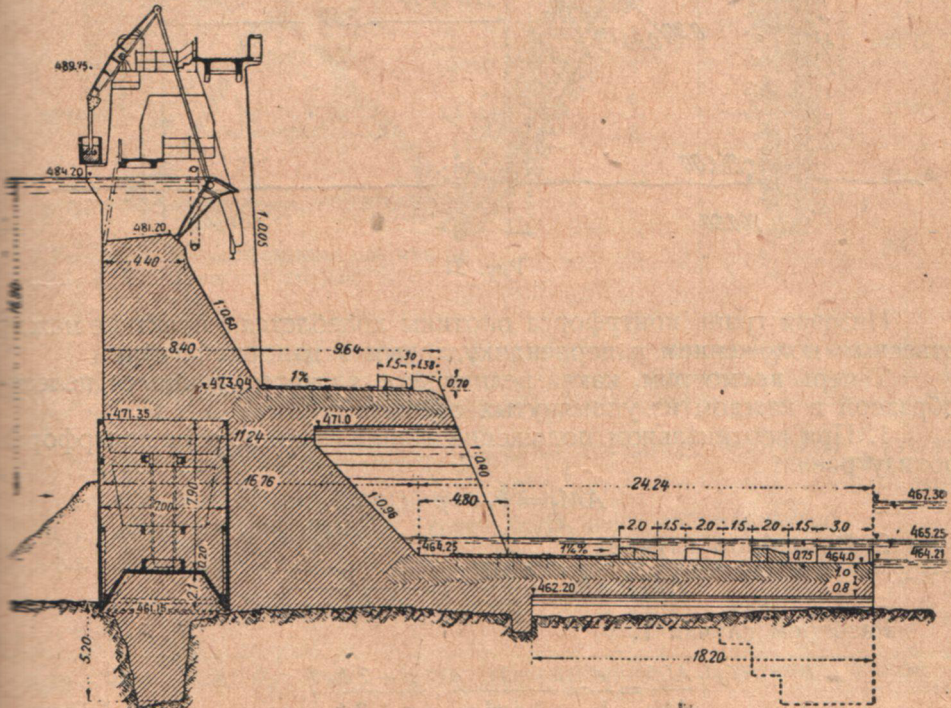


Рис. 30.

Величина силы R определяется площадью эпюры $AEHI$, где $HE = h_0$ и $AI = p + h_0$.

$$R = \frac{p^2 + 2p \cdot h_0}{2 \cdot \sin \alpha} \cdot \gamma \text{ в т.}$$

Сила R пересекает подошву в точке L , положение коей определяется величиной:

$$AL = e = \frac{a}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{p}{3 \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{p + 3h_0}{p + 2h_0}$$

При проектировании необходимо достигнуть того, чтобы точка L была внутри средней трети и никак не выходила бы правее K_2 , границы крайней трети сечения контрфорса.

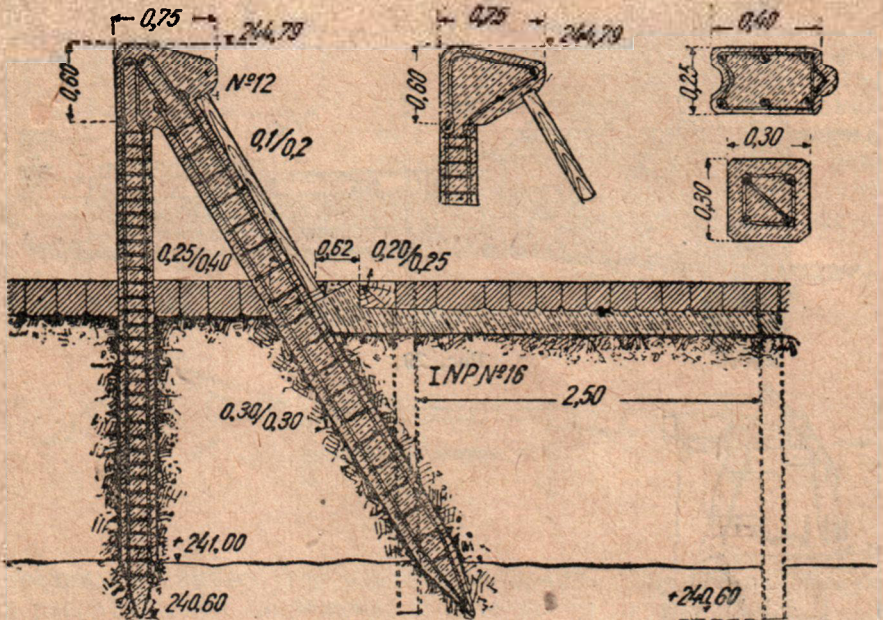


Рис. 31.

Низовая грань контрфорса плотины колеблется в практике между отвесным положением и перпендикулярным к напорной грани.

Теперь посмотрим, какая величина α является наиболее целесообразной в каждом из упомянутых случаев:

1. При вертикальном положении задней грани ширина контрфорса понизу равна:

$$AM_1 = b_1 = p \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

2. Во втором случае

$$AM_2 = b_2 = \frac{AE}{\cos \alpha} = \frac{p}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}$$

Разберем случай 1.

$$\frac{AL}{AM_1} = \frac{e}{b_1} = \frac{1}{3 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{p + 3h_0}{p + 2h_0}$$

при чем

$$e_{\max} = \frac{2}{3} b_1.$$

При

$$e_{\max} = \frac{2}{3} \cdot b_1 \text{ (рис. 32)}$$

имеем:

$$\frac{1}{3 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0} = \frac{2}{3},$$

и отсюда

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}}.$$

При различных значениях величин $\frac{h_0}{p}$ имеем соответственные значения:

$$\frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0} \text{ и } \alpha:$$

$\frac{h_0}{p}$	$\frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}$	α
0	1	45°
$\frac{1}{8}$	$\frac{11}{10}$	42°8'
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{6}$	40°12'
$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{4}$	37°45'
1	$\frac{4}{3}$	35°16'
∞	$\frac{3}{2}$	30°

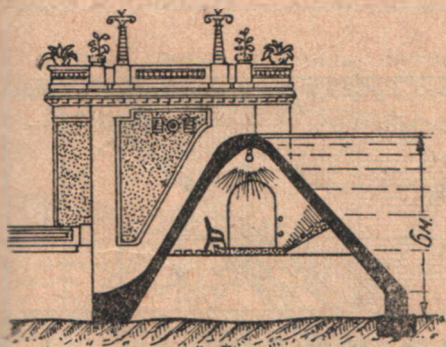


Рис. 31-а. Железобетонная плотина на скалистом грунте.

Из этой таблицы видно, что при совпадении точки L с точкой K_2 , или при положении, близком к этому, угол α лежит между 45 и 30°, при чем α тем меньше, чем больше h_0 .

Так как, вообще говоря, h_0 редко достигает величины $\frac{p}{2}$, то значение α лежит чаще всего между 38 и 45°.

Таким образом угол α может быть взят из уравнения:

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{p + 3 h_0}{p + 2 h_0}},$$

при чем для h_0 надо брать максимальное значение, какое h_0 может иметь.

Придание задней грани контрфорса более пологого наклона вызовет, естественно, удорожание плотины.

Случай 2.

$$EM_2 \perp AE.$$

В этом случае

$$\frac{AL}{AM_2} = \frac{e}{b_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{p + 3h_0}{p + 2h_0}.$$

В это выражение угол α вовсе не входит. Значение $\frac{e}{b_2}$ зависит лишь от соотношения h_0 и p .

Для каждого определенного значения $\frac{h_0}{p}$ получаем значение величины $\frac{e}{b_2}$, независимое от угла наклона.

$\frac{h_0}{p}$	$\frac{e}{b_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{p + 3h_0}{p + 2h_0}$
0	$\frac{1}{3} = 0,333$
$\frac{1}{8}$	$\frac{11}{30} = 0,367$
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{13} = 0,389$
$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{12} = 0,417$
1	$\frac{4}{9} = 0,444$
∞	$\frac{1}{2} = 0,500$

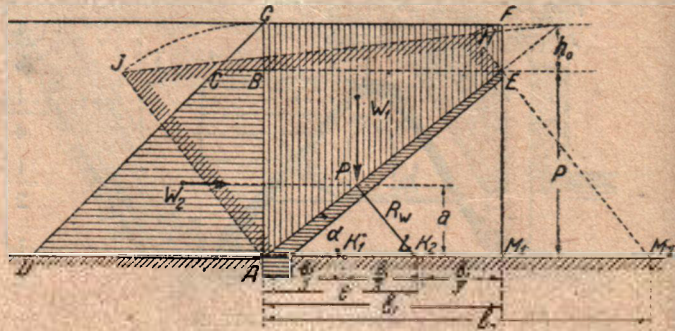


Рис. 32.

Равнодействующая всех сил проходит при этом внутри средней трети подошвы контрфорса и в предельном положении проходит через точку K_1 , когда h_0 близко к 0.

При возрастании h_0 точка L перемещается к середине (в сторону внутренней трети).

И во втором случае угол α обычно целесообразнее всего брать в пределах от 40 до 45°, как показала практика проектирования плотин в Америке. Рис. 31-а изображает полую жел.-бет. плотину.

Здесь не будем повторять общих указаний по конструкции тела плотины и по подготовке основания; эти сведения приведены в книге автора „Водоудержательные плотины“, изд. 1928 г., а также 1931 г.

Не приводя никаких норм для проектирования, кроме указанных в „Водоудержательных плотины“, отмечаем достаточность запаса

2 см от арматуры до поверхности плиты; лишь в суровом климате приходится доводить эту величину до 4—5 см.

Перейдем непосредственно к примерам исправно работающих железобетонных плотин.

Пример 1. Плотина Скайлервиль, выстроенная в 1904 г. в штате Нью-Йорк; имеет высоту 8,5 м, ширину понизу 15,85 м и длину от берега до берега 75 м.

Напорная грань имеет угол наклона к горизонту в 45°; она переходит вниз в противофильтрационный замок, имеющий глубину 1,5 м при толщине 0,9 м. Грунт в основании—скала (рис. 33).

Контрфорсы расставлены один от другого в 2,46 м ось от оси при толщине их понизу 0,46 м и поверху 0,305 м.

Плиты напорная и низовая имеют толщину 0,23 м (сверху донизу); арматура — из прутьев диаметром 19 мм.

Во избежание появления вибрации в теле плотины при работе водослива в низовой грани устроены отверстия $d=0,075$ м, подводящие воздух (см. главу VIII, п. 2).

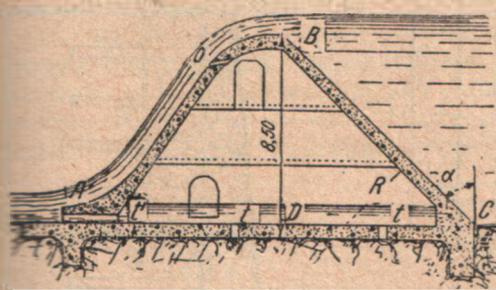


Рис. 33.

При толщине переливающегося слоя воды в 1,5 м имеем максимальное напряжение на сжатие 5,4 кг/см².

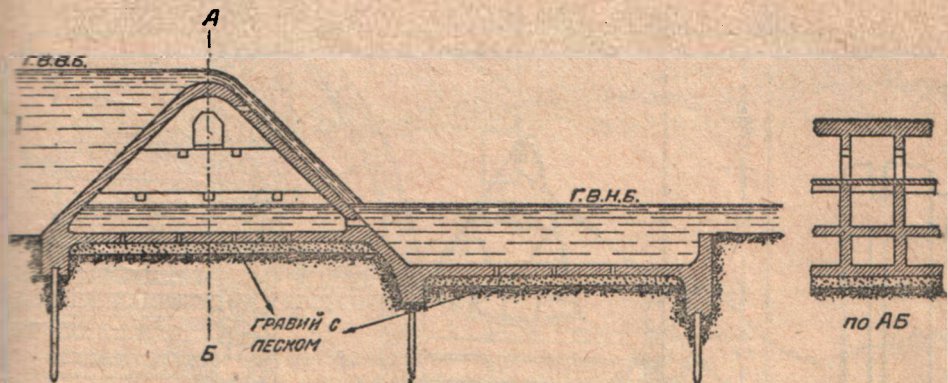
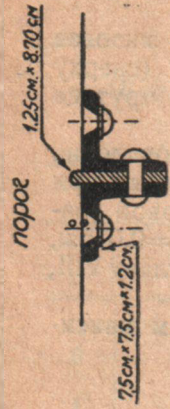


Рис. 34.

Нижняя плита снабжена отверстиями для выхода профильтрованной воды. На эту меру надо обратить особое внимание при проектировании железобетонной плотины.

Пример 2. Рис. 34 и 35 изображают полу железобетонную плотину на размываемом основании (грунт—мелкий песок на весьма большую глубину, рис. 35).

Сооружение (рис. 35) выстроено в целях использования водной энергии (Wisconsin River).



порог

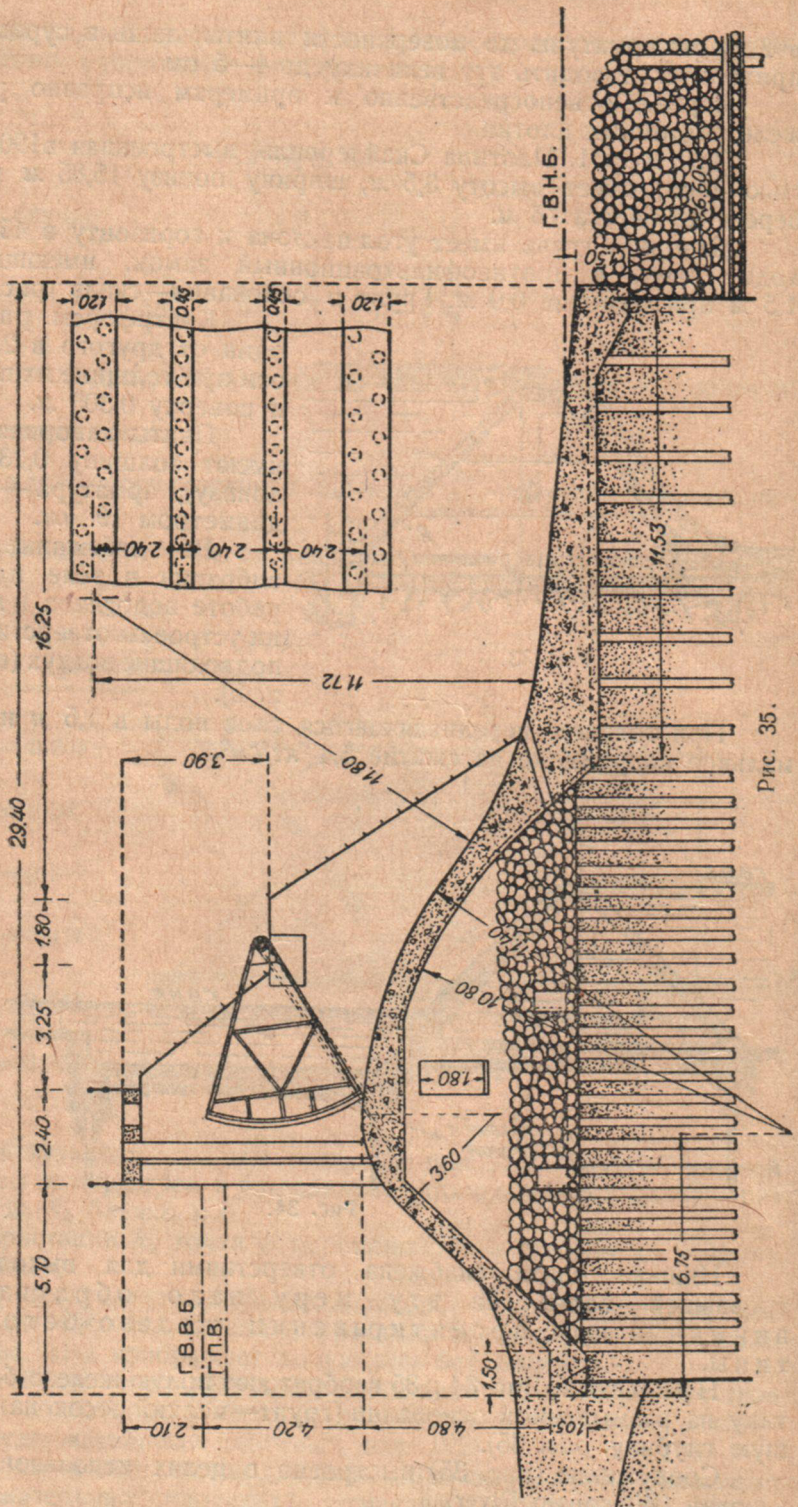
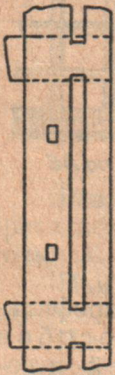


Рис. 35.

Длина плотины (железо-бетонной части) равна 300 м, а береговых земляных участков—510 м. При плотине судоходный шлюз размерами 10,5 · 51 м.

Поля железобетонная плотина снабжена сегментными затворами размерами 4,2 · 6 м, контрфорсы расставлены через 2,4 м; каждый третий контрфорс имеет толщину 1,2 м при толщине промежуточных всего 0,45 м.

Все контрфорсы снабжены отверстием, позволяющим иметь инспекционную галерею размера 0,9 · 1,8 м.

Шпунтовый ряд с верховой стороны забит в песок на глубину 15 м, с низовой—на 9 м.

Внутри тела плотины уложен рваный камень с булыгами в целях получения нужной устойчивости сооружения на сдвиг, а выше верхового шпунтового ряда уложено глинисто-гравелистое покрытие в виде понура. Ниже плотины уложен глубокий ряж на длину 9 м для предотвращения подмыва.

Глава десятая

Габионные водосливные плотины

Габионные плотины занимают промежуточное положение между временными туземными плотинами, возобновляемыми или капитально

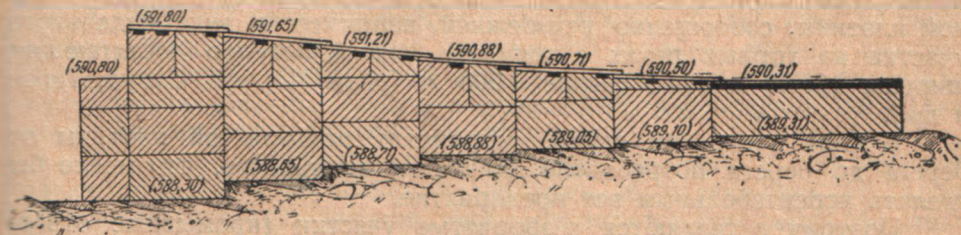


Рис. 36.

ремонтируемыми после каждого прохода высоких вод, и постоянными инженерными сооружениями.

Они строятся на небольших реках с обильными илистыми наносами. Пример—плотина на р. Нестль (рис. 36).

При этом профиль плотины имеет длину 4—5-кратную по отношению к высоте сооружения над грунтом.

При значительной толщине переливающегося слоя верхние габионы (ящики) нередко уносятся в паводок, требуя их замены.

Наружная поверхность водослива покрывается досчатым настилом, уложенным по поперечинам, погруженным в габионы.

Сетка габионов делается из оцинкованной проволоки.

Г.В.В.Б.

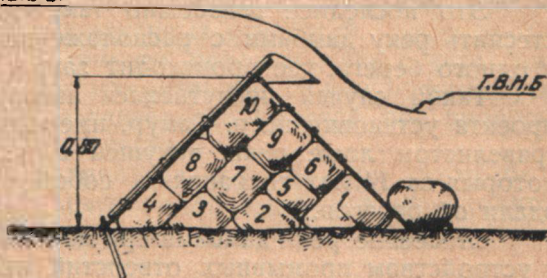


Рис. 37.

Получаем сооружение относительно недорогое и выполнимое в краткий срок. При скалистом грунте и вообще небольших высотах плотин в тех же условиях устраивают более экономные сооружения из тех же габионов, снабженные плотным досчатым покрытием с напорной стороны, упертым в скалу (рис. 37).

Глава одиннадцатая

Применение водосливных плотин

Рассматриваемый тип плотин имеет большое неудобство, заключающееся в том, что создаваемый подпор, необходимый при низком стоянии горизонта, может оказаться излишним или даже вредным при высоком стоянии воды.

Кроме того происходит постоянное повышение дна выше сооружения, если река несет заметное количество наносов.

Применение промывных отверстий отчасти смягчает указанные неудобства, но не устраняет их: таковые отверстия нужны были бы по всей длине сооружения, от берега до берега; тогда изменение режима реки свелось бы к минимальному.

Однако простота эксплуатации водосливной плотины и дешевизна сооружения выдвигают его во всех тех случаях, когда оказывается возможным мириться с отмеченными недостатками глухой водосливной плотины, совершенно неизбежной, например, в виде отдельного участка на горных реках с широким ложем, нередко достигающим ширины 100 м и даже свыше 1000 м (реки Чирчик, Самур, Терек и др.).

В этом последнем случае устройство разборчатой плотины от берега до берега потребовало бы огромных средств, что могло бы сделать нерентабельным все предприятие.

Поэтому оставляются разборчатые участки (промывные отверстия) лишь по линии водоприемника гидроустановки (или ирригационной сети), а также в зоне блуждания главного рукава реки.

Это последнее неизбежно там, где не оказывается возможным стеснить реку дамбами с расположением всех разборчатых участков у одного берега, где происходит захват воды.

Такой случай представился автору в 1927 г. при составлении проекта установки на р. Самур, имеющей уклон до 0,014 при галечно-гравелистом ложе реки, текущей в несколько рукавов, главный из которых за 14 лет сохранял за собой определенную зону блуждания вдали от берегов.

Стеснение реки дамбами при максимальном расходе в $1800 \text{ м}^3/\text{сек.}$, с устройством промывных отверстий лишь у берега, встретило здесь затруднение, так как головы дамб неизбежно оказались бы подмыты при борьбе реки за сохранение положения главного рукава.

Прибегать к кессонам в целях устройства солиднейших типов дамб автор не считал нужным, отыскав более простое решение: промывные отверстия расположены как по линии водоприемника, так и в зоне блуждания главного рукава, на остальном участке—земляная плотина.

Кроме того, в зоне блуждания главного рукава устроен каменный водослив. Никаких водостеснительных сооружений не предусмотрено.

В заключение приведу полностью пояснения свои к выбору способа преграждения р. Самур.

Плотина

Ложе р. Самур, повидимому, никогда не занимается рекой полностью: она течет всегда несколькими рукавами, меняющими свое положение, но имеющими громадный уклон—до 0,014.

Общая ширина ложа в избранном месте равна 1255 м.

Сравнивая план этого участка реки съемки 1927 г. с таковыми съемками 1913 г., видим, что главный рукав реки также блуждает, однако держится в течение 15 лет в пределах относительно-узкой полосы ложа реки.

Останавливает на себе внимание максимальный расход воды, принятый в проекте до 1800 м³/сек., громадный уклон реки (0,013 до 0,014) и упорное стремление реки протекать несколькими рукавами при весьма больших скоростях с наблюдающейся тенденцией преимущественного отложения наносов к левому берегу.

Громадная живая сила р. Самур, имеющей уклон 0,013, во время паводков расходуется главным образом на перемещение наносов и размельчение проносимых материалов.

Блуждение реки в пойме, сопровождающееся относительно равномерным расходом этой энергии по ширине долины, вызывает более или менее однообразное действие потока на русло, вследствие чего устанавливается некоторое равновесие, характерное отсутствие мест выдающихся размывов или отложений.

К этому положению стремится река, и поэтому она не течет одним руслом, а несколькими рукавами, блуждающими по пойме и меняющими свое положение, чем и достигается сравнительная равномерность действия потока на его ложе.

При устройстве плотины на таком потоке, при ширине поймы свыше 1,25 км, возникает крайне важный вопрос о способе преграждения реки и размещении водопропускных отверстий.

Соображения экономики выдвигают использование грунта ложа реки для устройства плотины при минимальном общем водопропускном отверстии, хотя бы и при значительном подпоре при пропуске катастрофического (максимального) расхода.

Однако—по соображениям пропуска наносов при учете быта реки в отношении устойчивого расположения рукавов—приходится назначать большее общее отверстие, чем это требуется непосредственными доводами экономии.

Во французской практике имеются случаи решения вопросов, отдаленно напоминающих рассматриваемый случай.

Однако французская практика имела дело с реками (р. Дюранс имеет $Q_{\max} = 1800$ м³/сек.), текущими одним руслом при значительно меньшем уклоне, при гравелистом ложе реки, т. е. при совершенно ином соотношении между расходами, уклоном и крупностью материала долины.

Захватные сооружения установки Вантавон (Ventavon) ¹ предусматривают стеснение поймы реки с доведением русла до сравнительно узкой полосы, заключенной в дамбы (вся пойма весьма широка). Дамбы не позволяют реке растекаться по пойме в высокие воды, а также фиксируют русло в межень при стремлении его, не распадаясь на рукава, менять свое направление.

Французская фирма Palaz, разрешила в проекте вопрос, снабдив проект плотины на р. Самур тремя промывными отверстиями по 12 м шириной каждый, сосредоточенными у правого берега водоприемника. К ним примыкает водослив шириной 150 п. м.

К водосливу со стороны левого берега подходит левобережная дамба, которая тянется на 3 км выше и является водостеснительным и струенаправляющим сооружением, якобы обеспечивающим сосредоточение течения реки в узком русле в пределах полосы шириной 190 м вместо прежней поймы в 1250 м.

Правый берег снабжен аналогичной дамбой.

Совершенно очевидно, что живая сила реки, расходуемая на такой ширине, вызовет иные явления в русле, столь суженном.

Кроме того дамбы немедленно подвергнутся энергичному подмыву вследствие неизбежного образования главного рукава вдоль левобережной дамбы. Подмыв и разрушение дамб неизбежны даже при бетонном основании, толщиной не только в 2 м, как намечалось фирмой Palaz, но и более, при скоростях стесненного потока, значительно превышающих бытовые, при длине подпертого бьефа порядка 150 м.

При этом между левобережным концом водослива и началом дамбы образуется мертвое пространство, не участвующее в распределении скоростей, что сужает поток до величины всех водопропускных отверстий плотины.

Уширение отверстий до величин, создающих безопасные скорости у плотины, не обеспечивает безопасного существования голов дамб даже при паводках порядка 150—300 м³/сек.: вода выше подпертого бьефа может пойти попрежнему, как в бытовых условиях, отдельным рукавом вдоль дамбы со скоростью, возможной в паводок в бытовых условиях, обеспечив подмыв и разрушение дамбы

Здесь целесообразнее итти другим путем.

Раз река исключительно энергично борется за сохранение главного рукава, положение которого видно по материалам съемок 1914 и 1927 гг., а также за дробление свое на ряд рукавов, объясненное выше, необходимо в таком случае, при минимуме затрат, обеспечить более или менее равномерное размещение отверстий, расположив их:

1. По длине водоприемника—промывное отверстие 1 шириной 15 м (желательно рядом такое же отверстие).

2. Промывное отверстие 2—на месте главного русла (ширина отверстия 15 м; желательно рядом такое же отверстие).

3. Водослив шириной 225 м, расположенный рядом с промывным отверстием 2 в сторону правого берега, захватывающий таким образом, вместе с отверстием 2, район блуждания главного рукава реки за период с 1914 по 1927 г.

От водостеснительных и направляющих дамб выгодно отказаться.

¹ Подпор не свыше 1,5 м.

При таком расположении отверстий можно управлять рекой и ложем ее, выпуская паводковую воду или в промывное отверстие 1, тоже в 2, или через водослив. Заканчивая на этом вопрос, отмечаем желательность дополнительных соседних отверстий для лучшего управления насосами.



Рис. 38.

Теперь относительно плотин водосливно-разборчатого типа. Необходимо отметить, что плотины водосливно-разборчатого типа (рис. 38) приобретают особо важное значение в случае использования водной энергии, когда в межень щиты на гребне подняты, способствуя сильному повышению напора гидроустановки, в высокие же воды щиты роняют в целях доведения горизонта самых высоких вод до уровня, допускаемого условиями затопления берегов.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

РАЗБОРЧАТЫЕ ПЛОТИНЫ

Глава двенадцатая

Введение. Возникновение разборчатых плотин, их развитие и главные типы. Принятая классификация

К разборчатым плотинам принадлежат в широком смысле слова всевозможные подвижные сооружения, предназначенные для временного создания подпора в потоках.

Только что рассмотренные нами глухие плотины имеют большое неудобство, заключающееся в том, что создаваемый подпор, необходимый при низком стоянии воды, может оказаться излишним или даже вредным при высоком стоянии воды.

Кроме того, происходит постоянное повышение дна реки выше глухой плотины, и создаются стесненные условия для ледохода на реках, подверженных замерзанию.

При наличии разборчатой плотины, составляющей хотя бы часть общей длины глухой плотины, имеется уже возможность регулировать горизонт воды между двумя крайними положениями.

Помимо того создается возможность пропуска сквозь глухую плотину донных наносов через отверстие с пониженным порогом—донный спуск,—спуска льда и других плавающих тел через отверстия с повышенным порогом и прохода через плотину плотов и судов через плотоходные и судоходные отверстия.

Наличие глухого участка в общей длине плотины является часто желательным, способствуя выигрышу времени для открытия разборчатой плотины. Особенное значение в судоходстве имеют разборчатые плотины, освобождающие все сечение реки от берега к берегу и до самого ложа реки.

С течением времени целый ряд различных типов разборчатых плотин нашел себе применение в области использования водной энергии, шлюзования рек, регулирования расхода воды из естественных озер и искусственных водохранилищ, равно и в области орошения угодий.

При этом только часть предложенных остроумных проектов приведена в осуществление; до сих пор много предложенных типов плотин не нашло еще применения в практике.

В прошлое время единственным известным типом разборчатых плотин являлась плотина с шандорными или щитовыми затворами,

закрывающими отверстия в плотинах, построенных для использования водной энергии. Отверстия открывались на несудоходных реках лишь во время сравнительно высокого стояния воды, отчасти с целью отвести ненужную для мельниц воду, отчасти для увеличения пропускной способности плотины, при закрытии лотка, ведущего к мельничному колесу.

Для закрытия таких отверстий пользовались досками, брусьями или деревянными щитами, которые опирались на постоянные или съемные опоры—козлы, быки, стойки. Более значительные отверстия при небольших подпорах закрывались брусьями (так называемыми «шандорами»), укладываемыми друг на друга и образующими сплошную стену, опирающуюся на края опор.

Вместо шандор применялись также вертикально поставленные одна рядом с другой деревянные спицы, упирающиеся нижним концом в солидный порог (фахбаум) и верхним—в балку, перекрывающую отверстие. Такие плотины возводились с многочисленными изменениями и ныне употребительны на небольших реках при устройстве мельниц.

С течением времени размеры щитов возрастали, и управление ими стало производиться усовершенствованными механизмами.

Толчком послужило использование водных сил рек бассейна Средиземного моря.

Применение больших щитов распространялось с успехом в тех случаях, когда приходилось иметь дело с регулированием больших расходов, а именно—в области осушительных насосных установок, судоходных устройств и регулирования морского отлива.

Однако переход от шандор и щитов, перекрывающих незначительные отверстия, к затворам для перекрытия больших пролетов связан был с отходом от деревянных конструкций и применением железа для устройства затворов. Сначала употреблялось сварочное железо, затем—почти исключительно прокатное (литое) с клепанными узлами, а в последнее время подвижные части разборчатых плотин начали уже строить из никелевой стали и неподвижные—из литой стали.

В настоящее время применяются щиты пролетом до 30 м, а при меньших пролетах—глубиной до 16 м. Однако после мировой войны при изменившихся ценах на металл и дерево, последнее вновь отвоевывает свое положение в побежденных странах, где металл вздорожал.

Усовершенствование других систем разборчатых плотин и использование новых способов управления ими привели к возможности закрывать отверстия свыше 50 м одним цельным затвором при чрезвычайно удобном маневрировании им. Судоходство испытывало огромные затруднения при проходе судов через отверстия плотин, ибо если спуск по течению реки оказывался сносным, то уже подъем вверх требовал громадного тягового усилия.

Лишь в 1834 г. французскому инженеру Поаре удалось применить конструкцию, позволяющую освободить русло реки почти по всей его ширине. Закрытие плотины происходило при помощи деревянных спиц квадратного сечения, поставленных одна рядом с другой.

Такие спицы применялись и ранее для закрытия отдельных отверстий плотин.

Новизна предложения Поаре заключалась в применении съемного служебного мостика, о который опирается спицевая стена.

В первой такой плотине, построенной в 1834 г. на Верхней Ионне около Васвилля, служебный мостик состоял из большого числа фермочек из сварочного железа, поставленных на взаимном расстоянии всего лишь в 1 м, из коих каждая может поворачиваться вокруг горизонтальной оси, представляющей собой горизонтальный стержень, вращающийся в гнезде, хорошо прикрепленном к флютбету плотины.

Все фермочки укладываются в углубление флютбета и в поднятом состоянии соединяются с соседними при помощи легких продольных балочек.

На верхний пояс фермочек укладывается настил мостика.

Спицы устанавливались и вынимались с этого мостика, разборка же самого мостика производилась постепенно от одной фермочки к другой.

Такое устройство оправдало себя и с той поры широко применяется до настоящего времени.

После многих усовершенствований, имевших в виду облегчение манипулирования спицами, а также увеличение напора, спицевые плотины достигли такого совершенства, что даже в современных условиях нередко стоят на первом месте, когда речь идет о постройке плотин на судоходных реках.

Усовершенствование спицевых плотин заключалось сначала в применении тавровых балок и швеллеров для постройки ферм.

Затем начали делать съемными продольные балки служебного мостика, на которые опираются спицы, чтобы иметь возможность немедленно открывать целый пролет плотины при быстром подъеме воды.

Следующее усовершенствование—замена досчатого настила служебного мостика железными листами, скрепляемыми болтами на фермочках.

Дальнейшие усовершенствования клонились к тому, чтобы распространить применение плотины Поаре и на случаи солидных подпор.

Первая спицевая плотина Поаре была выстроена при глубине воды верхнего бьефа над порогом флютбета в 2 м. К 1874 г. уже было достигнуто применение той же конструкции при глубине 3,1 м (р. Сена).

При глубине воды в 4,75 м (р. Сена) спицы оказались слишком тяжелыми.

Поэтому вместо них начали применять горизонтальные шандоры, укладываемые друг на друга, а также простые доски шириной в 0,3 м, которые можно было поднимать и опускать при помощи крючьев, не устраивая особого подъемника.

Связывая по нескольку досок вместе, пришли к устройству затворов, состоящих из нескольких щитов, расположенных один над другим, поднимаемых и опускаемых при помощи подъемника со служебного мостика.

В начале 1880 г. в Сюрен уже применялись щиты системы Буле при подпоре в 3,6 м.

В дальнейшем удалось применить устройство, позволяющее открывать отверстие без удаления спиц путем вращения их около верхней опорной точки.

При постройке плотин на Эльбе, Молдаве, а также на американских реках (Биг-Сенди, Грейт-Каноа, Охайо и др.), применены были передвижные подъемники и плавучие краны для одновременной установки и одновременного удаления нескольких спиц необычайно большого размера и значительного веса.

При этом путем применения особых устройств удалось довести расстояние между фермами до 3 и даже до 6 м, что уже превосходило высоту этих ферм.

Не смотря на все усовершенствования плотины Поаре, все же не удалось устранить некоторых недостатков, присущих этой конструкции.

Поэтому продолжались попытки изобрести совершенно новые конструкции разборчатых плотин, лишенные упомянутых недостатков.

Появились самодействующие плотины, затворы, имеющие вращательное движение, и пр., и пр.

Всеобщий конкурс на конструкции разборчатых речных плотин, объявленный в 1906 г. в Австро-Венгрии, дал весьма значительное количество разнообразнейших конструкций, из коих лишь небольшая часть получила осуществление.

Следующий тип—складывающиеся плотины, состоящие из ряда поставленных друг подле друга щитов, вращающихся вокруг оси и опрокидываемых, складываемых или устанавливаемых ручными подъемниками или давлением воды.

Складывающиеся затворы были известны еще в XVIII столетии, но они служили тогда лишь для временного увеличения напора глухих водосливных плотин.

Усовершенствование конструкции было введено впервые в 1829 г. Тенаром на р. Иль и заключалось в том, что подкосы поддерживающие щиты, были соединены у их нижнего конца стержнем.

Если тянуть с берега за этот стержень, то подкосы, соскальзывают со своих опор, и щиты складываются на гребне плотины.

Установка щитов производилась рабочими с низовой стороны плотины, так как вспомогательные щиты, имеющиеся выше основных (по течению), приподнимались силой давления воды и осушали нижнюю по течению поверхность флютбета.

Плотина не была предназначена для закрывания судоходных отверстий в силу слишком высокого расположения гребня водослива и слишком малого напора.

Лишь в 1850 г. Шаноан построил в верхнем течении Сены плотину с такими же щитами высотой 2,15 м. В силу низкого расположения порога плотина могла служить для прохода судов при уложенных щитах.

Дальнейшие усовершенствования привели к устройству щитов на горизонтальной оси вращения, складывающихся на флютбете.

Установка щитов производилась с лодки.

Последнее оказалось мало удобным, в силу чего в дальнейшем устраивался вспомогательный мостик из ферм Поаре без спиц.

На мостике работала ручная лебедка.

Это внесло некоторое улучшение в конструкцию.

Все же в таком виде плотина часто не могла конкурировать с плотинами Поаре из-за неудобства управления щитами.

Позднее регулирование уровня воды облегчено применением особого небольшого затвора.

Этот затвор помещается в верхней части щита и открывается самостоятельно при повышении уровня воды, в силу чего оказалось возможным понижать уровень, не складывая щитов.

Одновременно происходили попытки сконструировать такую плотину, которая могла бы открываться и закрываться под давлением воды.

В 1819 г. в Сев. Америке по этому принципу был построен затвор водоподъемной плотины на р. Лехай.

Этот затвор состоит из двух щитов, вращающихся вокруг горизонтальных осей, закрепленных во флютбете и подпирающих друг друга при закрытом состоянии затвора.

Пока пространство между щитами сообщается с верхним бьефом, щиты будут держаться в поднятом положении, при выпуске же воды они складываются на флютбете.

В 1846 г. Дефонтен эскизно разработал конструкцию барабанных затворов, получивших значительное распространение в 60-х годах на р. Марне.

Щит прикрепляется (в данном случае почти на половине своей высоты) к горизонтальной оси, при чем нижняя часть щита движется в пространстве, представляющем собой четверть цилиндра. Если это пространство соединено с верхним бьефом, то давление воды на нижнюю часть щита больше, нежели на верхнюю, и затвор удерживается в закрытом состоянии.

При разобщении пространства с верхним бьефом и отводе воды затвор закрывается.

Первый усовершенствованный барабанный затвор значительного пролета был построен Мором на р. Шпрее у Берлина лишь в 1884 г.

Затвор служил для закрытия плотоходного отверстия шириной в 10 м. Управление щитом происходило с одного из устоев перестановкой рычага, соединенного железными штангами с клапаном, регулирующим впуск воды в камеру и выпуск ее.

В Северной Америке затворы, работающие по описанному принципу, получили впоследствии значительное распространение и усовершенствование.

В тех случаях, когда постройка плотины связывается с постройкой моста, вызываемой потребностями транспорта, устраиваются так называемые мостовые плотины. Такие плотины стоят весьма дорого, но отличаются особенной надежностью конструкции. Мостовую конструкцию используют при этом для прикрепления металлических стоек, перекрываемых щитами. Посредством цепей и подъемников, по удалении перекрывающих щитов, стойки могут быть подняты выше уровня воды.

Из всех предложенных в последнее время новых типов разборчатых плотин наибольшее развитие и распространение получили вальцовые плотины, а в самое последнее время — сегментные.

Широкие круги интересующихся плотиностроением впервые ознакомились с вальцовым затвором в 1902 г. на докладе, сообщенном на Международном судоходном конгрессе в Дюссельдорфе, где демонстрировалась изготовленная модель вальцовой (цилиндрической) плотины.

Еще раньше (1900—1901 гг.) такая плотина была построена в Швейнфурте на одном из рукавов Майна (рис. 39—40).

Что касается сегментных затворов, то в последние годы применение этого типа затворов все чаще и чаще имеет место как в иррига-

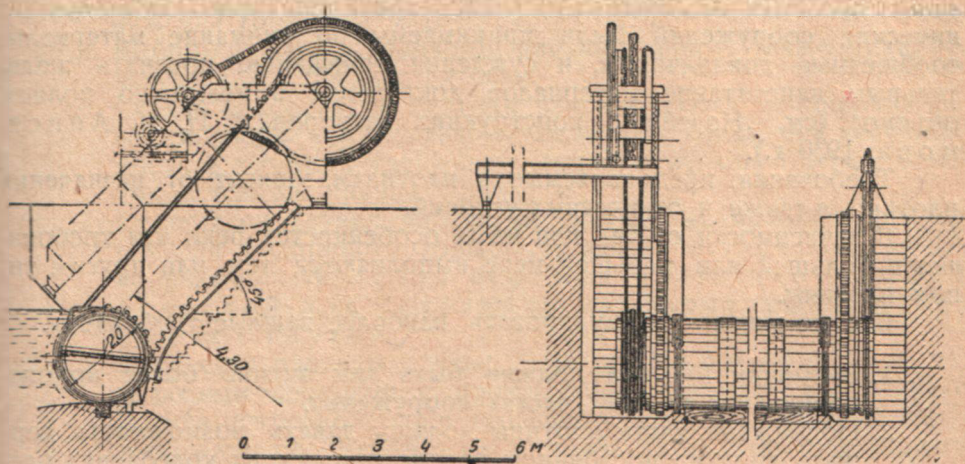


Рис. 39. Вальцовая плотина в Швейнфурте.

ционных и утилизационных плотинах, так и в судоходных; в последнем случае сегментные затворы перекрывают лишь часть общего отверстия плотины.

При этом перекрываемые пролеты доходят ныне до 45 м.

Надо также отметить исключительно большие пролеты, перекрываемые секторными затворами с гидравлическим управлением.

Наконец в последние 7 лет большое развитие получили автоматические затворы, которых в данное время выстроено около 120, в том числе и на реках с обильными взвешенными наносами и быстро наступающими паводками.

Прогресс автоматических затворов совершается на наших глазах и останавливает самое серьезное внимание современного составителя проекта крупной плотины.

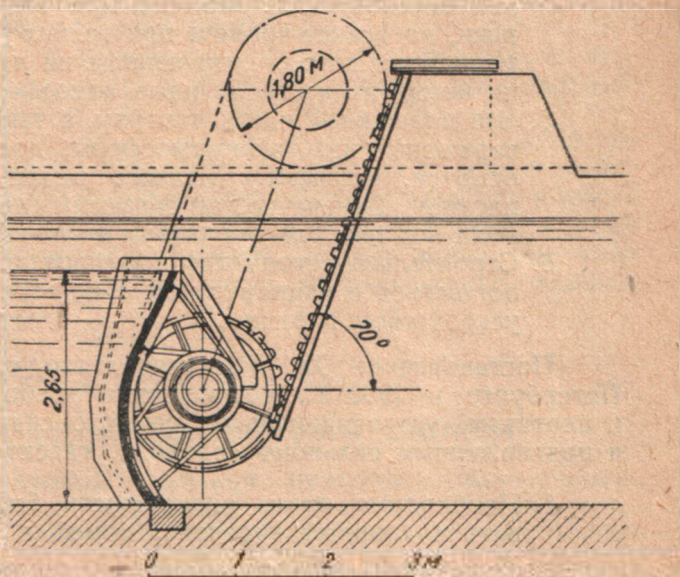


Рис. 40.

Сделанный автором краткий доклад на Всесоюзном гидротехническом совещании 20 мая 1929 г. вызвал обмен мнений, закончив-

шийся принятием резолюции: „Принимая доклад проф. Н. И. Анисимова к сведению, совещание отмечает целесообразность применения в соответствующих случаях сегментных и автоматических затворов и признает необходимым, чтобы при проектировании гидротехнических сооружений были принимаемы во внимание материалы, сообщенные докладчиком, и суждения совещания; признать желательным напечатание материалов докладчика в возможно полном объеме“ (см. „Новейшие конструкции затворов...“ Н. И. Анисимова, 1930 г.).

Требования, предъявляемые к плотинам, зависят от назначения плотины, а также и от местных условий.

В зависимости от тех или иных особенностей реки эти требования в большей или меньшей мере выполняются тем или другим типом плотины.

Все же можно формулировать наиболее важные требования.

1. Закрытая плотина должна быть как можно более водонепроницаема во всех частях сооружения.
2. Подвижные части плотины должны давать возможность держать воду на постоянном уровне при всяких колебаниях расхода воды в реке и при минимальной притом затрате механической энергии. На случай порчи механизма необходимо иметь ручной привод.
3. Открытая плотина должна давать свободный проход паводкам, наносам, льду, плавающим предметам, а на судоходных и сплавных реках также судам и плотам.
4. Открывание и закрывание отверстий плотины должно происходить с наименьшей затратой времени и энергии и без всякой опасности для рабочих, при всяком мыслимом состоянии реки, во всякое время и при всяких условиях, чему не должны мешать ни паводки, ни наносы, ни лед, ни плавающие бревна, ни ветер, ни пыль, ни иные атмосферные условия.
5. Все подвижные части плотины, а также неподвижные, но подверженные действию атмосферы, должны быть доступны для осмотра, покраски и мелкого ремонта при всяком состоянии плотины. Замена частей запасными должна с легкостью производиться при благоприятном состоянии реки.
6. Строительная стоимость и эксплуатационные расходы должны оставаться в рациональном отношении к выгоде, достигаемой устройством плотины.

Постановление XI Международного судоходного конгресса в Петербурге в 1908 г., посвященное требованиям, предъявляемым к плотинам, устраиваемым на реках с сильным колебанием уровня и подверженным сильному ледоходу, гласит следующее:

1. Необходимо иметь возможность быстро и точно регулировать подпорный горизонт, помещая устройства для подъема затворов на глухих частях плотины.
2. Важно иметь возможность открывать плотину по всей длине в кратчайшее время.
3. Желательно иметь возможность извлекать из воды все подвижные части плотины.

4. Плотины со щитами и съёмными стойками оправдали себя, равно как и вальцовые. Последние имеют преимущество, пропуская известное количество льда без нежелательного понижения горизонта воды.
5. Выбор системы разборчатой плотины зависит также от гидрологических особенностей реки.
6. Глухие водосливные плотины рекомендуются на широких реках, подверженных сильному ледоходу, когда нет необходимости в точности удерживать горизонт верхнего бьефа на одном и том же уровне.
7. Недостаток глухих плотин, не дающих возможность регулирования подпорного горизонта, можно в известных случаях корректировать, делая верхнюю часть плотины разборчатой или устраивая разборчатую плотину рядом с глухой.
8. К проекту плотины должны быть приложены наблюдения над морозным периодом и прохождением ледяных масс в реке. Знание потребного сопротивления ударам льда представляется необходимым. Технические достоинства плотины оцениваются в зависимости от той степени совершенства, с какой удовлетворяет данный тип плотины эксплуатационным условиям.

К настоящему времени накопилось множество интересных и остроумных конструкций новых типов разборчатых плотин. Но если в отношении гидротехнических сооружений вообще уместно замечание, что какими бы тщательными выкладками ни была доказана целесообразность конструкции, все же ее нельзя заранее признать удачной, пока она не оправдала себя на практике,— то в отношении разборчатых плотин это замечание особенно уместно.

Только опыт работы фактически выстроенной плотины дает возможность установить пригодность или непригодность типа к дальнейшему применению.

Опыт показал, что проекты видоизмененных типов существующих удачных конструкций разборчатых плотин, составленные опытными конструкторами, при осуществлении их могут привести к самым неожиданным неблагоприятным результатам, что объясняется неизбежным недоисследованием ряда явлений, полное выяснение коих может быть произведено лишь на реке: гидравлические явления, детали конструкций и проч.

Глава тринадцатая

Русский тип деревянной щитовой плотины

1. Русский тип деревянной щитовой плотины с постоянными стойками

Описание конструкции

Общие сведения и схема плотины. Деревянные плотины особенно распространены у нас в СССР, где накопился весьма большой опыт по вопросу, значительно превосходящий таковой в прочих государствах Европы. Причиной распространения деревян-

ных плотин в Союзе послужило богатство наше лесными материалами. Деревянные плотины неприменимы для больших подпоров, так как отдельные части получились бы громоздкими, сильно стесняющими живое сечение и по своим размерам трудно выполнимы из дерева. За предельный подпор, при котором целесообразна постройка плотины из дерева, следует считать около 4,25 м, при чем высота устоев плотины от пола до карниза не должна превышать 7,5 м. Наибольший подпор, поддерживаемый деревянными плотинами на Мариинской системе,—3,2 м и на Тихвинской—3,8 м. Большое преимущество деревянных плотин заключается в быстроте их исполнения и дешевизне. Что касается долговечности, то этот тип плотин наименее долговечный. Надводные части, не соприкасающиеся с водою, держатся 15—20 лет; части, попеременно смачиваемые и осушаемые, наименее долговечны и сохраняются в течение 8—10 лет. Деревянные части плотин, постоянно находящиеся в воде, не подвержены порче. С течением времени дерево в воде твердеет до такой степени, что трудно поддается топору. Тем не менее срок службы подводных частей плотины определяется некоторым пределом—от 40 до 70 лет. Существование этого предела обуславливается не порчей дерева, а механическим действием фильтрующей воды, протачивающей шпунты, в результате чего появляется опасная для сооружения фильтрация в основании.

В значительной степени долговечность плотины зависит от качества употребляемого леса. Лес должен быть безусловно здоровый и не тронутый синевой. Для частей, постоянно находящихся под водою, возможно применение елки, а надводные части необходимо исполнять из сосны.

Замечательно, что части дерева, не подверженные большим усилиям, могут долго сохранять наружно здоровый вид, как говорят,

«стоят по привычке», но от самого слабого удара топором разлетаются в труху. Деревянная плотина «Знаменитая» на р. Сухоне, ныне замененная плотинкой Поаре с бетонным флютбетом, простояла с незначительным ремонтом

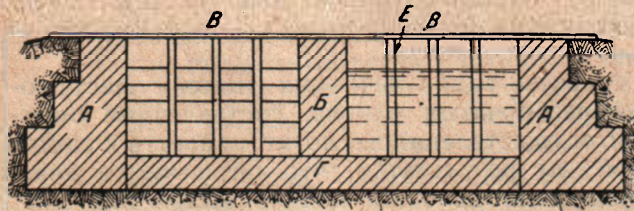


Рис. 41.

6 лет после того, как была технической комиссией признана совершенно негодной. Рассмотрим тип разборчатых деревянных плотин с постоянными опорными частями затворов и съёмными затворами.

Схема плотины такова (рис. 41):

Плотина состоит из основания (флютбета) Г, береговых устоев А и промежуточных массивных быков Б. Последних может быть один и несколько, может и совсем не быть, в зависимости от величины отверстия плотины. Отверстие между массивными опорами подразделяется на части постоянными, более легкими опорами Е. Полученные таким образом отверстия закрываются съёмными затворами. Через плотину устраивается постоянный переходный или проезжий и слу-

жебный мост *В*. Соответственно изложенной схеме рассмотрим типы и конструкции отдельных частей плотины.

Флютбет. Флютбет плотин состоит из трех частей: понура, водобоя и слива. Ниже слива устраивается каменная рисберма (рис. 41-а). Понур и водобой заключаются между шпунтовыми линиями *А*, *В* и *С*, слив заканчивается или шпунтовой линией или же забитыми частокон сваями. Перед понуром делается глиняная отсыпь для увеличения пути фильтрации с мошением поверху, а ниже слива устраивается каменная рисберма для предохранения дна реки от размыва. Так как сливная часть по своей конструкции водопроницаема, то потеря напора должна произойти полная у шпунта *С*, соответственно чем упуть фильтрации следует принимать от *Е* до *К* (рис. 41а).

Обычно понурная часть делается около $1,5H$, а водобойная в $1,5$ — 2 раза длиннее понурной.

Для грунтов мало водопроницаемых, как глинистых и песчано-глинистых, практикой нашего плотиностроения на водных путях

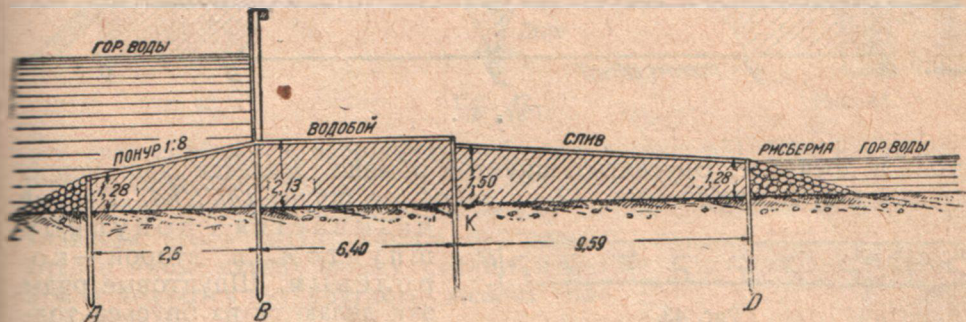


Рис. 41-а.

установлены следующие размеры частей флютбета: понур— $5,3$ — $6,4$ м, водобой— $6,4$ — $8,5$ м и слив—от $8,5$ м и больше в зависимости от расхода в реке при подпоре $\approx 3,5$ м.

По своему устройству флютбеты можно разделить на три типа: свайные, ряжевые и смешанной конструкции.

Свайные флютбеты устраиваются на грунтах, допускающих забивку свай при подпорах не выше 2 м и возвышении свайного флютбета над дном реки не свыше 1 м. При больших возвышениях флютбета и больших подпорах сваи подвергаются изгибу, и шпунты расстраиваются.

Ряжевые флютбеты устраиваются на основании, не допускающем забивки свай.

Смешанной конструкции флютбеты делаются в тех случаях, когда основание допускает забивку свай, но флютбет возвышается над дном реки больше чем на 1 м и подпоры больше 2 м.

Рассмотрим подробно конструкцию перечисленных трех типов флютбетов.

Свайный и смешанный флютбеты. Флютбет под всей плотиной имеет однообразное устройство. Над флютбетом устраиваются постоянные опорные части: массивные и стоечного типа и затворы плотины. Последние идут над линией *В* (рис. 41а). Опорные массивные части обычно состоят из береговых устоев и промежуточ-

ных быков. Пролеты между массивными опорами делаются не свыше 12,75 м, обычно же 8,5—10,65 м.

Для флютбетов свайного и смешанного типов расположение шпунтовых линий одинаково. Шпунты забиваются двух типов: брус-

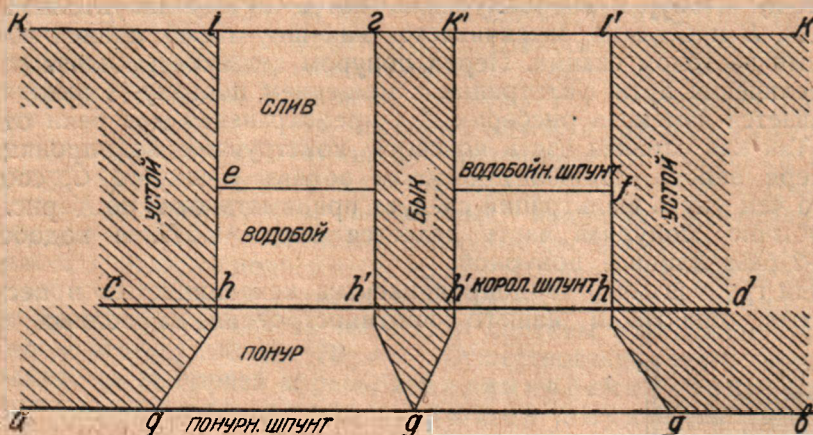


Рис. 42.

чатые и досчатые. Брусчатых шпунтов обычно делается два: непрерывный шпунт $agg'gb$ (рис. 42) и такой же шпунт $chh'h'hd$. Первый



Рис. 43.

называется понурным шпунтом, а второй—королевым. Шпунтовые ряды эти делаются из брусев толщиной 15—18 см, с прямо-

угольным шпунтом (рис. 43). Продольный шпунт ef , забиваемый в конце водобойной части, называемый водобойным, забивается из досок толщиной 7,6 см (рис. 42). Под устоей этот шпунт не проходит. В конце слива устраивается четвертый продольный шпунт $kiik'i'k$ или сплошной или же с перерывами в пролетных частях, где, вместо шпунта, забиваются частоком сваи (рис. 42 и 44). Предпочтительна забивка сплошного шпунта во избежание просадки загрузки сливной части. Шпунт этот

Основание быков и устоев



Рис. 45.

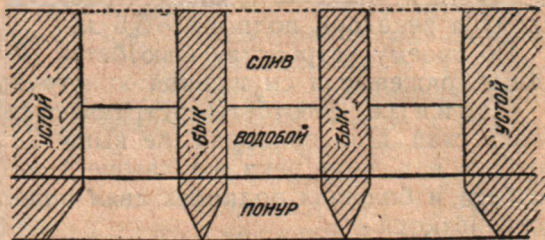


Рис. 44.

тоже досчатый, из досок толщиной 7,6 м. окружено такими же досчатыми шпунтами (рис. 42). Досчатый шпунт делается треугольным (рис. 45).

Глубина забивки шпунтов зависит от степени водонепроницаемости грунта и от сопротивления его забивке свай. В построенных плотинах эта глубина колеблется от 1 до 3,2 м. При высоких флютбетках эта глубина забивки не должна быть менее 2,15 м.

При забивке шпунтов следует обратить особое внимание на сопряжение их в пересечениях. Сопряжение достигается забивкой фасонных свай (рис. 46 и 47).

Шпунты забиваются между направляющими насадками, так называемыми рамными, одетыми на направляющие сваи. Насадки стесываются со стороны шпунта, а где это требуется по конструктивным соображениям, как увидим дальше,—и сверху (рис. 48). Направляющие сваи располагаются в шахматном порядке через 2,13 м (рис. 49). Насадки одеваются на сквозные шипы, вырубленные на сваях с расклинкой (рис. 50), и прикрепляются к каж-

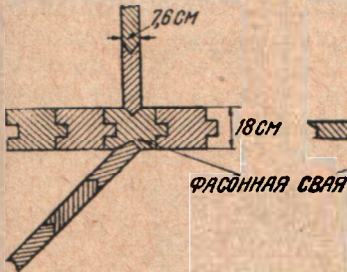


Рис. 46.

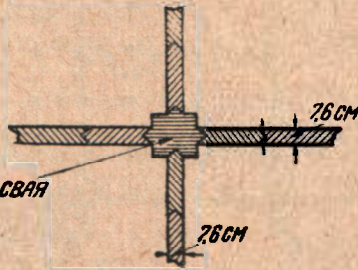


Рис. 47.

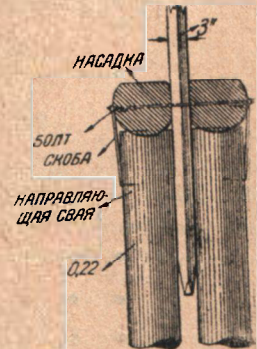


Рис. 48.

дой свае скобами с завершенными концами (рис. 48). Для введения в работу сопротивления горизонтальным силам обоих рядов направляющих свай насадки соединяются между собою болтом, проходящим через шпунт. Болты располагаются в промежутках между сваями через 2 м и делаются из круглого железа толщиной 2 см.

Направляющие сваи (иначе—маяки) забиваются в грунт на длину, несколько большую, чем шпунты (на 0,5—1 м длиннее).

Детали свайного флютбета. Пространство между шпунтами в плане заполняется круглыми сваями, забитыми на глубину не меньшую для требующегося по расчетной нагрузке на них отказа.



Рис. 49.

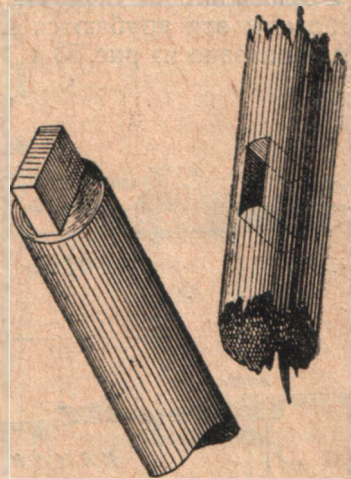


Рис. 50.

По забитым в пролетных частях сваям располагается ростверк, по которому настилаются полы. Сваи забиваются правильными рядами в расстоянии центр от центра 1,6—2,15 м. Глубина забивки свай определяется, как сказано выше, расчетом отказа по нагрузке на сваи соответственно грунту основания. В твердых грунтах сваи забиваются до отказа, равного 0. Примерный план расположения свай показан на рис. 51. Толщина свай—22 см. На рис. 52 и 52а показан тип свайного флютбета деревянных плотин Маринской системы для подпор

кладутся на просмоленном войлоке, охватывающем нижнюю их постель и паз. На королевый шпунт кладется пазом король или так называемый фахбаум, тоже на войлоке. Шапки вытесываются из бревен толщиной 26—30 см, а король делается составным из двух брусьев, вытесанных из бревен толщиной 35—40 см. Брусья соединяются между собой в шпунт с прокладкой смоленого войлока и связываются взаимно болтами толщиной 2—2,5 см через 1 м. Шапки прибиваются к насадкам завершенными болтами толщиной 2,5 см через 2 или 1 м. Король привинчивается к насадкам болтами толщиной 2,5 см с гайками или же специально изготовляемыми шурупами толщиной 2,5—3,8 см. Король обычно составляется из цельных брусьев во весь

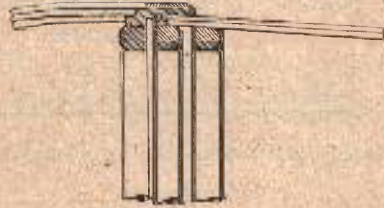


Рис. 52-а.

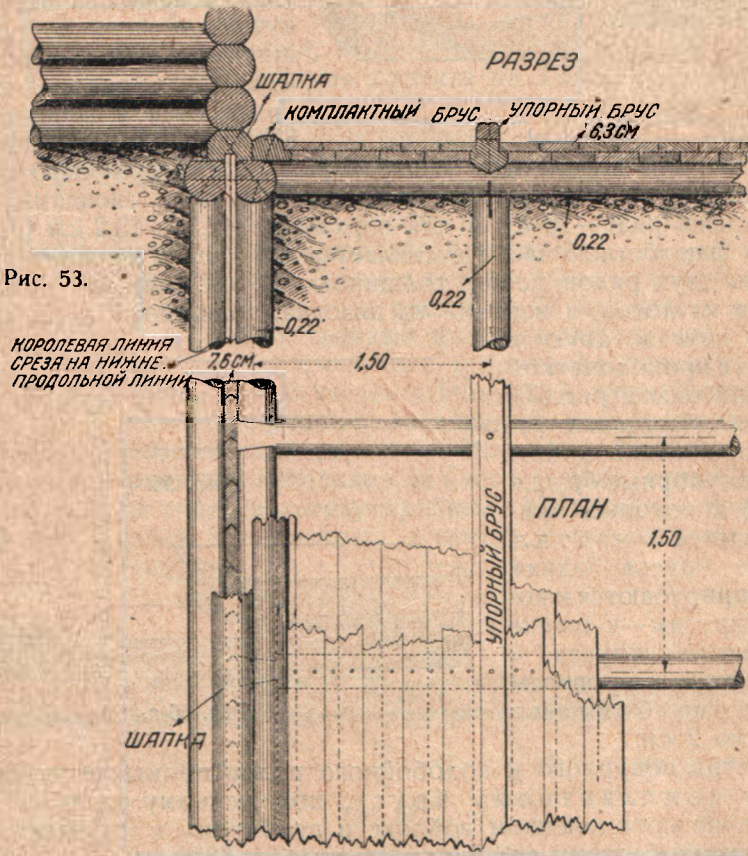


Рис. 53.

Рис. 54.

пролет плотины между массивными опорами; концами своими на 0,5—0,7 м король входит в нарубку этих опор. Для плотин Мариинской системы с пролетами от 8,5 до 10,65 м король должен иметь следовательно длину 9,8—11,9 м. Шапочные брусья на поперечных

шпунтах (понурном, водобойном и сливном) тоже делаются обычно цельными, но концами в нарубку устоев и быков не закладываются, так как не несут горизонтальной нагрузки от подпора. При затруднениях в заготовке длинного и толстого леса возможно делать шапки и даже короли составными. В этом случае следует усилить прикрепление их к насадкам и обратить особое внимание на производство сращиваний отдельных частей. Шапки сращиваются в шпунт с прокладкой просмоленного войлока. Брусья короля сращиваются прямым или косым зубом с замком (рис. 55, 55-а, 56, 56-а).

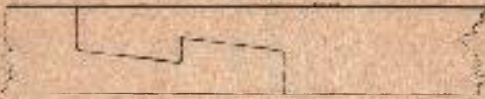


Рис. 55.

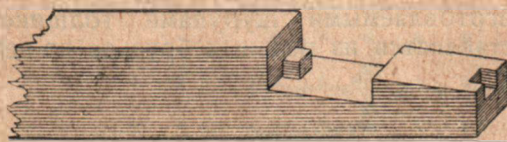


Рис. 55-а.

В понурной части флютбета по прогонам настиляется двойной пол из досок толщиной 6,3 см, концами своими укладываемых в четверти, вынутые в шапке понурного шпунта и в королевом бруссе. Швы двух рядов досок располагаются в перевязку (рис. 53), проконопачиваются смо-

ленной паклей и заливаются пиком (варом). Доски прибиваются к каждому прогону и четвертям двумя корабельными гвоздями длиной: для нижнего ряда—10 см и для верхнего—12,7—15,2 см (рис. 52).

Во флютбетной части настиляется или такой же пол, как в понуре—из двух рядов досок толщиной 6,3 см, или же нижний ряд делается из досок, а верхний из пластин, толщиной 11 см, припазованных друг к другу в четверть с проконопаткой и заливкой пиком (рис. 57).

Для облегчения работы короля по водобойю кладутся упорные брусья (рис. 53), к которым припазовывается настил. Упорные брусья одним концом прирубаются к королю и другим—к шапке водобойного шпунта и прибиваются к прогонам завершенными болтами толщиной 2 см.



Рис. 56.

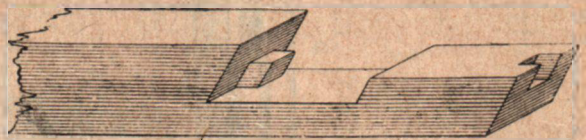


Рис. 56-а.

Настил понурного и водобойного полов примыкает к так называемому компактному бруссу, положенному вдоль стен быков и устоев на просмоленном войлоке и прибитому к рамным насадкам завершенными болтами толщиной 2 см (рис. 53).

Если расстояние между сваями, по которым кладется ростверк, поддерживающий понурный и водобойный полы, больше чем 1,8 м, то в ростверк вводятся еще промежуточные подможные брусья. В таком случае ростверк имеет устройство, изображенное на рис. 58.

Сливной пол устраивается или из пластин, прифугованных друг к другу в притык и прибитых корабельными гвоздями длиной 18 см, или из бревен толщиной 13—18 см с притескою на толщину 2 см друг к другу и прибивкой заершенными болтами длиной 26—30 см (рис. 52).

До высоты полов понур загружается глиной с тщательной утрамбовкой, водобой—смесью глины с чурой. Эта смесь составляется пополам из глины и чуры. Слив загружается камнем. Перед понуром делается глиняная отсыпь толщиной до 1 м, длиной 3,2—4,25 м для увеличения пути фильтрации. Отсыпь эта замащивается булыжником на



Рис. 57.

мху. Ниже сливного пола делается каменная отсыпь — рисберма протяжением 3,2—4,25 м. Если бы по величине расхода, переливающегося через плотину, это протяжение рисбермы оказалось недостаточным, то увеличивается длина сливного

пола устройством одной или нескольких ступеней, как это показано на рис. 59 (Ленинградская плотина на Тихвинской системе).

Уклон понурного пола делается от 1:6 до 1:8 и сливного — от 1:8 до 1:12.

В случаях, когда пол водобойной части подвергается ударам льда, предпочтительно устраивать его по типу рис. 57, а сливной пол настилать бревнами.

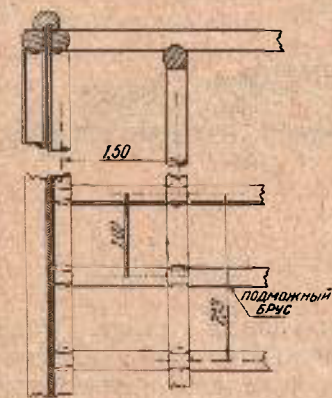


Рис. 58.

Детали флютбета смешанного типа. На рис. 60 и 61 изображен повышенный свайный флютбет с подпольной ряжевой нарубкой типа, принятого в плотинах Тихвинской системы. Понурный шпунт повышенный, с рамными насадками на разном уровне. Так же расположены рамные насадки шпунта в конце слива. Королевый шпунт, забитый между рамными насадками на одном уровне, срезан у поверхности дна реки и обделан сверху гребнем. На гребень одет вертикальный ряд брусьев, соединенных в шпунт и положенных друг на

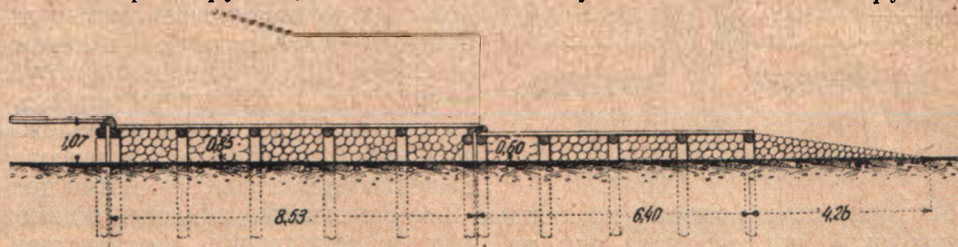


Рис. 59.

друга на просмоленном войлоке. Нижний брус прибивается к рамным насадкам заершенными болтами, а верхние — к нижележащим такими же болтами. На Тихвинской системе эти горизонтальные шпунтовые брусья носят название «лежачих свай». На верхний шпунтовый брус одет королевый брус, устроенный так же, как было описано в предыдущем типе флютбета. Водобойный шпунт повышенный, заби-

тый между рамными насадками, положенными у дна реки. Подпольная нарубка притесана к поперечным и продольным шпунтам. Между нарубкой и поперечными шпунтами прокладывается просмоленный войлок. Сверху подпольной нарубке проложены подможные брусья. Шапки и полы устраиваются так же, как это было сказано при описании устройства свайного флютбета. Перед понуром делается глиняная отсыпь с мощением поверху камнем на мху, а ниже слива

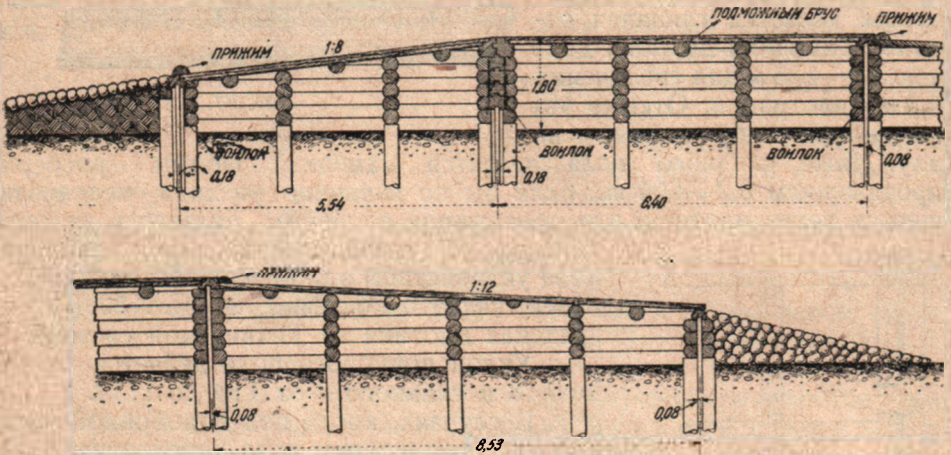


Рис. 60.

устанавливается каменная рисберма, как это было описано выше. Рубка внутренних ряжей производится без припазовки. Наружные обтесанные ряжи, примыкающие к шпунтовым линиям, рубятся с припазовкой из более толстых бревен (26—30 см) и внутренние — из тонких (20—22 см).

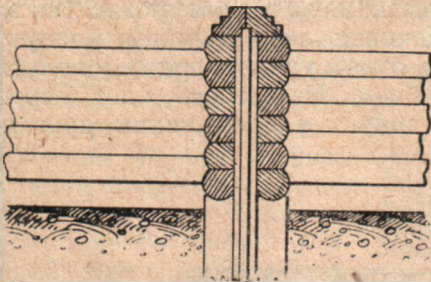


Рис. 61.

Пересечения ряжей устраиваются обыкновенной врубкой (рис. 62). Углы и пересечения с наружной стеной устраиваются в лапу (рис. 63—64). Для придания большей взаимной связи частям нарубки лапы делаются с запотемками (рис. 65 и 66). Нижние венцы нарубки прикрепляются к сваям ершенными скобами, а все венцы вышележащей нарубки взаимно связываются ершенными болтами, забитыми при-

близительно по одному на каждые 2 м. Заполнение ряжевых ящиков загрузкой производится так же, как и заполнение соответственных частей флютбета в свайном типе. Для защиты от ударов льда передние концы полов закрываются прижимными брусьями. В понуре эти брусья прибиваются заершенными болтами поверх шапки, в сливе — непосредственно ниже шапки (рис. 60). В типе смешанного флютбета, изображенном на рис. 60, возможны варианты в устройстве отдельных частей. Понурный шпунт и водобойный могут быть закончены сверху по типу королевского шпунта. Водобойный шпунт может кончаться по

типу, изображенному на рис. 67. В этом типе шпунт заменяется шпунтовой стенкой из бревен, входящих в состав нарубки.

Ряжевой флютбет. Как указывалось выше, на грунтах, не допускающих забивки свай, устраивается ряжевой флютбет.

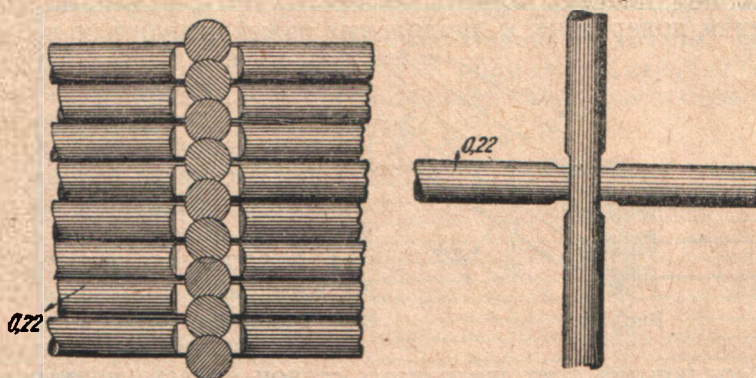


Рис. 62.

Общая планировка частей флютбета производится по той же схеме, как для свайного типа. Шпунтовые свайные ряды заменяются шпунтовыми стенками из горизонтальных бревен, продольными и

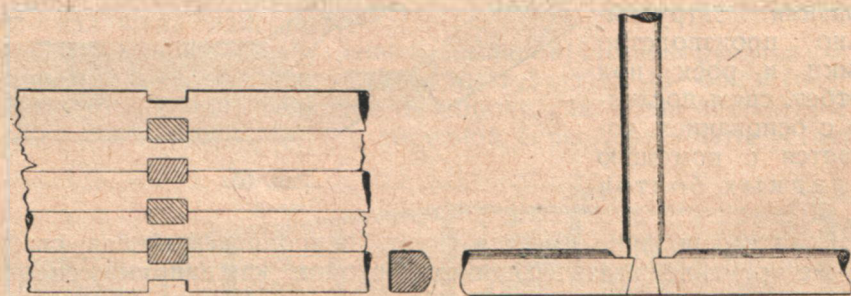


Рис. 63.

поперечными, имеющими расположение, аналогичное со шпунтовыми свайными рядами. На рис. 68 показан тип ряжевого флютбета на скалистом грунте.

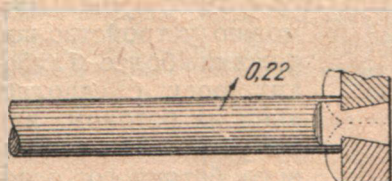


Рис. 63-а.

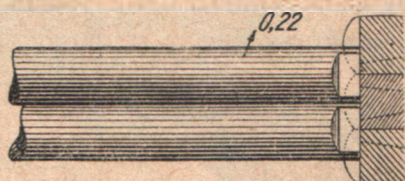


Рис. 63-б.

В грунте основания делается под плотину выемка с ройками (бороздками), соответствующими расположению шпунтовых стенок. Глубина роек — до 75 см, откосы одиночные. В выбранном таким образом углублении ведется нарубка флютбета, а по его возведении выемка затрамбовывается бетоном. Бетон, схватываясь со скалой осно-

вания и нарубкой флутбета, связывает нарубку с основанием. Все шпунтовые стенки являются составными частями подпольной нарубки. Части нарубки должны быть взаимно связаны ершенными болтами, как и в подпольной нарубке свайного типа флутбета. В местах соединений поперечных и продольных ряжей нарубки со шпунтовыми

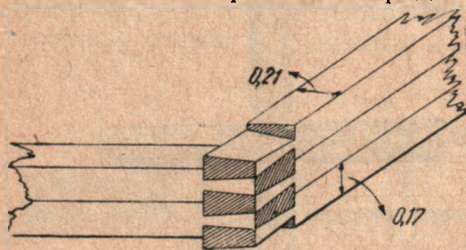


Рис. 64.

стенками и в местах взаимных пересечений последних получают доступные для фильтрации пути. Поэтому необходимо с особой тщательностью вести врубки, выбирая для этой работы наиболее искусных мастеров. Все врубки в шпунтовых стенках, как и самые стенки, должны быть положены на смоленом войлоке.

На рис. 69 показан тип взаимного соединения трех шпунтовых стенок в месте примыкания усой части быка к понурной шпунтовой стенке. Одна из шпунтовых стен быка соединена с понурной в лапу, а другая связывается с первой шипом и скобой.

В случае, если по твердости скалистого основания затруднительно производство выемки и роек под флутбет, связь последнего с основанием достигается с помощью закладных болтов (рис. 70).

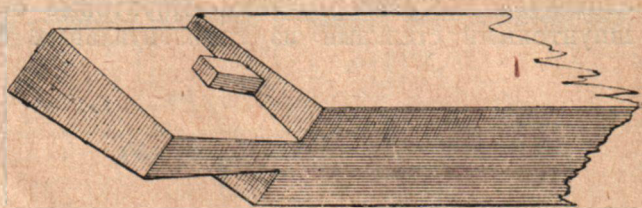


Рис. 65.

Если в основании имеется грунт, непроницаемый для свай, но в то же время, не схватывающийся с бетоном, как например сплошные

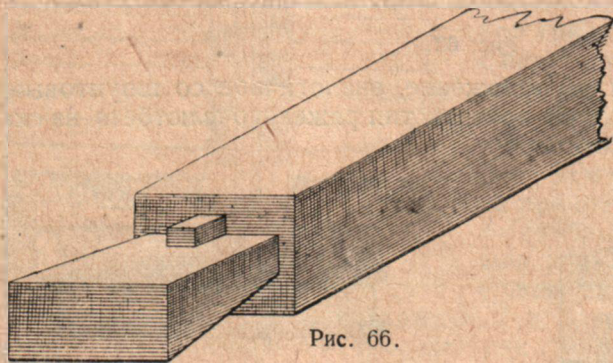


Рис. 66.

валуны, цементированные глинистыми грунтами, то вопрос об устройстве ряжевого основания следует разрешать в зависимости от рода грунта. Возможно устройство под ряжами более глубоких роек, с заполнением их бетоном, или же устройство сплошного бетонного основания с зубьями для

увеличения пути фильтрации и устойчивости сооружения.

Береговые устои. Береговые устои в плане имеют очертание, показанное на рис. 71 и 72. Наружное очертание основания устоя даётся шпунтовыми линиями: брусчатой понурной сверху по течению и досчатыми линиями по боковому очертанию и снизу по течению. Последняя линия является продолжением сливной, если таковая заби-

вается. В очертании устоя забиваются сваи в расстоянии друг от друга не более 2,15 м, при чем располагаются правильными рядами (рис. 71). Сваи эти служат основанием для ряжевой нарубки устоя, опирающейся на них и на шапки шпунтовых линий. Под устоем проходит королевая брусчатая шпунтовая линия. В случае ряжевого основания нарубка устоя возводится на подпольной нарубке, описанной выше. Надпольная часть устоя для всех типов флютбетов устраивается одинаково. На сваи одеваются сквозным шипом насадки, концами врубленные частью в шапки, частью в насадки (рис. 73). Насадки прикрепляются к сваям скобами. Внутренние ряжи рубятся без притески из бревен толщиной 20—22 см. С лицевой стеной ABCD (рис. 72) ряжи соединяются лапой (рис. 63), а между собой в пересечениях простой врубкой (рис. 62). Лапы устраиваются с запотемками. Для упрощения работы, чтобы не делать излишних лап, поперечные концы нарубки с внутренней (земляной) стороны рубятся с остатком простым пересечением. Остаток выступает на 45—55 см (рис. 72). Крылья устоя AB и DC делаются не короче, как в два ящика, при чем эти крылья должны входить в коренной берег. При высоте устоев (от

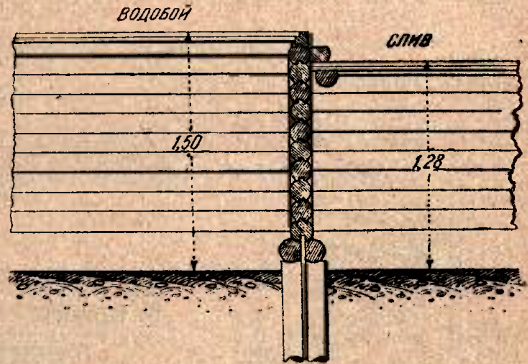


Рис. 67.

речные концы нарубки с внутренней (земляной) стороны рубятся с остатком простым пересечением. Остаток выступает на 45—55 см (рис. 72). Крылья устоя AB и DC делаются не короче, как в два ящика, при чем эти крылья должны входить в коренной берег. При высоте устоев (от

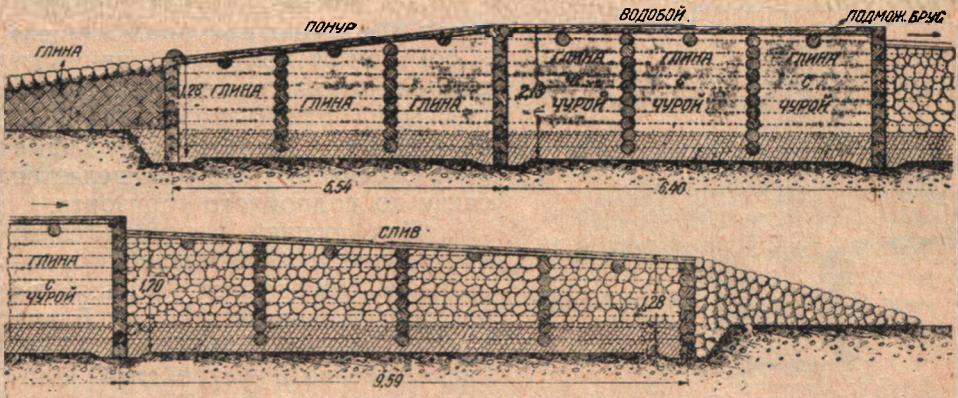


Рис. 68.

пола) до 4,25 м крылья достаточно делать шириною в два ящика, при большей высоте—в три ящика. Свыше 6,4 м ряжевые устои не следует делать.

Устой должен удовлетворять условию устойчивости на опрокидывание давлением земли и противодействовать сдвигу в горизонтальном направлении, что при проектировании должно быть проверено.

В существующих типах устоев плотин Мариинской и Тихвинской систем, не превышающих 6,4 м, вышеуказанные условия вполне удо-

влетворяются при ширине устоя, понизу равной высоте. Кверху ширина устоя может убывать до ширины одного или двух ряжевых ящиков (рис. 74).

Лицевая нарубка устоев выполняется из бревен толщиной 26 см, тщательно притесанных друг к другу постелями (рис. 75) с шипом через каждые 2,00 м. Наружная часть нарубки обтесывается цилиндром и строгаются. Сращивание бревен внутренней и наружной нарубки

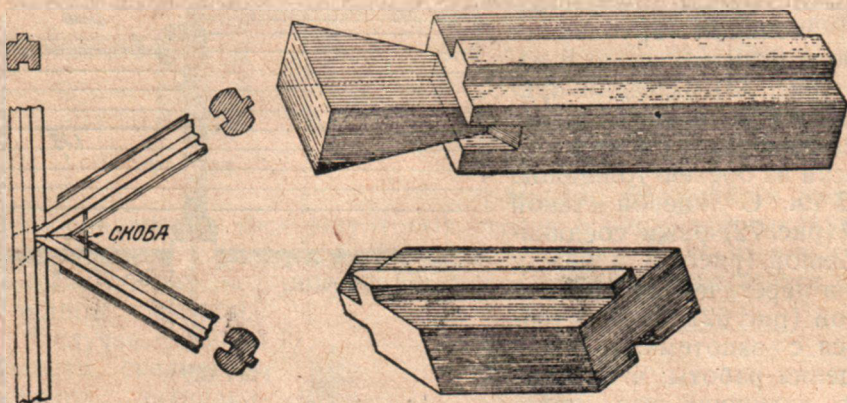


Рис. 69.

производится шипом (рис. 76). Срутки располагаются в перевязку. Для лучшей перевязки швов нарубка делается из бревен длиной 8,5—6,4 м, при чем при заготовке назначается $\frac{2}{3}$ общего количества бревен длиной 6,4 м и $\frac{1}{3}$ —длиной 8,5 м. Лицевая нарубка передней

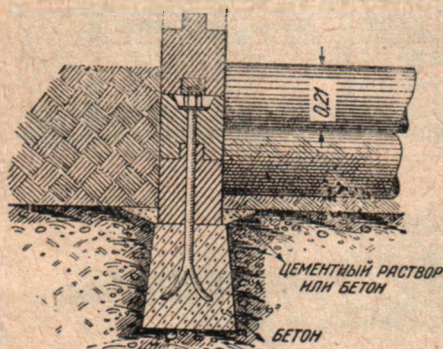


Рис. 70.

части устоя (над понурной линией) и боковой от понурной линии до короля взаимно скрепляется заершенными болтами толщиной 2 см по одному и больше на каждые 2 м. Скрепление болтами делается снизу до подпорного горизонта.

Для лучшей взаимной связи внутренней ряжевой нарубке в последнюю загоняются шпонки из пластин толщиной 11 см. Длина шпонок делается не более 1,5 м. Расположение и устройство шпонок показано на рис. 73.

Над королевым шпунтом, проходящим под устоя, ряжевая стенка выполняется из шпунтовых бревен, положенных на просмоленный войлок. Шпунтовая стенка доводится на 40—45 см выше подпорного горизонта. Устройство шпунтовой стенки и сопряжение ее с королем, конец которого заложен в нарубку, видно из рис. 77 и 78.

В понурной части, где пол устраивается наклонным, внутренняя ряжевая нарубка делается уступами, а наружная—как показано на рис. 79.

К лицевой стене устоя над королем укрепляется так называемая коренная стойка для упора щитовых затворов. Коренная стойка вре-

зается в нарубку и прикрепляется к ней болтами. Стойка делается или с пазом для щитов—тип плотин Тихвинской системы (рис. 80 и 81), или же без паза—тип Мариинской системы (рис. 82). Прикрепление коренных стоек к устою видно из тех же чертежей.

Размер стойки должен быть определен расчетом по передаваемому на стойку давлению воды, при чем стойка рассчитывается в запас прочности, как балка на двух опорах с пролетом, равным высоте устоя. Число болтов берется на 2 п. м 2—3 штуки при диаметре 2 см.

Для шипа (рис. 80) должна быть произведена проверка на ска-

лывание по плоскости *a*. Для получения облегченного сечения к стойке ставится подкос, упирающийся одним концом в стойку, а другим в компактный брус водобойного пола. Подкосы соединяются со стойкой и компактным брусом шипами и прибиваются ершенными болтами к стене устоя. Коренная стойка соединяется с шипом.

Для предохранения лицевой нарубки от ударов льда при ледоходе или же от ударов (сплавляемыми мулом, через плотину до ее сборки лесными материалами (Тихвинская система) делается обшивка из пластин, как показано на рис. 83. Эта обшивка делается выше горизонта ледохода или сплава на 40—45 см. Обшиваются боковые стены и передняя открытая (незагруженная землей) стена.

Высота устоя делается на 0,64 м выше наивысшего горизонта воды. Устой делается или же по всей длине одинаковой высоты (рис. 84) или же уступчатый (рис. 85) для экономии в нарубке. Затопляемые высокой водою пониженные части должны быть замощены мостовою на мху.

По лицевой стене устоя сверху укладывается карниз из обтесанных брусьев или досок толщиной 7,6 см.

Наружные стены устоя осмаливаются вареной смесью древесной смолы с пиком в пропорции по весу: смолы около $\frac{3}{4}$ части и пика

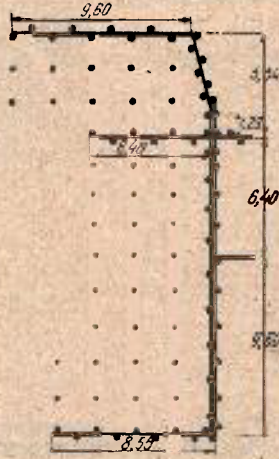


Рис. 71.

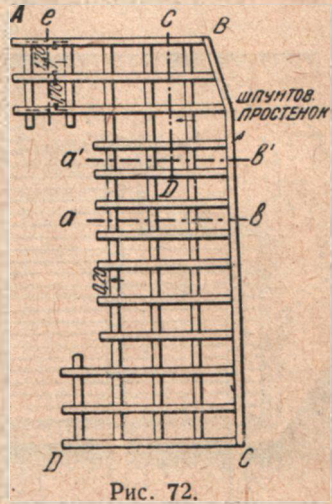


Рис. 72.

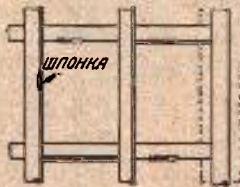
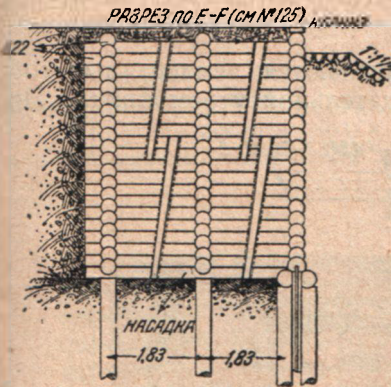


Рис. 73.

около $\frac{1}{4}$ части. Осмолка производится за два раза. Особое внимание должно быть обращено на осмолку торцевых частей нарубки.

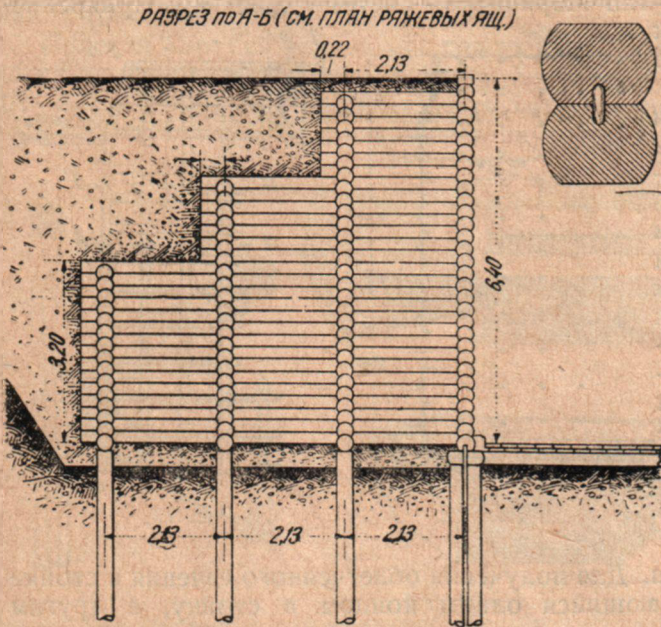


Рис. 74.

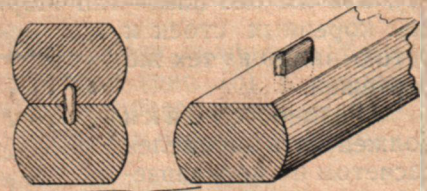


Рис. 75.

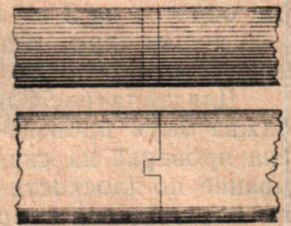
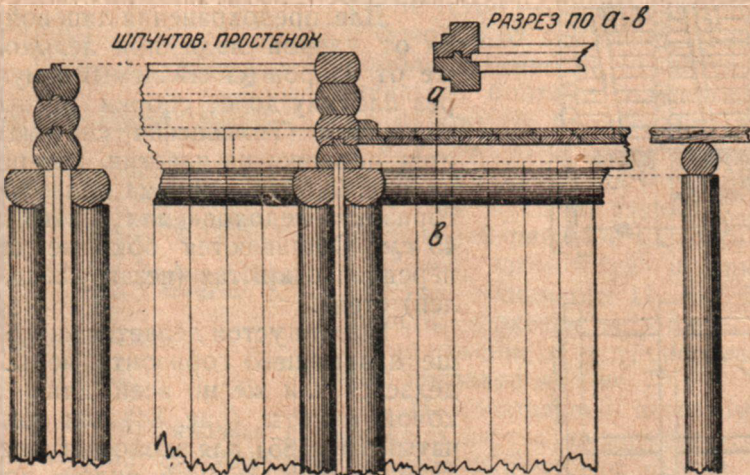


Рис. 76.

Ряжевые ящики и пазухи устоев загружаются землей, вынутой из котлована при постройке устоя, с тщательной утрамбовкой. Ни



ПРОДОЛЬН. И ПОПЕРЕЧН.
ШПУНТЫ СРЕЗАНЫ НА
ОДНОМ УРОВНЕ

Рис. 71.

в коем случае нельзя загружать ряжевых ящиков глиной, во избежание расстройств врубок при замерзании глины зимою. Наилучшая

Для предохранения нижнего конуса от подмыва подошва его должна быть укреплена каменной наброской, сухой кладкой или же фашиной кладкой (рис. 86, 87, 89). Фашинная стенка возвышается над

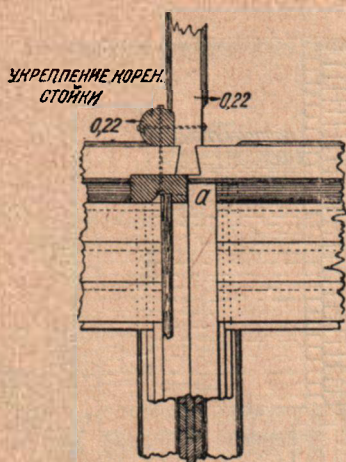


Рис. 80.

горизонтом воды нижнего бьефа на толщину не менее одного пучка, т. е. 30 см.

Для легко размываемых грунтов фашинная стенка укладывается на фашинный тюфяк, служащий продолжением тюфяка, уложенного ниже слива, если последний тюфяк имеется (рис. 88).

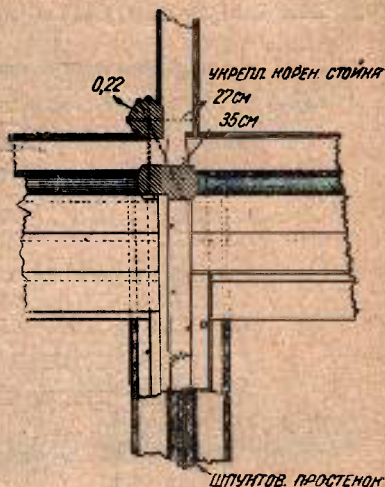


Рис. 81.

Промежуточные опоры. Промежуточные опоры устраиваются трех типов: ряжевые (массивные), стоечные простые и стоечные контрфорсные.

Ряжевыми быками отверстие плотины расчленяется на отдельные пролеты не свыше 12,75 м (рис. 44).

Эта ширина пролета установлена практикой из условия получения наиболее экономичных и удобных для устройства и ремонта переходного или проезжего моста через плотину и промежуточных между быками опор и затворов.

Для постепенного сжатия струй, в целях наиболее спокойного прохода воды между быками и устоями, в понурной части стены

быков и устоев устраиваются скошенными. Теоретически так же скашивать стены следовало бы и в нижней части быков и устоев (рис. 89 и 90) для уменьшения водоворотов и разрушительного их

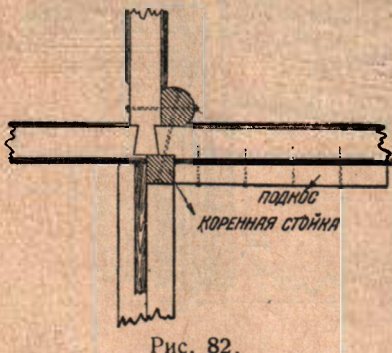


Рис. 82.

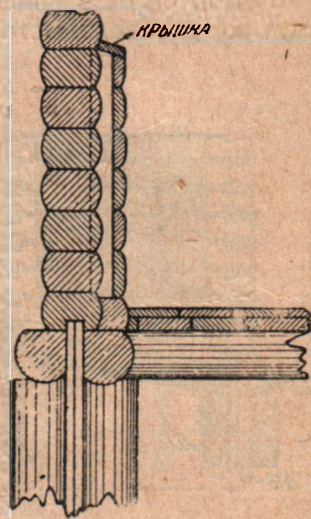


Рис. 83.

действия на рисберму и берега ниже плотины. Но устройство угловых пересечений, особенно под острыми углами, из дерева весьма трудно; эти части являются наиболее слабыми частями конструкции. Поэтому

практически стены быков и устоев в нижней части не скашиваются. Вредное влияние водоворотов на береговые части локализуется устройством соответствующего берегового укрепления (рис. 87), а на рисберму — заложением под камнем фашинного тьюфяка или особенно тща-

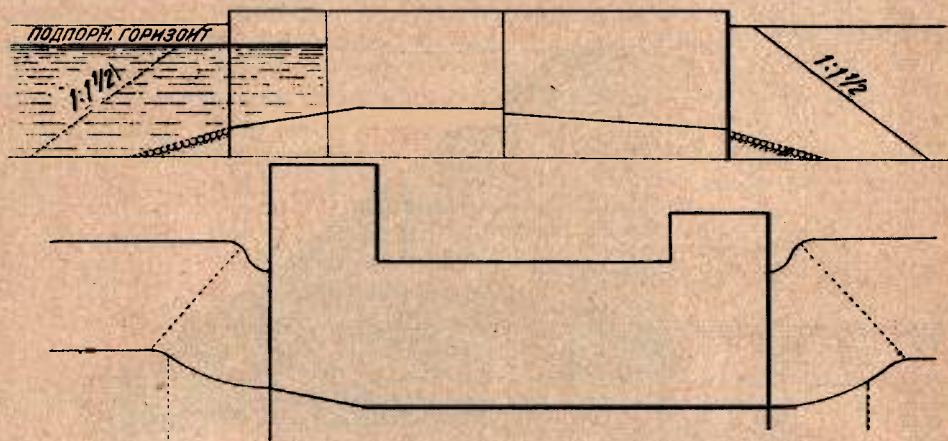


Рис. 84.

тельным устройством рисбермы из крупных камней, с подбором их и укладкой между забитыми по площади рисбермы сваями для удержания камня на месте.

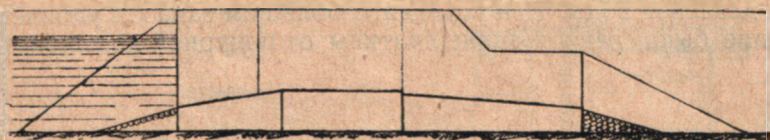


Рис. 85.

Пролеты между ряжевými быками делятся на более мелкие пролеты установкой промежуточных стоек разного типа. Расстояние между промежуточными стойками обуславливается типом затвора. Эти затворы делают досчатые из отдельных щитов. Щиты подымаются вручную при помощи ворота одним человеком. Щиты для возможности свободного маневрирования ими делают не длиннее 1,6 м, а по высоте — не более 1 м. Принятой длиной щита и определяется величина пролета между промежуточными стойками. При пролете между быками в 10,65 м устраивается не меньше 6 пролетов между стойками, что дает расстояние между осями стоек:

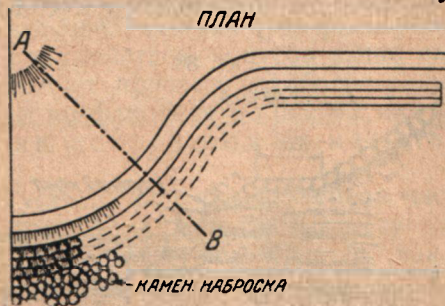


Рис. 86.

$$\frac{1}{6} \cdot 10,65 = 1,77 \text{ м.}$$

Для этого расстояния длина щитов и получается около 1,6 м.

В дальнейшем рассмотрим отдельно устройство промежуточных опор всех типов.

Ряжевые быки. Толщина быка делается не меньше, как в два ряжевых ящика, т. е. не меньше как 3,2—4,25 м. Длина быка при

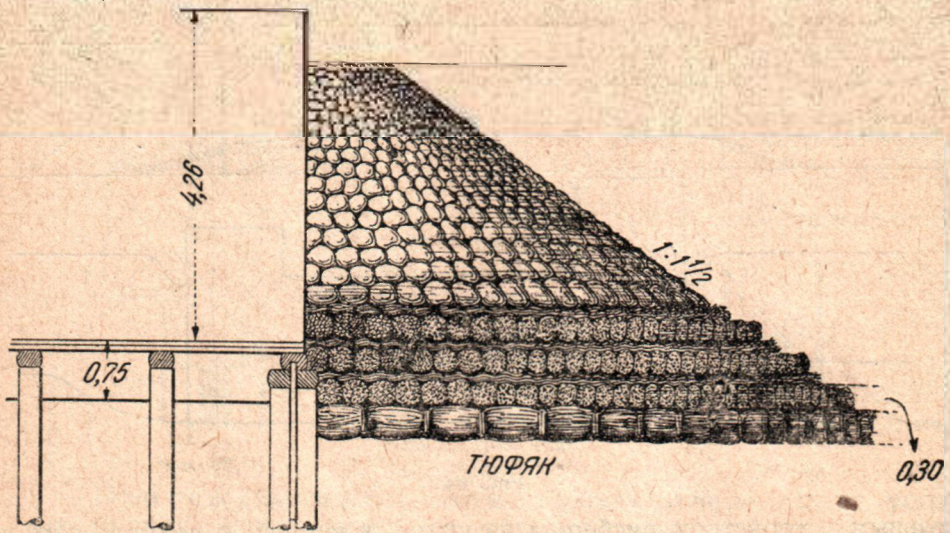


Рис. 87.

известной ширине определяется из условия устойчивости его под действием давления воды. Эти условия с большим запасом удовлетворены при длине быка, равной длине плотины от понурной до сливной линии.

РАЗРЕЗ

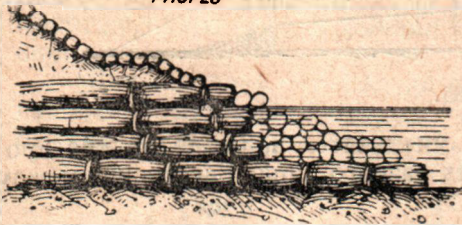


Рис. 88.

РАЗРЕЗ ПО А-В.

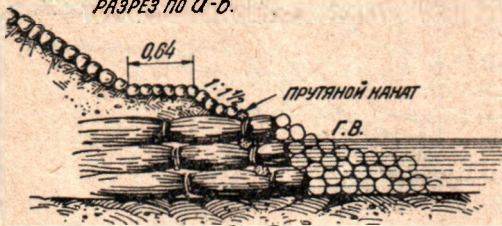


Рис. 89.



Рис. 89-а.

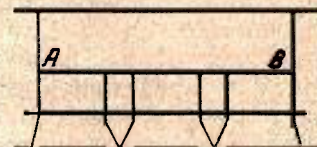


Рис. 90.

В практике быки встречаются двух типов, т. е. длиной равной длине всего флютбета (рис. 42 и 44) или же до водобойной линии (рис. 90). В последнем случае водобойная шпунтовая линия АВ идет непрерывно.

В существующих типах плотин для случая быка во всю длину флютбета водобойная линия устроена с перерывами под быками (рис. 42 и 44). Такое устройство имеет то оправдание, что избегается необходимость делать трудно исполнимые и наиболее слабые в смысле фильтрации части флютбета — пересечения шпунтовых линий. Но такое устройство имеет и свои недостатки. Практика показала, что загрузка ряжевых ящиков быков в водобойной части дает осадку вследствие уноса загрузки фильтрующей водою в нижнюю сливную часть, загруженную камнем. Явление это вполне понятно, так как при отсутствии водобойного шпунта под быками путь фильтрации сокращен по сравнению с таковыми в соседних участках под полами. При перестройке плотин Тихвинской системы в 1912—1914 гг. водобойный шпунт и для случая длины быка во весь флютбет был сделан непрерывающимся под бы-

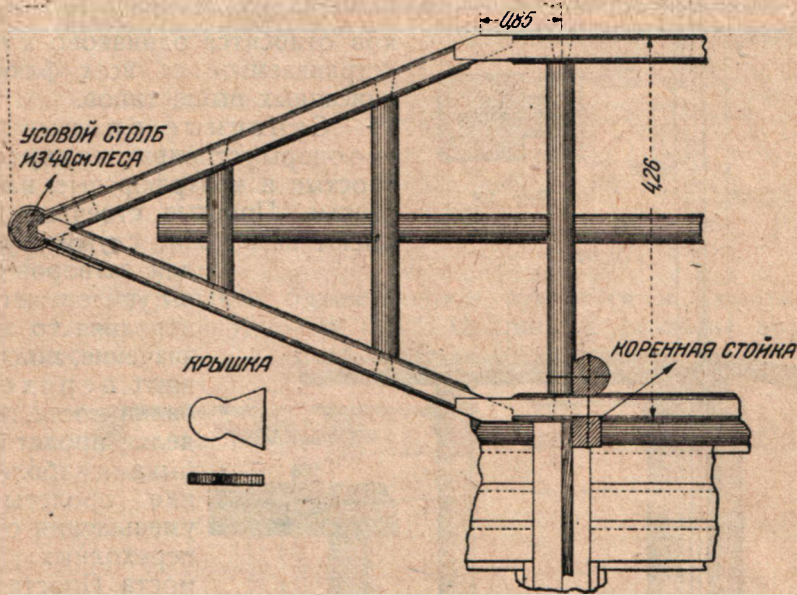


Рис. 91.

ками, что дало ожидаемые результаты. Отсутствие этого шпунта под береговыми устоями не имеет такого значения, так как путь фильтрации под устоями значительно удлиняется устройством конусов выше плотины. На основании изложенного следует признать наиболее рациональной схему расположения шпунтов во флютбете по рис. 42 или 44, но с устройством непрерывающегося под быками водобойного шпунта.

Высота быков такая же, как и устоев, при чем от усовой части до водобойной линии эта высота делается полной, а дальше уступами, как и устой (рис. 85). Над королевой линией устраивается, как и в устоях, шпунтовый простенок. Нарубка и соединение ее с шапками шпунтовых линий и полами устраивается совершенно аналогично с устоями (рис. 79 и др.). К боковым стенкам быков, как и к устоям, прикрепляются коренные стойки. Усовая часть быка защищается специальным усовым столбом, прикрепленным к быку хомутами из полового железа, по крайней мере двумя на 2 м.

Вровень с карнизом верхний торец усового столба закрывается деревянной крышкой (рис. 91). Нижняя часть быка до уровня полов загружается таким же материалом, как и соответствующие части флютбета. Ящики быков, расположенные выше пола, должны быть загружены такими же материалами, как устои, и о загрузке этих ящиков следует повторить то же, что было сказано об устоях. Но загрузка землею производится лишь в пределах от усовика до водобойной стены. В сливной части ящики быков загружаются камнем. В случае необходимости стены быков, как и устоев, защищаются обшивкой (рис. 83).

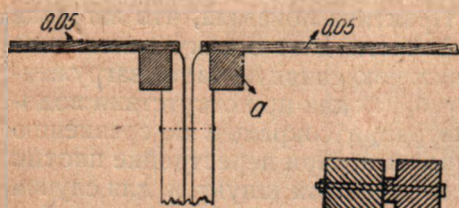


Рис. 92.



Рис. 93.

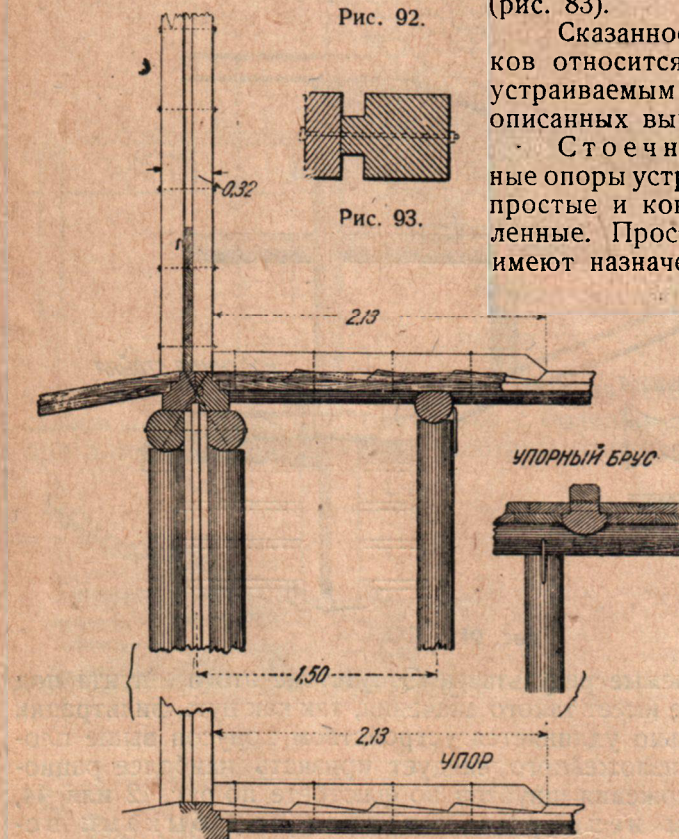


Рис. 94.

Сказанное об устройстве быков относится одинаково к быкам, устраиваемым на всех флютбетах описанных выше типов.

Стойечные опоры. Стоечные опоры устраиваются двух родов: простые и контрфорсные, или усиленные. Простые стоечные опоры имеют назначение служить упором для затворов плотины; усиленные опоры, исполняя то же назначение, поддерживают переходные балки моста, подразделяя пролет между быками на более мелкие пролеты для уменьшения сечения переходных балок моста. Простая стойка, в зависимости от воспринимаемого ею давления, делается или составная из двух брусьев (рис. 92) или же из одного бруса с направляющей затворы доской (рис. 93). Составные части стоек соеди-

няются болтами. Для средних подпоров (около 3,2 м) эти болты делаются диаметром 2 см и располагаются по 3 штуки на 2 п. м.

Нижний конец стойки укрепляется шипом в король (рис. 94) и в упор. Последний соединяется зубами с упорным брусом. Упорный брус укладывается по ростверку водобойного пола (рис. 53 и 94). Упор прибивается к упорному брус ершенными болтами. Верхний

конец стойки упирается в балку переходного моста *a* и связывается с этой балкой и такой же, лежащей впереди, винтовым болтом (рис. 94).

Для уменьшения сечения стойки, если это требуется по недостатку толстого леса или же по величине подпора, устраиваются

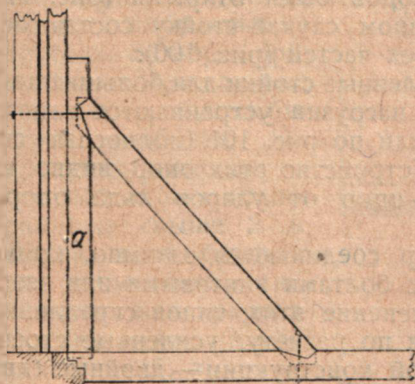


Рис. 95.

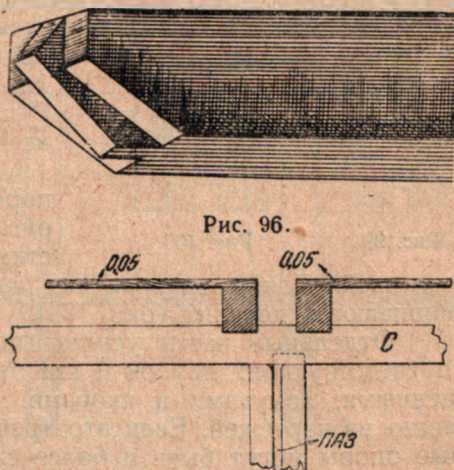


Рис. 96.

Рис. 97.

подкосы (рис. 95). Подкос одним концом врубается в подможную стойку *a* и другим — в упорный брус. На рис. 96 показана врубка такого подкоса.

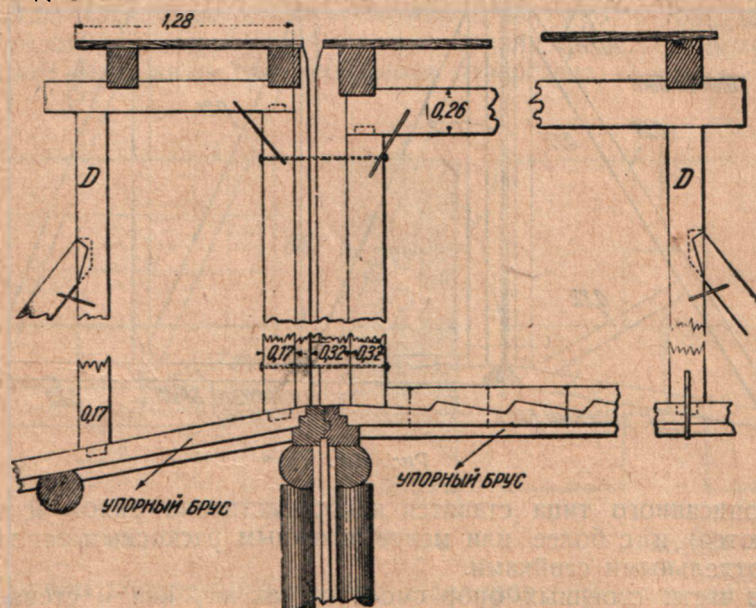


Рис. 98.

Усиленные стойки, имеющие назначение поддерживать продольные балки переходного моста, устраиваются различным образом в зависимости от величины воспринимаемого ими давления моста и да-

вления подпертой воды. Простейший тип усиленной стойки изображен на рис. 97 и 98. Прогон, поддерживающий продольные балки моста c , насаживается на шип стойки средней своей частью. По концам прогон опирается на добавочные стойки, как показано на рис. 98 (D). Если расчетное сечение стойки таково, что стойку можно сделать обычного типа, составленную из двух брусьев, то она устраивается так, чтобы,

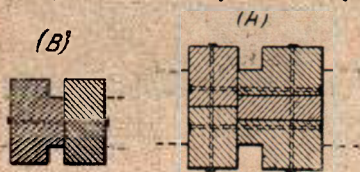


Рис. 99.

Рис. 100.

по положению на нее прогона c , пазы для затворов были открыты (рис. 99). В противном случае стойку составляют из четырех частей (рис. 100).

Усиленные стойки для больших подпоров и нагрузки устраиваются или по рис. 98 или по рис. 101 (подкосная система). Устройство этих опор видно из чертежей. Для предохранения частей опор от ударов льда опоры обшиваются досками (рис. 102).

Отдельные части усиленных опор соединяются взаимно, кроме соответствующих врубок и шипов, еще болтами винтовыми или заершенными, хомутами и скобами. Применение этих типов скреплений видно из чертежей. Если это требуется по расчету, усиленные стоечные опоры могут быть и более сложной конструкции — двойные (две

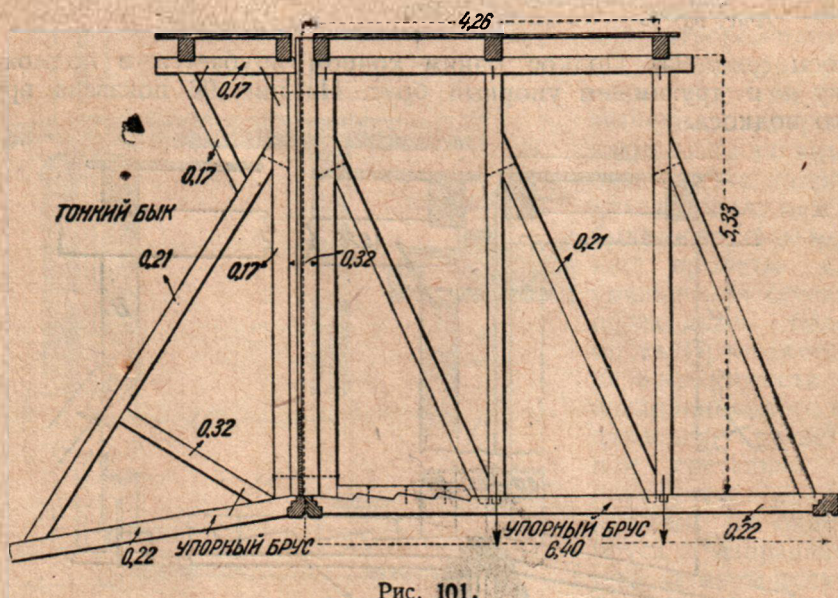


Рис. 101.

опоры описанного типа ставятся непосредственно рядом и взаимно связываются) и с более или менее сложным раскосным заполнением между отдельными стойками.

Все части стоечных опор смоятся так же, как и стены устоев и быков. Сложного устройства стоечные усиленные опоры называют также тонкими быками.

Затворы. Пролеты между стойками и между стойками и быками или устоями закрываются затворами. Эти затворы устраиваются двух типов: шандорные и щитовые.

Шандорные затворы представляют из себя брусья, накладывающиеся друг на друга и своими концами входящие в пазы стоек (рис. 103). Для подъема и опускания брусьев служат крючья по два на каждом брусе, прикрепленные или болтом (рис. 104), или же ввинченные нарезанным концом (рис. 105), или же забитые заершенным концом. Крючья входят в особые гнезда, выбранные в брусьях. Затворы применимы в тех случаях, когда не требуется быстрой разборки для пропуска паводков и при небольших подпорах — не свыше 2 м. Длина таких брусьев, для возможности свободного маневрирования ими и для получения сечений, выполненных из одного бруса, делается не больше 4,25 м.

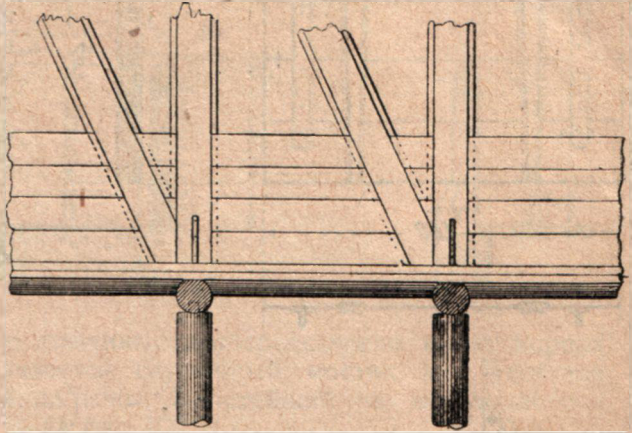


Рис. 102.

При таких больших пролетах промежуточные стойки получили бы весьма сложной конструкции. Поэтому затворы этого типа применяются в тех случаях, когда пролеты плотины невелики — не свыше 4,25 м, или же когда возможно и выгодно подразделить весь пролет плотины массивными быками на мелкие пролеты не более 4,25 м. Это может быть лишь при небольших отверстиях плотин.

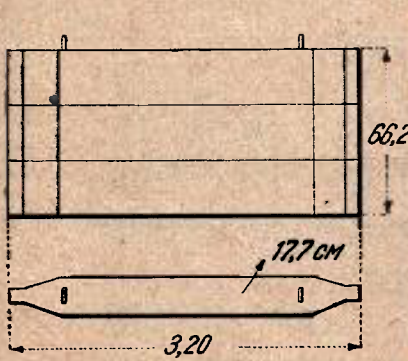


Рис. 103.

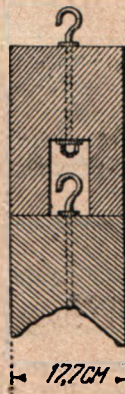


Рис. 104.

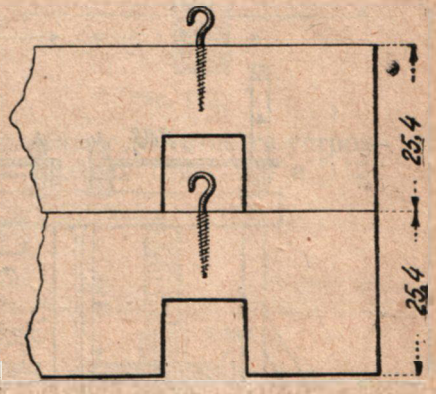


Рис. 105.

Размеры поперечного сечения шандоров определяются расчетом.

Второй тип затворов — щитовых — наиболее распространен на плотинах наших водных систем. Затворы щитовые состоят из отдельных щитов, закладываемых в пазы стоек один на другой до высоты, дающей нужный подпор. Размеры щитов, как говорилось уже, не должны превышать следующих: длина — 1,6 м и высота — 1 м. Каждый

щит составляется из досок, припазованных в четверти (рис. 106). Доски связываются между собой двумя шпонками. Для маневрирования щитами к ним прикрепляются гвоздями планки из полосового железа, с выкованными в верхних концах крючьями. Толщина досок определяется расчетом. Для существующих плотин она не превышает 7,5—10 см.

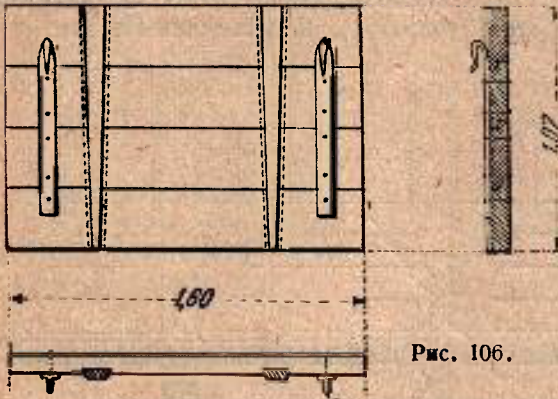


Рис. 106.



Рис. 107.

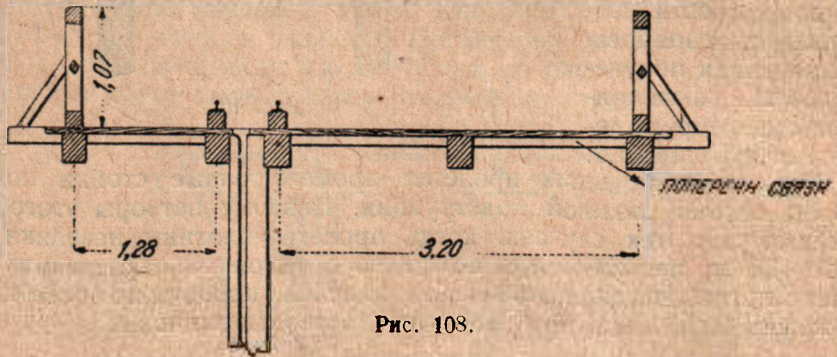


Рис. 108.

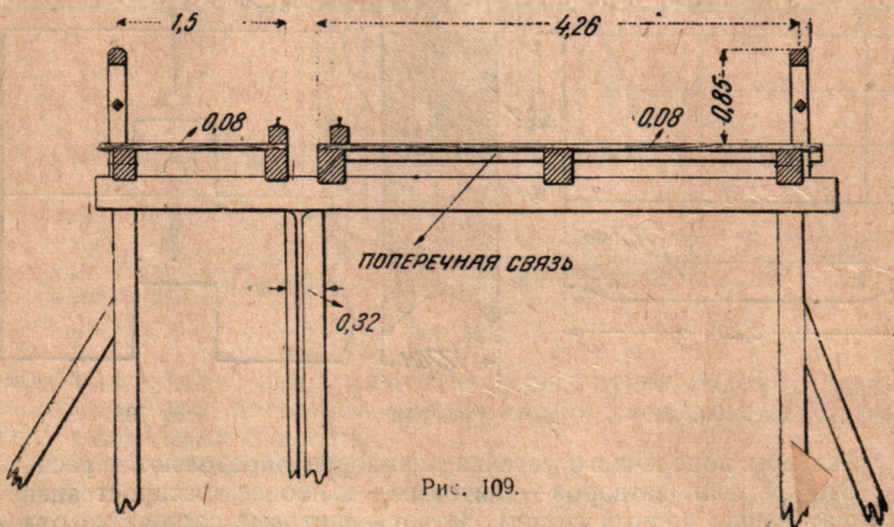


Рис. 109.

В случае толстых досок концы их стесываются соответственно размерам пазов стоек (рис. 107). Четверти в стойках делаются около 5 см.

Переходный мост. Через плотину устраивается проезжий или переходный служебный мост. Ширина проезжего моста устраивается не более водобойной части, а обычно — около 4,25 м. Если мост служит только для пешеходов, то ширина его делается не более 3,2 м. Мост этот устраивается над водобойной частью плотины.

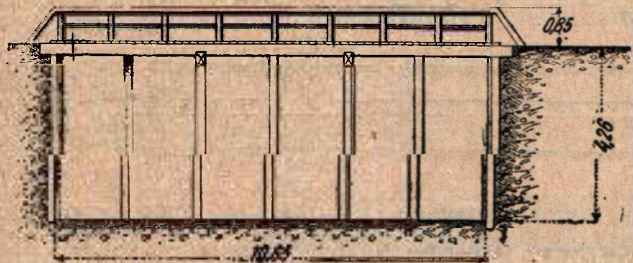


Рис. 110.

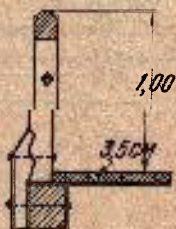


Рис. 111.

Над понурной частью плотины, непосредственно выше короля (по течению реки), устраивается служебный мостик для удобства маневрирования затворами плотины. Простейший тип переходного и служебного моста изображен на рис. 108.

Сечения продольных балок и настила определяются расчетом. Давление от стойки на верхнюю (по течению) продольную балку передается и нижним при помощи поперечных связей, располагаемых через 2,15 м. Эти связи делают из пластин. Концы их выступают для помещения на них подкоса перильной стойки. Наибольший пролет, перекрываемый цельной продольной балкой, — 8,5 м. Для больших пролетов получилось бы слишком большие сечения балок или пришлось бы балки делать составными. Уменьшение расчетного пролета, а следовательно и сечений продольных балок достигается устройством промежуточных опор, на усиленных стойках (рис. 109 и 110).

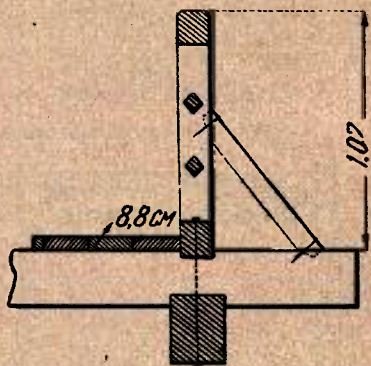


Рис. 112.

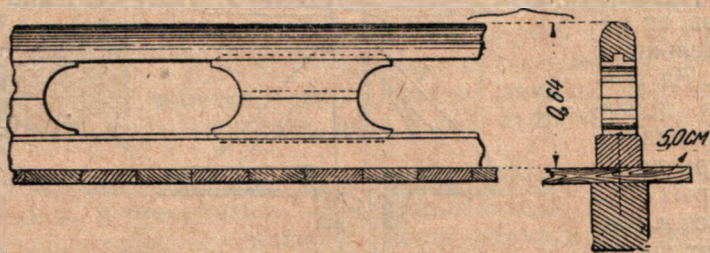


Рис. 113.

Настил переходного моста кладется поперечный из досок толщиной от 5 до 7,6 см по расчету. Если через плотину должен быть проезд, то по продольным балкам кладутся поперечные и по ним двойной или ординарный продольный настил. Размеры составных частей устраиваются по расчету.

Переходный и служебный мосты ограждаются перилами. На рис. 111 и 112 изображены типы перил, а на рис. 113—парапет из

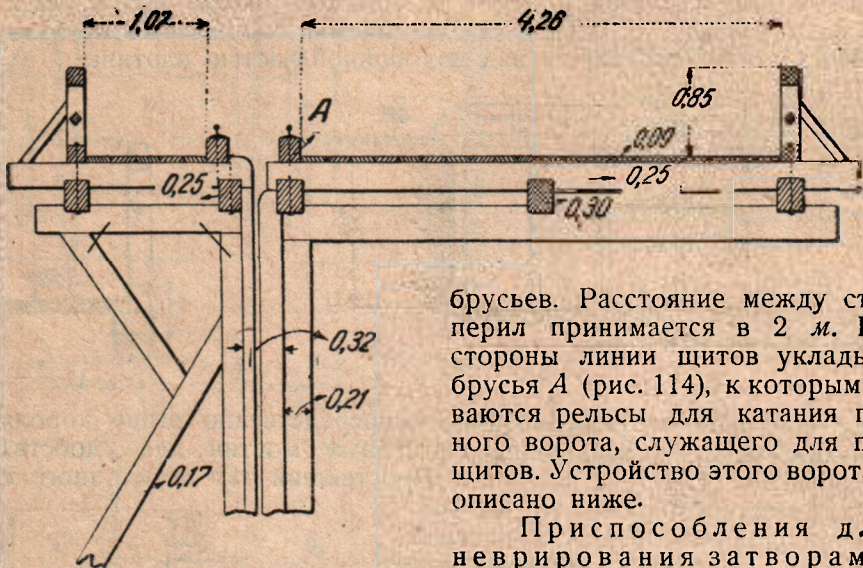


Рис. 114.

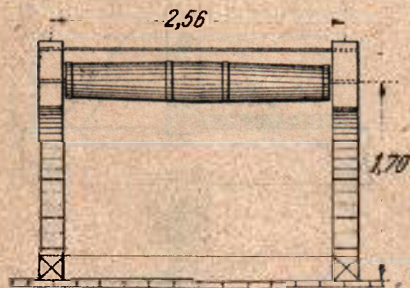


Рис. 115.

быками или несколько валов между отдельными стойками. На концы валов одевались деревянные колеса, при помощи которых вал приводился в движение вручную. На валу намотаны веревки или цепи, захватывающие привязанными к

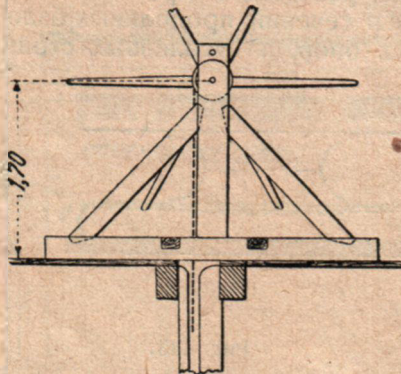
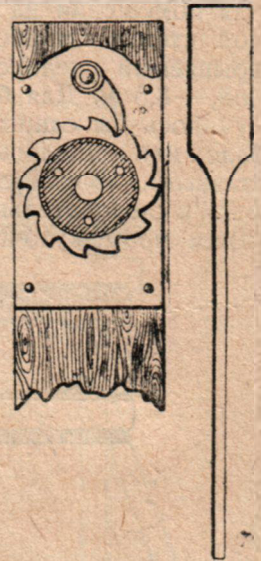


Рис. 115-а.



брусев. Расстояние между стойками перил принимается в 2 м. По обе стороны линии щитов укладываются брусья А (рис. 114), к которым приближаются рельсы для катания подвижного ворота, служащего для подъема щитов. Устройство этого ворота будет описано ниже.

Приспособления для маневрирования затворами. Для опускания и подъема щитов пользуются воротом. На старых плотинах Мариинской системы этот ворот устраивался следующим образом. Концы стоек выпускались выше настила на 1,5—2,15 м. На выступающие концы укладывался деревянный вал во весь пролет между

ним кольцами или крючьями за крючья щитов. Это приспособление громоздко и требует значительных усилий. Такое приспособление уст-

равнять не следует, почему чертежей их устройства не прилагается. В последние 15 лет применяются подвижные ворота разных устройств.

Простейший тип ворота показан на рис. 115. На деревянной раме из брусьев укреплены при помощи подкосов стойки. Между стойками вращается на железных шипах вал. Стойки стянуты тяжем. Вращение вала сообщается аншпугом. Аншпуг переставляется в отверстия, выдолбленные на валу в его середине. На вал наматываются веревки или цепи, к которым зацепляется щит при его подъеме или опускании. Ворот передвигается скольжением на раме. Обратному вращению вала препятствуют собачка и зубчатка (см. рис. 115 к 115-а).

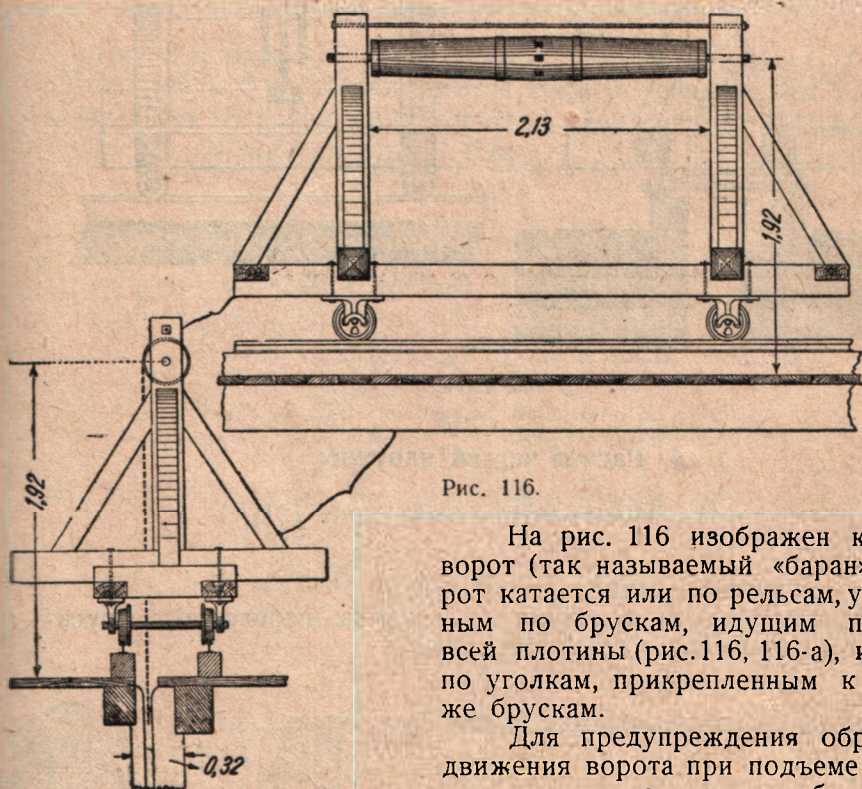


Рис. 116.

На рис. 116 изображен катучий ворот (так называемый «баран»). Ворот катается или по рельсам, уложенным по брускам, идущим поперек всей плотины (рис. 116, 116-а), или же по уголкам, прикрепленным к таким же брускам.

Для предупреждения обратного движения ворота при подъеме щитов к валу прикрепляется зубчатка, по которой скользит собачка, укрепленная на стойке, поддерживающей вал. Для свободного движения вала в обе стороны собачка откидывается.¹

При опускании щитов применяется трамбовка для погружения щитов в воду и прижимания их к нижележащим.

Для регулирования горизонта воды приходится большей частью ограничиваться подъемом или опусканием верхнего ряда щитов. Чтобы каждый раз щитов не вынимать, устраиваются специальные крючья для их подвески (рис. 117).

Ограждения плотин от ледохода. Для ограждения плотин от действия льда при ледоходе устраиваются или кусты свай или ледорезы. Расположение их и конструкция зависят от направления движения льда, от его толщины и скорости движения. Располагаются

ледорезы с таким расчетом, чтобы предохранить от ударов льда быки, и чтобы лед в пролеты направлялся в более или менее размельченном состоянии, при котором стойки не подверглись бы риску повреждения. На рис. 118, 119 и 120 изображены типы применяемых кустов свай и ледорезов.

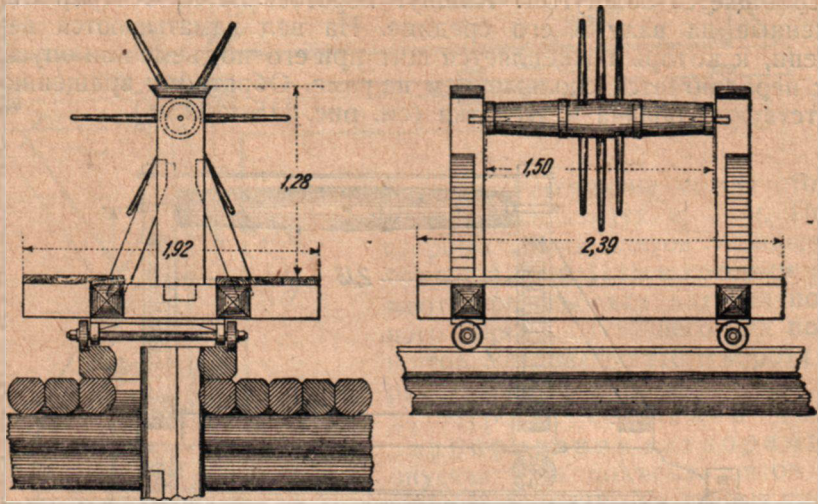


Рис. 116-а.

Расчет частей плотины

1. Давление воды (рис. 121)

Пусть

Вес кубической единицы воды — Δ .

Длина стойки от фахбаума до середины переходного бруса — l .

Расстояние между осями стоек — a .

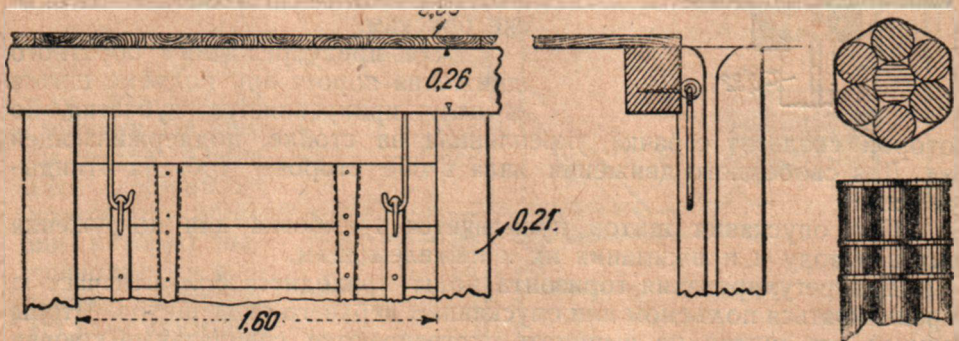


Рис. 117.

Рис. 118.

Давление воды на стойку на протяжении x равно:

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot x^2}{2}$$

1).

Давление воды на стойку со стороны напора:

$$p_1 = \frac{\Delta \cdot a \cdot H^2}{2} \quad 2).$$

То же со стороны нижнего бьефа:

$$p_2 = \frac{\Delta \cdot a \cdot h^2}{2} \quad 3).$$

Полное давление на стойку, выражающееся площадкой $ABCD$ (рис. 122):

$$p_1 - p_2 = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2} \quad 4).$$

Точка приложения равнодействующей давления воды P отстоит от низа стойки в расстоянии центра тяжести трапеции $ABCD$, которое определяется из условия статических моментов относительно оси CD :

$$(ABCD) \cdot y = (BCDE) \cdot \frac{BC}{2} + (BAE) \cdot \left(BC + \frac{AE}{3} \right).$$

После подстановки получим:

$$\frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2) \cdot y}{2} = \Delta \cdot a \cdot (H - h) \cdot h \cdot \frac{h}{2} + \frac{\Delta \cdot a \cdot (H - h)^2}{2} \cdot \left(h + \frac{H - h}{3} \right);$$

$$\frac{H^2 - h^2}{2} \cdot y = (H - h) \cdot \frac{h^2}{2} + \frac{(H - h)^2}{2} \cdot \frac{H + 2h}{3};$$

$$\frac{H + h}{2} \cdot y = \frac{h^2}{2} + \frac{2h + H}{3} \cdot \frac{H - h}{2};$$

$$(H + h) \cdot y = \frac{3h^2 + 2Hh + H^2 - 2h^2 - H \cdot h}{3},$$

$$(H + h) \cdot y = \frac{h^2 + H^2 + H \cdot h}{3},$$

$$y = \frac{H^2 + h^2 + H \cdot h}{3(H + h)} \quad 5).$$

Для случая, когда $h = 0$, имеем:

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot H^2}{2} \quad 4')$$

$$y = \frac{H}{3} \quad 5').$$

2. Расчет стоек без подкоса (рис. 123)

Уравнение моментов действующих на стойку сил относительно точки A :

$$p \cdot (l - y) - R' \cdot l = 0.$$

Отсюда реакция:

$$R' = \frac{p \cdot (l - y)}{l}.$$

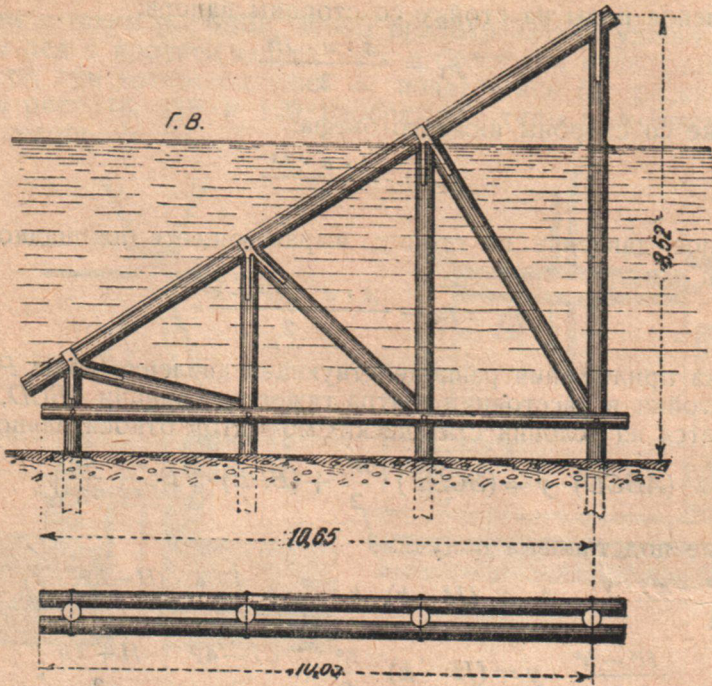


Рис. 119.

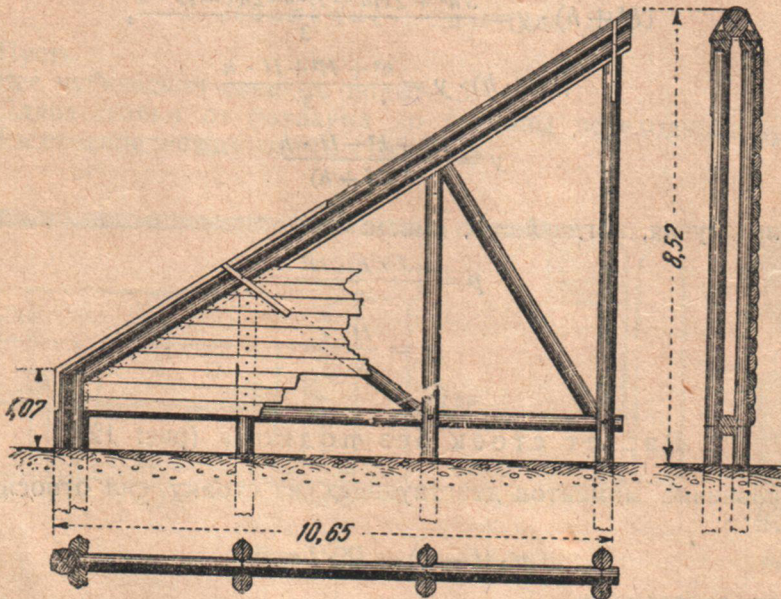


Рис. 120.

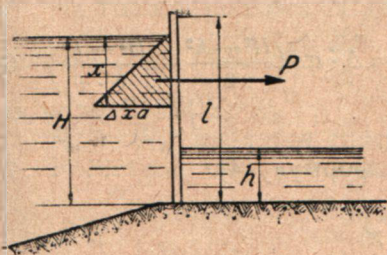


Рис. 121.

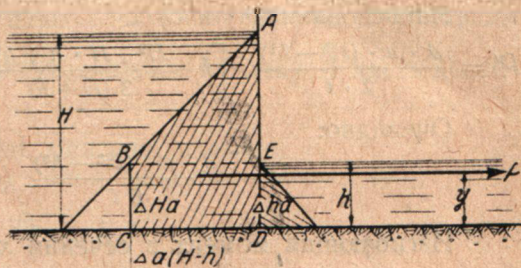


Рис. 122.

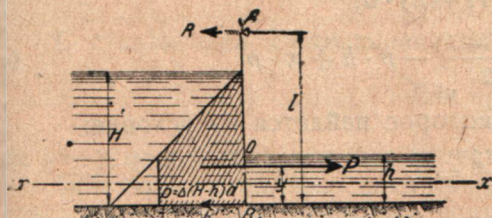


Рис. 123.

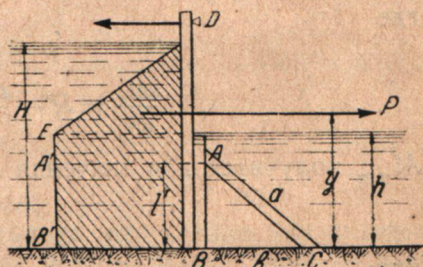


Рис. 124.

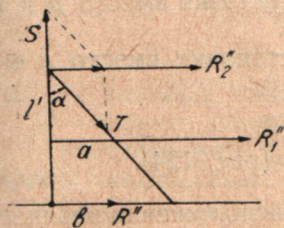


Рис. 125.

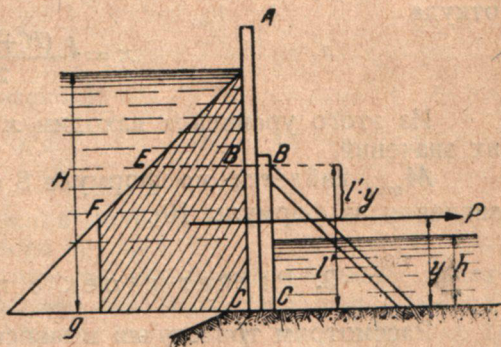


Рис. 127.

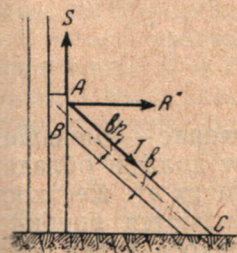


Рис. 126.

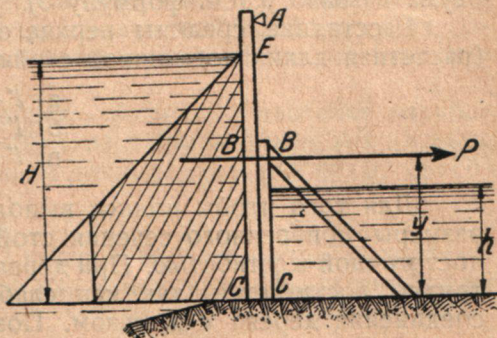


Рис. 128.

На основании 4) и 5)

$$R = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2 \cdot l} \cdot \left[l - \frac{H^2 + H \cdot h + h^2}{3(H+h)} \right] = \Delta \cdot a \cdot \left(\frac{H^2 - h^2}{2} - \frac{H^2 - h^2}{6 \cdot l} \right) \quad 6).$$

Очевидно:

$$R = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{6 l} \quad (\text{см. формулу 4}) \quad 7).$$

Изгибающий момент в сечении $x-x$:

$$M_x = -R \cdot (l-x) + \frac{p \cdot (H-h)}{2} \cdot \left(h-x + \frac{H-h}{3} \right) + \frac{p(h-x)^2}{2} \quad 8),$$

где

$$p = \Delta (H-h) \cdot a;$$

$$\frac{dM_x}{dx} = R - \frac{p(H-h)}{2} - p \cdot h + x \cdot p \quad 9).$$

M_{\max} получится для значения x , которое найдется из условия:

$$\frac{dM_x}{dx} = 0,$$

или:

$$R - \frac{p(H-h)}{2} - p \cdot h + p \cdot x = 0,$$

откуда

$$x = \frac{p(H+h) - 2R}{2p} \quad 10).$$

Из этого уравнения находим x путем подстановки вместо p и R их значений.

M_{\max} найдется по формуле 8 (после подстановки вместо x его значения из формулы 10).

3. Расчет стоек с подкосом (рис. 124).

Рассмотрим три случая в зависимости от расположения верхнего конца подкоса по отношению к точке приложения равнодействующей давления воды на стойку. Расстояние этой последней точки до фахбаума названо y (см. формулу 5).

Расстояние середины верхнего сечения подкоса до фахбаума l' (расчетная длина подможной стойки). Рассмотрим три случая:

- а) $l' < y$,
- б) $l' > y$,
- в) $l' = y$.

Для того чтобы подкос выполнил свое назначение — уменьшить размеры поперечного сечения стойки, подкос этот должен обладать достаточной жесткостью. При деревянных конструкциях эта жесткость трудно достигается, так как слабыми местами являются врубки и соединения дерева с железом. Поэтому расчет подкоса будем вести при самых невыгодных предположениях нагрузки его.

Случай а): $l' < y$ (рис. 124).

На голову подкоса A действуют следующие нагрузки: половина давления воды ($ABA'B'$): $\frac{R_1''}{2}$, и приходящаяся в точку A часть давления воды ($ADA'E$): R_2'' .

R_1'' и R_2'' найдутся способом, описанным выше.

Расчетное давление воды на голову подкоса A (рис. 125):

$$R'' = \frac{R_1''}{2} + R_2''.$$

Вертикальная составляющая этого давления, отрывающая под-
можную стойку от флютбета:

$$S = R'' \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

Составляющая, сжимающая подкос:

$$T = \frac{R''}{\sin \alpha},$$

где α — угол наклона подкоса к вертикали.

При расчете подкоса следует учитывать, что усилие может оказаться приложенным не по оси подкоса. В этом случае крайним положением усилия T примем линию AC (рис. 126). Поэтому, кроме сжатия усилием T , подкос подвергается изгибу с моментом:

$$M' = T \cdot \frac{b}{2}.$$

Наибольшее напряжение в подкосе:

$$\frac{T}{\omega} + \frac{M'}{W},$$

где ω — площадь поперечного сечения подкоса и

W — момент сопротивления этого сечения.

Расчитанный по этим усилиям подкос будет обладать достаточной жесткостью, и потому можно считать опоры A и B неподвижными и определять давление стойки на прогон моста в точке D как реакцию неразрезной балки ABC на трех опорах, нагруженной давлением воды.

При этом для простоты расчета можно заменить действие соответственных частей давления воды действием равнодействующих сосредоточенных сил. Сечение стойки следует определить по наибольшему изгибающему моменту.

Чтобы избежать сложного расчета, возможно давление на прогон в точке D и сечение стойки найти из расчета балки AB на двух опорах, нагруженной соответственной частью давления воды, способами, изложенными выше.

Случай б): $l' > y$ (рис. 127).

В этом случае систему $BBCC$ можно рассматривать как двойную балку на двух опорах, нагруженную равнодействующей давления воды на стойку:

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2}.$$

Давление воды на голову подкоса в B :

$$R'' = \frac{p \cdot y}{l'}$$

Давление, передаваемое низом стойки:

$$R_1'' = \frac{p \cdot (l' - y)}{l'}$$

Находим наибольший изгибающий момент. Далее расчет ясен. Разложением давления на голову подкоса R'' , как в предыдущем случае, находятся усилия S и T , действующие на подможную стойку и подкос. Сечение стойки рассчитывается по одному из способов, указанных в предыдущем случае. Полученное сечение стойки сравнивается с найденным при расчете подкоса и выбирается большее.

Случай в) : $l' = y$.

Подкос рассчитывается на действие сил в предположении, что на голову подкоса B действует равнодействующая давления воды на стойку:

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{2}$$

В дальнейшем стойка рассчитывается как неразрезная балка на трех опорах A , B , C (рис. 128).

4. Расчет контрфорсных стоек

Контрфорсная стойка воспринимает непосредственно давление воды от одного пролета и через посредство прогонов давления воды смежных пролетов (рис. 129 и 130).

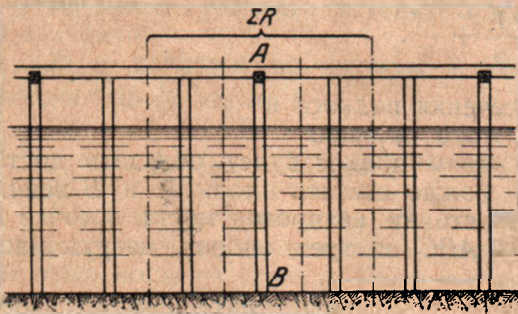


Рис. 129.

Давление воды, передаваемое одной стойкой прогону моста:

$$R = \frac{\Delta \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{6l}$$

Для случая, изображенного на рис. 129 и 130, когда контрфорсные стойки расположены через $n=3$ пролета, давление, передаваемое голове контрфорсной стойки в A :

$$\Sigma R = R + R(n - 1) = n \cdot R.$$

Давление ΣR передается в данном случае тремя узлами: C , D и E . На каждый узел примем горизонтальное усилие:

$$r_1 = r_2 = r_3 = \frac{\Sigma R}{3}.$$

Горизонтальные усилия дают вертикальные составляющие, отрывающие стойки от флутбета:

$$S_1 = S_2 = S_3 = \frac{\Sigma R}{3} \cdot \text{ctg } \alpha$$

и сжимающие стойку усилия:

$$T_1 = T_2 = T_3 = \frac{\Sigma R}{3 \sin \alpha}$$

где α —угол, составляемый подкосом со стойкой. Кроме этих сил на стойки действуют усилия S_1' , S_2' и S_3' от веса переходного моста и временной на него нагрузки.

Расчетный (наибольший) момент, изгибающий переднюю часть контрфорсной стойки AB , найдется по формулам 8) и 10), при чем эта часть рассчитывается как двойная балка, т. е. момент сопротивления сечения принимается равным сумме моментов сопротивления составных частей.

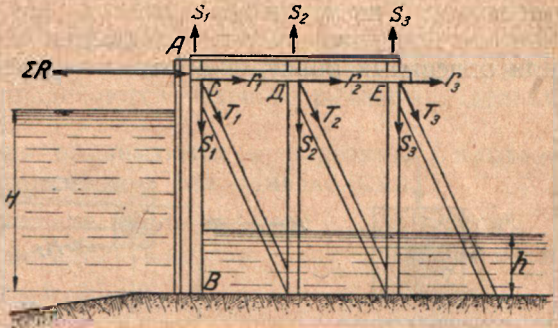


Рис. 130.

В расчет подкосов вводится момент, получающийся от внецентренности приложения усилий T :

$$M' = T \cdot \frac{b}{2}$$

где b —ширина подкоса.

5. Расчет коренной стойки ¹

Изгибающий момент и давление коренной стойки на прогон и флутбет определяются изложенными выше способами для стоек без подкосов и с подкосами, с тою лишь разницей, что расчетное давление воды соответствует половине пролета между стойками, т. е.:

$$p = \frac{A \cdot a \cdot (H^2 - h^2)}{4}$$

6. Расчет прогона переходного моста, поддерживающего стойки

Прогон этот подвержен действию горизонтальных сил K (рис. 131), передающихся верхними концами стоек, и вертикальных сил A , передающихся от настила моста.

Расчет сечения ведется по формулам косоугольного изгиба.

Прочные размеры прогона могут быть уменьшены передачей части горизонтальных усилий на все прогоны переходного моста при помощи поперечин, о которых говорилось при описании конструкций.

Если, например, переходный мост устроен на трех прогонах (рис. 132), то в расчет каждого прогона вводится горизонтальное усилие:

$$K_1 = \frac{K}{3}$$

¹ Коренной стойкой называется стойка у стен массивных опор.

7. Расчетные нагрузки переходного моста

а) Толпа людей—для служебного мостика 450 кг на 1 м² и для переходного моста—400 кг на 1 м².

б) Фура — для случая, когда мост через плотину проектируется проезжим. Тип фуры принимается по роду ожидаемого движения, при чем тяжелого грузового движения через плотину допускать нельзя. Для описанных конструкций плотин следует принимать при расчетах

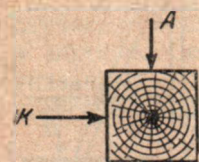


Рис. 131.



Рис. 132.

жестянский воз не тяжелее 1,66 т с упряжкой не более трех лошадей общим весом $325 \cdot 3 = 975$ кг (рис. 133).

в) Усилие от подъема щитов. Щиты поднимаются воротом. Усилие передается поровну на передний прогон переходного моста и прогон служебного мостика (рис. 134).

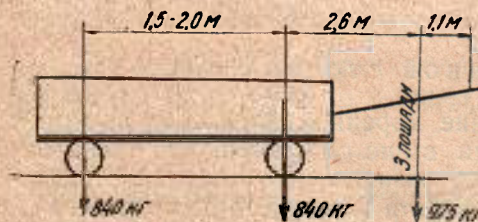


Рис. 133.

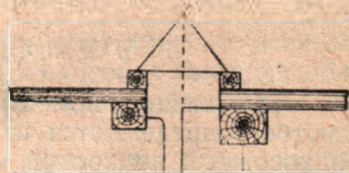


Рис. 134.

Усилие для подъема щита находим в предположении, что сразу вынимаются все щиты одного пролета между смежными стойками.

Давление воды на щит при ширине его a и высоте l :

$$p = \frac{\Delta \cdot a \cdot H + \Delta \cdot a \cdot (H-l)}{2} \cdot l \quad (\text{рис. 135}),$$

или:

$$p = \frac{\Delta a (2 \cdot H - l)}{2} \cdot l.$$

где Δ —вес 1 кубической единицы воды.

Принимая коэффициент трения дерева по дереву в воде $\varphi = 0,6$ и до 0,7 получим усилие для подъема щита:

$$P = \varphi \cdot p + q,$$

где q —вес щита и подъемной цепи.

На каждый из прогонов при вытаскивании щита передается

усилие: $\frac{P}{2}$.

г) Собственный вес 1 м³ сосны и ели:

Сухой 600 кг.
Намокшей 900 »

8. Определение прочных размеров

По найденным вышеописанным способом наибольшим изгибающим моментам и усилиям определяются прочные размеры отдельных частей плотины.

Допускаемые напряжения принимаются в деревянных плотинах описываемой конструкции для сосны и ели одинаковыми.

Непосредственное растяжение вдоль волокон . . . 100 кг/см²
 Непосредственное сжатие вдоль волокон 55 »
 Сжатие (смятие) поперек волокон 15 »
 Изгиб { нормальные напряжения 70 »
 { скальвающие напряжения вдоль волокон 15 »
 Скальвание непосредственно вдоль волокон: . . . 7,5 »

Для прочного сопротивления продольному изгибу сжатые части рассчитываются по допускаемому напряжению с коэффициентом уменьшения:

$$R'_2 = \varphi \cdot R.$$

где φ вычисляется по формуле Тетмайера:

$$\varphi = 1 - 0,00662 \cdot \frac{l}{r},$$

при

$$1,8 < \frac{l}{r} < 100,$$

$$\varphi = 3368 \left(\frac{r}{l} \right)^2$$

при

$$\frac{l}{r} > 100.$$

В этой формуле:

l — расчетная длина сжатого элемента,

$$r = \sqrt{\frac{J}{\omega}}$$

где J — момент инерции сечения и

ω — площадь его.

Изложенные расчеты намеренно произведены элементарно путем ряда допущений, чаще идущих в запас прочности. Более точные приемы расчета не дали бы ничего полезного: в произведенных расчетах уже учтен многолетний опыт работы подобных конструкций, размеры, коих нередко корректируются практическими соображениями.

2. Русский тип деревянной щитовой плотины со съемными стойками.

Описание конструкции

Общая схема плотин. Общая схема этого рода деревянных плотин та же, что плотин с постоянными опорными частями затворов, описанных раньше, с той лишь разницей, что промежуточные опоры стоечного типа могут быть совершенно убраны, равно как и затвора. Этого типа плотины устраиваются в следующих случаях:

1. Если в пролетах плотины по весенней воде имеется судоходство.

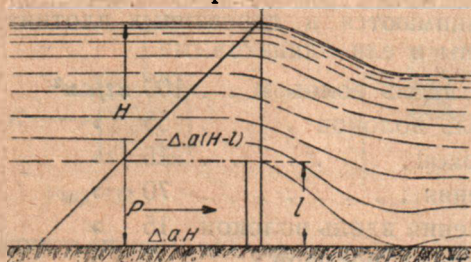


Рис. 135.

2. Если условия ледохода таковы, что оставление стоек на месте грозит повреждением их.

3. Если до подъема подпора весной через плотины производится сплав лесных материалов.

4. Наконец если весенние воды затопляют плотину.

В общем устройство плотин со съемными стойками мало разнится от описанного. В дальнейшем изложении будем останавливаться лишь на отличных от этого последнего типа устройствах и конструкциях.

Флютбет. Флютбетты могут быть устроены в зависимости от подпоров и высоты короля совершенно по типам, описанным выше. Для упора нижних концов съемных стоек к королю прибивается порог a (рис. 136 и 137). Порог прибивается к королю завершенными болтами через 45—65 см один от другого и упирается кроме того или в вы-

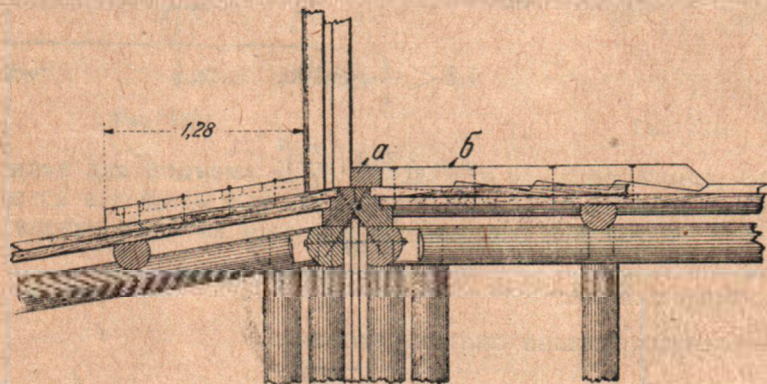


Рис. 136.

ступающие торцы упорных брусьев или же в упоры b , прикрепленные к упорным брусьям a . В первом случае размеры поперечного сечения упорных брусьев таковы, что верхние по течению торцы их несколько выступают над верхней поверхностью короля. Для удобства установки на место стоек перед порогом плотины по полу понура устраиваются так называемые направляющие треугольники A , как это изображено на рис. 136 и 137. Треугольники состоят из брусчатой рамы высотой, равной высоте порога. Рама прибивается к понурному полу и королю

корабельными гвоздями. В брусках рамы с внутренней стороны вынимаются четверти (рис. 138). К четвертям прибивается досчатая обшивка в один ряд досок толщиной 4—5 см. Швы между досками проконопачиваются и заливаются пиком. Промежуток между обшивкой и понурным полом в направляющих треугольниках загружается смесью глины с чурой. У устоев и коренных быков направляющие треугольники принимают вид *В*, изображенный на рис. 137.

Порог кладется на короли с прокладкой смоленого войлока.

Стойки. В зависимости от подпора промежуточные стойки делаются из одного бруса или двух, с выемкой в брусках пазов для

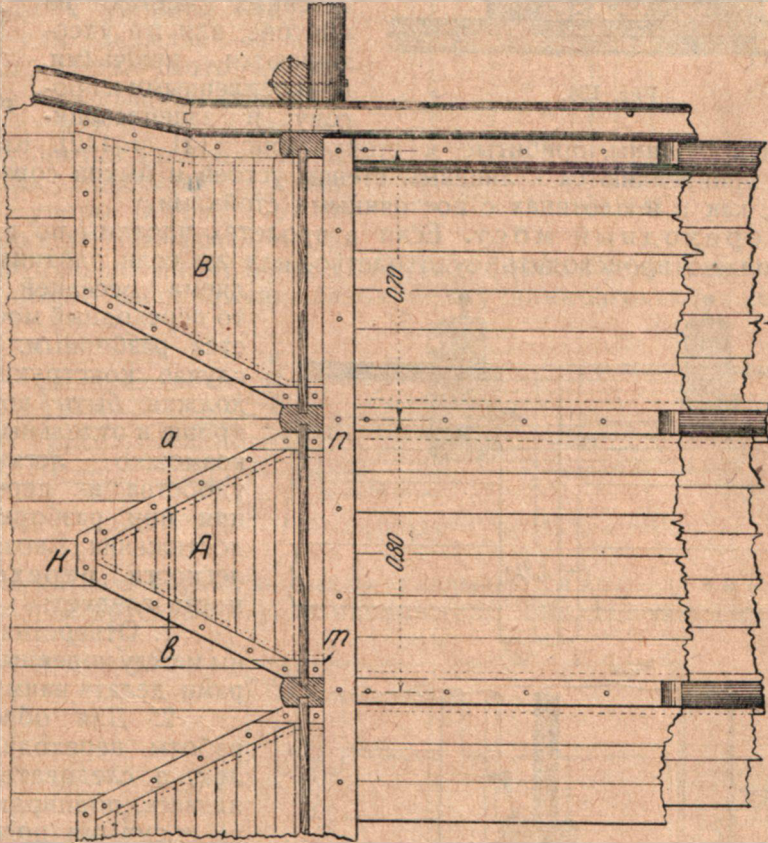


Рис. 137.

закладки щитов. Для наибольшего использования материала и получения стоек меньшего веса бревна для стоек обрабатываются с обшивками (рис. 139). Нижним концом стойки входят в промежутки между смежными направляющими треугольниками и упираются в порог плотины, а верхним концом упираются в прогон переходного моста (рис. 140). Стойки опускаются на место и вытаскиваются с переходного моста при помощи передвижных ворот описанных ранее конструкций. Для привязывания к стойкам снастей при маневрировании ими служат крючья, ввинчиваемые по концам стойки (рис. 140). Если при сборке плотины на пороге имеется глубина, не позволяющая

пройти по порогу, то для направления нижнего конца стойки за нижний крюк её зацепляют железное кольцо, привязанное на веревку, которое легко высвобождается с крюка, когда стойка займет нужное положение. Верхние концы стоек до опускания нижних рядов щитов временно слегка прибиваются или привязываются в нужном положении к прогону. После погружения нижнего одного или двух рядов щитов стойки держатся в должном положении напором воды. Иногда укрепляются верхние концы стоек съёмными болтами к

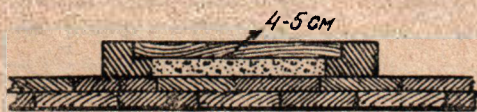


Рис. 138.

отрезкам угольников, укрепленным в соответственных местах на прогоне, или же удерживаются крючьями, прикрепленными к прогону и зацепляющимися



Рис. 139.

за проушины, прибитые к стойке (рис. 141 и 142). Коренные стойки прикрепляются к лицевым стенам устоев и быков совершенно так же, как и в плотинах с постоянными стойками.

Переходный мост. Если в пролетах плотины по весенней воде должно происходить судоходство, или же если плотина затопляется весенней водой, то переходный мост делается разборным. В этом случае конструкция его должна быть возможно проще и отдельные части возможно легки для удобства их передвижения при разборке. Для достижения возможной легкости переходного моста следует:

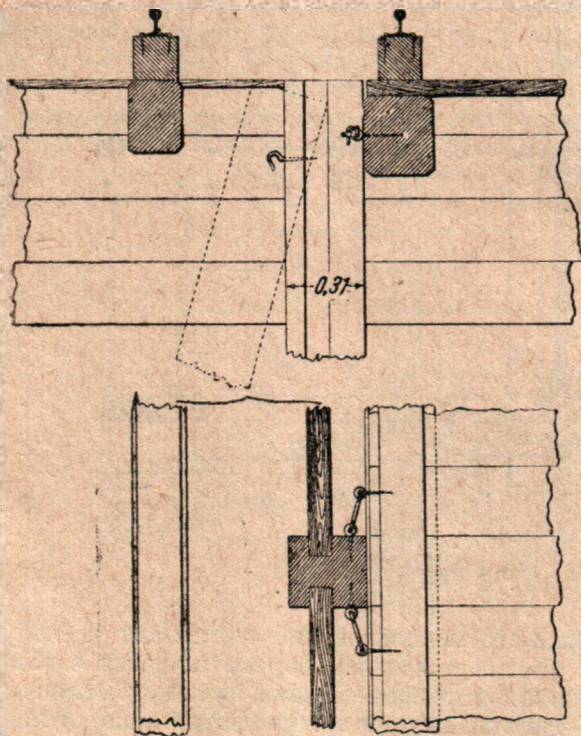


Рис. 140 и 141.

1. Отверстия плотины между коренными опорами делать наименьшие.

2. Для облегчения работы переходных балок, а следовательно и их веса, подпирать стойки съёмными подкосами, если это не представит затруднений по глубине воды при сборке плотины.

3. Предназначать переходный мост исключительно для пешеходов.

Как пример устройства плотины со съёмными стойками и разборным переходным мостом можно указать на нижнюю плотину р. Тихвинки на Тихвинской водной системе (так называемая «Херсонская» плотина в 12 км ниже г. Тихвина). На рис. 143—146 изображено устройство разборного переходного моста этой

плотины со съёмными стойками и разборным переходным мостом можно указать на нижнюю плотину р. Тихвинки на Тихвинской водной системе (так называемая «Херсонская» плотина в 12 км ниже г. Тихвина). На рис. 143—146 изображено устройство разборного переходного моста этой

плотины. Плотина имеет четыре пролета в 7,45 м каждый между двумя устоями и тремя быками.

Переходный мост шириною в 2,13 м состоит из двух прогонов *A* и *B* с поперечным настилом из досок толщиной 7,6 см (рис. 143—144). Впереди моста имеется свободный прогон (холостая балка *C*) с прибитым к нему бруском с угольником для катания колес барана (катучего ворота). К балке *B* прибит такой же брусок и к балке *A*—тоже брусок. Этот последний брусок вместе с бруском, прибитым к упорной балке *B*, служит для удержания на месте досчатого настила, который гвоздями не прибивается. Для передачи давления от стоек на оба прогона против мест расположения стоек вкладываются между балками упоры *D* (рис. 145). Все три балки укладываются в особые вырубki, сделанные в лицевых стенах быков и устоев. Для сохранения взаимного расположения балок между ними загоняются колодки *a*

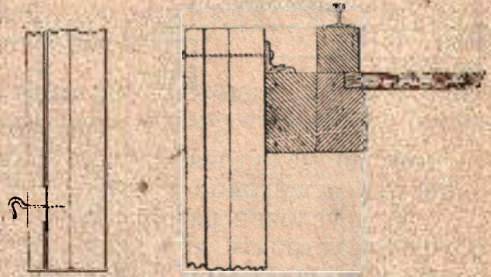


Рис. 142.

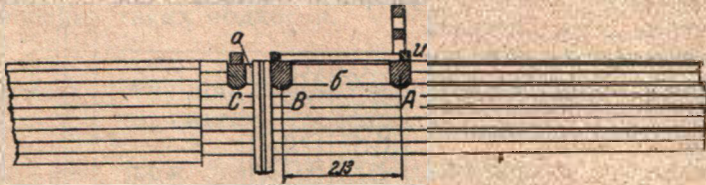


Рис. 143.

a и *b*. Для катания барана по быкам укладываются колодки *в* и *г* с прибитыми к ним брусками с угольниками (рис. 146). По укладке балок и

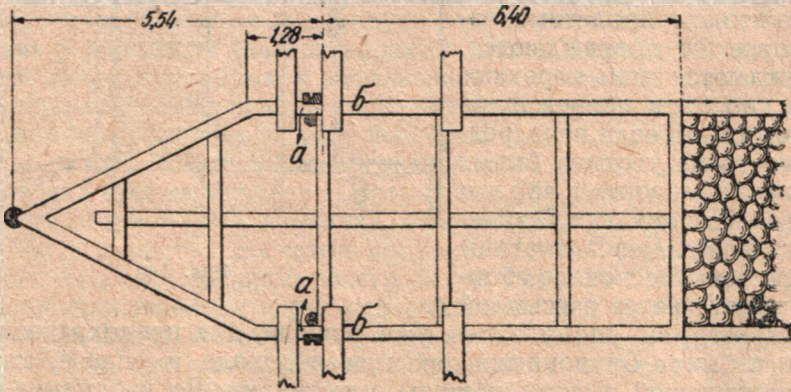


Рис. 144.

колодок прилегающие к торцам балок части устоев и быков затрамбовываются землей. По балкам укладывается без гвоздей настил. По настилу с нижней стороны прикрепляется шурупами разборный паразит из брусьев только в пределах отверстий плотины. Осенью при

разборке плотины (плотина предназначена лишь для судоходных целей) весь переходный мост разбирается и складывается на устоях плотины. По спаде высокой воды весной мост восстанавливается, и плотина собирается.

В межень в сухие годы подпор в плотине достигает 3,83 м, при чем флютбет и сливной пол обнажаются. Стойки плотины подпираются тогда временными подкосами.



Рис. 145.

Если в разборке переходного моста надобности нет, то он устраивается так же, как и в плотинах с постоянными стойками, с тою лишь разницей, что прогоны перекрывают весь пролет отверстия плотины,

не имея промежуточных опор. Такие мосты могут служить, конечно, лишь для пешеходов и служебных надобностей.

Если условия расположения плотины таковы, что через нее необходимо устроить проезжий мост тяжелого типа, напр. городской, то мост устраивается независимо от опорных частей для верхних концов стоек. Пример такой плотины имеется в г. Череповце на р. Ягорбе (приток р. Шексны). На быках и устоях плотины устроен мост под обыкновенную дорогу с фермами Гау. На выступах в быках и устоях, расположенных ниже проезжего моста, устроен служебный мостик, который служит и упорным мостом для верхних концов съемных стоек. Этот упорный мостик в каждом пролете состоит из нескольких брусев-прогонов, образующих сплошной брусчатый помост.

Плотины со съемными стойками требуют большего времени для разборки и сборки по сравнению с плотинами, имеющими постоянные стойки, зато имеют то преимущество, что ледоходом пролетные части вовсе не повреждаются. Повреждаются лишь коренные стойки, но и эти повреждения незначительны, если непосредственно выше усовика быков располагать ледорезы, как это устроено на плотинах Тихвинской системы. Через плотины этой системы весной до сборки их пропускается рассыпной сплав дров.

Как упоминалось уже раньше, для предохранения стен устоев и быков от повреждений при ледоходе и сплаве, стены до соответствующей высоты обшиты пластинами. Во избежание серьезных повреждений плотин возможно допустить через них лишь сплав дров; сплав бревен ни в коем случае допущен быть не может.

Для горных рек с обильными и неожиданными паводками плотины описанного в настоящей и предыдущей главах устройства неприменимы за невозможностью быстрой разборки плотины.

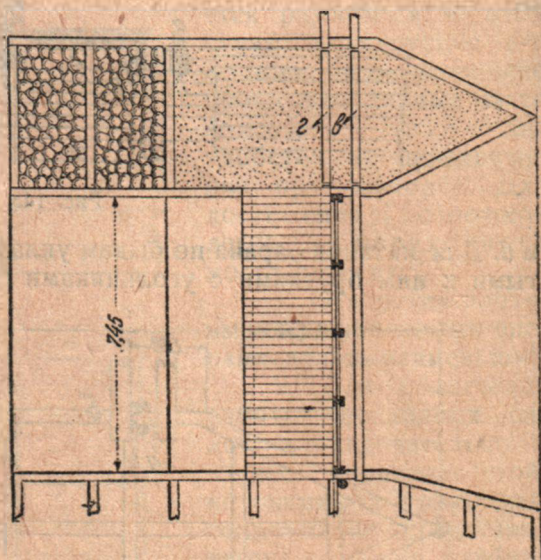


Рис. 146.

Расчеты

В отношении расчетов прочных размеров частей деревянных плотин со съёмными стойками следует руководствоваться изложенным выше.

Случай, когда съёмная стойка подпирается съёмным подкосом (рис. 147)

При расчете размеров стойки необходимо принимать ослабленное сечение стойки *A* в месте врубки подкоса. Кроме того, имея в виду, что, по условиям постановки подкоса в воде, невозможно достигнуть достаточной тщательности в сопряжениях, следует подкос располагать ниже центра давления. Подкос делается без шипов и загоняется в вырубку в стойке и упорном бруссе или упоре сбоку. Обычно он ставится в собранной плотине при понижении нижнего горизонта в межень или же при закладке нижних рядов щитов, если позволяет это сделать глубина на водобойном полу. Вообще же лучше избегать проектирования таких подкосов.

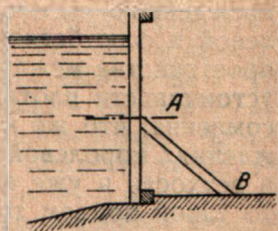


Рис. 147.

3. Описание конструкции Васняковской плотины на Вюртембергской системе (съёмные стойки)¹

Плотина при шлюзе 4² у д. Васняково построена на смешанном (свайном и ряжевом) основании по типу деревянных плотин Мариинской системы с незначительными отступлениями. После устройства котлована и удаления слабого грунта под строящуюся плотину были забиты четыре поперечные шпунтовые линии в расстоянии 6,4 м друг от друга. Первые две (по течению) линии образованы из шпунтовых брусев, остальные две—шпунтовые досчатые. Первые две линии, понурная и королевая (под затворами плотины), вместе с понурным полом (пол впереди затворов) и заполнением земляным материалом, образуют непроницаемый для воды ящик, который, находясь впереди плоскости затворов, принимает на себя непосредственно напор воды от разности горизонтов. В виду этого обстоятельства первые две линии и сделаны из шпунтовых брусев. Отступления от этого правила, допущенные в некоторых плотинах, обыкновенно давали плохие результаты. Так устройство досчатой понурной линии очень часто влечет за собою преждевременное расстройство королевой линии, происходящее от просачивания через нее воды вместе с землястыми частицами; образование же королевой линии из досок совершенно недопустимо, так как нет никакой возможности всецело полагаться на непроницаемость понурных линий и пола³.

¹ Описание заимствовано из отчета строителя системы—инж. И. В. Петрашев.

² См. рис. 148, 149, 150, 151, 152 и 153.

³ Случалось видеть деревянные плотины с одной понурной линией (при чем факхаум покоился на двух рядах круглых свай). В этом случае напор воды воспринимался только понурным полом, от состояния которого и зависела всецело сохранность плотины. Срок службы таких плотин был весьма короткий.

Третья линия—флютбетная, имеющая назначением сохранить загрузку королевой части плотины—сделана, как полагается, досчатой. Относительно этой линии существует у некоторых строителей мнение, будто она не только не необходима, но даже вредна, так как способствует подъему водобойного пола (ниже затворов) водою, просачивающуюся под напором через поврежденные части королевой линии. При разработке плотин с двумя шпунтовыми линиями всегда придется констатировать вымыв загрузки под флютбетными полами (водобойными) почти полностью, тогда как в разбираемых плотинах с тремя линиями (понуры, королевой и флютбетной) эти вымывы значительно меньше и обнаруживаются преимущественно непосредственно за поврежденную часть королевой линии. Так как загрузка между королевой и флютбетной линиями препятствует выносу частиц грунта из пространства между передними линиями и вместе с тем содействует устойчивости плотины, то польза флютбетной шпунтовой линии несомненна; что же касается подъема водобойных полов при повреждениях королевой линии, т. е. только тогда, когда плотина приходит в ветхость и уже отказывается служить без капитального ее ремонта, то такой подъем только желателен, так как он является наглядным указанием на повреждение королевой линии и на необходимость немедленного ремонта.

Четвертая линия—в конце сливной части—сделана досчатой. Эта линия предназначается для удержания и сохранения загрузки слива, даже и в случае вымыва грунта непосредственно ниже этой линии. Эта линия в деревянных плотинах часто отсутствует и заменяется частоколом (рядом круглых свай, забитых с просветами не более диаметра свай) и положением за сливом фашинного тюфяка с каменной загрузкой. Так как постройку и ремонт плотин приходится делать зимою, то замена тюфяка и частоккола досчатой шпунтовой линией является весьма целесообразной. В этом случае за шпунтовой стенкой укладывается лишь булыжная призма высотой от 0,4 до 0,65 м и длиною не свыше 6 м, в зависимости от качества грунта, на котором плотина возводится¹.

Передняя понурная линия представляет собою прямую непрерывную линию брусчатых свай; крайние части этой линии подходят под крылья плотины (устоев), средняя же часть ограничивает понур. От этой линии в сторону от верхнего бьефа сделана глиняная отсыпь с укладкою поверх ее слоя булыжного камня.

Королевая линия, тоже брусчатая и прямая, проходит без перерыва под стенами (шпунтовыми простенками) устоев и бычков.

Флютбетная линия забита только на протяжении флютбета и под устои не подходит.

Над лицевыми стенами устоев и бычков забиты досчатые шпунтовые стенки, сопряженные с вышеописанными поперечными линиями при помощи фигурных свай. Существует мнение, что продольные шпунтовые стенки вредны, так как способствуют фильтрации в основании плотины. На деле они все-таки необходимы для ограждения загрузки в стенах бычков и устоев от боковых подмывов. Как бы тщательно ни утрамбовывалась земля под полами плотины, все же она дает осадку, почему под полами образуются пустоты, в которые

¹ При заложении плотины в песчаных грунтах фашинные тюфяки-необходимы.

(в лучшем случае через пол) проникает вода и образует некоторое течение. Это течение в пустотах под полами, в случае отсутствия продольных стоек, вымывает загрузку в стенах устоев и бычков, образуя в ней пещеры, отчего загрузка непрерывно проваливается. Без продольных шпунтовых стенок можно было бы обходиться только в тех случаях, когда ряжевое основание опущено настолько глубоко, что пустоты под полами от осадки загрузки и вымылов не смогут опуститься ниже нижнего венца ряжей, при чем лицевые стенки этих ряжей в таком случае должны быть рублены в паз с проконопаткою швов хотя бы мхом. Все построенные до сего времени плотины без продольных шпунтовых стенок давали на Мариинской системе результаты неудовлетворительные, а потому осторожнее от стенок не отказываться.

Брусчатые шпунтовые сваи вытесывались из 30-см леса и давали толщину сваи не менее 15 см. Толщина гребня делалась равной $\frac{1}{3}$ толщины сваи, то есть 5 см. Углубление паза делалось равным 5 см, а высота гребня чуть больше (54 мм) для достижения большей водонепроницаемости. Гребням и пазам была придана четырехугольная форма в видах большей простоты исполнения таких свай и недоказанности преимущества гребней и пазов встречающейся иногда трапециoidalной формы.

Из 30-см леса на погонный метр стенки выделялось 9—9 $\frac{1}{2}$ свай, а из бревен толщиной в 28,5 см—на одну сваю больше. Для выделки брусчатых стенок можно допустить и 26,7-см лес (5—6 свай на погонный метр), но надо иметь в виду, что шпунтовая стенка определенной длины будет тем плотнее, чем меньше на нее употреблено отдельных свай при всех прочих равных условиях.

Для устройства досчатых шпунтовых стенок употреблялись доски в 10 см. Шпунтование досок производилось на станках, чем, кроме значительной экономии, достигалась чистота работы. Гребень и паз доски получали вид прямоугольного треугольника с углублением паза против краев доски в 5 см. При ширине досок в 20 см на погонный метр стенки шло не менее 6—7 досок, что объясняется не вполне правильной их формой.

Забивка шпунтовых стенок производилась на глубину не менее 2,13 м, при чем наблюдалось, чтобы достижение предела забивки не шло в ущерб плотности ряда. Если в каком-либо месте сваи шли очень туго и наблюдалась тенденция их отклониться от вертикали, то забивка прекращалась. Случаев прекращения забивки на глубину менее 1,7 м однако не было. Забивка производилась паровыми копрами Арциша с бабою весом в 1230 кг. Забивались одновременно 2—3 сваи, сплоченные вместе под одним бугелем. Забивка велась стенкою, с последовательным осаживанием свай, т. е. набиралась сначала шпунтовая стенка, забитая на глубину от 64 до 110 см, а затем копер раза 2—3 передвигался из конца в конец стенки, забивая всю стенку на глубину 1—1 $\frac{1}{2}$ —2 м и т. д. Забивка производилась между двумя равными насадками, обтесанными с двух сторон, со стороны шпунтов и сверху. На рамные насадки для королевой линии шел 30-см лес, прочие насадки вытесывались из бревен толщиной 26,7 см. Рамные насадки надевались на шипы круглых свай (толщиною в 22,2 см), забитых в шахматном порядке, в количестве 1—1 $\frac{1}{2}$ ¹

¹ Королевая линия.

сваи на погонный метр стенки. Шипы свай расклинивались, а кроме того насадки соединялись со сваями помощью наклонно забитых скоб (чтобы не попасть в ослабленную гнездом часть насадки). Рамные насадки в пересечениях врубались в пол-дерева и связывались болтами.

Под плотиною забиты круглые сваи.

Круглые сваи под стенками быков и устоев имеют назначение передавать давление стен на плотный материк и вместе с тем служат средством соединения с ним всего сооружения. Круглые сваи под полами, кроме указанного, удерживают деревянные части плотины от поднятия их напором воды и всплывания.

Распределение свай под плотиною может быть точно рассчитано. Для напоров, заключающихся в пределах напоров плотин Маринской системы, распределение свай установлено из практики и заключается в следующем: кроме круглых свай под рамные насадки, о которых уже говорилось, такие сваи забиваются под устоями и бычками — под каждым пересечением ряжевых стен и в пролетах — параллельными шпунтовым линиям рядами, при чем расстояние между рядами делается равным 2 м, а расстояние между сваями в ряду — 1,5—2,0 м. Такое распределение свай соблюдено и на Васняковской плотине.

Глубина забивки круглых свай определялась по получаемым последними отказам (по формуле Вейсбаха) и по приходящимся на сваи нагрузкам. При этом гидравлические нагрузки брались для случая полной фильтрации под полами плотины.

Под устоями, бычками и под понурным полом, где нагрузка на сваю имеет направление сверху вниз, сваи забивались комлями вверх; под водобойными же и сливными полами, где нагрузка значительной величины может получать направление снизу вверх, сваи забивались комлями вниз. Независимо от этого сваи были заершены, при чем глубина зарубок делалась равной 5—7 см. Наименьшая глубина забивки круглых свай равнялась 2 м.

На поперечные ряды круглых свай основания положены насадки (из 26,7-см леса) гнездами на шипы свай. Размеры шипов таковы: длина ($\frac{2}{5}$ диаметра свай) — 3 см, ширина ($\frac{1}{3}$ диаметра насадки) — 9 см¹. Гнездо насадки внизу и с боков плотно прилегает к шипу, вверху гнездо длиннее шипа на 1 см с каждой стороны. По положению насадок в шипы забито по два клина, коими гнезда заполнены вплотную, и таким образом образованы „лапы“, препятствующие снятию насадок со свай усилиями, направленными снизу вверх. Клинья забиты в шипы не ближе 22 мм от краев. Кроме закрепления помощью лап насадки соединены со сваями ершенными скобами, забитыми наклонно (чтобы скоба не проникала в гнездо насадки), по две скобы на каждую сваю (с одной и с другой сторон насадки) с наклоном в разные стороны. Длина скобы — 31 см, длина ершенных загибов — 16 см. На скобы взято круглое железо — 2,5 и 2 см, а также сечения 2,5 · 1,6 см.

Так как по местным условиям дно котлована было опущено на отметку 104,33 м, а фахбаум плотины должен был получить отметку 106,26 м, то фахбаум и полы плотины пришлось основать на ряжах. Шпунтовые стенки, в силу указанного, были забиты не вровень с рамными насадками. Верх стенок срезан: понурной линии на высоте

¹ Так же кладутся и рамные насадки.

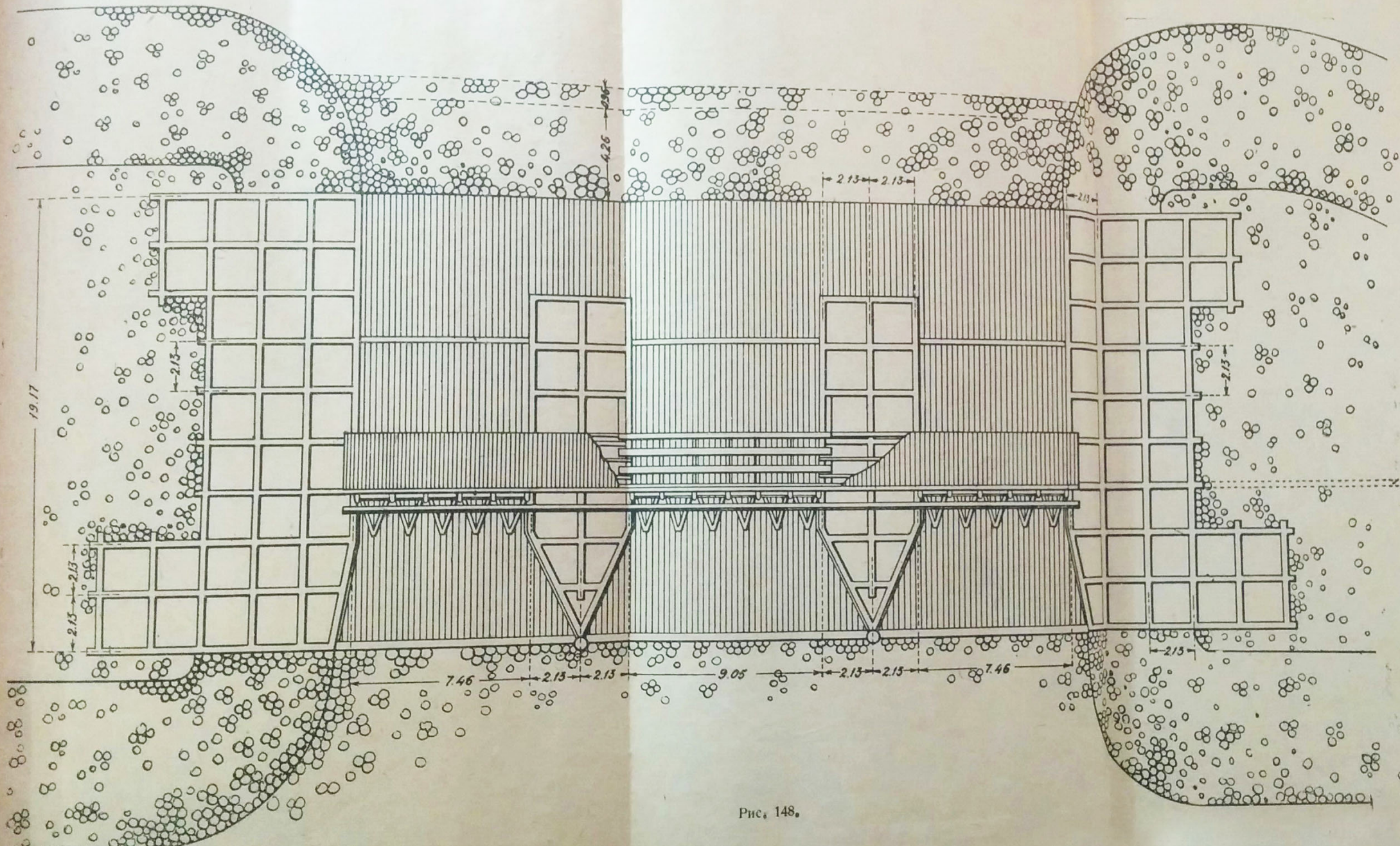


Рис. 148.

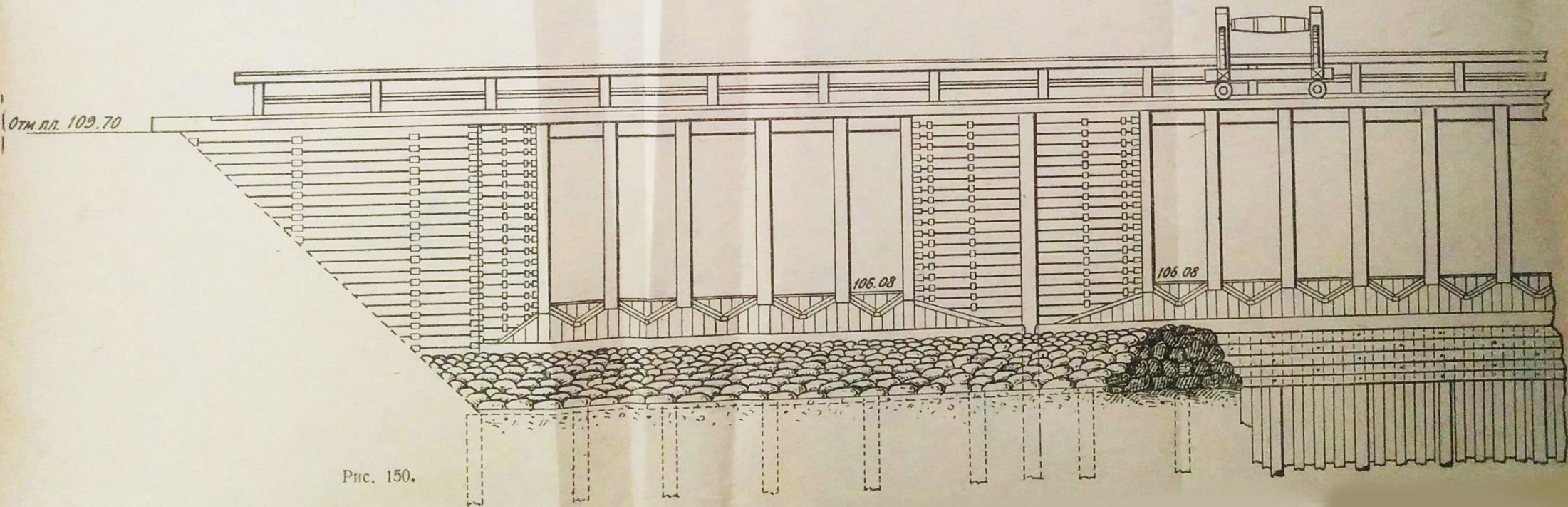
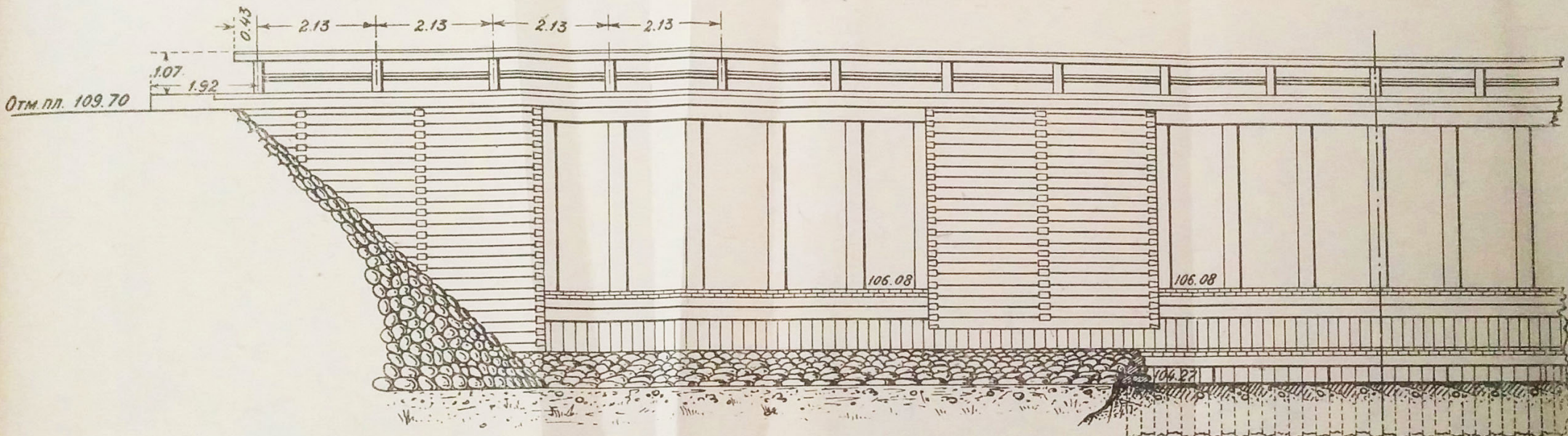


Рис. 150.

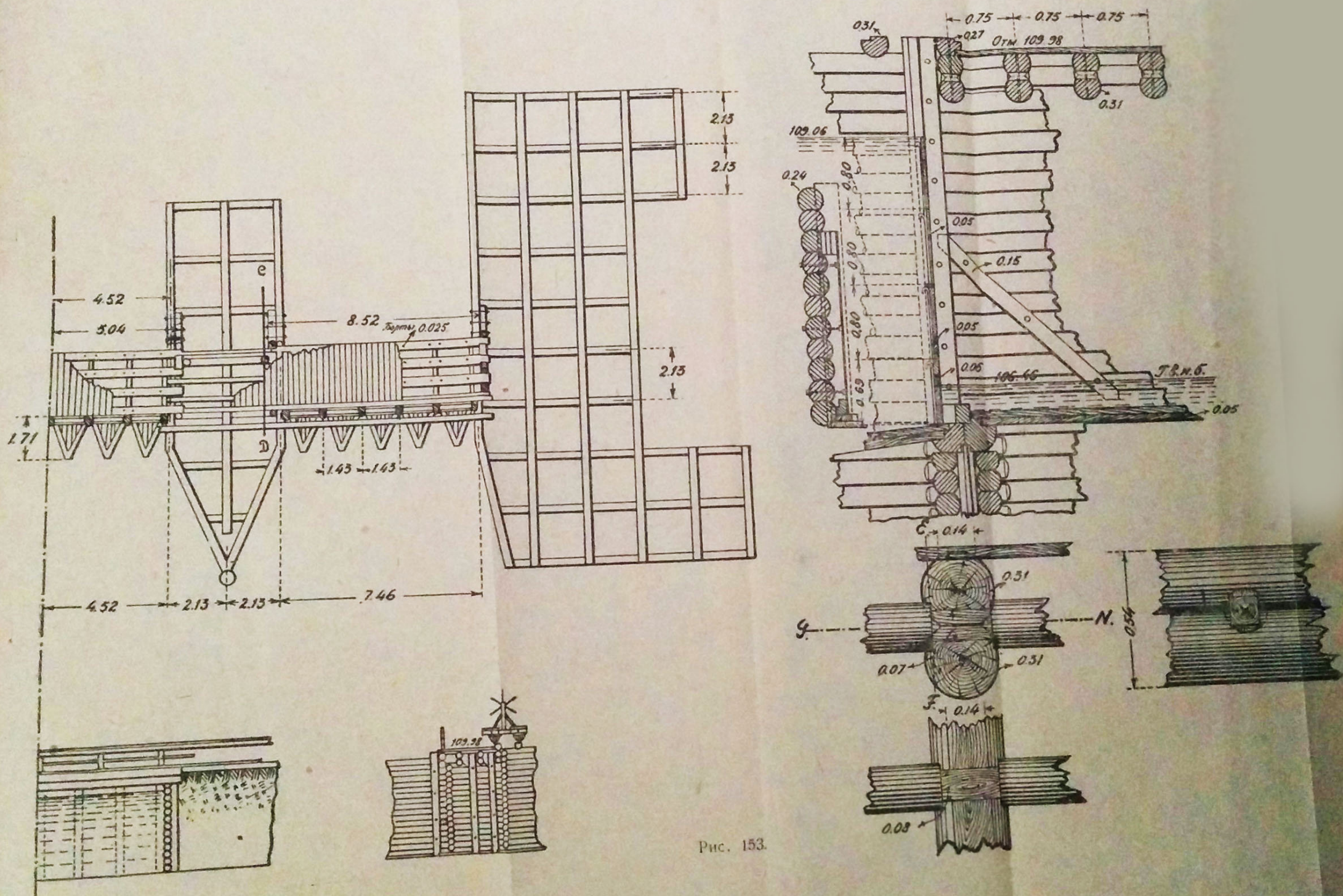


Рис. 153.

105,4, королевой—106,04 и флютбетной (и сливной)—на высоте 105,08 м. Затем пространство между дном котлована (насадками) и полами плотины было заполнено ряжами, при чем стенки, обхватывающие шпунтовые линии, рубились как лицевые стенки с притескою постелей и с обтескою сторон, прилегающих к стенкам.

На гребень, сделанный на королевой стенке и выпущенный поверх ряжей, положен фахбаум из двух брусьев, сплоченных между собою вставными шипами через 1 м, связанных в горизонтальном направлении винтовыми болтами, толщиной в 2,5 см, тоже через каждый 1 м, в перевязку с шипами. Под гребень шпунтовой линии в фахбауме вынут паз размерами 4—6 см. Фахбаум положен на гребень шпунта (и стенки) на смоленом войлоке. Ширина фахбаума—60 см, высота—30 см. К ряжевым стенкам фахбаум прибит ершенными болтами толщиной 3 см и длиной 90 см, с таким расчетом, чтобы конец болта проникал в три верхних венца. Болты забиты наклонно для лучшего сопряжения. Под головки болтов положены подшляпники четырехугольной формы из котельного железа толщиной в 3 мм. Головки болтов за лицевую грань фахбаума не выступают.

Понурной части плотины (между понурной и королевой линиями) придана длина в 6,4 м, так как делать понур короче 6,4—5,33 м при напорах, превышающих 2 м, не рекомендуется. Загрузка понура произведена глинистым талым грунтом¹ с тщательной утрамбовкой. Так как понурная часть Васняковской плотины в зимнее время обсыхать не будет (что бывает в повышенных пролетах плотин, подводные части коих представляют собою русла различной глубины), то прибавление к глинистому грунту гальки сочтено излишним, так как промерзание и пучение грунта под полами не должно иметь места. Уклон понурного пола сделан в 0,1.

Для настилки полов в промежутках между ряжами проложены подможные брусья с тем, чтобы, уменьшив пролет на половину, сделать пол более прочным против прогиба от водяной нагрузки. Пол наслан из двух рядов досок, толщиной в 63 см, в закрой, с проконопаткою каждого ряда и прокладкою между ними войлока по смоленому нижнему полу. В виду того, что понурный пол всегда будет находиться под водою, на образование пола взяты доски еловые, как более дешевые и хорошо сохраняющиеся в воде, притом полусухие, во избежание выпучивания проконопаченного пола при намокании досок.

Сопряжение понурного пола с понурной линией произведено следующим образом: в рамной насадке (в верхнем венце прилегающей к понурной линии ряжевой стенке) вынута четверть для нижнего ряда досок, а верхний ряд пропущен до шпунтовой линии и прижат круглым шапочным брусом. Длина четверти сделана в 1,5 толщины доски (10 см) для того, чтобы гвозди, коими прибивается нижний ряд досок к насадке (по два 15-см гвоздя на доску), не приходились слишком близко к концам досок.

Сопряжение понурного пола с фахбаумом произведено путем врезки обоих рядов досок в фахбаум помощью четвертей, при глубине каждой четверти по 6,3 см (при чем верхний ряд досок перекрывает нижний на 6,3 см).

¹ Постройка произведена зимою.

Посредине ширины фахбаума врезан на $\frac{1}{3}$ упорный (для съемных стоек) брус размерами 18·18 см. С верхней стороны на понурный пол уложены треугольники, одной стороной прилегающие к упорному брусу и образующие другими сторонами направляющие локти для установки съемных стоек. Упорный брус прибит к фахбауму ершенными болтами (38 см). Треугольники, прилегающие к упорному брусу, прибиты к понурному полу 25-см гвоздями.

Устройство „направляющих локтей“ у плотин, располагаемых в реках, содействует заносу упорного бруса мелкими камнями, которые, набиваясь к этому брусу, препятствуют постановке стоек. Расположение Васняковской плотины относительно вновь образованного ею озера дало возможность не опасаться таких заносов.

При сопряжении полов со стенками оба ряда досок причерчивались к стене, и вдоль стены прибивались к полу плинтусы размерами 15·15 см, обвернутые смоленным войлоком, при чем для плинтусов в стене выбирались небольшие рейки.

Флютбетная часть, между королевой и флютбетной линиями, имеющая назначением сопротивляться удару воды, переливающейся через щиты плотины, и служить упорною массою против горизонтального сдвижения всей плотины под действием напора, служит, так сказать, вторым препятствием переходу воды из верхнего бьефа в нижний.

Сопряжение флютбетных полов с королевой линией сделано так: для нижнего ряда досок пола в фахбауме вынута четверть длиной в 1,5 толщины доски, а верхний ряд наложен на фахбаум и подведен вплотную к упорному брусу. Паз между упорным брусом и торцами досок тщательно проконопачен. Верхний ряд досок пола, упираясь своими торцами в среднюю треть упорного бруса, сообщает последнему большую устойчивость против сдвижения его по течению под давлением нижних концов щитовых стоек. Оба ряда досок пола (63 мм) прибиты к фахбауму 15- и 20-см корабельными гвоздями, по два гвоздя в каждую доску. Сопряжение пола со стенами достигнуто при помощи плинтусов, как и в понурном полу. Прибивка пола к ряжам и подможным брускам произведена тоже корабельным гвоздем (15-см нижний ряд и 20-см верхний ряд), по два гвоздя на каждое пересечение доски с ряжем. Доски положены в закрой, между рядами проложен войлок по смоленому нижнему ряду. Длина флютбетного пола—6,4 м. Загрузка флютбетной части произведена глинистым грунтом с втрамбованием в него гальки для предупреждения выноса загрузки. Дело в том, что всякая загрузка, как бы тщательно она ни была уложена, со временем дает осадку, а потому между полами и загрузкою непременно образуются некоторые пустоты. При всей тщательности устройства королевой линии вода все-таки просачивается через нее, и под флютбетным полом образуется более или менее значительное течение, которое и может размывать и уносить загрузку флютбетной части. Толщина слоя гальки—не более 5 см, так как при большей толщине, после осадки загрузки, часть слоя гальки может оказаться ниже рамных насадок королевой линии, отчего степень фильтрации флютбета усилится. Вообще необходимо путем тщательного трамбования загрузки достигать того, чтобы впоследствии загрузка не обнажала шпунтовой линии; если же в этом нет уверенности, то целесообразно проконопачивать верхнюю часть королевой линии со стороны напора.

Для большей прочности упорного бруса доски флютбетного пола, приходящиеся против гнезд щитовых стоек, заменены продольными брусьями толщиной в 23 см, врезанными в поперечные ряжевые стенки флютбета. Верх этих брусьев приходится в уровень с верхом упорного бруса; наложение этих брусьев на половицы нижнего пола сделано в закрой, т. е. так, чтобы сквозных щелей не было. Флютбетный пол сделан из соснового леса.

Сливная часть (между последними по течению шпунтовыми рядами) служит упорною массою основанию плотины против сдвижения под давлением воды верхнего бьефа, а также для погашения энергии движущейся по флютбету воды. В виду этого сливная часть загружается камнем, а сливной пол делается водонепроницаемым в один ряд досок, пластин или 18-см бревен. Так как нижний подпорный горизонт Васняковской плотины значительным слоем покрывает сливной пол и сделанную за ним каменную рисберму и так как грунт ложа реки в месте расположения плотины глинистый, то явилась возможность ограничить сливную часть 6 м с рисбермой в 4 м. Вследствие этого же обстоятельства сливному полу плотины придан уклон в 0,1 вместо того, чтобы сделать его горизонтальным для ослабления действия струи воды за плотиною. На Мариинской системе между флютбетным и сливным полами делаются уступы, величина коих зависит от возвышения фахбаума и флютбетного пола над естественным дном реки. Первый уступ делается не более 0,4 м высоты, следующие уступы—не более 1 м. Для уменьшения разрушающей силы удара воды о дно реки полы по всем уступам делаются горизонтальными. Последний уступ закладывается возможно ниже, на уровне зимнего горизонта; в противном случае, если это почему-либо невозможно, то дно ниже слива укрепляется фашинными тюфяками с загрузкою камнем. На Васняковской плотине в сливном полу сделан только один уступ высотой 0,5 м. Принимая во внимание глинистый грунт ложа реки и значительную глубину нижнего бьефа, а также то обстоятельство, что в конце сливного пола (на 4,3 м выступающего за бычки плотины) забита шпунтовая стенка, указанные отступления не должны вызвать каких-либо опасений за целость сооружения.

Сопряжение флютбета со сливом устроено таким образом, что нижний ряд досок флютбетного пола запущен в четверть, вынутую в шапке флютбетной линии, верхний же ряд перекрывает всю верхнюю (стесанную) грань шапки. Сливной пол из одного ряда пластин 22 · 11 см положен на ряжи и подможные брусья в притык к третьему венцу на флютбетной линии. Один из подможных брусьев около флютбетной линии поддерживает верхние концы пластин сливного пола, на которые сверху наложен прижимной брус.

Ряжевые стенки устоев и бычков расположены по направлению рядов круглых свай, забитых под устои и бычки.

Лицевые стены (сосновый лес) рублены из 27-см бревен в приплотку, с приданием венцам горизонтальных гладких постелей шириною в 15 см. Для лучшей связи венцы лицевых стен положены друг на друга на вставные шипы, по одному шипу между поперечными стенами. При сростах венцов лицевых стен соблюдалось условие, чтобы в одном ряжевом ящике сросты были не чаще, как через два венца в третий (сращиваемые концы при этом клались на вставные шипы).

Поперечные стены сопряжены с лицевыми стенами посредством врубки в лапу с запотемком. Лапа делается длиной 25 см, высоту 11,5 см и шириною 13 см в тонком конце и до 18 см в широком. Верхняя и нижняя постели лап горизонтальны; в нижних постелях сделаны гнезда для запотемка (высота 38 мм, длина 76 мм, ширина 63 мм), в лицевых ряжах против этих гнезд сделаны выступы таких же, как гнезда, размеров, которые называются „запотемками“. Запотемок обращен кверху, чтобы в гнездах не застаивалась вода и не расстраивала ряжи при замерзании. Выступающие в выкружках лицевых стен острые грани лап срезаны заподлицо с наружной плоскостью стены.

В углах лицевые стены соединены между собою лапами с наклонными друг к другу постелями.

При расположении ряжей наблюдалось, чтобы расстояние между лапами в скошенных частях лицевых стен было не более 2 м и не менее 1 м; если в скошенных частях при встрече лицевой стены с внутренними образовывался малый треугольник, то, во избежание излишнего количества косых лап, с лицевой стеной соединялась лапою только одна внутренняя стена (а именно поперечная). Устройства малых треугольников необходимо избегать, так как их по окончании постройки трудно хорошо очистить от щепы и плотно затрамбовать в них загрузку. Кроме этого при возведении ряжей наблюдалось, чтобы внутренние стены не приходились в углы лицевой стены, так как при этом их нельзя связать с последнею. Внутренняя стена должна входить в лицевую не ближе 65 см от угла, иначе не будет места для прочного соединения как внутренней стены с лицевой, так и лицевых между собою в углу ряжей.

Шпунтовый простенок над королевой линией врублен лапою в лицевую и заднюю стенки; прочие продольные ряжевые стенки шпунтового простенка не пересекают, а лишь входят гребнями (нарубленными на концах венцов) в пазы, вырубленные в простенке в местах встреч. Перерубание шпунтового простенка не должно иметь места, чтобы не открывать путь фильтрации по продольным стенкам ряжей. Кроме этого пересечения шпунтового простенка с внутренними продольными ряжами не следует делать также и потому, что осадка внутренних ряжей не одинакова (больше) с осадкою шпунтового простенка, почему и необходимо как тем, так и другому предоставить независимую друг от друга осадку. Шпунтовый простенок вырублен из бревен толщиной в 31 см. Шпунт верхней постели и паз нижней имеют сечение 5 · 5 см, расстояние между постелями—22 см, почему на простенок высотой 2 м идет 10 венцов.

Внутренние стены вырублены из 22-см леса, при чем те стены или части стен, которые выходят лапой наружу, вырублены из сосновых бревен, а остальные из ели. Внутренние венцы связаны между собою по высоте шпонками, врубленными несколько наклонно. Так как загнать шпонку на всю высоту стены нельзя, то на каждые семь венцов пропущено по одной шпонке, при чем шпонки по высоте заходят одна за другую на один венец, в котором таким образом получаются две шпонки: одна, связывающая его с нижними шестью венцами, и другая—с шестью верхними, находящимися над ним.

Ряжевые бычки построены на огражденном шпунтовым рядом свайном основании (в понурной и флутбетной частях). Шапка ограждающего бычок ряда в понурной части положена на одной высоте

с шпонкой понурной линии, а в флутбетной части—на высоте шапки королевой линии. Ширина бычка—4,27 м. Рубка стен бычка произведена с соблюдением тех же правил, как и при рубке устоев; по направлению королевой линии в бычках, как и в устоях, устроены шпунтовые простенки, которые введены лапами в рубку лицевых стен.

С верхней стороны острые углы бычков защищены усовыми брусьями, прикрепленными к ряжам хомутами, врезанными как в самые брусья, так и в ряжи. Каждый брус прикреплен пятью хомутами.

Бычки, как и устои, оставлены без обшивки досками, каковая обшивка делается в плотинах, через которые пропускаются в большом количестве лесные плоты, равно как и в плотинах, подверженных сильному ледоходу. Если представляется возможность, обшивки ряжевых стен досками следует избегать, так как за обшивкою происходит более интенсивное загнивание лап, нежели при ее отсутствии.

Пролеты между устоями и бычками разделены помощью стоек на небольшие отверстия, соответствующие длине щитов. Стойки около стен устоев и бычков, так называемые коренные, прикреплены к стенам против лап шпунтового простенка.

Для прикрепления коренных стоек в стенах вынуты неглубокие пазы, к которым прислонены стойки, обернутые войлоком. Позади лицевых стен по обе стороны шпунтового простенка (в углы), параллельно коренным стойкам, поставлены брусья, к которым через стены прикреплены коренные стойки при помощи винтовых болтов. Независимо от прикрепления болтами коренные стойки подперты подкосами.

Съемными стойками средний пролет между бычками плотины (9,05 м между осями венцов) разделен на шесть пролетов, а боковые пролеты плотины (7,5 м между осями венцов)—на пять пролетов, при расстоянии между осями стоек в 1,42 м. Съемные стойки сделаны из 35,5-см леса с обтескою бревна на три канта. Задняя сторона стойки стесывается только у нижнего и верхнего упорных брусьев. Для образования пазов (для щитов) на стойку с верхней стороны набита набойка из 31-см бревна такого сечения, что и стойка; оставаясь закругленной с верхней (как и с нижней) стороны, она имеет два паза шириною и глубиною в 75 мм и такое же расстояние от паза до начала верхнего (переднего) закругления. Набойки соединены со стойками помощью винтовых болтов. Заплечики пазов несколько ниже мостика плотины стесываются в виде закругления для более удобного приема щитов.

Верхние концы съемных стоек упираются в переходный (и проезжий, но не общего пользования) мост, который, в виду незатопляемости Васняковской плотины, сделан постоянным. Мост шириною в 2,25 м между осями крайних прогонов состоит из четырех двойных балок, между которыми против мест упора стоек зажаты поперечины с тем, чтобы давление от верхних концов стоек передавалось на все балки, а не только на переднюю. Каждая балка состоит из двух 31-см бревен, притесанных друг к другу и скрепленных винтовыми болтами (25 мм); каждую поперечину в каждой балке зажимают с двух сторон два болта. Поперечины играют, кроме вышеуказанного, также роль шпонок в отношении балок, а потому последние необходимо рассматривать как составные балки, работающие одним (составным) сечением. Против сдвигения моста в сторону нижнего бьефа под давлением стоек устроены упоры, состоящие из вертикальных

брусьев, помещенных в ряжевые ящики у концов балок и передающих боковое давление поперечным ряжевым стенкам. Эти брусья охвачены также винтовыми болтами с брусьями, врезанными в лицевые стены с наружной стороны.

Для подъема щитов устроен горизонтальный ворот с рукоятками для вращения, катающийся по лежням на тележке над линией щитов. Один лежень положен на верховую балку вышеописанного моста, а второй (вытесанный из 31-см бревна) перекинут через пролеты над понурной частью плотины.

Для затвора отверстий между стойками применены досчатые щиты Буле разной толщины, в зависимости от приходящегося на них напора. Доски щитов, соединенные между собою в четверть, сплочены шпонками со стороны напора; щиты снабжены крючьями для их подъема помощью снастей вышеописанного ворота. По верху лицевых стен как бычков, так и устоев положен карнизный брус из доски толщиной 63 мм. Мост с низовой стороны снабжен перилами.

Глава четырнадцатая

Плотины с шандорными затворами

Шандорные затворы применяются при закрытии умеренной длины пролетом при умеренных подпорах или при больших подпорах и малых пролетах; они служат только для закрытия отдельных отверстий плотины.

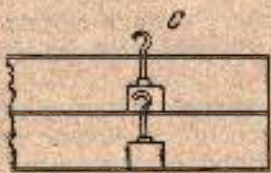


Рис. 154.

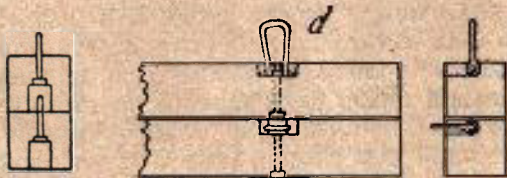


Рис. 155.

Наиболее употребительные шандоры показаны на рис. 154, 155, 156; они состоят из деревянных брусьев, укладываемых горизонтально друг на друга и образующих таким образом затвор.

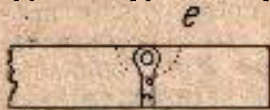


Рис. 156.



Рис. 157.



Рис. 158.

Чаще всего в устоях или быках устраивают пазы или выступы, куда закладываются шандоры (рис. 157, 158).

Шандоры особенно часто применяются как вспомогательные затворы, под защитой коих происходит ремонт частей сооружений, шлюзных ворот, затворов водопроводных галлерей основных затворов плотины, в турбинных камерах и т. п., вследствие чего шандоры устраиваются с обеих сторон ремонтируемой конструкции.

Самый нижний шандор плотно лежит на пороге, фахбауме или массивном флютбете плотины. Устраивать в последних углубления нецелесообразно, так как они заносятся песком, затрудняя укладку и удаление шандор.

Для опускания или вынимания шандор служат крючья или цепи, закрепляемые за крюки, кольца или болты, имеющиеся у концов каждого шандора.

Таковые укрепляются в вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести шандора.

Для крюков устраиваются врубки, так как крюки выступают над поверхностью шандор (рис. 154).

Более целесообразными являются кольца, показанные на рис. 155.

Выступая за поверхность шандорной стенки, они дают себя легко захватить и, поворачиваясь на шарнире, приходят в вертикальное положение.

Рис. 159 изображает механизм системы Дейча для опускания шандоров.

Если в плотине имеется всего лишь одно отверстие, то укладка и удаление шандор обычно не представляют затруднений, так как напор возрастает или понижается постепенно и укладываемый или вынимаемый брус не подвергается большому напору воды.

При таких условиях шандорами можно закрывать отверстия с довольно большими пролетами, применяя подъемники.

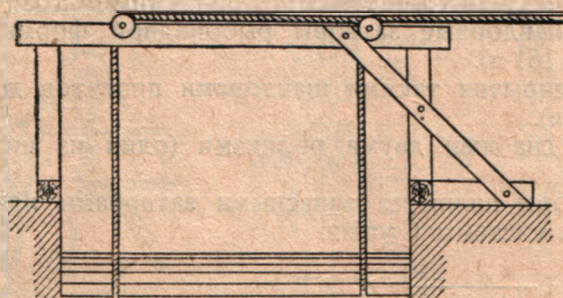


Рис. 160.

ной 4,5 м квадратного сечения 18 · 18 см при подпоре в 2 м.

При поднятии шандора длиной 8 м и сечением 30 · 30 см при подпоре до 2,5 м применяют подъемники с двигателем в 8—10 л.с.

Если в плотине имеется несколько пролетов, перекрытых шандорами, то управление плотиной становится затруднительным, а при внезапных паводках затворы могут быть затоплены.

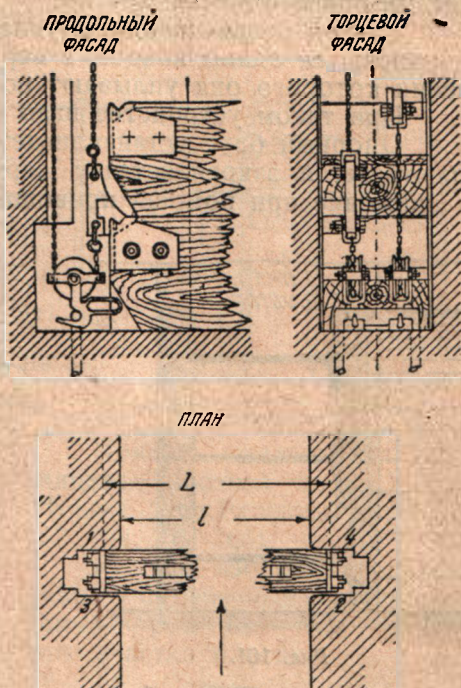


Рис. 159.

При значительной длине шандор подъемник устанавливается на берег, как показано на рис. 160, при чем к шандорам прикрепляются цепи, проходящие по шкивам и наматываемые на барабан подъемника.

При наличии подъемника обычной конструкции два человека могут вынимать шандоры дли-

ной 4,5 м квадратного сечения 18 · 18 см при подпоре в 2 м.

При поднятии шандора длиной 8 м и сечением 30 · 30 см при подпоре до 2,5 м применяют подъемники с двигателем в 8—10 л.с.

Если в плотине имеется несколько пролетов, перекрытых шандорами, то управление плотиной становится затруднительным, а при внезапных паводках затворы могут быть затоплены.

В этом последнем случае на отдельных пролетах прибегают к приспособлениям, позволяющим автоматически удалять все шандоры, лежащие один на другом.

С этой целью шандоры укладываются, как показано на рис.160, и упираются одним концом в вертикальный опорный брус, по устраниении которого они уплывают по течению.

При таком устройстве пазы должны быть расширены.

Опорный брус устанавливается в углублении, продланном во флютбете, и закрепляется у верхнего конца планкой, приводимой в движение при помощи кривошипа и зубчатой передачи.

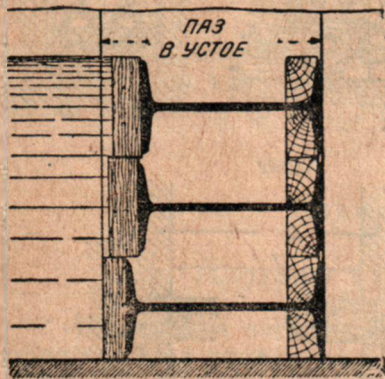


Рис. 161.

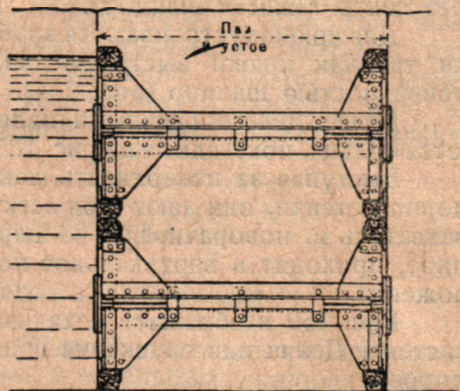


Рис. 161-а.

Как только планка окажется вытянутой, опорный брус выпадает и освобождает шандоры, которые заранее прикрепляются к цепям, так как затем они уносятся по течению.

На горных потоках с крупными насосами, а также при больших пролетах, применяются в качестве шандоров прокатные балки: двутавровые, швеллера и пр. (рис. 161).

В связи с применением больших железных щитов системы Стоinea нашли также применение шандорные затворы рыбовидной формы, склепанные из железа (рис. 161-а).

Имеются примеры перекрытия такими шандорами пролетов до 18 м (установка Аугст Вилен).

Каждый конец затвора снабжен двумя роликами (один из них нерабочий).

В данном случае шандоры являются запасными затворами при основных щитовых затворах системы Стоinea.

Глава пятнадцатая

Плотины со спицевыми затворами

Плотины со спицевыми затворами получили сильное распространение на судоходных реках при съёмных опорах затворов, чаще при фермах Поаре (см. ниже).

Применение спицевых плотин при постоянных опорах затворов может иметь место там, где не требуется применения водонепроницаемого затвора, но где необходим быстрый пропуск паводка.

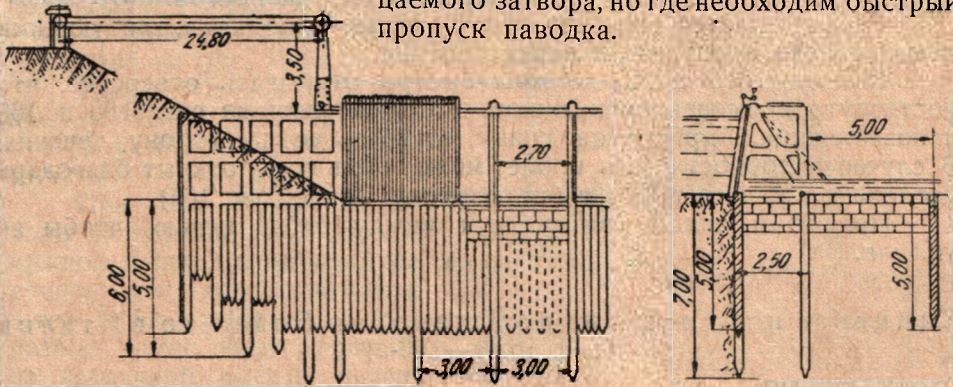


Рис. 162.

Пример — железо-бетонная спицевая плотина на р. Ронко (Италия, близ Равенны) (рис. 162, 163, 164, 165, 166).

Рис. 162 изображает продольный и поперечный разрезы плотины, а рис. 163 — план берегового участка плотины.

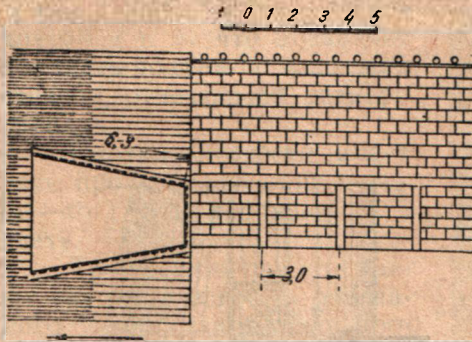


Рис. 163.

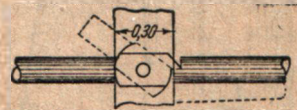


Рис. 164.

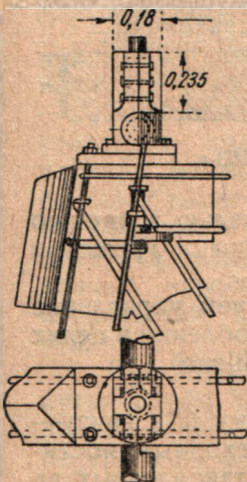


Рис. 165.

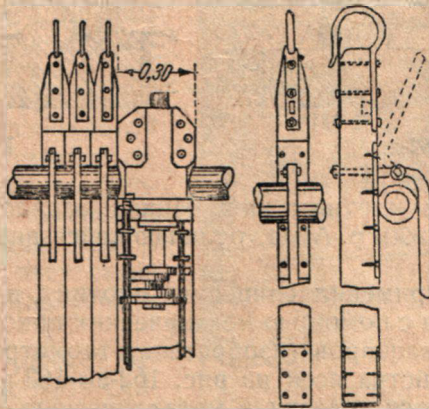


Рис. 166.

Все постоянные части плотины сделаны из железо-бетона.

Полное отверстие плотины равно 50,7 м и разделено 16 опорами толщиной 0,3 м на 17 пролетов шириной в свету 2,7 м.

Ширина опор-фермы равна 2,95 м понизу и 2 м поверху.

Конструкция устоя плотины видна из чертежа.

Между передними стойками фермы забит шпунтовый ряд на глубину 5 м, при чем под стойками сваи имеют глубину 7 м.

Эти длинные сваи расположены таким образом 3 м центр от центра.

Спицы опираются внизу в железо-бетонный прогон.

Река оличается внезапно наступающими паводками, требующими немедленного пропуска их через плотину.

В силу этого спицы должны быстро открывать отверстие, что достигнуто применением крючков, изображенных на рис. 165 и 166 и позволяющих, приподняв спицу, отгибать ее в сторону течения. В случае надобности весь пролет может быть сразу открыт благодаря удалению верхнего прогона (см. плотину Поаре, рис. 164).

При этом спицы связываются между собой цепью, чтобы не уплыли.

Спицевая плотина гидроустановки Боффето в Италии (рис. 162-а—165-а)

Установка Боффето имеет напор 45 м, получаемый на разнице уклонов реки и подводящего канала, имеющего длину 4 км.

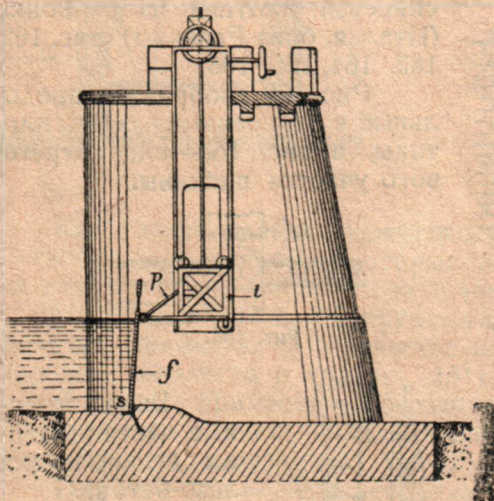


Рис. 162-а.

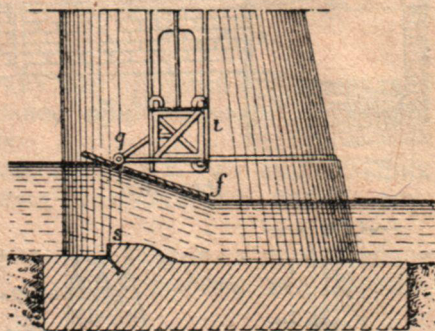


Рис. 163-а.

При постройке плотины инж. Минна задался целью возможно меньше изменить режим р. Адда, отличающейся внезапными грозными паводками.

Инж. Минна применил спицевую плотину, при чем управление спицами не ручное, а с помощью механических приспособлений в целях большей быстроты маневров (изобретение геометра Милано).

Принцип устройства ясен из рис. 162-а—163-а.

Спицы упираются вверху в металлическую ферму *t*, а внизу— в порог *S*. Эта металлическая ферма, снабженная пешеходным мостиком, поднимается вверх с помощью подъемников, установленных на бычках.

Для регулирования горизонта воды верхнего бьефа поступают буквально так же, как в плотинах Поаре.

Но в случае сильных паводков подъемники приподнимают ферму вместе со спицами на высоту 10—12 см, вследствие чего спицы, поднятые над порогом, отгибаются и занимают положение, указанное на рис. 163-а.

Таким образом для открытия всего пролета требуется немного более одной минуты.

При этом спицы разделены на группы по 5 штук в каждой. Спицы одной и той же группы имеют крючок на одной и той же высоте; однако спицы разных групп имеют крючки на различной высоте, вследствие чего при подъеме упорной фермы сначала отгибаются спицы одной группы, затем другой и т. д., что позволяет доводить подъем до желаемой степени, отвечающей размеру паводка.

Плотина Боффето имеет пять пролетов, из коих четыре—по 12,5 м и один—5 м в свету.

Три средних пролета имеют спицевые затворы описанного устройства, прочие пролеты освобождаются, как указано на рис. 164-а.

Все отверстие плотины полностью освобождаются меньше чем в 10 минут.

Надо отметить прочие достоинства полноразборчатой плотины: малая стоимость, небольшая высота подъема фермы, быстрый и удобный способ пропуска плавающих тел и донных наносов, отсутствие препятствий для плавающих тел.

Рис. 165-а изображает вынутые спицы. Недостаток спицевых плотин — значительная потеря воды через щели между спицами, а также обмерзание зимой спицевого заграждения в сплошной щит.

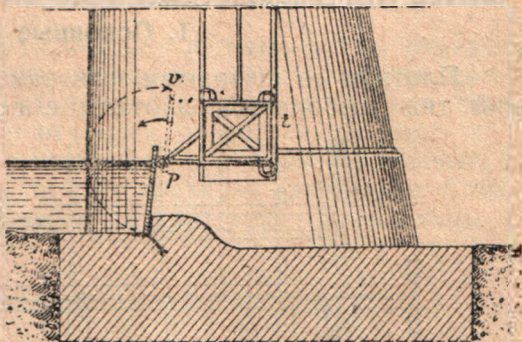


Рис. 164-а.

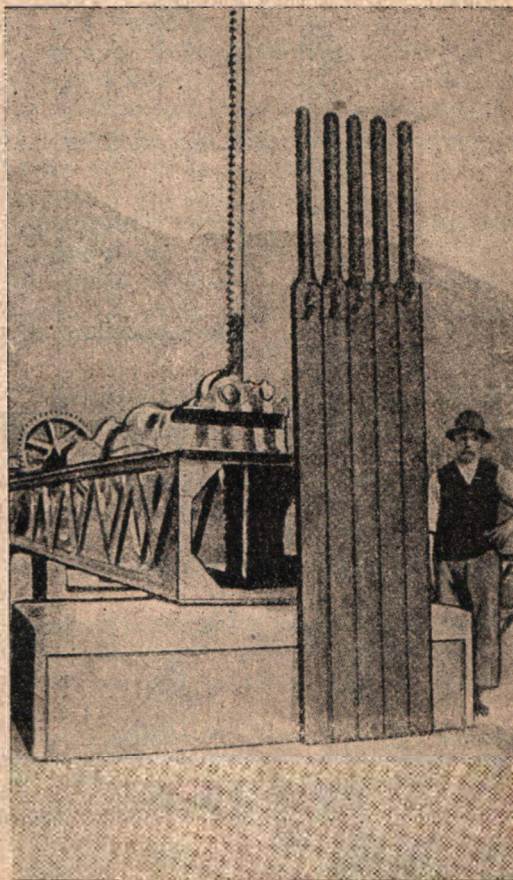


Рис. 165-а.

Глава шестнадцатая

Плотины с металлическими щитовыми затворами

1. Основные данные

Плотины со щитовыми затворами представляют собой простейший тип разборчатой плотины с постоянными опорами затворов,

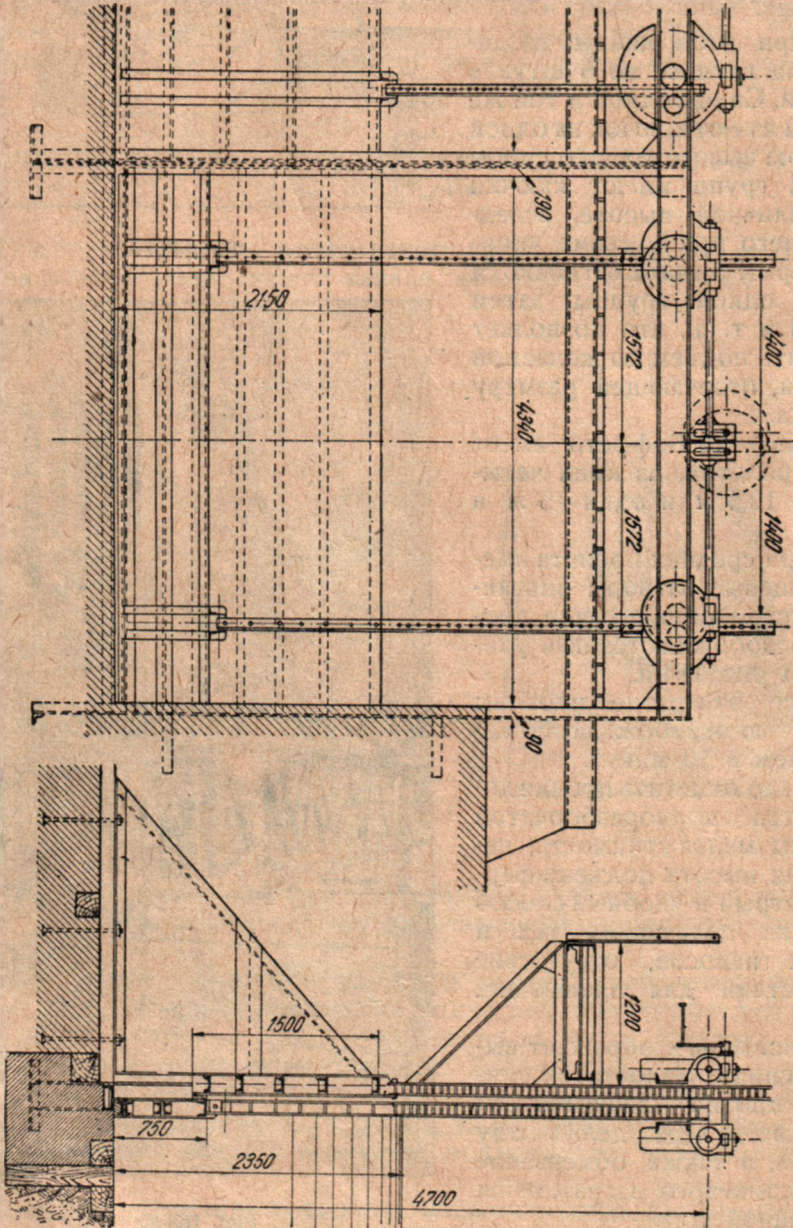


Рис. 167. Сдвоенный щит с ручным подъемом.

неудовлетворительность которого¹ побудила изыскивать новые и новые конструкции разборчатых плотин, позволяющих открывать отверстие плотины быстро и не оставляя над подпорным горизонтом никакой преграды для прохода судов.

Если река не судоходна, то второе обстоятельство отпадает, и остается первое — необходимость своевременного открытия щитов, поднимающихся на высоту, достаточную для прохода самых высоких вод, или удаляемых на берег по открытии отверстия плотины.

Щитовые затворы более водонепроницаемы нежели спицевые, но не могут так быстро открыть пролет плотины, как спицы. Следовательно при внезапно наступающих паводках этот тип плотины не годится и для несудоходных рек.

При паводках, медленно наступающих, щитовая плотина целесообразна при использовании водной силы реки, при отводе воды для орошения угодий.

Щитовые затворы в простейшем виде представляют собой скользящие в пазах опор (бычков) щиты, склоченные из досок, соединенных в четверть и снабженных арматурой, дополнительно скрепляющей доски и образующей ушко для захвата и подъема щита.

В таком виде щиты применяются в деревянных плотинах русского типа. Для облегчения управления щитами и удаления наносов, накопляющихся на пороге плотины, щиты располагают в два яруса.

Тогда нижний щит приподнимается для промывания порога, а верхний — для пропуска плавающих тел и излишней воды.

Имеются примеры и трехъярусного расположения щитов.

Такое устройство весьма облегчает маневрирование щитами, передвигающимися в пазах один независимо от другого.

Особенно широкое распространение получили щитовые затворы на небольших оросительных каналах, где они применяются благодаря простоте конструкции и небольшим размерам щитов, допускающих легкое управление ими.

Целесообразно применение щитовых затворов на подводящих каналах при гидростанциях, при чем стойками могли бы служить постоянно закрепленные фермы наподобие ферм Поаре.

Для уменьшения веса щитов устраивают остов из деревянных брусьев и обшивают его досками. Брусья располагают внизу чаще, нежели сверху, в соответствии с эпюрой нагрузок.

Рис. 167 изображает ярусное расположение щитов, представляющее большие преимущества.

Во-первых, уменьшается усилие для подъема щита, а во-вторых, по желанию можно пропускать донную воду, удаляющую наносы при закрытом верхнем щите, или верхнюю воду с различными плавающими телами.

На данной схеме каждый щит имеет свои пазы и приводится в движение независимо от прочих двух.

При ярусном расположении щитов иногда применяют следующее устройство:

Сначала тянут вверх нижний щит. Верхний щит остается неподвижным до тех пор, пока нижнее полотно не поднимется вровень с верхним.

¹ Медленность освобождения отверстия плотины, потери на фильтрацию по контуру щитов, стеснение русла реки.

При дальнейшем движении нижнего щита вверх он неизбежно захватывает и верхний щит, так как сцепляется с ним специально устроенным крюком.

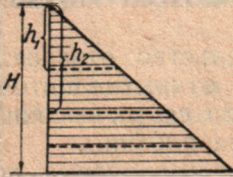


Рис. 168.

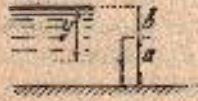


Рис. 169.

низмы для подъема имеют простое устройство.

Оба полотна уравновешены противовесами на 70 %.

Железный щит скользящего типа состоит из ряда горизонтальных балок, покрытых обшивкой.

Балки располагаются в соответствии с эпюрой нагрузки, т. е. чаще в нижней части.

Обшивка может быть устроена лишь с одной стороны.

При размещении балок (швеллеров, двутавров или клепаных двутаврового сечения) приходится решать простейшую задачу.

Пусть уместно взять n балок (рис. 168).

Следовательно высота щита должна быть поделена на n частей, исходя из условия равенства площадей нагрузки.

Значит

$$h^2_1 = \frac{H^2}{n};$$

$$h^2_2 = \frac{H^2}{n} \cdot 2;$$

$$h^2_3 = \frac{H^2}{n} \cdot 3 \text{ и т. д.}$$

Балки помещаем в центры давления на каждую площадку щита, обслуживаемую одной балкой. Аналитически положение осей балок можно

Ярусное расположение щитов позволяет перекрывать значительные пролеты при небольшом усилии при подъеме.

Так при пролете в 4 м и подпоре до 2,4 м щиты поднимаются одним человеком в 8 минут. Меха-

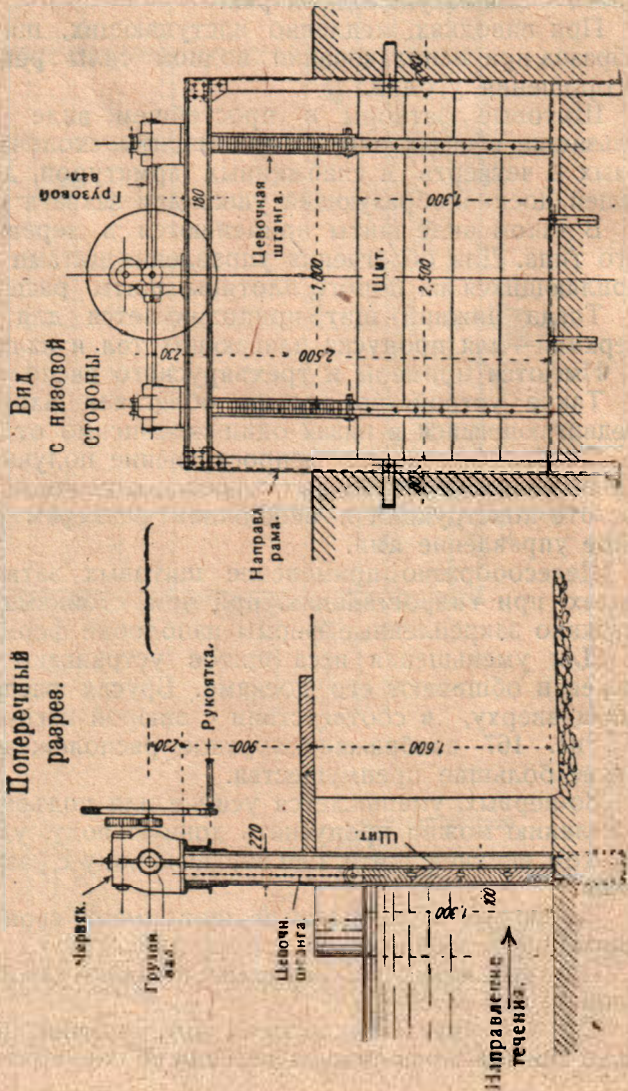


Рис. 170.

найти по формуле:

$$y = b + \frac{a}{3} \cdot \frac{3b+2a}{2b+a},$$

применяемой для прямоугольных пластинок, затопленных водой (рис. 169). Рис. 167 и 170 изображают щиты скользящего типа—одиночный и при двухъярусном расположении. При дальнейшем увеличении размеров щитов встречаются затруднения в подъеме щитов в виду значительного развивающегося трения при скольжении¹, если не располагаем электрической энергией.

Применение катков, прикрепляемых к щитам, позволило применять плоские щиты при значительно ббльших перекрываемых пролетах.

Такие щиты появились впервые в Англии в 1883 г. на р. Вивере (окрестности Манчестера).

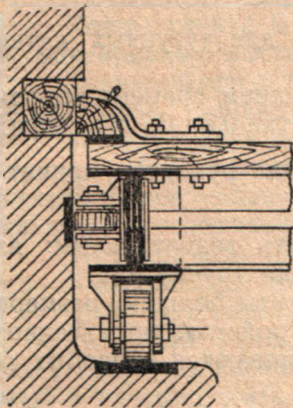


Рис. 171.

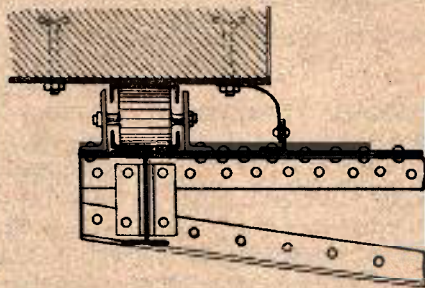


Рис. 172.

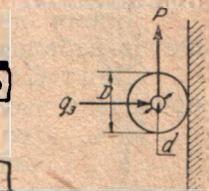


Рис. 173.

Ролики помещались с тыловой стороны и торцевой, при чем первые ролики—рабочие, а вторые—направляющие.

Направляющие ролики могут и отсутствовать (рис. 171—172).

Для подъема щита нужно усилие

$$P = q_1 + q_2,$$

где q_1 —вес щита

и q_2 —сопротивление при катании (рис. 173).

Вес щита легко подсчитать по спецификации, а сопротивление q_2 находим по формуле:

$$q_2 = \mu \cdot q_3 \cdot \frac{d}{D}$$

¹ При отсутствии противовесов усилие для подъема щита скользящего типа равно весу $\mu \left[\frac{H_1^2 - H_2^2}{2} \right] \cdot l$ м. где l —ширина щита, H_1 —высота щита, равная глубине воды в верхнем бьефе, H_2 —глубина в нижнем бьефе и $\mu = 0,6-0,7$ для дерева по дереву и $\mu = 0,5$ при железных щитах и металлических пазах.

Щиты американских водохранилищных плотин дали при испытании $0,44 \leq f \leq 0,496$ для на жора 38 м при трении бронзы по бронзе.

Кроме того следовало бы учесть трение на поверхностях катания, равное $f \cdot \frac{2q_3}{D}$ где f практически равно 0,04 до 0,1 и D выражено в см.

где μ — коэффициент трения в цапфах;
 q_3 — гидростатическое давление на щит;
 D — диаметр ролика и
 q — диаметр цапфы.

Принимаем в предварительных соображениях передаточное число механизма $k=500$ и коэффициент полезного действия механизма 0,3.

Тогда для подъема нужно усилие $P = \frac{q_1 + q_2}{150}$.

P должно быть не более 16 кг, чтобы подъем щита совершался вручную без затруднений.

Обычно устраивают противовес, которым уравнивают $\frac{3}{4}$ веса щита q_1 .

Тогда остается затратить усилие при подъеме:

$$P = \frac{q_2}{150} + \frac{1}{4}q_1.$$

Коэффициент трения в цапфах применяем для чугунных катков $\mu=0,5$, для стальных $\mu=0,35$ ¹.

Подсчеты необходимо закончить определением времени подъема щита вручную, приняв скорость вращения рукоятки 0,5—0,7 м в секунду при угловой скорости $\omega = \frac{0,75}{2 \cdot \pi \cdot l_1}$, где l_1 — длина рукоятки, принята при расчете.

Время подъема вручную не должно быть значительным: для щитов небольших и средних размеров — не более 15—20 мин.

Щит Стоinea. Стремление применять щиты больших размеров привело к изобретению особого каткового устройства, не связанного со щитом. При этом катки подвешиваются в особых рамах независимо от самого щита.

Такие щиты носят название щитов Стоinea, по имени изобретателя.

Щиты Стоinea получили всюду широкое распространение (в СССР применены на р. Мургабе) и применяются на реках всякого типа при больших подпорах и пролетах до 30 м, а при меньших пролетах при высоте до 16 м.

При больших подпорах противовесами уравнивается не свыше $\frac{3}{4}$ веса щита в виду сильной струи воды под низом открываемого щита, для чего нужен солидный вес для закрытия отверстия.

При этом сопротивление при катании $q_2 = f \frac{W}{r}$, где $f = \infty 0,065$, (рис. 174), r — радиус роликов в сантиметрах и W — статическое давление воды на щит (ср. предыдущий тип щитов с прикрепленными роликами).

Другими словами, величена q_2 в этом случае значительно менее, так как приходится преодолевать лишь трение на поверхностях касания роликов и не приходится преодолевать трения в цапфах роликов (давление воды здесь не передается на цапфы, а прямо на ролики, прижатые к пазу).

¹ Мы не проводим данных, непригодных для расчета действительно потребного подъемного усилия механизмов; подъемники должны иметь запас в подъемной силе от 30 до 45%.

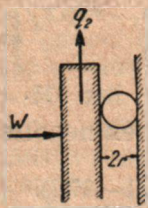


Рис. 174.

Полное усилие при подъеме щита Стоenea

$$P = q_1 + q_2,$$

где q_1 — часть веса щита, не уравновешенная противовесами,

$$а q_2 = f \cdot \frac{W}{r}.$$

В действительности подъемное усилие значительно больше, как об этом будет упомянуто ниже.

Схема устройства щита Стоenea ясна из рис. 175, где S изображает щит, и R — катковую раму, движущуюся независимо от щитов.

Катки расположены соответственно уменьшающемуся вверх давлению воды W .

Катковая рама подвешена с помощью двойного проволочного каната D , огибающего шкив тележки и шкив сверху щита.

Концы каната D прикреплены в двух точках к маневровому мостику.

Таким образом при движении щита катки проходят лишь половину пути, пройденного щитом.

Правильность поднятия катанием, а не скольжением обеспечивается тем обстоятельством, что канаты вдвое укорачиваются по длине, т. е. как раз на величину поднятия рамы катка.

При подъеме щита вес его частично (см. выше) уравновешивается противовесами.

Эти противовесы прикреплены к свободным концам цепей Галля или проволочных канатов k , охватывающих своей серединой шкив A , расположенный в середине щита, считая по его толщине.

Канаты получают движение от лебедки, находящейся на маневровом мостике.

В щитах Стоenea горизонтальные балки (ригели) чаще всего имеют вид ферм, что отвечает солидным размерам щитов, и располагаются по высоте так, чтобы каждый ригель испытывал примерно одно и то же давление (см. выше).

В настоящее время при проектировании стремятся уменьшить число ригелей, что придает конструкции простоту и увеличивает сопротивление её ржавлению.

Кроме ригелей применяют в перпендикулярном и диагональном направлениях связи жесткости.

При исчислении напора воды на щит исходят из положения горизонта воды верхнего бьефа, а также скорости подходящей воды, т. е. $H_{\text{расч.}} = h + \frac{v^2}{2g}$, где h — глубина воды на пороге в верхнем бьефе, а v — скорость притекающей воды.

Щит устройства, описанного выше, пропускать бы слишком много воды в местах примыкания его к быкам плотины.

Рис. 176 изображает схему конструкции противофильтрационного уплотнения¹.

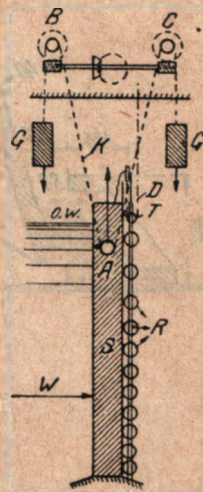


Рис. 175.

¹ Прут, покрытый резиной или обмотанный пенькой; это покрытие требует частого возобновления.

Круглый железный прут прижимается давлением воды к клинообразному пазу.

Часто уплотнения достигают применением изогнутого, гибкого, немного пружинящего листа, приклепанного к обшивке щита с боковой его. Это последнее уплотнение более совершенно.

Наличие уплотнения вызывает естественно дополнительное сопротивление подъему щита, равное $\Delta P = qH$, где $q = 0,5$ для железа по железу и N — давление на площадь ω уплотнения; $\omega = b \cdot N$, где b — ширина уплотнения ($\approx 0,05$ м) и H — высота напора на щит.

Здесь уместно добавить, что в практике при исчислении усилия для подъема щита нередко уклоняются от данных, получаемых от приведенных здесь формул, принимая полное усилие для подъема $P = 0,052 W$ до $0,1 W$.

Дело в том, что ржавчина, загрязнение катков, образование льда, механические дефекты катков и их пути, наносы, содержащиеся в воде и др. причины сильно увеличивают сопротивление при подъеме (как в щитах Стоenea, так и предыдущего типа).

Следовательно лебедки должны быть сделаны сильнее, чем по обычному теоретическому расчету.

В холодных странах приходится считаться с явлением сгустения смазки в лебедке, что увеличивает сопротивление в лебедке и должно быть отмечено запасом в ее силе.

Подвешивание большей части выстроенных щитов Стоenea произведено с помощью проволочных канатов.

Однако в Европе в последнее время чаще применяют при этом цепи Галля.

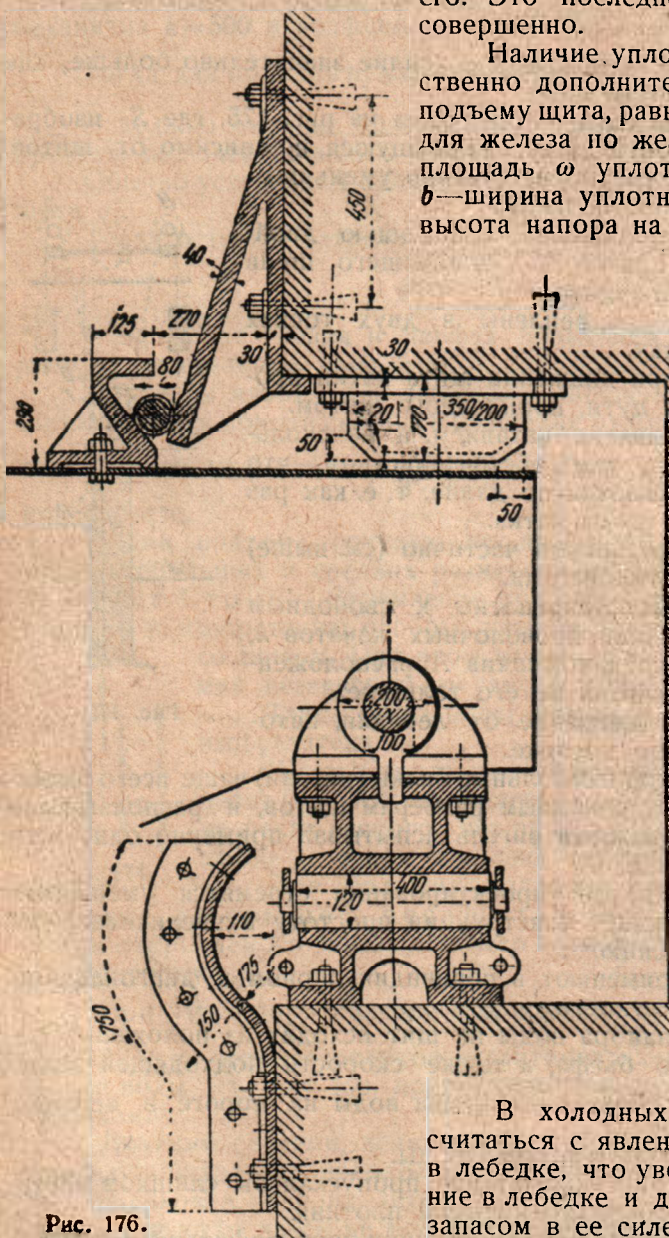


Рис. 176.

Во избежание схода щита с катков и для обеспечения правильной работы противофильтрационных устройств по торцевым граням щита ставят направляющие ролики.

Эти ролики, в отличие от ранее описанных, являются нерабочими (рис. 171).

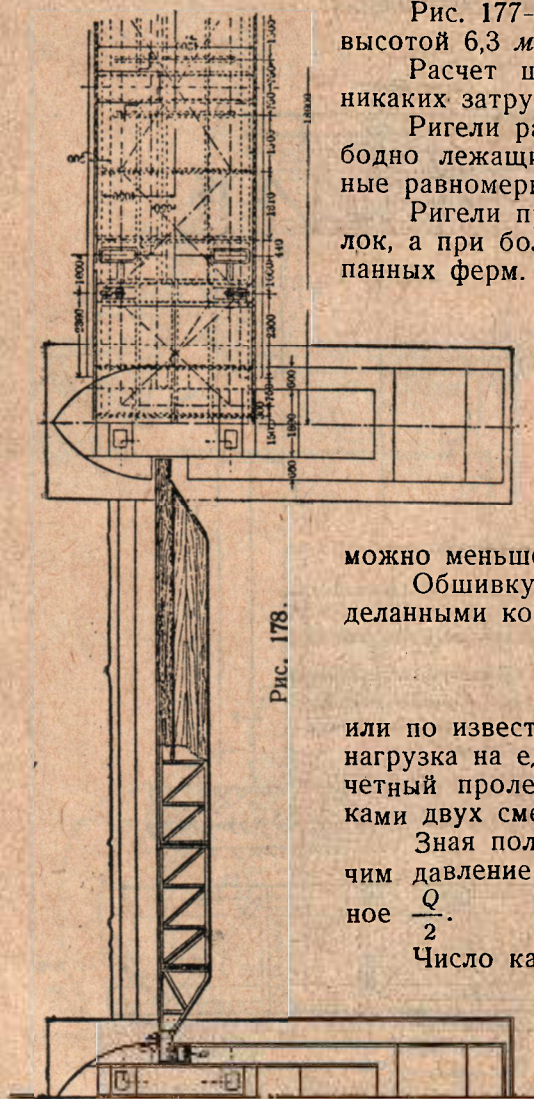


Рис. 177—181 изображают щит Стоenea высотой 6,3 м при пролете 18 м.

Расчет щита Стоenea не представляет никаких затруднений.

Ригели рассматриваются как балки, свободно лежащие на двух опорах и нагруженные равномерно распределенной нагрузкой.

Ригели проектируются из прокатных балок, а при больших размерах щита—из клепаных ферм.

Расстояние между ригелями не должно быть больше 0,5 м для удобства сборки и клепки—с одной стороны, а с другой—это расстояние должно быть так выбрано, чтобы вес щита получился наименьший. В этих целях число главных балок должно быть воз-

можно меньшее.

Обшивку рассчитываем как балку с заделанными концами при

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{12}$$

или по известным формулам Баха, где q — нагрузка на единицу длины балки, а l — расчетный пролет — расстояние между заклепками двух смежных ригелей.

Зная полное давление на щит Q , получим давление на одну катковую раму, равное $\frac{Q}{2}$.

Число катков находим по формуле Герца—для случая соприкосновения цилиндра с плоскостью (материал—сталь)¹.

Для предварительного грубо-ориентировочного определения веса щита Стоenea

можно пользоваться формулой инж. Мелентьева:

$$P = (200 + 2,7 \omega) \cdot \omega,$$

где ω — площадь щита в квадратных метрах, а P — вес подвижной части щита в килограммах.

¹ См. „Общие временные нормы для проектирования гидротехнических сооружений Института сооружений НТУ В.НХ СССР“ (под этим заглавием нормы утверждены Гидротехнической комиссией института), изд. 1929 г.

Так как щиты могут иметь 2—3 главных балки или значительно больше, то и вес щита на 1 м^2 получается соответственно различным, чем и определяется некоторая расходимость действительного веса от найденного по приведенной формуле или иной.

Заслуживает также внимания формула базельского инж. Н. Bucher'a опубликованная 25/II 1929 г. в „Schweiz, Wasserwirtschaft“. По Bucher'y

$$P_m = 4 + 0,0875 \cdot L^{1/4} \cdot H^{1/4},$$

L и H в метрах (длина, умноженная на ширину щита, $L \cdot H = \omega$).

Устарелых формул, выведенных лишь при известном соотношении $\frac{L}{H}$, вовсе не приводим, так как ныне щиты устраиваются при самых разнообразных соотношениях (формула Moser'a и др.).

При значительном прогибе ригеля над краем катка необходимо устраивать шарнирные опоры.

Для этого между опорной поверхностью рамы щита и катками устраивают особый балансир, распределяющий давление на катки равномерно по их длине.

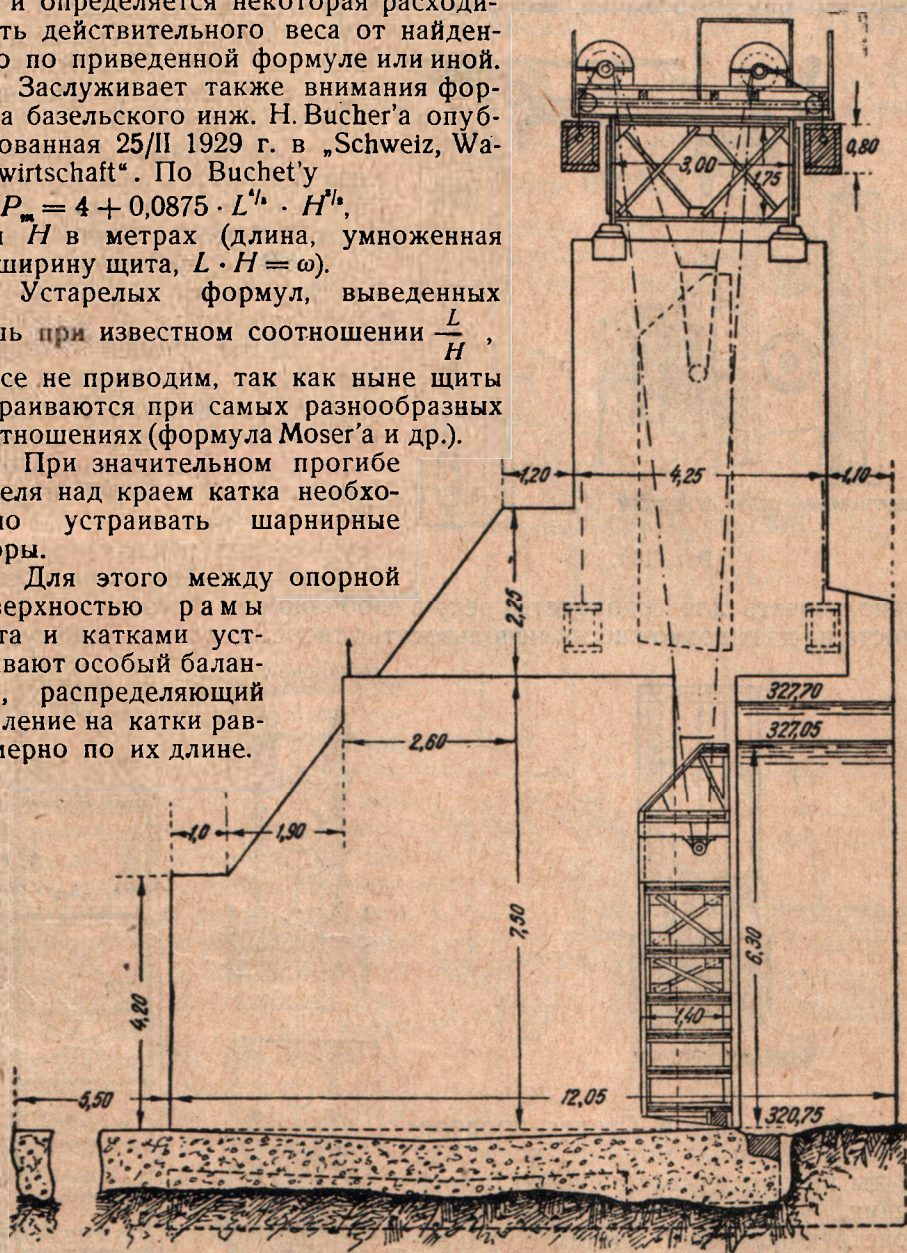


Рис. 179.

Весьма существенным недостатком щита Стонея является подверженность катков действию наносов при поднятом щите (разница скоростей движения щита и катков), а также при неисправном уплотнении. Сегментный затвор в этих условиях более уместен.

В позднейших конструкциях имеются примеры устранения первого недостатка путем введения большего числа блоков и устройства особого приспособления, заставляющего рамы роликов двигаться быстрее и выходить из воды при подъеме щита (Панамский канал), а также путем уменьшения числа роликов.

Современные щиты Стонея получают движение чаще всего от моторов, но в запас устраиваются и ручные приводы. В первом случае время подъема щита падает до нескольких минут.

Щиты Стонея особенно пригодны при больших подпорах, а на несудоходных реках—и при средних подпорах.

В случае больших подпоров часто, в связи с использованием водной силы, и на судоходных реках приходится мириться с невозможностью

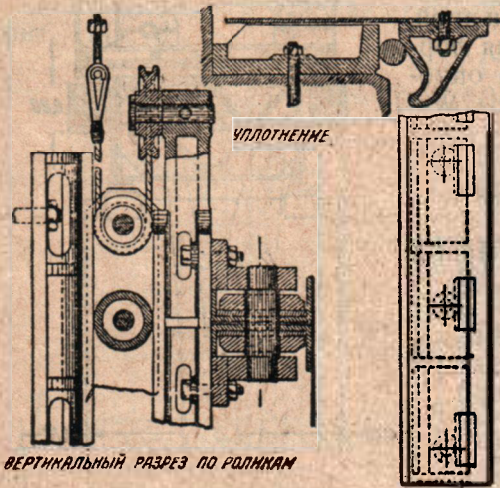
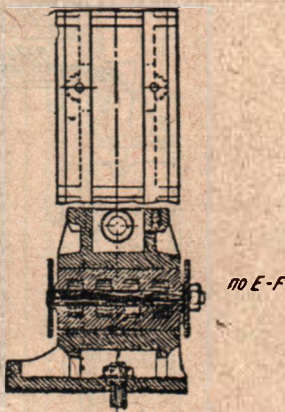


Рис. 180.

использовать для судоходства реку в свободном ее состоянии: наличие моста не дает возможности использовать твердые для прохода судов.



ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ПО РОЛИКАМ

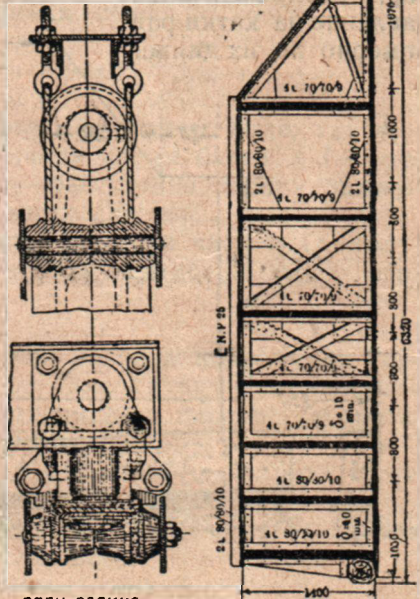


Рис. 181

Работа щитов Стонея проверена при сильных морозах, когда эти щиты не оправдывают своего назначения, уступая место простейшим конструкциям, напр. щитам с прикрепленными катками и еще более вальцовым затворам. Однако и эти последние в условиях суровой зимы требуют обогривания уплотнений.

В заключение должно привести пример, иллюстрирующий случай непригодности щитов Стонея при маневрировании ими в условиях суровой зимы.

Одно из отверстий Трельгетанской установки в Норвегии было закрыто парными щитами Стонея.

При наступлении зимы их оказалось невозможным поднять. Не помогло ни окалывание льда, ни отопление паром, ни горячей водой.

Всю зиму щит проработал как глухая плотина. Остальные отверстия были перекрыты вальцовыми затворами, работавшими исправно и в зимнее время с отоплением уплотнений.

2. Эволюция щитового затвора

150 лет тому назад этот тип затвора был единственно известным. В период интенсивной утилизации водной энергии во многих случаях он уступил свое место другим конструкциям; однако в целом ряде случаев щитовой затвор господствует и поныне.

Удержав за собой солидную сферу применения, щитовой затвор претерпел значительную эволюцию.

Прежние маленькие деревянные щиты превратились в широкие и высокие, часто занимающие место на ряду с железными, даже вытесняя эти последние.

Распространению деревянных щитов в Германии особенно благоприятствовали цены послевоенного времени, когда были сооружены деревянные катковые щиты с железными ригелями на Ср. Изаре (ширина 4,7 и высота 5,37 м), в то время как ранее устроенные железные катковые щиты плотины Кайзербад близ Вены имеют ширину 5,24 м и высоту — 2,2 м. На установке Тюбинген, на р. Неккар, деревянные скользящие щиты, недавно установленные, имеют ширину 6 м и высоту 3,15 м; в Кинзау на р. Лех того же типа затворы имеют ширину 8 м при высоте 3,15 м.

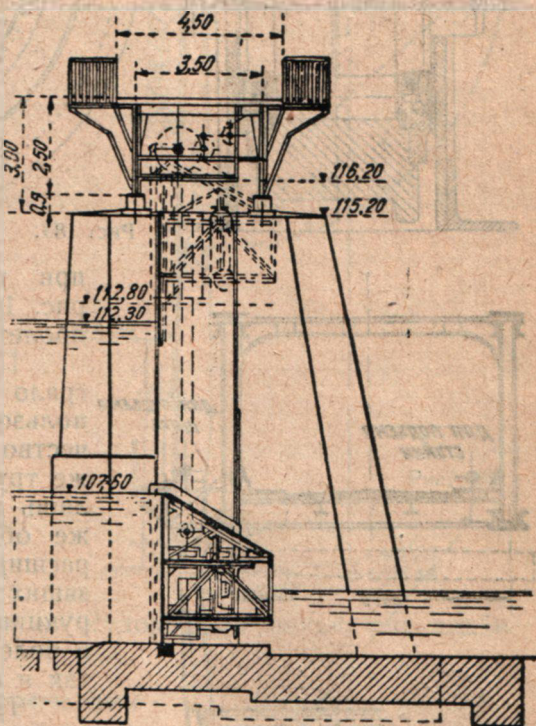


Рис. 182.

20 лет тому назад едва решались давать такие размеры железным щитам из опасения недостаточной подвижности отдельного щита. Это соображение вызвало применение противовесов при солидных постоянных промежуточных опорах, занимающих, правда, значительное место.

Применение катковой тележки Стонея позволило сооружать щиты при таком пролете, о котором раньше не могли и думать, вследствие больших подъемных сил, потребных для этой цели.

Комбинация с противовесом усилила это развитие, вследствие чего в 1925 г. имеем деловой проект фирмы щитов пролетом 30 м

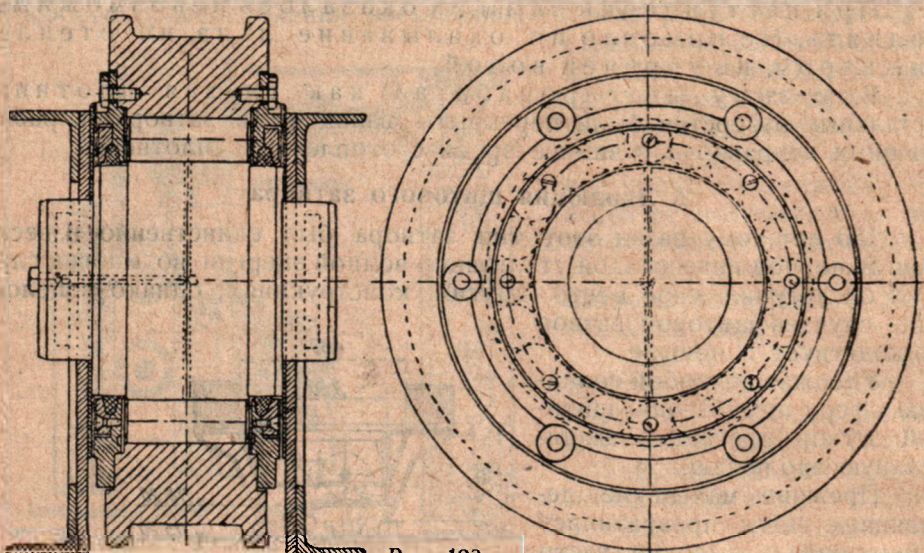


Рис. 183.

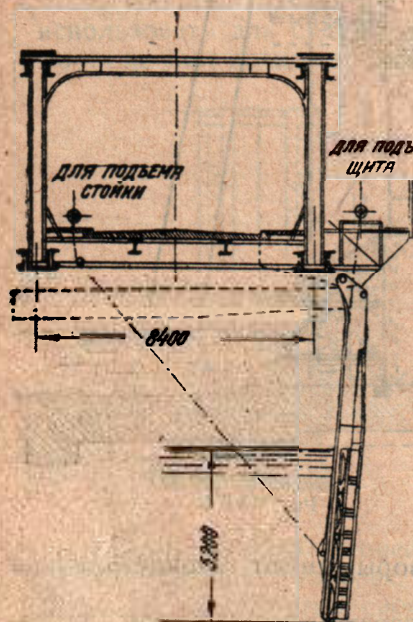


Рис. 184.

при подпоре 4,1 м (Гейдельберг, рис. 182); плотина Кахлет имеет щит пролетом 25 м и высотой 12,5 м.

При этом громадную роль сыграло то обстоятельство, что при использовании водной энергии электричество имеется на плотине, ручным же трудом приходится пользоваться лишь в исключительных случаях. Это же обстоятельство сыграло роль в расширении зоны применения скользящих щитов, более простых в конструкции, лишенных особых уплотнений и более дешевых как при постройке, так и при эксплуатации.

Так в установке Альц (Бавария) устроены скользящие щиты шириной 20 м, высотой 3,6 м; 10 лет тому назад в тех же условиях предпочли бы щиты Стонея.

При конструировании металлических щитов последние годы наблюдается стремление к простоте и определенности статического расчета.

Это выражается прежде всего в устройстве двух главных балок¹, реже—трех, а в особенности в расположении роликов, число кото-

¹ Применяя консольные стойки и размещая эти две главных горизонтальных балки на одинаковом расстоянии от равнодействующей давления воды, получим одинаковую нагрузку на каждую балку.

рых сводится в настоящее время к 2—4; катковые рамы щитов Сто- нея устраиваются все чаще и чаще с минимальным числом роликов обычно по два под каждой фер- мой.

Такое упрощение, статичес- ки обоснованное, имеет большое преимущество в эксплуатацион- ном отношении, облегчая послед- ствия обмерзания и засорения пазов посторонними предметами; при большом числе малых роли- ков указанные обстоятельства в суровом климате свести могут на-нет преимущества щитов Сто- нея. При устройстве больших щитов нередко применяют ныне шарико- и роликоподшипники (рис. 183).

Главнейшее неудобство щит- овых затворов—потребность в солидных постоянных промежу- точных опорах (бычках) при все же недостаточном для иных целей освобождаемом отверстии— по- родило своеобразную конструк- цию, позволяющую перекрывать весьма большие пролеты, пол- ностью освобождая их благо- даря применению подвижных (вращающихся) опор для щитов (рис. 184—185).

Несмотря на встречающи- еся отрицательные отзывы об экономичной выгоде ее приме- нения, конструкция получила в последнее время распространение на судоходных реках, что видно из прилагаемой таблицы:

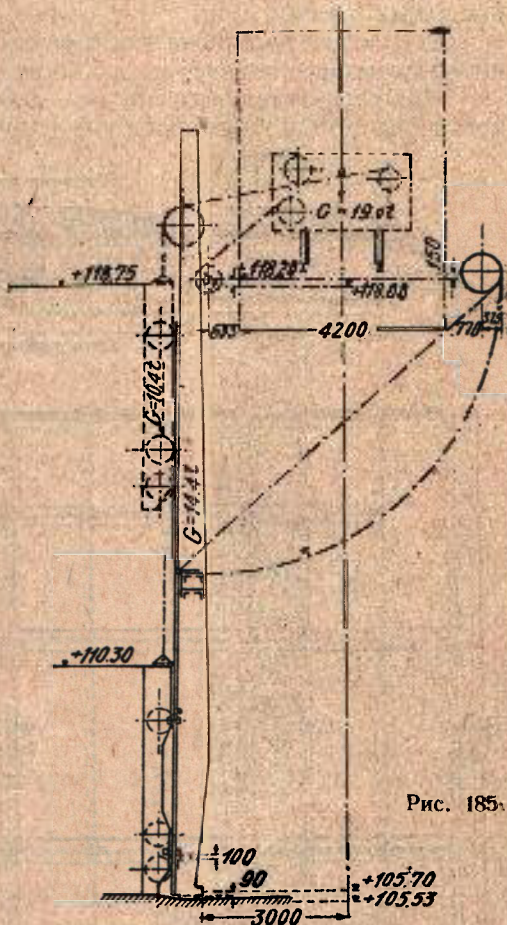


Рис. 185.

Название места	Высота щита	Пролет
Scotia	5,80	64 + 2 · 45,6
Rotterdam	6,10	64 + 2 · 45,6
Cranes Village	6,10	54,8 + 2 · 45,6
Amsterdam	4,10	64 · 2 · 54,8
Tribes	6,86	2 · 73
Josts	5,48	2 · 54,8
Canajoharie	4,88	2 · 64
Fort Plain	5,48	2 · 64
Ransern	4,60	53,40
Grave (Maas)	4,80	63,86 + 2 · 51,76

Как видно из таблицы, данная конструкция призвана работать в условиях необходимости открыть все отверстия судоходной реки, подпираемой плотиной на высоту, превышающую таковую для ти- нично-судоходных плотин—Поаре, Шаноана и др.

При такой конструкции нет нужды поднимать порог плотины над дном реки больше, чем это делается для указанных типично-суходоходных плотин.

В 1922 г. закончена постройкой такая плотина (Lösständerwehr¹), перекрывающая отверстие в 53,4 м (рис. 185, 186 и 187).

Ширина отдельных щитов — 6,34 м, высота — 4,6 м. Щиты катковые, по три катка с каждой стороны.

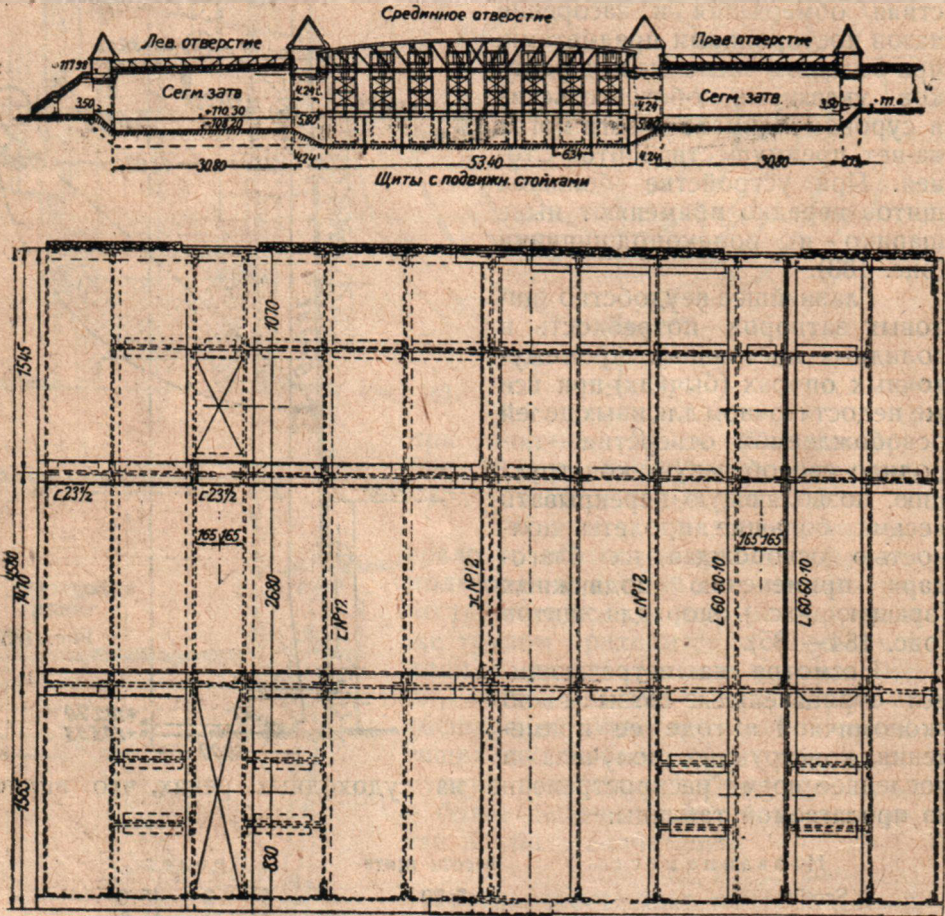


Рис. 186.

Каждая временная опора-стойка имеет высоту 16 м при весе 14,4 т. Каждые две стойки соединены в одну раму для усиления жесткости конструкции.

Для освобождения отверстия можно поступить трояким образом:

1. Поднять щиты и подвесить их вверху.
2. Поднять щиты, а затем вместе с ними стойки.
3. Отклонить стойки со щитами вниз по течению на случай внезапного паводка.

¹ Название типа плотины.

Низ щита, в целях устранения вибрации при легком подъеме его, появляющейся вследствие возникновения вакуума при прежней форме низа щита (рис. 190), устраивается теперь так, что вибрация устраняется (рис. 191) вследствие изменения формы и сопряжения обтекаемых поверхностей.

Останавливаясь на отыскании рациональной конструкции верхнего клапана, должны признать, что прежняя форма треугольного клапана, с течением времени значительно изменяющая свой вид вследствие деформирующего действия сил давления воды и натяжения при подъеме клапана и удержания его в верхнем положении (рис. 192), должна уступить другой конструкции, пред-

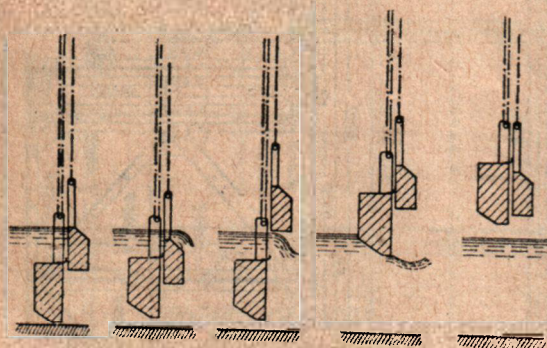


Рис. 189.

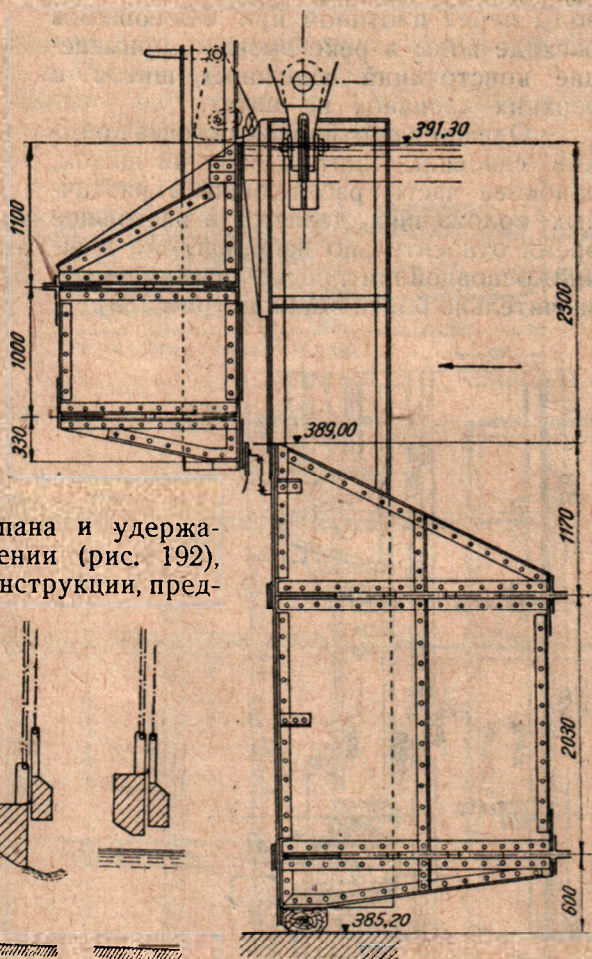


Рис. 189-а.

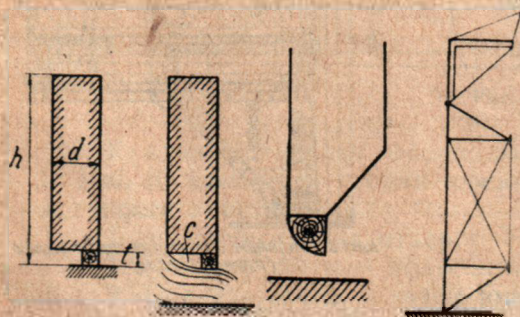


Рис. 190.

Рис. 191.

Рис. 192.

ложенной инж. Hugo Kulka (рис. 193) и имеющей следующие преимущества:

1. Наличие трубчатого основания клапана солидного диаметра не позволяет возникнуть заметным деформациям клапана.

2. Возможность иметь опоры на желаемом расстоянии делает независимой высоту напора от пролета.

3. Условия сбрасывания плавающих тел и обтекания струи улучшаются при форме поверхности клапана, изображенной на рис. 193.

Переходим к вопросу об уплотнениях и о влияниях их конструкции на основную конструкцию затвора.

Вопрос об уплотнениях разрешен в настоящее время удовлетворительно.

Скользящие щиты требуют уплотнения лишь по дну, что достигается посредством деревянного бруса; в щеках никакого особого уплотнения не требуется, так как давление воды, прижимающее щиты к пазам, обеспечивает полную водонепроницаемость.

Прочие затворы требуют особого уплотнения в щеках.

Эксплоатация показала, что лучше всего оправдало себя устройство, состоящее из пружинящего железного листа, к концу которого прикреплен деревянный брусок, упирающийся непосредственно в стенку быка или же в прикрепленную там металлическую рейку.

Такое же уплотнение может быть устроено при соединении сдвоенных щитов.

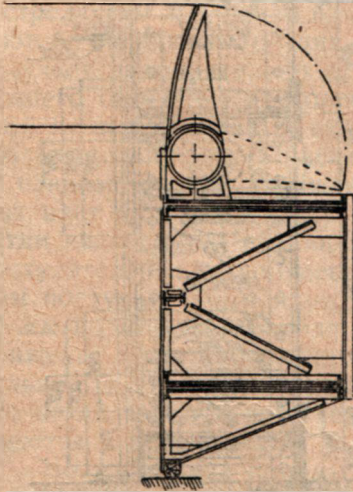


Рис. 193.

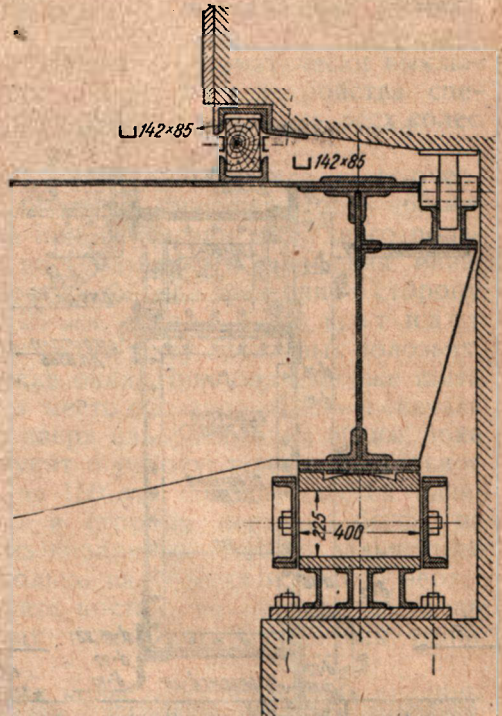


Рис. 194. Отлично работающее уплотнение.

Этот тип уплотнения при хорошо пригнанном бруске не пропускает ни капли воды. В качестве бокового уплотнения он является лучшим для всех затворов вообще.

Хорошего бокового уплотнения достигаем путем устройства деревянного бруска (рис. 194), прижимаемого давлением воды к полке профильного железа.

Железные прутья, входящие в гнезда соответствующей формы, сильно уступают предыдущим типам уплотнений; на их удовлетворительную работу можно рассчитывать лишь обернув их в резину или ткань. Однако быстрый износ этого покрытия вынуждает отметить дефектность уплотнения данного типа (см. выше).

При соединении больших сдвоенных щитов теперь применяют не дерево, а пружинящий лист, на подвижном конце которого нахо-

дится уголок; край уголка прижимается ко второму щиту (рис. 189).

Из более сложных конструкций уплотнений останавливают на себе внимание металлические донные уплотнения, более целесообразные при обилии наносов, истирающих деревянный брус.

Однако об этом дальше.

3. Щитовой затвор данного типа

Стремление использовать в катковых затворах уплотнение типа, применяемого в скользящих затворах, а также поставить в лучшие

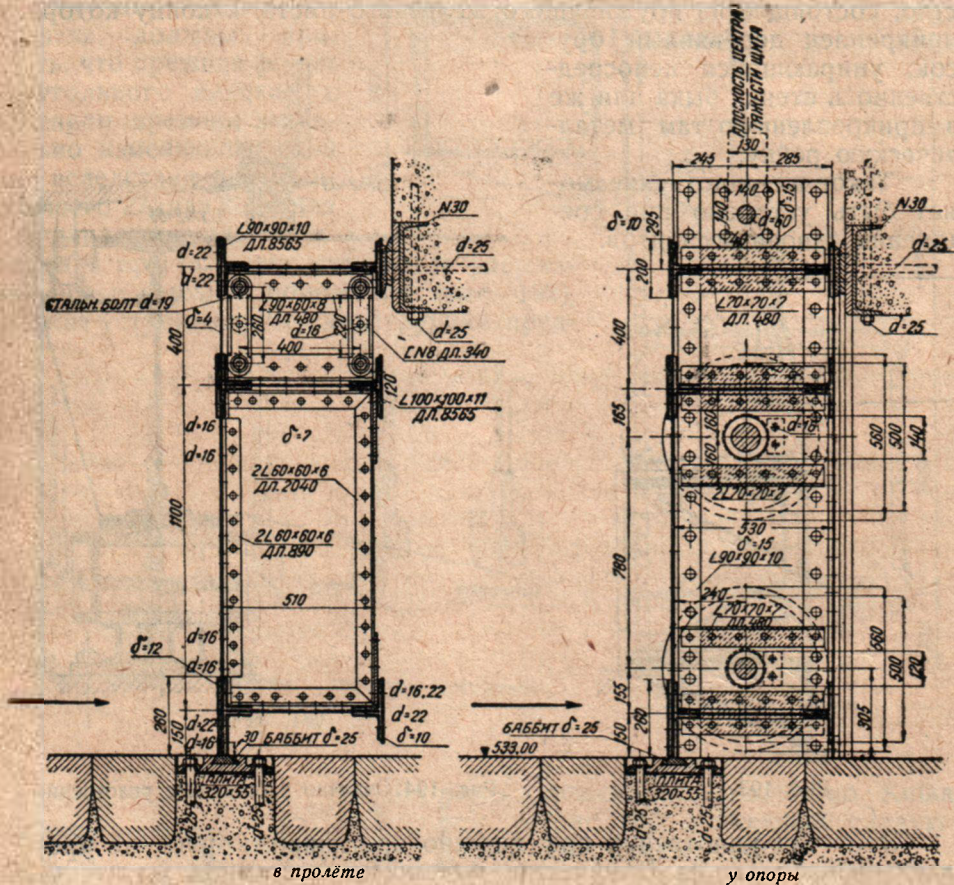


Рис. 195—196. Щитовой затвор донного типа.

условия работу верхнего горизонтального уплотнения донных щитов приводит к конструкции, показанной на рис. 195—196, изображающих донного типа щитовой катковый затвор, закрывающий отверстия водоприемника из р. Самур, богатой наносами. Щит перекрывает отверстие $8,5 \cdot 1,5$ м (проект).

Уплотнение достигается здесь бронзовыми полозьями, прикрепленными к щиту и скользящими по металлической обделке окна.

Щит имеет три горизонтальных ригеля, прикрепленных своими концами к крайним вертикальным балкам его. Нижний и средний ри-

геля, находящиеся в расстоянии 1100 мм друг от друга, связаны в неизменяемую пространственную систему, могущую сопротивляться не только горизонтальной, но также и вертикальной нагрузке (рис. 195—196).

Верхний же ригель находится в расстоянии лишь 400 мм от среднего ригеля и связан с ним короткими вертикальными стоечками, свободно качающимися в поперечных плоскостях. Столь небольшое расстояние между верхними и средними ригелями и описанная конструкция связи между ними приняты с той целью, чтобы уменьшить горизонтальную нагрузку на верхний ригель и уменьшить следовательно прогиб этого ригеля в горизонтальной плоскости, а также сделать этот прогиб независимым от прогиба остальных ригелей щита. Это имеет значение для плавного и спокойного примыкания уплотняющей бронзовой полосы к металлической обделке окна при посадке щита.

Катки затвора в нижнем его положении автоматически выключаются из действия, что достигается посредством устройства специальных впадин в рельсах против наинизшего положения всех колес щита.

Диаметр обода катка равен 500 мм; впадины же для колес очерчены по дуге несколько большего диаметра, имеющего хорду 460 мм и стрелку 30 мм. Когда катки щита при опускании последнего попадают во впадины, то щит, кроме поступательного движения вниз, получает дополнительно плавное поступательное движение в сторону нижнего бьефа, но не более чем на 25 мм, после чего щит идет уже не на катках, а на прикрепленных к щиту бронзовых полозьях, скользящих по металлической обделке окна. При подъеме же щита из наинизшего его положения имеет место обратное явление: сначала щит идет на полозьях вертикально вверх на протяжении 80 мм, пока катки не коснутся впадин и не вступят в работу; далее вертикальное поступательное перемещение щита на 150 мм сопровождается плавным поступательным движением его в сторону верхнего бьефа на 25 мм до момента выхода катков из впадин; после этого дальнейшее движение щита совершается уже только на колесах и только вертикально. Так как на каждом боку щита поставлено снаружи щита по два катка, то соответственно этому в каждом из рабочих рельсов имеются две впадины.

Во избежание попадания нижних колес щита в верхние впадины реборды верхних и нижних колес обращены в различные стороны, а возле верхних впадин сделано на рабочих рельсах по специальному приливу—обочине, на которые нижние колеса опираются своими ребордами, для чего последним придана надлежащая ширина.

Нормальный ход щита при подъеме его принят в 2 м, т. е. на 0,5 м больше высоты окна в свету, чтобы при поднятом щите все пространство за обшивкой щита было наполнено водой, и сам щит был поэтому разгружен тогда от горизонтального давления воды на него.

Нижнее горизонтальное уплотнение устроено следующим образом. Флютбетная плита из стального литья сечением 320 · 55 мм заделана в бетон заподлицо с плоскостью флютбета. Гайки анкерных болтов находятся во впадинах, сделанных в плите. Плита в плане имеет форму буквы П. Длина продольной части—9080 мм, каждой поперечной части—380 мм. Поясной уголок 100 · 100 · 11 нижнего

ригеля, обращенный в сторону флютбета, заменен уголком $150 \cdot 100 \cdot 14$. Его нижняя кромка сточена так, чтобы расстояние от оси нижнего ригеля до плоскости флютбета было 150 мм . Поясной лист того же

ригеля с верхней стороны $200 \cdot 10$ заменен листом $260 \cdot 12$. Слой баббита имеет в сечении форму ласточкина хвоста. Высота его — 25 мм , ширина наружной палки — 60 мм и внутренней — 100 мм . Длина продольной части — 8840 мм , поперечных — 500 мм .

Щит рассчитан на полный напор 4 м , так как отметка наивысшего горизонта воды равна 537 м , а порога флютбета — 533 м . Расстояние между опорными стойками равно 8760 мм . Нижний ригель возвышается над флютбетом на 150 мм .

Боковое уплотнение пружинно-листового типа применено автором в проекте щитов напорного бассейна перед трубопроводом гидроустановки на р. Самур (рис. 197). Катковый щит закрывает пролет в свету в 4 м при полной ширине щита $4,32 \text{ м}$ и высоте — 5 м . Расчет произведен при отсутствии воды ниже затвора.

Для обеспечения полной определенности в распределении нагрузок на ригеля и катки затвор составлен из двух отдельных щитов — нижнего и верхнего, соединенных друг с другом листовым шарниром. Каждый щит принимает на себя половину треугольника давления воды, приходящегося на весь затвор.

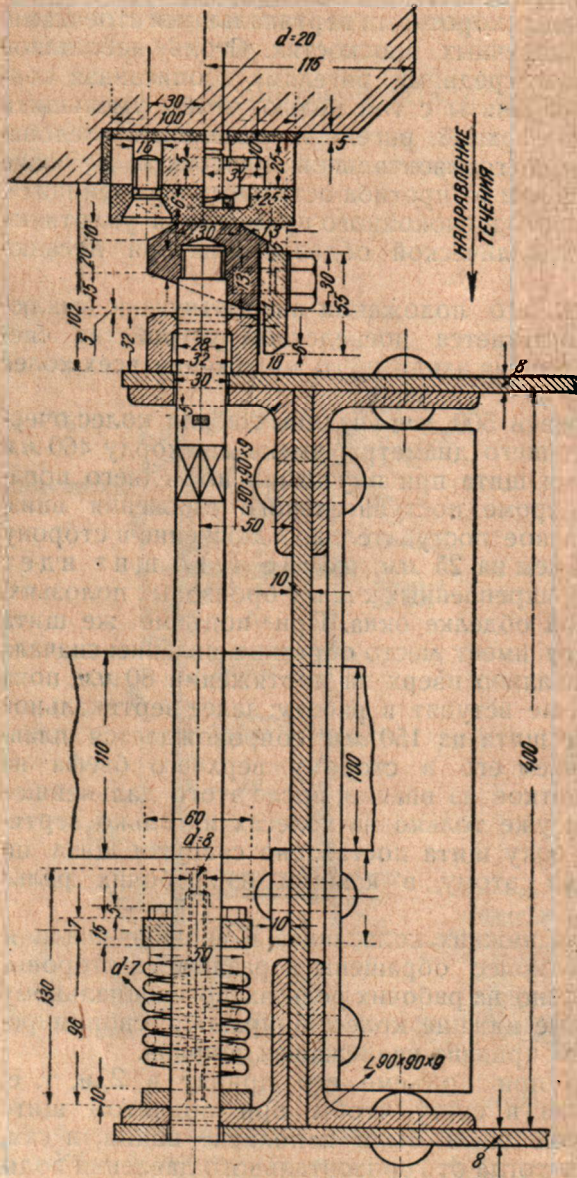


Рис. 197.

Как нижний, так и верхний щиты каждый имеют по два колеса с каждого бока. При рабочем максимальном напоре все колеса нагружены одинаковым образом.

Каждый щит имеет два ригеля — верхний и нижний.

Ригеля крепятся к опорным вертикальным стойкам, расстояние между осями которых равно 4,12 м.

Внутреннее заполнение каждого щита состоит из следующих элементов: двух предопорных стоек, расположенных на расстоянии 500 мм от осей опорных стоек, одной промежуточной стойки и двух вертикальных обрешетин. Верхний щит имеет кроме того один ряд горизонтальных балочек, расположенных между стойками и обрешетинами. Оси колес пропущены через опорную и предопорную стойки и закреплены в них, а колеса консольно насажены на выступающие

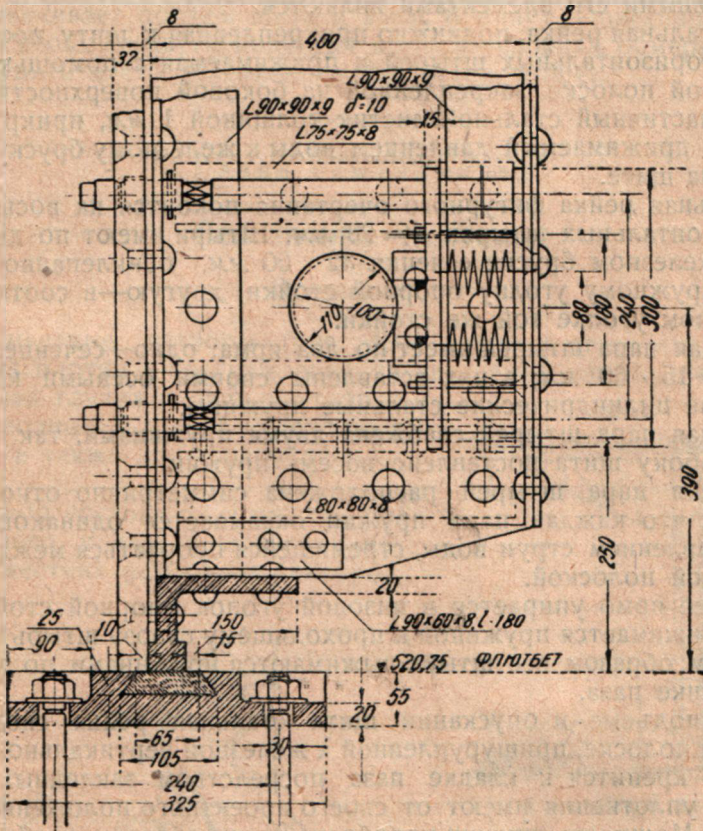


Рис. 198.

наружу концы осей. Обшивка плоская, из листового железа, крепится с верховой стороны щита. Обшивка нижнего щита имеет горизонтальный шов по нижнему ригелю верхнего щита и служит в то же время и листовым шарниром между щитами; толщина ее—8 мм. Обшивка верхнего щита имеет вертикальные швы, расположенные по стойкам—предопорной и промежуточной; толщина ее—7 мм. Все швы перекрыты накладками. Нижняя часть щита устроена в виде литой фасонной рейки, идущей по всему пролету; этой рейкой щит садится на флютбетную плиту. Литая рейка склепывается с листом обшивки нижнего щита, а также крепится к клепанным консолям (рис. 198).

Для придания щиту большей жесткости с низовой стороны опорная и предопорная стойки обшиты общим поясным листом, тянущимся на всю высоту щита и снабженным вырезами для возможности клепки.

Между щитами лист имеет шов, перекрытый парными накладками так, что склепка каждого щита может вестись отдельно. Нижнее горизонтальное уплотнение щита достигается путем соприкосновения нижнего стального ребра фасонной рейки со слоем белого металла, залитого ласточкиным хвостом в стальную флютбетную плиту.

Боковое вертикальное уплотнение принято пружинно-листового типа. Главными его элементами являются:

1. Стальная рейка, подвижно прикрепленная к щиту посредством круглых горизонтальных штырей и прижимаемая с помощью пружин к бронзовой полоске, закрепленной на боковой поверхности паза.

2. Эластичный стальной листик толщиной 1 мм, прикрепленный к рейке и прижимаемый давлением воды к железному бруску, закрепленному на щите.

Стальная рейка фигурного очертания покоится на восьми круглых горизонтальных штырях $d = 28$ мм. Штыри имеют по две опоры: одну—в железном бруске сечения $32 \cdot 60$ мм, приклепанном к верховому наружному уголку опорной стойки, другую—в соответствующем низовом уголке той же стойки.

Каждая пара штырей имеет по два ярма: одно—сечением $10 \cdot 60$ и другое— $15 \cdot 60$ мм; в них вставлены своими осевыми кончиками спиральные цилиндрические стальные пружины.

Каждая пара штырей снабжена двумя пружинами, так что всего на одном боку щита поставлено восемь пружин.

Каждая пара штырей расположена симметрично относительно колес, так что каждая пара пружин оказывается одинаково нагруженной давлением струи воды, стремящейся прорваться между рейкой и бронзовой полоской.

Заднее ядро упирается в низовой уголок опорной стойки, а переднее прижимается пружиной к проходящему сквозь штырь шплинту.

Таким образом все штыри выжимаются пружинами по направлению к стенке паза.

При подъеме и опускании щита стальная рейка скользит по бронзовой полоске, пришурупленной к железной вертикальной полосе; последняя крепится к кладке паза посредством закладных болтов. Пружины уплотнения имеют от своего проектного положения только ход назад. Мощность пружин подобрана таким образом, чтобы она, при проектном положении пружин, была в $1\frac{1}{2}$ раза больше того усилия, которое требуется для перерезывания струи, стремящейся прорваться между рейкой и бронзовой полоской шириной 45 мм.

Катки имеют диаметр 350 мм; для уменьшения трения они снабжены бронзовыми втулками. Для ограничения боковых перемещений щита катки снабжены ребордами, расположенными с наружной стороны и допускающими боковую игру щита по 10 мм в ту и другую сторону.

Роль обратной направляющей щита выполняет вертикальное уплотнение, благодаря чему как обратные ролики, так и специальный контр-рельс оказались излишними.

Щит поднимается двумя цепями Галля при теоретическом тяговом усилии 11 *t* и принятом 16 *t*. Собственный вес щита равен 6560 *кг* (6,56 *t*).

Сматывание цепи Галля принято при помощи натяжного груза, подвешенного к подвижному блоку и снабженного масляной ванной, автоматически производящей смазку цепи.

Цепи взяты с семикратным запасом прочности.

Время полного открытия щита равно 8 мин. Там ручной привод рассчитан на четырех рабочих при 20 оборотах рукоятки в минуту, что обеспечивает подъем щита в 1 час 8 минут. Описанное уплотнение, при необходимости поднятия щита в условиях обмерзания, должно уступить место деревянному брусу (см. выше).

Глава семнадцатая

Сегментные плотины

1. Основные данные

Сегментные затворы (рис. 199) применяются для закрытия отверстий плотин и преграждений на каналах, в качестве затворов на водосливах глухих плотин и затворов водопроводных галлерей судоходных шлюзов, а также для запираания плотходов.

Затвор состоит из сегмента, прикрепленного к оси вращения с помощью жестких рам в виде секторов,

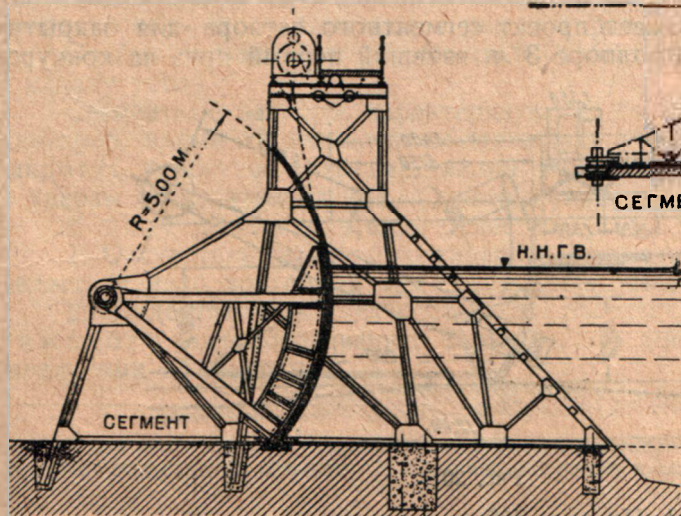


Рис. 199.

до 15 м при подпорах до 3,5—4 м, а в водоудержательных плотинах — меньшие пролеты при больших подпорах. Деревянный тип

хорошо сопротивляющихся продольному изгибу. Вращение затвора происходит вокруг горизонтальной оси. В большинстве случаев сегментные затворы, выстроенные до 1924 г., перекрывают пролеты

сегментного затвора получил широкое распространение в Америке под названием щита Тейнтора (рис. 200).

Однако в настоящее время делаются сегментные затворы пролетом од 45 м.

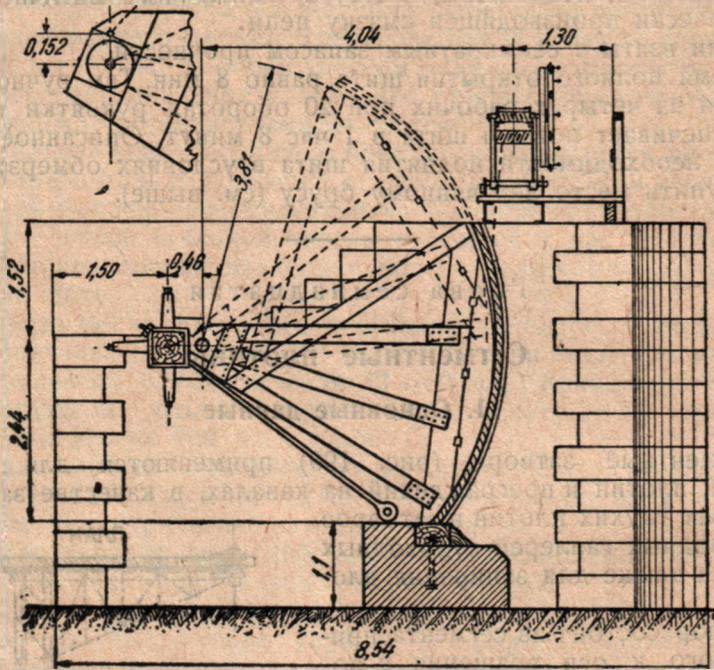


Рис. 200.

Рис. 201 изображает проект сегментного затвора для закрытия пролета в 15 м при подпоре 3 м, взявший первый приз на конкурсе

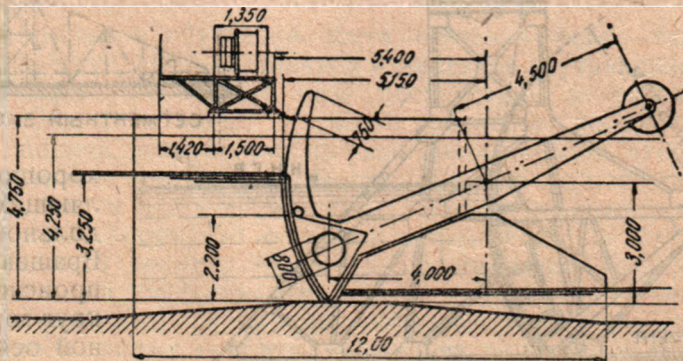


Рис. 201.

в Австрии в 1906 г.¹ Из рис. 202 видно устройство, обеспечивающее плотность прилегания затвора к порогу флютбета. Подъем и опускание затвора производится лебедками с цепями или тросами. Лебедки

¹ Затвор „Segment“

устройства подвижными по длине плотины, имеющей несколько сегментных затворов, или неподвижными при каждом затворе, что весьма дорого. Применение электрической энергии упрощает маневрирование затворами. Затворы сегментных плотин, обращенные к воде выпуклой стороной, весьма легко поднимаются из воды, так как им не приходится оттеснять донного или поверхностного льда, а лишь скользить по его поверхности, обращенной к обшивке сегмента. Применение сегментных затворов на реках с значительным льдообразованием дало хорошие результаты (Северная Америка). Сегментные затворы хорошо сопротивляются ударам, передающимся по радиальным распоркам на ось и подшипники, которые могут быть сделаны достаточно солидными. Донные наносы не являются помехой в работе затворов, так как не мешают их открыванию. При медленном опускании затвора порог очищается от наносов в силу образующегося быстрого течения на пороге. Так как равнодействующая давления воды на поверхность затвора проходит через ось вращения, то при подъеме затвора приходится преодолевать лишь трение в цапфах и небольшую часть собственного веса, так как большая часть веса может быть уравновешена противовесами¹. Часто сплошная ось затвора является неудобной в эксплуатации, ибо уменьшает свободный габарит. В этом случае вместо сплошной оси применяют короткие цапфы на опорах, но зато обращают особенное внимание на жесткость рам, соединяющих сегмент с осью. Решетчатые рамы являются недостатком конструкции, в виду чего их часто обшивают сплошь листовым железом или даже забетонируют: плавающие прутья и хворост очень часто попадают в решетку рамы.

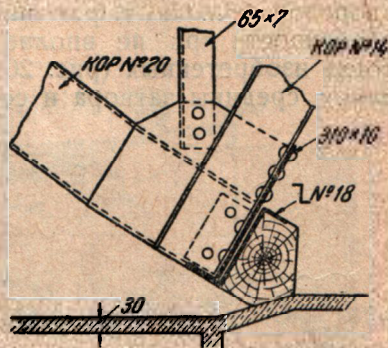


Рис. 202.

Осевые подшипники упираются в особые подушки, заделанные в кладку устоя.

Сегментные затворы характеризуются быстротой и простотой маневров, малым сопротивлением движению при подъеме, плотностью закрытия, удобством ремонта, малой чувствительностью к наносам и ударам от плавающих тел, к промерзанию и пр.

К числу недостатков надо отнести:

1. Отсутствие свободного габарита при открытой плотине, что делает ее мало пригодной для судоходных отверстий².

2. Недостаточная жесткость для работы в условиях весьма тяжелого льдообразования. Впрочем, это последнее оспаривается шведскими инженерами.

¹ Для плотности соприкосновения с порогом центр вращения затвора помещают не в центре поверхности обшивки, а с эксцентриситетом в несколько сантиметров (на

3—4 см выше), что дает достаточную величину $\eta_2 = \frac{F_1}{F_2}$ (см. вальцовые затворы).

² Однако комбинация сегментного затвора с мостовой плотиной дала хорошее решение на р. Одере в Германии.

2. Эволюция сегментного затвора

Применение затвора в САСШ показало прекрасную работу его даже в условиях временного интенсивного льдообразования, при обилии карчей и сплаве леса, при сохранении тогда же признанного ценнейшего качества затвора—относительно-малого сопротивления при маневрировании и лишь слабого его увеличения под влиянием внешних воздействий.

Возникшее вследствие этого в Европе памятное нам увлечение затвором и стремление найти в нем новое высокое качество (которого он не имеет)—малый вес—в свое время породили не вполне здоровое течение, выразившееся в ослаблении жесткости затвора, в особенности при не вполне рациональных конструктивных формах, тогда изобретенных (рис. 201), ныне забытых, что привело к проседанию середины затвора и создало временную волну охлаждения к за-

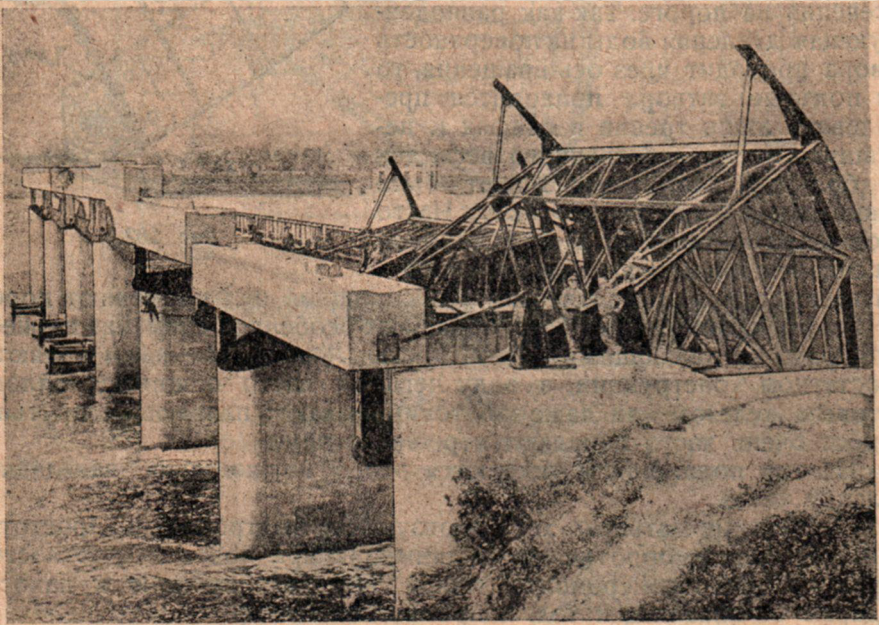


Рис. 203.

твору, чем и надо объяснить временную (до 1919 г.) остановку в дальнейшем усовершенствовании и распространении затвора на большие пролеты.

Однако к 1921 г. американцы дали прекрасную конструкцию затвора портального типа пролетом 15 м и высотой над порогом 6 м (рис. 203). Затвор этот (Mechanicsville) управляется вручную одним человеком без применения мотора (иригационная плотина).

В те же годы французы сделали сразу два шага вперед, доказав целесообразность применения затвора при пролете 16 м и высоте 3 м, т. е. при почти невыгодном, казалось бы, соотношении 0,1875—с одной стороны, а с другой—впервые применив повышенное положение оси затвора на реке с обильными наносами в паводок, сопро-

вождающийся сильным подъемом горизонта воды перед плотиной (рис. 204, установка Драк Романш).

Указанное мало выгодное соотношение между высотой затвора и пролетом его—с одной стороны, и отсутствие детальных данных о затворе—с другой, не позволили лучше рассмотреть и оценить его

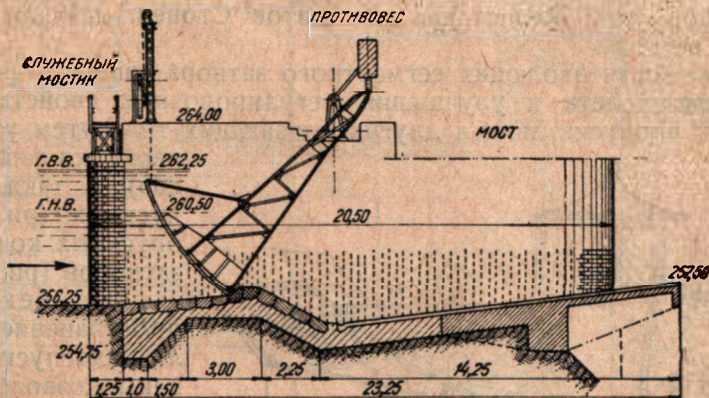


Рис. 204.

качества. Между тем появился новый затвор плотины Швенден при пролете 11,5 м и высоте 1,05 м, затвор плотины Ранзерн на р. Одере при пролете 30 м и высоте 2,1 м и наконец сегментный затвор плотины Ладенбург на р. Неккаре пролетом 36 м при высоте сегмента 3,75 м.

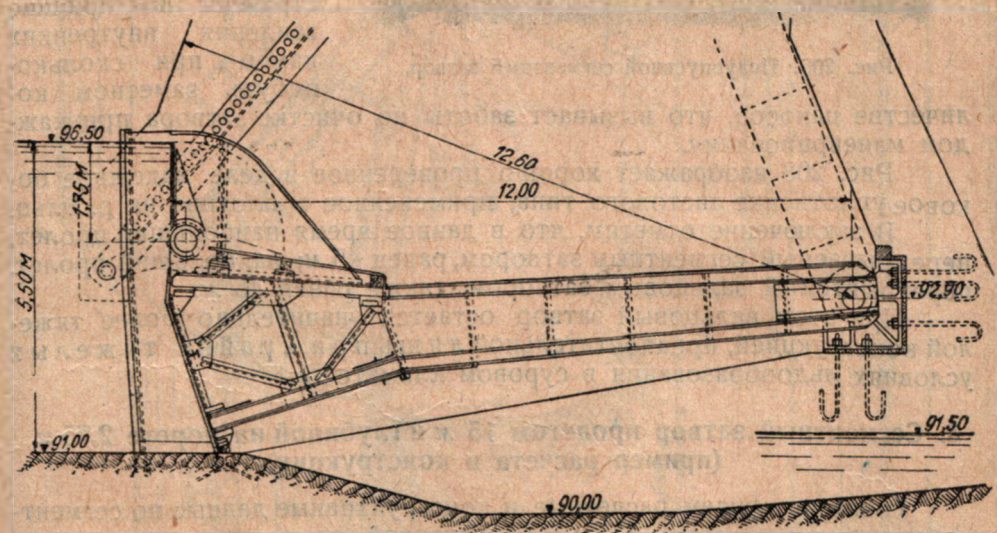


Рис. 205. Сегментный затвор плотины.

В 1927 г. я применил сегментный затвор пролетом 15 м, высотой 2,75 м, с повышенной осью вращения при составлении проекта Самурской гидроэлектрической силовой установки, при чем, в целях получения совершенно деловых и надежных данных для суждения о достоинствах и недостатках конструкции, соблюдены были современные тенденции детального заводского проектирования, чтобы по пригото-

ленным чертежам можно было передать заказ на лучший металлический завод Союза.

Интересны выводы.

Вес вращающейся части затвора оказался равным $19,38 \text{ т}$, что дает 470 кг/м^2 перекрываемого отверстия, т. е. величину, определяемую формулой Мелентьева для щитов Стоinea, дающей большее значение веса.

Дальнейшая эволюция сегментного затвора пошла в направлении увеличения пролета и улучшения регулировочных свойств затвора и условий пропуска льда и других плавающих тел путем устройства

верхних клапанов (рис. 205), а также полуотпускных (рис. 206) и опускных конструкций затворов (рис. 207).

Особенное распространение получили ледопускные клапаны, позволяющие основному затвору оставаться в покое при частой работе верхнего клапана.

Опускные конструкции мало распространены по причине заиливания внутренних камер при сколь угодно заметном ко-

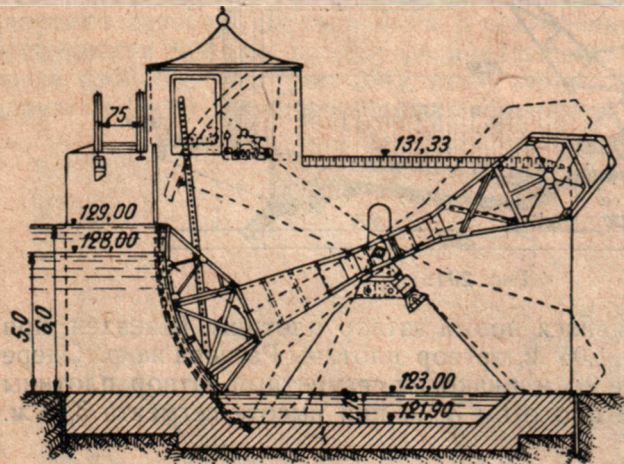


Рис. 206. Полуотпускной сегментный затвор.

личестве наносов, что вызывает заботы по очистке затвора при каждом маневрировании.

Рис. 208 изображает хорошо проверенное в деле надежное боковое уплотнение листового типа, примененное в плотине на р. Эльц.

В заключение отметим, что в данное время наибольший пролет, перекрываемый сегментным затвором, равен 45 м ; наибольший пролет, перекрываемый вальцовым затвором, также равен 45 м .

При этом вальцовый затвор остается значительно более тяжелой конструкцией, предпочтительной лишь при крайне тяжелых условиях льдообразования в суровом климате¹.

3. Сегментный затвор пролетом 15 м и глубиной на пороге $2,75 \text{ м}$ (пример расчета и конструкции)

Ниже помещаем расчетные и конструктивные данные по сегментному затвору пролетом 15 м с повышенной осью вращения, примененному автором в его проекте Самурской гидроэлектрической силовой установки (рис. 209, 210, 211, 211-а, 212, 213—см. между стр. 175 и 177).

Расчет бычков произведен в предположении двух соседних сегментных затворов, разделенных бычком².

¹ Шведский проф. Карлсон считает сегментный затвор и секторный и в этих условиях лучшими в эксплуатации (по данным опыта).

² Расчет затвора и механизмов произведен инженерами: Гебелем, Коротковым и Якобсоном.

Основные данные

Отметка флютбета—532 м.

Отметка подпорного горизонта воды—534,5 м.

Отметка наивысшего горизонта воды—537 м.

Ширина отверстия в свету— $L = 15$ м.

Расчетный горизонт принят на отметке 534,75 м; до этого горизонта доведена обшивка затвора с напорной стороны.

Расчетный напор:

$$h = 534,75 - 532 = 2,75 \text{ м.}$$

Перелив воды через затвор не допускается, и при горизонтах выше отметки 534,75 затвор должен быть поднят.

Наивысшее положение затвора характеризуется тем, что низ его находится в расстоянии 1 м от наивысшего возможного горизонта.

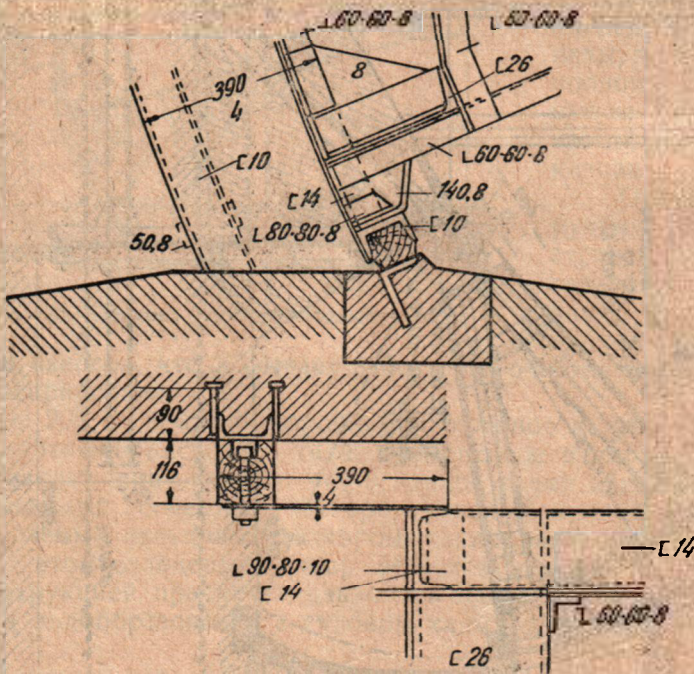


Рис. 208.

Тип затвора и его основные размеры. Для закрытия отверстий плотины на р. Самур принят сегментный затвор портального типа с противовесом.

Центр вращения затвора расположен на отметке 538 на расстоянии 6 м от плоскости флютбета.

Поверхность стенки, несущей напор воды, за вычетом толщины обшивки, очерчена по дуге круга радиусом $R = 9$ м.

При опущенном затворе верхняя кромка обшивки расположена на отметке 534,75 м, что соответствует расчетному напору 2,75 м.

Основные элементы затвора:

1. Водоудерживающая стенка, непосредственно воспринимающая водяную нагрузку.

2. Верхняя и нижняя фермы затвора порталного типа, принимающие нагрузку от водоудерживающей стенки и передающие ее непосредственно опорным частям.

3. Вертикальные опорные фермы затвора с хвостовыми для противовеса частями.

4. Поперечные связи между фермами порталов и связи между их укосинами.

Водоудерживающая стенка предположена из швеллеров № 16, изогнутых по дуге круга и расставленных на расстояниях 0,815 м ось от оси. Поверху и понизу обрешетины скреплены продольными швеллерами того же номера.

Обшивка плоская из листового железа и крепится со стороны напора; горизонтальными швами обшивка подразделена на три яруса с листами, толщиной 7,9 и 10 мм. Предусмотрены также и вертикальные швы обшивки. Как горизонтальные швы, так и вертикальные перекрыты парными накладками.

Внизу стенка заканчивается фасонной стальной отливкой, опирающейся на плоскость флютбета, при опущенном щите.

Фермы верхнего и нижнего порталов состоят из решетчатого ригеля и двух решетчатых ног, образующих рамную конструкцию.

Ферма ригеля верхнего портала имеет верхний пояс таврового сечения, состоящего из листа 300 · 8, двух уголков 75 · 75 · 8 и поясного листа 170 · 9; нижний пояс из двух уголков 70 · 70 · 8 и заполнение—из стоек и нисходящих раскосов.

Нога портала образована стойкой, укосиной и заполнением. Стойка и укосина крестового сечения из четырех уголков 70 · 70 · 8; оси их сходятся в центре вращения затвора.

Нижний портал отличается лишь сечением верхнего пояса фермы, состоящего из листа 350 · 10, двух уголков 100 · 100 · 10 и поясного листа 220 · 9.

Сжимающее усилие укосины посредством особой пятки передается на специальный выступ фасонной стальной отливки, образующей опорную цапфу затвора, и далее опорным частям.

Вертикальные опорные фермы затвора образованы стойками ног верхнего и нижнего порталов и заполнением между ними.

Плоскость опорной фермы расположена на расстоянии 0,165 м от боковой плоскости бычка.

Когда затвор поднят, большая часть его веса передается на опорные фермы, кои благодаря наличию противовеса работают почти в условиях консолей.

В виду этого сквозное заполнение опорной фермы на протяжении примерно 5 м до цапфы затвора усиливается двутавровой балкой со сплошной стенкою переменной высоты, зажатой между уголками стоек-лучей порталов.

Сечение балки: 4 ∠ 120 · 120 · 10, поясной лист 260 · 8 и вертикальная стенка $\delta = 10$, высотой возле цапфы затвора 1 200 мм.

Балка продолжается за пределы цапфы затвора, образуя хвостовую часть опорной фермы, и имеет на своем конце цапфу для

ноги противовеса. Расстояние между цапфами затвора и противовеса предположено 2,7 м.

Опорная ферма ограничена с верхней стороны кривым брусом—шпангоутом, каковой брус продолжен до отметки 538 м. Вместе с подкосом и легким решетчатым заполнением получается развитый вверх придаток фермы—боковое крыло.

Назначение крыла—поддерживать и направлять трос подъемного механизма, для чего шпангоут несет желоб из двух уголков 50 · 50 · 6.

Противовес. Для уменьшения подъемного усилия затвор снабжен противовесом, уравнивающим 70% веса затвора.

Противовес представляет собой клепанную ферму, втопленную в бетон. Высота фермы противовеса—1,495 м. Верхний пояс фермы коробчатого сечения из 2 [№ 18 и поясного листа 430 · 10; сечение нижнего пояса—2 [№ 20.

Ферма разбита на 10 панелей длиной 1,467 м каждая.

Заполнение составлено из стоек и нисходящих раскосов.

Крайние стойки фермы противовеса пропущены книзу и шарнирно соединены с хвостовыми частями опорных ферм.

Центр тяжести затвора, обе его опорные цапфы и обе опорные цапфы противовеса расположены в одной плоскости. Таким образом во всяком положении затвора соотношение плеч веса затвора и веса противовеса сохраняется постоянным, т. е. затвор уравновешен до одной и той же степени во всех его положениях.

Для возможности точной отрегулировки действия на всю систему противовеса последний составлен из двух частей: основной и привеска.

Основная часть идет по всему пролету и реализует 95% расчетной величины потребной мощности противовеса; привесок же идет на протяжении лишь половины пролета и реализует 5% расчетной мощности противовеса. Таким образом удаление привеска или увеличение его длины в два раза позволяет получить действительную мощность противовеса на 5% более или на 5% менее против расчетной его мощности.

Шарнирный параллелограм. Для того чтобы противовес при всех положениях затвора находился всегда в вертикальной плоскости, применен шарнирный параллелограм, каковой на каждом конце пролета образует следующие четыре элемента: хвостовая часть опорной вертикальной фермы затвора, опорная стойка противовеса, специальный тяг противовеса и особая колонка легкой конструкции, стоящая на площадке быка и приболченная к закладной металлической конструкции, поддерживающей ось вращения затвора.

Стороны означенного параллелограмма имеют длины 2,7 и 1,3 м.

Опорные цапфы затвора укреплены в стенках двух его опорных вертикальных ферм и покоятся на свешивающихся во внутрь пролета концах кованых стальных осей, неподвижно закрепленных во втопленных в тело быков клепанных закладных металлических конструкциях. Каждая цапфа затвора образована разъемным стаканом литой стали, обе половины коего сболчены с листами вертикальной опорной фермы. Круговой вырез в листах стенки опорной фермы должен быть обработан и точно пригнан к соответствующей поверхности отливки с тем, чтобы усилие от фермы затвора передавалось непосредственно с листов на отливку.

Для уменьшения трения в шейке цапфа снабжена бронзовым вкладышем.

Для того чтобы цапфа под влиянием силы распора не могла перемещаться вдоль по оси вращения затвора, по обе стороны от цапфы врезаны кольцевые муфты, препятствующие такому перемещению. Каждая кольцевая муфта составлена из двух полуциркульных половинок и крепится шурупами к оси.

Ось вращения затвора—из кованной стали, имеет круглое сечение, диаметром 230 мм и работает на изгиб в условиях двухконсольной балки, лежащей на двух опорах, расположенных на расстоянии по 330 мм от боковых стен быка; на свешивающиеся концы этой оси опираются цапфы затворов двух соседних пролетов.

Опоры для оси вращения затвора. Каждая из двух опор, поддерживающих ось вращения затвора на одном быке (или устье), состоит из вертикального листа $\delta = 14$ мм, склепанного с вертикальными и наклонными анкерами, втпленными в тело быка. В означенный вертикальный лист врезан фасонный стальной литой стакан для оси вращения затвора, при чем последняя заклинена в стакане двумя шпонками, а сам стакан заклинен в листе тоже двумя шпонками.

Вертикальный анкер имеет длину около 3,5 м; сечение его составлено из четырех уголков $120 \cdot 80 \cdot 10$; этот анкер снабжен внизу анкерной балкой двутаврового сечения, составленного из листа $300 \cdot 14$ мм и четырех уголков $90 \cdot 90 \cdot 9$.

Наклонный анкер имеет длину около 8 м; сечение составлено из 2 [№ 18; он заканчивается внизу анкерной балкой двутаврового сечения, состоящего из листа $300 \cdot 14$ мм и четырех уголков $80 \cdot 80 \cdot 10$. Два вертикальных анкера одного быка, равно как и два наклонных анкера того же быка, связаны между собою плоским решетчатым заполнением из распорок и перекрещивающихся диагоналей.

Боковое уплотнение принято пружинно-листового типа; главными составными элементами его являются:

1. Прижимаемая к стене быка, помощью пружин, бронзовая полоса, изогнутая по дуге сегмента и подвижно прикрепленная к затвору посредством круглых горизонтальных штырей.

2. Эластичный стальной листик, толщиной 1—1,5 мм, прикрепленный к затвору по дуге сегмента и прижимаемый давлением воды к бронзовой полосе. Бронзовая полоса имеет сечение $33 \cdot 12$ и прикручена к идущему на протяжении всей дуги сегментному железному кружальному ребру, сечением $20 \cdot 66$, покоящемуся на 10 круглых горизонтальных штырях, диаметром 26 мм, каковые имеют по две опоры в крайних шпангоутах водоудерживающей стенки и ввинчены в вышеозначенное кружальное ребро.

Каждая пара штырей имеет два ярма: одно—сечением $44 \cdot 6$ и другое— $44 \cdot 12$, в которые вставлены своими осевыми кончиками спиральные цилиндрические стальные пружины.

Самая нижняя пара штырей снабжена двумя пружинами, а каждая из остальных пар имеет по одной пружине, так что всего пружин поставлено 6 штук. Все пружины совершенно одинаковые. Заднее ярмо упирается в шпангоут затвора, а переднее прижимается пружиной к проходящему сквозь штырь шплинту. Таким образом все штыри выжимаются пружинами по направлению к стене быка.

Ход пружины принят по 7 мм вперед и 7 мм назад от проектного их состояния, чтобы дать затвору возможность свободно удлиняться и укорачиваться при изменениях температуры.

При подъеме и опускании затвора бронзовая полоса скользит по укрепленной на стене быка стальной плите. Для монтажа или смены пружин оба ярма каждой пары штырей имеют специальные болтики $d = 6$ мм.

Мощность пружины определена с таким расчетом, чтобы бронзовая полоса могла перерезать стремящуюся прорваться между ней и стеной быка струю воды.

Горизонтальное уплотнение затвора. Достигается путем соприкосновения нижнего стального ребра затвора со слоем белого металла, залитого ласточкиным хвостом в стальную флютбетную плиту.

Подъем и опускание затвора производятся за два стальные троса $d = 26$ мм, прикрепленные к крайним шпангоутам водоудержательной стенки внизу затвора и огибающие дугу сегмента. Тросы приняты с 12-кратным запасом прочности.

В заключение надлежит отметить следующие весьма существенные преимущества затвора рассматриваемого типа по сравнению со щитовыми балочными затворами обычной конструкции.

1. В быках не имеется никаких пазов, и стены быков на всем их протяжении представляют из себя совершенно гладкие поверхности.

2. Тяговое усилие для подъема затвора имеет весьма небольшую величину, благодаря чему служебный мост получается очень легкой конструкции, а вес механизмов тоже значительно уменьшается.

3. Поднятый затвор помещается рядом со служебным мостом, а не под этим мостом, вследствие чего весьма значительно уменьшается потребная высота быков.

4. Толщина быков сравнительно невелика — всего 2,1 м, что объясняется, во-первых, отсутствием пазов и, во-вторых, тем еще обстоятельством, что боковому опрокидыванию быков от распора порталов затвора сопротивляется не только вес самих быков, но также и большое вертикальное давление на шейки оси вращения затвора от противовеса и собственного веса затвора.

5. В поднятом положении затвор открыт со всех сторон и легко доступен осмотру, окраске и ремонту.

Основные данные к расчету затвора.

Отметка флютбета—532 м.

Отметка нормального горизонта воды—534,5 м.

Отметка наивысшего горизонта воды—537 м.

Расчетный горизонт принят на отметке 534,75 м.

Расчетный напор

$$H = 534,75 - \overset{532}{522} = 2,75 \text{ м.}$$

Отверстие в свету

$$L = 15 \text{ м.}$$

Ось вращения сегментного затвора располагаем на отметке 538 м.

Таким образом расстояние от оси шарнира до флютбета получается равным 6 м.

Водоудерживающая стенка затвора (ее смоченная поверхность) очерчена по дуге круга радиуса $R = 9,01$ м.

Водяная нагрузка на щит (рис. 214)

Вычисляем горизонтальное и вертикальное давления воды на щит.

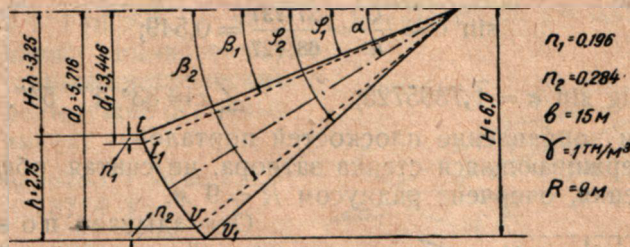


Рис. 214.

Горизонтальное давление воды на щит:

$$P = \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot L}{2} = \frac{1 \cdot 2.75^2 \cdot 15}{2} = 56,719 \text{ т.}$$

Вертикальное давление на щит находим по формуле¹:

$$Q = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot L}{2} \left[(\varphi_2 - \varphi_1) + 2 \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 - 0,5 \cdot (\sin 2 \varphi_1 + \sin 2 \varphi_2) \right]$$

Обозначения на рис. 214.

Производим вспомогательные вычисления.

$$\sin \varphi_1 = \frac{H-h}{r} = \frac{3,25}{9,01} = 0,36071;$$

$$\lg \sin \varphi_1 = 1,5571582; \quad \angle \varphi_1 = 21^\circ 8' 38''.$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{H}{r} = \frac{6}{9,01} = 0,66593;$$

$$\lg \sin \varphi_2 = 1,8234286; \quad \angle \varphi_2 = 41^\circ 45' 14'';$$

$$\lg \cos \varphi_2 = \lg \cos 41^\circ 45' 14'' = \overline{1},87275.$$

$$\cos \varphi_2 = 0,74602;$$

$$\lg \sin 2 \varphi_1 = \lg \sin 42^\circ 17' 16'' = \overline{1},8279213.$$

$$\sin 2 \varphi_1 = 0,67286;$$

$$\lg \sin 2 \varphi_2 = \lg \sin 83^\circ 30' 28'' = \overline{1},9972060.$$

$$\sin 2 \varphi_2 = 0,99359;$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 41^\circ 45' 14'' - 21^\circ 8' 38'' = 20^\circ 36' 36''.$$

В радианах:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \pi \frac{20^\circ 36' 36''}{180^\circ} = 3,14159 \frac{74196}{648000} = 0,35971.$$

$$Q = \frac{1 \cdot 9,01^2 \cdot 15}{2} \left[0,35971 + 2 \cdot 0,36071 \cdot 0,74602 - 0,5 (0,67826 + + 0,99359) \right] = 608,855 (0,35971 + 0,53819 - 0,83592) = 608,855 \cdot 0,06198 = 37,737 \text{ т.}$$

¹ См. „Гидравлический справочник“ проф. Павловского.

Равнодействующая давления воды:

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{59,719^2 + 37,737^2} = \sqrt{4641,12613} = 68,127 \text{ м.}$$

Находим угол α , составляемый направлением равнодействующей с горизонтом:

$$\sin \alpha = \frac{Q}{R} = \frac{37,737}{68,127} = 0,549;$$

$$\lg \sin \alpha = \bar{1},7395723; \quad \angle \alpha = 33^\circ 17' 54''.$$

Выясним направление плоскостей порталов.

Водоудерживающаяся стенка затвора, не считая обшивки переменного сечения, очерчена радиусом $R = 9 \text{ м}$.

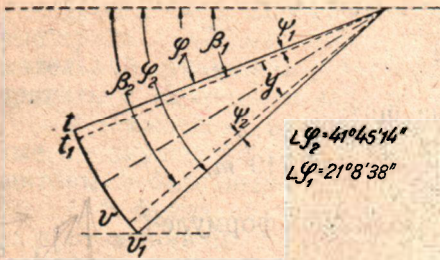


Рис. 215.

Откладываем по этой дуге от нижней ее точки—от плоскости флютбета—величину $0,365 \text{ м}$. От верхней ее точки—от отметки $534,75 \text{ м}$ —откладываем величину $0,215 \text{ м}$. Соединяя полученные точки с центром вращения затвора, получаем направления плоскостей порталов затвора. Означенные величины $5,365 \text{ м}$ внизу и $0,215 \text{ м}$ вверху приняты по конструктивным соображениям.

Вычисляем величины: d_1, d_2, n_1 и n_2 (рис. 214).

$$d_1 = n_1 \sin \beta_1 = 9 \sin 22^\circ 30' 45''; \lg d_1 = 0,5373108; d_1 = 3,446 \text{ м.}$$

$$d_2 = n_2 \sin \beta_2 = 9 \sin 39^\circ 25' 50''; \lg d_2 = 0,7585; d_2 = 5,716 \text{ м.}$$

$$n_1 = 6 - 5,716 = 0,284 \text{ м}; n_2 = 3,446 - 3,25 = 0,196 \text{ м.}$$

Для того чтобы иметь возможность разложить равнодействующую давления воды на направление верхнего и нижнего порталов, определяем величины вспомогательных элементов. Обозначения приведены на рис. 215.

$$vv_1 = 0,365 \text{ м}; \quad r = 9 \text{ м.}$$

$$\angle \psi_2 = \frac{0,365 \cdot 180^\circ}{3,142 \cdot 9} = \frac{0,365 \cdot 648000''}{3,142 \cdot 9} = 8364'' = 2^\circ 19' 24'';$$

$$\angle \beta_2 = \angle \varphi_2 - \angle \psi_2 = 41^\circ 45' 14'' - 2^\circ 19' 24'' = 39^\circ 25' 50'';$$

$$\angle \psi_1 = \frac{0,215 \cdot 648000''}{3,142 \cdot 9} = 4927'' = 1^\circ 21' 7'';$$

$$\angle \beta_1 = \angle \varphi_1 + \angle \psi_1 = 21^\circ 8' 38'' + 1^\circ 22' 7'' = 22^\circ 30' 45'';$$

$$\angle \gamma = \angle \beta_2 - \angle \beta_1 = 39^\circ 25' 50'' - 22^\circ 30' 45'' = 16^\circ 55' 5''.$$

Разлагаем величину равнодействующей давления воды на направление верхнего и нижнего порталов (рис. 216).

Величину давления воды на нижний портал X и величину давления на верхний портал Y определяем, решая нижеследующие два уравнения с двумя неизвестными:

$$\left. \begin{aligned} X \cos \delta + Y \cos \gamma &= R \\ X \sin \delta &= Y \sin \gamma \end{aligned} \right\} \text{ x).}$$

$$\begin{aligned} \angle \delta &= \angle \beta_2 - \angle \alpha = 39^\circ 25' 50'' - 33^\circ 17' 54'' = 6^\circ 7' 56''; \\ \angle \gamma &= \angle \alpha - \angle \beta = 33^\circ 17' 54'' - 22^\circ 30' 45'' = 10^\circ 47' 9''; \\ \lg \cos \delta &= \lg \cos 6^\circ 7' 56'' = \overline{1,9975083}; \cos \delta = 0,99428; \\ \lg \sin \delta &= \lg \sin 6^\circ 7' 56'' = \overline{1,0286266}; \sin \delta = 0,10681; \\ \lg \cos \gamma &= \lg \cos 10^\circ 47' 9'' = \overline{1,9922590}; \cos \gamma = 0,98233; \\ \lg \sin \gamma &= \lg \sin 10^\circ 47' 9'' = \overline{1,2721629}; \sin \gamma = 0,18714. \end{aligned}$$

Подставляя вычисленные значения тригонометрических величин в предыдущие основные уравнения, имеем:

$$\begin{aligned} 0,99428 X + 0,98233 Y &= 68,127; \\ 0,10681 X &= 0,18714 Y; \end{aligned}$$

$$X = \frac{0,18714}{0,10681} Y = 1,752 Y.$$

$$(0,99428 \cdot 1,752) Y + 0,98233 Y = 2,724 Y = 68,127.$$

$$Y = \frac{68,127}{2,724} = 25,01 \text{ м} \text{ — давление воды на верхний портал.}$$

$$X = 1,752 \cdot 25,01 = 43,818 \text{ м} \text{ — давление воды на нижний портал.}$$

Давление воды на 1 п. м нижнего портала:

$$q_1 = \frac{X}{15} = \frac{43,818}{15} = 2,9212 \text{ м.}$$

Давление воды на 1 п. м верхнего портала:

$$q_2 = \frac{Y}{15} = \frac{25,01}{15} = 1,667 \text{ м.}$$

Расчет обшивки. Обшивку рассчитываем по формуле Баха как пластинку, опертую по двум сторонам:

$$\delta = l \sqrt{\frac{\varphi}{2} \cdot \frac{q}{\sigma}}, \text{ где}$$

δ — толщина обшивки в сантиметрах;

φ — коэффициент для случая полной заделки, равный 0,75;

l — расчетный пролет пластины, равный расстоянию между обрешетинами — 81,5 см;

q — нагрузка на 1 см² поверхности настила.

σ — допускаемое напряжение — принято 1 200 кг/см².

Обшивке даем горизонтальные швы и поверяем прочность обшивки в местах изменения ее толщины для напоров $h_1 = 1,21 \text{ м}$;

$$h_2 = 2,34 \text{ м и } h_3 = 2,75 \text{ м.}$$

На ржавление и истирание принимаем запас 2 мм.

$$\delta_1 = 81,5 \cdot \sqrt{\frac{0,375 \cdot 0,121}{1200}} = \frac{81,5}{34,6} \sqrt{0,0454} = 0,502 \text{ см; принимаем } 0,7 \text{ см.}$$

$$\delta_2 = \frac{81,5}{34,6} \sqrt{0,375 \cdot 0,234} = 2,355 \sqrt{0,0878} = 0,698 \text{ см; принимаем } 0,9 \text{ см.}$$

$$\delta_3 = 2,355 \sqrt{0,375 \cdot 0,275} = 2,355 \sqrt{0,1032} = 0,756 \text{ см; принимаем } 1 \text{ см.}$$

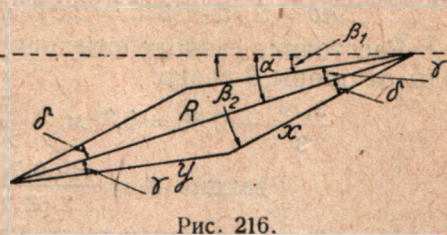


Рис. 216.

Расчет обрешетки (рис. 217). Обрешетину рассчитываем как двухконсольную балку на двух опорах, нагруженную давлением воды, распределенным по закону треугольника.

Расстояние между обрешетинами $b = 0,815$ м.

Нагрузка на обрешетину:

$$P = \frac{2,75 \cdot 3,07}{2} \cdot 0,815 = 3,44 \text{ т};$$

$$ab = 2,75 \cdot 0,815 = 2,24 \text{ м.}$$

Расстояние равнодействующей давления воды от опоры B равно:

$$\frac{3,19}{3} - 0,36 = 0,7 \text{ м.}$$

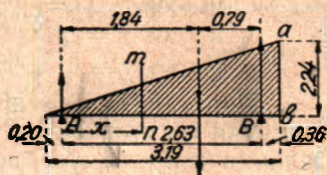


Рис. 217.

$$\text{Реакция } A = \frac{P \cdot 0,7}{2,63} = \frac{3,44 \cdot 0,7}{2,63} = 0,915 \text{ т.}$$

Момент в сечении m :

$$0,915x - 0,117(x + 0,2)^2 = -0,117x^2 - 0,0702x^2 + 0,901x.$$

Приравняв производную от изгибающего момента 0, найдем сечение с максимальным изгибающим моментом:

$$\frac{dM}{dx} = -0,351x^2 - 0,14x + 0,901 = 0;$$

$$0,351x^2 + 0,140x - 0,901 = 0;$$

$$x = \frac{-0,140 \pm \sqrt{0,140^2 + 4 \cdot 0,351 \cdot 0,901}}{0,702} = \frac{-0,140 + 1,116}{0,702} = \frac{0,976}{0,702} = 1,390 \text{ м.}$$

$$M_{\max} = (0,915 \cdot 1,39) - 0,117(1,39 + 0,2)^2 = 0,802 \text{ т/м} = 80\,200 \text{ кг/см.}$$

Момент инерции J (№ 16) = 954 см⁴.

Момент заклепочных отверстий равен:

$$\frac{1,6 \cdot 1,1 \cdot 8^2 \cdot 2}{j_{\text{netto}}} = 225.$$

$$j_{\text{netto}} = 739 \text{ см.}$$

$$W = \frac{739}{8} = 92,4 \text{ см}^3.$$

$$\delta = \frac{M}{W} = \frac{80\,200}{92,4} = 868 \text{ кг/см}^2.$$

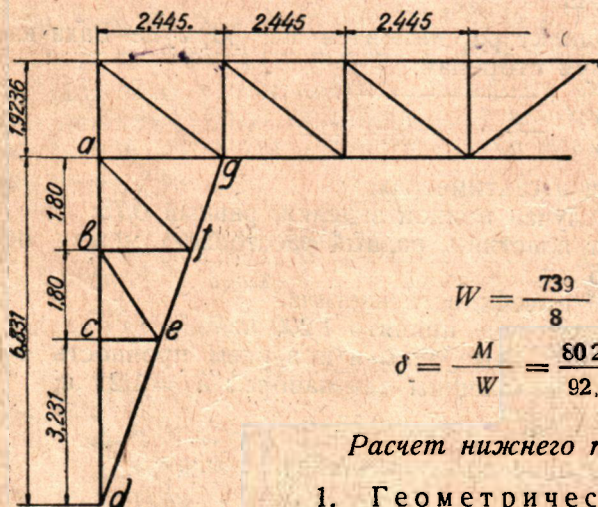


Рис. 218.

Расчет нижнего портала (рис. 218)

1. Геометрические размеры. Длина панелей верхнего и нижнего поясов:

$$\frac{15 - 0,33}{8} = 2,445 \text{ м.}$$

Длина стоек:

$$2 - 0,0764 = 1,9236 \text{ м.}$$

7,64 см — расстояние центра тяжести верхнего пояса от обушка поясного уголка.

Длина раскосов:

$$\sqrt{2,445^2 + 1,9236^2} = 3,111 \text{ м.}$$

Длина стоек ноги:

$$ab = bc = 1,8 \text{ м;}$$

$$cd = 3,231 \text{ м.}$$

Длина укосины:

$$dg = \sqrt{2,445^2 + 6,831^2} = 7,255 \text{ м.}$$

$$ed = \frac{7,255 \cdot 3,231}{6,831} = 3,417 \text{ м.}$$

$$fd = \frac{7,255 \cdot 5,031}{6,831} = 5,321 \text{ м.}$$

$$fd = cf = 7,225 - 5,321 = 1,904 \text{ м.}$$

$$bf = \frac{2,445}{6,831} \cdot 5,031 = 1,801 \text{ м.}$$

$$ce = \frac{2,445 \cdot 3,231}{6,831} = 1,156 \text{ м.}$$

2. Нагрузка

Давление на 1 м портала:

$$q = 2,9212 \text{ т.}$$

Распределяя указанное давление по узлам верхнего пояса, имеем, что давление в средних узлах:

$$P = 2,9212 \cdot 2,445 = 7,14 \text{ т.}$$

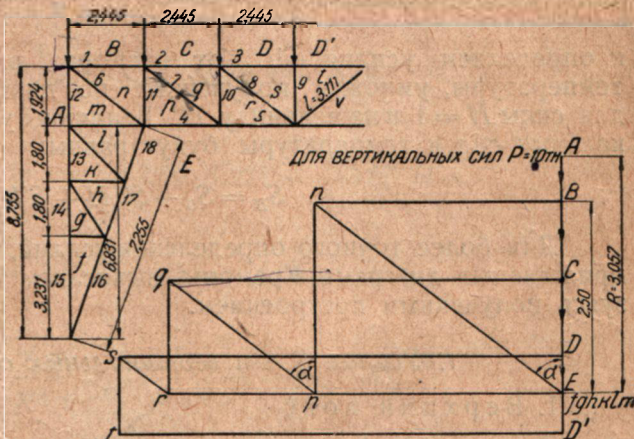
Давление в крайних узлах:

$$P' = 2,9212 \cdot \left(\frac{2,445}{2} + 0,165 \right) = 2,912 \cdot 1,3875 = 4,05 \text{ т.}$$

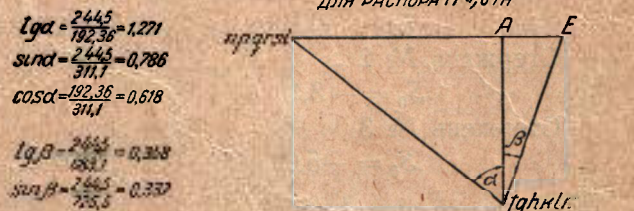
3. Определение усилий в стержнях (рис. 219)

Портал представляет собой единой статически неопределимую систему. Так как обе опоры неподвижны, то под действием вертикальных нагрузок появятся не только вертикальные, но и горизонтальные реакции. Отбрасывая лишние закрепления, заменяем их гори-

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ КРЕМОНЫ



ДЛЯ РАСПОРА Н Ч, ОТН



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2,445}{192,36} = 1,271$$

$$\sin \alpha = \frac{2,445}{311,7} = 0,786$$

$$\cos \alpha = \frac{192,36}{311,1} = 0,618$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2,445}{183,1} = 0,368$$

$$\sin \beta = \frac{2,445}{755,5} = 0,330$$

$$\cos \beta = \frac{683,1}{725,5} = 0,942$$

Рис. 219.

горизонтальными силами и рассматриваем два состояния системы; построением двух диаграмм Кремоны находим усилия S_0 , соответствующие заданным нагрузкам, и усилиям S' , вызываемые силами H . Диаграммы строим для вертикальных сил, приложенных в узлах верхнего пояса и равных 1 т (в крайних узлах силы равны $\frac{1 \cdot 3375}{2,445} = 0,567 \text{ т}$), и для горизонтальных сил $H = 1 \text{ т}$, приложенных у опор портала и направленных во взаимно-противоположные стороны.

Применяя начало намеченной работы, определяем величину сил H из уравнения:

$$H = \frac{\sum \frac{S_0 S^1 l}{E F}}{\sum \frac{S^2 l}{E F}}$$

Для получения усилий от совместного действия нагрузки P и сил H нужно к усилиям от вертикальной нагрузки S_0 прибавить усилия $S^1 H$ от действия двух взаимно-противоположных сил H .

Для получения усилий от температуры, при колебании $\pm 40^\circ$, вычисляем величину распора:

$$H_t = \frac{d t L}{\sum \frac{S^2 l}{E F}} = \frac{d t L E}{\sum \frac{S^1 l}{F}}$$

и определяем усилия $S^1 H_t$ от распора, вызываемого колебанием температуры, умножая полученные по диаграмме Кремоны усилия для силы $H = 1 \text{ т}$ на величину H_t . Величины усилий от действия вертикальных сил и температуры будут равны:

$$S_{\text{II}} = S_0 + S' H + S^1 H_t$$

Для более точного определения усилий, полученных построением прилагаемых диаграмм Кремоны, вычисляем их аналитически, пользуясь полученным построением.

1. Усилия S_0 от вертикальных сил $P = 1 \text{ т}$

1. Верхний пояс

Стержень № 1

$$S_0 = -2,5 \operatorname{tg} \alpha = -2,5 \cdot 1,271 = -3,18 \text{ т.}$$

Стержень № 2

$$S_0 = -3,18 + (-1,5 \cdot 1,271) = -5,09 \text{ т.}$$

Стержень № 3

$$S_0 = -5,09 + (-0,5 \cdot 1,271) = -5,73 \text{ т.}$$

2. Нижний пояс

Стержень № 4

$$S_0 = +3,18 \text{ т.}$$

Стержень № 5

$$S_0 = +5,09 \text{ т.}$$

3. Раскосы

Стержень № 6

$$S_0 = + \frac{2,5}{\cos \alpha} = + \frac{2,5}{0,618} = + 4,05 \text{ m.}$$

Стержень № 7

$$S_0 = + \frac{1,5}{0,618} = + 2,42 \text{ m.}$$

Стержень № 8

$$S_0 = + \frac{0,5}{0,618} = + 0,81 \text{ m.}$$

4. Стойки

$$\text{Стержень № 9} \quad S_0 = -1 \text{ m.}$$

$$\text{„ № 10} \quad S_0 = -1,5 \text{ m.}$$

$$\text{„ № 11} \quad S_0 = -2,5 \text{ m.}$$

$$\text{„ № 12} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} S_0 = -3,067 \text{ m.}$$

$$\text{„ № 13} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$\text{„ № 14} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$\text{„ № 15} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\}$$

5. Стержни №№ 16, 17 и 18

$$S_0 = 0.$$

II. Усилия S' от горизонтальных сил $H = 1,0 \text{ m}$

1. Стойки №№ 12, 13, 14 и 15

$$S' = + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} = + \frac{1}{0,358} = + 2,79 \text{ m.}$$

2. Верхний пояс

Стержни №№ 1, 2 и 3

$$S' = + 2,79 \operatorname{tg} \alpha = + 2,79 \cdot 1,271 = + 3,55 \text{ m.}$$

3. Нижний пояс

Стержни №№ 4 и 5

$$S' = -(3,55 + 1) = -4,55 \text{ m.}$$

4. Раскосы

Стержень № 6

$$S' = + \frac{2,79}{\cos \alpha} = - \frac{2,79}{0,618} = -4,52 \text{ m.}$$

Стержни №№ 7 и 8

$$S' = 0.$$

5. Стойки №№ 9 10 и 11

$$S' = 0.$$

6. Стержни №№ 16, 17 и 18

$$S' = \frac{1}{\sin \beta} = \frac{1}{0,337} = -2,96 \text{ m.}$$

Определяем величину распора от температуры:

$$\alpha = 0,000012; \quad E = 2,1 \cdot 10^6;$$

$$l = 15 \text{ м}; \quad t = 40^\circ.$$

$$H_t = \frac{\alpha t l}{\sum \frac{s^3 \cdot l}{EF}} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,10 \cdot 10^{+6} \cdot 15 \cdot 1^2 \cdot 40}{11,24 \cdot 10^6} = 1,345 \text{ m.}$$

Все данные для вычисления усилий в стержнях приводим в следующей таблице:

НИЖНИЙ ПОРТВАЛ

№ стержней	l см	F см ²	S ₀ P=1 м	S ₀ P=7,14 м	S'	S ₀ S' F · 10 ³	S · l F · 10 ³	H = $\frac{\sum \frac{S_0 S'}{E F}}{\sum \frac{S' l}{E F}}$	S'H	S _I = -S ₀ +S'H	H _i	S'H _i	S _{II} = S ₀ + S'H + S'H _i
1	244,50	93,14	-3,180	-22,710	+3,55	-2,12	+0,331		+21,23	-1,48		+4,77	+3,29
2	244,50	93,14	-5,090	-36,340	+3,55	-3,38	+0,331		+21,23	-15,11		+4,77	-10,34
3	244,50	93,14	-5,730	-40,910	+3,55	-3,81	+0,331		+21,23	-19,68		+4,77	-14,91
4	244,50	21,28	+3,180	+22,710	-4,55	-11,87	+2,379		-27,20	-4,49		-6,12	-10,61
5	244,50	21,28	+5,090	+36,270	4,55	-19,11	+2,379		-27,20	+9,07		-6,12	+2,95
6	311,10	21,28	+4,050	+28,920	-4,52	-19,02	+2,987		-27,03	+1,89		-6,08	-4,19
7	311,10	21,28	+2,420	+17,280	0	0	0		0	+17,28		0	+17,28
8	311,10	14,56	+0,810	+5,780	0	0	0		0	+5,78		0	+5,78
9	192,36	—	-1,000	-7,140	0	0	0		0	-7,14		0	-7,14
10	192,36	—	-1,500	-10,471	0	0	0		0	-10,71		0	-10,71
11	192,36	—	-2,500	-17,850	0	0	0		0	-17,85		0	-17,85
12	192,35	42,56	-3,067	-21,900	+2,79	+2,75	+0,352	5,979	+16,68	-5,22		+3,75	-1,47
13	180,00	42,56	-3,067	-21,900	+2,79	+2,58	+0,329		+16,68	-5,22		+3,75	-1,47
14	180,00	120,00	-3,067	-21,900	+2,79	-0,91	+0,117		+16,68	-5,22		+3,75	-1,47
15	323,10	120,00	-3,067	-21,900	+2,79	-1,65	+0,210		+16,68	-5,22		+3,75	-1,47
16	351,60	42,56	0	0	-2,96	0	0,724		-17,70	-17,70		-3,98	-21,68
17	186,90	42,56	0	0	-2,96	0	+0,385		-17,70	-17,70		-3,98	-21,63
18	186,90	42,56	0	0	-2,96	0	+0,385		-17,70	-17,70		-3,98	-21,68

III. Подбор сечений

Верхний пояс (рис. 220)

$$\begin{aligned} \text{Площадь горизонтального листа} &= 22 \cdot 0,9 = 19,8 \text{ см}^2 \\ \text{, } 2 \text{ } \sqsubset 100 \cdot 100 \cdot 10 &= 19,17 \cdot 2 = 38,34 \text{ см}^2 \\ \text{, вертикального листа} &= 35 \cdot 1 = 35 \text{ см}^2 \\ \omega_{\text{brutto}} &= 93,14 \text{ см}^2 \end{aligned}$$

Площадь заклепочных отверстий:

$$2 \cdot 1,6 \cdot 1,9 + 3 \cdot 1,6 + 4 \cdot 1,6 \cdot 1 = 17,28 \text{ см}^2$$

$$\omega_{\text{netto}} = 75,86 \text{ см}^2$$

Статический момент относительно оси 0—0:

$$S_{0-0_1} = (38,34 \cdot 2,82) + (35 \cdot 17,5) - (19,8 \cdot 0,45) = 108,12 + 612,5 - 8,91 = 711,71 \text{ см}^2$$

Расстояние нейтральной оси относительно оси 0—0:

$$Z = \frac{S_{0-0_1}}{\omega_{\text{brutto}}} = \frac{711,71}{93,14} = 7,64 \text{ см.}$$

Определяем момент инерции сечения относительно нейтральной оси X—X.

$$\begin{aligned} \text{Момент инерции горизонтального листа} &= 18,9 \cdot 8,09^2 = 1237 \text{ см}^4 \\ \text{, } 2 \text{ } \sqsubset 100 \cdot 100 \cdot 10 &= (2 \cdot 176,3) + (38,34 \cdot 4,82^2) = \\ &= 1243,3 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Момент инерции вертикального листа} &= \frac{1 \cdot 35^3}{12} + 35 \cdot 9,86^2 = \\ &= 6975,3 \text{ см}^4. \\ J_{\text{brutto}} &= 9455,6 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Момент инерции заклепочных отверстий:

$$\begin{aligned} (6,08 \cdot 7,59^2) + (4,8 \cdot 2,14^2) \pm 1,6 (24,36^2 + 18,36^2 + 12,36^2 + 6,36^2) = \\ = 350,3 + 22 + 1,6 (593,4 + 357,1 + 152,8 + 40,4) = 2170,2 \text{ см}^4 \\ J_{\text{netto}} = 7285,4 \text{ см}^4 \end{aligned}$$

$$W_{\text{min}} = \frac{7285,4}{27,36} = 266,3 \text{ см}^3.$$

$$r = \sqrt{\frac{J_{\text{brutto}}}{\omega_{\text{brutto}}}} = \sqrt{\frac{9455,6}{93,14}} = \sqrt{102,51} = 10,12 \text{ см.}$$

Свободная длина равна длине панели (244,5 см).

$$\frac{l}{r} = \frac{244,5}{10,12} = 24,2.$$

Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения на продольный изгиб, по формуле Навье, $\varphi = 0,96$.Определим коэффициент φ для продольного изгиба в плоскости 0—0. Момент инерции сечения относительно оси 0'—0'_1 (рис. 221):

$$J_{\text{горизонтального листа}} = \frac{0,9 \cdot 22^3}{12} = 798,6 \text{ см}^4.$$

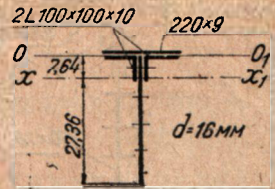


Рис. 220.

$$J - \lfloor 2100 \cdot 100 \cdot 10 = (2 \cdot 176,3) + (38,34 \cdot 3,32) = 422,6$$

$$J_{\text{brutto}} = 1221,2 \text{ см}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{1221,2}{93,14}} = \sqrt{13,111} = 3,62 \text{ см.}$$

Свободная длина в этом направлении равна расстоянию между обрешетинами—81,5 см.

$$\frac{l}{r} = \frac{81,5}{3,62} = 22,6; \varphi = 0,96.$$

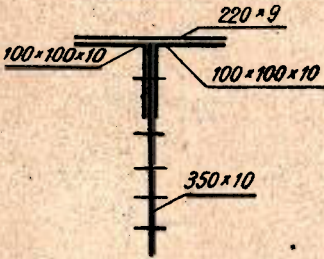


Рис. 221.

Следовательно коэффициент φ имеет одну и ту же величину для обоих рассмотренных случаев.

Сечение верхнего пояса, помимо сжатия с продольным изгибом, подвергается еще действию местного изгиба от давления воды, передающегося на пояс через обрешетину.

Определяем величину момента от местного изгиба (рис. 222).

$$P = 2,9212 \cdot 0,815 = 2,381 \text{ т.}$$

$$M = 2,381 \cdot 0,815 = 1,94 \text{ т/м.}$$

$$\text{Расчетное усилие } S = -19,68 \text{ т.}$$

Напряжение верхнего пояса:

$$\sigma = \frac{S}{\varphi \cdot \omega_{\text{netto}}} + \frac{M}{W} = \frac{19680}{0,96 \cdot 75,86} + \frac{194000}{266,3} = 270 + 729 = 999 \text{ кг/см}^2.$$

Нижний пояс (рис. 223)

$$2 \lfloor 70 \cdot 70 \cdot 8;$$

$$\omega_{\text{netto}} = 18,72 \text{ см}^2.$$

Расчетное усилие $S = +9,07 \text{ т.}$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{S}{\omega} = 485 \text{ кг/см}^2.$$

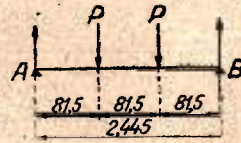


Рис. 222.

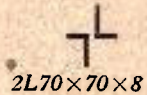


Рис. 223.

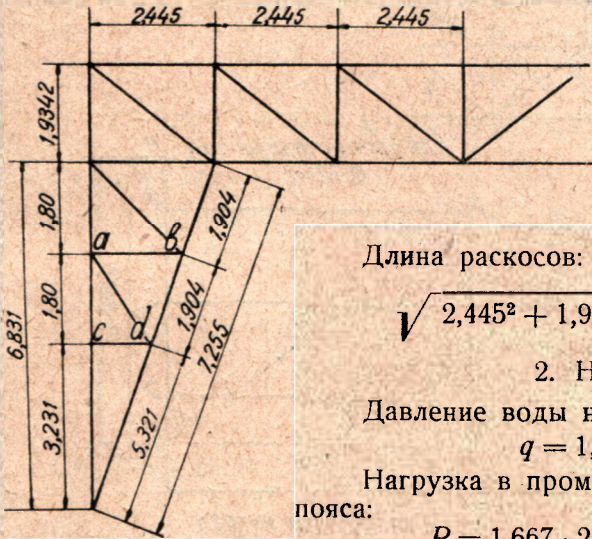
Из конструктивных соображений для удобства насаживания уголков стоек взято $2 \lfloor 70 \cdot 70 \cdot 8$.

Стойки и раскосы

№ стержней	Сечение	Расчетное усилие в т	ω_{netto} см ²	Радиус инерции r	Свободн. длина l см	Коэффициент φ	Напряжение σ кг/см ²	Число односрезных заклепок $d = 16 \text{ мм}$
11	4L 65 · 65 · 7	—17,85	30,24	3,06	192,36	0,76	776	12
10	2L 70 · 70 · 8	—10,71	18,72	2,66	192,36	0,70	821	7
9	2L 65 · 65 · 7	— 7,14	15,12	2,47	192,36	0,67	704	5
6	2L 70 · 70 · 8	— 4,19	16,72	2,11	311,1	0,37	675	3

Раскосы

№№ раскосов	Сечение	Расчетное усилие в т	$\omega_{\text{плето}}$ см ²	Напряже-ние δ кг/см ²	Число одно-срезных закле-пок $d = 16$ мм	Примеча-ние
7	Л 70 · 70 · 8	17,28	18,72	922	11	
8	Л 55 · 55 · 7	5,74	12,32	459	4	



Верхний портал
(рис. 224)

1. Геометрические размеры

$ab = 1,801$ м;

$cd = 1,156$ м.

Длина раскосов:

$$\sqrt{2,445^2 + 1,9342^2} = 3,1175 \text{ м.}$$

2. Нагрузка

Давление воды на 1 п. м портала:

$q = 1,667$ т.

Нагрузка в промежуточных узлах верхнего пояса:

$P = 1,667 \cdot 2,445 = 4,08$ т.

В крайних узлах:

$P' = 1,667 \cdot 1,3875 = 2,31$ т.

3. Определение усилий в стержнях (рис. 225)

Определение усилий производится аналогично тому, как это сделано для нижнего портала.

1. Усилия S_0 от вертикальных сил $P = 1$ т

1. Верхний пояс

Стержень № 1:

$S_0 = -2,5 \cdot 1,264 = -3,16$ т.

Стержень № 2:

$S_0 = -3,16 + (-1,5 \cdot 1,264) = -5,06$ т.

Стержень № 3:

$S_0 = -5,06 + (-0,5 \cdot 1,264) = -5,69$ т.

2. Нижний пояс

Стержень № 4:

$S_0 = +3,16$ т.

Рис. 224.

Стержень № 5:

$$S_0 = + 5,06 \text{ т.}$$

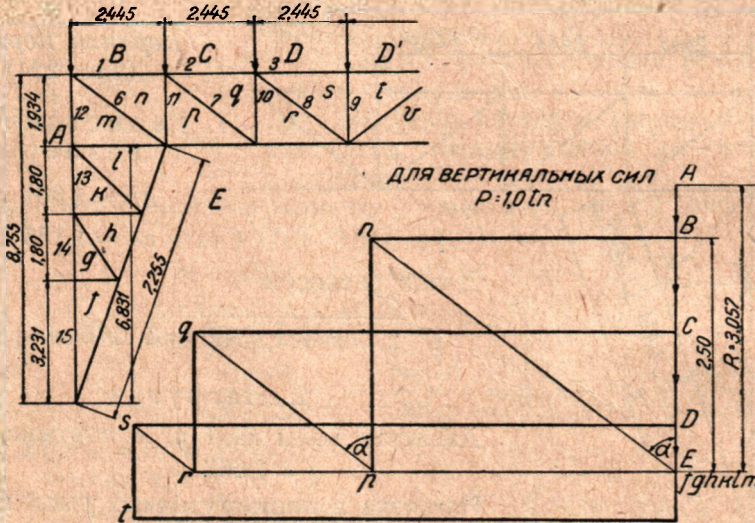
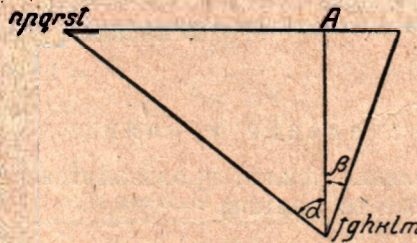
3. Раскосы

Стержень № 6:

$$S_0 = + \frac{2,5}{\cos \alpha} = + \frac{2,5}{0,62} = + 4,03 \text{ т.}$$

ВЕРХНИЙ ПОРТАЛ

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ КРЕМОНЫ

ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИЛ
 $P=1,0 \text{ т}$ ДЛЯ РАСПОРА $H=1,0 \text{ т}$ 

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2,445}{1,934} = 1,264$$

$$\sin \alpha = \frac{2,445}{3,1175} = 0,784$$

$$\cos \alpha = \frac{1,934}{3,1175} = 0,620$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2,445}{6,837} = 0,358$$

$$\sin \beta = \frac{2,445}{7,255} = 0,337$$

$$\cos \beta = \frac{6,837}{7,255} = 0,942$$

Рис. 225.

Стержень № 7:

$$S_0 = + \frac{1,5}{0,62} = + 2,42 \text{ т}$$

Стержень № 8:

$$S_0 = + \frac{0,5}{0,62} = + 0,8 \text{ т.}$$

4. Стойки

Стержень № 9:

$$S_0 = - 1 \text{ т.}$$

Стержень № 10:

$$S_0 = - 1,5 \text{ т.}$$

Стержень № 11:

$$S_0 = -2,5 \text{ м.}$$

Стержни №№ 12, 13, 14 и 15:

$$S_0 = -3,067.$$

5. Стержни №№ 16, 17 и 18:

$$S_0 = 0.$$

II. Усилие S' от горизонтальных сил $H = 1 \text{ м}$

1. Стойки №№ 12, 13, 14 и 15.

$$S' = + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} = + \frac{1}{0,358} = + 2,79 \text{ м.}$$

2. Верхний пояс

Стержни №№ 1, 2 и 3:

$$S' = + 2,79 \operatorname{tg} \alpha = + 2,79 \cdot 1,264 = + 3,53 \text{ м.}$$

3. Нижний пояс

Стержни №№ 4 и 5:

$$S' = -(3,53 + 1) = -4,53 \text{ м.}$$

4. Раскосы

Стержень № 6:

$$S' = - \frac{2,79}{\cos \alpha} = - \frac{2,79}{0,62} = - 4,5 \text{ м.}$$

Стержни №№ 7 и 8:

$$S' = 0.$$

5. Стойки №№ 9, 10 и 12

$$S' = 0.$$

6. Стержни №№ 16, 17 и 18

$$S' = - \frac{1}{\sin \beta} = - \frac{1}{0,337} = - 2,96 \text{ м.}$$

Определяем величину распора от температуры:

$$\alpha = 0,000012; E = 2,1 \cdot 10^6;$$

$$l = 15 \text{ м}; t = 40.$$

$$H_1 = \frac{\alpha t l}{\sum_{EF} \frac{S_1^2 l}{E F}} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 40}{11,695 \cdot 10^6} = 1,293 \text{ м.}$$

Все данные для вычисления усилий в стержнях приводим в следующей таблице:

Верхний портал

№ Стрелки	l	F	S ₀	S ₀	S'	$\frac{S^0 S^1}{F \cdot 10^5}$	$\frac{S^1 S^2}{F \cdot 10^6}$	$\frac{S^2 S^3}{F \cdot 10^7}$	$\frac{S^0 S^1}{EF}$	H = $\frac{S^1 S^2}{EF}$	S'H	S ₁ = S ₀ + S'H	H ₁	S'H ₁	$\frac{S^1 S^2}{S^0 S^1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	244,50	60,58	-3,16	-11,90	+3,53	1,84	+0,503		+12,34	-0,44		+4,56		+4,12	
2	244,50	60,58	-5,06	-20,65	+3,53	-2,94	+0,503		+12,34	8,31		+4,56		3,75	
3	244,50	60,58	-5,69	23,21	+3,53	3,30	+0,503		+12,34	10,87		+4,56		6,30	
4	244,50	21,28	+3,16	+11,90	-4,53	-6,70	+2,358		-15,83	-3,93		-5,86		9,79	
5	244,50	21,28	+5,06	+20,65	-4,53	-10,75	+2,358		15,83	+4,82		-5,86		1,04	
6	311,75	21,28	+4,03	+16,44	-4,50	-10,83	+2,967		-15,73	+0,71		-5,82		5,11	
7	311,75	14,56	+2,42	+9,87						+9,87				+9,87	
8	311,75	14,56	+0,80	+3,26						+3,26				-3,26	
9	193,42	14,56	-1,00	-4,08						-4,08				-4,08	
10	193,42	17,36	-1,50	-6,12						-6,12				-6,12	
11	193,42	21,28	-2,50	10,20						-10,20				-10,20	
12	193,42	42,56	-3,067	-12,52	+2,79	-1,58	+0,354		-9,75	2,77		+3,61		+0,84	
13	180,00	42,56	-3,067	-12,52	+2,79	-1,47	+0,329		+9,75	2,77		+3,61		+0,84	
14	180,00	120,00	-3,067	-12,52	+2,79	-0,52	+0,117		+9,75	2,77		+3,61		+0,84	
15	323,10	120,00	-3,067	-12,52	+2,79	-0,94	+0,209		+9,75	2,77		+3,61		+0,84	
16	351,60	42,56			-2,96		+0,724		-10,35	-10,35		-3,83		-4,18	
17	186,90	42,56			-2,96		+0,385		-10,35	-10,35		-3,83		-4,18	
18	186,90	42,56			-2,96		+0,385		-10,35	-10,35		-3,83		-4,18	

Σ = 40,87; Σ = 11,695

3,495

IV. Подбор сечений (рис. 226)

Верхний пояс.

Площадь горизонтального листа = $17 \cdot 0,9 = 15,3 \text{ см}^2$
 $2 \angle 75 \cdot 75 \cdot 8 = 10,64 \cdot 2 = 21,28$.
 вертикального листа = $30 \cdot 0,8 = 24$.
 $\omega_{\text{brutto}} = 60,58 \text{ см}^2$.

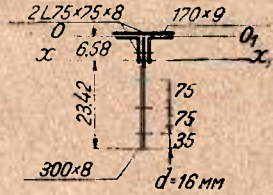


Рис. 226

Площадь заклепочных отверстий:

$2 \cdot 1,7 \cdot 1,6 + 2,4 \cdot 1,6 + 3 \cdot 1,6 \cdot 0,8 = 13,12 \text{ см}^2$.

$\omega_{\text{netto}} = 47,46 \text{ см}^2$.

$S_{0-0_1} = (21,28 \cdot 2,13) + (24 \cdot 15) - (15,3 \cdot 0,45) = 398,54 \text{ см}^3$.

Расстояние нейтральной оси $x - x_1$ от оси $o - o_1$:

$Z = \frac{398,44}{60,58} = 6,58 \text{ см}$.

Определим момент инерции сечения относительно нейтральной оси $x - x_1$.

Момент инерции горизонтального листа = $15,3 \cdot 7,03^2 = 756,1$.

" " $2 \angle 75 \cdot 75 = (2 \cdot 58,9) + (21,28 \cdot 4,45^2) = 539,2$.

" " вертикального листа = $\frac{0,8 \cdot 30^3}{12} + (24 \cdot 8,42^2) = 3501,5$

$j_{\text{brutto}} = 4796,8 \text{ см}^4$.

Момент инерции заклепочных отверстий:

$5,44 \cdot 6,63^2 + 3,84 \cdot 2,43^2 + 1,28 (19,92^2 + 12,42^2 + 4,92^2) = 239,1 + 22,7 + 396,8 + 154,3 + 24,2 = 992,2$

$j_{\text{netto}} = 3798,6 \text{ см}^4$.



Рис. 227.

$W_{\text{min}} = \frac{3798,6}{23,42} = 162,2 \text{ см}^2$.

$r = \sqrt{\frac{j_{\text{brutto}}}{\omega_{\text{brutto}}}} = \sqrt{\frac{4796,8}{60,58}} = \sqrt{79,18} = 8,89 \text{ см}$.

$\frac{l}{r} = \frac{244,5}{8,89} = 27,6; \varphi = 0,94$.

Определяем коэффициент φ для продольного изгиба в плоскости $o' - o'1$.

Момент инерции сечения относительно оси $o' - o'1$ (рис. 227):

j горизонтальные листы = $\frac{0,9 \cdot 17^3}{12} = 368,4$.

j $2 \angle 75 \cdot 75 \cdot 8 = (2 \cdot 58,9) + (21,28 \cdot 2,17^2) = 218$.

$j_{\text{brutto}} = 586,4 \text{ см}^4$.

$r = \sqrt{\frac{586,4}{60,58}} = \sqrt{9,68} = 3,11$.

$\frac{l}{r} = \frac{81,5}{3,11} = 25,2;$

$\varphi = 0,95$.

Момент от местного изгиба (рис. 228)

$$P = 1,667 \cdot 0,815 = 1,359 \text{ т.}$$

$$M = 1,359 \cdot 0,815 = 1,11 \text{ т/м} = 111\,000 \text{ кг/см.}$$

Расчетное усилие:

$$S = -10,87 \text{ т.}$$

Напряжение

$$\sigma = \frac{S}{\varphi \omega_{\text{netto}}} + \frac{M}{W} = \frac{10\,870}{0,95 \cdot 47,46} + \frac{111\,000}{162,2} = 242 + 685 = 927 \text{ кг/см}^2.$$

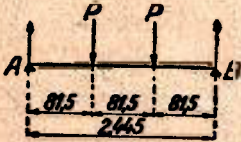


Рис. 228.

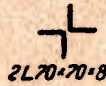


Рис. 229.

Нижний пояс (рис. 229)

$$2L\ 70 \cdot 70 \cdot 8;$$

$$\omega_{\text{netto}} = 18,72 \text{ см}^2.$$

Расчетное усилие:

$$S = +4,82.$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{S}{\omega} = \frac{48\,200}{18,72} = 257 \text{ кг/см}^2.$$

Из конструктивных соображений, для удобства насаживания уголков стоек, взято два: $L\ 70 \cdot 70 \cdot 8$.

Стенки и раскосы

Наименование элементов	№№ стержней	Сечение	Расчетное усилие в т	$\omega_{\text{netto}} \text{ см}^2$	Радиус инерции r	Свободная длина l см	Коэффициент φ	Напряжение $\delta \text{ кг/см}^2$	Число односреzn. заклепок $d = 16 \text{ мм}$
Стойки	11	$L\ 70 \cdot 70 \cdot 8$	- 10,20	18,72	2,66	193,42	0,70	777	7
	10	$L\ 65 \cdot 65 \cdot 7$	- 6,12	15,12	2,47	193,42	0,67	604	4
	9	$L\ 55 \cdot 55 \cdot 7$	- 4,08	12,32	2,07	193,42	0,59	560	3
Раскос	6"	$L\ 70 \cdot 70 \cdot 8$	- 5,11	16,72	2,11	311,75	0,36	850	4
№№ раскосов	Сечение		Расчетное усилие в т	$\omega_{\text{netto}} \text{ см}^2$	Напряжение $\delta \text{ кг/см}^2$		Число односреzn. заклепок $d = 16 \text{ мм}$		
7	$L\ 55 \cdot 55 \cdot 7$		9 87	12,32	800		7		
8	$L\ 55 \cdot 55 \cdot 7$		3,26	12,32	265		3		

Расчет вертикальной опорной фермы

Опорные фермы затвора рассчитываем в двух предположениях: в начальный момент подъема щита и в том случае, когда затвор поднят. При этом предполагаем, что противовесом затвор уравновешен полностью. Тогда опорная ферма будет работать в условиях консоли.

Подсчитываем нагрузки, приходящиеся на узлы фермы.

$$P_1 = \begin{cases} 1/2 \text{ веса верхнего портала} & = \frac{0,868}{2} + \frac{0,197}{2} = 0,534; \\ 1/8 \text{ „ стоек и раскосов} & = \frac{1,669}{8} = 0,209; \\ 1/4 \text{ „ водоудерживающей стенки} & = \frac{6,658}{4} = 1,415; \\ 1/4 \text{ „ направляющего трос бруса} & = \frac{0,961}{4} = 0,24; \\ \text{часть веса ноги укосины портала} & = \frac{4,030 + 0,875}{4} \cdot \frac{1}{8,831} = 0,139 \end{cases}$$

Всего..... 2,537 т

Прибавляя 3,5% на заклепки, имеем:

$$P = 2,537 \cdot 1,035 = 2,626 \text{ т.}$$

$$P_2 = \begin{cases} 1/2 \text{ веса верхнего пояса нижнего портала} & = \frac{1,25}{2} + \frac{0,197}{2} = 0,724; \\ \text{остальной вес тот же, что и для } P_1 & = 2,003; \end{cases}$$

2,727 т

$$P_2 = 2,727 \cdot 1,035 = 2,822 \text{ т.}$$

$$P_3 = P_4 = \begin{cases} 1/2 \text{ веса нижнего пояса верхнего портала} & = \frac{1,181}{2} = 0,591 \text{ т}; \\ 1/2 \text{ „ стоек и раскосов} & = \frac{1,669}{2} = 209; \\ \text{часть веса нижнего портала} & = \frac{4,030 + 0,875}{4} \cdot \frac{1,9}{8,831} = 0,264 \end{cases}$$

1,064 т.

$$P_3 = P_4 = 1,064 \cdot 1,035 = 1,101 \text{ т.}$$

Для определения усилий в стержнях строим в надлежащем масштабе диаграммы Кремоны для двух положений затвора. Схемы диаграмм при сем прилагаются; полученные усилия в стержнях приведены в нижеследующей таблице (рис. 230, 230-а, 231, 231-а, 232, 233-а).

№№ стержней	Усилия	
	Положение I	Положение II
3	-4,07	-4,51
4	+1,19	+0,70
5	+1,61	+0,38
6	+5,27	+6,10

№№ стержней	Усилия	
	Положение I	Положение II
7	+5,27	-6,10
8	+6,54	+4,68
9	-12,00	-17,03
10	+13,09	+15,16

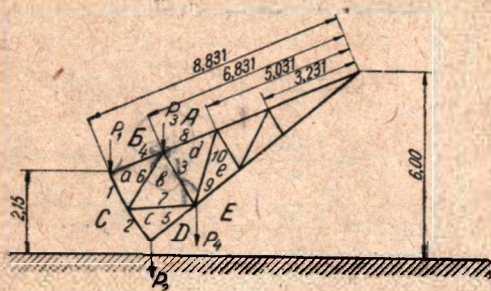


Рис. 230.

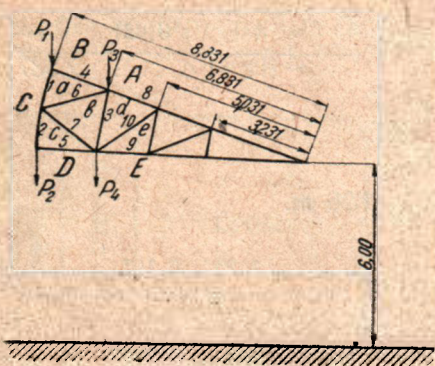


Рис. 231.

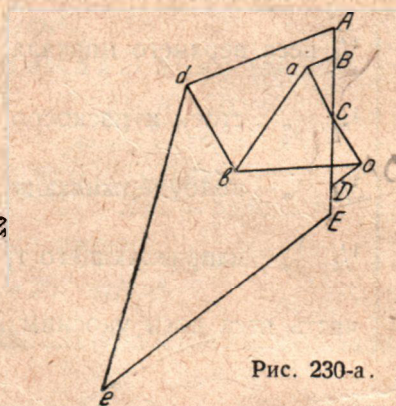


Рис. 230-а.

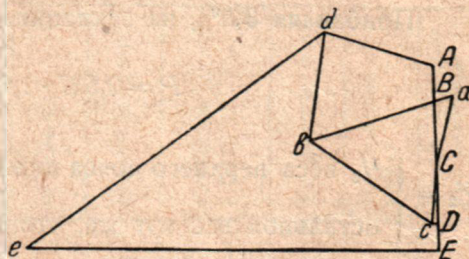


Рис. 231-а.

Определив усилия, переходим к подбору сечений.
Сжатые стержни

№№ стержней	Сечение	Расчетн. усилие в т	ω netto см ²	Радиус инерции	Свободн. длина	Коэффициент φ	Напряжение δ кг/см ²	Число односрезных заклепок $d = 16$ мм
3	└ 65 · 65 · 7	-4,51	15,12	2,47	2,01	0,65	450	3
7	└ 65 · 65 · 7	-6,10	15,12	2,47	2,31	0,61	661	4
9	4 └ 70 · 70 · 8	-17,03	37,44	3,29	1,80	0,81	560	11

Примечание + 179 кг/см² от водяной нагрузки портала.

Вытянутые стержни

№№ стержней	Сечение	Расчетное усилие в т	ω netto см ²	Напряжение δ кг/см ²	Число односрезовых заклепок $d = 16$ мм
6	Л 65 · 65 · 7	+ 6,10	15,12	405	4
8	4 Л 70 · 70 · 8	+ 6,54	37,44	174	4
10	Л 70 · 70 · 8	15,16	16,72	908	10

Примечание. 95,5 кг/см² от водяной нагрузки портала.

Противовес

Находим, какую часть веса затвора мы можем уравновесить противовесом.

Противовесом не уравновешена часть веса G , равная kG .

Давление пружин бокового уплотнения на обе стены равно 0,4 т. Полное давление на шейки, когда затвор находится в воздухе, равно 50,1 т.

Полное давление на шейки, когда затвор находится в воде, несколько меньше; принимаем и в этом случае 50,1 т.

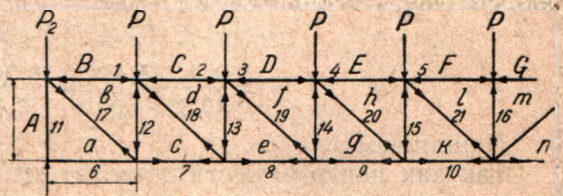


Рис. 232.

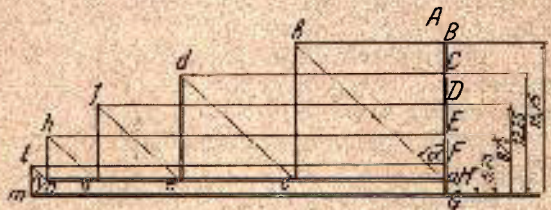


Рис. 233.

А. Нижнее положение затвора

- Вес обшивки 7,89 т; плечо — 7,61 м.
- „ передней части портала 5,35 т; „ — 6,87 м.
- „ всего портала . . . $G = 19,38$ т.
- Плечо силы веса . . . $G = 5,8$ т.

а) Опускание затвора при наличии воды с обеих сторон

$T = 0$. Опусканию затвора препятствуют потери в весе обшивки и передней части портала, а также трение в шейках и в боковых уплотнениях.

Момент сил, препятствующих опусканию затвора, в этом случае имеет величину:

$$\frac{,88}{7,85} \cdot 7,71 + \frac{5,35}{7,85} \cdot 6,87 + 0,3 \cdot 50,1 \cdot 0,112 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 9 + 0,3 \cdot 35 \cdot 0,055 = 7,64 + 4,68 + 1,68 + 1,08 + 0,5 = 15,66 \text{ т/м.}$$

Требуем, чтобы сила $k \cdot G$ давала момент по меньшей мере в 1,5 раза больше этого момента.

$$k \cdot G \cdot 5,8 = 1,5 \cdot 15,66.$$

$$k \geq \frac{1,5 \cdot 15,66}{19,38 \cdot 5,8} = \frac{19,57}{112,4} = 0,209.$$

б) Опускание затвора при наличии воды с одной верхней стороны.

$T=0$. Опусканию затвора препятствуют трение в шейках, трение в боковых уплотнениях и давление снизу вверх от струи, прорывающейся под флютбетным ребром затвора, ширина коего 4 см, при напоре 2,75 м и плече 6,72 м.

Момент сил, препятствующих опусканию затвора, в этом случае имеет величину:

$$0,3 \cdot 50,1 \cdot 0,112 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 9 + 0,3 \cdot 35 \cdot 0,055 + 0,04 \cdot 15 \cdot 2,75 \cdot 6,72 = \\ = 1,68 + 1,08 + 0,58 + 11,09 = 14,43 \text{ т/м.}$$

Требуем, чтобы сила $k \cdot G$ давала момент по меньшей мере в 1,5 раза больше этого момента:

$$k \cdot G \cdot 5,8 \geq 1,5 \cdot 14,43.$$

$$k \geq \frac{1,5 \cdot 14,43}{19,38 \cdot 5,8} = \frac{18,04}{112,4} = 0,193.$$

Принимаем $k = 0,3$.

Так как центр тяжести затвора, ось вращения его и цапфы противовеса на хвостах затвора лежат всегда в одной плоскости, то противовес во всех положениях затвора уравнивает 70% собственного веса затвора.

Противовес совместно с хвостовой частью затвора должен уравнивать 70% от собственного веса затвора = 19,38 т при всех положениях затвора.

Радиус центра тяжести затвора равен 6,78 м; радиус цапфы, на которую опирается противовес, равен 2,7 м.

Вес хвостовой части $p = 1,93 \text{ т}$, плечо = 1,25 м.

Необходимый вес противовеса, следовательно, найдем из уравнения:

$$0,7 \cdot 19,38 \cdot 6,78 = P \cdot 2,7 + 1,93 \cdot 1,25,$$

откуда

$$P = \frac{0,7 \cdot 19,38 \cdot 6,78 - 1,93 \cdot 1,25}{2,7} = 33,17 \text{ т.}$$

Расчет противовеса

Форму противовеса рассчитываем на нагрузку от собственного веса противовеса. В расчет вводим собственный вес противовеса, увеличенный на 5%.

Следовательно нагрузка на ферму = $33,17 \cdot 1,05 = 35 \text{ т}$.

Распределяя нагрузку по узлам верхнего пояса, получаем, что нагрузка в средних узлах (рис. 232):

$$P = \frac{35}{10} = 3,5 \text{ т.}$$

Нагрузка в крайних узлах $\frac{P}{2} = 1,75 \text{ т}$.

Для определения усилий в стержнях строим диаграмму Кремоны (рис. 233) и, пользуясь полученным построением, вычисляем, для получения точного значения усилий, значения усилий стержней фермы.

Вычисляем длину раскосов:

$$l = \sqrt{1,35^2 + 1,467^2} = 1,993 \text{ м};$$

$$\cos \alpha = \frac{1,35}{1,993} = 0,677;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1,467}{1,35} = 1,087.$$

Верхний пояс

Стержень № 1:

$$S = -15,75 \cdot \operatorname{tg} \alpha = -15,75 \cdot 1,087 = -17,12 \text{ т.}$$

Стержень № 2:

$$S = -17,12 + (-12,25 \cdot 1,087) = -30,45 \text{ т.}$$

Стержень № 3:

$$S = -30,45 + (-8,75 \cdot 1,087) = -39,96 \text{ т.}$$

Стержень № 4:

$$S = -39,96 + (-5,25 \cdot 1,087) = -45,67 \text{ т.}$$

Стержень № 5:

$$S = -45,67 + (-1,75 \cdot 1,087) = -47,57 \text{ т.}$$

Нижний пояс

Стержень № 6:

$$S = 0.$$

Стержень № 7:

$$S = +17,12 \text{ т.}$$

Стержень № 8:

$$S = +30,45 \text{ т.}$$

Стержень № 9:

$$S = +39,96 \text{ т.}$$

Стержень № 10:

$$S = +45,67 \text{ т.}$$

Стойки

$$\text{Стержень № 16} = -3,5 \text{ т.}$$

$$\text{„ № 15} = -5,25 \text{ т.}$$

$$\text{„ № 14} = -8,75 \text{ т.}$$

$$\text{„ № 13} = -12,25 \text{ т.}$$

$$\text{„ № 12} = -15,75 \text{ т.}$$

$$\text{„ № 11} = -17,50 \text{ т.}$$

Раскосы

$$\text{Стержень № 21} = \frac{1,75}{0,677} = +2,59 \text{ т.}$$

$$\text{„ № 20} = \frac{5,25}{0,677} = +7,75 \text{ т.}$$

$$\begin{aligned} \text{Стержень № 19} &= \frac{8,75}{0,677} + 12,92 \text{ м.} \\ \text{№ 18} &= \frac{12,25}{0,677} = + 18,08 \text{ м.} \\ \text{№ 17} &= \frac{15,75}{0,677} = + 23,26 \text{ м.} \end{aligned}$$

Подбор сечений

Верхний пояс (рис. 234)

$$\begin{aligned} \text{Расчетное усилие} \quad S &= -47,57 \text{ т.} \\ \text{Площадь листа} &= 43 \cdot 1 = 43 \text{ см}^2. \\ \text{№ 18} &= 29,26 \cdot 2 = 58,52 \text{ см}^2 \\ \omega_{\text{brutto}} &= 101,52 \text{ см}^2 \end{aligned}$$

Площадь заклепочных отверстий:

$$\begin{aligned} 1,6 \cdot 0,8 \cdot 6 &= 7,68 \text{ см}^2. \\ \omega_{\text{netto}} &= 93,84 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Момент инерции сечения относительно оси $o-o_1$:

$$\text{Горизонтальный лист} = \frac{1 \cdot 43^3}{12} = 6,626 \text{ см}^4.$$

$$2[\text{№ 18}] = 2 \cdot 121 + 58,52 \cdot 15,01^2 = 13\,427 \text{ см}^4 \\ j_{\text{brutto}} = 20\,053 \text{ см}^4.$$

Радиус инерции:

$$r = \sqrt{\frac{J_{\text{brutto}}}{\omega_{\text{brutto}}}} = \sqrt{\frac{20\,053}{101,52}} = \sqrt{197,52} = 14,05 \text{ см.}$$

$$\frac{i}{r} = \frac{1\,467}{14,05} = 104,4;$$

$$\varphi = 0,53.$$

$$\sigma = \frac{S}{\varphi \cdot \omega_{\text{netto}}} = \frac{475,7}{0,53 \cdot 93,84} = 956 \text{ кг/см}^2.$$

Определяем расстояние Z центра тяжести сечения от оси, проходящей через центр тяжести швеллера:

$$S_{xx} = 45 \cdot 9,5 = 427,5;$$

$$Z = \frac{S_{xx}}{\omega} = \frac{427,5}{10\,352} = 4,13 \text{ см.}$$

Расстояние от верхней грани листа до центра тяжести:

$$10 - 4,13 = 5,87 \text{ см.}$$

Нижний пояс (рис. 235)

Расчетное усилие $S = +45,67 \text{ т.}$

При расчете усилий нижнего пояса, кроме напряжений от сжатия, надлежит учесть напряжения от местного изгиба.

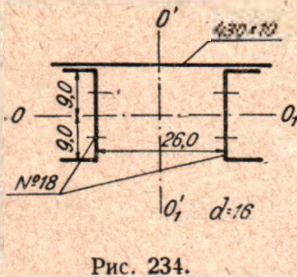


Рис. 234.

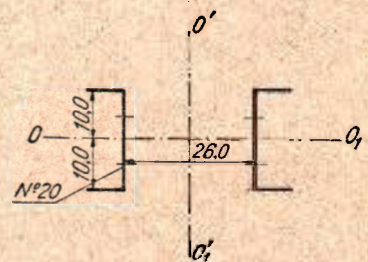


Рис. 235.

Изгибающий момент $M = \frac{Pl}{8}$, где l — длина панели; P — нагрузка на панель нижнего пояса:

$$M = \frac{3,5 \cdot 1,467}{8} = 0,642 \text{ т/м} = 64\,200 \text{ кг/см.}$$

Площадь 2 [№ 20 = 2 · 33,93 = 67,86 см².

Площадь заклепочного отверстия = 0,85 · 1,6 · 6 = 8,16 см²
 $\omega_{\text{netto}} = 59,7 \text{ см}^2$.

Момент инерции относительно нейтральной оси $x-x$:

2 [№ 20 = 2 · 2018 = 4036 см⁴.


Заклепочное отверстие = 0,85 · 1,6 · 4 · 4,4² = 105 см⁴
 $J_{\text{netto}} = 3931 \text{ см}^4$.

$$W = \frac{3951}{10} = 395,1 \text{ см}^3.$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{S}{\omega_{\text{netto}}} = \frac{64\,200}{395,1} + \frac{45\,670}{59,7} = 162,4 + 764,9 = 927,3 \text{ кг/см}^2.$$

Стойки

№№ стержней	Сечение	Усилия в т	ω_{netto} см ²	Радиус инерции r см	Свободн. длина l м	Кэффи- циент φ	Напряже- ние σ кг/см ²	Число односре- зных заклепок $d = 16 \text{ мм}$
11	 55 · 55 · 6	-17,50	21,5	2,56	1,35	0,82	993	11
12	55 · 55 · 6	-15,75	21,5	2,56	1,35	0,82	893	10
13	55 · 55 · 6	-12,25	21,5	2,56	1,35	0,82	695	8
14	55 · 55 · 6	-8,75	21,5	2,56	1,35	0,82	497	6
15	55 · 55 · 6	-5,25	21,5	2,56	1,35	0,82	298	4
16	55 · 55 · 6	-3,50	21,5	2,56	1,35	0,82	199	3

Раскосы

№№ стержней	Сечение	Усилия в т	ω_{netto} см ²	Усилия σ кг/см ²	Число односре- зных заклепок $d = 16 \text{ мм}$
17	4 L 60 · 60 · 6	+23,26	23,80	977	15
18	4 L 55 · 55 · 6	+18,08	21,40	845	12
19	2 L 65 · 65 · 6	+12,92	13,10	988	8
20	2 L 55 · 55 · 6	+7,75	10,75	721	5
21	2 L 55 · 55 · 6	+2,59	10,75	241	2

Расчет цапфы противовеса

Вертикальное давление на цапфу:

$$P = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ т.}$$

Диаметр шейки принят $d = 11 \text{ см.}$

Ширина цапфы $B = 13,5 \text{ см.}$

Напряжение на раздробление по диаметральному сечению:

$$\sigma = \frac{17500}{11 \cdot 13,5} = 117,8 \text{ кг/см}^2 < \text{допускаем. } 120 \text{ кг/см}^2.$$

Рассчитываем ось на изгиб.

Изгибающий момент:

$$M = \frac{17,5 \cdot 0,15}{4} = 0,687 \text{ т/м.}$$

$$W = \frac{3,14 \cdot 11^3}{32} = 130,7 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{65700}{130,7} = 496 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет хвостовой части крайней опорной фермы

Рассматриваем два случая:

1. Верхнее положение затвора.

2. Затвор закрыт.

В первом случае имеем лишь явление изгиба.

Изгибающий момент для этого случая:

$$M = 17,5 \cdot 2,7 + 1,93 \cdot 1,25 = 47,25 + 1,21 = 48,46 \text{ т.}$$

За расчетное сечение принимаем сечение возле оси вращения затвора.

Сечение составлено из двух уголков $120 \cdot 120 \cdot 10$, вертикальной стенки и поясных листов $260 \cdot 8$.

Сечение ослаблено кольцевой дырой для стакана цапфы.

Момент инерции:

$$j_{\text{brutto}} = 2(315,3 + 23,18 \cdot 56,69^2 + 26,08 \cdot 60,4^2 + 32 \cdot 42,5) = 428530 \text{ см}^4.$$

Момент инерции заклепочных отверстий:

$$j_3 = 2(2,7 \cdot 30^3 + 2,242^2) = 103000 \text{ см}^4.$$

$$j_{\text{netto}} = 325530 \text{ см}^4.$$

$$W = \frac{325530}{60,4} = 5390 \text{ см}^3.$$

Рассматриваем случай, когда щит поднят.

Сжимающее балку усилие:

$$N = \frac{17,5 \cdot 1,4}{2,7} + \frac{1,93}{2} + \frac{1,4}{2,7} = 9,57 \text{ т.}$$

Изгибающий момент для этого случая:

$$M = 17,5 \cdot 2,31 + \frac{1,93 \cdot 1,07}{2} = 28,17 \text{ т/м.}$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{2818000}{5380} + \frac{2570}{0,76 \cdot 204,32} = 524 + 108 \text{ кг/см}^2 = 632 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение при поднятом затворе:

$$\sigma = \frac{4846000}{5920} = 810 \text{ кг/см}^2.$$

ОПОРНЫЕ ЧАСТИ ЗАТВОРА

Давление на шейки оси вращения затвора

А. Нижнее положение затвора; цепь не натянута.

Действующие силы:

Собственный вес затвора $G = 19,38 \text{ т}$ с плечом $5,8 \text{ м}$.

Вес противовеса $P = 33,17 \text{ т}$ с плечом $2,31 \text{ м}$.

Вес хвостовой части $p = 1,93 \text{ т}$ с плечом $1,07 \text{ м}$.

Горизонтальная составляющая давления воды:

$$X = 56,72 \text{ т.}$$

Вертикальная составляющая давления воды:

$$Y = 37,74 \text{ т} \text{ и направлена вверх.}$$

Реакция флютбета K с плечом $6,72 \text{ м}$.

Усилие в цепи T .

Вертикальная реакция шейки V .

Горизонтальная реакция шейки H .

Реакцию K находим из уравнения моментов относительно оси вращения:

$$K \cdot 6,72 = 19,38 \cdot 5,8 - (33,17 \cdot 2,31 + 1,93 \cdot 1,07).$$

$$K = 5,02 \text{ т; } \Sigma Y = 0.$$

$$K + V + Y - G - P - p = 0.$$

$$V = G + P + p - K - Y = 19,38 + 33,17 + 1,93 - 5,02 - 37,74 = 11,72 \text{ т.}$$

$$\Sigma X = 0; X - H = 0; X = H = 56,72 \text{ т.}$$

Итак в этом случае:

$$H = 56,72 \text{ т; } V = 11,72 \text{ т.}$$

Б. Нижнее положение затвора; цепь натянута:

$$\Sigma M = 0; T \cdot 9 = 19,38 \cdot 5,8 = (33,17 \cdot 2,31 + 1,93 \cdot 1,07).$$

$$T = 3,75 \text{ т.}$$

$$\Sigma Y = 0; T + V + Y - G - P - p = 0.$$

$$V = G + P + p - T - Y = 19,38 + 33,17 + 1,93 - 3,75 - 37,74 = 12,99 \text{ т.}$$

$$\Sigma X = 0; X - H = 0; X = H = 56,72 \text{ т.}$$

Итак в этом случае:

$$H = 56,72 \text{ м}; V = 12,99 \text{ м}.$$

В. Верхнее положение затвора; цепь натянута.

Действующие силы:

Собственный вес затвора $G = 19,38 \text{ т}$ с плечом $6,78 \text{ м}$.

Вес противовеса $P = 33,34 \text{ т}$ с плечом $2,7 \text{ м}$.

Вес хвостовой части $p = 1,93 \text{ т}$ с плечом $1,25 \text{ м}$.

Вертикальная реакция шейки V :

$$\Sigma M = 0; T \cdot 9 = 19,38 \cdot 6,78 - (33,17 \cdot 2,7 + 1,93 \cdot 1,25).$$

$$T = 4,38 \text{ т}.$$

$$\Sigma Y = 0; T + V - G - P - p = 0.$$

$$V = G + P + p - T = 19,38 + 1,93 + 33,17 - 4,38 = 50,1 \text{ т}.$$

Итак для этого случая $H = 0$; $V = 50,1 \text{ т}$.

Максимальное давление на одну опорную цапфу затвора имеет место для второго случая и составляет величину:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{56,72^2 + 12,99^2} = 29,05 \text{ т}.$$

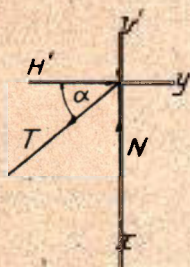


Рис. 236.

Диаметр опорного вала принят $d = 23 \text{ см}$.

Напряжение по диаметральному сечению цапфы:

$$\sigma = \frac{29050}{17,23} = 74,3 \text{ кг/см}^2.$$

Закладные части состоят из наклонного и вертикального анкеров. Наклонный анкер направлен по равнодействующей водяной нагрузки, что соответствует углу наклона анкера к горизонту, равному $33^{\circ}17'54''$.

Полученные нами вертикальные и горизонтальные составляющие давления на шейку оси затвора разлагаем по направлениям вертикального и наклонного анкеров для трех выше разобранных случаев (рис. 236).

$$\sin \alpha = 0,549; \cos \alpha = 0,835.$$

$$\Sigma X = V' - N + T \sin \alpha = 0.$$

$$\Sigma Y = H' - T \cos \alpha = 0.$$

$$T = \frac{H'}{\cos \alpha}; N = T \sin \alpha + V'.$$

I. Нижнее положение затвора; цепь не натянута

Горизонтальное давление на шейку оси:

$$H' = \frac{H}{2} = \frac{56,72}{2} = 28,36 \text{ т}.$$

Вертикальное давление на шейку оси:

$$V' = \frac{V}{2} = \frac{11,72}{2} = 5,86 \text{ т}.$$

$$T = \frac{28,36}{0,835} = 33,96 \text{ m.}$$

$$N = 33,96 \cdot 0,549 + 5,86 = 24,5 \text{ m.}$$

II. Нижнее положение затвора; цепь натянута

$$H' = \frac{H}{2} = 28,36 \text{ m.}$$

$$V' = \frac{V}{2} = \frac{12,99}{2} = 6,5 \text{ m.}$$

$$T = 33,96 \text{ m.}$$

$$N = 33,96 \cdot 0,549 + 6,5 = 25,14 \text{ m.}$$

III. Верхнее положение затвора; цепь натянута

$$H' = \frac{H}{2} = 0;$$

$$V' = \frac{V}{2} = \frac{50,1}{2} = 25,05 \text{ m.}$$

$$T = 0;$$

$$N = V = 25,05 \text{ m.}$$

Расчет вертикального анкера

Для определения расчетных усилий вертикального анкера рассмотрим следующее положение затворов:

1. Один затвор поднят, другой не подвешен (рис. 237).

Находим реакции A_1 и B_1 :

$$25,05 \cdot 1,895 = A_1 \cdot 1,44;$$

$$A_1 = \frac{25,05 \cdot 1,895}{1,44} = 33,7 \text{ m.}$$

$$B_1 = \frac{25,05 \cdot 0,495}{1,44} = + 8,62 \text{ m (растяжение).}$$

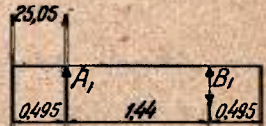


Рис. 237.

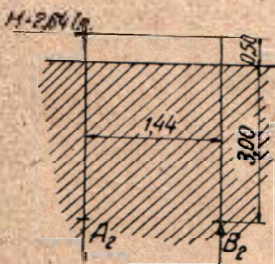


Рис. 238.

Кроме усилия в стойке от давления затвора на шейку оси вращения в стойке будет усилие от распора затвора. Определим это усилие (рис. 238).

В рассматриваемом нами случае будет иметь место только распор от температуры, равный 2,64 m.

$$A_2 = \frac{2,64 \cdot 3,5}{1,44} = + 6,6 \text{ m.}$$

$$B_2 = - 6,6 \text{ m.}$$

$$A = A_1 + A_2 = - 33,7 + 6,6 = - 27,1 \text{ m.}$$

$$B = B_1 + B_2 = + 8,62 - 6,6 = + 2,02 \text{ m.}$$

При обратном направлении распора:

$$A_2 = -6,6 \text{ т}; B_2 = +6,6 \text{ т}.$$

$$A = A_1 + A_2 = -33,7 - 6,6 = -40,3 \text{ т}.$$

$$B = B_1 + B_2 = +8,62 + 6,6 = +15,32 \text{ т}.$$

2. Один щит опущен, другой поднят (рис. 239).

$$A_1 = \frac{25,14 \cdot 1,935}{1,44} + \frac{25,05 \cdot 0,495}{1,44} = -33,8 + 8,6 = -25,2 \text{ т}.$$

$$B_1 = \frac{25,05 \cdot 1,935}{1,44} + \frac{25,14 \cdot 0,945}{1,44} = -33,7 + 8,47 = -25,23 \text{ т}.$$

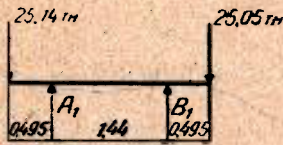


Рис. 239.

Определяем усилия от распора (рис. 240).

У опущенного щита будет иметь место распор от водяной нагрузки и температуры; у поднятого — распор от температуры.

$$A_1 = \frac{(12,11 - 2,64) \cdot 3}{1,44} = +19,7 \text{ т}.$$

$$B_2 = -19,7 \text{ т}.$$

$$A = A_1 + A_2 = -25,2 + 19,7 = -5,5 \text{ т}.$$

$$B = B_1 + B_2 = -25,23 - 19,7 = -44,93 \text{ т}.$$

Из сопоставления рассмотренных двух случаев видно, что вертикальный анкер имеет следующие наибольшие усилия:

— 44 930 кг — сжатие;

+ 15 320 кг — растяжение.

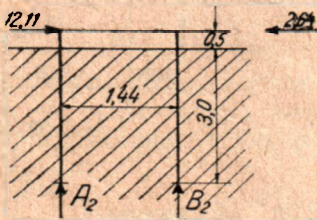


Рис. 240.



Рис. 241.

Сечение 4 L 120 · 80 · 10 (рис. 241):

По Вейрауху:

$$\psi = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{15\,320}{44\,930} = 1 - 0,064 = 0,887.$$

4 L 120 · 80 · 10 (рис. 241);

$$\omega_{\text{brutto}} = 19,13 \cdot 4 = 76,52 \text{ см}^2.$$

Ослабление заклепками = $4 \cdot 2,2 \cdot 1 = 8,8$.

$$\omega_{\text{netto}} = 67,72 \text{ см}^2.$$

$r = 3,48 \text{ см}; l = 111,5 \text{ см}.$

$$\frac{l}{r} = \frac{111,5}{3,48} = 32; \varphi = 92.$$

Сжатие:

$$\text{Усилие } \sigma_1 = \frac{N}{\psi \cdot \varphi \cdot \omega_{\text{netto}}} = \frac{44\,930}{0,887 \cdot 0,92 \cdot 67,72} = 814 \text{ кг/см}^2.$$

Растяжение:

$$\sigma_2 = \frac{N}{\psi \omega_{\text{netto}}} = \frac{15\,320}{0,887 \cdot 67,72} = 255 \text{ кг/см}^2.$$

Определяем вес бетонной кладки массива, сопротивляющейся вырыванию вертикального анкера.

Растягивающее усилие анкера равно 8,26 т.

Вес массива:

$$P = \frac{3 \cdot \text{tg } 30^\circ \cdot 2 \cdot 3}{2} \cdot 2,1 \cdot 2,2 = 24 \text{ т} > 15,32 \text{ т}.$$

Расчет фермы вертикального анкера (рис. 242)

Ферма вертикального анкера нагружена давлением распора от водяной нагрузки и температуры.

$$H = 1,345 + 1,293 + 5,979 + 3,495 = 12,11 \text{ т}.$$

Длина раскосов:

$$l = \sqrt{1,44^2 + 1,115^2} = 1,821 \text{ м}.$$

$$\cos \alpha = \frac{1,44}{1,821} = 0,79.$$

Усилие в стойках $S_1 = -12,11 \text{ т}$;

в раскосах $S_2 = + \frac{12,11}{0,79} = +15,35 \text{ т}$.

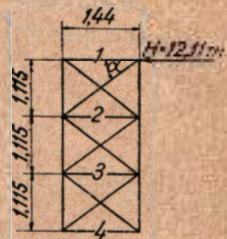


Рис. 242.

Раскосы приняты из двух уголков сечения 65 · 65 · 7.

$$\omega_{\text{netto}} = 15,12 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{15\,350}{15,12} = 1015 \text{ кг/см}^2.$$

Распорка из четырех уголков 55 · 55 · 7:

$$r = 2,56;$$

$$\frac{l}{r} = \frac{1,44}{2,56} = 57; \varphi = 0,79.$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{12\,110}{0,79 \cdot 21,88} = 702 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение бетона под анкерной балкой:

$$\sigma = \frac{44\,930}{130 \cdot 18} = 21,3 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет наклонного анкера

При определении усилия в укосине рассматриваем два случая:

1. Один затвор закрыт, другого затвора нет (рис. 243).

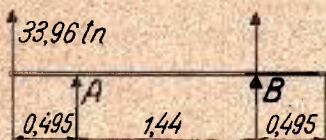


Рис. 243.

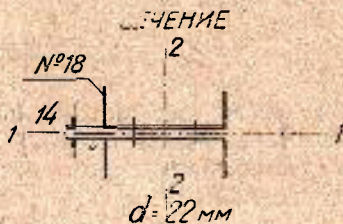


Рис. 244.

$$A = \frac{33,96 \cdot 1,935}{1,44} = + 45,63 \text{ т.}$$

$$B = \frac{33,96 \cdot 0,495}{1,44} = - 11,67 \text{ т.}$$

2. Оба затвора закрыты.

$$A = B = + 33,96 \text{ т.}$$

Усилия:

$$S_1 = + 45 630 \text{ кг.}$$

$$S_2 = - 11 670 \text{ кг.}$$

$$\omega_{\text{brutto}} = 29,26 \cdot 2 = 58,52 \text{ см}^2 \text{ (рис. 244).}$$

Ослабление заклепками:

$$4 \cdot 2,2 \cdot 0,8 = 7,04.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 51,48 \text{ см.}$$

А. Сжатие:

$$J_1 = 2 (121 + 29,26 \cdot 2,6^2) = 2 (121 + 198) = 638 \text{ см}^4.$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{J_1}{\omega_{\text{brutto}}}} = \sqrt{\frac{638}{58,52}} = \sqrt{10,902} = 3,3 \text{ см.}$$

$$\frac{l_1}{r} = \frac{111,5}{3,3} = 34,8; \varphi_1 = 0,91; l_1 = 115,5 \text{ см.}$$

По Вейрауху:

$$\psi = 1 - \frac{1}{7} \cdot \frac{11 670}{45 630} = 1 - 0,085 = 0,915.$$

$$\sigma_1 = \frac{11 670}{\psi \varphi_1 \cdot \omega_{\text{netto}}} = \frac{11 670}{0,91 \cdot 0,915 \cdot 51,48} = 273 \text{ кг/см}^2.$$

$$J_2 = 2 \cdot 1 433 = 2 866 \text{ см}^4.$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{2 866}{58,52}} = \sqrt{48,974} = 7 \text{ см}; l_2 = 800 \text{ см.}$$

$$\frac{l_2}{r} = \frac{800}{7} = 114; \varphi = 0,49.$$

$$\sigma_2 = \frac{11 670}{0,49 \cdot 0,915 \cdot 51,48} = 507 \text{ кг/см}^2.$$

Б. Растяжение:

$$\sigma_2 = \frac{N}{\omega_{\text{netto}} \psi} = \frac{45\,630}{0,915 \cdot 51,48} = 971 \text{ кг/см}^2.$$

Определяем вес бетонной кладки, сопротивляющейся вырыванию наклонного анкера.

Растягивающее усилие, приходящееся на оба анкера, имеет максимальное значение, когда оба щита опущены.

$$S = 2 \cdot 33,96 = 67,92 \text{ т.}$$

Вес массива:

$$P = \frac{7 \cdot \text{tg } 30^\circ \cdot 2 \cdot 7}{2} = 2,1 \cdot 2,2 = 130,5 > 67,92 \text{ т.}$$

Коэффициент запаса на скольжение:

$$K_2 = \frac{130,5 \cdot 0,7}{56,72} = 1,61.$$

Напряжение бетона под анкерной балкой:

$$\sigma = \frac{33\,960}{110,16} = 19,3 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет оси вращения затвора

Ось рассчитываем на изгиб как консольную балку.

Длина консоли:

$$l = 0,495 \text{ м.}$$

Изгибающий момент на опоре:

$$M = 29,05 \cdot 0,495 = 14,4 \text{ т/м.}$$

В месте заделки сечение оси ослаблено кольцевой муфтой до диаметра $d = 22 \text{ см}$.

Момент сопротивления сечения:

$$W = \frac{3,14 \cdot 22^3}{32} = 104,6 \text{ см}^3.$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{1\,440\,000}{104,6} = 1\,376 \text{ кг/см}^2 < 1\,400 \text{ кг/см}^2.$$

Ось скреплена со стаканом двумя шпонками.

Сила трения в цапфе оси вращения затвора:

$$S_1 = 29,05 \cdot 0,3 = 8,715 \text{ т.}$$

Напряжение шпонок на смятие:

$$\sigma_1 = \frac{8\,715}{2 \cdot 4 \cdot 0,6} = 1\,816 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение на срез:

$$\sigma_2 = \frac{8\,715}{2 \cdot 12} = 363 \text{ кг/см}^2.$$

Усилие, приходящееся на шпонки, соединяющие стакан с листами:

$$S_2 = \frac{8\,715 \cdot 11,5}{15} = 6\,680 \text{ кг.}$$

Напряжение на смятие:

$$\sigma_1 = \frac{6680}{3,4 \cdot 0,6 \cdot 2} = 1635 \text{ кг/см}^2.$$

На срез:

$$\sigma_2 = \frac{6680}{3,4 \cdot 3 \cdot 2} = 328 \text{ кг/см}^2.$$

Боковое уплотнение нижнего щита

Расчет пружины

Пружина в ненапряженном состоянии показана на рис. 245.

Число витков $n = 7,5$;

$$d = 5 \text{ мм} = 0,5 \text{ см};$$

$$r = 21 - 2,5 = 18,5 \text{ мм} = 1,85 \text{ см}.$$

Хорошая каленая рессорная сталь.

$$K_a = 4500 \text{ кг/см}^2;$$

$$G = 750000 \text{ кг/см}^2.$$

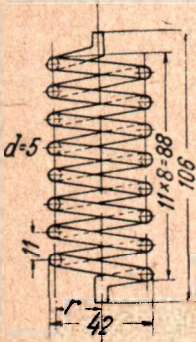


Рис. 245.

Наибольшая допускаемая нагрузка P_{\max} на пружину и осадка ее f_{\max} при этой нагрузке имеют следующие значения:

$$P_{\max} = \frac{\pi d^3 K_a}{16 r} = \frac{\pi \cdot 0,5^3 \cdot 4500}{16 \cdot 1,85} = \frac{1767,14}{29,6} = 60 \text{ кг}.$$

$$f_{\max} = \frac{64 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot P}{d^4 G} = \frac{6 \cdot 4 \cdot 7,5 \cdot 1,85^3 \cdot 60}{0,5^4 \cdot 750000} = \frac{182351}{46875} = 3,89 \text{ см} = 39 \text{ мм}.$$

Пружина от проектного положения должна иметь ход $\pm 7 \text{ мм}$. Следовательно для характеристики пружины имеем:

При $f = 39 \quad 32 \quad 25 \text{ мм}$

$$P = 60 \quad 49 \quad 38 \text{ кг}$$

Длина l в проекте равна $106 - 32 = 74 \text{ мм}$.

Случай I. Определение минимальной потребной мощности пружины одного бока затвора (рис. 246)

$$P = 176 \text{ кг}; R = 53 \text{ кг}; \text{ найти } N_{\min}.$$

$$\Sigma x = 0; N - fB - fA - R = 0.$$

$$\Sigma y = 0; P - A + B = 0.$$

$$\Sigma M = 0; P \cdot 34,5 - R \cdot 39 - B \cdot 106,5 - f \cdot 26 + N \cdot 13 = 0.$$

$$N - 0,3 A - 0,3 B = 53;$$

$$A - B = 176;$$

$$13N - (106,5 + 0,3 \cdot 26) B = 53 \cdot 39 - 176 \cdot 34,5.$$

$$N - 0,3 A - 0,3 B = 53;$$

$$A - B = 176;$$

$$13N - 114,3 B = -4005.$$

$$N - 0,3 A - 0,3 B = 53;$$

в) Суммарный изгибающий момент:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{400^2 + 865^2} = \sqrt{908\,225} = 953 \text{ кг/см.}$$

$$n = \frac{M}{W} = \frac{953}{10 \cdot 0,1 \cdot 2,6^3} = \frac{953}{17,58} = 54 \text{ кг/см}^2.$$

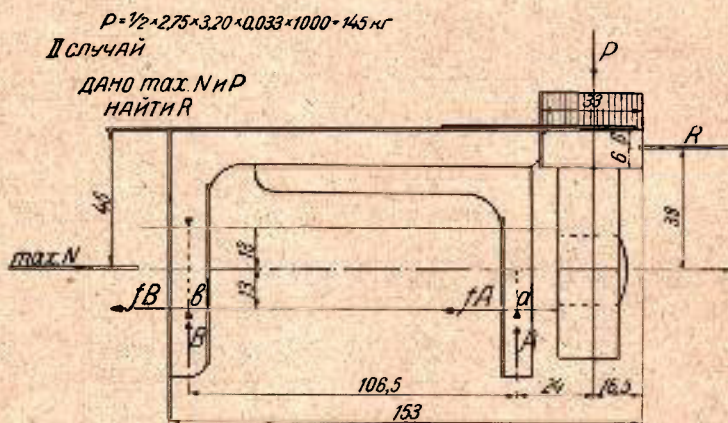
Следовательно за прочность штырей опасаться не приходится.

Случай II. Определение максимального давления бронзовой полосы бокового уплотнения на плоскость стены быка (рис. 247).

$N_{\max} = 300 \text{ кг}$; $P = 145 \text{ кг}$. Найти R .

$$\sum X = 0; fA + fB + R = N;$$

$$A + B = P;$$



$$D = \frac{1}{2} \cdot 2,75 \cdot 3,20 \cdot 0,040 \cdot 1,000 = 176 \text{ кг}$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot 2,75 \cdot 3,20 \cdot 0,012 \cdot 1,000 = 53 \text{ кг}$$

Рис. 247.

$$P \cdot 24 + B \cdot 106,5 + N \cdot 13 - R(39 + 13) = 0.$$

$$0,3 A + 0,3 B + R = 300;$$

$$A + B = 145;$$

$$-106,5 B + 52 R = 145 \cdot 24 + 300 \cdot 13.$$

$$0,3 A + 0,3 B + R = 300;$$

$$A + B = 145.$$

$$0,3 A + 0,3 B + R = 300;$$

$$0,3 A - 0,3 B = -43,5.$$

$$R = 256,5 \text{ кг.}$$

$$-106,5 B + 52 R = 7\,380;$$

$$106,5 B = 52 \cdot 256,5 - 7\,380 = 13\,338 - 7\,380 = 5\,958;$$

$$B = \frac{5\,958}{106,5} = 56 \text{ кг.}$$

$$A = P - B = 145 - 56 = 89 \text{ кг.}$$

Проверка.

$$\begin{aligned}\Sigma M &= 145 \cdot 24 + 56 \cdot 106,5 + 300 \cdot 13 - 256,5 \cdot 52 = \\ &= 3480 + 5964 + 3900 - 13338 = 13344 - 13338 \approx 0.\end{aligned}$$

Изгибающий момент для 10 штырей $d = 26$ мм.

а) В плоскости чертежа:

$$M_1 = R \cdot 3,9 - P \cdot 2,4 = 256,5 \cdot 3,9 - 145 \cdot 2,4 = 652 \text{ кг/см.}$$

б) Из плоскости чертежа от трения бронзового ползуна о стену быка при опускании или подъеме затвора:

$$M_2 = fR \cdot 4,05 = 0,3 \cdot 256,5 \cdot 4,05 = 312 \text{ кг/см.}$$

в) Суммарный изгибающий момент:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{652^2 + 312^2} = \sqrt{522448} = 723 \text{ кг/см.}$$

$$n = \frac{M}{W} = \frac{723}{10 \cdot 0,1 \cdot 2,6^3} = \frac{723}{17,58} = 41 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет величины тягового усилия T при подъеме затвора.

Плечо усилия T равно всегда 9 м.

А. Нижнее положение затвора: вода имеется лишь с верховой стороны; под опорной рейкой затвора воды не имеется.

Подъему препятствуют: $0,3G_T$ — трение в шейках и трение в боковых уплотнениях. Плечо силы $0,3G_T$, приложенной в центр тяжести, в нижнем положении затвора равно 5,8 м.

$$\begin{aligned}T \cdot 9 &= 0,3 \cdot 19,38 \cdot 5,8 + 0,3 \cdot 50,1 \cdot 0,112 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 9 + 0,3 \cdot 35 \cdot 0,055 = \\ &= 33,72 + 1,68 + 1,08 + 0,58 = 37,06.\end{aligned}$$

$$T = \frac{37,06}{9} = 4,12 \text{ т.}$$

Б. Нижнее положение затвора: вода имеется с обеих сторон; под опорной рейкой затвора воды не имеется.

Подъему препятствуют: $0,3G_T$ при плече 5,8, трение в шейках, трение в боковых уплотнениях и столб воды под площадкой соприкосновения флютбетного ребра затвора с плоскостью флютбета (при ширине площадки 0,04 м, при высоте столба 2,75 м и при плече 6,72 м). Подъему помогают потери в весе обшивки и передней части портала, находящаяся в воде:

$$\begin{aligned}T \cdot 9 &= 0,3 \cdot 19,38 \cdot 5,8 + 0,3 \cdot 50,1 \cdot 0,112 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 9 + 0,3 \cdot 35 \cdot 0,055 + \\ &+ 0,04 \cdot 15 \cdot 2,75 \cdot 6,72 \frac{7,88}{7,85} \cdot 7,61 - \frac{5,35}{7,85} \cdot 6,87 = 33,72 + 1,68 + 1,08 + \\ &+ 0,58 + 11,09 - 7,64 - 4,68 = 35,83.\end{aligned}$$

$$T = \frac{35,83}{9} = 3,98 \text{ т.}$$

В. Затвор находится в воздухе.

В этом случае невыгоднее всего то положение затвора, когда центр тяжести его и ось вращения лежат в одной горизонтальной

плоскости, так как тогда плечо центра тяжести затвора делается наибольшим из всех остальных и равно 6,78.

Подъему препятствуют: 0,3 G при плече 6,78, трение в шейках и трение в боковых уплотнениях.

$$T \cdot 9 = 0,3 \cdot 19,38 \cdot 6,78 + 0,3 \cdot 50,1 \cdot 0,15 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 9 + 0,3 \cdot 35 \cdot 0,07 = 39,42 + 1,68 + 1,08 + 0,58 = 42,76.$$

$$T = \frac{42,76}{9} = 4,75 \text{ т.}$$

Прибавляя на непредвиденные сопротивления подъему 50%, находим, что

$$T_{\max} = 1,5 \cdot 4,75 = 7,13 \text{ т} = 7 \text{ т (на два конца).}$$

На это усилие и проектируем механизм.

Определение положения центра тяжести затвора

Для определения положения центра тяжести затвора находим статические моменты и веса отдельных элементов затвора относительно центра его вращения.

№ по порядку	Наименование элемента	Вес элемента (с добавлением 3,5% на заклепки в кг)	Статический момент относительно центра вращения затвора в кг
1	Верхний пояс	2 396	21 156
2	Нижний пояс	1 222	8 323
3	Стойки и раскосы	1 728	13 514
4	Водоудержательная стенка	6 891	61 463
5	Направляющая	995	8 714
6	Ноги порталов	4 171	12 156
7	Укосины	906	3 402
8	Заполнение ног	722	2 581
9	Отливки и лист у центра вращения	349	84
		19 380	131 393

Расстояние центра тяжести затвора от центра вращения:

$$a = \frac{131\,393}{19\,380} = 6,78 \text{ м.}$$

Расчет быка

Толщина быка 2,1 м.

Вес быка $7 \cdot 5,5 \cdot 2,1 \cdot 2,1 \cdot 2,2 = 178 \text{ т.}$

Горизонт нижнего бьефа предполагаем ниже отметки флютбета. Толщину протекающей в коридоре воды возле задней части быков принимаем:

$$\frac{2}{3} \cdot 2,75 = 1,82 \text{ м.}$$

Боковое одностороннее давление воды на рассматриваемую часть быка равно:

$$\frac{1,82^2}{2} \cdot 7 = 12 \text{ т.}$$

Давление воды на подошву быка (по шву между быком и его фундаментом) принимаем во внимание лишь при проверке на опрокидывание и берем его тогда в запас равным:

$$1,82 \cdot 2,1 \cdot 7 = 27 \text{ т.}$$

При проверке же на прохождение кривой давления в средней трети эту силу в расчет не принимаем.

Вертикальное давление затвора на шейку оси вращения имеет величину:

При закрытом затворе 6,5 т.

„ открытом „ 25,05 „

Распор от давления воды на затвор равен 9,47 т.

Распор от изменения температуры на $\pm 40^\circ$ от той, при коей произведен монтаж затвора, равен $\pm 2,64$ т.

А. Проверка нахождения кривой давления в пределах средней трети

Эту проверку производим в девяти характерных случаях, представленных на чертежах. Из уравнения моментов относительно точки a находим расстояние x кривой давления от этой точки a в шве по подошве быка. Необходимо, чтобы $1,4 \geq x \geq 0,7$ (рис. 248 — 256).

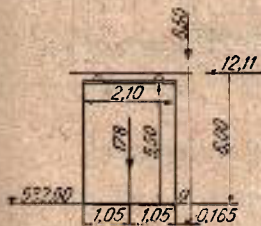


Рис. 248.

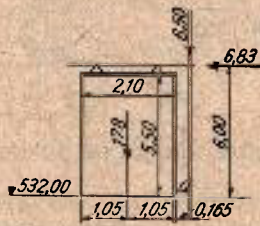


Рис. 249.

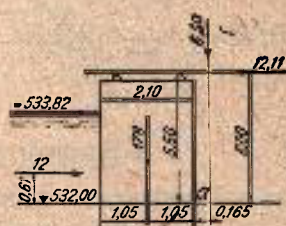


Рис. 250.

Для означенных на рис. 248 — 256 девяти случаев имеем соответственно:

$$1) 178 \cdot 1,05 + 12,11 \cdot 6 - 6,5 \cdot 0,165 = (178 + 6,5); 258,49 = 184,5 x; \\ x = 1,4 \text{ м.}$$

$$2) 178 \cdot 1,05 + 6,83 \cdot 6 - 6,5 \cdot 0,165 = (178 + 6,5) x; 226,81 = 184,5 x; \\ x = 1,23 \text{ м.}$$

$$3) 178 \cdot 1,05 + 12,11 \cdot 6 - 12 \cdot 0,61 - 6,5 \cdot 0,165 = (178 + 6,5) x; \\ 251,17 = 184,5 x; x = 1,36 \text{ м.}$$

- 4) $178 \cdot 1,05 + 6,83 \cdot 6 - 12 \cdot 0,61 - 6,5 \cdot 0,165 = (178 + 6,5) x$;
 $219,49 = 184,5 x$; $x = 1,19$ м.
- 5) $178 \cdot 1,05 + 12 \cdot 0,61 - 2,64 \cdot 6 - 25,05 \cdot 0,165 = (178 + 25,05) x$;
 $205,93 = 203,05 x$; $x = 1,01$ м.
- 6) $178 \cdot 1,05 + 12 \cdot 0,61 - 2,64 \cdot 6 - 25,05 \cdot 0,165 = (178 + 25,05) x$;
 $174,25 = 203,05 x$; $x = 0,86$ м.
- 7) $178 \cdot 1,05 + 2,64 \cdot 6 - 25,05 \cdot 0,165 = (178 + 25,05) x$; $198,66 = 203,05 x$;
 $x = 0,98$ м.
- 8) $178 \cdot 1,05 - 2,64 \cdot 6 - 25,05 \cdot 0,165 = (178 + 25,05) x$; $167,07 = 202,18 x$;
 $x = 0,83$ м.
- 9) $178 \cdot 1,05 + 9,47 \cdot 6 + 25,05 \cdot 2,265 - 12 \cdot 0,61 - 6,5 \cdot 0,165 =$
 $= (178 \cdot 6,5 + 25,05) x$; $292,07 = 209,55 x$; $x = 1,39$ м.

Мы видим, что толщина быка 2,1 м как раз достаточна для того, чтобы кривая давления не выходила из средней трети.

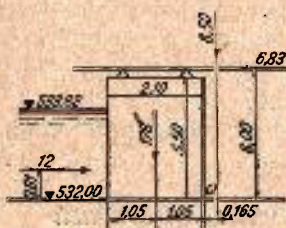


Рис. 251.

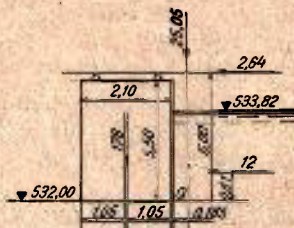


Рис. 252.

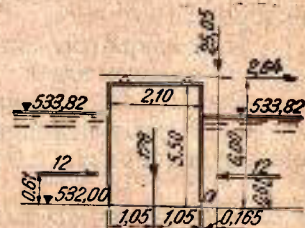


Рис. 253.

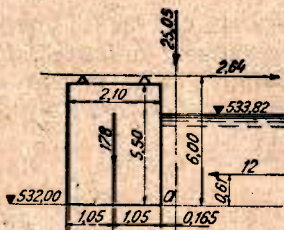


Рис. 254.

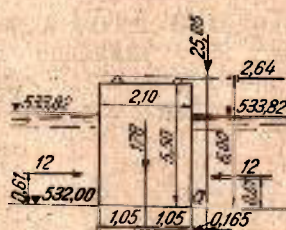


Рис. 255.

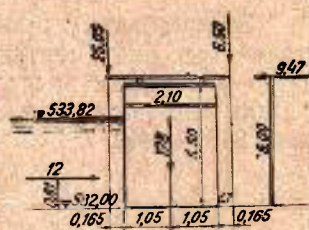


Рис. 256.

Б. Проверка устойчивости на боковое опрокидывание

Произведем проверку для тех же девяти случаев.

- 1) $K = \frac{178 \cdot 1,05 + 6,5 \cdot 2,265}{12,11 \cdot 6} = \frac{186,9 + 40,98}{72,66} = 2,77$ для точки *b*.
- 2) $K = \frac{178 \cdot 1,05 - 6,83 \cdot 6}{6,5 \cdot 0,165} = \frac{186,9 - 40,98}{1,07} = 212,9$ для точки *a*.
- 3) $K = \frac{178 \cdot 1,05 + 6,5 \cdot 2,265 + 12 \cdot 0,61}{12,11 \cdot 6 + 27 \cdot 1,05} = \frac{208,94}{100,91} = 2,07$ для точки *b*.
- 4) $K = \frac{178 \cdot 1,05 + 6,83 \cdot 6}{6,5 \cdot 0,165 + 12 \cdot 0,61 + 27 \cdot 1,05} = \frac{227,88}{36,74} = 6,21$ для точки *a*.
- 5) $K = \frac{178 \cdot 1,05 + 12 \cdot 0,61 + 2,64 \cdot 6}{25,05 \cdot 0,165 + 27 \cdot 1,05} = \frac{210,06}{32,48} = 6,46$ для точки *a*.

$$6) K = \frac{178 \cdot 1,05 + 12 \cdot 0,61}{25,05 \cdot 0,165 + 2,64 \cdot 6 + 27 \cdot 1,05} = \frac{194,22}{48,37} = 4,02 \text{ для точки } a.$$

$$7) K = \frac{178 \cdot 1,05 + 12 \cdot 0,61 + 2,64 \cdot 6}{25,05 \cdot 0,165 + 12 \cdot 0,61 + 27 \cdot 1,05} = \frac{210,06}{39,8} = 5,28 \text{ для точки } a.$$

$$8) K = \frac{178 \cdot 1,05 + 12 \cdot 0,61}{25,05 \cdot 0,165 + 2,64 \cdot 6 + 12 \cdot 0,61 + 27 \cdot 1,05} = \frac{194,22}{55,69} = 3,49 \text{ для точки } a.$$

$$9) K = \frac{178 \cdot 1,05 + 6,5 \cdot 2,265 + 12 \cdot 0,61}{25,05 \cdot 0,165 + 9,47 \cdot 6 + 27 \cdot 1,05} = \frac{208,94}{89,28} = 2,34 \text{ для точки } b.$$

Проверка на сдвиг всюду также дает удовлетворительные результаты.

Механизмы и служебный мост к сегментному с противовесом затвору для отверстий плотины на р. Самур

А. Подъемный механизм

Для подъема затвора служит механизм, состоящий из двух лебедок, расположенных по концам моста и связанных при помощи синхронного вала с общими для обеих лебедок электрическим и ручным приводами, расположенными в средней части моста.

Каждая концевая лебедка состоит из неподвижного блока, диаметром 700 мм, барабана диаметром 700 мм и трех пар стальных цилиндрических зубчатых колес, с общим передаточным числом $4 \cdot 4, 5 \cdot 5 = 90$.

Первая пара зубчатых колес (считая от барабана) имеет передаточное число $k = 4$ и, при ширине колес $b = 150$ мм, имеет соответственно:

$$D_1 = 872 \text{ мм}; Z_1 = 60;$$

$$d_1 = 218 \text{ мм}; Z'_1 = 15.$$

Вторая пара зубчатых колес имеет передаточное число $k = 4,5$ и, при ширине колес $b = 75$ мм, имеет соответственно:

$$D_2 = 787 \text{ мм}; Z = 90;$$

$$d_2 = 175 \text{ мм}; Z'_1 = 20.$$

Третья пара зубчатых колес с передаточным числом $k = 5$, при ширине зубцов $b = 50$ мм, имеет соответственно:

$$D = 600 \text{ мм}; Z = 100;$$

$$d = 120 \text{ мм}; Z'_1 = 20.$$

Щит поднимается двумя гибкими стальными канатами, диаметром 26 мм, фабрики Мейергольд, с числом проволок $n = 222$ и диаметром проволоки $d = 1,2$ мм. Расчетное тяговое усилие на каждом конце—3,5 т.

Все части лебедки монтированы на станине, состоящей из двух клепаных балок двутаврового сечения, высотой 450 мм, в которые укреплены оси блока и барабана и заделаны также стаканы валов зубчатых передач.

В средней части моста находятся механизмы для электрического и ручного управления щитом.

Нормально подъемный механизм приводится в движение мотором, а ручной привод спроектирован про запас, на случай порчи электродвигателя или отсутствия тока.

Движение мотора передается на синхронный вал при помощи двух пар цилиндрических зубчатых колес, с общим передаточным числом

$$k = 5 \cdot 7 = 35.$$

Первая пара (от мотора), с передаточным числом $k = 7$, имеет при ширине колес $b = 30$ мм:

$$D = 490 \text{ мм}; Z = 140;$$

$$d = 70 \text{ мм}; Z'_1 = 20.$$

Вторая пара зубчатых колес, с передаточным числом $k = 5$, имеет, при ширине колеса $b = 55$ мм, соответственно:

$$D = 535 \text{ мм}; Z = 100 \text{ мм};$$

$$d = 107 \text{ мм}; Z'_1 = 20.$$

Полное открытие затвора мотором производится в течение 10 минут.

Подъемный механизм снабжен колодковым тормозом, насаженным на синхронном валу и управляемым электромагнитом выталкивающего действия. Нормально тормоз зажат собственным весом груза и сердечника, и при подъеме одновременно с включением мотора замыкается и цепь электромагнита тормоза, тем самым выталкивая сердечник и отжимая колодки тормоза. При остановке мотора электромагнит автоматически выключается, и щит повисает на зажатом тормозе¹.

Примечание. Электрический привод спроектирован на трехфазный ток как наиболее распространенный и обычно вырабатываемый станциями сколько-либо значительной мощности. В случае наличия постоянного тока и необходимости работы подъемных механизмов на постоянном токе переход с трехфазного тока на постоянный может быть сделан простой заменой двигателя и электромагнита.

Опускание затвора производится собственным его весом; при этом тормоз при помощи электромагнита растормаживается, а чтобы не дать скорости падения достигнуть опасных пределов, могут быть применены следующие способы: или замкнуть мотор таким образом чтобы он при опускании работал как генератор; или же дать щиту свободно падать, а чтобы скорость падения не превышала опасной величины—снабдить механизм центробежным выключателем, который размыкает ток соленоида при определенной заранее заданной скорости, и тормоз зажимается собственным весом тормозного груза и сердечника. При уменьшении скорости опускания щита ниже нор-

¹ Мотор - Государственного электротреста (ГЭТ), трехфазного тока, мощностью 2 л. с., с числом оборотов $n = 935$ об./мин. Электромагнит—трехфазного тока, фирмы АЕГ с подъемной силой 15 кг и ходом 50 мм.

мальной тормоз опять освобождается. Конструкция механизма одинаково допускает оба указанные способа опускания затвора. Поднятие затвора вручную производится одним человеком с максимальным усилием в 16 кг.

Для передачи усилия рабочего от рукоятки к синхронному валу служат две пары чугунных конических зубчатых колес с общим передаточным числом

$$k = 2 \cdot 3 = 6.$$

Первая пара зубчатых колес (от рукоятки) с передаточным числом $k = 2$ при ширине колеса 45 мм имеет соответственно:

$$D = 218 \text{ мм}; Z = 40;$$

$$d = 109 \text{ мм}; Z'_1 = 20.$$

Вторая пара зубчатых колес с передаточным числом $k = 3$ при ширине зубцов $b = 65$ мм имеет соответственно:

$$D = 288 \text{ мм}; Z = 36,$$

$$d = 96 \text{ мм}; Z'_1 = 12.$$

Время подъема затвора вручную $t = 1$ ч. 20 м.

Опускание затвора вручную принудительное, при помощи рукояточного тормоза (безопасная точка), конструкция завода Gebr. Bolzani в Берлине.

На рукояточном валу W (см. ниже рис. 267) насажен свободно диск N и стакан M , снабженный на наружной поверхности зубцами. Диски O и P , распираемые пружиной, сидят свободно на том же валу W на шпонках и могут перемещаться вдоль оси последнего.

При вращении ручки по направлению движения часовой стрелки ручка навинчивается на нарезанный конец вала W (так устроена нарезка), диск уходит влево, пружина F сжимается, и давление между $P-N$ и $O-M$ увеличивается настолько, что они начнут вращаться, забирая с собою и вал W (подъем щита); при этом храповик скользит по зубцам и не препятствует вращению. После того как внешняя сила перестает действовать на рукоятку, вал W повернется под действием веса щита в обратную сторону на незначительный угол, пока зубья храпового колеса на стакане не сцепятся с собачкой.

При вращении ручки в обратную сторону (опускание щита) последняя отходит вправо, нажим пружины на диски ослабляется, трение между дисками $P-N$ и $O-M$ уменьшается, и затвор под действием собственного веса начнет опускаться ускоренно. Так как рукоятка вращается равномерно, то при некотором ускорении вала W последний опережает рукоятку, отчего рукоятка уходит влево, пружина сжимается и вызывает торможение. Следовательно при опускании затвора все время нужно вращать рукоятку, при чем скорость опускания щита будет зависеть от скорости вращения рукоятки.

Опускание, как и поднятие, производится одним рабочим с максимальным усилием $p = 16$ кг.

Для переключения с электрического привода на ручной служит особый механизм переключения. Вал $O-O'$, служащий осью для тор-

мозного рычага, помещен над тормозным диском в особых подшипниках; на нем насажены наглухо со стороны тормоза кулачковая муфта *A*, а со стороны колонки—рукоятка *B* и диск *C* с нарезанными на нем по сектору $\cong 130^\circ$ зубцам (рис. 257).

С зубчатым сектором находится в сцеплении зубчатая рейка *D*, помещенная в верхнем хомуте ярма *E*. В стенках нижнего хомута сделаны два прореза: один *a—a* прямой для пропуска сидящего наглухо на синхронном валу *O—O'* диска, а другой *b—b*—коленчатый для штифтов, насаженных на кольцо, связанном со ступицей подвижной зубчатки *g*, сидящей на том же синхронном валу. При поворачивании рукоятки *B* из верхнего положения вниз, вследствие сцепления рейки с зубчатым диском, происходит оттягивание ярма *E* вниз. Опорный диск, входящий в прорез *a—a* нижнего хомута, мешает перемещению ярма вдоль оси вала *O—O'*, а поэтому кольцо с штифтом, а следовательно и коническая зубчатка *g* передвигаются до сцепления с зубчаткой *F* на вертикальном валу колонки.

После того как зубчатка вошла в зацепление, штифты при дальнейшем повороте рукоятки переключения двигаются по вертикаль-

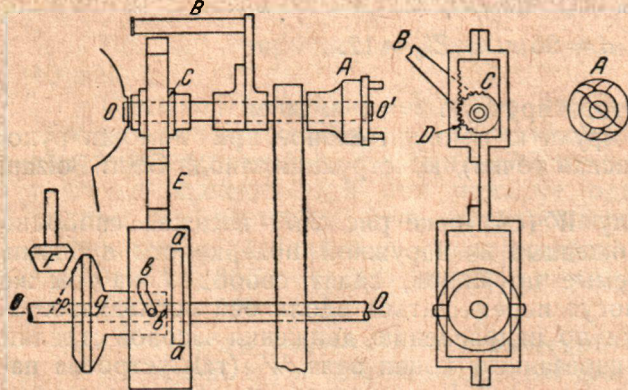


Рис. 257.

ной части прореза, и перемещения зубчатки не происходит. Когда поворот рукоятки достигает 90° , кулачки муфты *A* приходят в соприкосновение с выступами тормозной втулки, и при дальнейшем поворачивании рукоятки поворачивается и тормозная втулка, вследствие чего происходит растормаживание колодчатого тормоза. В этом конеч-

ном положении рукоятка защемляется помещенной на стойке пружинной защелкой, и щит повисает на рукояточном тормозе.

При переключении с электрического привода на ручной рукоятка должна произвести последовательно следующие манипуляции:

В самом начале поворота рукоятки, когда еще зацепления конических зубчатых колес не произошло, размыкается электрическая цепь электромагнита и мотора, и тем самым исключается возможность одновременного включения моторного и ручного приводов, а следовательно и поломки.

Затем, при дальнейшем повороте рукоятки, происходит сцепление колес при зажатом колодчатом тормозе, и наконец, когда уже сцепление конических колес *F* и *g* произошло, колодчатый тормоз отжимается, и щит повисает на рукояточном тормозе.

При переходе с ручного привода на электрический все манипуляции идут в обратном порядке: сначала зажимается колодчатый тормоз, затем происходит расцепление конических зубчатых колес ручного привода, и наконец включаются в электрическую сеть мотор и электромагнит.

Ограничитель подъема и спуска

При работе подъемного механизма на электрическом приводе необходимо снабдить механизм особым автоматическим ограничителем подъема и опускания затвора, чтобы этот последний не доходил до своих конечных положений на несколько сантиметров, на каковую величину подъем и опускание производятся уже не мотором, а вручную, со всей требуемой осторожностью. Автоматический предохранитель (на чертеже не показанный) должен быть соединен с подъемным механизмом механической связью, а с мотором и электромагнитом—электрическую связь, при чем последняя нарушается, как только затвор доходит до предельного положения.

В. Служебный мост

Служебный мост, длиною 17,1 м и шириною 3 м, состоит из двух решетчатых ферм раскосной системы, с верхними и нижними продольными связями и поперечными опорными рамами.

Профили сечений ферм и связей составлены из уголкового железа 90 · 90 · 9 и 55 · 55 · 7; диаметр заклепочного отверстия $d = 16$. Крайние панели из конструктивных соображений, для возможности укрепления подъемных лебедок, сделаны со сплошной стенкой толщиной $\delta = 8$ мм и снабжены прорезами для блоков.

Настил моста досчатый из 62-мм досок, на брусках, уложенных по верхнему поясу ферм.

Подъемные механизмы расположены полностью между фермами моста, под настилом, и для обслуживания его вдоль нижнего пояса ферм имеется особый настил—сплошной под лебедками в крайних панелях и механизмом управления в средней панели, шириною 0,7 м вдоль остальной части моста. Высота от пола служебного настила до верхнего пояса, равная 1,93 м, вполне достаточна для прохода и работы на рукоятке при подъеме вручную.

Мост установлен на двух неподвижных и двух подвижных катковых опорах.

Расчет механизма для подъема щита

Расчетные данные:

Тяговое усилие двух канатов согласно расчета затвора	$Q = 7\,000$ кг.
Высота подъема	$H = 6$ м.
Время подъема мотором	$t = 10$ минут.
Подъем вручную ¹	$t' = 1$ ч. 30 мин.

Выбор каната

Затвор поднимается двумя канатами, расположенными по концам щита.

Натяжение каждого каната:

$$q = \frac{Q}{2} = \frac{7\,000}{2} = 3\,500 \text{ кг.}$$

¹ Подъем вручную производится одним человеком.

Так как натяжение передается на барабан через блок, то при коэффициенте полезного действия блока 0,95 имеем расчетное усилие каната:

$$q' = \frac{3500}{0,95} = 3685 \text{ кг.}$$

Вследствие работы каната частично в воде принимаем 12-кратный запас прочности, и следовательно разрывное усилие каната должно быть не менее $3685 \cdot 12 = 44500 \text{ кг.}$

Выбираем по данным фабрики Мейергольда в Сосновицах канат двойной свивки, диаметром $d = 26 \text{ мм.}$, с числом проволок $n = 222$; $d' = 1,2 \text{ мм.}$, с разрывным усилием 45066 кг. Вес каната— $2,5 \text{ кг/м.}$

Расчет длины каната

$$\sin \varphi = \frac{6}{9} = 0,666; \varphi = 41^\circ 46'.$$

Длина навиваемого каната:

$$l = \frac{\pi \cdot r \cdot \varphi}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 9 \cdot 41^\circ 46'}{180^\circ} = 0,017453 \cdot 9 \cdot 41,76 = 6,53 \text{ м.}$$

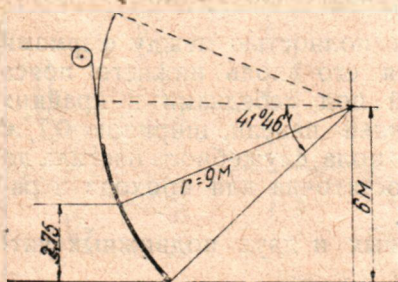


Рис. 258.

Блок (рис. 258)

Диаметр блока принимается в зависимости от диаметра каната или диаметра проволоки.

$$D \cong 20 \cong 20 \cdot 26 = 520 \text{ мм}$$

или

$$D \cong 500 \cong 500 \cdot 1,2 = 600 \text{ мм.}$$

Принимаем из конструктивных соображений:

$$D = 700 \text{ мм.}$$

Число ручек блока:

$$m = \frac{1}{7} \sqrt{D} = \frac{1}{7} \sqrt{700} = 3,78; \text{ берем } 6.$$

Ширина ручки h у втулки для крестообразного сечения:

$$\delta = \frac{1}{5} \cdot h;$$

$$h = 0,54 \sqrt[3]{\frac{PH}{m}} = 0,54 \sqrt[3]{\frac{3500 \cdot 25}{6}} = 0,54 \sqrt[3]{14600} = 13 \text{ см.}$$

Ширина ручки у обода:

$$h' = 0,8 \cdot h = 130 \cdot 0,8 = 10,4 \text{ см.}$$

Толщина ручки:

$$\delta = 0,2 h = 130 \cdot 0,2 = 26 \text{ мм.}$$

Длину ступицы принимаем в зависимости от диаметра оси блока, равного 10 см.

$$l = 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 100 = 250 \text{ мм.}$$

Толщина втулки:

$$0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ мм.}$$

Вес блока — 120 кг.

Барабан

Диаметр барабана принимается по тем же соображениям, как и для блока:

$$D = 700 \text{ мм.}$$

Толщина стенок определяется из формулы:

$$\Delta = 0,04 R + 10 \text{ мм} = 14 + 10 = 24 \text{ мм.}$$

Внутренний диаметр барабана:

$$D' = D - \frac{2\Delta}{2} \cdot 2 = 700 - \frac{2 \cdot 26}{2} - 2 \cdot 24 = 626 \text{ мм,}$$

где d — диаметр каната.

Число рабочих витков на барабане при поднятом шите:

$$n = \frac{l}{3,14 \cdot D} = \frac{6,53}{3,14 \cdot 0,7} = 2,97 \text{ витка.}$$

Полагая 2,03 витка запасных и 100 мм (конструктивно) на концы, получаем полную длину поверхности барабана при ширине желоба для каната $b = 26 + 2 = 28 \text{ мм.}$

$$L = (2,97 + 2,03) (26 + 2) + 100 = 240 \text{ мм.}$$

В виду незначительной длины барабана и следовательно незначительности изгибаемого момента проверку прочности барабана производим только по сжатию¹ по формуле:

$$\sigma_{\text{сж.}} = \frac{q}{\Delta l},$$

где q — напряжение каната;

Δ — наименьшая толщина стенок;

l — расстояние между соседними витками.

$$\sigma_{\text{сж.}} = \frac{3685}{2,4 \cdot 2,8} = 519 \text{ кг/см}^2 < 600 \text{ кг/см}^2 \text{ допускаемых для чугуна.}$$

Барабан соединен непосредственно с зубчатым колесом первой передачи и свободно вращается на оси.

Вес барабана — 360 кг.

¹ Берлов. Подъемники, стр. 93, изд. 1926 г.

Определение передаточного числа

А. Моторная передача

Скорость поднятия щита при моторной передаче:

$$V = \frac{H}{t} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ м/мин.}$$

Мощность мотора, принимая предварительно коэффициент полезного действия всего механизма $\eta = 0,6$,

$$N = \frac{Q \cdot V}{60 \cdot 75} = \frac{7000 \cdot 0,6}{60 \cdot 75 \cdot 0,6} = 1,56.$$

По каталогу ГЭТа № 2 за 1926 г. выбираем мотор трехфазного тока, типа *NWG*, мощностью 2 л. с., с числом оборотов в минуту:

$$n = 935.$$

Число оборотов барабана в минуту, при длине навиваемой части каната:

$$L = 6,53 \text{ м,}$$

определяется:

$$n_{\text{бар.}} = \frac{6,53}{10 \cdot 3,14 \cdot 0,7} = 0,297 \text{ об./мин.}$$

Передаточное число:

$$K = \frac{n_{\text{мот.}}}{n_{\text{бар.}}} = \frac{935}{0,297} = 3150.$$

Составляем передачу из пяти пар зубчатых колес с передаточным числом:

$$K = 4 \cdot 4,5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 7 = 3150.$$

При коэффициенте действия блока и барабана по 0,95, а зубчатых передач по 0,93 имеем коэффициент полезного действия подъемного механизма:

$$\eta = 0,95^2 \cdot 0,93^5 = 0,63.$$

Б. Ручная передача

Скорость подъема щита вручную:

$$V' = \frac{6}{90} = 0,0667 \text{ м/мин.}$$

Число оборотов барабана в минуту при длине навиваемого каната $L = 6,53 \text{ м}$:

$$n = \frac{L}{r \cdot \pi \cdot D} = \frac{6,53}{90 \cdot 3,14 \cdot 0,7} = 0,033 \text{ об./мин.}$$

Передаточное число при нормальном числе оборотов рукоятки:

$$n_{\text{рук.}} = 20.$$

$$K = \frac{n_{\text{рук.}}}{n_{\text{бар.}}} = \frac{20}{0,033} = 606.$$

Для ручной передачи используем три пары зубчатых передач электрического привода и вводим две пары конических колес с передаточными числами 3 и 2.

Следовательно общее передаточное число при ручной передаче будет:

$$K = 4 \cdot 4,5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 2 = 540.$$

Коэффициент полезного действия тот же, что и для моторной:

$$\eta = 0,63.$$

Момент на оси рукоятки при передаточном числе 540:

$$M_{\text{рук.}} = \frac{2 P_{\text{бар.}} \cdot r_{\text{бар.}}}{\eta_{\text{бар.}} \cdot \eta_{\text{зуб.}} \cdot K} = \frac{3685 \cdot 35 \cdot 2}{0,95 \cdot 0,93^5 \cdot K} = \frac{128970 \cdot 2}{0,665 \cdot 540} = 720 \text{ кг/см.}$$

При длине ручки $b = 45$ см усилие на ручку:

$$p = \frac{720}{45} = 16 \text{ кг} < 20 \text{ кг, максимально допускаемых на одного рабочего.}$$

Время, потребное для поднятия вручную щита при выбранном передаточном числе $K = 540$ и при числе оборотов рукоятки:

$$n = 20 \text{ об./мин.}$$

$$t = \frac{90 \cdot 540}{606} = 80 \text{ м} = 1 \text{ ч. } 20 \text{ м.} < 1 \text{ ч. } 30 \text{ м.}$$

Расчет зубчатых передач

Передача I

Передаточное число $K_1 = 4$.

Колеса—цилиндрические, стальные.

Число зубцов на шестерне $Z = 15$.

Число зубцов на колесе $Z_1' = 60$.

Отношение ширины колес к шагу $b = 3$.

Допускаемое напряжение для стали $k = 900 \text{ кг/см}^2$.

Момент на валу шестерни:

$$M = \frac{q \cdot r_{\text{бар.}}}{\eta_{\text{б.л.}} \cdot \eta_{\text{бар.}} \cdot \eta_{\text{зуб.к.}}} = \frac{3500 \cdot 35}{0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,93 \cdot 4} = 36530 \text{ кг/см.}$$

Величина шага зацепления:

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{M}{b \cdot z_1 k}} = 4,73 \sqrt[3]{\frac{36530}{3 \cdot 15 \cdot 900}} = 4,57 \text{ см.}$$

Диаметр шестерни:

$$d_1 = \frac{t \cdot z}{\pi} = \frac{4,57 \cdot 15}{3,14} = 21,82 \text{ см.}$$

Диаметр колеса:

$$D_1 = d_1 \cdot 4 = 21,82 \cdot 4 = 87,28 \text{ см.}$$

Ширина колеса:

$$b = 3t = 3 \cdot 4,57 = 13,71 \text{ см; берем } 15 \text{ см.}$$

Окружная скорость:

$$V_* = \frac{V_{\text{бар.}} \cdot \pi \cdot D_1}{60} = \frac{0,297 \cdot 3,14 \cdot 0,872}{60} = 0,0134 \text{ м/сек.}$$

Высота зубца;

$$h = 0,3 t = 0,3 \cdot 4,57 = 1,37 \text{ см.}$$

Основание зубца:

$$h' = 0,4 t = 0,4 \cdot 4,57 = 1,83 \text{ см.}$$

Вес шестерни равен 25 кг.

Вес колеса:

$$q = \frac{3,14 \cdot (87,28^2 - 70^2) \cdot 15,08 \cdot 8}{4} = 235 \text{ кг.}$$

Зубчатое колесо насажено на барабан и связано с ним помощью шпонки.

Передача II

Передаточное число $K_2 = 4,5$.

Колеса — цилиндрические, стальные.

Число зубцов на шестерне $Z_2 = 20$.

„ „ „ колесе $Z_2' = 20 \cdot 4,5 = 90$.

Отношение ширины к шагу $b = 2,5$.

Допускаемое напряжение $K = 900 \text{ кг/см}^2$.

Момент на валу шестерни:

$$M_2 = \frac{M_1}{K_2 \eta} = \frac{36530}{4,5 \cdot 0,93} = 8730 \text{ кг/см.}$$

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{8730}{2,5 \cdot 20 \cdot 900}} = 2,75 \text{ см.}$$

Диаметр шестерни:

$$d_2 = \frac{2,75 \cdot 20}{3,14} = 17,5 \text{ см.}$$

Диаметр колеса:

$$D_2 = 4,5 \cdot 17,5 = 78,7 \text{ см.}$$

Ширина колеса:

$$b = 2,5 \cdot 2,75 = 6,87; \text{ берем } 7,5 \text{ см.}$$

Высота зубца:

$$h = 0,3 \cdot 2,75 = 0,85 \text{ см.}$$

Основание зубца:

$$h' = 0,4 \cdot 2,75 = 1,1 \text{ см.}$$

Окружная скорость:

$$V = \frac{0,0134 \cdot 78,7}{216,2} = 0,0482 \text{ м/сек.}$$

Размеры.

Число спиц:

$$m = \frac{1}{7} \sqrt{D} = \frac{1}{7} \sqrt{787,5} = 4 \text{ спицы; берем } 6.$$

Толщина обода:

$$0,5t = 0,5 \cdot 2,75 = 14 \text{ мм.}$$

Спицы крестообразного сечения при $\delta = 1/5 \cdot h$.

$$h = 0,54 \sqrt[3]{\frac{1000 \cdot 30}{6}} = 0,54 \sqrt[3]{5000} = 9,2 \text{ см.}$$

$$h_1 = 0,8 h = 7,3 \text{ см; } \delta = 0,2 h = 1,8 \text{ см.}$$

Вес колеса:

$$g = 90 \cdot (0,27 + 75 \cdot 0,09) - 4,2 = 85 \text{ кг.}$$

Вес шестерни:

$$g_1 = \frac{3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 7,5 \cdot 8}{4 \cdot 1000} = 14,6 \cong 15 \text{ кг.}$$

Передача III

Передаточное число $K_3 = 5$.

Колеса—цилиндрические стальные.

Число зубцов на шестерне $Z_3 = 20$.

„ „ „ колесе $Z'_3 = 5 \cdot 20 = 100$.

Отношение ширины колеса к шагу $b = 2,5$.

Допускаемое напряжение $K_3 = 600 \text{ кг/см}^2$.

Момент на валу шестерни:

$$M_3 = \frac{8730}{5 \cdot 0,93} = 1880 \text{ кг/см.}$$

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{1880}{2,5 \cdot 20 \cdot 600}} = 4,73 \cdot 0,347 = 1,88 \text{ см.}$$

Диаметр шестерни:

$$d_3 = \frac{1,88 \cdot 20}{3,14} = 12 \text{ см.}$$

Диаметр колеса:

$$D = 5 \cdot 12 = 60 \text{ см.}$$

Ширина колеса:

$$b = 2,5 \cdot 1,88 = 4,7 \text{ см; берем } 5 \text{ см.}$$

Высота зубца:

$$h = 0,3 \cdot 1,88 = 0,56 \text{ см.}$$

Основание зубца:

$$h' = 0,4 \cdot 1,88 = 0,75 \text{ см.}$$

Окружная скорость:

$$V_3 = \frac{0,0482 \cdot 60}{17,5} = 0,165 \text{ м/сек.}$$

Вес колеса:

$$g = 32 \text{ кг.}$$

Вес шестерни:

$$g' = 4,5 \text{ кг.}$$

Передача IV (общая для обоих механизмов)

Передаточное число $K_4 = 5$.

Колеса—цилиндрические чугунные.

Число зубцов на шестерне $Z_4 = 20$.

„ „ „ колесе $Z_4' = 5 \cdot 20 = 100$.

Отношение ширины колес к шагу $b = 3$.

Допускаемое напряжение $K_4 = 300 \text{ кг/см}^2$.

$$M_4 = \frac{1,880 \cdot 2}{5 \cdot 0,93} = 810 \text{ кг.}$$

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{810}{3 \cdot 20 \cdot 300}} = 4,73 \cdot 0,356 = 1,68 \text{ см.}$$

Диаметр шестерни:

$$d_4 = \frac{1,68 \cdot 20}{3,14} = 10,7 \text{ см.}$$

Диаметр колеса:

$$D_4 = 10,7 \cdot 5 = 53,5 \text{ см.}$$

Ширина колеса:

$$b = 3 \cdot 1,78 = 5,05 \text{ см; берем } 5,5 \text{ см.}$$

Высота зубца:

$$h = 0,3 \cdot 1,68 = 0,51 \text{ см.}$$

Основание зубца:

$$h' = 0,4 \cdot 1,68 = 0,67.$$

Окружная скорость:

$$V_4 = \frac{0,165 \cdot 53,5}{12} = 0,735 \text{ м/сек.}$$

Вес колеса:

$$g = 30 \text{ кг.}$$

Вес шестерни:

$$g' = 4 \text{ кг.}$$

Передача V (моторная)

Передаточное число $K_5 = 7$.

Колесо—цилиндрическое чугунное.

Шестерня—бронзовая.

Число зубцов на шестерне $Z_5 = 20$.

" " " колесе $Z_5' = 7 \cdot 20 = 140$.

Отношение ширины колеса к шагу $b = 2,5$.

Допускаемое напряжение $K_5 = 200 \text{ кг/см}^2$.

$$M_5 = \frac{810}{7 \cdot 0,93} = 124 \text{ кг/см.}$$

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{124}{2,5 \cdot 20 \cdot 200}} = 4,73 \cdot 0,231 = 1,085; \text{ берем } 1,1 \text{ см.}$$

Диаметр шестерни:

$$d_5 = \frac{1,1 \cdot 20}{3,14} = 7 \text{ см.}$$

Диаметр колеса:

$$D_5 = 7 \cdot 7 = 49 \text{ см.}$$

Ширина колеса:

$$b = 2,5 \cdot 1,1 = 2,75; \text{ берем } 3 \text{ см.}$$

Высота зубца:

$$h = 0,3 \cdot 1,1 = 0,33 \text{ см.}$$

Основание зубца:

$$h' = 0,4 \cdot 1,1 = 0,44 \text{ см.}$$

Окружная скорость:

$$V_5 = \frac{0,735 \cdot 48,7}{10,7} = 3,36 \text{ м/сек.}$$

Вес колеса:

$$g = 15 \text{ кг.}$$

Вес шестерни:

$$g' = 1,5 \text{ кг.}$$

Передача IV' (коническая)

Передаточное число — 3.

Колеса — конические чугунные.

Число зубцов на шестерне $Z = 12$.

Число зубцов на колесе $Z' = 12 \cdot 3 = 36$.

Отношение ширины колеса к шагу $b = 2,5$.

Допускаемое напряжение $K = 300 \text{ кг/см}^2$.

$$M = \frac{1880 \cdot 2}{3 \cdot 0,93} = 1348 \text{ кг/см.}$$

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{1348}{2,5 \cdot 12 \cdot 300}} = 2,52 \text{ см.}$$

Диаметр шестерни:

$$d = \frac{2,52 \cdot 12}{3,14} = 9,65 \text{ см.}$$

Диаметр колеса:

$$D = 9,65 \cdot 3 = 28,95 \text{ см.}$$

Ширина колеса:

$$b = 2,5 \cdot 2,52 = 6,3 \text{ см; берем } 6,5 \text{ см.}$$

Передача V

Передаточное число — 2.

Колеса—чугунные конические.

Число зубцов на шестерне $Z = 20$.

Число зубцов на колесе $Z' = 40$.

Отношение ширины колеса к шагу $b = 2,5$.

Допустимое напряжение $K = 300 \text{ кг/см}^2$.

$$M = \frac{1348}{2 \cdot 0,93} = 722 \text{ кг/см.}$$

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{722}{2,5 \cdot 20 \cdot 300}} = 4,73 \cdot 0,364 = 1,71 \text{ см.}$$

Диаметр шестерни:

$$d = \frac{1,71 \cdot 20}{3,14} = 10,87 = 10,9.$$

Диаметр колеса:

$$D = 10,9 \cdot 2 = 21,8 \text{ см.}$$

Ширина колеса:

$$b = 1,71 \cdot 2,5 = 4,26 \text{ см; берем } 4,5 \text{ см.}$$

Оси и валы (рис. 259)

Ось блока

Тяговое усилие каната $Q = 3500$.

Вес блока 120 кг.

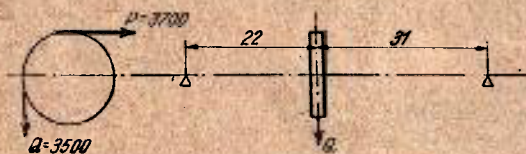


Рис. 259.

Тяговое усилие на блоке:

$$P = \frac{Q}{0,95} = \frac{3500}{0,95} = 3685 \cong \cong 3700 \text{ кг.}$$

Вертикальная реакция опор:

$$R_A = \frac{(3500 + 120) 31}{53} = 2120 \text{ кг;}$$

$$R_B = 3620 - 2120 = 1500 \text{ кг.}$$

Горизонтальная реакция опор:

$$R''_A = \frac{3700 \cdot 31}{52} = 2165 \text{ кг;}$$

$$R''_B = 3700 - 2165 = 1535 \text{ кг.}$$

Равнодействующая опорных реакций от вертикальной и горизонтальной составляющих:

$$R_A = \sqrt{2120^2 + 2165^2} = 3020 \text{ кг.}$$

$$R_B = \sqrt{1500^2 + 1535^2} = 2138 \text{ кг.}$$

Изгибающий момент:

$$M_{\text{изг.}} = 3020 \cdot 22 = 66500 \text{ кг/см.}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{изг.}}}{0,1 K_4}} = \sqrt[3]{\frac{66500}{0,1 \cdot 800}} = \sqrt[3]{835} = 9,42; \text{ берем } 10 \text{ см, где } K_4$$

берем для стали равным 800 кг/см^2 .

Ось укреплена неподвижно в станине.

Толщина стенки $0,8 \text{ см}$.

Проверяем стенку на смятие в наиболее нагруженном конце.

$$K = \frac{R_A}{d \cdot \delta} = \frac{3020}{10 \cdot 0,8} = 377 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг/см}^2.$$

Удельное давление на ось блока при длине втулки блока $l=25 \text{ см}$.

$$q = \frac{3700}{dl} = \frac{3700}{10 \cdot 25} = 14,8 \text{ кг/см}^2 < 40 \text{ кг/см}^2.$$

Вес оси длиной $l=60 \text{ см}$; $d=10 \text{ см}$;

$$q = 38 \text{ кг.}$$

Ось барабана

Зубчатое колесо первой зубчатой передачи соединено непосредственно с барабаном, вращающимся свободно на оси; поэтому ось барабана испытывает только изгиб от:

1. Усилия первой пары зубчатых колес.
2. Напряжения каната на барабане, которое передается на ось по средней ступице барабана.
3. Собственного веса барабана и зубчатого колеса.

Тяговое усилие каната на барабане:

$$Q' = \frac{3500}{0,95 \cdot 0,95} = 3900 \text{ кг.}$$

Касательное усилие зубчатой передачи:

$$P_1 = \frac{M_1}{r_1} = \frac{36500}{10,91} = 3350 \text{ кг.}$$

Вес барабана $q = 360 \text{ кг}$.

Вес колеса равен 260 кг .

Тяговое усилие каната направлено горизонтально, а касательное усилие зубчатой передачи—вертикально.

Рассмотрим действие этих сил отдельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Вертикальная плоскость (рис. 260)

$$R_{A'} = \frac{180 \cdot 42,5 + 3790 \cdot 14,5}{53} = 1180 \text{ кг.}$$

$$R_{B'} = 3790 + 180 - 1180 = 2790 \text{ кг.}$$

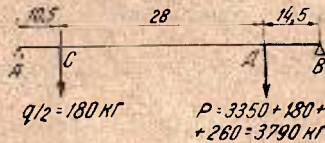
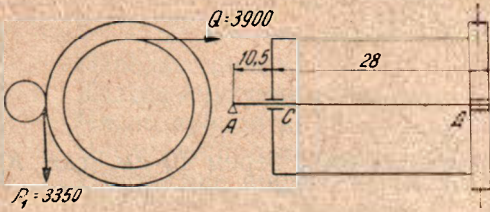


Рис. 260.

Вертикальный изгибающий момент:

$$M_{C'} = 1180 \cdot 10,5 = 12400 \text{ кг/см.}$$

$$M_{D'} = 2790 \cdot 14,5 = 40500 \text{ кг/см.}$$

В горизонтальной плоскости наибольшее изгибающее усилие будет при навитом канате (рис. 261):

Усилие в ступице:

$$C = \frac{3900 \cdot 13,5}{28} = 1880 \text{ кг.}$$

Усилие в ступице:

$$D = 3900 - 1880 = 2020 \text{ кг.}$$

$$R''_{B'} = \frac{2020 \cdot 39,5 + 1880 \cdot 10,5}{53} = \frac{80000 + 19700}{53} = 1880 \text{ кг.}$$

$$R''_{A'} = 1880 + 2020 - 1880 = 2020 \text{ кг.}$$

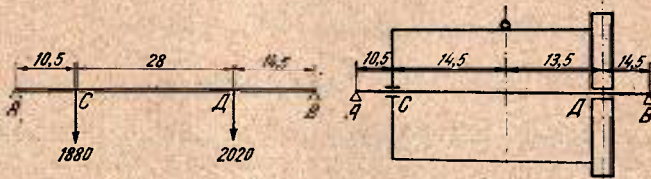


Рис. 261.

Изгибающий момент:

$$M''_{C'} = 2020 \cdot 10,5 = 21250 \text{ кг/см;}$$

$$M''_{D'} = 1880 \cdot 14,5 = 27200 \text{ кг/см.}$$

$$R_C = \sqrt{180^2 + 1880^2} = 1889 \text{ кг;}$$

$$R_D = \sqrt{2020^2 + 3790^2} = 4295 \text{ кг.}$$

$$R_A = \sqrt{1180^2 + 2020^2} = 2340 \text{ кг;}$$

$$R_B = \sqrt{2790^2 + 1880^2} = 3365 \text{ кг.}$$

Равнодействующий изгибающий момент в наиболее опасном сечении D:

$$M = \sqrt{M_D + M_{D''}} = \sqrt{40500^2 + 27200^2} = 48790 \text{ кг/см.}$$

Диаметр оси барабана:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{0,1 K}} = \sqrt[3]{\frac{48790}{0,1 \cdot 800}} = 8,5 \text{ см}; \text{ берем } 10 \text{ см.}$$

Удельное давление в цапфах при длине втулки $l_C = 8$ и $l_D = 16$ см.
Цапф:

$$C = \frac{1889}{10 \cdot 8} = 23,5 \text{ кг/см}^2 < 40 \text{ кг/см}^2.$$

$$D = \frac{4295}{10 \cdot 16} = 26,8 \text{ кг/см}^2 < 40 \text{ кг/см}^2.$$

Давление оси на стенки станины.

В опоре:

$$A = \frac{2340}{0,8 \cdot 10} = 292 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг/см}^2.$$

В опоре:

$$B = \frac{3365}{0,8 \cdot 10} = 420 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг/см}^2.$$

Вес оси при длине

$$l = 60; d = 10 \text{ см.}$$

$$q = 38 \text{ кг.}$$

Вал I

$$P_1 = 3350 \text{ кг;}$$

$$P_2 = \frac{M_2}{r_2} = \frac{8730}{8,75} = 1000 \text{ кг.}$$

Сила P_1 направлена вертикально.

Сила P_2 направлена горизонтально.

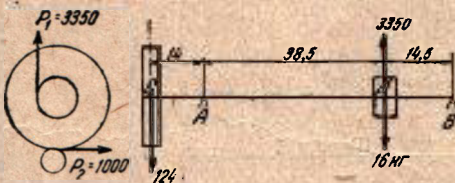


Рис. 262.

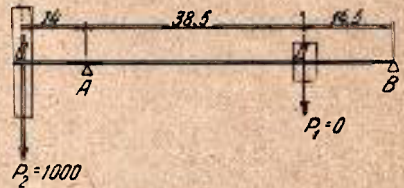


Рис. 263.

Вес шестерни $q_2 = 16$ кг.

Вес колеса $Q_2 = 124$ кг.

Вертикальная составляющая (рис. 262):

$$R'_A = \frac{3334 \cdot 14,5 + 124 \cdot 67}{53} = 910 \text{ кг;}$$

$$R'_B = -3334 + 124 + 910 = -2300 \text{ кг.}$$

$$M_D = 2300 \cdot 14,5 = 33400 \text{ кг/см.}$$

$$M_A = 124 \cdot 14 = 1740 \text{ кг/см.}$$

Горизонтальная составляющая (рис. 263):

$$R_A'' = \frac{1000 \cdot 67}{53} = 1262 \text{ кг.}$$

$$R_B'' = 1000 - 1262 = -262 \text{ кг.}$$

$$M_D = 0; M_A = 1262 \cdot 14 = 17700 \text{ кг/см.}$$

$$M_{кр.} = 36530 \text{ кг/см.}$$

Максимальный момент изгиба в сечении D определяется по формуле:

$$M_{ид.} = 0,35 M_{изг.} + 0,65 \sqrt{M_{изг.}^2 + (\alpha M_{кр.})^2}, \text{ где } \alpha = 0,42^1.$$

$$M_{ид.} = 0,35 \cdot 33400 + 0,65 \sqrt{33400^2 + (0,42 \cdot 36530)^2} = 11700 + 24000 = 35700 \text{ кг/см.}$$

Диаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{35700}{0,1 \cdot 800}} = \sqrt[3]{448} = 7,66; \text{ берем } 9 \text{ см.}$$

$$R_{A(\text{равнод.})} = \sqrt{910^2 + 1262^2} = 1555 \text{ кг.}$$

$$R_{B(\text{равнод.})} = \sqrt{262^2 + 2300^2} = 2315 \text{ кг.}$$

Удельное давление:

$$q = \frac{2315}{9 \cdot 10} = 25,8 \text{ кг/см}^2 < 40 \text{ кг/см}^2.$$

Вес вала:

$$l = 83 \text{ см.}; d = 9 \text{ см.}$$

$$q = 42 \text{ кг.}$$

Вал II (рис. 264)

$$P_2 = 1000 \text{ кг.}$$

$$P_3 = \frac{M_3}{r_3} = \frac{1880}{5,2} = 362 \text{ кг.}$$

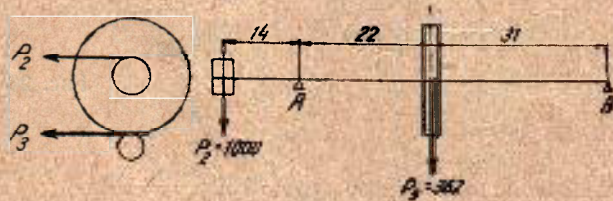


Рис. 264.

$$R_A = \frac{1000 \cdot 67 + 362 \cdot 31}{53} = 1475 \text{ кг.}$$

$$R_B = 1000 + 362 - 1475 = -113 \text{ кг.}$$

¹ Берлов, стр. 163.

Изгибающий момент в сечении А, наиболее опасном:

$$M_A = 1\,000 \cdot 14 = 14\,000 \text{ кг/см.}$$

$$M_{\text{скр.}} = 8\,730 \text{ кг/см.}$$

$$M_{\text{ин.}} = 0,35 \cdot 14\,000 + 0,65 \sqrt{14\,000^2 + (0,42 \cdot 8\,730)^2} = 14\,300 \text{ кг/см.}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{14\,300}{0,1 \cdot 600}} = \sqrt[3]{238} = 6,17 \text{ см; берем } 7 \text{ см.}$$

Удельное давление при длине подшипника 10 см:

$$q = \frac{1\,475}{10 \cdot 7} = 21,2 \text{ кг} < 40 \text{ кг.}$$

Вес вала при $l = 80 \text{ см}$; $d = 7 \text{ см}$;
 $q = 24 \text{ кг}$.

Вал III синхронный

Этот вал, соединяющий подъемные механизмы, расположенные на концах моста, имеет длину между ведущими шестернями лебедок в 14,67 м и должен быть рассчитан на скручивание, исходя из положения, чтобы угол скрещивания не превышал $\frac{1}{4}^\circ$ на 1 п. м.

Момент, скручивающий вал:

$$M_{\text{кр.}} = 2 \cdot 1\,880 = 3\,760 \text{ кг/см.}$$

Диаметр вала определится из формулы:

$$d = 0,8 \cdot 735 \sqrt[4]{M_{\text{кр.}}} = 0,8 \cdot 735 \sqrt[4]{3\,760} = 4,6 \text{ см; берем } 5 \text{ см.}$$

Вес вала при $l = 14,67 \text{ м}$; $d = 5 \text{ см}$;
 $q = 226 \text{ кг}$.

Тормоз

Тормоз—колодочный, насажен на общий синхронный вал.

Крутящий момент на синхронном валу при подъеме:

$$M = 1\,880 \cdot 2 = 3\,760 \text{ кг/см.}$$

Крутящий момент на синхронном валу при опускании:

$$M' = 3\,760 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,93 \cdot 0,93 \cdot 0,93 = 3\,760 \cdot 0,725 = 2\,730 \text{ кг/см.}$$

Принимая коэффициент запаса для тормоза 1,3, имеем необходимый тормозной момент (рис. 265):

$$M_{\text{торм.}} = 2\,730 \cdot 1,3 = 3\,550 \text{ кг/см.}$$

При радиусе тормозного шкива $R = 25 \text{ см}$ окружное усилие:

$$T = \frac{M_{\text{торм.}}}{R} = \frac{3\,550}{25} = 142 \text{ кг.}$$

Момент на валу кривошипа:

$$M = QL = \frac{T \cdot b \cdot l}{2 \cdot a \cdot f \cdot \cos \varphi} = \frac{142 \cdot 23 \cdot 13}{2 \cdot 77 \cdot 0,3 \cos 15^\circ} = \frac{142 \cdot 23 \cdot 13}{2 \cdot 77 \cdot 0,3 \cdot 0,978} = 940 \text{ кг.}$$

где $f = 0,3$ — коэффициент трения обитой кожей колодки по чугунному шкиву.

Потребная подъемная сила электромагнита при длине плеча:

$$L = 75 \text{ см.}$$

$$Q = \frac{940}{75} = 12,6 \text{ кг.}$$

Берем электромагнит трехфазного тока типа *BD* по каталогу ВКЭ с воздушным буфером, грузоподъемной силой 15 кг и ходом 50 мм.

Вес сердечника $q = 5,4$ кг.

Отход колодки от шкива при оттормаживании:

$$\delta = \frac{50 \cdot 13}{2 \cdot 75} \cdot \frac{23}{77} = 0,132 > 0,1 \text{ см,}$$

требуемых для оттормаживания.

Вес дополнительного груза, помещенного в расстоянии 60 см от оси вращения, определяется из уравнения:

$$M = ql + q'l + q''l,$$

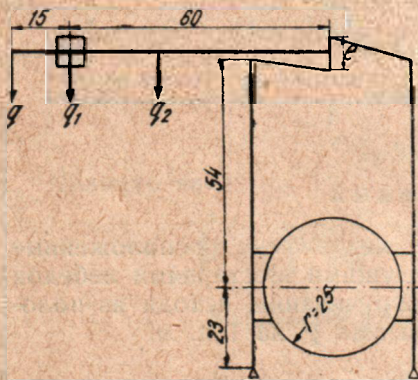


Рис. 265.

откуда

$$q = \frac{940 - 5,4 \cdot 75 - 3 \cdot 35}{60} = 7 \text{ кг.}$$

Колодки

Давление на колодку:

$$S = \frac{M}{2fR} = \frac{3550}{2 \cdot 0,3 \cdot 25} = 238 \text{ кг.}$$

Длина колодки $a = 16$ см.

Ширина колодки $b = 6$ см.

Удельное давление на колодку:

$$p = \frac{S}{a \cdot b} = \frac{238}{16 \cdot 6} = 2,48 \text{ кг/см}^2 < 7 \text{ кг/см}^2.$$

Механизм переключения (рис. 257).

Момент на валу тормозного кривошипа:

$$M = 940 \text{ кг/см.}$$

Плечо рукоятки $l = 45$ см.

Усилие на рукоятке переключения при оттормаживании:

$$P = \frac{M}{l} = \frac{940}{45} = 20,9 \text{ кг} \approx 21 \text{ кг.}$$

что является вполне допустимой краткосрочной нагрузкой на одного человека.

Примечание. Усилие для перемещения зубчатки в расчет не вводится, так как при расторможивании зубчатка уже включена.

Зубчатый сектор

Зубчатый сектор и рейка рассчитываются по наибольшему усилию на рукоятке, которое может иметь место, если при включении конических зубчатых колес зуб найдет на зуб.

Принимая это усилие на одного рабочего равным 32 кг, имеем максимальный изгибающий момент на оси зубчатого сектора:

$$M = 32 \cdot 45 = 1440 \text{ кг/см.}$$

Для стальной зубчатки и рейки при числе зубцов на зубчатке $Z = 20$ и ширине зуба $b = 2,5 t$ имеем шаг зубца:

$$t = 4,73 \sqrt[3]{\frac{M}{Z \cdot b \cdot K}} = 4,73 \sqrt[3]{\frac{1440}{20 \cdot 2,5 \cdot 900}} = 1,5 \text{ см.}$$

Начальный диаметр колеса (зубчатого сектора):

$$d = \frac{t \cdot Z}{\pi} = \frac{1,5 \cdot 20}{3,14} = 9,55 \text{ см} \approx 9,6 \text{ см.}$$

Ширина колес:

$$b = 2,5 t = 2,5 \cdot 1,5 = 3,75 \text{ см.}$$

Число зубцов на секторе, задаваясь необходимым поворотом ручки для включения зубчатки и отторможивания $\alpha = 90^\circ$, определяется:

$$h = \frac{20 \cdot 90}{360} + 4 = 9 \text{ зубцов.}$$

Наружный диаметр зубчатого сектора при высоте головки зубца $h = 0,3 t = 0,45 \text{ см}$:

$$D' = 9,6 + 0,9 = 10,5 \text{ см.}$$

Штифты

Ход рейки в вертикальном направлении, а значит, и амплитуда перемещения рычага при полном повороте ручки переключения на угол $\alpha = 90^\circ$:

$$h = \frac{\pi \cdot D \cdot \alpha}{360} = \frac{3,14 \cdot 9,6 \cdot 90}{360} = 7,55 \text{ см} \approx 7,6 \text{ см.}$$

Из них 5 см принимаем для передвижения конической зубчатки в горизонтальном направлении, до полного сцепления, а остальные 2,6 см соответствуют холостому ходу и отторможиванию.

Необходимое горизонтальное перемещение конической зубчатки для сцепления или расцепления:

$$\delta = \frac{h}{\sin \beta} = \frac{0,7 t}{\sin 71^\circ 41'} = \frac{0,7 \cdot 1,5}{0,95} = 1,17 \text{ см.}$$

где β есть угол между образующей конуса и осью зубчатки и равен $71^\circ 41'$;

$$h \text{ --- высота зуба} = 0,7 t.$$

Принимая зазор между шестернями равным $1,33 \text{ см}$, имеем полное горизонтальное перемещение:

$$\varepsilon = 1,17 + 1,33 = 2,5 \text{ см}.$$

Угол наклона выреза к горизонту (рис. 266):

$$\alpha = \text{arctg} \frac{3}{2,5} = 63^\circ 27'.$$

Вертикальное усилие зубчатой рейки:

$$P = \frac{M}{D_{\text{вк}}} = \frac{1440}{4,8} = 300 \text{ кг}$$

передается на два штифта и давление на каждый штифт:

$$p = \frac{300}{2} = 150 \text{ кг}.$$

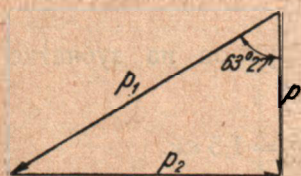


Рис. 266.

Сила разлагается на две составляющие силы p_1 и p_2 , из которых p_2 уравнивается противодействием упорного кольца α :

$$p_1 = \frac{P}{\cos 63^\circ 27'} = \frac{150}{0,447} = 335 \text{ кг}$$

давит на штифт, передвигая зубчатое колесо.

Изгибающий момент на штифте

$$M = p_1 l = 335 \cdot 2 = 670 \text{ кг/см}, \text{ где } l = 2 \text{ см} \text{ --- плечо силы}.$$

Потребный момент сопротивления сечения при допуске напряжении для стали $K_s = 900 \text{ кг/см}^2$.

$$W = \frac{M}{K_s'} = \frac{670}{900} = 0,745 \text{ см}^3.$$

Берем штифты диаметром $d = 2 \text{ см}$, для которых:

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 2^3}{32} = 0,785 \text{ см}^3,$$

и на них колечки, толщиной в $2,5 \text{ мм}$, для уменьшения трения. Ширина прореза $a = 2 + 2 \cdot 0,25 = 2,5 \text{ см}$.

Безопасная ручка. (рис. 267).

Наибольший момент на валу ручки при отрывании щита:

$$M_{\text{вала}} = \frac{3500 \cdot 35 \cdot 2}{540 \cdot 0,63} = 720 \text{ кг/см}.$$

Момент на валу ручки при опускании щита:

$$M''_{\text{вала}} = \frac{3500 \cdot 35 \cdot 2 \cdot 0,63}{540} = 286 \text{ кг/см.}$$

Принимая коэффициент запаса для тормоза 1,3, имеем расчетный тормозный момент на валу ручки:

$$M = 286 \cdot 1,3 = 372 \text{ кг/см.}$$

Усилие на рабочем при опускании щита:

$$p = \frac{372}{45} = 8,3 \text{ кг.}$$

Основное требование, предъявляемое к безопасной ручке,—самоторможение.

Для условий самоторможений необходимо, чтобы $M_4 \geq M_5$, или, выражая момент через горизонтальные давления N ,

$$N \cdot \mu_4 \cdot r_4 \geq N \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) r_5 \quad 1).$$

где $\mu_4 = 0,18$ — коэффициент трения металла по металлу;

$r_4 = 3,6 \text{ см}$ — средний радиус в плоскости трения ручки;

$\alpha = 18^\circ 50'$ — угол подъема винта, определяемый из уравнения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{2\pi r_5},$$

где $t = 3 \text{ см}$ — шаг нарезки (резьба две нитки);

$r_5 = 1,4 \text{ см}$ — средний радиус червяка.

$\varphi = 6^\circ$ — угол трения между винтовыми поверхностями.

Подставляя эти численные значения в уравнение 1), имеем:

$$0,18 \cdot 3,6 > 0,462 \cdot 1,4 \text{ или } 0,648 > 0,645,$$

т. е. условие самоторможения выполнено.

При подъеме щита на безопасной ручке должно быть выполнено условие:

$M'_{\text{вала}} \leq M_5 + M_4$, или, выражая M_5 и M_4 через горизонтальное давление N ,

$$M'_{\text{вала}} \leq N \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) r_5 + M \mu_4 r_4.$$

Из этого уравнения определяем наибольшее горизонтальное давление N , которое имеет место при подъеме, и по этому максимальному горизонтальному усилию рассчитаем пружину.

$$N = \frac{M'_{\text{вала}}}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) r_5 + \mu_4 r_4} = \frac{720}{0,462 \cdot 1,4 + 0,18 \cdot 3,6} = \frac{720}{1,293} = 558 \text{ кг.}$$

Сечение пружины определяем из этого максимального горизонтального давления по формуле:

$$N = \frac{2/9 b^3 \cdot h}{r} \cdot K_4.$$

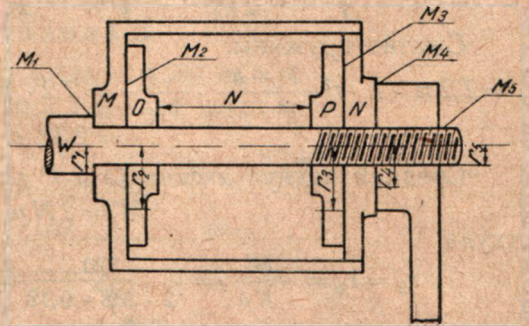


Рис. 267.

где b — ширина пружины;
 r — средний радиус пружины;
 h — высота пружины;
 $K_d = 6500 \text{ кг/см}^2$ для закаленной стали.

При $b = h$ имеем:

$$b = h = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot N \cdot Z}{2 K_d}} = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot 558 \cdot 3,5}{2 \cdot 6500}} = \sqrt[3]{1,34} = 1,1 \text{ см.}$$

Сжатие пружины:

$$= 7,2 \pi \cdot n \cdot r^3 \frac{b^2 + h^2}{b^3 \cdot h^3} \cdot \frac{P}{g} = 7,2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 3,5^3 \cdot \frac{2 \cdot 1,1^2}{1,1^6} \cdot \frac{558}{850000} = 2,38 \text{ см.}$$

Средний радиус дисков O и P определится из уравнения:

$$M = 2 N \mu \cdot r_2,$$

откуда

$$r_2 = r_3 = \frac{M}{N \mu} = \frac{720}{2 \cdot 558 \cdot 0,18} = 3,58 \text{ см; берем } 4 \text{ см.}$$

При опускании должно быть выполнено условие:

$$M \leq M_1 + M_2 + M_3 + M_5,$$

или, выражая через горизонтальное давление:

$$M \leq N \mu r_1 + 2 N \mu r_2 + N \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) r_5;$$

подставляем численные значения и получим:

$$372 \leq 558 \frac{(0,18 \cdot 1,85 + 2 \cdot 0,18 \cdot 4 + 0,462 \cdot 1,4)}{2,42} = 1350,$$

т. е. условие выполнено.

Расчет станины

Передаточные механизмы монтируются на особых клепанных балках, которые прикрепляются к фермам при помощи уголков.

Вертикальными сосредоточенными усилиями, действующими на станину и изгибающими ее, являются вертикальные силы на опорах осей и валов и веса осей и валов.

Станина I (ближайшая к опоре моста, рис. 268)

$$R_{A_1} = \frac{2139 \cdot 268 + 1199 \cdot 178 - 877 \cdot 123,5}{290} = 2340 \text{ кг.}$$

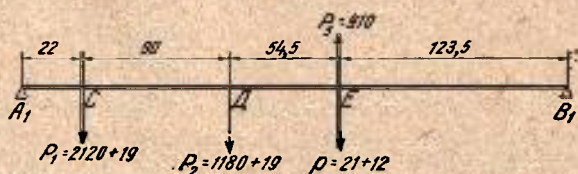


Рис. 268.

$$R_{B_1} = 2139 + 1199 - 877 - 2340 = 121 \text{ кг.}$$

Станина II (рис. 269)

$$R_{A_2} = \frac{1519 \cdot 268 + 2809 \cdot 178 - 2267 \cdot 123,5}{290} = 2160 \text{ кг.}$$

$$R_{B_2} = 1519 + 2809 - 2267 - 2160 = -99 \text{ кг.}$$

Считая собственный вес каждой станины по 100 кг на 1 п. м, имеем полные опорные реакции станин при длине станины в 2,9 м.

Станина I

$$R_{A_1} = 2\,340 + 145 = 2\,485 \text{ кг.}$$

$$R_{B_1} = 121 + 145 = 366 \text{ кг.}$$

Станина II

$$R_{A_2} = 2\,160 + 145 = 2\,305 \text{ кг.}$$

$$R_{B_2} = -99 + 145 = 44 \text{ кг.}$$

Наиболее нагруженным является сечение D станины II. Изгибающий момент в этом сечении:

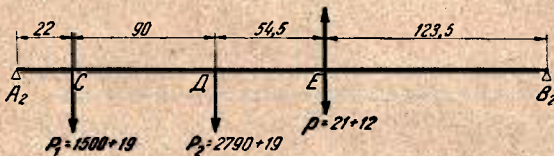


Рис. 269.

$$M_D = 2\,305 \cdot 112 - 1\,519 \cdot 90 = 259\,000 - 136\,200 = 122\,800 \text{ кг/см.}$$

Составляем станину в форме клепанной балки двутаврового сечения из листа 450 · 8 и уголков 75 · 50 · 8 (рис. 270).

Момент инерции:

$$I_{\text{brutto}} = 4(51,9 + 9,43 \cdot 20^2) + \frac{0,8 \cdot 45^3}{12} = 13\,338 + 6\,080 = 19\,418 \text{ см}^4.$$

$$\Delta I = 4(0,8 \cdot 1,6 \cdot 22,1^2 + 0,8 \cdot 1,6 \cdot 18,5^2) + 10 \cdot 0,8 \cdot 5^2 = 4\,472 \text{ см}^4.$$

$$I_{\text{netto}} = 19\,418 - 4\,472 = 14\,946 \text{ см}^4.$$

$$K = \frac{122\,800 \cdot 22,5}{14\,946} = 191 \text{ кг/см}^2 < 1\,000 \text{ кг/см}^2.$$



Рис. 270.

Расчет служебного моста

Данные для расчета:

Длина моста $L = 17,1 \text{ м}$

Ширина „ $b = 3 \text{ м}$

Расстояние между опорами $l = 16,5 \text{ м.}$

Мост—решетчатый, раскосной системы, с числом панелей $n = 10$. Расчетная высота фермы—1,96 м.

Нагрузка на мост

А. Вертикальная

Вес фермы с ветровыми и поперечными связями.

„ верхнего настила моста.

„ перил верхнего строения.

Вес настила и перил для обслуживания механизмов.
 „ механизмов и тяговые усилия канатов.
 Сплошная толпа на мосту $440 \text{ кг/м}^2 + 20\%$.

В. Горизонтальная

Давление ветра.

Вес фермы

Вес фермы с ветровыми связями и опорными рамами определен по предварительному приближенному расчету в 7000 кг .

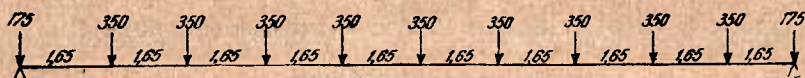


Рис. 271.

Означенный вес распределяется поровну на обе фермы и дает в узлах каждой фермы следующие нагрузки (рис. 271).

Вес настила моста

Настил—одиночный досчатый, $6,25\text{-см}$, на брусках, расположенных в узлах и между ними на верхних поясах.

Расстояние между осями брусков $a = 55 \text{ см}$;

Длина бруса между осями ферм $l = 290 \text{ см}$.

Бруска подвергаются изгибу от равномерной нагрузки настила и толпы весом $440 \cdot 1,2 = 530 \text{ кг/м}^2$.

Нагрузка на брус от толпы:

$$P_1 = 530 \cdot 0,55 \cdot 2,9 = 846 \text{ кг.}$$

Нагрузка на брус от настила:

$$P_2 = (0,55 \cdot 2,9 \cdot 0,062) \cdot 700 = 70 \text{ кг.}$$

Полная нагрузка на брус:

$$P = P_1 + P_2 = 846 + 70 = 916 \text{ кг.}$$

Наибольший изгибающий момент:

$$M_{\max} = \frac{P \cdot l}{8} = \frac{916 \cdot 290}{8} = 33200 \text{ кг/см.}$$

Берем брус наиболее выгодного сечения (рис. 272):

$$S = 18 \cdot 12 \text{ см.}$$

Момент сопротивления бруса:

$$W = \frac{b \cdot h^3}{6} = \frac{12 \cdot 18^3}{6} = 648 \text{ см}^3.$$

Напряжение в бруске от изгиба:

$$\kappa = \frac{M}{W} = \frac{33200}{648} = 51,2 \text{ кг/см}^2 < 64 \text{ кг/см}^2, \text{ допустимых на изгиб.}$$

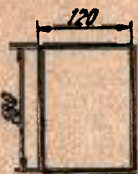


Рис. 272.

Вес настила:

а) вес балок:

$$[(11 \cdot 3,5 \cdot 0,12 \cdot 0,18) + (22 \cdot 3 \cdot 0,12 \cdot 0,18)] 700 = 1580 \text{ кг};$$

в) вес досок:

$$[3 \cdot 17,1 \cdot 0,062] 700 = 2250 \text{ кг}.$$

Означенный вес распределяется поровну на обе фермы и дает в узлах каждой фермы следующие нагрузки (рис. 273):

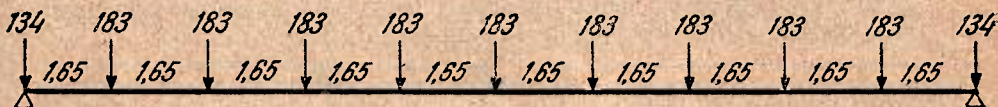


Рис. 273.

Вес перил принимаем в 40 кг на 1 п. м моста.

$$P = 17,1 \cdot 40 = 684 \text{ кг} \cong 680 \text{ кг}.$$

Означенный вес распределяется поровну на обе фермы и дает в узлах каждой фермы следующие нагрузки (рис. 274):

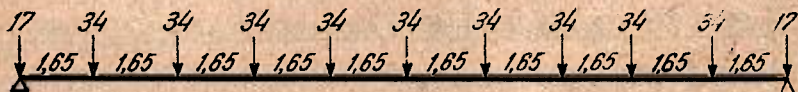


Рис. 274.

Вес настила для обслуживания механизма.

Для обслуживания подъемных механизмов, расположенных между фермами в двух крайних и одной средней панели, делаем досчатый настил по низу фермы из досок толщиной 75 мм, сплошной под механизмами и шириною в 0,7 м в остальной части моста (рис. 275).

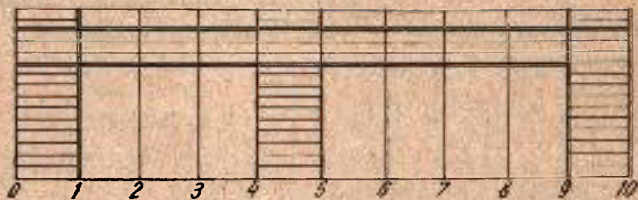


Рис. 275.

Вес настила каждой из панелей:

1—2, 2—3, 3—4, 5—6, 6—7, 7—8, 8—9.

$$P = 1,65 \cdot 0,7 \cdot 0,075 \cdot 700 = 60,7 \text{ кг} \cong 60 \text{ кг}.$$

Реакция в соответственных узлах: 2, 3, 6, 7, 8.

$$R_A = \frac{60 \cdot (2,4 \quad 70)}{2,29} = 15,5 \cong 16 \text{ кг}.$$

$$R_B = 60 - 16 = 44 \text{ кг} \text{ и в узлах 1, 4, 5 и 9}$$

соответственно:

$$R_A = 8; R_B = 22 \text{ кг.}$$

Вес настила под механизмами в крайних и средних пролетах распределяется на обе фермы и составляет на каждом из узлов 0, 1, 4, 5, 9 и 10.

$$p = \frac{(1,65 \cdot 2,9 \cdot 0,075) \cdot 700}{4} = 62,7 \text{ кг} \approx 63 \text{ кг.}$$

Нагрузка на узлы ферм распределяется следующим образом:

1. Ферма I (ближайшая к затвору, рис. 276):

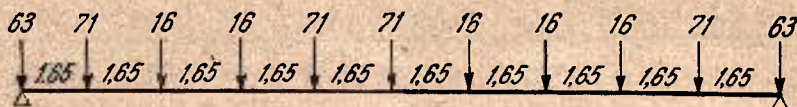


Рис. 276.

2. Ферма II (рис. 277):

Вес перил, считая по 20 кг/п. м настила, составит:

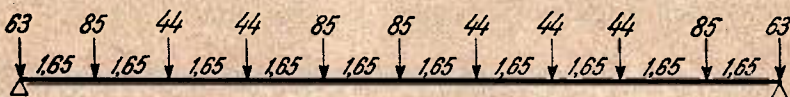


Рис. 277.

$$P = 20 \cdot 7 \cdot 1,65 = 230 \text{ кг}$$

и распределится на фермы следующим образом:

Ферма I:

$$P_1 = \frac{115 \cdot (70 + 2 \cdot 40)}{290} = 60 \text{ кг.}$$

Ферма II (рис. 278):

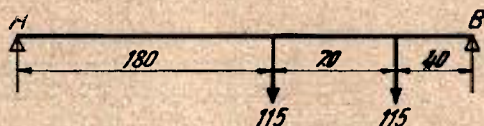


Рис. 278.

$$P_2 = 230 - 60 = 170 \text{ кг.}$$

Нагрузка на узлы ферм, округляя до целых килограммов, распределится следующим образом:

Ферма I—рис. 279 (ближайшая к затвору). Ферма II (рис. 280).

Вес механизмов и тяговые усилия

Вес механизмов и тяговые усилия представляют собой нагрузки, сосредоточенные на концах и в середине места; передаются на два прилежащие к механизму узла.

Нагрузка на фермы от веса лебедок и тяговое усилие являются усилием на опорах станин, поддерживающих механизмы (см. расчет станины подъемных механизмов).

Величина усилий в точке приложения их показана ниже.
 Ферма I (ближайшая к затвору), рис. 281.
 Ферма II (рис. 282).



Рис. 279.

Нагрузка на опорный узел и узел 1 от веса механизма и тягового усилия распределится следующим образом:

1. Ферма I (ближайшая к затвору):

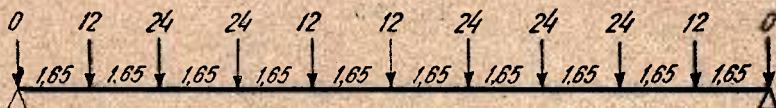


Рис. 280.

$$P_0 = \frac{2485 \cdot 95,5 + 2305 \cdot 42,5}{165} = 2060 \text{ кг.}$$

$$P_1 = 2485 + 2305 - 2060 = 2730 \text{ кг.}$$



Рис. 281.

Ферма II:

$$P_0 = \frac{366 \cdot 96,5 + 44 \cdot 42,5}{165} = 244 \text{ кг.}$$

$$P_1 = 366 + 44 - 244 = 136 \text{ кг.}$$



Рис. 282.

В средней части щита общий вес механизма, равный $P = 1240 \text{ кг}$, распределяется на узлы 4 и 5 обеих ферм следующим образом (рис. 283):

$$P_4 = \frac{620 \cdot 126}{2 \cdot 165} = 237 \text{ кг.}$$

$$P_5 = 620 - 237 = 383 \text{ кг.}$$

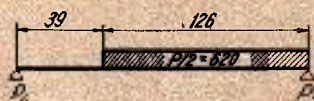


Рис. 283.

Усилия от веса механизма и тягового усилия распределяются по узлам фермы следующим образом:

Ферма I—рис. 284 (ближайшая к затвору).

Ферма II (рис. 285).

Полное распределение вертикальных нагрузок по узлам ферм будет следующее:

Ферма I (рис. 286).

Ферма II (рис. 287).

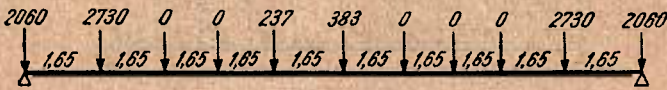


Рис. 284.



Рис. 285.

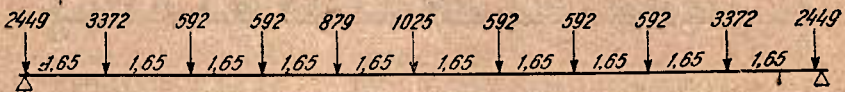


Рис. 286.

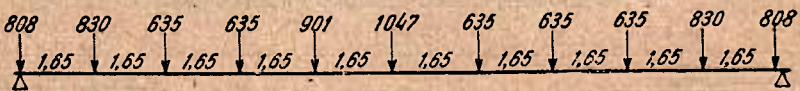


Рис. 287.

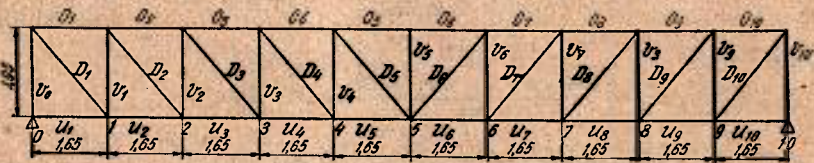


Рис. 288.

Временная нагрузка толпой является равномерно-распределенной и составляет при ширине моста $b = 3$ м:

$$q = 580 \cdot 3 = 1590 \text{ кг на 1 п. м моста.}$$

Схема фермы (рис. 288).

Усилия в стержнях дают цифры таблицы на стр. 243.

Подбор сечений

Верхний пояс

Верхний пояс работает на сжатие и на местный изгиб от веса толпы и настила, так как поперечные брусья, поддерживающие досчатый настил, расположены не только в узлах, но и между ними; поэтому напряжение в стержнях верхнего пояса определяем по формуле:

$$K = \frac{M}{W_{\text{netto}}} + \frac{N}{\varphi_1 \omega_{\text{netto}}} < 1000 \text{ кг/см}^2,$$

Усилия в стержнях от вертикальной нагрузки

№№ стержней	Постоянная		Временная		Полная	
	Сжатый —	Вытянутый +	Сжатый —	Вытянутый +	Сжатый —	Вытянутый +
O_1 и O_{10}	5008	—	4960	—	9968	—
O_2 и O_9	6984	—	8850	—	15834	—
O_3 и O_8	8546	—	11600	—	20146	—
O_4 и O_7	9639	—	13220	—	22859	—
O_5 и O_6	9963	—	13800	—	23763	—
U_1 и U_{10}	—	0	—	0	—	0
U_2 и U_9	—	5003	—	4960	—	9968
U_3 и U_8	—	6984	—	8850	—	15834
U_4 и U_7	—	8546	—	11600	—	20146
U_5 и U_6	—	9639	—	13220	—	22859
V_0 и V_{10}	8242	0	6560	—	14802	0
V_1 и V_9	5835	0	5910	—	11745	0
V_2 и V_8	2463	0	4660	73	7123	73
V_3 и V_7	1871	0	3570	291	5441	291
V_4 и V_6	1273	0	2620	657	3893	657
V_5	397	0	1820	1162	2217	1162
D_1 и D_{10}	0	7620	0	7550	0	15170
D_2 и D_9	0	3225	95	6100	95	9325
D_3 и D_8	0	2450	380	4660	380	7110
D_4 и D_7	0	1670	860	3430	860	5100
D_5 и D_6	0	520	1522	2380	1522	2900

где M — изгибающий момент;
 W_{netto} — момент сопротивления стержня-netto;
 N — сжимающее усилие;
 ω_{netto} — сечение стержня-netto;
 ϕ — коэффициент уменьшения основного напряжения по формуле Шварца — Ренкина.

Стержень O_5 и O_6 ; $N_{max} = 23763$ кг.

Сечение стержня составляем из двух угольников (рис. 289):



Рис. 289.

90 · 90 · 9

и двух горизонтальных листов:

200 · 10 мм.

Сечение стержня:

$$\omega = 2 \cdot 15,52 + 2 \cdot 20 = 71,04 \text{ см}^2.$$

Вес пояса на 1 п. м:

$$q = 2 \cdot 12,18 + 2 \cdot 15,7 = 55,76 \text{ кг/п. м.}$$

Расстояние центра тяжести пояса от наружного края уголка:

$$X = \frac{24,36 \cdot 2,54 + 31,4 \cdot 1}{55,76} = 1,68 \text{ см.}$$

Момент инерции *v*-netto:

$$I = 2 [115,7 + 15,52 (2,54 - 1,68)^2] + \frac{20 \cdot 2^3}{12} + 40 (1,68 + 1)^2 = 554,8 \text{ см}^4.$$

Ослабление заклепками:

$$\Delta I = 2 [4,65 (1,68 + 0,55)^2 + 1,44 (5 - 1,68)^2] = 78 \text{ см}^4.$$

Момент инерции netto:

$$I_{\text{netto}} = 554,8 - 78 = 476,8 \text{ см}^4.$$

Сечение пояса netto:

$$\omega_{\text{netto}} = 71,04 - 2 (4,65 + 1,44) = 58,84 \text{ см}^2.$$

Момент сопротивления сечения netto:

$$W_{\text{netto}} = \frac{I_{\text{netto}}}{h_{\text{max}}} = \frac{476,8}{9 - 1,68} = 65 \text{ см}^3.$$

Коэффициент уменьшения основного напряжения по формуле:

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \frac{l^2}{r^2}}$$

где

$$r^2 = \frac{I}{\omega}$$

находим из таблицы для $l = 1,65 \text{ м}$:

$$\varphi = 0,783.$$

Местный изгиб пола между панелями вызывается расположением двух балок между узлами, на которые передается вес толпы и настила.

Усилие от собственного веса настила и толпы на каждый конец промежуточного бруса:

$$P = \frac{3830}{17,1} \cdot \frac{0,55}{2} + \frac{1590 \cdot 0,55}{2} = 61 + 437 = 498 \text{ кг.}$$

Наибольший изгибающий момент:

$$M_{\text{max}} = 498 \cdot 55 = 27400 \text{ кг/см.}$$

Максимальное напряжение в поясе:

$$K = \frac{27400}{65} + \frac{23763}{0,783 \cdot 58,84} = 423 + 517 = 930 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг.}$$

Это сечение выдерживаем по всему поясу, за исключением крайних панелей, где сечение уменьшаем на 1 горизонтальный лист.

Для такого профиля имеем сечение (рис. 290):

$$\omega_{\text{уч.}} = 2 \cdot 15,52 = 31,04 \text{ см}^2;$$

$$\omega_{\text{лист.}} = 1 \cdot 20 = 20,00 \text{ см}^2$$

$$\text{Итого} \dots 51,04 \text{ см}^2$$

Вес:

$$q_{\text{уг.}} = 2 \cdot 12,18 = 24,36$$

$$q_{\text{лист.}} = 1 \cdot 15,70 = 15,70$$

$$\text{Итого} \dots 40,06 \text{ кг.}$$



Рис. 290.

$$x = \frac{24,36 \cdot 2,54 + 15,70 \cdot 0,5}{40,06} = 1,76 \text{ см.}$$

$$I_x = 2 [115,7 + 15,52 (2,54 - 1,76)^2] + \frac{20 \cdot 1}{12} + 15,7 (1,76 + 0,5)^2 = 360 \text{ см}^4.$$

$$\Delta I = 2 [3,04 (1,76 + 0,05)^2 + 1,44 (5 - 1,76)^2] = 50 \text{ см}^4.$$

$$I_{\text{netto}} = 360 - 50 = 310 \text{ см}^4.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 51,04 - (3,04 + 1,44) \cdot 2 = 42,06 \text{ см}^2.$$

$$W = \frac{310}{9 - 1,76} = 42,8 \text{ см}^3; \quad \frac{\omega}{I} = \frac{51,04}{360} = 0,142; \quad \varphi = 0,763.$$

$$K = \frac{M}{W} + \frac{N}{\varphi \cdot \omega_{\text{netto}}} = \frac{27\,400}{42,8} + \frac{9\,968}{0,763 \cdot 42,06} = 952 \text{ кг/см}^2 < 1\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Нижний пояс

Нижний пояс, работающий только на растяжение, состоит из двух уголков:

$$90 \cdot 90 \cdot 9.$$

Сечение (рис. 291):

$$\omega = 2 \cdot 15,52 = 31,04 \text{ см}^2.$$

Вес:

$$q = 2 \cdot 12,18 = 24,36 \text{ кг.}$$

$$\omega_{\text{netto}} = 31,04 - (4 \cdot 1,6 \cdot 0,9) = 25,3 \text{ см}^2.$$



Рис. 291.

Для наиболее напряженного стержня U_5 нижнего пояса имеем:

$$K = \frac{N}{\omega_{\text{netto}}} = \frac{22\,859}{25,3} = 903 \text{ кг/см}^2 < 1\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Пояс ведем одинакового сечения по всей длине фермы.

Стойки

Расчет стоек ведется как сжато-вытянутого стержня по формуле:

$$K = \frac{N}{\varphi \cdot \varphi^1 \cdot \omega_{\text{netto}}},$$

где

$$\varphi^1 = 1 - \frac{1}{3} \frac{N_{\text{min}}}{N_{\text{max}}}.$$

Стойки:

$$V_0, V_1, V_2, V_8, V_9 \text{ и } V_{10}.$$

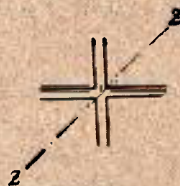


Рис. 292.

Сечение составляем из четырех уголков рис. 292.

$$55 \cdot 55 \cdot 7.$$

Сечение:

$$\omega = 4 \cdot 7,28 = 29,12 \text{ см}^2.$$

Вес:

$$q = 4 \cdot 5,71 = 22,84 \text{ кг.}$$

Наименьший момент инерции:

$$I_z = (2 \cdot 31,2) + 2 [8,22 + 7,28 (2 \cdot 26 + 0,71)^2] = 206,8 \text{ см}^4.$$

Коэффициент уменьшения φ для $l = 1,96 \text{ м}$ находим по таблице Бурова:

$$\varphi = 0,7; \varphi^2 = 0,993.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 29,12 - (8 \cdot 1,6 \cdot 0,7) = 20,17 \text{ см}^2.$$

$$K = \frac{V_0}{\varphi \cdot \varphi^2 \cdot \omega_{\text{netto}}} = \frac{14802}{0,7 \cdot 0,993 \cdot 20,17} = 1050 \text{ кг/см}^2 \approx 1000 \text{ кг}.$$

Для V_3, V_4, V_5, V_6 и V_7 сечения составляем из двух уголков (рис. 293):
 $55 \cdot 55 \cdot 7.$

Сечение:

$$\omega = 2 \cdot 7,28 = 14,56 \text{ см}^2.$$

Вес:

$$q = 2 \cdot 5,71 = 11,42 \text{ кг}.$$

Наименьший момент инерции:

$$I_z = 2 \cdot 31,2 = 62,4 \text{ кг}^4.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 14,56 - (4 \cdot 0,7 \cdot 1,6) = 10,06 \text{ см}^2.$$

$$\frac{\omega}{I} = \frac{14,56}{62,4} = 0,233; l = 1,96 \text{ м}; \varphi = 0,582.$$

$$\varphi^2 = 1 - \frac{1}{3} \frac{N_{\text{min}}}{N_{\text{max}}} = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{291}{5441} = 1 - 0,018 = 0,982.$$

$$K = \frac{5441}{0,582 \cdot 0,982 \cdot 10,06} = 900 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг/см}^2.$$



Рис. 293.

Число заклепок для соединения стойки с поясом для V_6, V_7, V_8 и V_{10} :

$$n = \frac{14802}{1,6 \cdot 0,8 \cdot 2000} = 5,7; \text{ берем } 6.$$

Для V_2, V_3, V_4, V_5 и V_8 :

$$n = \frac{7123}{1,6 \cdot 0,8 \cdot 2000} = 2,8; \text{ берем } 4.$$

Раскосы

Раскосы рассчитываем как вытянуто-сжатые стержни по формуле:

$$K = \frac{N}{\varphi^2 \omega_{\text{netto}}},$$

где

$$\varphi^2 = 1 - \frac{1}{3} \frac{N_{\text{min}}}{N_{\text{max}}},$$

раскосы:

$$D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8 \text{ и } D_9.$$

или

$$\frac{6800}{16,5} = 412 \text{ кг/п. м.}$$

Случай Б (давление ветра 250 кг/м^2 , толпа отсутствует):

$$P = 250 \left(\frac{16,5}{2} + 0,242 \cdot 16,5 \right) = 3060 \text{ кг.}$$

Как видно из сравнения, наиболее невыгодным является ветер 150 кг при наличии толпы, и поэтому дальнейший расчет верхних продольных связей ведется для этого случая.

На нижние продольные связи придется только давление ветра на $1/2$ расчетной поверхности ферм; поэтому здесь наиболее невыгодным будет случай Б, т. е. давление ветра 250 кг/м^2 .

В этом случае давление на нижние продольные связи:

$$P = 250 \cdot \frac{165}{2} = 2180 \text{ кг,}$$

что составляет

$$\frac{2180}{165} = 133 \text{ кг/п. м.}$$

Схема продольных связей (верхних и нижних, рис. 296).

Распределение усилий в стержнях приведено в следующей таблице:

Распределение усилий в стержнях

№№ стержней	Верхний пояс		Нижний пояс	
	Сжатый —	Вытянутый +	Сжатый —	Вытянутый +
O_1 и O_{10}	1744	0	530	0
O_2 и O_9	3102	0	945	0
O_3 и O_8	4074	0	1240	0
O_4 и O_7	4654	0	1418	0
O_5 и O_6	4480	0	1480	0
U_1 и U_{10}	—	0	0	0
U_2 и U_9	—	1744	0	530
U_3 и U_8	—	3102	0	945
U_4 и U_7	—	4074	0	1240
U_5 и U_6	—	4654	0	1418
V_0 и V_{10}	3400	0	1038	0
V_1 и V_9	3060	0	930	0
V_2 и V_8	2420	38	738	12
V_3 и V_7	1850	151	565	46
V_4 и V_6	1360	340	415	104
V_5	945	605	286	184
D_1 и D_{10}	0	3520	0	1070
D_2 и D_9	44	2780	13	846
D_3 и D_8	174	2130	53	650
D_4 и D_7	391	1570	119	478
D_5 и D_6	695	1080	212	330

Подбор сечений верхних продольных связей
Распорки

Распорки рассчитываются как сжато-вытянутые стержни по формуле:

$$K = \frac{N}{\varphi \cdot \varphi^1 \omega_{\text{netto}}}$$

Распорки V_1 и V_9 .

Сечение распорки составляем из двух уголков $55 \cdot 55 \cdot 7$.

Площадь сечения: (рис. 297):

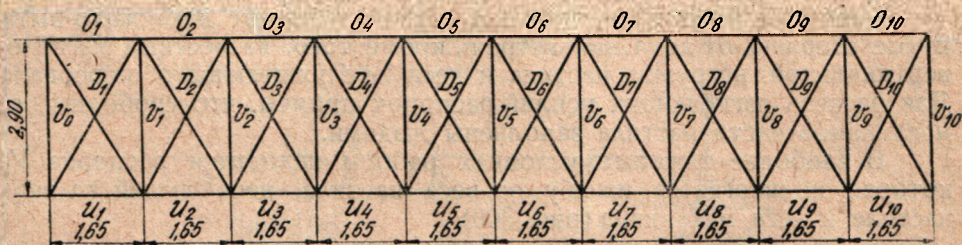


Рис. 296.

$$\omega = 2 \cdot 7,28 = 14,56 \text{ см}^2.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 14,56 - (4 \cdot 1,16) = 9,92 \text{ см}^2.$$

$$I_x = 2 \cdot 19,73 = 39,46 \text{ см}^4.$$

$$\frac{\varphi}{I} = \frac{14,56}{19,73} = 0,37.$$

$$l = 290; \varphi = 0,286; \varphi^1 = 1,0.$$

$$K = \frac{3060}{0,286 \cdot 9,92} = 1080 \text{ кг/см}^2 \approx 1000 \text{ кг/см}^2.$$



Рис. 297.



Рис. 298.



Рис. 299.

Для распорок $V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ и V_8 , имеющих меньшее усилие в стержнях, принимаем то же самое сечение, т. е. два уголка по $55 \cdot 55 \cdot 7$ (рис. 298).

Расчет распорок V_9 и V_2 приведен ниже в расчете опорной рамы. Число заклепок для соединения распорки с поясом:

$$n = \frac{3060}{1,6 \cdot 0,8 \cdot 2000} = 1,2; \text{ берем } 4.$$

Диагонали

Сечение берем из одного уголка $55 \cdot 55 \cdot 7$ (рис. 299).

Площадь сечения $\omega = 7,28 \text{ см}^2$.

$$\omega_{\text{netto}} = 7,28 - 1,16 = 6,12 \text{ см}^2.$$

Для диагоналей D_1 и D_{10} , работающих только на растяжение:

$$K = \frac{3,520}{6,12} = 575 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг/см}^2.$$

Для остальных диагоналей, работающих, как сжато-вытянутые стержни, но с меньшими усилиями чем D_1 и D_{10} , берем то же сечение стержней.

Число заклепок для соединения диагоналей с поясом

$$n = \frac{2500}{1,6 \cdot 0,7 \cdot 2000} = 1,58; \text{ берем две заклепки.}$$

Нижние продольные связи Распорки

Распорки нижних продольных связей работают как сжато-вытянутые стержни от давления ветра и, кроме того, на местный изгиб от вертикальной нагрузки настила и веса обслуживающего персонала. Для расчета изгибающих усилий распорок примем, что свободные от механизмов части настила заполнены людьми.

В наиболее тяжелых условиях работы находится распорка V_5 , которая подвергается изгибу от веса настила, веса людей на этом настиле и веса механизма (рис. 300).



Рис. 300.



Рис. 301.

Составляющая веса механизма на распорку V_5 :

$$P_1 = P_2 = 383 \text{ кг.}$$

Вес настила и людей вокруг механизма:

$$Q_1 \text{ и } Q_2 = 407 \text{ кг.}$$

Реакция:

$$R_A = R_B = 407 + 383 = 790 \text{ кг.}$$

Наибольший изгибающий момент:

$$M = 790 \cdot 85 = 67\,000 \text{ кг/см.}$$

Сечение составляем из трех уголков $55 \cdot 55 \cdot 7$ и листа $140 \cdot 8$.

$$\omega = 3 \cdot 7,28 + 11,2 = 33,04 \text{ см}^2 \text{ (рис. 301).}$$

Вес:

$$q = 3 \cdot 5,71 + 8,79 = 25,92 \text{ кг.}$$

Расстояние центра тяжести от нижней полки уголка:

$$x = \frac{11,42 \cdot 1,6 + 8,79 \cdot 7 + 5,71 \cdot 12,4}{25,92} = 5,74 \text{ см.}$$

Момент инерции относительно оси X:

$$I_x = 2 \cdot 19,73 + 14,56 (5,74 - 1,6)^2 + \frac{0,8 \cdot 14^3}{12} + 11,2 (7 - 5,74)^2 + \\ + 7,28 (12,4 - 5,74)^2 = 813 \text{ см}^4.$$

$$\Delta I = 1,6 \cdot 2,2 (5,74 - 3)^2 + 1,6 \cdot 1,5 \cdot 5,26^2 + 2 \cdot 1,6 \cdot 0,7 \cdot 5,7^2 = 160 \text{ см}^4.$$

$$I_{\text{netto}} = 813 - 160 = 653 \text{ см}^4.$$

$$W = \frac{653}{14 - 5,74} = 79 \text{ см}^3.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 33,04 - (5 \cdot 1,6 \cdot 0,7 + 2 \cdot 1,6 \cdot 0,8) = 33,04 - 8,16 = 24,88 \text{ см}^2.$$

$$\frac{\omega}{I} = \frac{33,04}{813} = 0,041; \varphi = 0,788; \varphi^1 = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{189}{286} = 0,785.$$

$$K = \frac{M}{W} + \frac{N}{\varphi \cdot \varphi^1 \omega_{\text{netto}}} = \frac{67\,000}{79} + \frac{286}{0,788 \cdot 0,785 \cdot 24,88} = 850 + 19 = 869 \text{ кг/см}^2 < 1\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Такого же сечения ставим распорки V_1, V_4 и V_9 .

Распорки V_2, V_3, V_6, V_7 и V_8 работают как сжато-вытянутые стержни и кроме того изгибаются досчатым помостом, предназначенным для обслуживания механизмов.



Рис. 302.



Рис. 303.

Расчет на изгибающее усилие ведем в предположении, что помост загружен людьми (рис. 302).

$$Q = (1,65 \cdot 0,7 \cdot 0,075 \cdot 700) + (530 \cdot 0,7 \cdot 1,65) = 671 \text{ кг}.$$

Реакция опор:

$$R_A = \frac{671(2 \cdot 40 + 70)}{2 \cdot 290} = 174 \text{ кг};$$

$$R_B = 671 - 174 = 497 \text{ кг}.$$

Наибольший изгибающий момент:

$$M_{\text{max}} = 174 \cdot 215 = 37\,500 \text{ кг/см}.$$

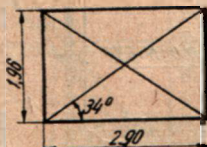


Рис. 304.

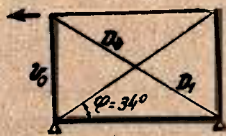


Рис. 304-а.

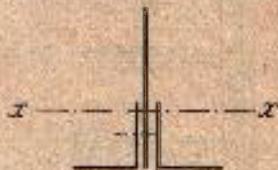


Рис. 305.

Сечение распорки составляется из двух уголков $55 \cdot 55 \cdot 7$ и листа $140 \cdot 8 \text{ мм}$ (рис. 303).

$$\omega = 2 \cdot 7,28 + 11,2 = 25,76 \text{ см}^2.$$

$$q = 2 \cdot 5,71 + 8,79 = 20,21 \text{ кг}.$$

$$x = \frac{11,42 \cdot 1,6 + 8,79 \cdot 7}{20,21} = 3,95 \text{ см}.$$

$$I_x = 2 \cdot 19,73 + 14,56 (3,95 - 1,6)^2 + \frac{0,8 \cdot 14^3}{12} = 9,8 (7 - 3,95)^2 = 394 \text{ см}^4.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 24,36 - (1,6 \cdot 2,2) = 25,76 - 3,5 = 22,26 \text{ см}^2.$$

$$\Delta I = 3,5 \cdot 0,95^2 = 3,15 \text{ см}^4.$$

$$I_{\text{netto}} = 394 - 3,15 = 390,85 \text{ см}^4 \approx 390 \text{ см}^4.$$

$$W = \frac{390}{14 - 3,95} = 38,8 \text{ см}^3.$$

$$\frac{e}{I} = \frac{25,76}{394} = 0,066; \varphi = 0,692; \varphi^1 = 1.$$

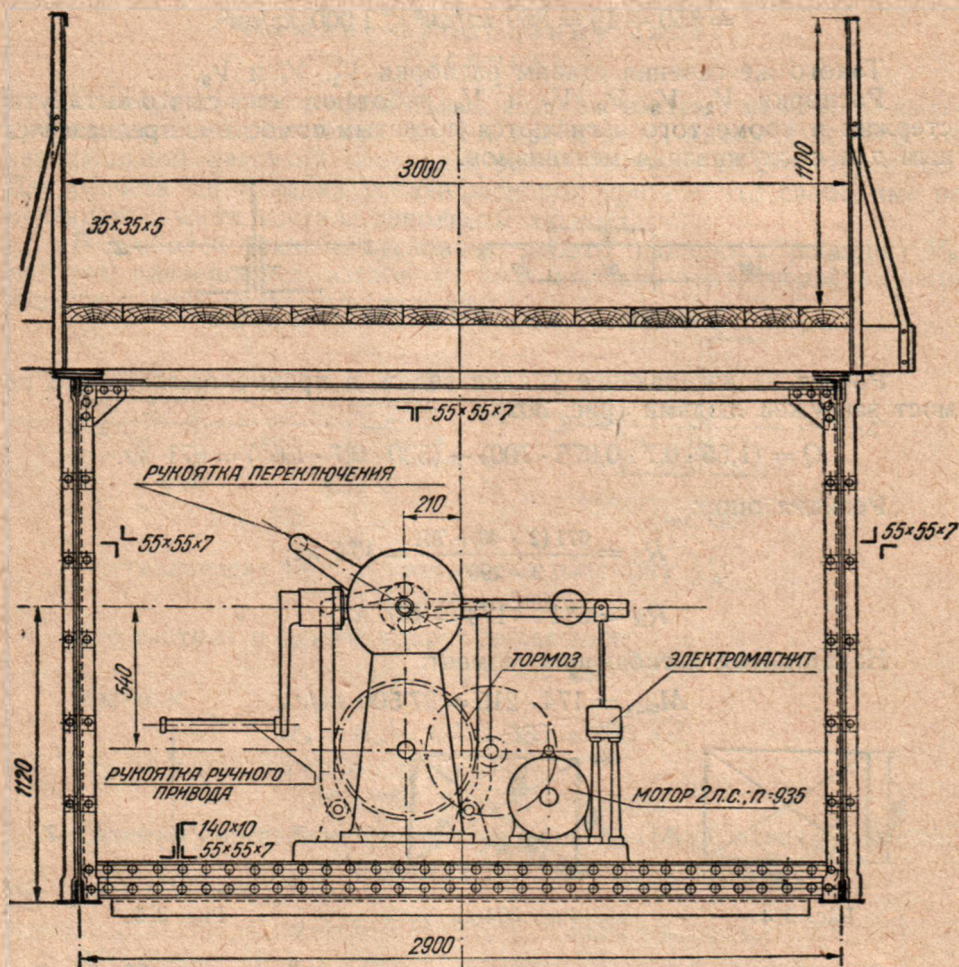


Рис. 305-а.

$$K = \frac{M}{W} + \frac{N}{\varphi \cdot \varphi^1 \omega_{\text{netto}}} = \frac{37500}{38,8} + \frac{738}{0,692 \cdot 29,26} = \approx 1000 \text{ кг.}$$

Опорные рамы

Опорные рамы устраиваем с двумя пересекающимися диагоналями, составленными из двух уголков 55 · 55 · 7 (рис. 304).

Распорки составляем из двух уголков 55 · 55 · 7 с листом 160 · 8.

Распорки

Нижняя распорка является наиболее нагруженной, так как она работает на сжатие от ветра и на изгиб от веса настила и веса людей вокруг механизмов:

$$Q = 0,695 \cdot 2,9 \cdot 530 = 1070 \text{ кг.}$$

$$M = \frac{P \cdot l}{8} = \frac{1070 \cdot 290}{8} = 39000 \text{ кг/см.}$$

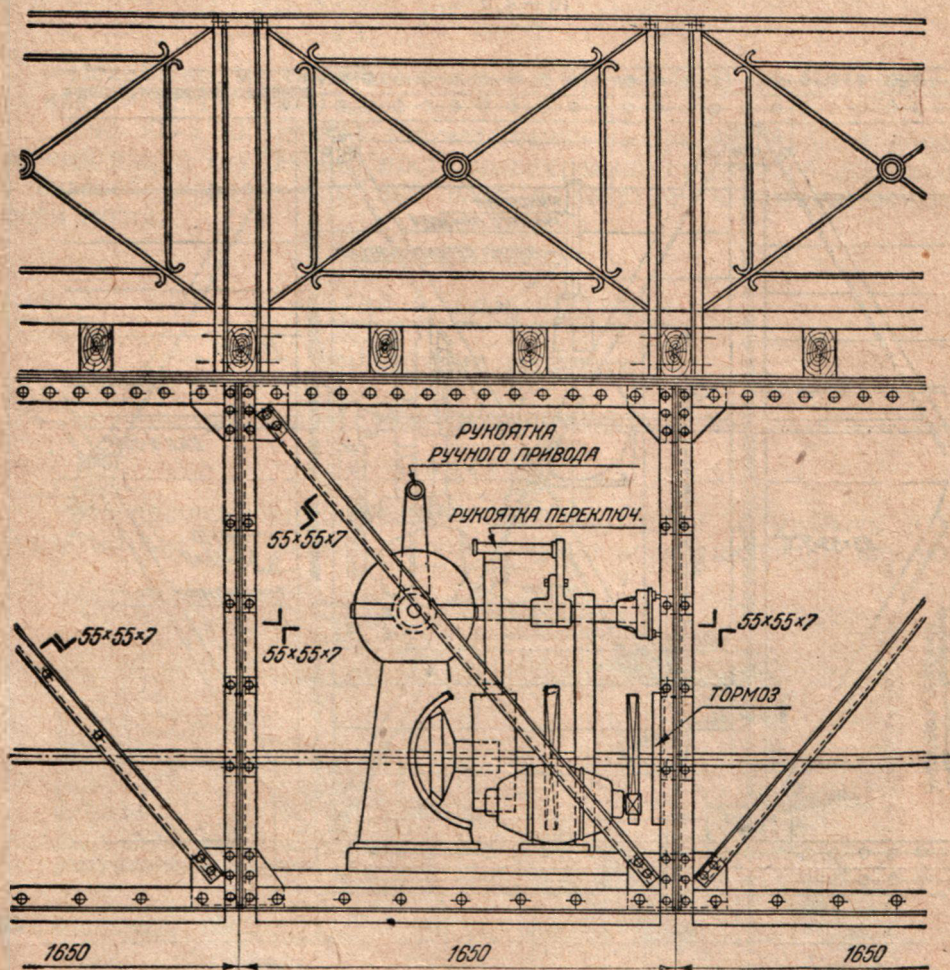


Рис. 305-6.

Сечение (рис. 305):

$$\omega = 2 \cdot 7,28 + 12,8 = 27,36 \text{ см}^2.$$

Вес:

$$q = 2 \cdot 5,71 + 10,05 = 21,47 \text{ кг.}$$

$$x = \frac{11,42 \cdot 1,6 + 10,05 \cdot 8}{21,47} = 4,5 \text{ см.}$$

$$I_x = 2 \cdot 19,73 + 14,56 (4,5 - 1,6)^2 + \frac{0,8 \cdot 16^3}{12} + 12,8 (8 - 4,5)^2 = 592,46 \text{ см}^4.$$

$$\omega_{\text{netto}} = 27,36 - (1,6 \cdot 2,2) = 23,86 \text{ см}^2.$$

$$\Delta I = 3,5 \cdot 1,5^2 = 7,9 \text{ см}^4.$$

$$I_{\text{netto}} = 592,46 - 7,9 = 584,56 \text{ см}^4.$$

$$W = \frac{584,56}{16 - 4,5} = 51 \text{ см}^3.$$

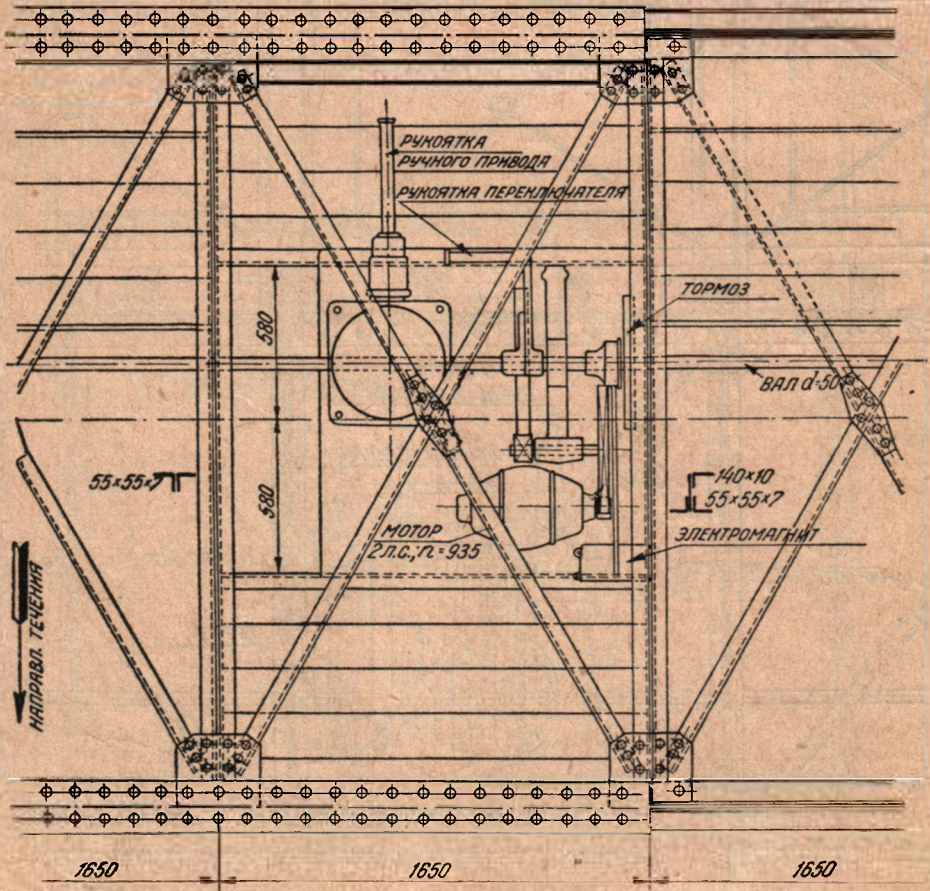


Рис. 305-в.

$$\frac{\omega}{I} = \frac{27,36}{592,76} = 0,046; \varphi = 0,76.$$

$$K = \frac{M}{W} + \frac{N}{\varphi \cdot \omega_{\text{netto}}} = \frac{39000}{51} + \frac{3400}{0,76 \cdot 23,86} = 954 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг}.$$

Верхнюю распорку, работающую только на сжатие, делаем такого же сечения для возможности прикрепления диагоналей.

Диагонали (рис. 304-а)

Диагонали работают на растяжение.

Растягивающее усилие:

$$D_0 = \frac{3400}{\cos \varphi} = \frac{3400}{0,829} = 4110 \text{ кг.}$$

$$\omega = 2 \cdot 7,28 = 14,56; \omega_{\text{netto}} = 14,56 - (4 \cdot 1,6 \cdot 0,7) = 10,1 \text{ см}^2.$$

$$K = \frac{4110}{10,1} = 408 \text{ кг/см}^2 < 1000 \text{ кг.}$$

Полный вес моста и механизмов = 12 845 кг + 4 000 кг = ∞ 17 000 кг,
из них металла — 12 000 кг.

Рис. 305-а, 305-б, 305-в соответственно изображают: общий поперечный разрез служебного моста возле середины пролета, общий фасад с низовой стороны и общий план по верхним и нижним поясам ферм моста.

Глава восемнадцатая

Вальцовые плотины

1. Основные данные

Описание

Вальцовыми или цилиндрическими плотинами называются разборчатые плотины, затворами коих служат полые цилиндры или по-

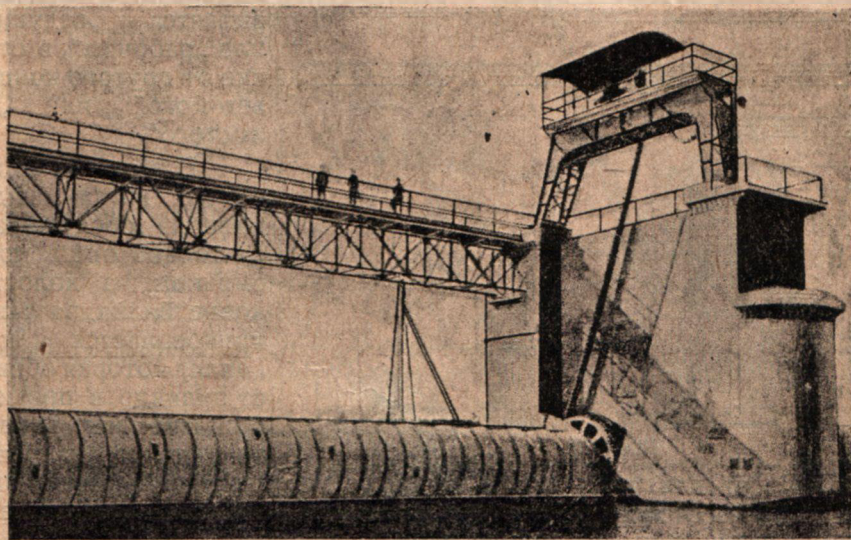


Рис. 306.

лые тела иной формы (рис. 306—309), вкатывающиеся при подъеме по наклонным плоскостям, расположенным на устоях или бычках.

При открытии пролета цилиндр вкатывается по зубчатым рейкам, расположенным на устоях, и весь пролет открывается сразу.

Подъем совершается с помощью цепей Галля или проволочных канатов, соединенных с подъемным механизмом.

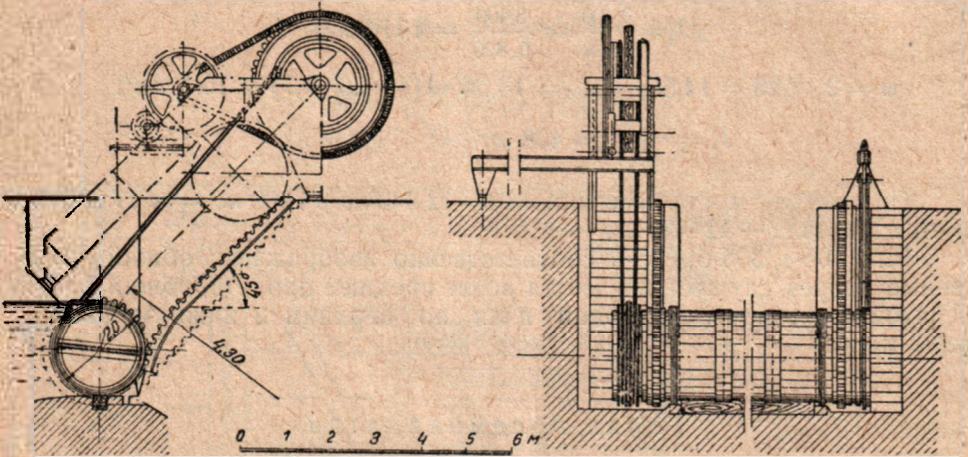


Рис. 307.

В первой из построенных вальцовых плотин (1902 г.) было два подъемных устройства, действующих на оба конца цилиндра.

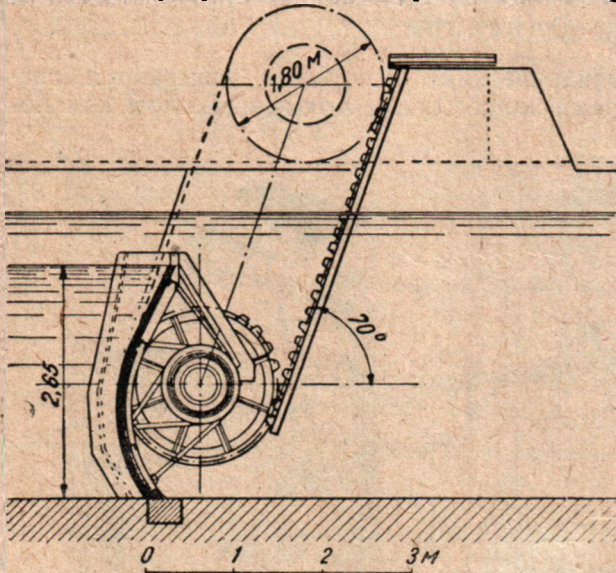


Рис. 308.

В плотинах, построенных позднее, подъемник обычно располагается у одного конца цилиндра, который называется „ведущим“ или „рабочим“, в отличие от другого конца—ведомого“ или „холостого“.

В этом последнем случае, когда каждый цилиндр обслуживается только одним подъемником, на холостом конце цилиндра также прикрепляется цепь Галля, которая обвивает цилиндр в противоположном чем на рабочем конце направлении и служит для того, чтобы цилиндр не упал, если почему-либо нарушится его сцепление с зубчатой рейкой. Эта цепь закрепляется концом на устье неподвижно (рис. 310—312).

На концах цилиндра, на части окружности его, располагают на особых стальных кольцах зубцы, изготовленные из стали, которые служат для удержания цилиндра в любом определенном положении по высоте (дуги-бандажи рис. 311, 312).

Кольца, помимо зубцов, имеют еще гладкие поверхности катания, которые воспринимают на себя вес цилиндра и разгружают зубцы.

Подъем цилиндра может совершаться или лебедками ручного привода или электромотором.

В большинстве устройств имеются одновременно и электромотор и ручной привод, который может действовать в случае отказа работы мотора.

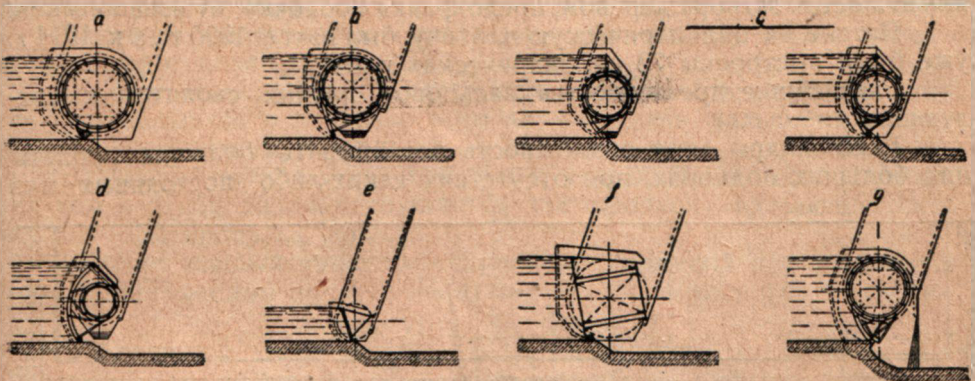


Рис. 309. Виды вальцов.

Открытие плотины при цилиндре длиной 18 м и диаметре 4 м происходит за 3 часа при работе 12 человек.

При моторе в 18 л. с. цилиндр за четверть часа вкатывается наверх при диаметре цилиндра 2 м и длине 35 м. В описываемом примере при поднятии цилиндра на каждый сантиметр по высоте требуется свыше 10 оборотов мотора, что дает возможность достигнуть

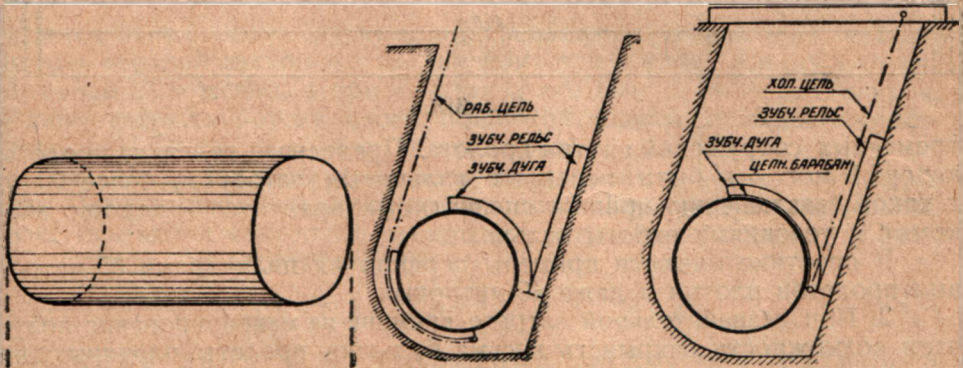


Рис. 310.

Рис. 311.

Рис. 312.

точной регулировки подпорного горизонта, поместив в машинном здании указатель, позволяющий судить о размере щели, образовавшейся между порогом флютбета и цилиндром. Однако частое пользование этой щелью изнашивает флютбет. По длине цилиндра устраиваются водовпускные окна на такой высоте, что вода может проникнуть в цилиндр и увеличить его вес, когда собственный вес

становится недостаточным, чтобы сопротивляться давлению воды снизу (рис. 313).

Для судоходных плотин вальцовые затворы неудобны, так как не освобождают сечения реки при высоких водах, когда желательно использовать естественную судоходную глубину.

Благодаря жесткости конструкции цилиндра навалка льда на затвор не повреждает его, как показал опыт работы вальцовых затворов. При быстром течении реки и крупных донных наносах полезно обшивать остов затвора деревом, предохраняя оболочку от изнашивания.

Патент на цилиндрическую плотину был взят в 1900 г., а к 1914 г. уже были выстроены 72 цилиндрических плотины.

Главнейшие преимущества вальцовых плотин сводятся к следующим.

1. Цилиндры дают возможность перекрывать большие пролеты при больших подпорах, при отсутствии каких-либо постоянных или

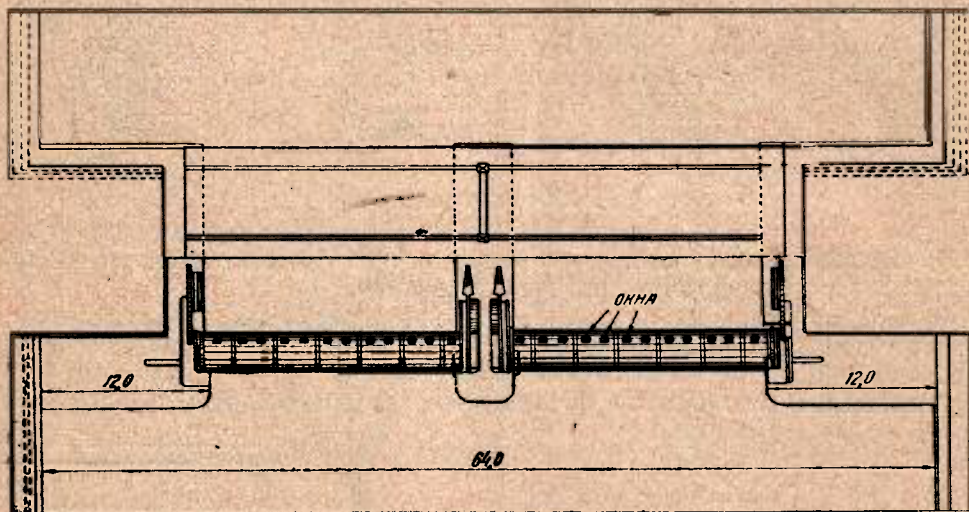


Рис. 313.

временных сооружений внутри пролета. Предельная величина пролета, который мог бы быть перекрыт вальцовым затвором, более 60 м, к какому заключению пришли специалисты, практически хорошо знакомые с условиями работы вальца.

В практике имеются примеры перекрытия цилиндрами 35-метровых пролетов плотин и даже 45-метровых.

2. При незначительной затрате времени на маневрирование получаем возможность открывать весьма большие пролеты плотины для прохода воды и льда.

3. При неблагоприятных условиях льдообразования вальцовые затворы незаменимы в виду отсутствия мелких частей и простоты конструкции, а также в виду ее жесткости¹.

4. Обслуживание цилиндра весьма просто и может происходить с берегов (иногда с устоев, если имеется несколько пролетов в плотине).

¹ Однако ошибочно было бы думать, что валец не нуждается в отоплении по линиям уплотнений, если речь идет о суровом климате (см. п. 2).

5. Начальное усилие при подъеме меньше, нежели усилие при среднем положении цилиндра, что весьма благоприятно для эксплуатации цилиндра. При этом с первого момента своего подъема затвор отступает назад от накопившихся наносов, отнюдь не оттесняя их.

6. Фильтрация в пролете, перекрываемом затвором, сводится к минимальной.

7. При открытом пролете ни одна часть затвора не подвергается действию ударов воды.

Большим недостатком цилиндрических плотин надо считать особую дороговизну сооружения (см. ниже).

Вторым недостатком является невозможность осмотра зубчатых рек, находящихся в воде. По этим двум пунктам вальцовый затвор уступает сегментному.

Вальцовые затворы, как и щитовые, устраиваются также ярусные, при чем верхний цилиндр спускается для пропуска плавающих тел, нижний—для пропуска наносов.

Обычно каждый цилиндр воспринимает половину всего давления воды в закрываемом пролете. Плотность горизонтального стыка до-

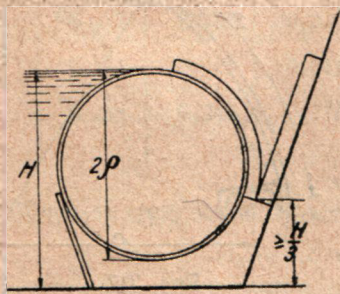


Рис. 314.

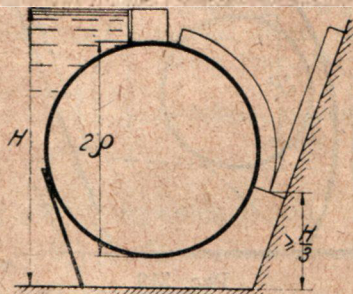


Рис. 315.

стигается деревянным брусом, прикрепленным к нижнему вальцу, при чем верхний затвор плотно прижимается к этому бруску в конечном своем положении, а при спускании его для пропуска льда и проч. он лишь касается бруска своей обшивкой. Однако последняя конструкция не прижилась в виду ее громоздкости.

Вальцовые плотины предпочтительны лишь в условиях суровой зимы. Однако шведский опыт привел проф. Карлсона к заключению, что сегментные и секторные затворы не уступают вальцовому (Ludin. Die nordischen Wasserkräfte 1930).

Расчет вальцового затвора

Выбор типа и определение основных размеров затвора.

Вальцовые затворы бывают следующих трех типов:

Основной цилиндр снабжается внизу щитком (рис. 314).

Основной цилиндр снабжается щитками как внизу, так и вверху (рис. 315).

Основной цилиндр снабжается передним козырьком (рис. 316).

При заданном пролете и напоре выбор одного из этих трех типов зависит исключительно от необходимости ограничиться не слишком большим диаметром цилиндра, так как при большом его диаметре

расходуется обильное количество сверхрасчетного металла в целях придания валцу жесткости. Кроме того точки касания зубчатых дуг бандажей к зубчатым рейкам в нижнем положении затвора должны быть расположены над плоскостью флютбета на высоте не менее $\frac{1}{3} H$, где H —полная высота затвора (рис. 314, 315, 316).

Это условие необходимо для устойчивости затвора в нижнем его положении.

Меняя при подсчетах тип затвора и радиус оболочки цилиндра, отыскиваем наиболее экономичное решение.

Радиус ρ оболочки всецело зависит от толщины оболочки и наоборот¹.

Вычисление веса основного цилиндра при различных величинах δ , производим с помощью ниже помещенной таблицы.

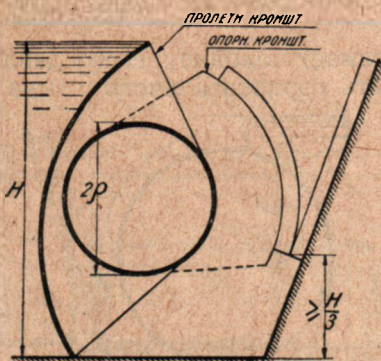


Рис. 316.

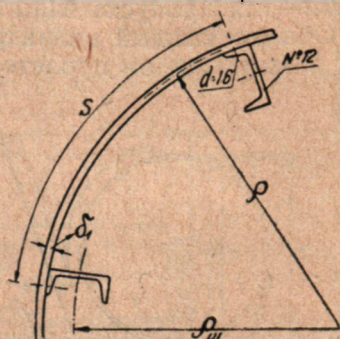


Рис. 317.

Если принять за единицу вес цилиндра при $\delta=14$ мм и обозначить вес цилиндра при $\delta_c=\delta_i$ через V_i , то получаем таблицу, пригодную практически при всяких условиях пролета и напора.

V_{14}	V_{13}	V_{12}	V_{11}	V_{10}	V_9	V_8	V_7	Примечание
1000	1011	1025	1045	1073	1110	1164	1240	Стенка цилиндра образована из оболочки и обрешетки из швеллеров, ее поддерживающих

Вычисление веса щитков и козырька не представляет затруднений. Зависимость между ρ и δ_c имеет вид (рис. 317):

$$\frac{\rho \cdot l^2}{8} = 0,8 \cdot \pi (\delta_c + \delta_m - \delta_p) \cdot \rho^2 \cdot R^2 A,$$

где $\frac{\rho \cdot l^2}{8}$ — изгибающий момент в середине пролета при равномерно распределенной нагрузке;

¹ Толщина оболочки: δ берется на практике от 7 до 14 мм; δ_c — конструктивная толщина оболочки с добавлением запаса на ржавчину.

² 0,8 — коэффициент ослабления заклепками.

δ_p — расчетное уменьшение толщины оболочки на ржавчину, равное 1 мм;

$\delta_m = \infty 0,23$ м и является добавочной толщиной, фиктивной, но вводимой в расчет в виду влияния швеллеров-обрешетин на величину момента сопротивления всего сечения, так что:

$$W_{netto} = 0,8 \cdot \pi \cdot (\delta_c + \delta_m - \delta_p) \cdot \rho^2 \text{ по типу выражения } 0,8 \pi \rho^2 \delta^3.$$

Для δ_m берем значение 0,23 см или точнее находим из таблицы:

ρ — средн. радиус оболочки	δ_m в см			Примечание 1	Примечание 2
	$s=60$ см	$s=70$ см	$s=80$ см		
см					
50	0,224	0,192	0,168	s—шаг обрешетин, исчисленный по окружности радиуса ρ (рис. 317).	δ_m находим из уравнения, выражающего равенство моментов сопротивления $W_n = 0,8 \pi (\delta + \delta_m - \delta_p) \rho^3$ и $W_n = 0,8 \pi (\delta - \delta_p) \rho^3 + \text{мом. согрот. сечен. из обрешетин}$ (рис. 317 и 318)
100	0,259	0,222	0,194		
150	0,271	0,232	0,203		
200	0,277	0,238	0,208		
250	0,281	0,241	0,211		
300	0,284	0,243	0,213		
					δ —действ. толщина оболочки

Предыдущую зависимость между ρ и δ_c перепишем так:

$$M_x = 0,8 \pi \cdot (\delta_x + \delta_m - \delta_p) \rho^2 \cdot R,$$

где R —допускаемое напряжение на растяжение и сжатие при изгибе. для момента сопротивления кольцевого сечения принято $W_0 = \pi \cdot \delta \cdot \rho^3$

вместо $\frac{\pi \cdot \delta \cdot \rho \cdot \left(\delta + \frac{\delta^2}{4} \right)}{\rho + \delta/4}$, что дает отклонение от действительной

величины W на 1%.

При учете δ_m и δ_p имеем $W_n = 0,8 \pi (\delta_x + \delta_m - \delta_p) \rho^2$, после чего очевидна правильность предыдущих формул.

$$\text{По предыдущему } \delta_x + \delta_m - \delta_p = \frac{M_x}{0,8 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot R}.$$

Так как знаменатель есть выражение постоянное, то эпюра M_x и эпюра $\delta_x + \delta_m - \delta_p$ аналогичны, т. е. обе—параболические сегменты с основанием l и стрелкой $\delta_x + \delta_m - \delta_p$ (рис. 318).

Нагрузку p считаем от давления верховой воды.

$$^1 \text{ Вместо } W = \frac{0,8 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \delta \left(\rho^2 + \frac{\delta^2}{4} \right)}{\rho + \frac{\delta}{2}}, \text{ что дает отклонение лишь на 1\% и}$$

получается отбрасыванием $\frac{\delta^2}{4}$ и $\frac{\delta}{2}$; см. ниже «Обрешетин оболочки».

Эюра теоретических толщин δ_x оболочки получается вычитанием величины $\delta_m - \delta_p$ из ординат эюры $\delta_x + \delta_m - \delta_p$.

Так как имеется минимальная конструктивная толщина $\delta_0 = 7$ мм, то отрицательные значения, полученные при вычитании, отбрасываем и получим эюру практических толщин оболочки цилиндра (рис. 318).

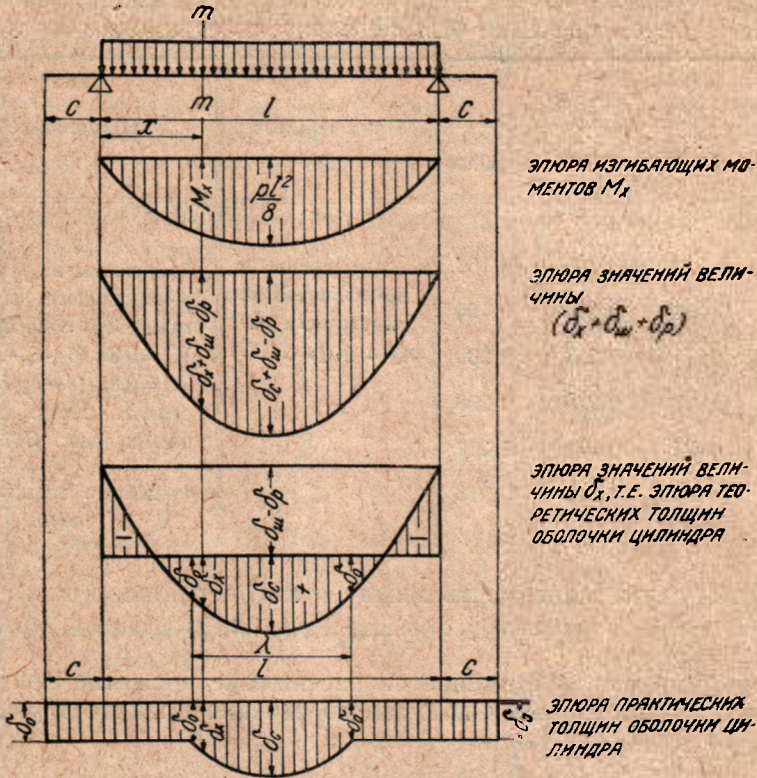


Рис. 318.

Эта последняя эюра состоит из прямоугольников с основанием $1 + 2c$, где c —опорная часть цилиндра, а высота равна δ_0 , и параболического сегмента с основанием λ и высотой $\delta_c - \delta_0$.

Величина λ находится из уравнения:

$$\frac{\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2}{\delta_c - \delta_0} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^2}{\delta_c + \delta_m - \delta_p}$$

откуда

$$\lambda = l \sqrt{\frac{\delta_c - \delta_0}{\delta_c + \delta_m - \delta_p}}$$

Итак объем болочки основного цилиндра:

$$V_1 = \left[\delta_0(l + 2c) + \frac{2}{3} \lambda (\delta_c - \delta_0) \right] 2\pi r =$$

$$= \left[\delta_0(l + 2c) + \frac{2}{3} \cdot l \cdot \sqrt{\frac{(\delta_c - \delta_0)^3}{\delta_c + \delta_m - \delta_p}} \right] \cdot 2\pi r.$$

Объем швеллеров $V_2 = \omega_m \cdot \frac{2 \cdot r \cdot l}{s} (l + 2c)$, где ω_m — площадь сечения швеллера. Полный объем, а следовательно и вес затвора зависят от величины d_c или от ρ , что равносильно.

Стенка основного цилиндра конструируется иногда без применения продольных швеллеров-обрешетин. Такая конструкция уступает предыдущей (со швеллерами), почти не отличаясь по весу, будучи менее жесткой, несмотря на применение поперечных диафрагм жесткости.

На основании изложенного не приводим расчета оболочки без обрешетин.

В только что приведенных расчетных соображениях, чтобы не затемнять принципа, мы коснулись лишь одной стороны расчета затвора, связанной с его внешними размерами. Уместно сообщить, что при больших диаметрах основного вальца приходится тратить много металла сверх расчета в целях получения необходимой жесткости затвора. Это временно задержало применение вальцовых затворов при глубине на пороге 6—8 м и более (см. § 2).

Теперь перейдем к более подробному расчету.

Характер работы оболочки основного цилиндра. Оболочка основного цилиндра подвергается следующим деформациям:

Поперечному изгибу как балка, свободно лежащая на двух опорах (рельсах-рейках).

Скручиванию как следствию внецентренности равнодействующей сил, действующих на цилиндр.

Местному изгибу на верхней стороне от давления воды (в затворах без переднего козырька).

Поперечный изгиб и скручивание достигают максимума, когда затвор находится в нижнем положении, но не опирается на флютбет, и когда разность горизонтов в бьефах достигает также максимума. При этом напряжения от скручивания весьма незначительны, что можно видеть из прилагаемых таблиц.

Расстояние x от опоры	Изгиб. момент M	Скручив. момент M_c	Идеальные моменты $M_{ид.}$	$\frac{M_{ид.}}{M}$	ПРИМЕЧАНИЕ
Метры	Килограмм/метры				
4	309 109	49 000	312 000	1,010	Пролет в свету равен 30 м при подпоре 3,2 м и пустом нижнем бьефе. Тип—со шитками: верхним и нижним
5	365 165	47 000	367 000	1,005	
10	565 365	36 000	566 000	1,002	
15	632 632	25 000	634 000	1,002	

x	M	M_c	$M_{ид.}$	$\frac{M_{ид.}}{M}$	ПРИМЕЧАНИЕ
Метры	Килограмм/метры				
2	174 000	77 740	185 000	1,063	Пролет плотины в свету 16 м, подпор 4,18 м при пустом нижнем бьефе
3	224 000	72 038	231 000	1,031	
4	266 000	66 336	271 000	1,019	
5	299 000	60 634	303 000	1,013	
6	340 400	43 528	342 000	1,006	

Обозначения те же, что и на предыдущей таблице.

На основании данных приведенных таблиц пренебрегаем скручивающими моментами.

Следовательно остается рассмотреть вопрос о сложении напряжений в оболочке на верховой стороне от местного цилиндрического изгиба под давлением воды и от поперечного изгиба всего цилиндра, как балки на двух опорах, и закончить вопрос рассмотрением скальвающих напряжений.

Пусть n_1 —величина напряжения в оболочке на верховой стороне от поперечного изгиба всего цилиндра.

Это напряжение действует параллельно оси цилиндра; n_2 —величина напряжения там же от местного цилиндрического изгиба оболочки под давлением верховой воды.

Оболочка рассматривается при этом как арка с заделанными пятнами, покоящаяся на обрешетинах, n_2 действует перпендикулярно к оси цилиндра, σ —коэффициент Пуассона, равный 0,3.

При цилиндрическом изгибе оболочки, кроме напряжения n_2 , появятся напряжения $\sigma n_2 = 0,3 n_2$, перпендикулярные к направлению n_2 . Если n_2 —растягивающее напряжение, то σn_2 —также растягивающее напряжение.

$$n_2 = \pm \frac{\varphi}{2} \cdot p \cdot \left(\frac{l}{h}\right)^2,$$

где $\varphi = 0,75$,

h —толщина листового железа, образующего сводик,

l —расстояние между осями швеллеров и

p —равномерная нагрузка на 1 п. м пролета арки.

Знак плюс относится к нижним волокнам, а минус—к верхним.

Допускаемая величина n_1 определяется из условия, чтобы при совместном действии на оболочку цилиндра напряжений n_1 , n_2 и σn_2 в оболочке не было нигде напряжений, превосходящих заданные нормы на растяжение и сжатие при изгибе $R = 1\,200 \text{ кг/см}^2$, на скальвание $R_t = 750 \text{ кг/см}^2$.

Условиями прочности при этом являются:

$$n_1 \leq 2R_t - 0,7 n_2$$

и

$$n_1 \leq R - 0,3 n_2$$

при

$$n_{2\text{max}} = 1\,200 \text{ кг/см}^2$$

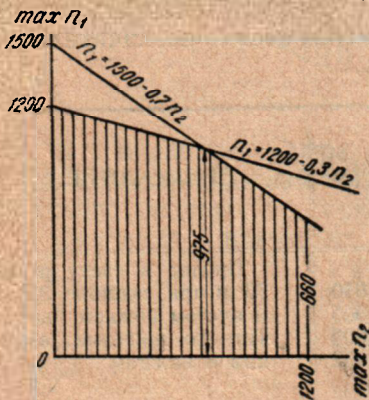


Рис. 319.

Эпюра, изображенная на рис. 319, показывает, как определяется n_1 допускаемое.

Наибольшее скальвающее напряжение при изгибе цилиндра как балки, лежащей на двух опорах, имеет место в нейтральном слое на опоре и определяется по формуле:

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

где Q —опорная реакция.

S — статический момент полусечения относительно нейтральной оси,

I — момент инерции всего сечения относительно нейтральной оси,

b — толщина сечения в нейтральном слое,

e — шаг заклепок в продольном шве на опоре и

d — диаметр этих заклепок.

Так как d всегда весьма мало по сравнению с e , то

$$S = 2 \delta \rho^2$$

$$I = \pi \delta \rho^3,$$

а следовательно

$$t = \frac{Q \cdot 2\delta \cdot \rho^2 \cdot e}{\pi \cdot \delta \cdot \rho^3 \cdot 2\delta (e-d)},$$

или

$$t = \frac{Q}{\pi \delta \rho} \cdot \frac{e}{e-d},$$

при чем

$$b = 2\delta.$$

Необходимо, чтобы

$$t_{\max} \leq R_t = 750 \text{ кг/см}^2.$$

Что касается устойчивости оболочки цилиндра при поперечном изгибе его, то в этом отношении можно быть покойным при наличии швеллеров-обрешетин при диаметрах затворов, имеющих место в практике.

Соединение листов оболочки. Оболочка основного цилиндра образуется из листового железа, при чем соединения отдель-

РАЗРЕЗ ПО I-I

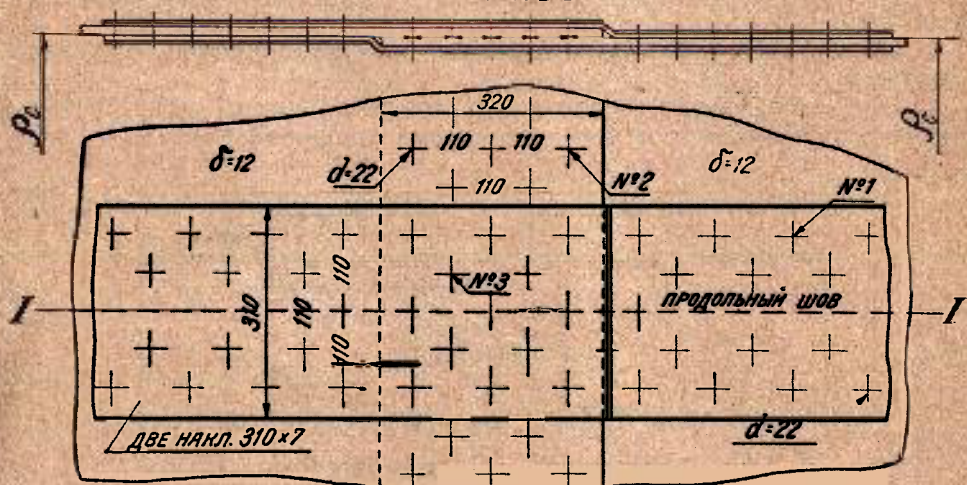


Рис. 320.

ных листов делаются внахлестку, впритык с одной накладкой и впритык с двумя накладками.

При этом образуются швы, параллельные оси цилиндра и перпендикулярные, разделяющие оболочку цилиндра на отдельные звенья.

Самый экономный способ соединения листов—внахлестку, так как при этом вес накладок сводится к минимуму.

Однако затруднительно делать продольные швы внахлестку по условиям сопряжения швов продольных с поперечными, в виду чего внахлестку лучше устраивать только поперечные швы, а продольные швы—впритык с одной или двумя накладками.

РАЗРЕЗ ПО I-I

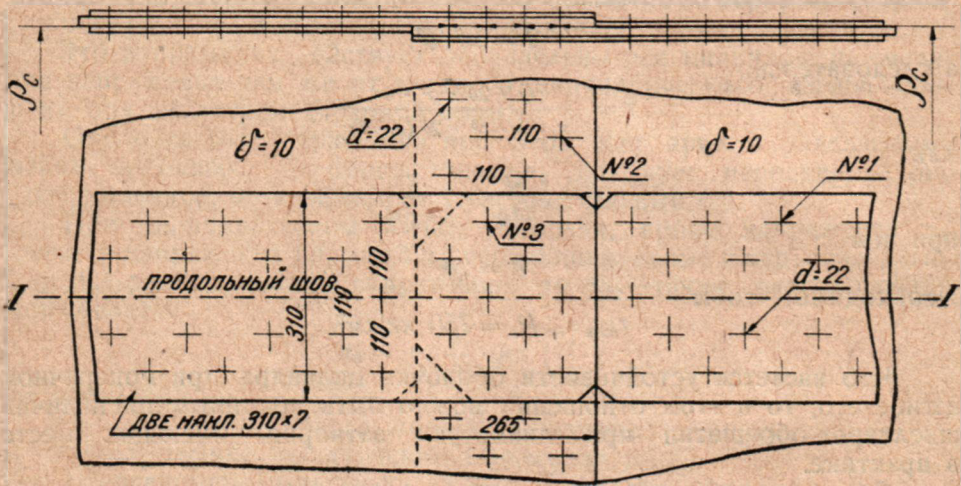


Рис. 321.

Рис. 320 и 321 изображают сопряжение продольного шва с поперечным.

Поперечный шов двух соседних звеньев оболочки образован внахлестку.

Продольные швы соседних звеньев расположены здесь в одну линию и перекрыты парными накладками толщиной в 7 мм.

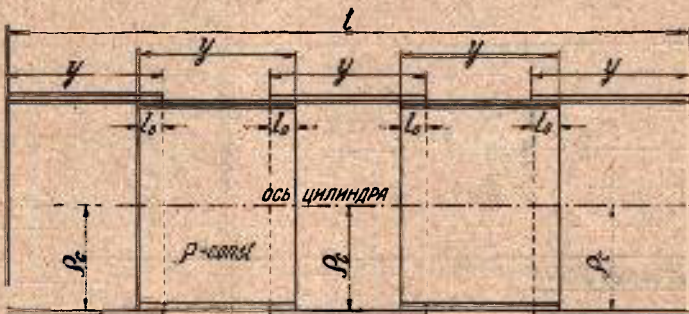


Рис. 322.

Накладки при переходе с одного звена на другое или высаживаются (рис. 320), или прерываются (рис. 321).

Число звеньев берется нечетное, при чем в середине пролета располагают звено наружное с целью увеличения момента сопротивления сечения оболочки (рис. 322).

На основании примерных подсчетов выяснилось, что: самое выгодное соединение швов—внахлестку; следующее место занимает стык с одной накладкой при $\delta = 7-8$ мм и с двумя накладками при $\delta = 9-12$ мм; третье место занимает стык с двумя накладками при $\delta = 7-8$ мм и с одной накладкой при $\delta = 9-12$ мм; поперечные швы целесообразнее проектировать внахлестку; продольные швы—встык с двумя накладками, имеющими одно и то же сечение при всех толщинах оболочки, что удобно по конструктивным соображениям.

При этом оказывается необходимым в видах экономии уменьшать число продольных швов, увеличивая число поперечных, что дает свободу в изменении δ по длине цилиндра.

Этим закончим рассмотрение вопросов, касающихся оболочки цилиндра.

Обрешетины оболочки. Швеллера-обрешетины, участвующие в поперечном изгибе цилиндра, значительно увеличивают жесткость оболочки.

Момент сопротивления сечения из швеллеров-обрешетин:

$$W_x = W_y = \frac{1}{2} \cdot \frac{n \cdot \omega_m \cdot \varrho_m^3}{\varrho} \quad (\text{рис. 317 и 323}),$$

при n —кратном четырех и ω_m -netto (площадь сечения швеллера).

При n —не кратном четырех формула для W сохраняет силу с достаточной степенью точности.

Швеллера необходимо располагать по обводу цилиндра так, чтобы в них не задерживалась вода, когда затвор покоится на флутбете при отсутствии воды в нижнем бьефе.

Момент сопротивления поперечного сечения цилиндра:

$$W_{\text{netto}} = 0,8 \cdot \pi (\delta - \delta_p) \cdot \varrho^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{n \cdot \omega_m \cdot \varrho_m^3}{\varrho}$$

при

$$n = \frac{2\pi r}{s}$$

или

$$W_{\text{netto}} = 0,8 \pi (\delta - \delta_p) \varrho^2 + \pi \cdot \frac{\omega_m}{s} \varrho_m^2.$$

Взяв более удобную формулу:

$$W_{\text{netto}} = 0,8 \pi (\delta + \delta_m - \delta_p) \cdot \varrho^2,$$

получим из этих равенств:

$$\pi \cdot \frac{\omega_m}{s} \cdot \varrho_m^2 = 0,8 \pi \delta_m \cdot \varrho^2,$$

откуда

$$\delta_m = 1,25 \cdot \frac{\omega_m}{s} \cdot \left(\frac{\varrho_m}{\varrho} \right)^2,$$

на основании каковой формулы и составлена таблица значений δ_m (см. выше).

Поперечные диафрагмы жесткости. В целях обеспечения неизменяемости формы основного цилиндра во время его работы

внутри цилиндра помещаются „поперечные диафрагмы жесткости“ (рис. 324), приклепанные или прямо к оболочке цилиндра, или к швеллерам-обрешетинам.

По своему назначению диафрагмы разделяются на три группы: диафрагмы, несущие цепи Галля (диафрагмы *а*, рис. 324), они же являются днищами цилиндра; диафрагмы, несущие дуги-бандажи (*б*, рис. 324); пролетные диафрагмы жесткости, расположенные в остальной

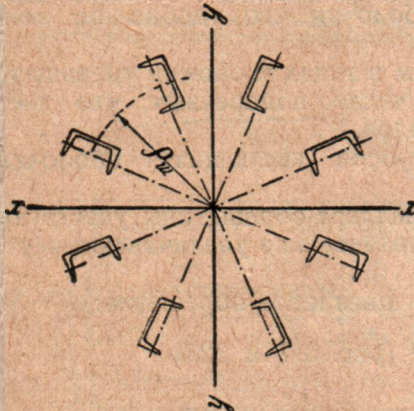


Рис. 323.

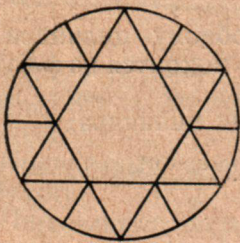


Рис. 325.

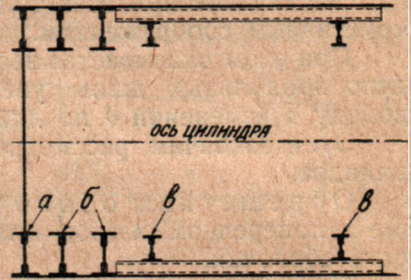


Рис. 324.

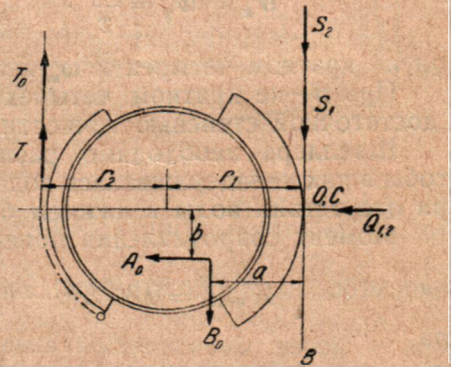


Рис. 326.

части цилиндра на определенном расстоянии друг от друга (*в*, рис. 324).

Диафрагмы имеют вид дисков с решетчатым заполнением (рис. 325).

Вес диафрагмы первой группы можно найти по эмпирической формуле:

$$q_1 = 536 \cdot r^2 \text{ кг,}$$

где r — внешний радиус диафрагмы.

Вес диафрагмы второй группы:

$$q_2 = 0,946 \cdot \frac{Q \cdot r^2}{30,88 + 0,001054 Q} \text{ кг,}$$

где Q — нагрузка в килограммах на одну диафрагму.

Вес пролетной диафрагмы:

$$q_3 = 1,06 \cdot \frac{Q \cdot r^2}{30,88 + 0,001054 \cdot Q} \text{ кг.}$$

¹ Диафрагмы системы инж. Гебеля.

Для расчета затвора на изгиб необходимо найти $P_{\max} = \sqrt{X^2 + Y^2}$, в силу чего надо выбрать самую невыгодную комбинацию глубин H_1 и H_2 на пороге, при которой имеем P_{\max} (H_1 —верхний бьеф и H_2 —нижний бьеф).

Очевидно при этом не следует задаваться условиями, фактически невозможными при эксплуатации.

При всяких обстоятельствах момент сил, стремящихся закрыть затвор (собственный вес), должен быть больше момента сил, стремящихся открыть затвор, т. е. $\eta_1 = \frac{M_1}{M_2} > 1$.

Для устойчивости цилиндра необходимо и достаточно иметь $\eta_1 = 1,25$ при самой невыгодной комбинации глубин H_1 и H_2 на пороге.

Если взять $\eta_1 > 1,25$, то тяговое усилие в начале подъема сильно возрастает, что нежелательно, так как создается постоянный эксплуатационный дефект устройства.

Кроме коэффициента устойчивости η_1 необходимо определить

$$\eta_2 = \frac{F_1}{F_2}$$

где F_1 —сила, с которой прижимается к флютбету опорный брус, при условии, что воды под брусом нет;

F_2 —давление воды на опорный брус снизу вверх, когда вода просочится под опорный брус.

Отношение $\frac{F_1}{F_2}$ называется коэффициентом надежности уплотнения по флютбету при закрытом затворе.

η_2 должен быть больше единицы при всех комбинациях глубин H_1 и H_2 .

Формулы для определения веса цилиндрического затвора. На основании детальных подсчетов веса почти всех существующих цилиндрических затворов к 1917 г. инж. Мелентьев вывел следующие формулы для грубо-ориентировочного определения веса вальцового затвора без цепей, пазовых конструкций и подъемных механизмов.

$$\begin{aligned} q_1 &= (430 + 3,2 \omega) \omega; \\ q_2 &= (350 + 3,2 \omega) \omega^2; \\ q_3 &= (250 + 3,2 \omega) \omega, \text{ где } \omega = L \cdot H, \end{aligned}$$

при чем

- L — полная длина затвора в метрах;
- H — полная высота затвора от флютбета до верхней кромки затвора;
- q_1 — высший предел веса затвора в килограммах;
- q_3 — низший предел веса затвора в килограммах;
- q_2 — среднее значение.

В заключение приведем таблицу данных о размерах выстроенных вальцовых плотин.

¹ Отсюда видно, что вальцовый затвор имеет весьма большой вес (см. «Щитовые затворы»).

Таблица данных о сооруженных вальцовых плотинах

№№ по порядку	Местность	Страна	Река	Год начала постройки	Число пролетов и величина их в метрах	Высота подпора в метрах	Вес цилиндров в тоннах	Площадь перекрестного сечения в кв. м
1	Швейнфурт . . .	Германия	Майн	1902	18,00	4,13	72,6	74,52
2	" . . .	"	"	1903	35,00	2,00	87,7	70,00
3	Берлин	"	Ландверканал	1904	5,56	1,58	5,6	8,78
4	Кольбемоор . . .	"	Мангфаль	1905	30,00	1,70	39,0	51,00
5	Бромберг	"	Браге	1905	22,00	2,50	37,0	55,00
6	Трубек	Австрия	Бечва	1905	10,00	1,75	18,8	17,50
7	Бад-Киссиген . .	Германия	Заале	1906	10,00	2,65	10,2	26,50
8	Ниенбург	"	Боде	1906	2 · 10,00	2,65	12,0	26,50
9	Нейгаттерелебен	"	"	1906	17,50	2,95	24,4	51,62
10	С. Мишель Савуайен	Франция	Арк	1907	30,00	3,00	62,0	90,00
11	Верона	Италия	Эч	1907	12,00	3,40	27,0	40,80
12	Шененверд	Швейцария	Аара	1907	17,00	2,00	20,6	34,00
13	Энсокоски	Финляндия	Вуокса	1907	2 · 18,00	3,50	45,1	63,00
14	Троллеган	Швеция	Гота-Эльф	1908	2 · 20,00	4,00	55,7	80,00
15	Поппенвейлер . .	Германия	Неккар	1909	2 · 28,00	3,60	67,0	100,80
16	Дейефорс	Швеция	Кларэльфен	1908	2 · 32,00	3,50	90,0	112,00
17	Бейертгейм	Германия	Альб	1908	10,50	1,62	—	—
18	Геймбольдсгаузен	"	Верра	1908	28,00	2,00	—	—
19	Тростберг	"	Альц	1909	15,00	3,00	—	—
20	Целле	"	Фуксе	—	15,00	2,30	—	—
21	Ландек	Австрия	Трисанна	1910	14,00	1,10	—	—
22	Ледербург	Германия	Боде	—	13,57	2,22	—	—
23	Осимо	Италия	Потенца	1913	10,00	0,80	—	—
24	Золиомбрезо . . .	Венгрия	Гарам	—	7,00	1,00	—	—
25	Кюпс	Германия	Родах	—	12,00	1,70	—	—
26	Тюбинген	"	Неккар	—	2 · 26,50	2,15	—	—
27	Торреон	Мексика	Назас	1911	2 · 17,00	2,50	—	—
28	Ля Унион	Чили	"	1910	20,00	2,00	—	—

Таблица веса вальцовых затворов, зубчатых реек и подъемников
по Hugo Kulka.

№№ по порядку	Наименование плотины	Отверстие в свету в метрах	Глубина на пороге в метрах	Вес в тоннах		
				Вальцы	Зубчатые рейки, колеса и тормоза	Лебедки и цепи
1	Швейнфурт	18,00	4,13	61,0		39,0
2	Швейнфурт	35,00	2,00	81,6		29,0
3	Ландверканал (Берлин)	5,56	1,58	5,0	1,1	0,80
4	Кольбе Moor	30,00	1,70	36,0	6,9	6,10
5	Бранану	22,00	2,50	34,0	8,4	6,60
6	Кисинген	10,00	2,65	9,0	2,5	1,20
7	Нинбург	10,00	2,65	10,1	1,9	0,75
8	Нейгаттерслебен	17,50	2,95	21,0	2,8	1,50
9	Попенвейлер	28,00	3,60	56,0	14,0	12,40
10	Трубек	10,00	1,75	16,0	4,9	2,40
11	Шененверд	17,00	2,00	18,0	3,0	2,20
12	Сан-Мишель	30,00	3,00	55,0	13,0	3,90
13	Верона	12,00	3,40	22,0	9,0	2,30
14	Энсокоски	18,00	3,50	38,0	6,0	5,57
15	Трольгетан	20,00	3,60	49,0	6,0	6,25
16	Деефорс	32,00	3,50	81,0	8,0	11,00

2. Эволюция вальцового затвора

Вальцовые затворы, по праву занимающие исключительное место в странах с суровой зимой, прошли тот же путь эволюции, что и сегментные, с той лишь разницей, что не вызывавшая сомнений техническая возможность применения вальцов весьма большого пролета наталкивалась раньше на существовавшее мнение об экономической нецелесообразности применения вальцов весьма большого диаметра

по отношению к пролету (держались величины $\frac{H}{L} = \frac{1}{8} - \frac{1}{12}$).

Теперь же, за отсутствием лучшего решения для рек в суровом климате, имеем примеры вальцов шведской плотины Форсхувудфорсен высотой на пороге до 8,85 м при пролете 17 м (рис. 329) и затворы плотины Киблинг пролетом 13,6 м при высоте над порогом 8,5 м; прочие затворы в условиях суровой зимы отказываются работать при подъеме.

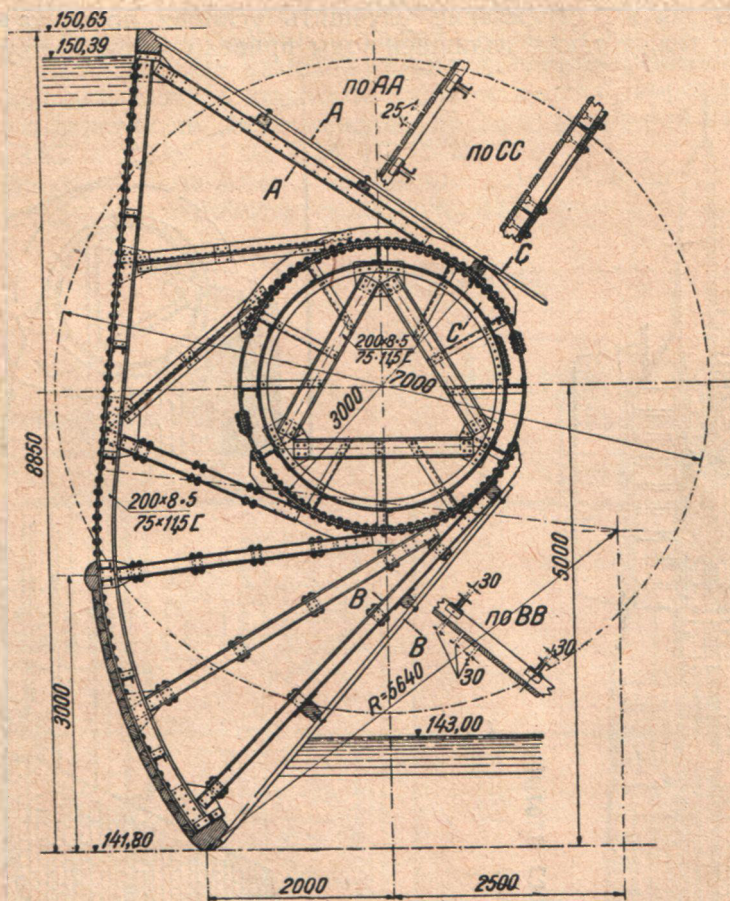


Рис. 329. Вальцовый затвор плотины Форсхувудфорсен (поперечный разрез в пролете).

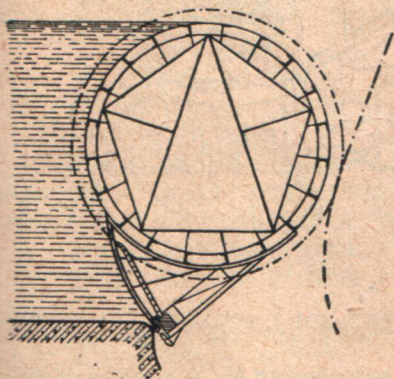


Рис. 330. Опускной вальцовый затвор (поднят).

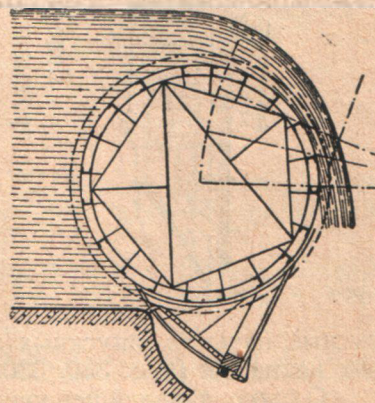
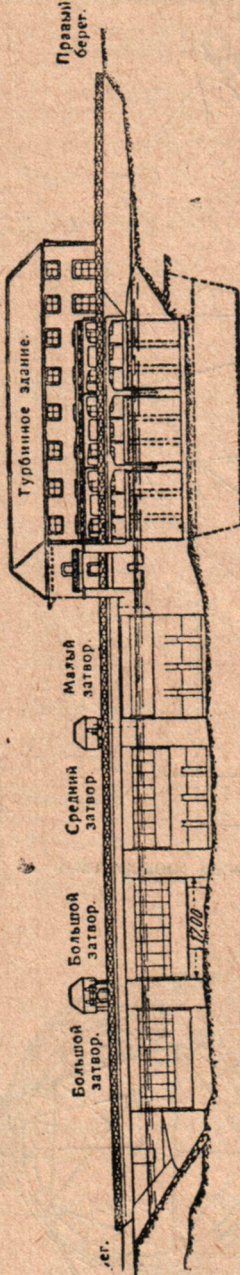


Рис. 330-а. Опускной вальцовый затвор (опущен).

Точно так же стремление улучшить условия пропуска льда и плавающих тел, а также излишней воды привело к устройству много-

Фасад плотины с верховой стороны



Поперечный разрез плотины по промывному отверстию.

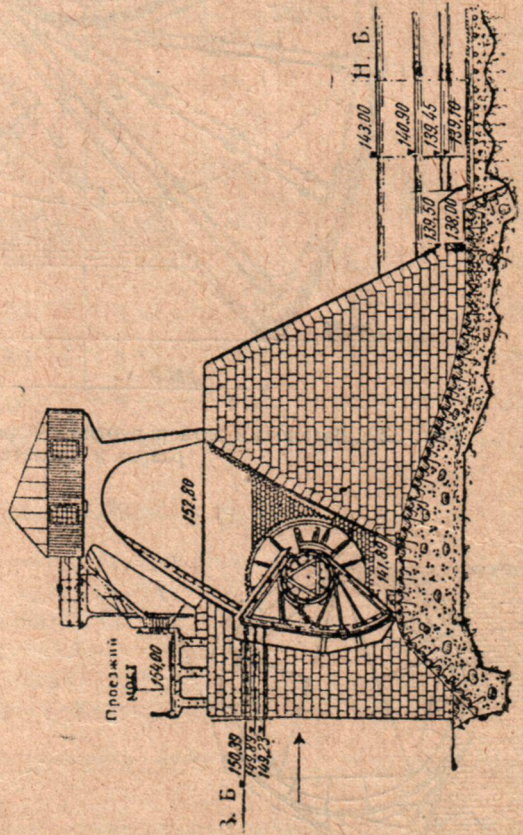


Рис. 332.

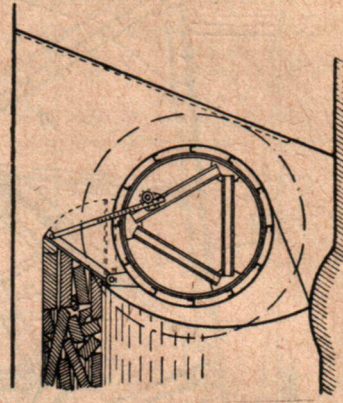


Рис. 331. Вальцовый затвор с ледо-спускным клапаном.

ярусных вальцов, опускных затворов и вальцов с верхним регулирующим клапаном (рис. 330, 330-а, 331).

Однако дальнейшее увеличение пролета сверх 45 м прекратилось; точно так же опускные конструкции не получили распространения по причине неудовлетворительности горизонтального уплотнения,

надлежаще сконструировать которое весьма затруднительно (см. ниже). Многоярусные вальцы не нашли своих последователей в виду того, что льдоспускные клапаны являются лучшим решением.

Вальцовая плотина шведской гидроустановки Форсхувудфорсен имеет 4 отверстия по 17 м каждое, но при различной глубине напоре: 8,85 м (2 пролета), 6,25 и 3,75 м.

Толщина бычков одна и та же: она равна 5 м при длине 27 м. Грунт в основании — прочная скала (рис. 332).

Продольный разрез.

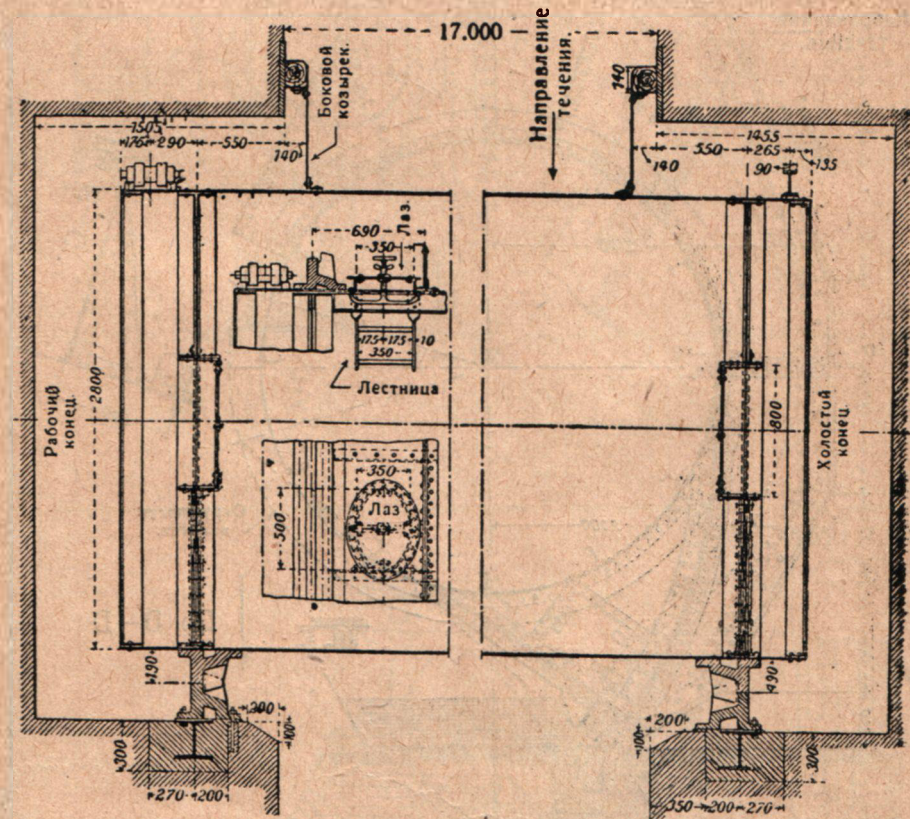


Рис. 333.

Самый малый валец имеет диаметр 2,778 м и снабжен нижним козырьком. Вес этого затвора равен 40 т, что дает 626 кг на 1 м² перекрываемого отверстия (рис. 333, 334).

Самый большой валец имеет диаметр 3 м; он снабжен впереди водоудерживающей стеной, образующей как бы два козырька: верхний и нижний.

Вес этого затвора равен 140 т, что дает 930 кг на 1 м² перекрываемого отверстия.

Для подъема большого затвора установлен мотор в 32 л. с. при 720 об./мин., что дает 40% запаса в подъемной силе против расчет-

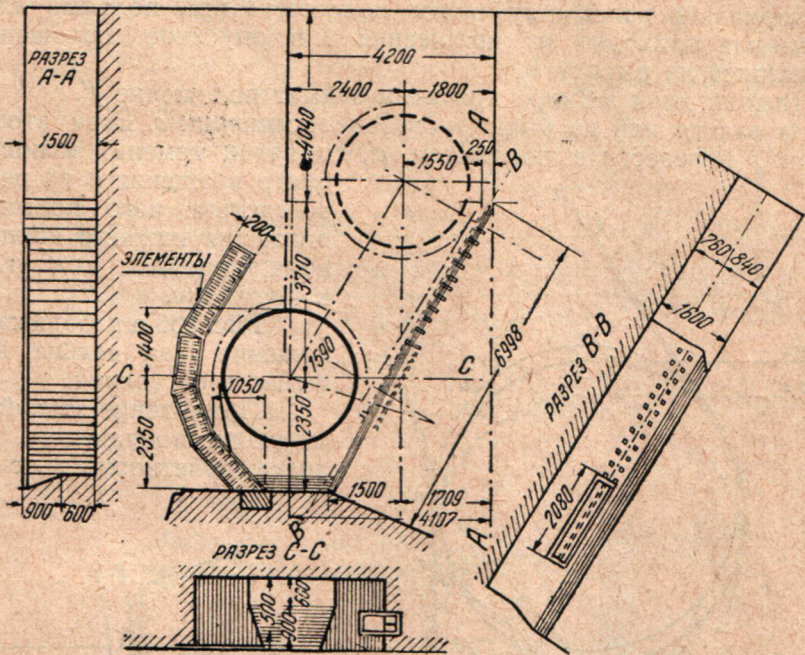


Рис. 335.

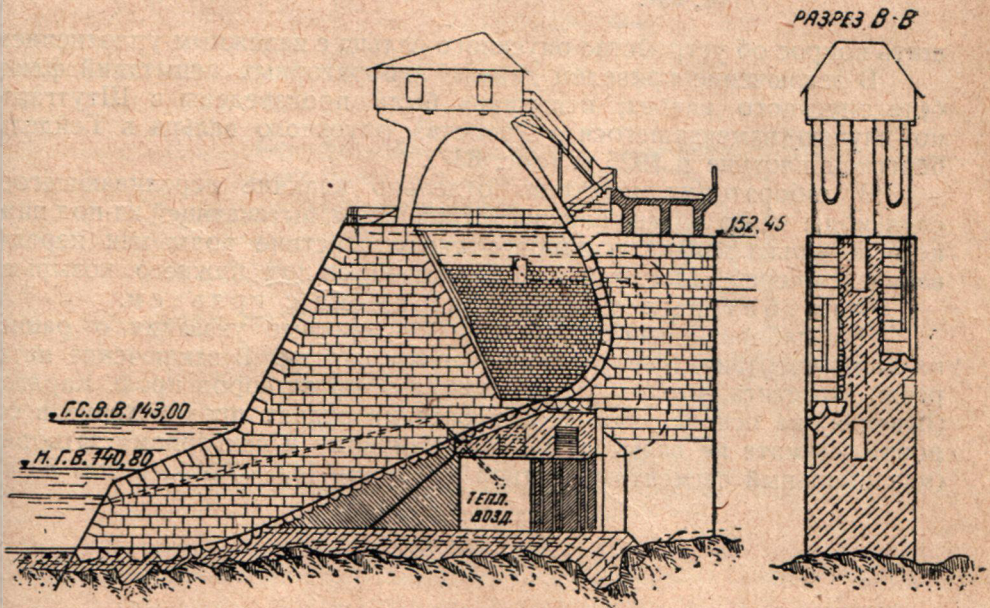


Рис. 335-а.

Нормально валец с зубчатым колесом b при подъеме идет по пути $a-a$ и приходит из положения 1 в опускное положение 1', опустившись на высоту h .

Нижний край затвора при этом займет положение f' .

На вальце или на бычке устроен эксцентрик c . Если этот эксцентрик c перевести в положение c' , то валец изменит мгновенный центр вращения a на центр d , вследствие чего новый путь движения нижнего конца затвора f пройдет под углом β к прежнему.

Рис. 336-а изображает положение низа вальца в опущенном состоянии.

Применение такой конструкции, повидимому, позволяет удовлетворительно разре-

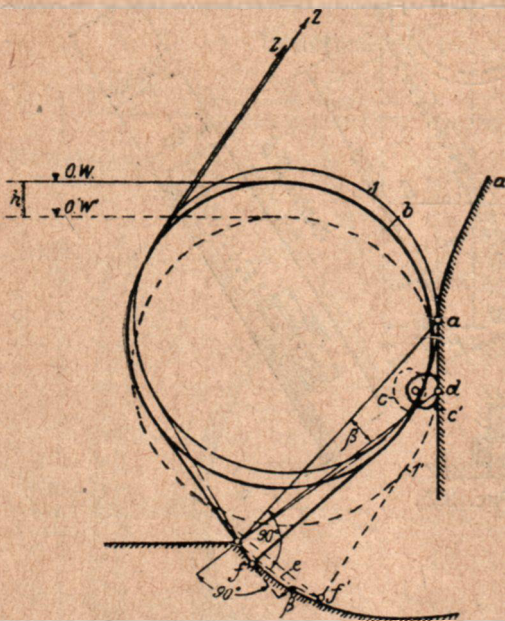


Рис. 336.

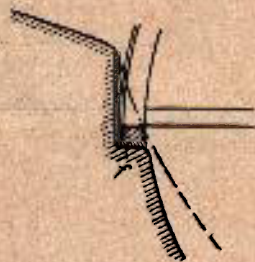


Рис. 336-а.

шить вопрос об устройстве опускного вальца с надежным уплотнением.

В заключение приведем данные лабораторных испытаний флютбета опускного вальца; испытания были произведены в Штутгарте по случаю намечавшегося устройства опускного вальца в Гейдельбергской плотине в 1925 г. (рис. 337).

В лаборатории испытано отдельно влияние переливающегося слоя воды через валец, влияние струи воды, вытекающей из-под нижнего козырька вальца, и одновременное действие воды как переливающейся через валец, так и вытекающей из-под нижнего козырька.

Флютбет был устроен из песка с гравием.

Эти лабораторные опыты дают интересные указания о рациональном очертании флютбета вальцовых плотин. В заключение интересно отметить, что известный конструктор затворов проф. Карлсон (Швеция) на основе данных эксплуатации отдает предпочтение в суровом климате не вальцовому, а сегментному и секторному затворам (максимальный сегментный затвор Швеции—14,0×7,3 м, весом 50 т).

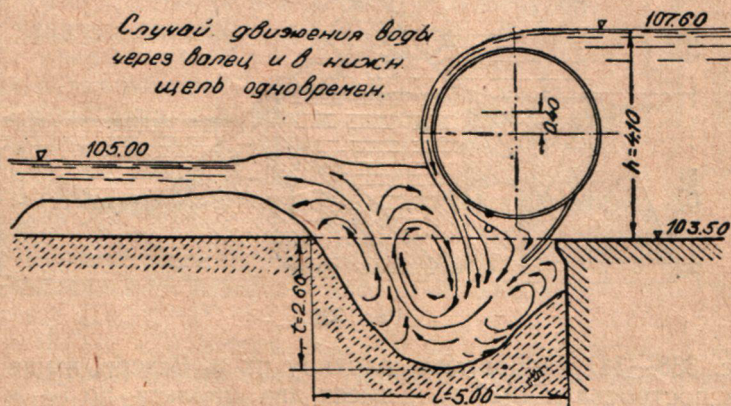
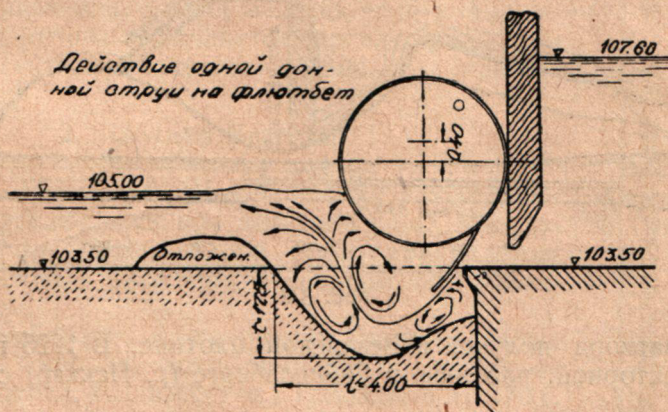
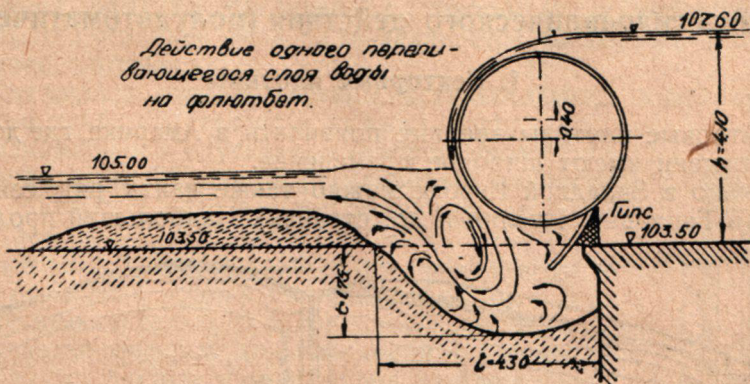


Рис. 337.

Глава девятнадцатая

Плотины гидравлического действия (полуавтоматические)

1. Секторные плотины

Секторные плотины впервые появились в Америке, где до настоящего времени имеют широкое применение.

Однако в Западной Европе можно также найти ряд секторных плотин (в Германии, Италии и др. странах). Наибольший пролет сек-

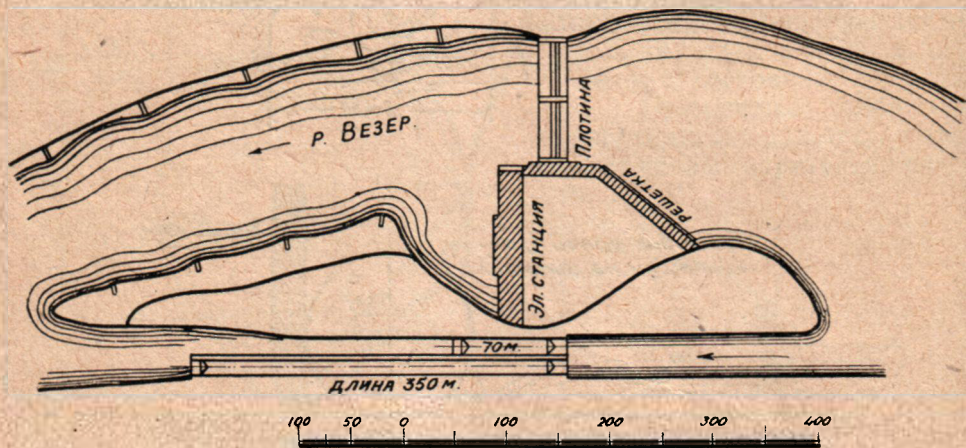


Рис. 338.

торного затвора получен в Везерской плотине. В 1925 г. составлен проект секторной плотины в Гейдельберге (р. Неккар) с пролетами 62,5 м.

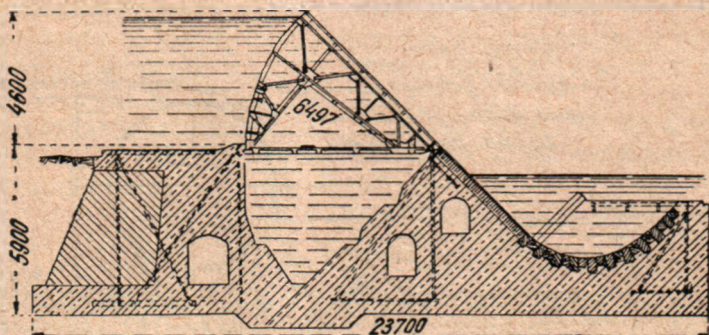


Рис. 339.

Рис. 338—341 изображают плотину на р. Везере, выше Бремена. Плотина построена к 1910 г. и имеет два пролета по 54 м каждый.

Затвор вращается вокруг оси *A* и при открытии погружается в камеру *k* (рис. 341).

Поверхности *a* и *b* сектора имеют обшивку, снизу же сектор открыт.

Через канал B средней опоры вода верхнего бьефа поступает в камеру k и поднимает затвор давлением на поверхность a сектора.

Камера плотины соединена с трубой R_1 , в которую входит труба R_2 . В последней вода устанавливается на той же высоте, как и в камере плотины.

Если вода в камере плотины устанавливается выше трубы R_2 , то она по трубе R_3 стекает в нижний бьеф.

Подниманием и опусканием телескопически установленной трубы R_2 можно регулировать горизонт воды в секторе, а вместе с тем поднимать или опускать затвор.

Секторные затворы чаще всего применяются на гребне водослива водохранилищных плотин, т. е. в условиях незначительного количества наносов, в таком случае не опасных для исправной работы затвора. Однако, очищая камеру перед каждым маневрированием, можно применять затвор и в водоподъемных плотинах при слабых наносах, если повышенный порог плотины не является препятствием для устройства секторной плотины в данных условиях.

2. Плотина Bear-trap

Среди самодействующих плотин, поднимающихся и опускающихся при действии силы, вызываемой подпором, более видное место принадлежит двойным щитовым затворам, известным под названием Бертреп.

Плотина Бертреп и ее вариации распространены в Северной Америке, хотя принцип, по которому устроена плотина, был известен в Голландии в 1770 г. при постройке шлюзных ворот. Применение плотины Бертреп в Пенсильвании не имело никакой связи с нидерландской практикой, вследствие чего Бертреп считается типично американской плотинной. Американец Уайт впервые (1818 г.) применил новый тип плотины на реке Mauch Chunk Creek.

На многочисленные вопросы любопытных зрителей: „что это такое“, занятые постройкой рабочие, которым эти вопросы надоели, коротко отвечали, что они сооружают западню для медведей (англ. „бертреп“).

С тех пор плотина Уайта на техническом языке носит первоначальное название плотин и шлюзных ворот системы „Бертреп“.

Уже в 1819 г. с большим успехом работало на одной реке Лехай 12 плотин Бертреп, примененных главным образом для целей лесосплава. Позднее они строились для той же цели и во Франции.

Первоначальное применение плотины Уайта во Франции последовало в 70-х годах (плотина Невиль-о-Пон на Марне).

Плотина выстроена неудачно в силу незнакомства с практикой устройства подобного типа плотин. Размеры щитов были выбраны



Рис. 340

неправильно, детали конструкции, влияющие на работу плотины, также недостаточно осмысленны, вследствие чего для поднятия плотины понадобился подпор в $0,5 \text{ м}^3$, что было достигнуто особым затвором Тенара высотой $0,6 \text{ м}$, устанавливаемым с основной плотины.

Сильно удороженная таким образом плотина, конечно, считалась неудовлетворительной, в силу чего начали появляться мнения солидных инженеров о непригодности плотин Бертреп для практики.

Схематический поперечный разрез.

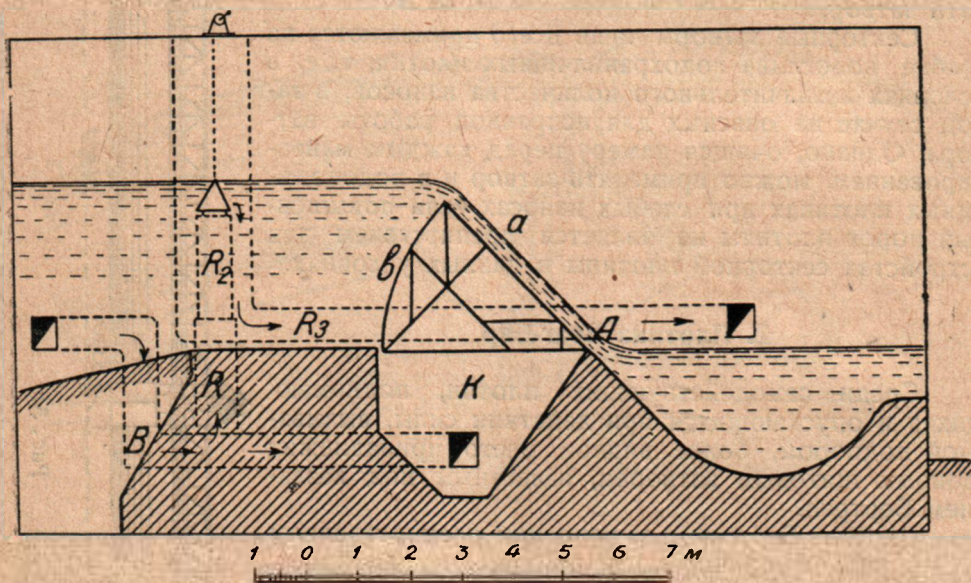


Рис. 341.

Известный инженер Лагрене отзывался о плотине Бертреп как об остроумной конструкции, не достигающей цели.

Подобные мнения начали распространяться и в Соединенных штатах, пока, наконец, американские инженеры снова не обратились к принципу Уайта.

В результате с 1886 г. было построено очень много плотин Бертреп из дерева, металла, а также смешанной конструкции.

В огромном большинстве случаев эти плотины нашли себе применение в качестве частей плотин на реках для целей внутреннего судоходства и значительно реже для целей использования водной энергии².

При осуществлении проектов плотин тип Бертреп в сущности оставался неизменным, но вносились некоторые, иногда очень заметные, изменения в основную конструкцию Уайта.

Видоизменения предложили Дюбуа, Паркер, Жирар, Брюно, Ланг, Карро, Маус, Маршалл, Читтенден, Джоунс и другие.

¹ Современный дахвер (см. п. 3) требует от 10 до 30 см подпора.

² В Европе наоборот (см. дахвер).

Основной принцип плотины Уайта отчетливо виден из рис. 342, где изображена плотина Уайта на р. Огайо около Питтсбурга.

При сложенном затворе последний принимает положение, указанное пунктиром.

Для поднятия и установки затвора внутренняя треугольная камера его соединяется при посредстве входа *F* с верхним бьефом при закрытом щитке *Г* и открытом — *Н*.

При этом для подъема щитов нужен подпор в несколько сантиметров, независимо от рода материала щитов; вес щитов слишком мал по сравнению с весом воды, вытесняемой затвором.

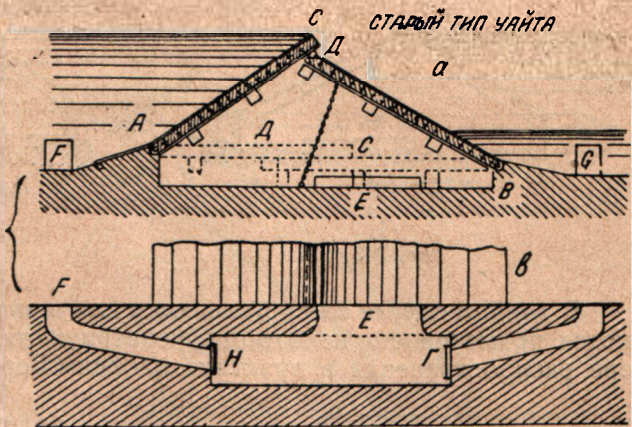


Рис. 342.

От начинающегося подъема затвора возрастает подпор, что в свою очередь заставляет затвор подниматься все быстрее и быстрее, пока нижний щит не достигнет положения, соответствующего длине удерживающей его цепи. Полностью поднятый затвор показан на чертеже сплошными линиями.

Конечно, при этом необходимо, чтобы имела место водонепроницаемость щита, а также узлов *A*, *B* и *D*.

Изменяя равнодействующее давление на нижнюю сторону щитов при помощи установки щитков *Г* и *Н* в соответствующем положении, можно регулировать положение гребня затвора в пределах достижимых границ, от крайнего верхнего положения до опускания щитов на флютбет.

По этой причине затвор Бертреп особенно пригоден для устройства водослива с гребнем, регулируемым в любое время в отношении своей высоты в известных пределах.

Весьма целесообразна также конструкция Бертреп, применяемая взамен шлюзных ворот при очень широких камерах с умеренной глубиной воды, особенно в виду экономии во времени, так как затвор постепенно закрывается во время наполнения камеры водой и открывается при опорожнении, действуя в то же время, в целях ускорения отлива воды, как водослив.

Кроме того, в отличие от створчатых шлюзных ворот, они не производят на стенки шлюза боковых давлений.

В применении к плотоходным отверстиям эти затворы дают возможность пропускать плоты при очень небольшой потере воды.

Тем не менее плотина Уайта вовсе не лишена недостатков.

К таковым надо отнести:

1. Необходимость в широком флютбете по сравнению с достигаемым подпором.

2. Необходимость иметь первоначальный подпор для подъема щитов.

3. Трудность устройства водонепроницаемых сопряжений.

Однако каждый тип разборчатых плотин имеет свои недостатки.

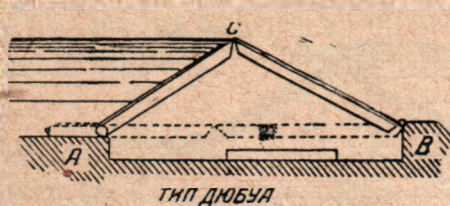


Рис. 343.

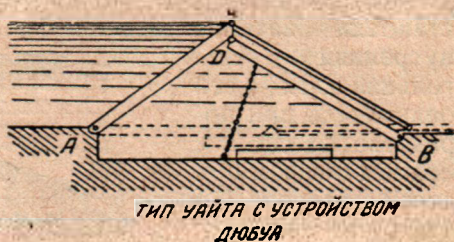


Рис. 344.

В данном случае они устраняются или в значительной мере ослабляются применением некоторых усовершенствований, введенных по мере распространения в практике плотины Бертреп.



Рис. 345.

В дальнейшем всюду положение щитов при сложенном затворе указано пунктиром.

В случае, когда деревянные обломки, бревна или лед перекатываются через гребень плотины, работа ее протекает в неблагоприятных условиях, чем ограничивается размер выступа верхнего щита над нижним.

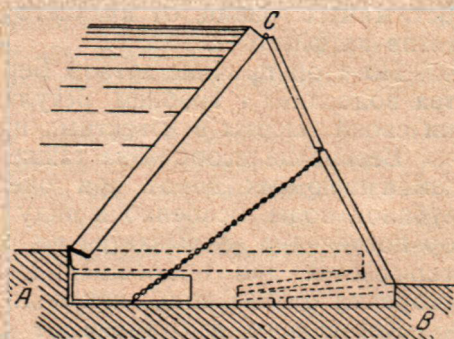
Американец Дюбуа попытался устранить этот недостаток.

Он соединил оба щита в их вершине шарниром во всю длину плотины (рис. 343).

При этом пришлось снабдить верхний щит катками для осуществления горизонтального перемещения щита (рис. 343). Катки движутся в особых желобах.

Кроме того Дюбуа значительно улучшил конструкцию Уайта, приспособив в нижней части перекрытие, показанное на рис. 344 и служащее для защиты подвижных частей от бревен и льдин, перекатывающихся через гребень.

Дальнейшее усовершенствование было предложено французским инженером Карро и заключалось в применении перекрытия (рис. 345) над нижним краем верхового щита для защиты его от донных наносов.



ТИП ЖИРАРА

Рис. 346.

В дальнейшем Карро пришел к заключению, что достаточно ограничиться железной полосой, лишь отчасти прикрывающей углубление во флютбете и даже не соприкасающейся с верхним щитом. Нижний конец верхнего щита Карро заставил перемещаться в горизонтальном направлении, применив ролики, движущиеся по двум рельсам каждый.

Дюбуа и Карро ввели ролики, а следовательно и новое трение, чего не было в основном типе Уайта.

По Дюбуа и Карро построено лишь несколько мелких плотин.

Еще в 1868 г. французский инж. Жирар предложил усовершенствование устраняющее упомянутый недостаток (рис. 346). Жирар соединил щиты между собой и с основанием шарнирами в трех углах *А*, *В* и *С*.

Кроме того, он делит низовой щит шарниром на две части и делает его таким образом складным, достигая тем самым уменьшения потребной ширины флютбета, так как в плотинах Уайта угол, образуемый щитами в их вершине, сильно превосходит 90° .

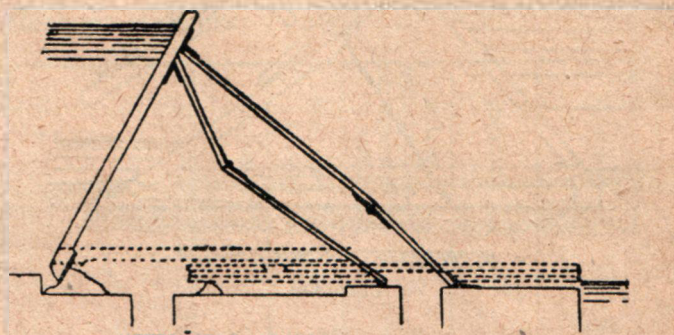


Рис. 347.

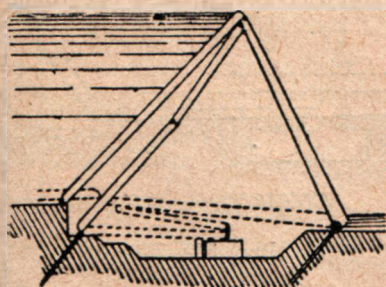


Рис. 348.

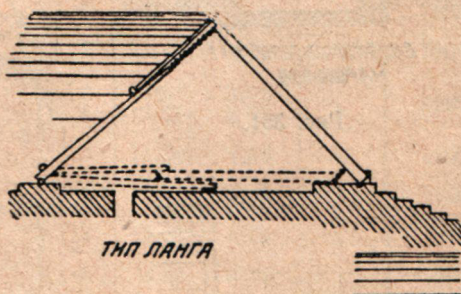


Рис. 349.

Вследствие смерти Жирара проект его не был осуществлен.

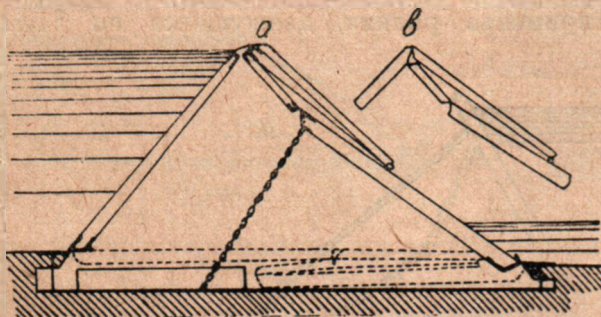
При постройке неудачной плотины в Невиль проект Жирара остался без всякого внимания.

Точно также не получил осуществления проект бельгийского инженера Мауса (рис. 347), предложенный в 1873 г. в связи с продолжением работ по шлюзованию р. Маас.

Паркер и Ланг, строители плотин в штате Висконсин, не знали усовершенствований, предложенных Жираром и Маусом, и ввели свои изменения в основной тип Уайта.

На рис. 348—349 показаны их устройства.

В первом из этих двух проектов имеется шарнир в верховом щите (обратно устройству Жирара) с перекрытием этого щита для защиты от повреждений льдом и бревнами.



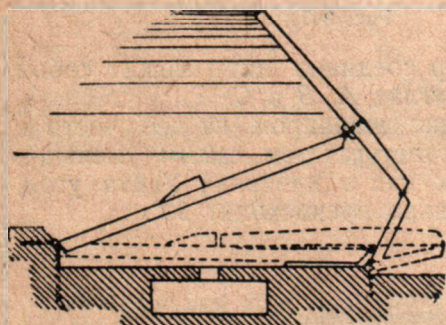
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРКЕРА

Рис. 350.

Это перекрытие, шарнирно соединенное с верховым щитом у верхнего края последнего, при складывании затвора скользит горизонтально вверх по течению реки.

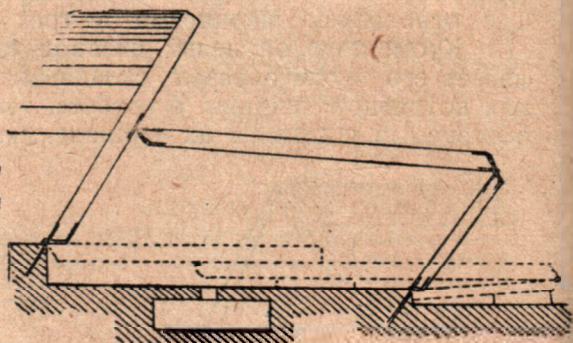
Чтобы уменьшить трение, перекрытие снабжено отверстиями. При этом давление уравнивается с обеих сторон, и цель достигается.

Устройство Паркера оказалось удачным.



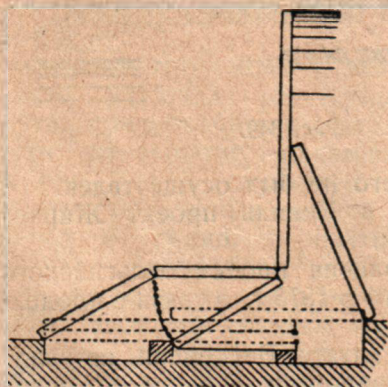
*ВИДОИЗМЕНЕНИЕ №1
МАРШАЛЛА*

Рис. 351.



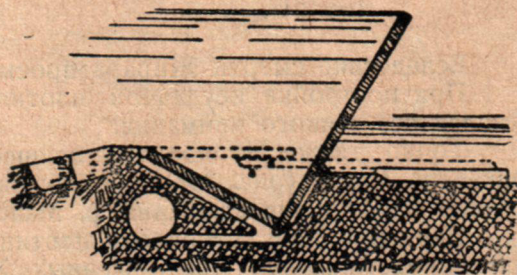
ВИДОИЗМЕНЕНИЕ №2 МАРШАЛЛА

Рис. 352.



ТИП ДЖОУНСА

Рис. 353.



ТИП МАРШАЛЛА

Рис. 354.

Далее Паркер перенес шарнир с верхового щита на низовой, как показано на рис. 350.

Последнее изменение носит название „усовершенствованного устройства Паркера“ и обычно предпочитается устройству Ланга, который заменил цепью верхнюю часть верхового щита.

Из рассмотрения прилагаемой таблицы более известных американских выполненных плотин видно, что наибольшее применение получили типы Уайта, Паркера и Ланга.

№№ по порядку	Название плотины	Число пролетов	Пролет в метрах	Возвыш. верх. бьефа над порогом в метрах	Система	Г о д
1	Neuville Au Port	1	9,10	2,90	White	1868
2	Beattyville, Kentucky River	2	18,30	3,65	„	1886 1888/89
3	Dabis Island, Ohio River	1	15,85	2,85	„	1906
4	Eeau Claire, Chippewa River	1	6,10	2,12	Du Bois	1878
5	Wisconsin, Menominee River	1	4,25	2,12	Parker	1888
6	Wisconsin, Milwaukee River	2	7,00	4,25	„	1890
7	Tennessee	1	12,20	2,60	„	1892
8	Nevers, St. Croix River	3	24,40	4,85	Lang	1891
9	Little Falls, Missisipi River	1	18,30	2,12	„	1893
10	Little Falls Chippewa River	1	17,70	3,65	„	1893
11	Chippewa Falls	1	24,40	1,83	„	1894
12	Sandy Lake, Missisipi River	{ 1 2	{ 3,35 12,20	{ 3,65 3,95	„	1895
13	Minneapolis, Missisipi River	2	15,20	4,85	„	1897
14	Lousville, Portland Kanal	2	12,20	4,85	Parker	1898
15	St-Paul, Missisipi River	2	15,50	4,20	„	1903
16	Minnesota	1	3,65	4,75	„	1094
17	Pittsburg, Allegheny River	2	28,40	{ 3,04 3,65	White	1903
18	Beaver Ohio River	2	36,60	4,03	„	1904
19	Freedom „ „	1	28,40	4,13	„	1907
20	Glenfield „ „	1	31,20	4,46	„	1906
21	Glenosborne, Ohio River	2	28,40	4,13	„	1907
22	Legionville	2	28,40	4,13	„	1907
23	Lockport, Chic. Dr., Can	1	48,60	5,00	„	1897
24	Phoenix Oswego branch	2	24,30	2,74	Parker	1910/11

Быстро прогрессирующее вытеснение дерева прокатным железом привело к новым формам плотины Бертреп.

Из многочисленных проектов особого внимания заслуживают предложения Маршалла.

Сущность их легко уясняется из рассмотрения рис. 351 и 352.

Интересно видоизменение Джоунса (рис. 353) и дальнейшее изменение, внесенное Маршаллом (рис. 354).

Первые из этих изменений имели в виду уменьшение ширины основания и представляются более или менее применимыми в зависимости от особенностей режима реки.

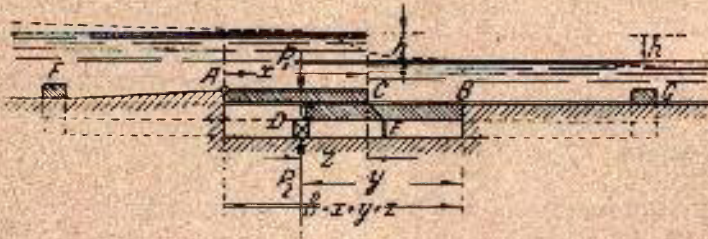


Рис. 355.

Разновидность, изображенная рис. 354, имеет целью автоматическое заполнение и опорожнение камеры под щитами, без содействия механических приспособлений, с употреблением для этого небольшого количества воды под давлением для начала подъема щитов в случаях, когда в реке нет подпора в начальный момент.

Маршалл держался того мнения, что путем устройства сети водопроводных галлерей он сможет достигнуть равномерного подъема всего гребня плотины при отверстиях, значительно превышающих 100 м.

Приведем некоторые теоретические подсчеты для иллюстрации совокупности обстоятельств, влияющих на установление взаимных размеров частей плотины Бертреп.

При этом при всех изменениях уровня воды в реке гидростатические условия также меняются; нас же интересует всякий раз возможность самостоятельного подъема щитов, начиная с наиболее низкого их положения, а также опускания, начиная с наиболее высоко поднятого положения.

При этом крайне затруднительно исходить из действительного продольного профиля зеркала воды (см. пунктир рис. 355) и вводить в вычисления точный вес щитов, часто неизвестный заранее.

Поэтому принимается в расчет приблизительный вес щитов.

Вместо действительного очертания профиля зеркала воды введем очертание, состоящее из двух горизонтальных прямых, соединенных вертикальным уступом, отвечающим подпору h .

Ширины щитов AC и BD , удельный вес коих должен быть близок к удельному весу воды, назовем X и Y .

Для поднятия щитов вода вводится из верхнего бьефа через вход F в камеры под щитами E , и в то же время закрывается выход из галлерей G .

В этот момент силы P_1 и P_2 (на 1 п. м длины затвора), действующие соответственно вниз и вверх у края низкого щита D , равны

P_1 — напору на верхний щит, отнесенному не к середине щита, а к точке D , за вычетом напора на него снизу, отнесенного не к точке $\frac{AD}{2}$, а к точке D , т. е.:

$$P_1 = x \cdot h \cdot \gamma \cdot \frac{\frac{x}{2}}{x-z} - \frac{(x-z)h\gamma}{2} = \frac{h \cdot \gamma (xz - \frac{x^2}{2})}{x-z}$$

Давление P_2 , отнесенное не к середине расстояния y , а к точке D , равно $\frac{y h \gamma}{2}$, т. е. $P_2 = \frac{y h \gamma}{2}$.

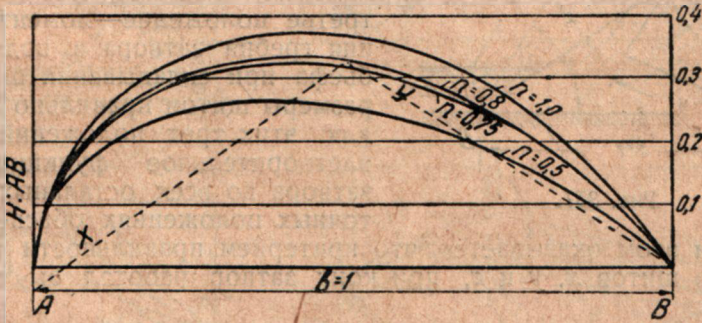


Рис. 356.

В случае равновесия сил $P_1 = P_2$ и

$$\frac{y h \gamma}{2} = \frac{h \gamma (xz - \frac{x^2}{2})}{x-z}$$

откуда

$$y = \frac{2xz - x^2}{x-z}$$

Однако для самостоятельного подъема необходимо, чтобы $P_2 > P_1$, т. е. чтобы $n P_2 = P_1$, где $n < 1$, вследствие чего

$$y = \frac{2xz - x^2}{n(x-z)}$$

Так как ширина $AB = b = x + y - z$ не влияет на величину $\frac{x}{y}$ и $\frac{P_1}{P_2}$, то, принимая $b = 1$, можно вычислить y в функции от x , придавая n определенные значения между 0,5 и 1 (рис. 356).

Практика показала, что наиболее желательное значение n должно заключаться между 0,8 и 0,85.

Но имеются примеры $n > 1$.

Например есть случай, когда $n = 1,17$; $n = 1,32$ и др., тем не менее плотины работают, хотя и не могут назваться правильно устроенными.

Дело в том, что в действительности при значительном подпоре нагрузки на единицу длины щита сверху и снизу не равны между собой, а давление снизу больше (см. действительный профиль зеркала воды), что и позволяет плотинам сносно работать в этих случаях.

При этом конечно играет роль также благоприятное распределение веса щитов.

Что касается величины угла в вершине (у гребня), то она обычно равна $\alpha = 110^\circ$ (тип Уайта), что подтверждается теоретическими исследованиями вопроса о соблюдении условий, при коих плотина самостоятельно полностью складывается ($\alpha_{\min} = 105^\circ$). Аналогичные исследования затворов Паркера привели к теоретическому установлению границ размеров щитов. Кроме предельных положений, только что рассмотренных, нас интересует здесь также третье положение — момент погружения гребня затвора в воду нижнего бьефа при складывании щитов. Если размеры щитов правильно подобраны для этих трех положений, то удовлетворительное функционирование затвора во всех остальных промежуточных положениях обеспечено.

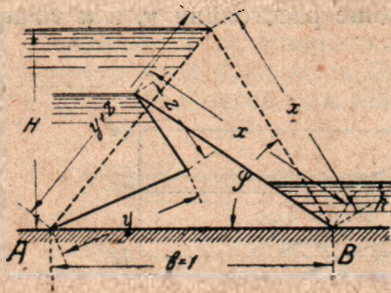


Рис. 357.

При этом оказывается, что критерием правильности выбранных размеров щитов x , y и z , при коих затвор работал бы вполне ис-

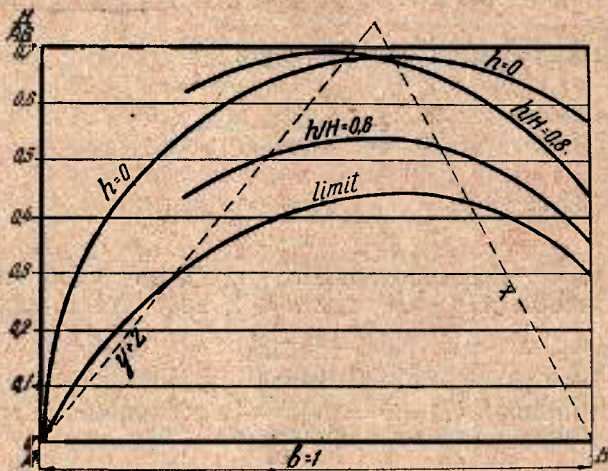


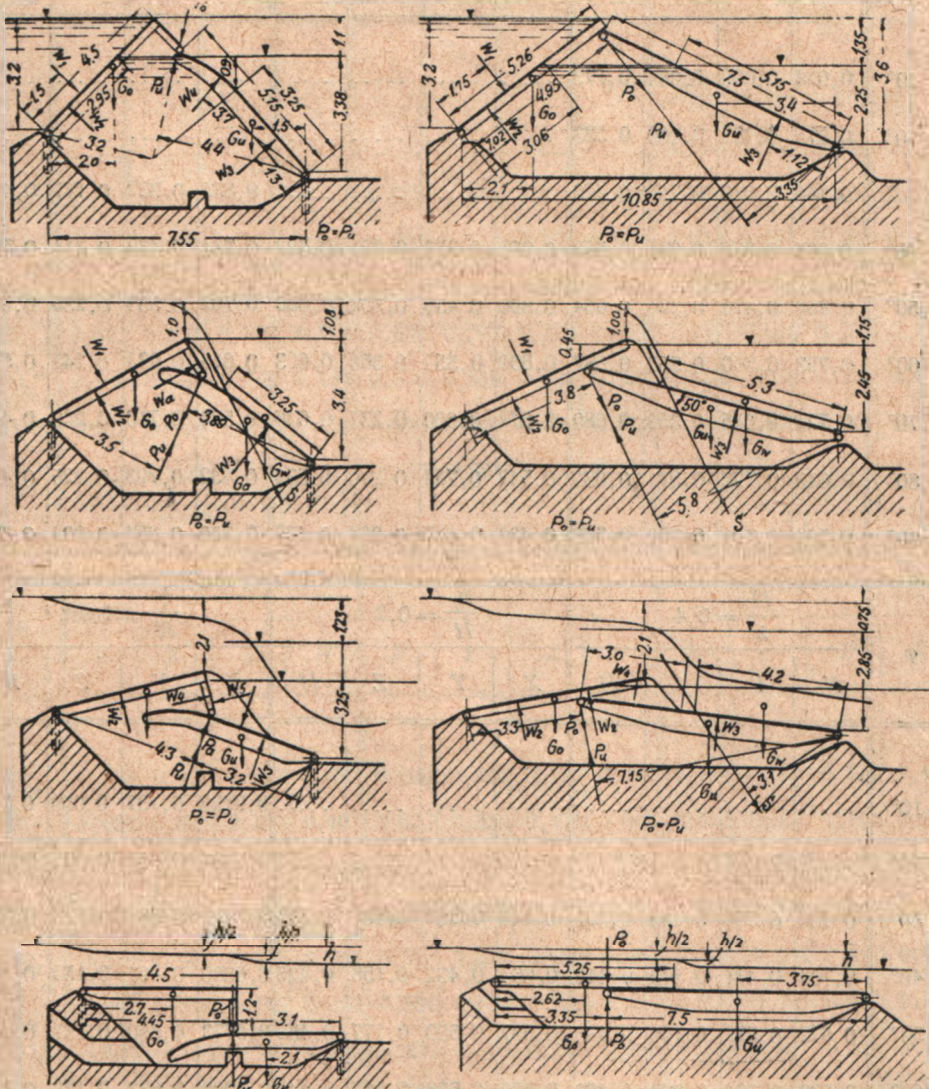
Рис. 358.

правно, является главным образом отношение наибольшей глубины воды в нижнем бьефе h к высоте гребня затвора H , т. е. величина $\frac{h}{H}$ (рис. 357).

На рис. 358 для нескольких значений величины $\frac{h}{H}$ нанесены границы величин $y+z$ и x .

Из этого чертежа и получается приблизительная возможная теоретическая высота полностью поднятого затвора.

Аналогичным исследованием Читтенден доказал возможность достижения более значительной высоты гребня при той же ширине основания в случае применения плотин Паркера по сравнению с плотинами Ланга.



Дахвер

Рис. 350.

Уайт

Новые плотины Бертреп строились все больших и больших размеров щитов, и вскоре дальнейшее внимание перенеслось в сторону металлических щитов.

В случаях, когда для подъема щитов нет подпора, применяют впереди затвора дополнительные щитки, поднимаемые с лодки, или

Таблица для определения размеров щитов плотины Паркера (рис. 357)

φ	В нижнем бьефе воды нет				$\frac{h}{H} = 0,8$				$\frac{h}{H} = 0,6$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
10°	0,934	0,090	0,084	0,173	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
20°	0,975	0,185	0,160	0,333	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
30°	0,946	0,280	0,226	0,473	.....	.....	.....	.....	0,855	0,322	0,177	0,427
40°	0,905	0,376	0,281	0,582	0,968	0,353	0,321	0,622	0,784	0,430	0,214	0,504
50°	0,854	0,470	0,324	0,654	0,896	0,456	0,352	0,686	0,702	0,533	0,235	0,537
60°	0,793	0,560	0,353	0,687	0,800	0,553	0,358	0,693	0,615	0,630	0,245	0,533
70°	0,724	0,645	0,359	0,680	0,677	0,660	0,337	0,636	0,524	0,716	0,240	0,492
80°	0,649	0,722	0,371	0,639	0,542	0,754	0,296	0,534	0,432	0,793	0,225	0,425
90°	0,568	0,791	0,359	0,568	0,437	0,827	0,264	0,437	0,350	0,854	0,201	0,350
φ	$\frac{H}{h} = 0,4$				$\frac{h}{H} = 0,2$				$\frac{h}{H} = \text{limit.}^1$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
10°	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,9129	0,137	0,050	0,159
20°	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,8264	0,267	0,093	0,283
30°	0,732	0,362	0,144	0,391	0,748	0,383	0,131	0,374	0,7412	0,388	0,128	0,370
40°	0,704	0,471	0,175	0,453	0,665	0,492	0,158	0,428	0,6580	0,497	0,155	0,423
50°	0,622	0,572	0,194	0,476	0,537	0,590	0,177	0,450	0,5773	0,590	0,167	0,442
60°	0,538	0,664	0,202	0,466	0,509	0,678	0,187	0,441	0,5000	0,683	0,183	0,433
70°	0,458	0,744	0,202	0,430	0,433	0,755	0,188	0,477	0,4264	0,758	0,185	0,400
80°	0,386	0,810	0,195	0,380	0,362	0,820	0,182	0,357	0,3572	0,822	0,179	0,352
90°	0,321	0,864	0,185	0,322	0,302	0,871	0,173	0,302	0,2929	0,874	0,167	0,293

1 Случай переменной величины h .

Таблица для определения размеров щитов плотины Ланга¹ (рис. 357)

φ	В нижнем бьефе воды нет				$\frac{h}{H} = 0,2$				$\frac{h}{H} = 0,3$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
42 ¹ / ₂ °									0,706	0,485	0,191	0,478
45°									0,691	0,508	0,199	0,490
47 ¹ / ₂ °					0,715	0,512	0,227	0,528	0,670	0,534	0,204	0,494
50°	0,729	0,521	0,250	0,553	0,697	0,526	0,233	0,534	0,644	0,562	0,205	0,493
52 ¹ / ₂ °	0,714	0,544	0,258	0,567	0,663	0,564	0,232	0,530	0,612	0,591	0,203	0,486
55°	0,672	0,576	0,249	0,550	0,637	0,592	0,229	0,522	0,584	0,618	0,202	0,479
57 ¹ / ₂ °	0,635	0,603	0,242	0,536	0,616	0,616	0,232	0,520	0,559	0,612	0,201	0,472
60°	0,611	0,620	0,241	0,529	0,590	0,610	0,230	0,512	0,536	0,665	0,201	0,463
62 ¹ / ₂ °	0,585	0,655	0,240	0,519	0,564	0,664	0,228	0,500	.....	.....	.....	.....

φ	$\frac{h}{H} = 0,4$				$\frac{h}{H} = 0,6$				$\frac{h}{H} = 0,75 \text{ до } 1$			
	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H	X	Y	Z	H
42 ¹ / ₂ °	0,678	0,499	0,177	0,457	0,660	0,510	0,170	0,446	0,676	0,501	0,177	0,456
45°	0,651	0,529	0,180	0,461	0,632	0,539	0,171	0,447	0,653	0,528	0,181	0,462
47 ¹ / ₂ °	0,627	0,556	0,183	0,462	0,610	0,565	0,175	0,451	0,632	0,553	0,185	0,466
50°	0,600	0,584	0,184	0,461	0,590	0,589	0,179	0,453	0,611	0,578	0,189	0,468
52 ¹ / ₂ °	0,576	0,609	0,185	0,457	0,570	0,612	0,182	0,453	0,590	0,602	0,192	0,469
55°	0,551	0,634	0,185	0,452	0,551	0,634	0,185	0,451	0,570	0,625	0,195	0,467
57 ¹ / ₂ °	0,527	0,658	0,185	0,444	0,529	0,657	0,186	0,446	0,549	0,647	0,196	0,463
60°	0,505	0,680	0,185	0,438	0,510	0,678	0,188	0,442	0,529	0,669	0,198	0,458
62 ¹ / ₂°	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

¹ При этом $45^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$ и $X + Y - Z = 1$. Так при $\varphi = 50^\circ$ и $H = 3,66$ м находим в столбе $\frac{h}{H} = \text{limit}$: $X = 0,577$, $Y = 0,590$, $Z = 0,167$ и $H = 0,442$. Зная, кроме того, H в метрах, из пропорции находим X , Y и Z в метрах, умножая найденные отвлеченные числа на $\frac{3,66}{0,442} = 8,73$. То же найдем по вышеприведенной кривой.

наполненные воздухом мешки, находящиеся в камере под щитами и надувающиеся при помощи ручного воздушного насоса.

Необходимо добавить, что без испытания модели в гидравлической лаборатории трудно составить хороший проект плотины Бертреп.

Швейцарские инженеры Губер и Лютц сконструировали видоизмененную плотину Бертреп, известную ныне под названием дахвер (см. ниже).

Заслуга этих инженеров заключается в уменьшении величины потребного подпора для маневрирования двухщитовой плотиной, а также в уменьшении длины флютбета, а следовательно и затрат на плотину. В таком виде американская плотина получила симпатии в Европе.

В настоящее время затвор можно найти в Европе в плотинах утилизационных, в плотоходах и даже на гребне водослива водохранилищ, а также на гребне сброса у напорного бассейна гидроустановок.

Рис. 359 дает представление о сравнительных качествах плотин типа Уайта и дахвер, изображенных для одного и того же подпора и для одной и той же глубины на пороге.

В то же время как наиболее совершенный американский тип Уайта в данном случае требует для щитов длину флютбета 10,85 м, дахвер требует лишь 7,55 м для того же случая.

Внутреннее давление в дахвер почти постоянно (3,38; 3,4 и 3,25 м), тогда как тип Уайта имеет соответственно 2,25; 2,45 и 2,85 м, что сообщает конструкции дахвер большую устойчивость и надежность.

В настоящее время надо признать, что дахвер является лучшей конструкцией, когда требуется открыть отверстие в $1\frac{1}{2}$ —2 минуты. Однако это отверстие не превышает пока 30 м; к тому же плотина боится наносов, засоряющих камеру. Впрочем последнее лишь обязывает производить полную и тщательную чистку камеры и водопроводов дахвера перед каждым новым маневрированием.

3. Дахвер

Отличительная особенность дахвера заключается в изогнутости верхнего конца низового щита и в форме верхнего конца верхового клапана, снабженного малым щитком, составляющим прямой угол с основным верховым щитом; вследствие указанного возникает новая сила w (рис. 360).

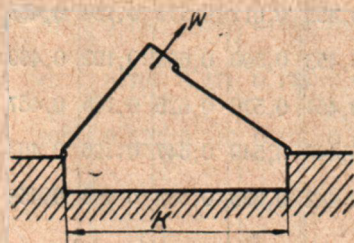


Рис. 360.

Благодаря такому устройству оказалось возможным значительно уменьшить расстояние между горизонтальными осями верхового и низового щитов, а также потребную минимальную разность горизонтов в бьефах, вызывающую подъем затвора.

Указанное горизонтальное расстояние в плотине Уайта в 3— $3\frac{1}{2}$ раза больше глубины h на пороге, тогда как дахвер дает лишь $2\frac{1}{3} h$, т. е. уменьшает ширину флютбета в 1,3—1,5 раза при уменьшенных размерах самих щитов.

Кроме того конец верхового щита составляет тупой угол с низовым щитом; этот угол уменьшается при опускании щитов. Однако

в самом нижнем положении последних указанный угол равен прямому (90°), рис. 361, 362, 363, 364.

Благодаря последнему обстоятельству между щитами не могут попасть ни куски дерева, ни льда, ни гравий, ни галька, неспособные в данном случае послужить причиной неисправной службы затвора.

Маневрирование щитом производится путем манипуляций в камере управления затвором, соединенной с внутренним междущитовым пространством. Камера управления располагается на одном из берегов.

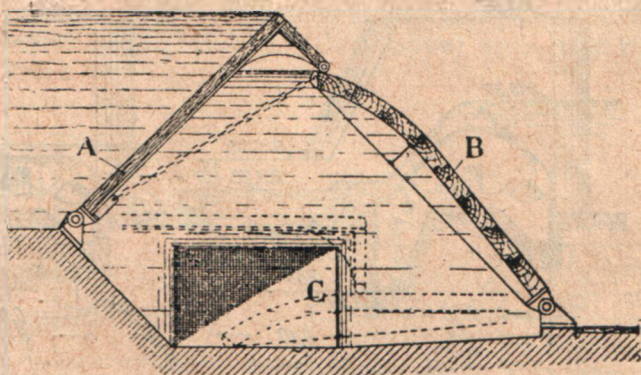


Рис. 361.

При соединении внутреннего междущитового пространства с водой верхнего бьефа затвор поднимается и занимает верхнее положение, насколько допускают цепи (рис. 361), которые привязаны к щитам.

Если же соединить внутреннее междущитовое пространство с водой нижнего бьефа, вода оттуда вытекает, теряя в горизонте, и затвор опускается больше или меньше, в зависимости от степени открытия отверстия, выпускающего воду из внутреннего междущитового пространства.

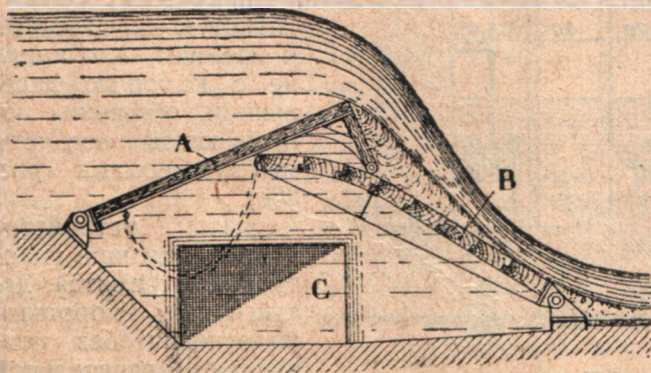


Рис. 362.

Открытие и закрытие плотины значительных размеров происходит в несколько минут (от 2 до 10 минут) без каких-либо затруднений, возможных даже при маленьких плоских щитовых затворах обычного типа.

Плотина может быть не только полностью открыта или полностью закрыта, но может принять

любое промежуточное положение. Для этого надо не полностью понизить гребень водослива в камере управления, а поставить его в желаемое положение.

Водосливом служит нередко вертикальная труба (рис. 365—367) или щит.

Для поднятия затвора надо иметь разность горизонтов выше и ниже затвора от 10 до 30 см.

ниже верха низового щита в его наивысшем положении, тогда как при промежуточных положениях щитов небольшая потеря воды, проходящей между щитами, не составляет неудобства; вода эта стекает в нижний бьеф.

Указанная потеря воды весьма мала; во всяком случае она всегда меньше потерь, наблюдаемых в обыкновенных щитовых затворах. Рис. 365—367 изображают дахвер Вулэш (Швейцария) пролетом 20 м и глубиной на пороге ≈ 1 м.

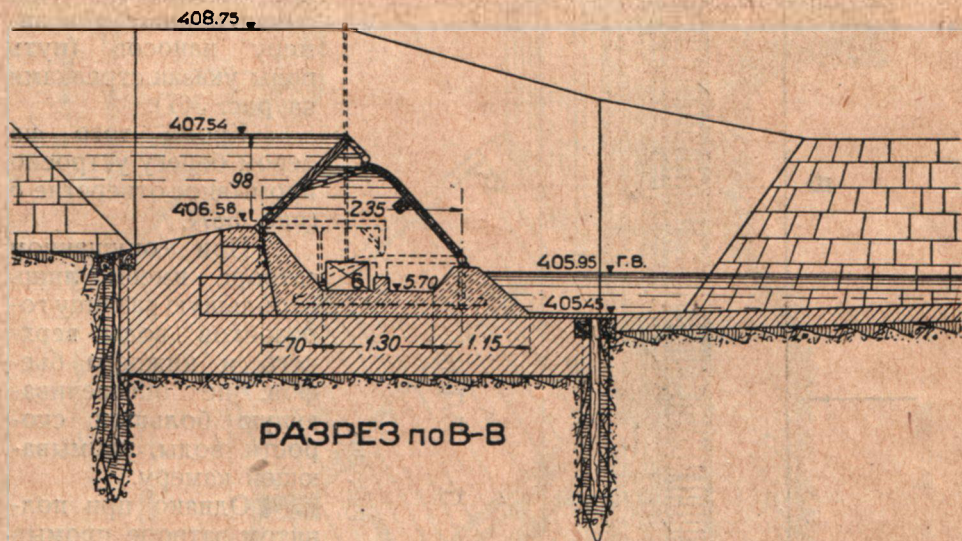


Рис. 366.

Здесь дахвер устроен вместо щитовой плотины (4 пролета по 5 м), основанием которой воспользовались при переустройстве.

Фермы расположены через 2 м ось от оси и имеют сечение, составленное из двух швеллеров № 8.

Фермы несут деревянную обшивку толщиной 6 см.

На правом берегу реки помещается камера управления затвором.

Вода входит туда через решетку. При открытом щите 1 и закрытом 3 междущитовое пространство наполняется посредством двух отверстий, сделанных в береговом устье.

При наивысшем положении затвора щит 1 закрыт, и лишь через отверстие 5 (над щитом 1) проходит незначительное количество воды для восполнения неизбежных потерь при неплотностях.

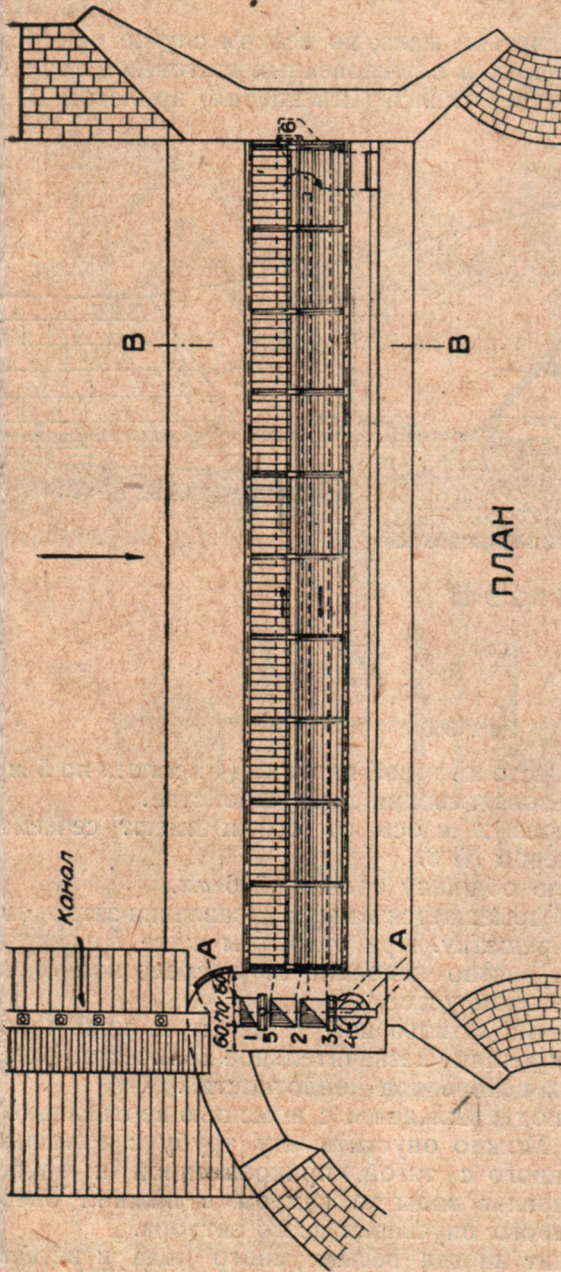
Состояние равновесия поддерживается с помощью вертикальной трубы $d = 0,5$ м (рис. 365). Можно опустить эту трубу с помощью особого механизма, соединенного с тягой, прикрепленной к трубе; опускание трубы вызовет перелив воды из камеры в нижний бьеф, что и явится причиной быстрого опускания всего затвора.

На данной реке проходит иногда весьма много льда и ветвей, пропуск которых быстро осуществляется описанным способом.

В целях получения более жесткой конструкции фермы поверху связывают балкой с внутренней стороны (рис. 375).

При опущенном затворе балка ложится на выступ, имеющийся на дне внутренней камеры.

В камере управления между щитом 1, закрывающим вход в камеру, и щитом 3, закрывающим выход из нее, расположено щитовое отверстие 2 (рис. 365—367).



При открытых щитах 1 и 3 и закрытом щите 2 можно получить поток воды в междущитовой камере, достаточный для удаления попавших в камеру наносов (путь воды указан стрелками на рис. 367).

Кроме того на левом берегу устроено промывное отверстие б (рис. 367).

При опущенном затворе имеем лишь небольшую разницу горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов, не обеспечивающую большой скорости воды, промывающей камеру.

Однако при поднятом затворе промыв не может быть также действительным, так как живое сечение потока получается большое, излишнее при желательной длительности промыва, а следовательно также не обеспечивающее достаточных промывающих скоростей.

В таком случае выход получаем, устраивая особый промывной канал (рис. 368) ниже верхнего уплотнения, преимущественно пропускающего наносы во внутреннюю камеру между щитами.

Когда канал заполняется наносами, его покрывают крышками. Затем пропускают по каналу воду со скоростью, отвечающей разности горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов.

Рис. 367.

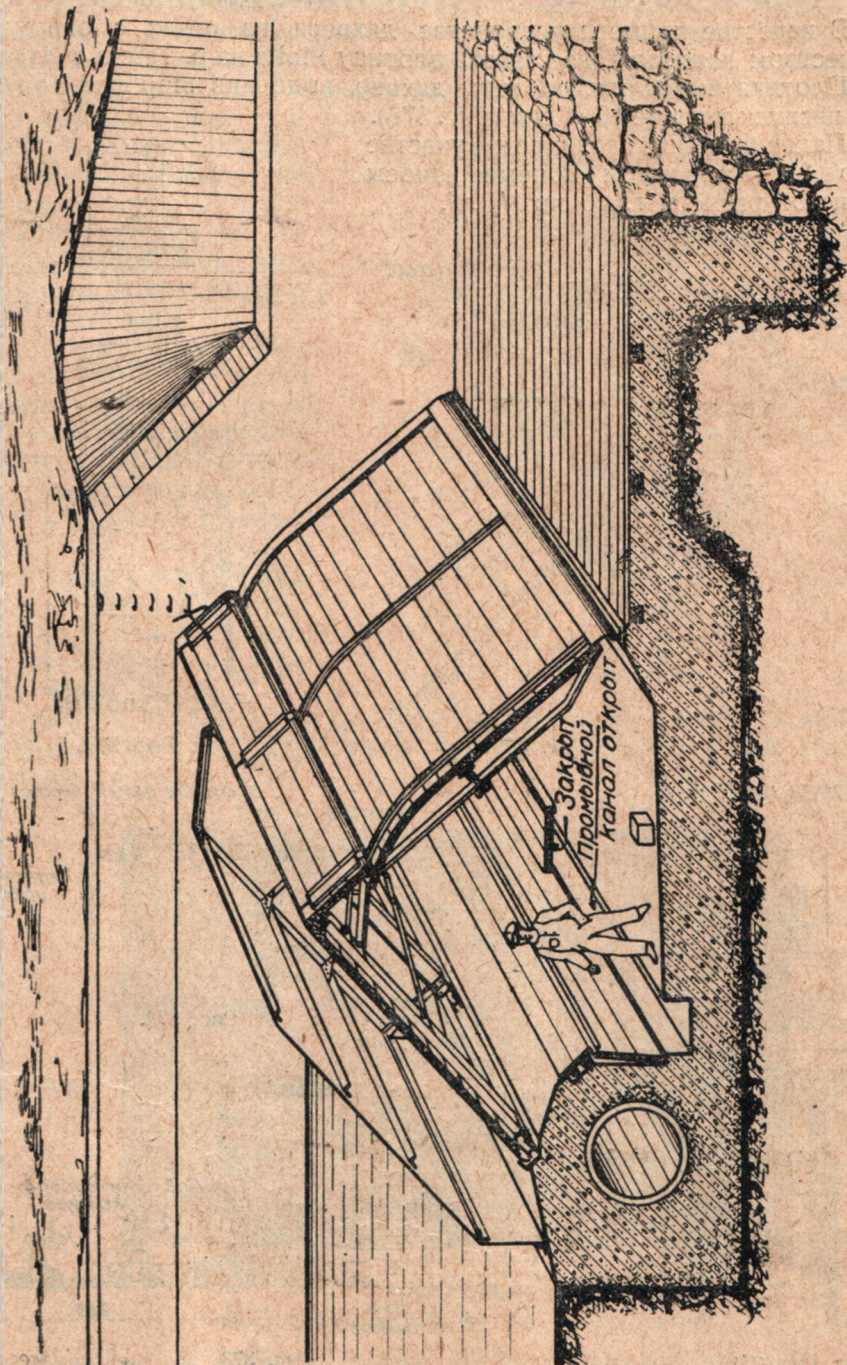


Рис. 368.

Такой промыв оказывается действительным.

Возможность удаления наносов из междуштитового пространства приобретает огромное значение для дахвера на реках с обильными донными и взвешенными наносами.

В качестве примера устройства дахвера на реках с огромным количеством наносов надо назвать плотину Piotta на р. Tessin в Италии.

Плотина имеет три пролета: дахвер, водослив шириной 15 м и донный спуск сечением 6 · 1,8 м (рис. 376).

Падение реки на данном участке равно 0,02; при этом донные наносы достигают размера глыб по 1/2 м³.

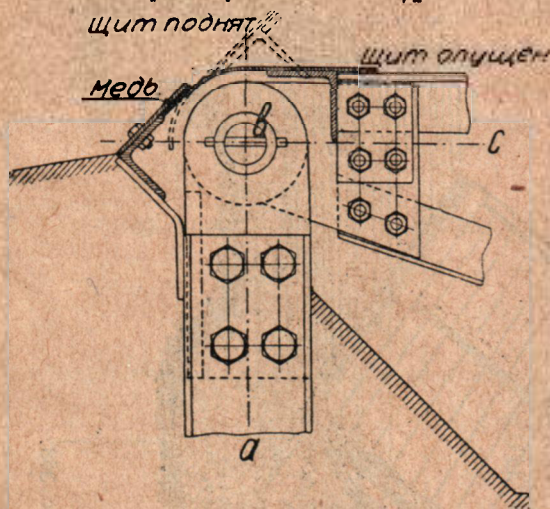
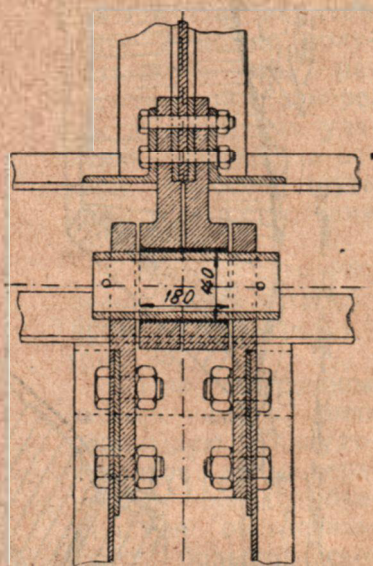


Рис. 369.



РАЗРЕЗ по def

Рис. 370.

РАЗРЕЗ по a-b-c

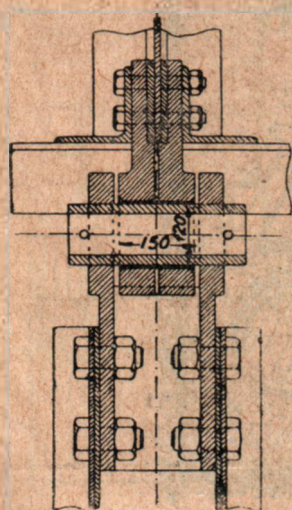


Рис. 371.



Рис. 372.

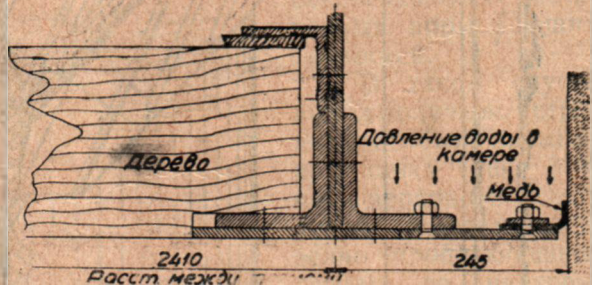


Рис. 373.

К сожалению, ложе реки ниже отверстия приподнято до уровня верховой оси вращения затвора дахвера; поэтому отсутствует тот минимальный подпор, который нужен для поднятия уложенного затвора.

Вследствие указанного устроен вспомогательный механизм, расположенный в камере управления и обслуживаемый одним человеком; механизм позволяет поднять низовой щит на 10—20 см., т. е. настолько, чтобы получилась необходимая разность горизонтов в бьефах. Кроме того верховой щит прикрыт снаружи особым щитом, скользящим по низовому щиту и защищающим последний от ударов твердых тел, пропускаемых через отверстие плотины.

Так как сооружение выстроено не слишком далеко от истоков реки, то донные наносы подходят здесь к плотине не в округленном виде, а с острыми углами, вследствие чего сосновая обшивка затвора значительно пострадала.

При возобновлении ее целесообразно заменить сосну дубом.

Опыт работы этой плотины указывает на полную применимость дахвера в условиях обильных донных и взвешенных наносов.

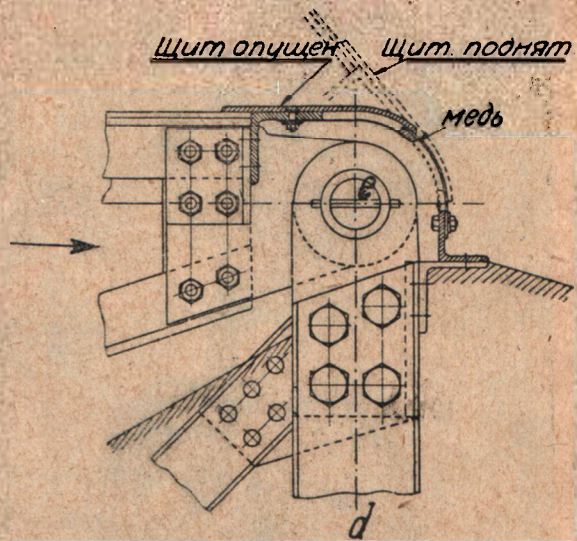


Рис. 374.

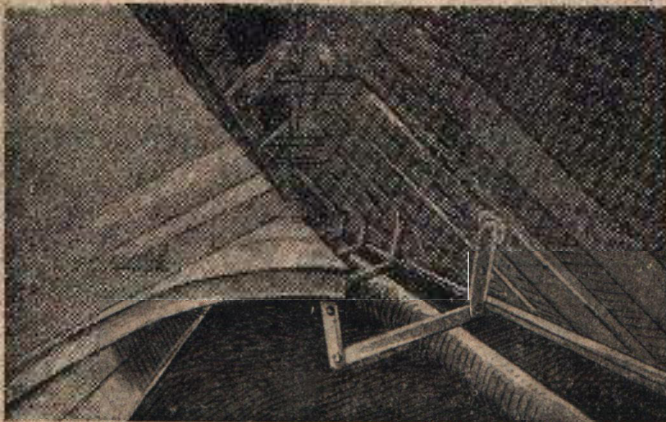


Рис. 375.

Конечно, в качестве захватного сооружения дахвер уступает разборчатой плотине с флутбетом на уровне дна, так как условия входа воды в водоприемник в этом последнем случае резко улучшаются против случая применения дахвера, задерживающего наносы впереди затвора и не допускающего промыва русла.

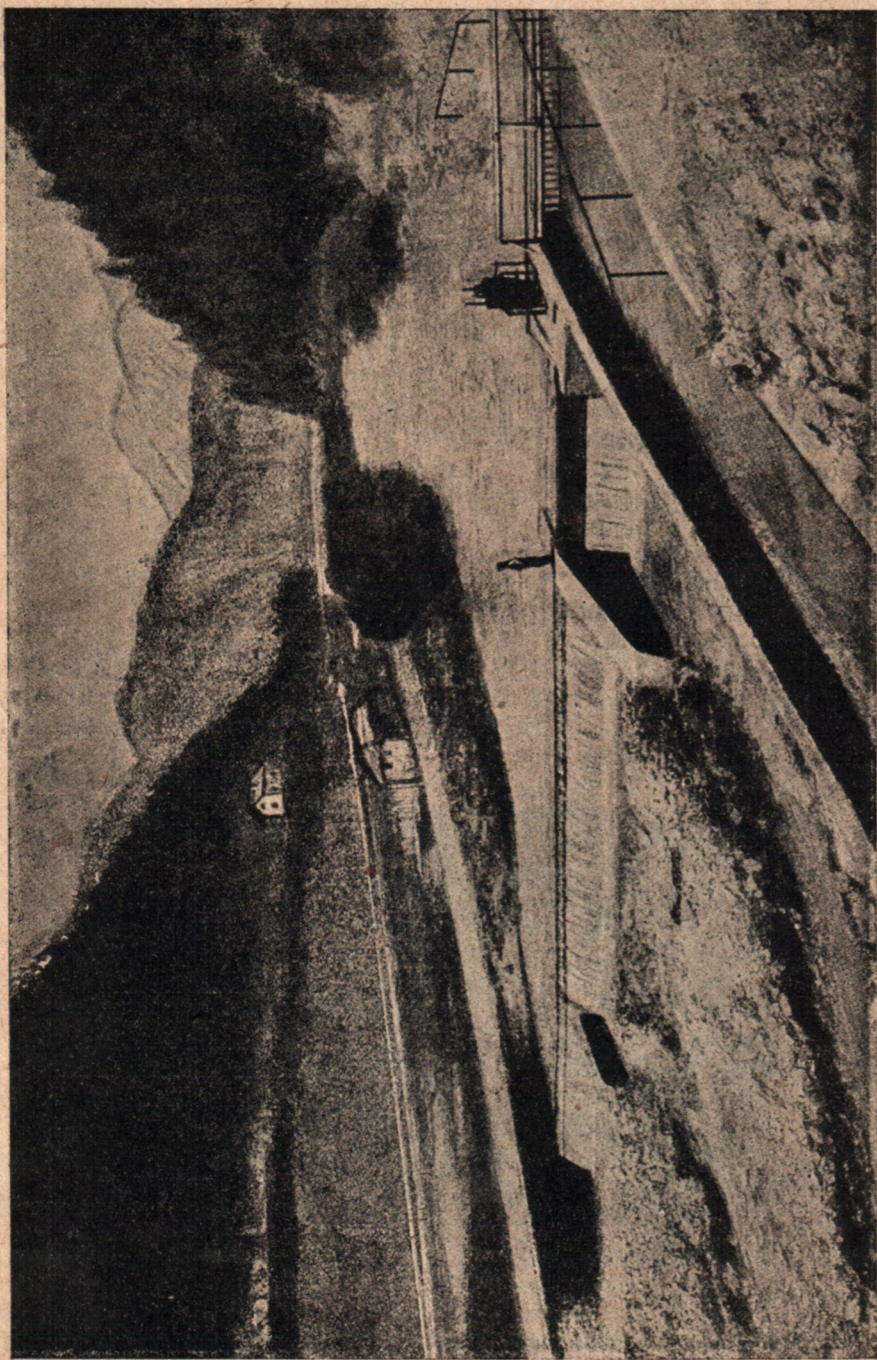


Рис. 376.

При полном отверстии плотины до 100 м при глубине на пороге ≈ 2 м ставят обычно 3 дахвера, при меньшей глубине на пороге — 4 затвора, разделенных между собой бычками.

Оси вращения и уплотнения дахвера служат достаточно долго при той степени интенсивности работы, что отвечает службе затвора плотины.

При ремонте затвора применяют бездонный ящик, опускаемый над ремонтируемой частью, или покрывают дахвер с напорной стороны особым щитом на время ремонта.

Рис. 377 изображает вид с низовой стороны на плотину Вгиск на р. Мюр в Штирии.

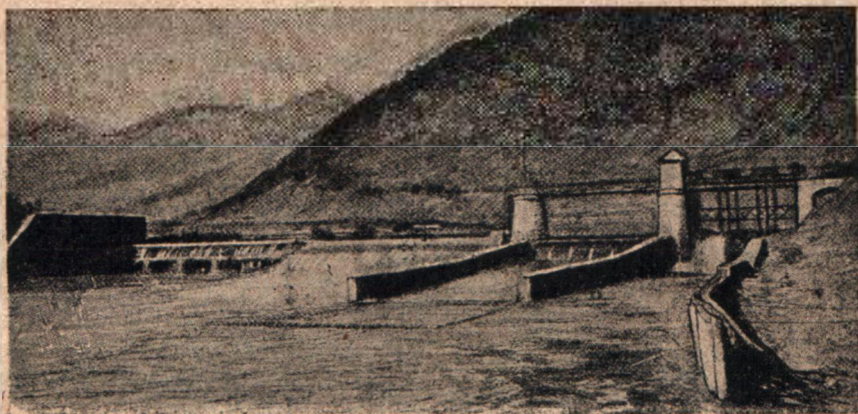


Рис. 377.

Два правобережных пролета перекрыты дахверами по 22 м длины каждый; из них на рисунке один закрыт, другой открыт. К открытому примыкает рыбоход, с последним граничит плотоход шириной 11 м и глубиной на пороге 1,9 м.

Ниже направляющих стенок плотохода уложено деревянное пловучее приспособление (поплавок), предохраняющее плоты от излишнего погружения, а грунт от размыва.

К плотоходу со стороны левого берега реки (правая часть фотографии) примыкает донный спуск, закрытый тремя обыкновенными щитами (3 пролета).

Однако все это последнее 3-пролетное отверстие может быть равным образом закрыто дахвером 9 м длины и 3,6 м ширины.

Река Мюр не только несет много донных наносов, но и массу льда в зимнее время.

С этими явлениями описанный дахвер на р. Мюр справляется отлично при температуре до -25°C .

Дахверы могут быть построены пролетом до 25 м и более при глубине на пороге до 3,5 м.

Опыт их службы в Западной Европе показал, что для указанных климатических условий дахвер является весьма хорошей конструкцией.

Расходы на 1 п. м перекрываемого пролета сильно уменьшаются при большом пролете, так как камера управления требует почти одних и тех же затрат при различных пролетах плотины.

В заключение необходимо отметить, что, несмотря на необходимость двух щитов (верхового и низового), количество потребных материалов не более чем для щитового затвора солидного пролета;

фермы дахвера, передающие давление на флютбет, расставлены весьма часто (например через 2 м).

Отсутствие подъемников и мостиков через пролет, а также меньшие размеры устоев — другие положительные стороны дахвера.

Однако флютбет дахвера значительно более дорогой нежели в случае плотины с обычными щитовыми затворами. Пропуск наносов через дахвер происходит не вполне удовлетворительно по причине приподнятости затвора над дном реки даже при уложенном затворе.

4. Дахвер Вонсдорф

В 1922/23 г. фирма Губер-Лютц выстроила два дахвера (р. Алле, плотина Вонсдорф) пролетом по 15,75 м, при высоте затвора 2,05 м (рис. 378—380).

Затворы покоятся на бетонном основании.

Подпор плотины равен 5 м в межень, когда расход составляет 32 м³/сек.; максимальный расход на реке доходит до 500 м³/сек.

РАЗРЕЗ ПО КАМЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ЩИТОМ.

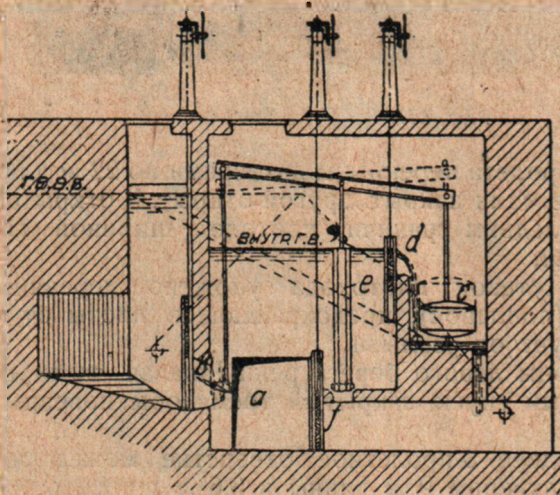


Рис. 378.

По условиям договора этот последний расход должен быть пропущен дахвером с превышением подпорного горизонта не свыше чем на 1,7 м.

Затвор состоит из двух вращающихся на горизонтальных осях полотнищ (решетчатые железные конструкции с деревянной обшивкой).

Устройства, необходимые для принудительного или самостоятельного действия затвора, заключены в особой камере (рис. 378). Камера соединена с верхним бьефом при помощи канала, снабженного решеткой.

Для того чтобы поднять щит в подпорное

положение, открывают затвор *b*, приводимый в движение поплавком *c* (при опущенном поплавке *c* затвор *b* открыт); вода из верхнего бьефа поступает через отверстие *a* в камеру, образуемую полотнищами дахвера.

При этом затвор *d* устанавливается в такое положение, что зависящий от него уровень воды внутри камеры как раз достаточен, чтобы дать воде возможность подняться вплотную под линию соприкосновения обоих полотнищ.

Дальнейший подъем воды влечет за собой ее переливание поверх щита *d* в шахту поплавка; поплавок *c* поднимается и, действуя на рычаг, имеющий точку опоры над цилиндрическим затвором *e*, частично закрывает клапан *b*.

Затвор послушно маневрирует, подчиняясь указаниям лишь одного человека.

Поднятие и укладывание дахвера возможно в 2 минуты с помощью щита опорожнения.

ПЛАН

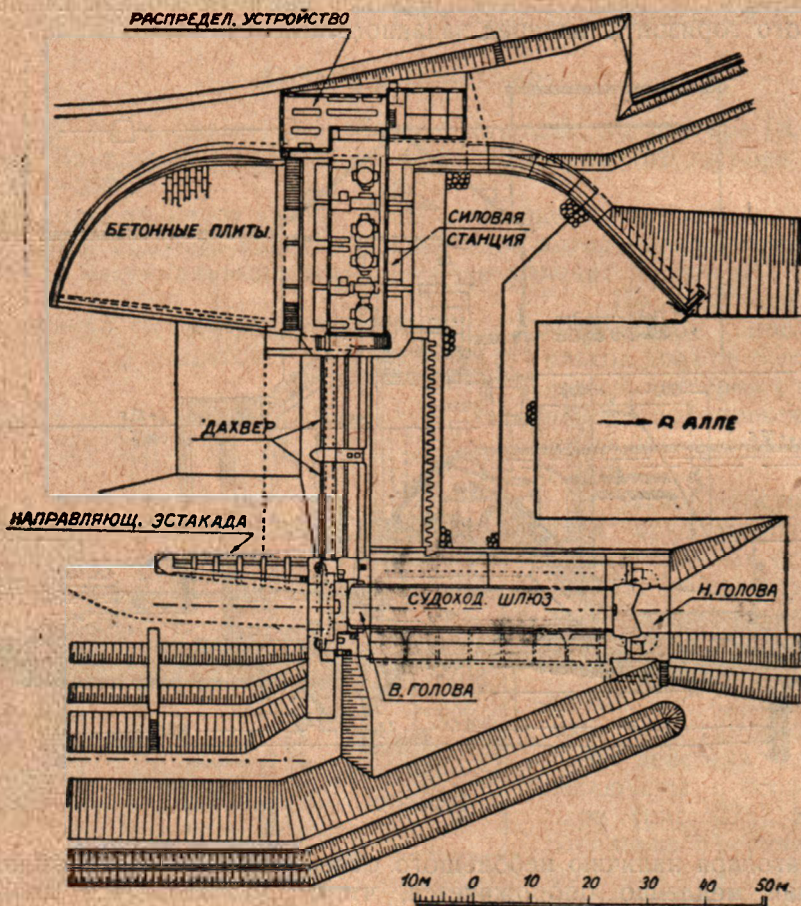


Рис. 380.

Самостоятельная установка затвора на назначенный напор также происходит бесперебойно; при этом потеря воды весьма незначительна при надлежащем содержании в исправности уплотнений нижнего полотнища.

Из кожаных уплотнений наиболее пригодными оказались те, где применена хромовая, а не крепкая дубленая кожа.

Уплотнение со стороны нижнего бьефа с 1924 и по 1928 г. заменено дважды, а со стороны верхнего — один раз.

При чрезмерной неплотности верхового уплотнения затвор все же остается устойчивым в поднятом состоянии, но укладывание его на флотбет делается невозможным, как только неплотность вызывает расход, превышающий таковой в шахтах регулирования.

Возобновление уплотнений не следует производить несовершенными приемами (подвесные ящики и проч.): это опасно для жизни работающих людей.

В плотине Вонсдорф впереди дахвера для целей ремонта предусмотрено спицевое заграждение, являющееся надежным приемом (на рис. 379 показано место спицевого заграждения).

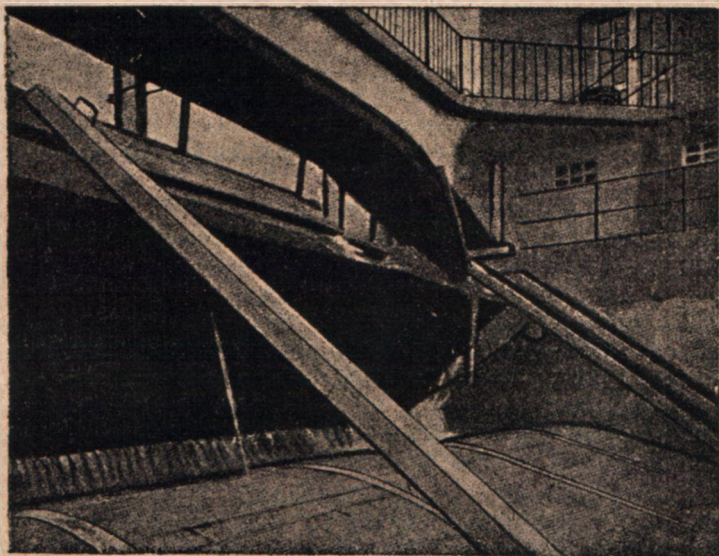


Рис. 381.

Небезынтересно привести случай аварии с затворами при ремонте, когда верхнее полотнище одного из двух пролетов было установлено на подпорках (рис. 379, пунктир), а нижнее полотнище уложено.

Подпорки упирались в верхние концы металлических стоек верхового полотнища, которые для этой цели сделаны были выступающими за пределы конструкции однако всего лишь на 7 см, т. е. на половину толщины подпорок, таким образом эксцентрично нагруженных.

В ночь аварии было сильное волнение, подпорки от обилия брызг промокли, сделались более гибкими, вследствие чего, при действии продольного изгиба, соскользнули. Верховое полотнище свалилось, и вода из верхнего бьефа хлынула с расходом $80 \text{ м}^3/\text{сек.}$ (объем воды 4,5 млн. м^3).

Так как нижнее полотнище осталось почти без повреждений, то удалось быстро поднять затвор.

Плотина Вонсдорф имеет служебный мостик, являющийся также верхней опорой для спицевой перемычки.

Вид дахвера после установки перемычки и поднятия верхнего полотнища на подпорки изображен на рис. 381.

Железная конструкция верхового полотнища местами сильно погнута, в одном месте поломана, досчатая обшивка повреждена.

Несмотря на это, затвор оказалось возможным немедленно поднять, что следует приписать достоинствам дахвера. В дальнейшем

концы стоек верхового полотнища были удлинены, и одновременно были сделаны устройства для надежного подвешивания верхового полотнища к служебному мостику в интересах безопасности для людей и сооружения.

Железная конструкция полотнищ была усилена: в нижнем поясе верхового полотнища диагонали поставлены в каждой панели, тогда как раньше они были поставлены через панель. Если бы эти изменения произвести в проекте до его осуществления, то их стоимость легла бы незначительным процентом на сметную сумму.

Отсутствие мостика и спицевого заграждения сильно ухудшило бы качество дахвера, который трудно было бы назвать совершенной конструкцией. При наличии таковых—конструкция вполне совершенна.

Теперь относительно работы дахвера в мороз и ледоход.

В своих подвижных частях дахвер не должен обмерзать; для прохода льда надо освобождать большие пролеты. Стоящий под напором дахвер мало подвержен повреждениям от ударов льда благодаря гидравлическому торможению; при сильном напоре льда полотнища самостоятельно частично складываются и дают льду свободный проход.

Камера управления должна быть отеплена и отапливаема до температуры выше 0° во избежание образования льда в поплавочной шахте.

Опасение, что подвижные части затвора могут смерзаться с неподвижными, может иметь место только для линий контура нижнего полотнища; расположенная под водой ось вращения верхового затвора вне опасности.

Был предложен ряд способов устранения обмерзания низовой оси вращения и уплотнения (удаление воды от подвижных частей, отапливаемые каналы, удержание воды в междущитовой камере ниже верха низового щита и проч.).

Однако опыт службы плотины Вонсдорф показал, что наиболее действительный способ при $t \geq -20^{\circ}\text{C}$ — держать воду в междущитовой камере дахвера на отметке, обеспечивающей истечение воды через линию соприкосновения верхового и низового полотнищ.

Истекающая вода, имеющая $t > 0^{\circ}\text{C}$, должна была проходить в количестве 3,5 л/сек. на 1 п. м полотнища (на 1 м² полотнища — 1 л/сек.).

В установке Вонсдорф при падении 5 м тратилась таким образом энергия воды; потерянная мощность при $H = 5$ м равна:

$$10 \cdot q \cdot H = 10 \cdot (15,75 \cdot 2) \cdot 0,0035 \cdot 5 = 5,5 \text{ л. с.}$$

Ночью температура падала ниже -20°C .

Таким образом как будто нет оснований настаивать на применении мер насильственного отрывания обмерзших частей друг от друга в средне-европейских условиях.

Однако, принимая во внимание возможное образование донного льда (это явление опасно и для других затворов), лучше сохранить в силе указанное требование, так как донный лед, прикасаясь к охлажденным железным предметам камеры управления, может причинить немало хлопот. Впрочем подвод воды из глубины и применение отапливаемых решеток в камере управления во многих случаях решают вопрос.

В отношении влияния наносов эксплуатация плотины Вонсдорф, устроенной на равнинной р. Алле, не могла дать богатых материалов в виду незначительного количества отлагающихся наносов.

Водобойная часть плотины Вонсдорф снабжена зубчатым порогом Ребока, к сожалению, без предварительного определения его положения опытами с моделью.

Позднейшие опыты показали, что порог поставлен слишком близко к плотине; однако положительное его действие в плотине Вонсдорф налицо.

Опыт эксплуатации плотины Вонсдорф показал, что дахвер—надежная конструкция исключительной быстроты действия, если при проектировании ее учесть опытные данные, здесь изложенные.

Глава двадцатая

Автоматические затворы

Часть данных по этому виду затворов приведена в труде инж. В. Г. Гебеля—Металлические затворы плотин. Поэтому подробно остановимся на других типах, сравнительно мало известных и представляющих практический интерес. К сожалению все эти затворы патентованы, вследствие чего изложение можно вести лишь по схемам, за отсутствием опубликованных конструктивных данных.

Выше 115 выстроенных к данному времени автоматических плотин можно подразделить на следующие основные группы:

1. Щитовые, сегментные и вальцовые с противовесом и диафрагмами в устоях (1_а, 1_б, 1_в).
2. Качающиеся клапанные затворы с коромыслом и противовесом.
3. Тип Ремпен (качающийся затвор с противовесом в шахте).
4. Затвор системы Макола (проект).
5. Гидравлический кессон.
6. Секторный затвор (металлический или железо-бетонный).
7. Дахвери
8. Тип Eguzon.

При этом вовсе оставляем вне рассмотрения особо капризные конструкции автоматических затворов, подъем которых зависит от весьма малых сил, возникающих при подъеме горизонта воды сверх нормального.

Затворы первой группы работают в Италии, построены известной фирмой Този.

Так, автоматический сегментный затвор пролетом 10 м и высотой над порогом 4 м установлен в плотине на горной р. Точе (гидростанция Каларезе).

Ось вращения затвора помещена выше горизонта самых высоких вод в виду обилия наносов (рис. 382).

Вес затвора частично уравновешен противовесом, связанным посредством тяги с качающимися диафрагмами, вращающимися вокруг горизонтальной оси, расположенными в двух камерах, устроенных в бычках.

Эти камеры, соединенные между собой трубами, могут быть приведены в сообщение как с верхним бьефом, так и с нижним.

Пока уровень воды перед щитом находится ниже отверстия, являющегося водосливом, передающим воду в камеру, последняя остается пустой, и щит находится в опущенном состоянии, повинаясь силе собственного веса. С повышением горизонта воды последняя поступает в камеры с помощью упомянутых водосливов (на каждом устье по водосливу и по камере). Гидростатическое действие воды на диафрагму при значительном плече ее вызывает обеспеченный подъем затвора. Обратное происходит

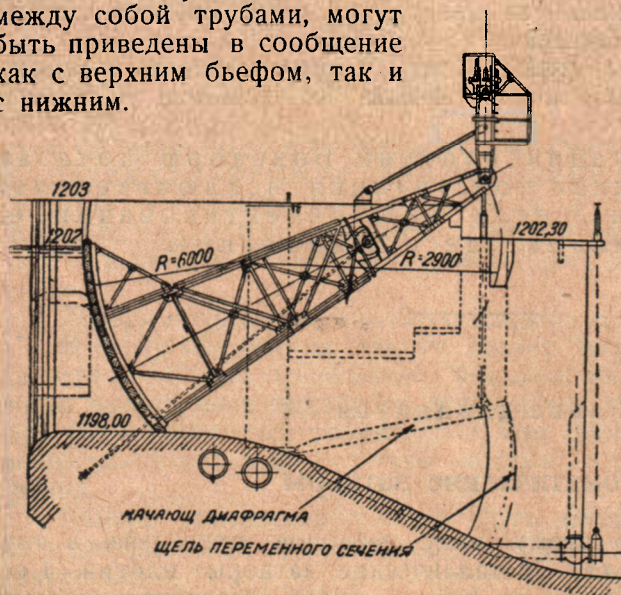


Рис. 332.

при падении горизонта воды в реке: вода, заключенная в помещении под диафрагмой, уходит в нижний бьеф через зазор переменного сечения, находящийся между качающимся краем диафрагмы и стенкой устья. Этот зазор книзу расширяется. Принудительное опускание затвора производят, впуская воду сверху в камеры, осуществляя тем самым подъем его.

Очевидно, если поступление воды в камеры лишь слегка пригибает диафрагмы и между притоком и течением воды в зазор устанавливается равновесие, то затвор займет несколько приподнятое над порогом положение; для дальнейшего опускания затвора нужен дальнейший подъем горизонта воды перед плотиной.

Описанная конструкция имеет особую верность действия, так как давление воды на диафрагму весьма значительно. Однако конструкция не претендует на точное и устойчивое регулирование, преследуя целью главным образом надежность действия.

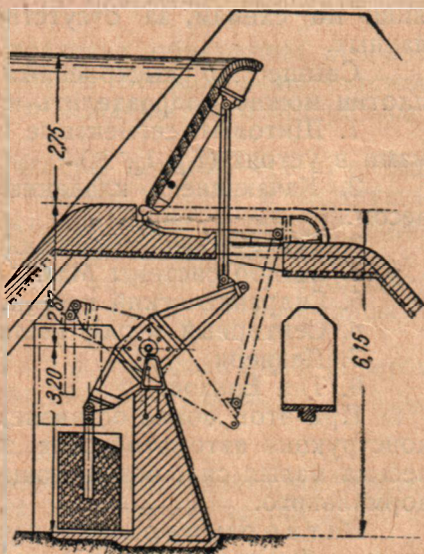


Рис. 333. Автоматический качающийся затвор.

На горном потоке Чено устроены на гребне плотины два затвора типа, аналогичного описанному, при величине пролета 12 м и высоте над порогом — 4,5 м.

Итальянские инженеры считают, что применение затвора могло бы иметь место при пролетах до 30 м и высоте над порогом до 8 м. Однако при этом быстрота и устойчивость регулирования дополнительно падают.

Затворы второй группы ныне общеизвестны (рис. 383—385). Сфера их применения — на гребне сброса из водохранилища, где наносов мало, что позволяет рассчитывать на постоянство сопротивления трения в цапфах оси вращения затвора; при этом нижний бьеф без воды, что позволяет рассчитывать на удовлетворительную работу затвора (вода нижнего бьефа может способствовать подъему затвора в тот момент, когда требуется его опускание).

Затвор Ремпен (третья группа, рис. 386) работает по очень простому принципу. При повышении горизонта воды сверх подпорного вода поступает в шахту, где заключен противовес, удерживающий щит в

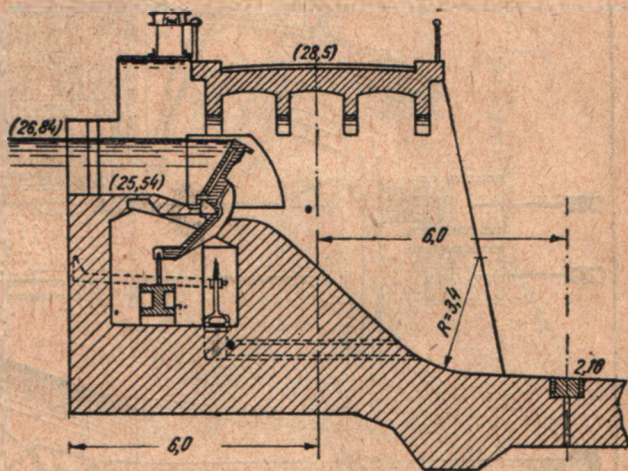


Рис. 384.

поднятом положении. По закону Архимеда противовес становится легче, так что давление воды перевешивает. Это вызывает опускание щита вплоть до занятия им предельного положения, показанного на рисунке пунктиром.

Такой затвор применен на гребне плотины установки Ремпен.

При простой и легкой конструкции затвора последний мог бы перекрывать отверстия до 15 м при небольшом подпоре (2—3 м).

Затвор системы инж. Макола, лишь недавно запатентованный, представляет интерес больше как новинка.

Рис. 387 изображает затвор в двух различных положениях: закрытом и открытом.

Затвор состоит из горизонтального полого металлического цилиндра с радиальными креплениями, снабженного с напорной стороны обшивкой из листового железа. Цилиндр на концах снабжен шипами, вращающимися в подшипниках, заделанных в кладку.

В верхней своей части цилиндр снабжен одним или двумя выступами, на которые вода производит гидростатическое или гидродинамическое давление, стремясь повернуть затвор, почти полностью уравновешенный.

Наибольшее допустимое открытие пролета ограничивается посредством специального застопоривающего устройства, препятствующего дальнейшему повороту затвора.

Инж. Макола видит два основных преимущества в своем затворе: дешевизма и верность действия, соединенная с точностью, при наличии возможности легкого ручного управления.

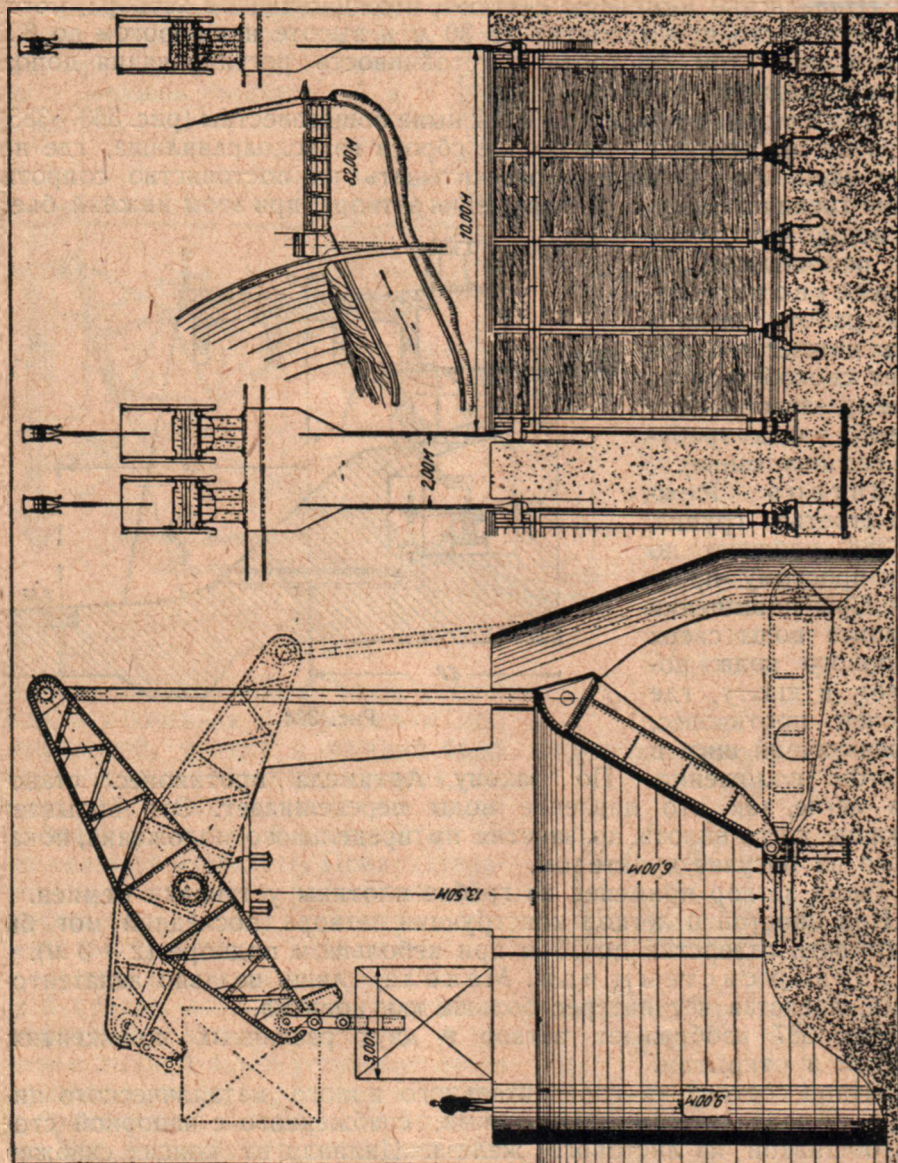


Рис. 385.

Однако затвор еще нигде не проверен в работе. Пока можно ограничиться сомнением в дешевизне затвора, отметить непригодность его при наличии крупных плавающих тел и невозможность начисто освободить пролет.

Пятая группа

Гидравлический кессон — ящичный тип затвора, одновременно напоминающий как щит, так и батопорт.

Рис. 388 изображает схему поперечного сечения и плана такого щита, установленного на пороге водослива плотины Фонтаналучча на горном потоке Доло (гидростанция Фарнета).

Отверстие, перекрываемое щитом, равно 15 м при высоте щита 5 м и пропускной способности водослива 350 м³/сек.

Щит состоит из металлического ящика *a*, снабженного системой крепей, необходимых для прочности и жесткости конструкции, а также катковой тележкой *в*, сводящей к минимуму сопротивление трения при подъеме щита, прикасающегося к порогу с помощью деревянного бруса *d*. По краям затвор имеет уплотнение *с* в виде эластичного тонкого металлического листа.

Собственный вес пустого (без воды) щита уравновешен противовесом *e*, так что давление воды, действующее на щит снизу, преодолевает лишь сопротивление трения.

Это давление воды благодаря принятой форме дна затвора (рис. 388) дает достаточную величину поднимающей щит силы даже при частичном поднятии его над порогом.

Затвор снабжен внизу клапаном *f* двойного действия, то соединяющим внутренность ящика с водой верхнего бьефа при одном положении клапана, то выпускающим ее по сбросу в нижний бьеф при другом положении клапана.

Клапан *f* двойного действия управляется поплавком *g*, помещенным в резервуаре *h*, соединенном с водой верхнего бьефа трубопроводом *i*.

Поступающая по трубопроводу из верхнего бьефа вода встречает на своем пути стенку *l* с гребнем на отметке нормального подпорного горизонта; вследствие этого при нормальном подпорном горизонте резервуар *h* пуст, и поплавок *g* опущен.

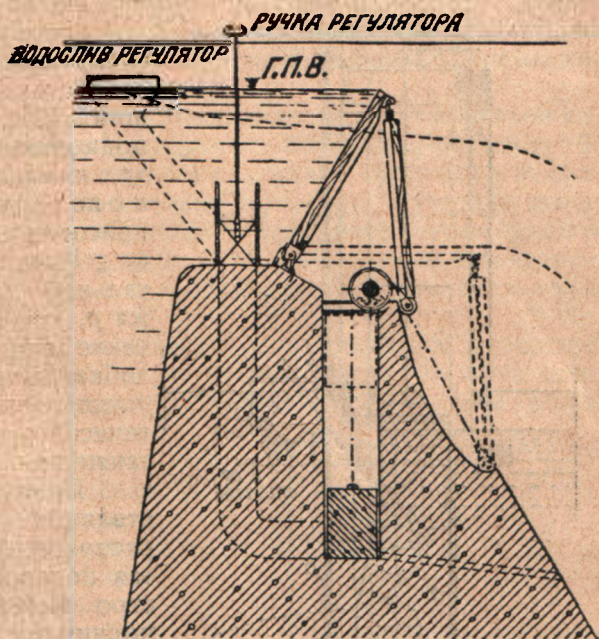


Рис. 388.

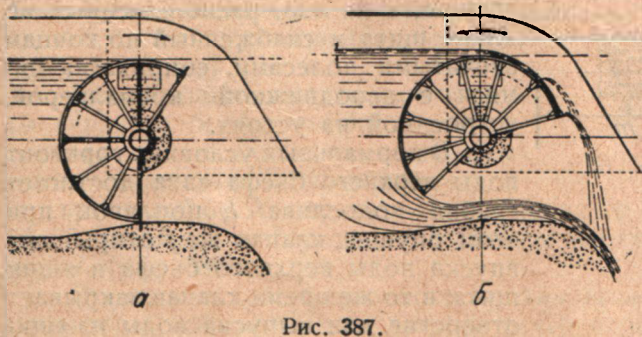


Рис. 387.

Это опущенное состояние поплавка отвечает открытию клапана *f* для воды верхнего бьефа, заполняющей внутренность щита.

При поднятом поплавке, что может произойти лишь при повышении горизонта воды верхнего бьефа и заполнении резервуара *h* клапан *f* открыт для выпуска воды из ящика щита в сброс.

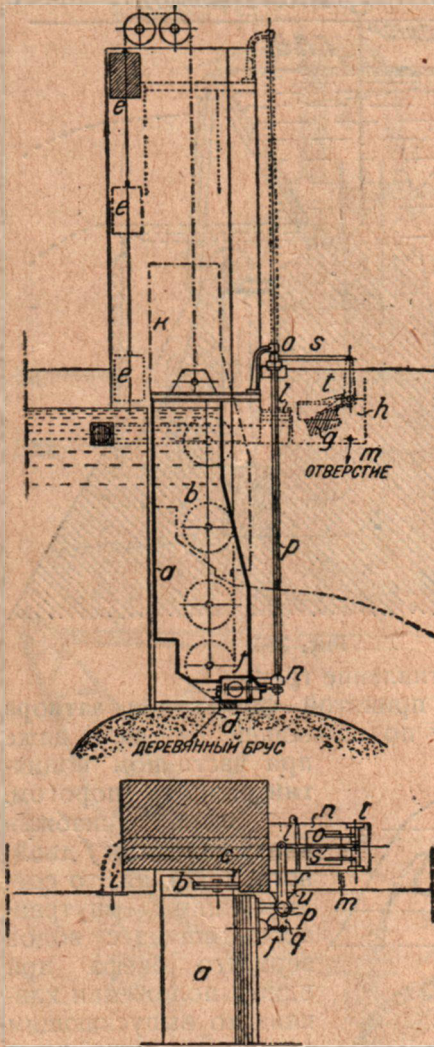


Рис. 388.

Необходимо отметить, что резервуар *h* снабжен небольшим выпускным отверстием *m*, непрерывно работающим. Щит несет тяж *p*, укрепленный подпорками *o* и *n*, соединенными внизу с клапаном *f* посредством рычага *q* и с поплавком при помощи стержня *s*, присоединенного к клапану *t*.

Рычаг *r* подвижен в горизонтальной плоскости относительно тяжа *p*, который имеет квадратное сечение или иное, с устройством желобка для помещения стержня, управляющего клапаном *f*. Кроме автоматического управления предусмотрено также принудительное.

Принудительный подъем осуществляется открытием двух клапанов, расположенных в середине щита (считая по пролету); при этом вода быстро вытекает из ящика, и затвор поднимается при действии взвешивающего давления воды на его нижнюю часть.

Принудительное опускание и подъем щита могут быть осуществлены также с помощью лебедки, действующей на вал, расположенный по длине щита и снабженный по концам зубчатыми колесами, соприкасающимися с неподвижной кремальерой, устроенной на устоях.

В нормальных условиях горизонт воды верхнего бьефа едва достигает гребня водослива *l*; поплавок при этом опущен, клапан же *f* открыт для выпуска воды верхнего бьефа в ящик щита; в то же время клапан закрывает отверстие для выпуска воды из ящика.

Вследствие этого щит заполнен водой и стоит на пороге. Как только горизонт воды верхнего бьефа начинает повышаться над гребнем водослива *l*, резервуар *h* быстро наполняется, и поплавок всплывает, вызывая с помощью рычагов *t*, *s*, *r* и стержня *p* закрытие клапана для воды верхнего бьефа с одновременным открытием отверстия для выпуска воды из ящика в сброс.

Щит выпускает из себя воду, теряет в весе, гидростатическое давление на дно щита вызывает подъем щита, преодолевая трение

в катках и вес оставшейся в ящиках воды. По мере подъема щита взвешивающее гидростатическое давление на дно щита уменьшается, сопротивление трения при подъеме также уменьшается с уменьшением величины горизонтального давления воды на щит, но не столь однако быстро.

Наступает наконец положение равновесия, когда щит настолько поднят, что удерживает нормальный подпорный горизонт, справляясь с паводком.

При падении подпорного горизонта воды происходит обратное явление: сосуд h , не получая воды из верхнего бьефа, осушается трубкой m , все время открытой, что вызывает опускание поплавка и наполнение ящика щита водой, а следовательно вызывает опускание щита.

Наоборот при дальнейшем повышении горизонта воды верхнего бьефа происходит дальнейший подъем щита, вызываемый истечением воды из ящика щита при наличии гидростатического давления воды на щит снизу вверх.

Однако щит не может автоматически освободить все отверстие за отсутствием поднимающих сил в тот момент, когда низ щита приближается к подпорному горизонту. Следовательно высшее положение щита определяется равновесием сил, действующих на дно щита снизу вверх, и сил сопротивления трения при подъеме, а также сил веса оставшейся части воды внутри щита.

Для полного освобождения пролета от затвора фирма Рива Кальцони применила приспособление, изображенное на рис. 389. Здесь, кроме указанного противовеса e , устроен дополнительный противовес v в виде ящика, снабженного внизу мелкими дырами для выпуска воды из ящика. Этот пустой ящик плюс противовес e не полностью уравновешивают пустой (без воды) щит.

Когда повышение горизонта воды верхнего бьефа вызовет подъем поплавка и опорожнение ящика a щита, способствуя подъему щита, в это время сифон X перекачивает в ящик v воду из резервуара h , возобновляемую поступающей водой из верхнего бьефа через водослив l (рис. 389).

Опускание дополнительного противовеса v , наполненного водой, вызывает освобождение от затвора всего перекрываемого им отверстия (рис. 389).

Когда горизонт воды в резервуаре h начинает падать при недостаточном ее поступлении из верхнего бьефа, что можем иметь лишь при падении горизонта воды в верхнем бьефе, ящик v , снабженный дырами, может испытывать недостаток в воде; последняя может вся вытечь из него при слабом притоке из сифона X .

Тогда щит опускается под действием своего веса; вызываемое опусканием поплавка наполнение щита водой способствует дальней-

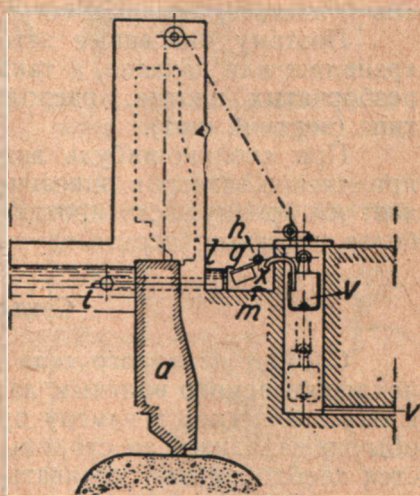


Рис. 389.

шему его опусканию. Дальше щит действует совершенно так же, как только что описанный щит установки Фарнета. Такого рода устройство с ящиком *v* было применено в Италии при закрытии отверстий плотины в Мацце Канавезе на р. Дора Бальтеа, где щиты расположены в два яруса, из коих верхний занят автоматическими затворами описанного типа, а нижний—нормальными щитовыми затворами с катковой тележкой. Плотина имеет 10 пролетов по 6,83 м каждый. Верхние щиты имеют высоту 1,33 м.

В итальянской плотине Мори (р. Адиче) применен аналогичный автоматический затвор для закрытия пролета в 16,5 м. Плотина имеет подпор в 6 м; щиты расположены в два яруса, при чем автоматические щиты, имеющие высоту 2,5 м, занимают верхний ярус.

Однако, так как опускание щита обуславливает здесь открытие верхнего яруса, а их поднятие—его закрытие, то действие затвора происходит в обратном порядке по отношению к щиту установки Фарнета.

Самая чувствительная часть конструкции автоматических затворов ящичного типа—клапан двойного действия, описанный выше. Он должен быть тщательно защищен от проникновения в него наносов и листьев, которые могут помешать исправной его работе.

Поэтому описанные затворы хороши лишь для сбросов водохранилищ или каналов, а также в качестве вспомогательных затворов разборчатых плотин, располагающих основными затворами иного типа (верхний щит).

При сколько-нибудь значительном количестве наносов в реке применение затворов описанного типа в водоподъемных плотинах не дает им преимуществ против других типов, более простых, а потому более уместных (первая группа автоматических затворов).

Секторные затворы

Состоят из полого тела (металлического или железобетонного), поддерживаемого водяным давлением в своем наивысшем положении и опускающегося в камеру при уменьшении этого давления. Опора обычно находится со стороны нижнего бьефа, вследствие чего является необходимым устраивать уплотнение со стороны верхнего бьефа, что довольно затруднительно.

Рис. 390—391 относятся к секторному затвору плотины Камараза в Испании.

Во избежание указанных трудностей опоры в последнее время стали помещать с напорной стороны.

Рис. 392 изображает схему поперечного разреза такого секторного затвора водослива плотины Блек-Кеньон в Северной Америке.

Крупным недостатком секторной плотины является засорение камеры грязью и твердыми предметами. Поэтому единственное место, где данный тип затвора работает вполне исправно, это на гребне водослива водохранилищной плотины, т. е. в условиях осветленной воды, где секторный затвор перекрывает ныне наибольшие по площади отверстия, мыслимые для любого из существующих затворов плотин.

Так, затвор плотины Парахиба (Бразилия) перекрывает отверстие в 340 м², тогда как наибольшее отверстие перекрываемое сегментным

вальцовым затворами, почти в 2 раза, а щитовым—в 1,15 раза меньше (плотина Пассау).

При этом теперь считают, что секторный затвор автоматического действия может иметь рациональную конструкцию и при напоре в 12—14 м.

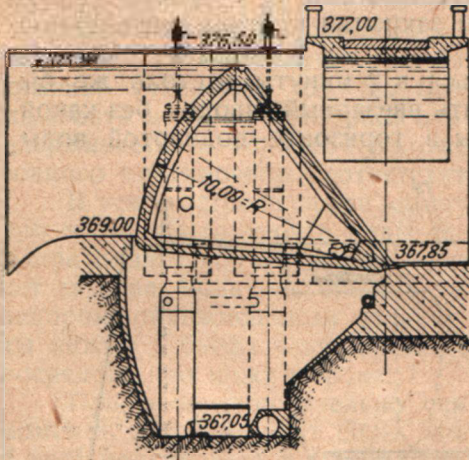


Рис. 390.

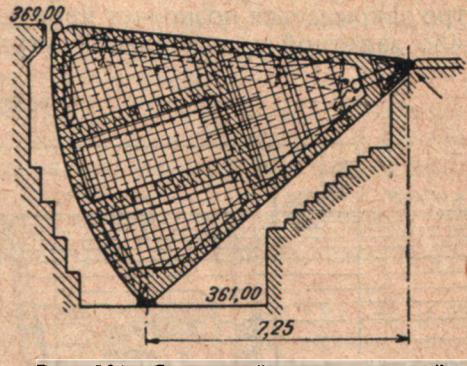


Рис. 391. Секторный автоматический затвор плотины Камагаса.

Если требуется перекрыть одним затвором (обыкновенным или автоматическим) отверстие необычайной ширины, то применяют секторный затвор и в водоподъемных плотинах, прибегая к систематической чистке камеры в целях поддержания надежного действия затвора.

Однако повышенное положение порога флютбета не позволяет пропускать через него наносы, накопившиеся выше плотины, что является ее дефектом.

Интересно отметить, что в 1925 г. городское жюри в Гейдельберге, при рассмотрении представленных на конкурс проектов плотин на р. Неккар, остановилось на секторной плотине (пролет 62,75 м, перекрываемый одним затвором), как „менее всего нарушающей ландшафт“.

При этом жюри отклонило рассмотрение технических вопросов, отметив, что очевидно каждый представленный проект технически удовлетворителен, поскольку различные проекты выдвинуты известными солидными фирмами.

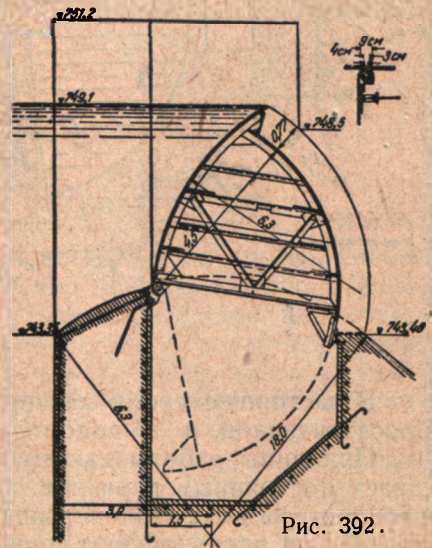


Рис. 392.

Дахвер

Имеет все те недостатки, которыми отличается плотина Бертреп, а именно: все же широкое основание, невозможность промыва верх-

него бьефа в виду приподнятости флютбета, засорение камеры посторонними предметами.

Однако чрезвычайная быстрота действия дахвера является подкупающим достоинством данного типа затвора.

Особенно уместно применение затвора в случае грунта, и без того требующего широкого основания плотины при одновременном требовании быстрейшего открытия и закрытия плотины при внезапно наступающих паводках.

Способность дахвера открываться в 2 минуты и столь же быстро закрываться позволяет пропустить внезапный паводок без какой-либо заметной и длительной утраты в горизонте подпертой воды.

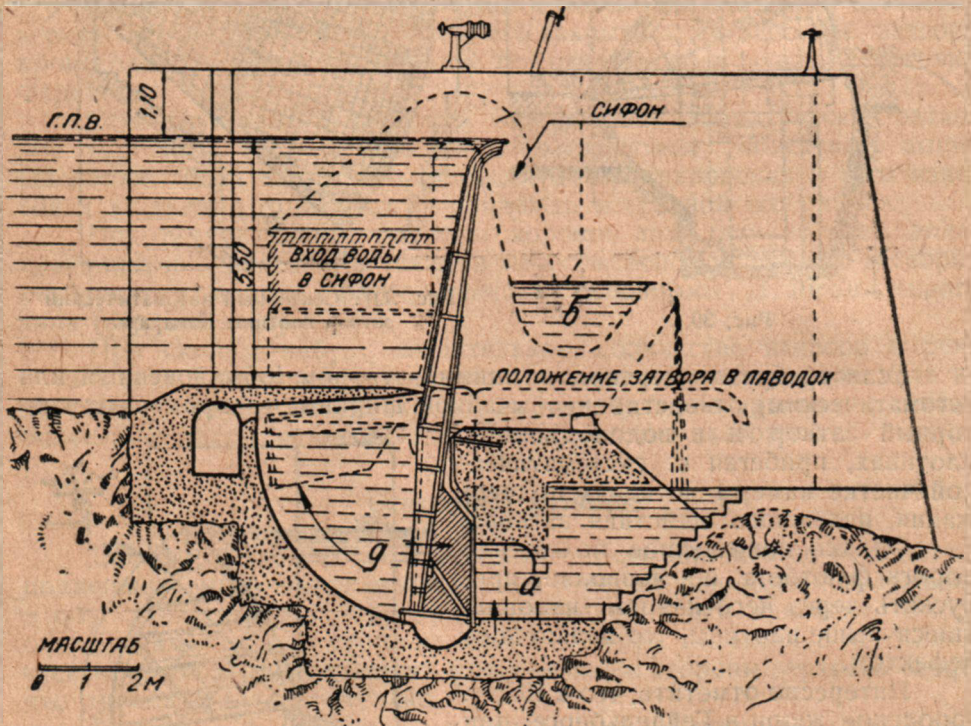


Рис. 393.

В настоящее время дахвер применяется и в плотоходах, и в сбросах каналов, и в водоподъемных плотинах.

Принципы работы дахвера просты: водослив-регулятор поддерживает постоянным горизонт воды во внутренней камере (межщитовое пространство). При повышении горизонта воды верхнего бьефа давление на верховой щит сохраняется прежнее благодаря водосливу-регулятору, вследствие чего щит опускается настолько, чтобы сохранилось новое положение равновесия при новом соотношении действующих сил.

Как только ненормально повысившийся горизонт воды верхнего бьефа опускается до нормального, то восстанавливается прежнее подпорное положение затвора.

Итальянская установка Кревола Доссоло (горный поток Точе) имеет дахвер автоматического действия с применением гидравлического сервомотора. Схема устройства аналогична описанной в главе XIX.

Тип Eguzon (рис. 393)

Этот затвор, примененный во французской установке Eguzon, имеющей установленную мощность 75 000 л. с. ($5 \cdot 15\,000$ л. с.), перекрывает отверстия: $7,5 \cdot 5,5$ (рис. 393) и $7,5 \cdot 3$ м. При стоянии горизонта воды на подпорной отметке или на низшем уровне затвор удерживается в поднятом положении благодаря наличию железо-бетонного противовеса, соответственно рассчитанного.

В устое устроен сифон (см. пунктир, рис. 393), который заряжается при поднятии горизонта воды сверх подпорного. Вызванный к работе сифон подает воду в напорную галерею *a*, идущую через весь пролет затвора. Вода поступает в галерею из сифона под значительным напором, обусловленным наличием приподнятого над горизонтом воды нижнего бьефа чашеобразного резервуара *b*, расположенного непосредственно ниже сифона.

При этом относительно оси вращения действуют уже не два момента, а три: момент силы давления воды на затвор, момент силы *d* веса противовеса и момент силы давления воды справа на противовес со стороны галереи *a*.

Этот последний момент способствует открытию затвором отверстия. Пунктирное положение щита (рис. 393) отвечает его месту в паводок при освобожденном пролете.

Этот тип затвора можно считать пригодным для напоров до 6 м и пролетов до 30 м.

Глава двадцать первая

Выбор типа плотины для гидроустановки

Главой XX закончен рассмотрением вопрос о плотинах, применяющихся в гидроустановках. Своевременно перейти к выбору типа.

Выбор типа затвора в настоящее время решается эксплуатационными требованиями. Наидешевейший затвор, удовлетворяющий последним, и является наиболее правильно выбранным в данных условиях. По отношению к затворам водоподъемных плотин эти требования могут быть следующие:

1. Надо иметь возможность открытия затвора за время, избранное в соответствии с быстротой наступления паводка.

2. Возможность промыва русла реки в месте плотины в целях освобождения от наносов.

3. Регулирование уровня подпертой воды должно происходить быстро и просто.

4. Удаление льда и др. плавающих тел не должно быть сопряжено с затруднениями.

5. Пригодность затвора по климатическим условиям, а также при обилии наносов

6. Первоначальные издержки и эксплуатационные затраты на затвор должны быть по возможности минимальные при соблюдении требований пп. 1—5.

В отношении быстроты открытия затвора худшее положение занимают щитовые плотины, зато сегментные затворы удовлетворяют этому требованию в наивысшей мере из всех основных типов плотин.

При промыве русла реки путем поднятия затвора над дном порога происходит вибрация щитовых затворов; однако так как теперь найден способ борьбы с ней, то не будем отмечать особо этот дефект щитовых затворов, где направление подъема совпадает с направлением взвешивающего давления воды на щит, обеспечивая наиболее сильную вибрацию, чем в прочих затворах. При таких обстоятельствах с некоторым приближением примем, что все основные типы затворов одинаково равноценны с точки зрения требования по п. 2.

Регулирование уровня подпертой воды может происходить поднятием затвора или его опусканием. Поднятие затвора не дает однако точного регулирования, к тому же способствует быстрому изнашиванию поверхности флютбета.

Поэтому всегда предпочтительно опускание затвора, если подпор до 2—3 м.

При больших подпорах лучшее решение—устройство верхнего регулирующего клапана, наличие которого не мешает запроектировать основной щит с рациональным использованием металла, т. е. при достаточной величине отношения высоты затвора к его пролету.

При этом основной нижний затвор вовсе не работает при регулировании.

Таким образом при напорах свыше 3 м в отношении требования по п. 3 все основные типы затворов более или менее равноценны, коль скоро имеется возможность любой из них снабдить вверху регулирующим клапаном (а щитовой затвор—верхним опускным щитом). Однако несколько различная быстрота подъема все же может играть роль.

При меньших напорах, когда устройство клапана или верхнего щитка нерационально по конструктивным соображениям, сегментный затвор, как имеющий более легкое управление, предпочтительней.

В отношении удаления льда и др. плавающих тел приходится повторить то же, что сказано о регулирующей способности затворов¹.

Необходимо только добавить, что плавающие тела менее всего препятствуют исправной работе сегментного затвора и вальцового благодаря их форме и направлению подъема.

Климатические условия являются обстоятельством, нередко диктующим выбор типа.

Так, суровый климат с тяжелыми явлениями льдообразования прямо указывает на необходимость применения вальцового затвора¹. При этом щит Стоней вовсе не следует применять, если имеется в виду подъем его в зимнее время, так как катки и пазы сильно обмерзают, сводя на-нет преимущества затвора. Простой катковый затвор здесь более уместен, но также нежелателен.

Сегментный затвор показал прекрасную работу при неслишком суровых условиях льдообразования. Поэтому его применение вполне

¹ При пролётах до 15 м шведский опыт выдвигает и здесь конкурентов в виде сегментного и секторного затворов.

целесообразно всюду, кроме севера Европейской части РСФСР и Сибири.

Обильные наносы, в особенности при резком колебании горизонта воды в паводок, указывают на полную предпочтительность применения сегментного затвора с повышенной осью вращения: щиты Стонея и катковые идут следом за сегментным затвором, уступая ему в надежности действия в данных условиях при расчетной подъемной силе (катки и пазы засоряются). Вальцовые затворы в этих условиях нет нужды применять, так как они значительно дороже предыдущих и не дают дополнительных выгод в этих условиях.

В отношении первоначальных издержек лучшее место занимают щитовые затворы, которые могут оказаться на 10—15% дешевле сегментных при малых подпорах и больших пролетах; при лучшем использовании металла разница в значительной мере сглаживается; самые дорогие затворы—вальцовые.

Зато эксплуатационные издержки на сегментный затвор несомненно меньше, заботы о трущихся частях—минимальные, эксплуатация крайне проста; осмотр, ремонт, окраска приурочиваются к подъему затвора, не требуя никаких особых приспособлений.

Однако при напорах 8—10 м и выше катковый щитовой затвор несомненно наивыгоднейшая, проверенная конструкция, отходить от которой пока нет никаких оснований. Лишь в суровом климате имеется возможность перейти к более спокойному решению—вальцовому затвору. Здесь сегментный затвор пока не конкурирует.

Опускные конструкции особенно целесообразны применением когда неконструктивно применение верхних регулирующих клапанов., Однако надо помнить, что вопрос о надежном уплотнении по флютбету для данного случая пока не имеет хорошего решения по настоящей день.

Кроме того в условиях значительных наносов от опускного щита вообще целесообразно отказаться, так как наносы заполняют углубленную часть флютбета, препятствуя нормальной эксплуатации.

Этот последний недостаток надо помнить и в отношении некоторых плотин, дающих при явлениях незначительного льдообразования лучшее решение, когда есть потребность получить затвор с максимальным пролетом.

Однако повышенный флютбет плотины не дает возможности пропустить наносы, отложившиеся впереди плотины, вследствие чего при значительных наносах от данного типа затвора надо отказаться.

Если сегментный затвор большого пролета можно поднять за 10 минут, то, снабдив его вверху быстро открывающимся регулирующим клапаном, получаем затвор, отлично работающий при быстро наступающих паводках.

Другими словами, сегментный затвор новейшего типа завоевывает новую сферу применения, когда требуется освободить пролет за 5—7 минут.

Лишь в случае необходимости открыть пролет в кратчайший мыслимый срок, например в 2 минуты, целесообразно перейти к дахверу или быстро действующей спицевой плотине или клапанному затвору (рис. 394).

Это может понадобиться на маленьких горных речках с небольшим бассейном стока, где паводки наступают после ливня почти мгновенно. Однако и здесь необходимо помнить, что после прохода,

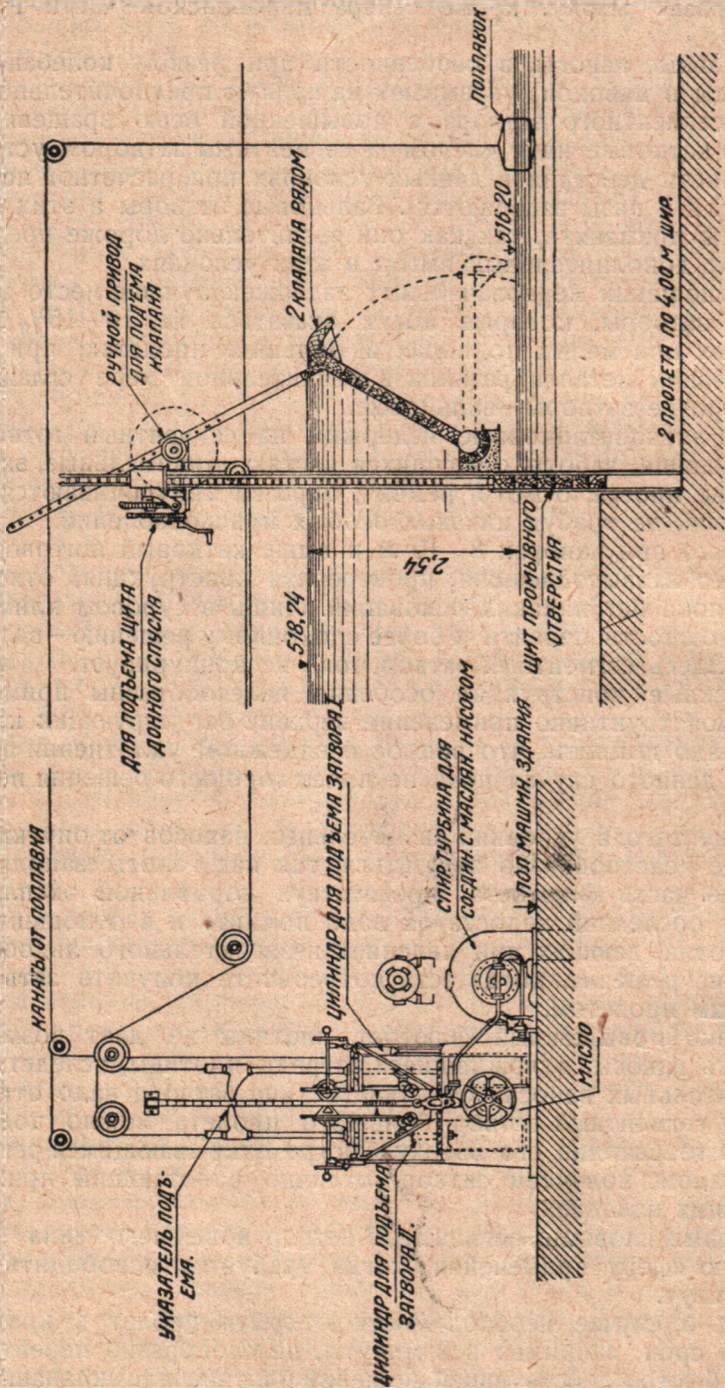


Рис. 94. Быстро действующий клапанный затвор.

паводка необходим тщательный осмотр внутренней части дахвера и трубопроводов его в целях приведения их в порядок, так как подобные речки отличаются обилием наносов, вызывающих указанные

заботы. При этом дахвер уступает сегментному затвору в отношении пропуска наносов в виду повышенного положения порога дахвера.

В этом отношении сегментный затвор предпочтительнее; если он небольшого пролета и напора порядка 2,5 м, то сегментный затвор и здесь конкурирует, так как при подъеме такого затвора в 4—5 минут можем свести это время к меньшему, снабдив затвор верхним клапаном, воспринимающим первую волну паводка, что практически сводится к уменьшению времени освобождения отверстия.

Дахвер же дает около 2 минут.

Изложенное указывает, что, несмотря на новейшие усовершенствования основных типов затворов плотин, соотношение между ними сохранилось прежнее; однако зона применения как щитовых, так сегментных и вальцовых затворов ныне расширилась на реки с более быстро наступающими паводками, притом при больших напорах и пролетах, чем это полагали в Союзе еще 7—10 лет тому назад.

Резкое послевоенное вздорожание металла в Союзе заставляет отдельно упомянуть о целесообразной замене металлических щитов деревянными и смешанной конструкции, хотя бы до пределов, указанных выше. К этому обязывает требование экономии и наличие собственной электрической энергии для подъема щитов.

Дальнейшее стремление к экономии привело к мысли освободиться от затрат на обслуживание затворов при их подъеме и опускании.

В настоящее время можно заявить, что на сбросах водохранилищ качающиеся автоматические затворы работают исправно; их построено много больше, чем опускных конструкций затворов и даже щитов с верхними клапанами. При этом максимальное отверстие (340 м²), перекрываемое современными затворами, связано с применением именно автоматического затвора секторного типа.

Однако в применении к водоподъемным плотинам автоматические затворы должны назначаться с большой осторожностью. Если река несет мало наносов или если предполагается устроить затвор в качестве верхнего щита при имеющемся нижнем, то налицо все основания для применения автоматического затвора. Наконец возможно применение в водоподъемных плотинах автоматических затворов (тип № 1) особо надежного свойства.

Ниже, на стр. 324, помещаем таблицу, содержащую указания, обнимающие учет службы 115 выстроенных плотин и водосливов с автоматическими затворами.

В этой таблице отражены конструктивные особенности отдельных автоматических затворов и их эксплуатационные свойства, так как выбор типа всецело зависит от:

- назначения щита;
- величины перекрываемого отверстия;
- высоты щита над порогом;
- величины подпора;
- особенностей режима реки (наносы и проч.);
- требований в отношении точности регулирования.

Наибольшие отверстия и при наибольших напорах перекрывают секторные затворы (металлические и железобетонные): H —до 12 м и L —до 60 м.

Дахвер имеет место при $1 < H \leq 8$ м и $5 < L \leq 40$.

Условия применения	Разборчатые плотины на реках	Водослив- сброс при водохрани- лище	Водослив на канале	Донный спуск
Вообще говоря	1, 2, 3, 6, 7, 8	1ш, 1с, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1ш, 1с, 4, 5, 7, 8	1ш, 1с
Отверстия до 30 м ²	1с, 1ш, 3, 8	1ш, 4, 3	1ш, 4	—
Относительно большое отверстие при небольшом подпоре	1в, 3, 7, 8	5, 7, 8	5, 7, 8	—
Относительно малые отверстия при большо подпоре	1ш, 2	1ш, 2	1ш, 2	—
Отверстия больших размеров	1в, 6, 7	5, 6, 7	5, 7	—
При мутной воде с обилием на- носов	1	1ш, 1с	1ш, 1с	—
При обилии плавающих тел	7, 6, 3, 1с	7, 6	7	—

Тим Ремпен при напоре 3 м имеет пролет до 7—8 м, а с увеличением H линейно падает вплоть до 1 м при $L = 35$ м.

Первый тип (валец) может иметь применение при L до 40 м и H —до 6 м; при сегменте L_{\max} уменьшается до 30 м.

Тип Eguzon (№ 9) возможен применением до H —6 м и L —до 40 м.

При этом все же отметим, что при обилии наносов наиболее уместен автоматический сегментный затвор (см. выше таблицу).

Глава двадцать вторая

Плотина Поаре

Описание конструкции разборчатой части плотины.

Спицевые затворы. В 1834 г. французский инженер Поаре сделал крупный шаг к разрешению вопроса об устройстве плотин, которые легко убирались бы при высоких водах, когда судоходство происходит в реке при естественном ее состоянии, и позволяли бы управлять горизонтом воды в реке межень, пропуская паводки без значительного подпора, т. е. не создавали бы на реке искусственного переката.

С устройством на реке плотины Поаре все отверстие плотины от одного берега до другого может быть открыто для судоходства.

В первоначальном своем виде плотина системы Поаре устроена была следующим образом (рис. 395):

На каменном флутбете укреплена деревянная рама, состоящая из двух брусьев с поперечными распорками, отстоящими одна от другой на 1 м.

Один из брусьев рамы выступает над поверхностью флютбета в виде порога (верховой брус).

В брусьях врезаны и укреплены чугунные подшипники: передний и задний.

Ось каждой пары подшипников отстоит от каждой соседней на одно и то же расстояние.

В подшипники вставлены своими круглыми горизонтальными шипами железные фермы, скованные из брускового квадратного железа толщиной 4 см.

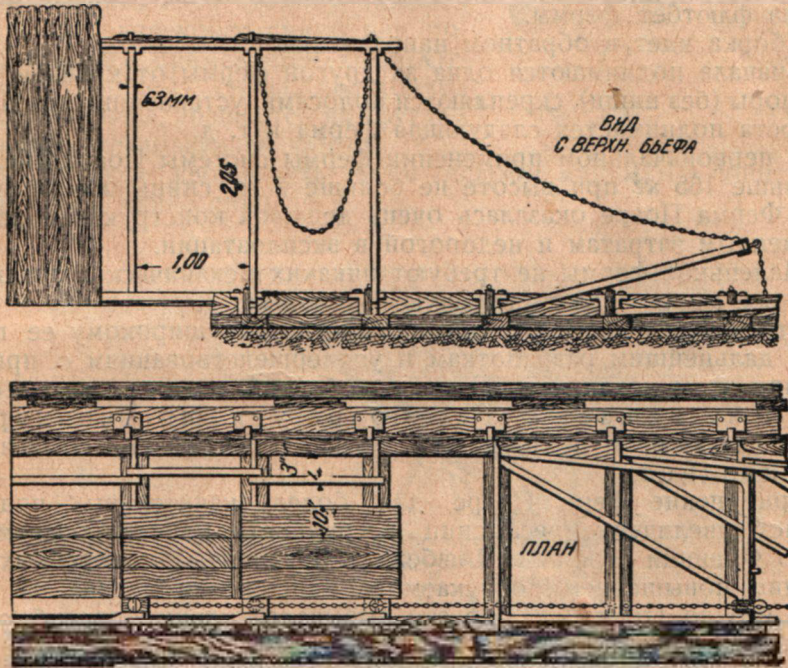


Рис. 395.

Фермы вращаются на горизонтальных осях, отстоящих на 1 м одна от другой, могут быть поставлены вертикально, а могут быть уложены на флютбет, не выступая при этом выше переднего деревянного порога (верховой брус).

Ближайшая к береговому устью ферма входит при укладке в особо устроенную в устье нишу.

Поднятые в вертикальное положение фермы скрепляются между собой железными полосами с вилками, охватывающими верхние поперечины ферм и упирающимися на них в болт, связывающий подкос фермы с верхней поперечиной.

Полосы эти служат упорным брусом для затворов, состоящих из сплошного ряда брусков, так называемых „спиц“, упирающихся другим концом в верховой порог.

Спицы имеют сверху рукоятку для подъема их. Поверх ферм укладывается деревянный мостик из отдельных коротких звеньев, перекрывающих лишь один пролет между фермами.

Звенья состоят из досок, сшитых внизу с обеих сторон брусками, удерживающими звено в надлежащем положении.

Подъем и спуск ферм производятся при помощи цепей, прикрепленных к проушинам болтов, связывающих подкос с верхней поперечной фермы.

Разборка плотины начинается от той коренной опоры (береговой, в которой устроена упомянутая ниша для помещения ближайшей к ней крайней фермы.

Сначала снимаются спицы, затем доски помоста и соединительные полосы, скрепляющие фермы, и наконец одна за другой опускаются на флютбет фермы.

Сборка идет в обратном направлении.

Сначала поднимаются одна за другой фермы от крайней коренной опоры (без ниши), скрепляются полосами, устанавливается помост, с помоста поднимается следующая ферма и т. д.

В первоначальном применении фермы системы Поаре имели вес не больше 165 кг при высоте не больше 2 м; спицы имели вес до 16 кг. Ферма Поаре оказалась очень дешевой конструкцией по единовременным затратам и недорогой в эксплуатации.

Маленькие фермы не требуют никаких механических приспособлений; все могут сделать вручную 3 человека.

Эти качества конструкции способствовали широкому ее применению, дальнейшим разработкам и усовершенствованиям с применением при этом механических приспособлений; последнее не мешало и не мешает ферме Поаре успешно конкурировать с другими удачными конструкциями, появившимися позднее.

Применение ферм Поаре для более значительных подпор вызывает увеличение веса спиц и трудность маневрирования ими.

Во Франции стремились избежать чрезмерных поперечных* сечений спиц повышением допускаемого напряжения дерева на изгиб, доводя его до 170 кг/см^2 . Но это вызывало сильный прогиб спиц и нередкие поломки при эксплуатации.

Стремление придать спице прямоугольное сечение с поворотом большей стороны прямоугольника в сторону течения воды не дало положительных результатов: спица при установке под влиянием течения воды поворачивалась широкой стороной к фермам.

Приготовление спиц в виде бруса равного сопротивления дало более удачные результаты. Так при длине в 3,75 м и подпоре в 2,5 м спицы имеют ширину и толщину внизу 9,9 см, сверху—9 см и в опасном сечении—12,1 см.

Максимальное напряжение при этом не превышает 87 кг/см^2 .

Маневрирование со спицами описанных размеров все же затруднительно, в силу чего приходится прибегать к различным приспособлениям.

Куммер предложил устройство поперечины, служащей для упора спиц сверху, позволяющей ей поворачиваться на 90° относительно вертикальной оси, что достигается шарнирным соединением поперечины с одной из ферм.

Другим концом поперечина упирается в уступ в вырезе особого цилиндра, приделанного к передней стойке соседней фермы (рис. 396).

При вращении цилиндра упор поворачивается на 90° , конец поперечины освобождается, поперечина под давлением спиц поворачи-

вается, спицы падают и вынимаются из воды, будучи заранее связаны между собой канатом.

Опыт показал, что описанный прием хорош лишь при очень опытном служебном персонале, так как маневры сопряжены с некоторой опасностью, ибо мостик находится выше рукояток спиц и маневрировать неудобно.

Рис. 397¹ изображает приспособление Guillemain'a, позволяющее при открытии отверстия плотины не вынимать спиц, а отгибать их в сторону нижнего бьефа, приподняв конец спицы над порогом, для чего применяется кран. Откинутая течением спица, благодаря устройству крюка, вращается на круглой поперечине, связывающей фермы.

В минуту можно вынуть таким образом минимум 5 спиц, а чаще до 8 шт. при длине спиц до 4 м.

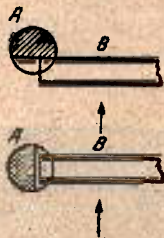


Рис. 396.



Рис. 397.

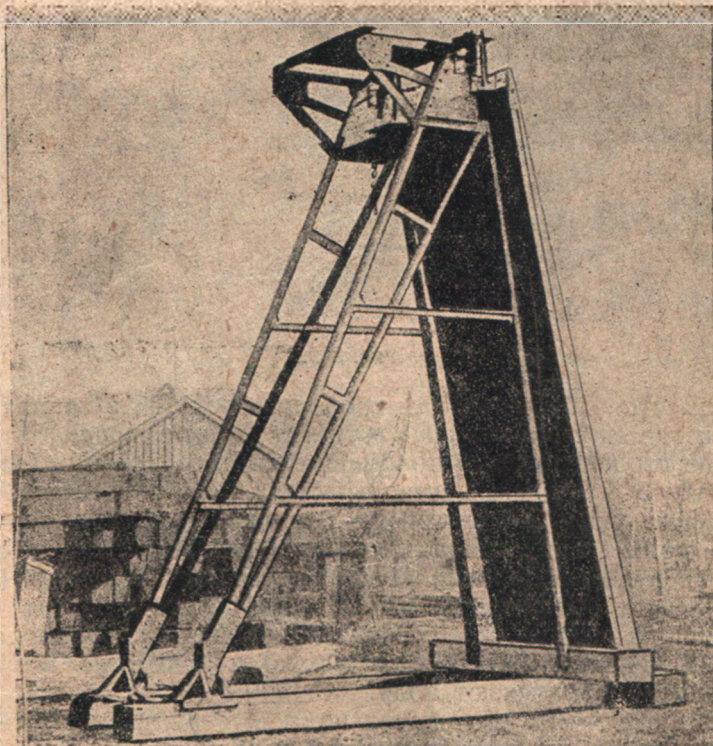


Рис. 398.

Спицы применяются в настоящее время большой длины и веса. Так длина до 5 м при весе свыше 40 кг является уже обычной.

¹ См. также рис. 61 и 62.

Имеются примеры спиц весом 120 кг при толщине 22 см, ширине 30 см и длине 4,34 м (р. Big Sandy, Северная Америка), рис. 398, 399.

Но такой вес спиц требует механических приспособлений для маневров.

Применение спиц столь больших размеров позволяет сохранять ценное качество спицевых затворов: быстроту открытия отверстия в случае паводка.

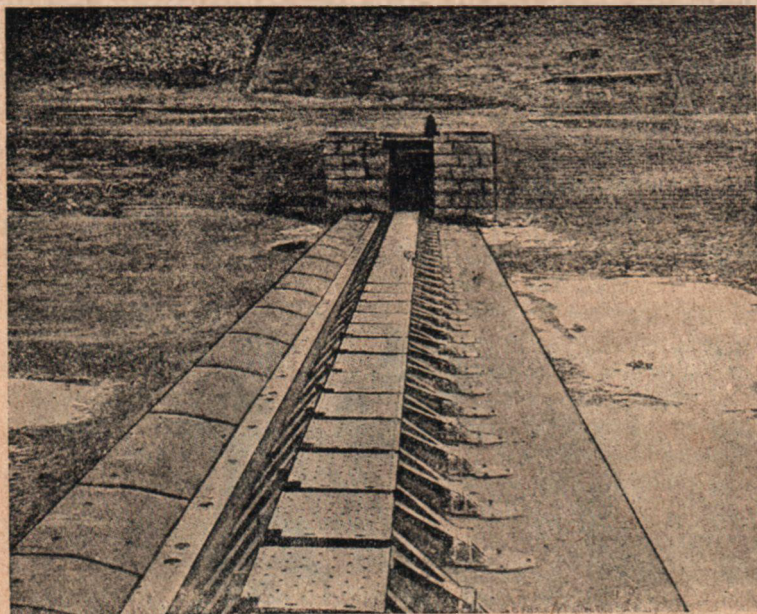


Рис. 399.

Спицы столь больших размеров применяются в местах, где дешев лес и где эксплуатация не встретит долгое время затруднений при замене износившихся и поломавшихся спиц новыми. Однако при подпорах до 3 м спицевые затворы всегда предпочтительнее щитовых для плотин на реках с внезапными паводками, если потери на просачивание воды между спицами не останавливают особого внимания.

Спицы в межень плотно прижимаются одна к другой (в первое время по спаде высоких вод могут стоять редко одна от другой в виду большого расхода, требующего при одном и том же подпорном горизонте больших отверстий для прохода воды), но все же щели между спицами пропускают воду.

Может оказаться, что расход воды в щели превысит имеющийся меженный расход. Тогда горизонт верхнего бьефа станет падать, что недопустимо.

Следовательно спицевые затворы применимы лишь в случае таких меженных расходов в реке, которые при эксплуатации плотины позволяли бы удерживать горизонт на уровне подпорного, невзирая на прохождение воды в щели между спицами.

Расход воды чрез щели легко определить по обычным формулам гидравлики.

Если ледоход в реке наступает неожиданно, то спицы могут смерзнуть между собой, что никак нельзя допустить, ибо открытие плотины может стать почти невозможным без повреждений конструкций.

Пример—разрушение плотины на р. Меузе у Вердена осенью 1875 г. Следовательно в подобных случаях необходимо избегать применения спиц.

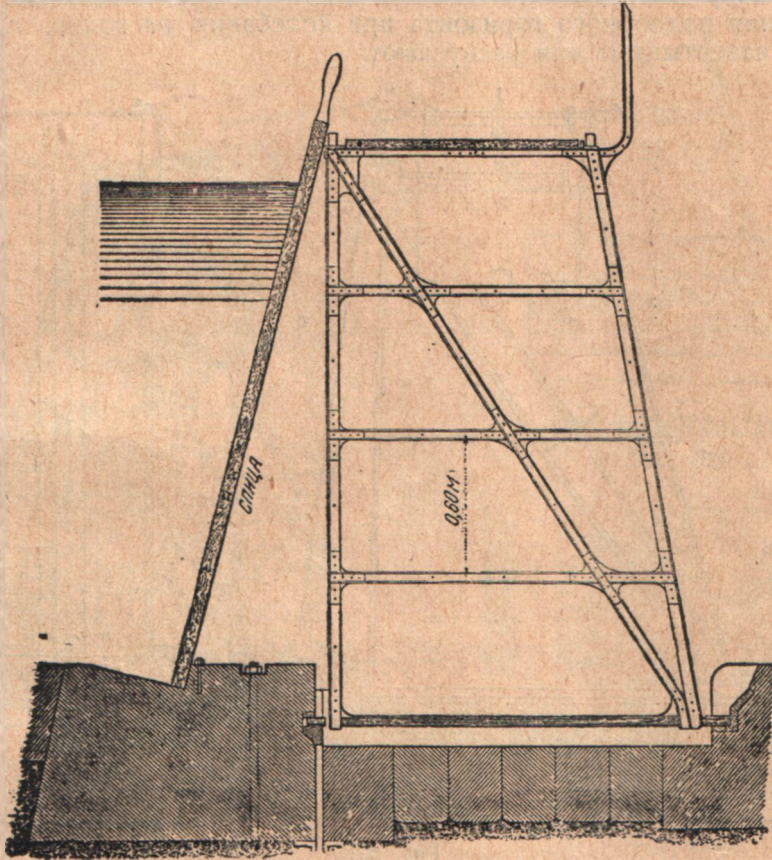


Рис. 400.

Рис. 400, 401 изображают ферму Поаре при спицевых затворах. Шторы Камере. Потеря воды через спицевое заграждение заставила искать более подходящих конструкций, позволяющих достигнуть большей плотности закрытия. На р. Марне было применено новое устройство в виде шторы из полотна с деревянными узкими планками.

Однако при подъеме шторы происходило сильное ее перекашивание, затруднявшее маневры.

В 1880 г. инж. Камере применил шторы своей конструкции на плотине Port-Villez на р. Сене при подпоре в 2,33 м.

Шторы Камере представляют собой полотна, состоящие из шандоров, связанных двумя линиями шарниров.

Каждое полотно подвешивается к вертикальной раме, установленной на двух фермах.

Подъем и спуск полотна производится с помощью катушек лебедки или ворота (см. „Мостовые плотины“).

Лебедка закрепляется на месте крюком за верх рамы, поддерживающей штору.

Поднятая штора может быть убрана вместе с рамой, поддерживающей штору, для чего служит тележка с наклонной рамой.

Затвор Камере отличается плотностью и пригодностью для регулирования подпорного горизонта при колебании расходов, для чего штору наверхтывают или распускают.

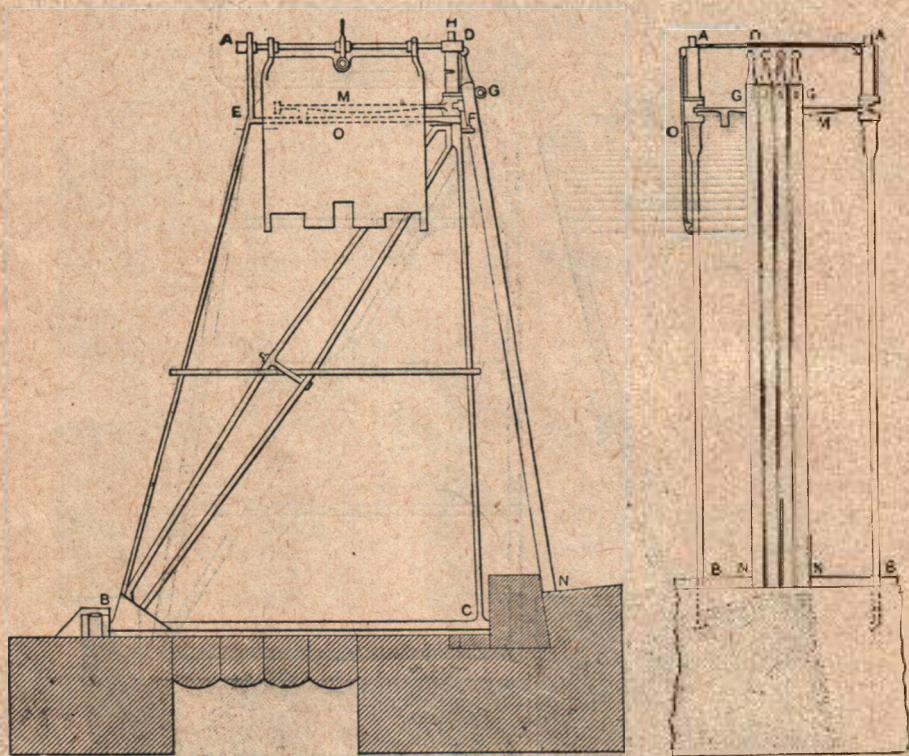


Рис. 401.

Последнее время штора Камере почти вовсе не применяется, что объясняется некоторыми ее недостатками, как, напр.: трудность сборки, необходимость тщательной обработки брусьев, вредное влияние наносов, необходимость применения сложных механических приспособлений и перекашивание штор, мешающее свертыванию соседних затворов.

В настоящее время штора Камере почти вытеснена щитами Буле. Щиты Буле. Щиты Буле имеют высоту обычно 0,7 м и до 1 м, а ширину—равную расстоянию между внутренними краями опорных полок передней стойки фермы.

Таким образом щиты Буле устанавливаются в несколько рядов по высоте ферм (рис. 402).

Верхний ряд щитов обыкновенно снимается вручную, для чего верхние щиты снабжаются рукоятками.

Закрытие отверстий щитами Буле обходится на 25% дешевле закрытия шторами Камере.

Щиты Буле позволяют держать подпорный горизонт без повышения его при возрастании расходов; для этого снимается потребное число щитов.

Рис. 403—409 изображают щиты Буле для 6 плотин р. Сев. Донца, выстроенных к 1914 г. Щиты различных ярусов имеют разную толщину в зависимости от выдерживаемого давления воды (от 4 до 10 см).

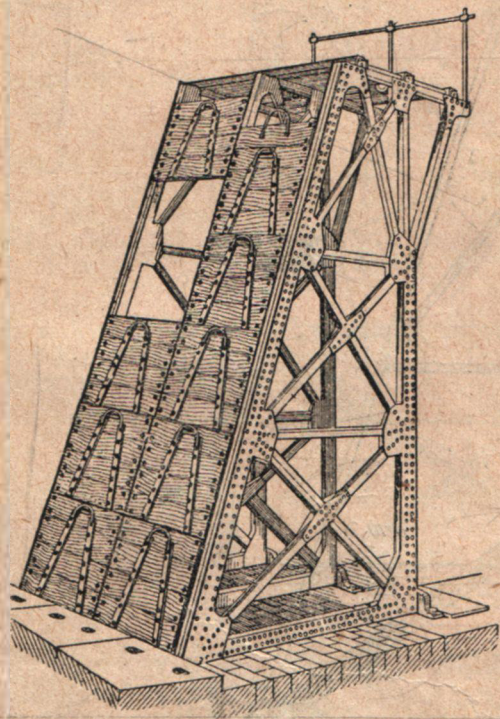


Рис. 402.

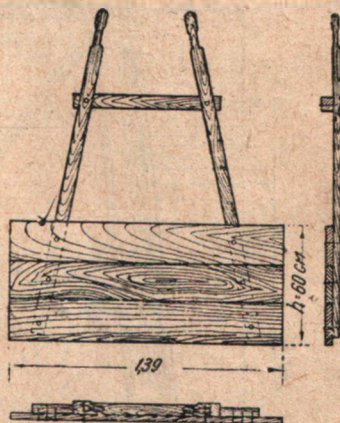


Рис. 403.

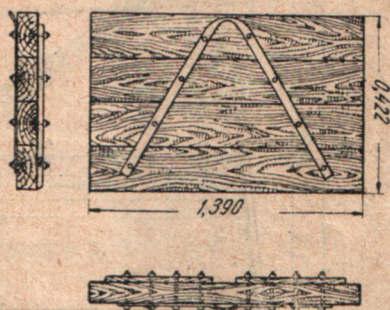


Рис. 404.

Щиты Буле применены на 6 плотинах р. Сев. Донца, на Качетовской плотине р. Дона, на 2 плотинах р. Оки (из них одна—Беломутская—разрушилась), на 3 новых плотинах р. Шексны и всюду показали водонепроницаемость щитовых затворов.

Применение щитов Буле вызывает необходимость более солидной фермы Поаре, так как здесь все давление передается на ферму.

Однако разница в весе ферм при щитах Буле и при спицах в действительности уменьшается, так как при спицевых затворах часто фермам приходится придавать более солидную конструкцию, чем это вызывается статическим расчетом: этого требуют условия подъема ферм во время эксплуатации, когда фермы могут быть занесены наносами.

Для поднимания и опускания щитов служит специальный кран.

Кран снабжается цевочной рейкой, к концу которой приделывается крюк для захватывания щита.

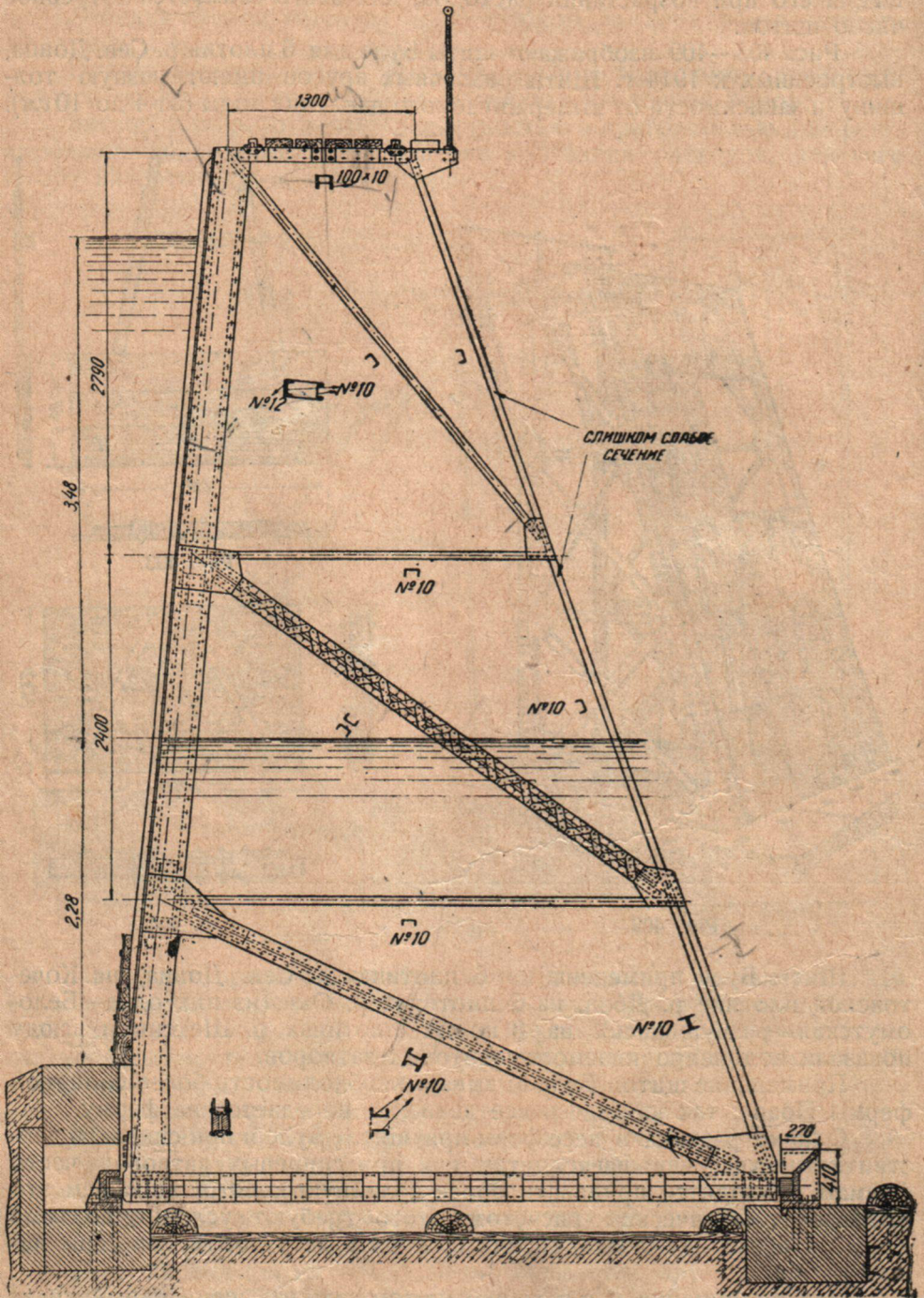


Рис. 405. Ферма Поаре Северо-Донецких плотин.

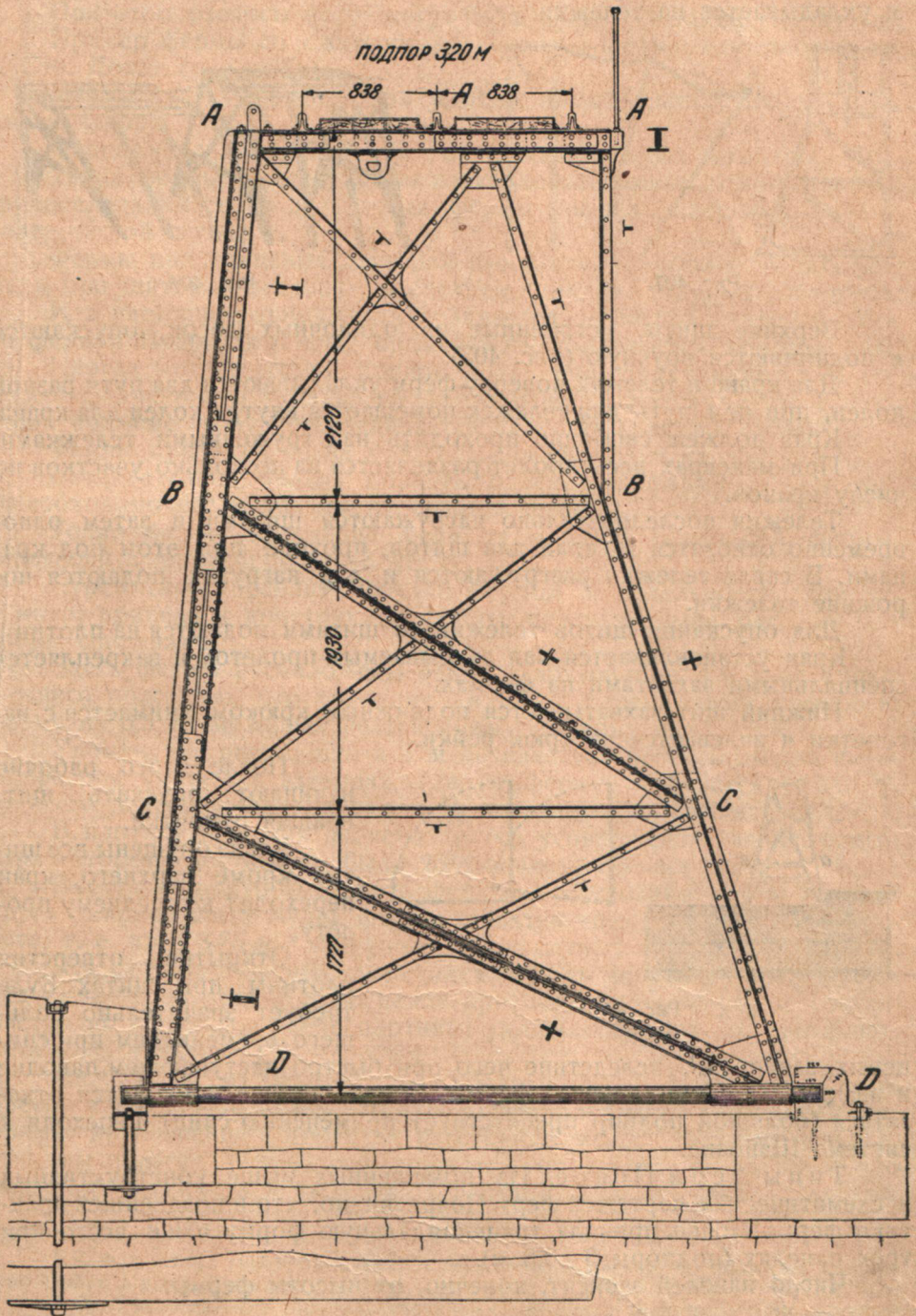


Рис. 406

Щит, поднятый рейкой до уровня платформы, подхватывается особым крюком с подвижным блоком, подвешенным к крану, которым и укладывается на тележки.

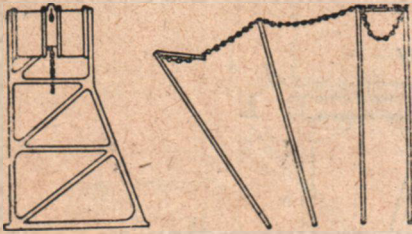


Рис. 407.

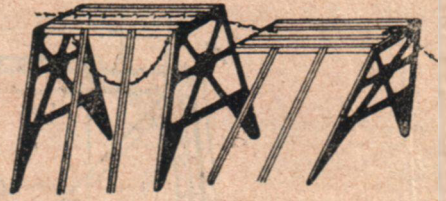


Рис. 408.

Верхние щиты, устроенные из одиночных досок, опускаются и поднимаются вручную (рис. 403).

Для крана и тележек поверху ферм укладываются два пути разной колеи, при чем путь для тележек помещается внутри колеи для крана.

Кран должен свободно проходить над груженными тележками.

При маневрах весь пролет разделяется на несколько участков по числу кранов.

Тележки последовательно нагружаются щитами и затем одновременно отвозятся в сарай для щитов, проходя при этом под кранами. В сарае тележки разгружаются и для нагрузки подаются по-рожные тележки.

Для опускания щитов тележки со щитами подаются на плотину.

Кран устанавливается над закрываемым пролетом и закрепляется специальными захватами на фермах.

Нижний щит захватывается подвижным крюком, снимается с вагонетки и надевается на крюк рейки.

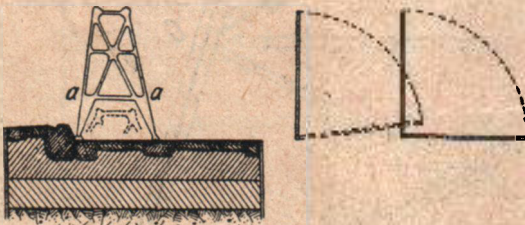


Рис. 409.

После этого рабочие начинают опускать щит, вращая рукоятки.

Когда опущены все щиты, кроме верхнего, кран переходит к соседнему пролету.

Открытие отверстия плотины при щитах Буле требует значительно большего времени, чем при спицевых затворах¹, вследствие чего при быстро наступающем паводке и значительном подпоре от фермы Поаре вообще приходится отказаться (большой подпор препятствует применению спиц), переходя к системе Шаноана.

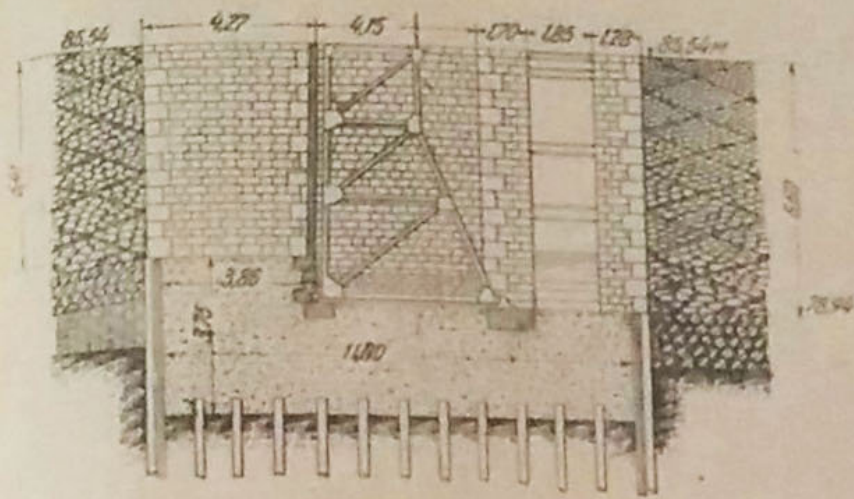
Типы ферм Поаре. Из помещенных выше конструктивных и схематических чертежей ферм Поаре видно, что в позднейшей практике ферма Поаре приняла трапециoidalную форму чаще всего при трех панелях (подпоры 3—3,5 м).

Число панелей зависит, конечно, от высоты фермы.

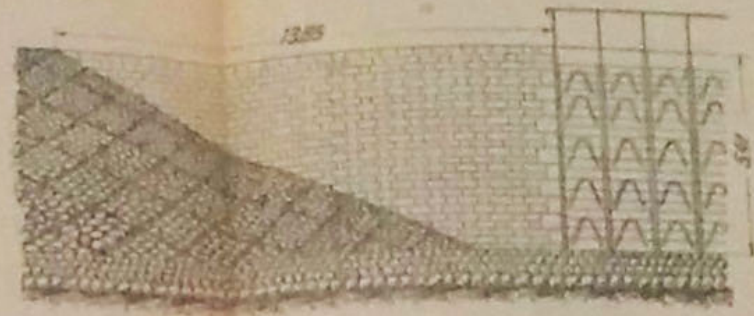
¹ Плотина в Либшице при подпоре 3,56 м и пролете 65 м требует 4¼ часа для уборки всех 260 щитов при работе двух кранов.

ТОЛСТЫЙ УСТОЙ С НИШЕЙ И РЫБОХОДОМ

ФАСАД

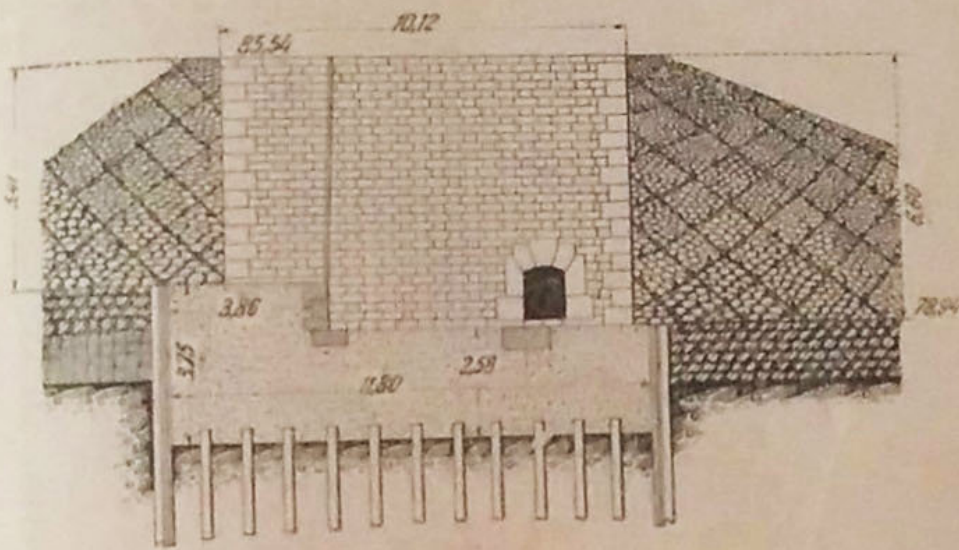


БОКОВОЙ ВИД С ВЕРХОВОЙ СТОРОНЫ

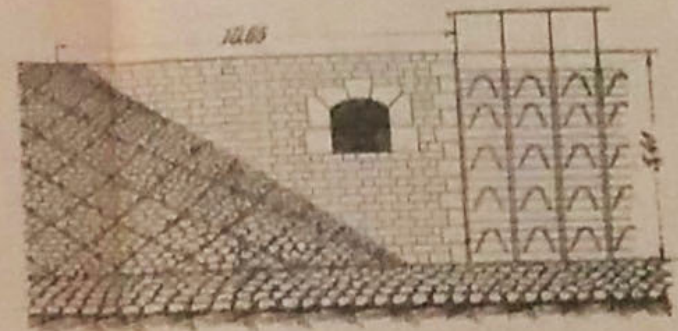


УСТОЙ БЕЗ НИШИ

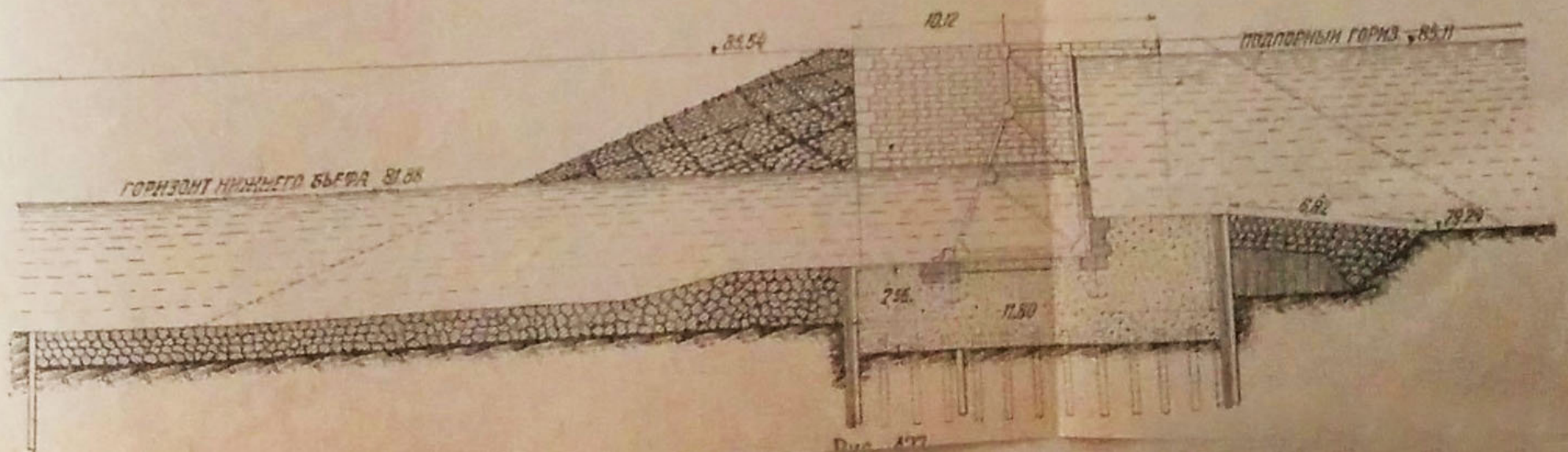
ФАСАД



БОКОВОЙ ВИД С ВЕРХОВОЙ СТОРОНЫ



ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ ПЛОТИНЫ



Проект устоя

В виду экономии часто заменяют облицовку досчатым настилом толщиной 7,5 см, перекрытым пластинами.

Промежутки между задними подферменниками выстилаются мелкой облицовкой. За подферменниками (задними) устраивается также деревянный настил, если отказываются от облицовки, более надежной, но зато и более дорогой.

В случае опасений вымывания грунта под флютбетом плотины бетонную часть последнего снабжают железной арматурой, которая будет вызвана в этом случае к работе, так как некоторые части флютбета могут оказаться подвешенными на соседних.

Осторожные строители вообще снабжают флютбет легкой арматурой вверху и внизу, исключаяющей возможность повреждений от явлений, не учтенных в облегченной схеме расчета бетонного флютбета.

Железо-бетонные флютбеты. Здесь мы не будем касаться вопросов, общих для всякой конструкции флютбета, а отметим исключительно особенности данной конструкции и условий ее работы (спицевого плотины на р. Nagmas Kőrös в Венгрии).

Флютбет представляет собой железо-бетонную ребристую плиту шириной 21,34 м (длина по течению).

В понурной части, где имеем подпорный горизонт воды, ребра плиты опущены вниз, так как плита работает под давлением воды сверху.

Впереди понура, т. е. в начале плиты, забит железо-бетонный шпунтовый ряд толщиной 20 см.

Под ребрами плиты забиты железобетонные сваи квадратного сечения размерами 25 · 25 см. Сваи поддерживают плиту.

Ниже (по течению) спицевого заграждения плита опущена на 0,5 м и снабжена ребрами сверху плиты, так как здесь работа плиты иная: вода давит снизу вверх.

Сваи здесь скреплены с ребрами плит, так как работают на выдергивание. Промежутки между ребрам заполнены тощим бетоном, кроме участка выше ферм, где помещается порог для спиц. У переднего шипа фермы свая имеет диаметр 30 см. Подпор плотины—2 м. Низовой шпунтовый ряд отсутствует.

Устои плотины устроены также из железо-бетона. Крылья устоев снабжены лестницами из железо-бетона.

Описанная конструкция является типичной, так что мы не приводим никаких других примеров.

Для расчета требуется располагать данными о сопротивлении сваи выдергиванию.

При составлении проекта это сопротивление можно принимать в $\frac{3}{5}$ от допустимой нагрузки на сваю той же длины в данном грунте, но при осуществлении проекта нужны забивка и выдергивание пробных свай, чтобы проект отвечал действительным условиям службы сооружения. Верхняя (передняя) плита должна быть рассчитана на нагрузку ее водой верхнего бьефа, за вычетом фильтрационного давления снизу, а нижняя плита должна быть рассчитана на давление воды снизу под напором $H-h$ м, где H —подпор плотины, а h —потерянный напор фильтрационной водыо рассматриваемой плиты

Во всем остальном расчет производится по схеме расчета флютбета из каменной кладки.

Деревянные флютбе. Деревянные флютбеты в плотинах Поаре применяются при сыпучих грунтах с целью понизить строитель-

Сливная часть устраивается в виде рисбермы из сухой кладки, ограниченной снизу (по течению) сплошным рядом свай (забивка частокон).

Передние подшипники фермы устанавливаются на четырех продольных брусках, примыкающих к королю.

Эти бруска укладываются в свою очередь на концах главных парных схваток. Свай, несущие главные схватки, расположены таким образом, что под передним и задним подшипниками приходится по свае.

В непосредственной близости к этим главным сваям имеется в том же ряду одна свая для переднего подшипника и две—для заднего.

Ниже главных парных схваток идут вторые нижние схватки, перпендикулярно главным и параллельно брускам, на коих лежат передние подшипники.

Вырывающее усилие от переднего подшипника передается этим схваткам.

Такая конструкция обеспечивает полную связь в работе ферм; перегрузка одной фермы (удар плавающего тела) немедленно вызывает работу основания соседних ферм.

При устройстве основания для заднего подшипника необходимо обратить внимание на передачу горизонтальной составляющей давления на подшипник.

Для этой цели против каждого подшипника укрепляются упорные бруска, передающие горизонтальное усилие на шапочный брус водобойного шпунтового ряда.

Теоретического подсчета прочности пола в понуре и водобое обычно не делают; его всегда устраивают по опыту службы плотин солиднее, нежели показывают теоретические подсчеты. С этим связан тот относительно большой срок службы деревянной плотины, что нередко заставляет отдать ей предпочтение (35—40 лет).

Рис. 427 изображает Черепановскую плотину на р. Шексне, законченную в 1924 г., а рис. 428—сопряжение флютбета с устоем примыкающим к голове шлюза.

Глава двадцать третья

Плотина Томаса

Американский инж. Томас, решив избавиться от хлопотливых эксплуатационных операций со щитами Булэ, применил на р. Ohio своеобразную конструкцию разборчатой части плотины. Фермы, перекрывающие пролет плотины, сами служат щитами, образуя между собой небольшие зазоры, или входя одна в другую на 0,5 см (рис. 429—432).

Ферма Томаса обладает значительной жесткостью в направлении, перпендикулярном ее плоскости, чем не обладает ферма Поаре. Это достоинство фермы приобретает особенную цену для рек с большим количеством наносов. Щиты отсутствуют, путь для лебедки и тележек—также, не требуется сарая для щитов, маневрирование производится весьма просто при помощи двух человек. Быстрота уборки

плотины весьма значительна. Массивность ферм служит гарантией против каких-либо случайных повреждений.

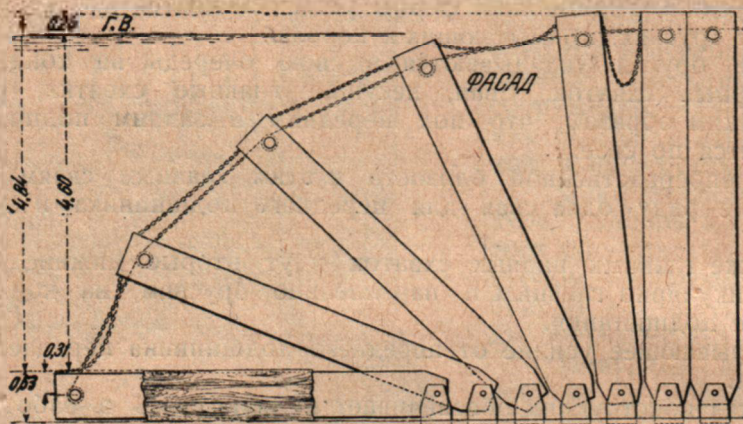


Рис. 429.

К недостаткам фермы Томаса следует отнести некоторую дороговизну и затруднительность регулировки. Если не доводить обшивку до верха ферм и закрывать полученные отверстия щитами, то вместе

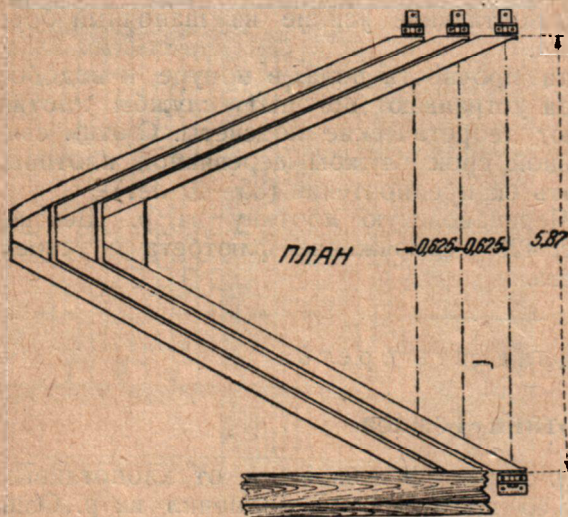


Рис. 430.

со щитами явится необходимость в устройстве пути, подвижном составе, сарае для щитов, т. е. появились бы снова недостатки, которых Томас старался избежать в своем затворе (рис. 433).

Применение фермы Томаса на отдельном участке плотины, работающей на остальной длине с фермами Поаре, также может оказаться выгодным на реках с сильными паводками.

Особенности устройства механизмов фермы состоят в следующем (рис. 434).

Стальное цепное колесо отлито вместе с храповиком и прикреплено к верхней распорке фермы. Собачка храповика имеет рычаг. При поднятых фермах рычаг каждой из них упирается в особый щип, приклепанный к соседней ферме, вследствие чего собачка храповика приподнята и храповик с колесом свободно вращается при проходе цепи, идущей сквозь все фермы.

При всех других положениях фермы собачка зажимает храповик и зубчатое колесо, а с ним и фермы оказываются скрепленными с цепью. Поднятые фермы образуют сплошное заграждение реки, а опущенные—массивный порог, ложась одна в другую, при чем

плотины весьма значительна. Массивность ферм служит гарантией против каких-либо случайных повреждений.

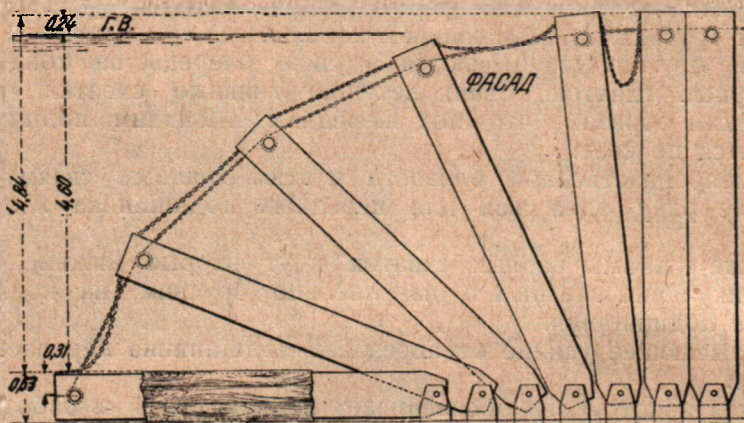


Рис. 429.

К недостаткам фермы Томаса следует отнести некоторую дороговизну и затруднительность регулировки. Если не доводить обшивку до верха ферм и закрывать полученные отверстия щитами, то вместе со щитами явится необходимость в устройстве пути, подвижном составе, сарае для щитов, т. е. появились бы снова недостатки, которых Томас старался избежать в своем затворе (рис. 433).

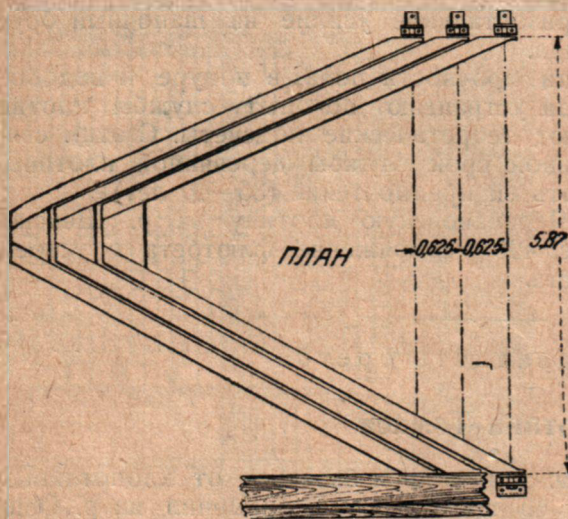


Рис. 430.

Применение фермы Томаса на отдельном участке плотины, работающей на остальной длине с фермами Поаре, также может оказаться выгодным на реках с сильными паводками.

Особенности устройства механизмов фермы состоят в следующем (рис. 434).

Стальное цепное колесо отлито вместе с храповиком и прикреплено к верхней распорке фермы. Собачка храповика имеет рычаг. При поднятых фермах рычаг каждой из них упирается в особый шип, приклепанный к соседней ферме, вследствие чего собачка храповика приподнята и храповик с колесом свободно вращается при проходе цепи, идущей сквозь все фермы.

При всех других положениях фермы собачка зажимает храповик и зубчатое колесо, а с ним и фермы оказываются скрепленными с цепью. Поднятые фермы образуют сплошное заграждение реки, а опущенные—массивный порог, ложась одна в другую, при чем

вместо устройства порога оказалось достаточно уложить продольные деревянные брусья. Установленные фермы соединяются между собой крючками. Подъем и опускание производятся помощью лебедки цепью (указанной выше); другая цепь, соединяющая отдельно каждую пару ферм, служит запасной.

По своим техническим свойствам ферма Томаса является одной из самых удачных конструкций для рек с быстрым повышением горизонта воды, когда вода грозит затопить площадки сооружений и препятствует разборке плотины, вследствие чего при продолжительных паводках нельзя уже пользоваться рекой в ее естественном состоянии.

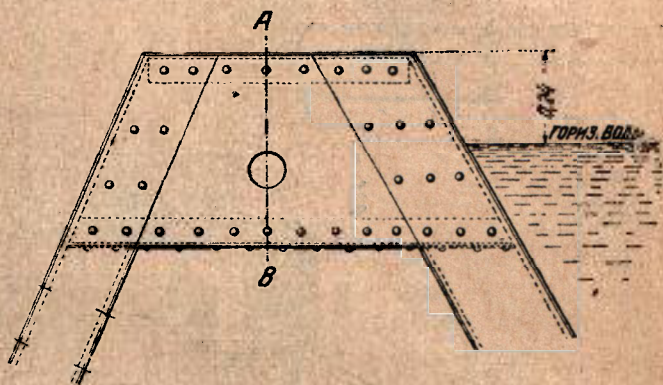


Рис. 431.

С увеличением подпора и высоты фермы ее вес и следовательно стоимость быстро возрастают. Так при высоте фермы 5,16 м вес фермы равен 1 640 кг, а при высоте 7,14 м ферма Томаса весит уже 4 310 кг. Подпор принят равным высоте фермы при толщине ее 0,63 м.

Рис. 429—434 изображают конструкцию фермы Томаса для подпора в 4,27 м.

Расчет фермы Томаса не представляет затруднений. Составив выражения для моментов сил, действующих в сечениях 1—1, 2—2 и 3—3 (рис. 435—436), и найдя выражение для величины потенциальной энергии всей системы, находим лишнюю неизвестную H_1 . При составлении выражения потенциальной энергии продольными силами пренебрегаем, так как это мало влияет на конечный результат. Опорными моментами также пренебрегаем, что идет в запас прочности (очень небольшой, в виду принятой конструкции опор). Кроме моментов сил при определении напряжений принимаем также во внимание продольные силы для тех же сечений.

Влияние собственного веса учитываем отдельно, аналогичным образом найдя моменты сил в тех же сечениях, а также величины продольных сил (рис. 437).

Складывая моменты и силы первой и второй групп, найдем полные моменты и силы для любого произвольного сечения в каждом стержне:

$$M_1, M_2, M_3$$

и

$$T_1, T_2, T_3$$

в функции величины x —расстояния сечения от соответственного узла фермы (рис. 436).

Выражение для потенциальной энергии имеет вид:

$$V = \sum \frac{1}{2E \cdot I_0} \int_0^l M^2 dx \text{ и } \frac{dV}{dH_1} = 0 = \frac{1}{I_1} \int_0^{l_1} M_1 \frac{\partial M_1}{\partial H_1} dx_1 + \frac{1}{I_2} \int_0^{l_2} M_2 \frac{\partial M_2}{\partial H_1} dx_2 +$$

$$+ \frac{1}{I_3} \int_0^{l_3} M_3 \frac{\partial M_3}{\partial H_1} dx_3.$$

Значения $\frac{\partial M_1}{\partial H_1}$, $\frac{\partial M_2}{\partial H_1}$ и $\frac{\partial M_3}{\partial H_1}$ легко найти, взяв частные производные от выражений моментов по H_1 .

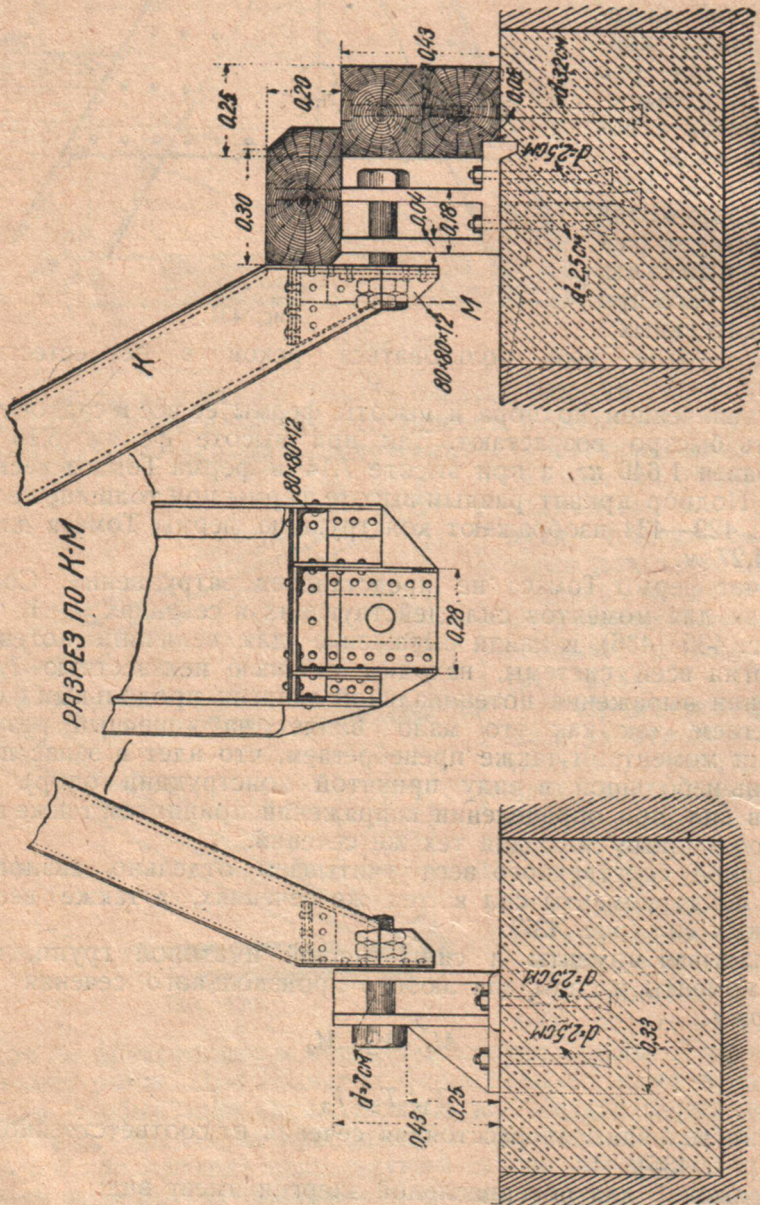


Рис. 431-а.

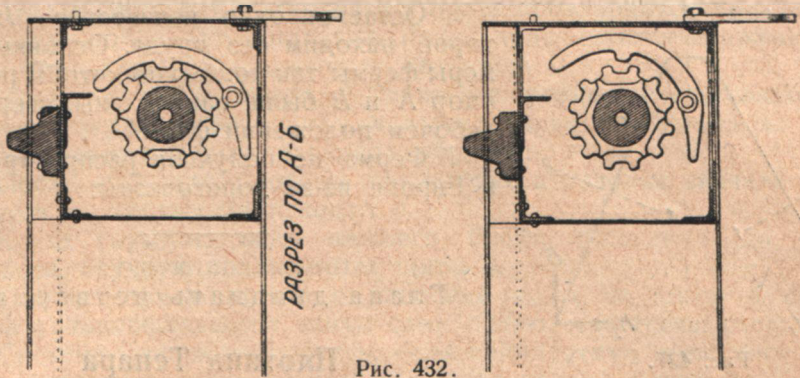


Рис. 432.

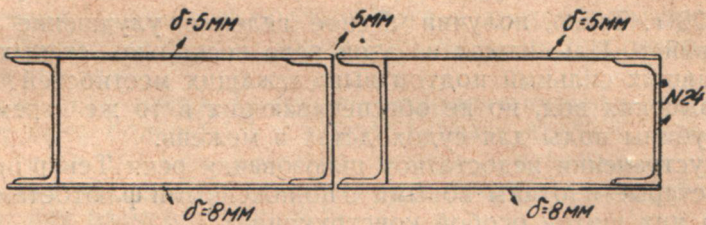


Рис. 433.

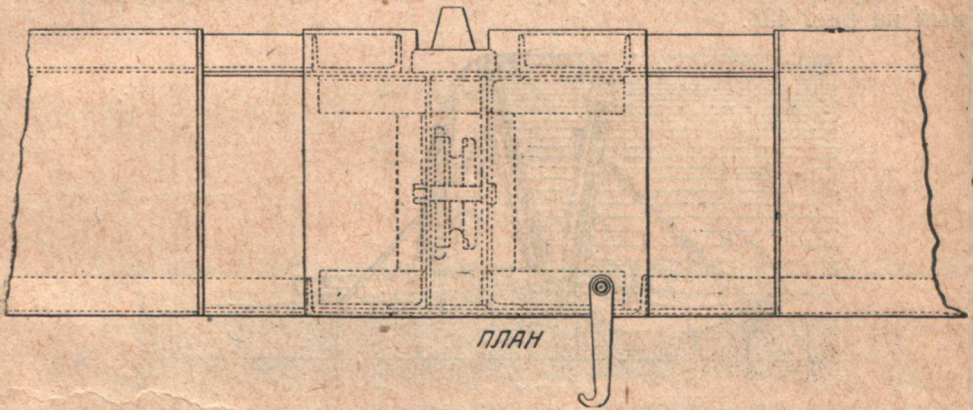


Рис. 434.

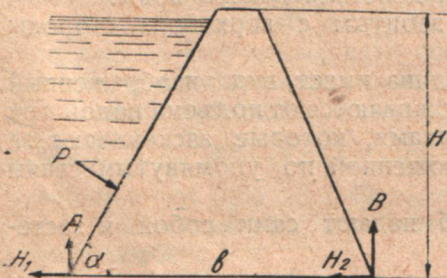


Рис. 435.

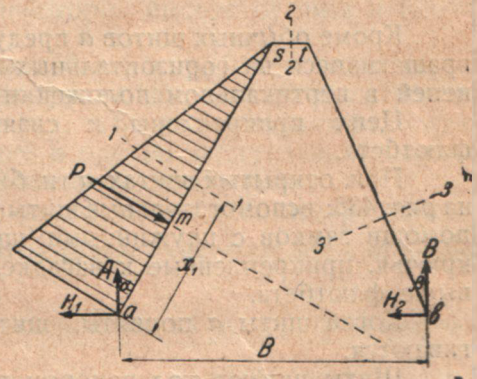


Рис. 436.

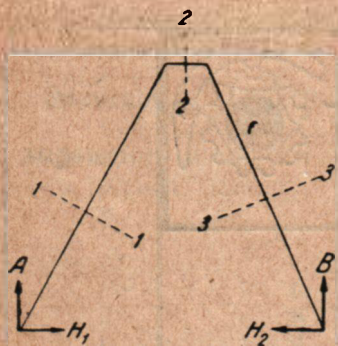


Рис. 437.

Остается одно неизвестное H_1 , которое находим без труда. Основные размеры фермы так подбираем, чтобы реакция опор A и B были направлены вверх при рабочем положении ферм.

Ферма не получила распространения в Европе из-за дороговизны.

Глава двадцать четвертая

Плотина Тенара

В 1828 г. Тенар, получив в свое ведение улучшение судоходных условий р. Иль, нашел на этой реке несколько старых плотин, производивших сильный подтоп вышележащих местностей во время прохода высоких вод, но не обеспечивающих в то же время надлежащей глубины воды для судоходства в межень.

Для устранения недостатков шлюзования реки Тенар предложил заменить старые плотины новыми с пониженными флютбетами, с установкой на них щитов особой конструкции.

Первая плотина была устроена в 1831 г. и имела вид, показанный на рис. 438.

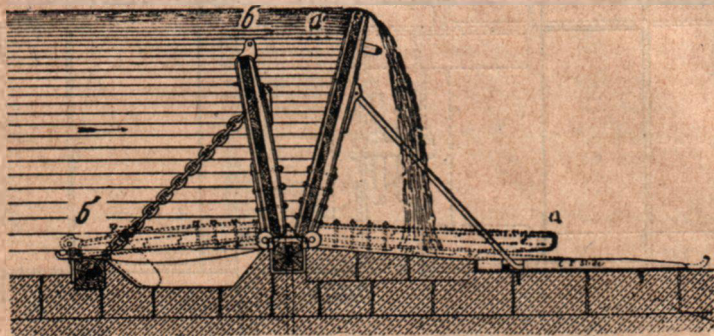


Рис. 438.

Кроме обычных щитов a предусмотрены вспомогательные щиты $б$, вращающиеся на горизонтальных осях и удерживаемые при помощи цепей в вертикальном положении при действии напора воды.

Цепи прикреплены к сваям, забитым с верхней стороны флютбета.

При открытых щитах a и $б$ плотина имеет вид, изображенный на рис. 438; вспомогательные щиты удерживаются от подъема водой при помощи замков с пружинными щеколдами, которые заскакивают за крючья, прикрепленные к насадке, уложенной по упомянутым сваям выше флютбета.

Когда щиты a подняты, щиты $б$ падают сами собой и застегиваются.

Щиты падают под напором воды, если удерживающие их пять подкосов столкнут с упоров.

Сталкивание пят подкосов с упоров производится при помощи горизонтальной рейки с пятками. Рейка приводится в движение зубчатым приводом, расположенным на берегу.

Вспомогательные щиты *б* такую же рейкой отстегиваются от крючьев, удерживающих щиты в горизонтальном положении.

Действует затвор следующим образом.

После открытия плотины для пропуска паводка сначала отстегиваются вспомогательные щиты *б*.

Когда горизонт воды нижнего бьефа понизится до уровня флютбета, вручную поднимаются щиты *а*.

Под действием щитов *а* давление воды на щиты *б* с обеих сторон уравнивается, щиты сами падают и застегиваются.

Система Тенара не годится, если недопустимо временное понижение горизонта воды нижнего бьефа до уровня флютбета.

Система Поаре, в силу указанного недостатка, быстро вытеснила систему Тенара, не удовлетворяя в то же время требованию быстрого пропуска паводка.

Кроме того щиты Тенара по эксплуатационным соображениям не могут быть больше 1,6 м высотой, иначе подъем щитов был бы затруднителен. Правда, плотины Тенара с некоторыми усовершенствованиями нашли себе применение в оросительных работах Индии при больших размерах щитов.

Усовершенствования были внесены инж. Фуракрес.

Глава двадцать пятая

Плотина Шаноана

Описание

При описании плотины Тенара было упомянуто, что система Тенара была вытеснена системой Поаре. Это так.

Между тем затвор системы Поаре не дает возможности быстро пропускать паводки.

Поэтому, усовершенствовав систему Тенара, в 1852 г. Шаноан предложил щиты, вращающиеся на горизонтальных осях, расположенных не внизу щитов, а на некоторой высоте от низа и притом укрепленных в подвижной раме.

Система Шаноана окончательно была выработана и в первый раз применена в 1857 г. и затем получила широкое распространение во Франции, САСШ и других странах, успешно применяясь в случае необходимости пропускать большие и быстро наступающие паводки.

Сущность конструкции заключается в следующем.

Щит вращается около оси, помещенной вблизи центра давления воды, т. е. между $\frac{1}{3}$ и $\frac{1}{2}$ высоты щита, считая от низа его (правильнее—от 0,36 до 0,49 высоты).

Поднятый щит опирается нижней кромкой о порог, устроенный на флютбете.

Горизонтальная ось вращения щита соединена с подкосом и рамой, шарнирно укрепленной во флютбете (рис. 439).

Рама удерживается подкосом, который упирается в чугунный выступ на флютбете.

Щит остается поднятым, пока центр давления воды находится ниже оси вращения щита.

С повышением подпорного горизонта воды и с увеличением давления на более длинную верхнюю часть щит опрокидывается и освобождает отверстие для прохода воды.

Подкосы управляются рейкой, как и в системе Тенара.

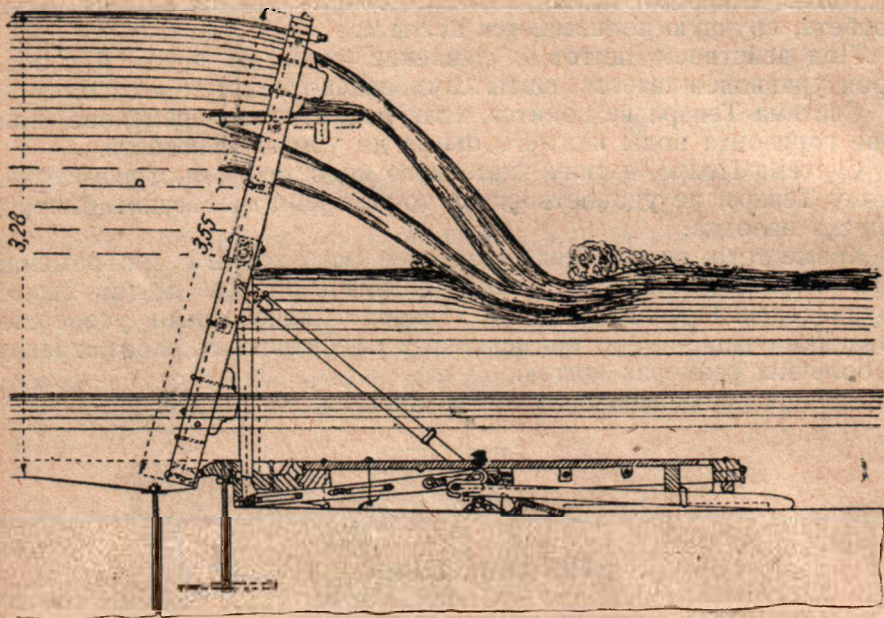


Рис. 439.

Рейка выводит подкос из упора, подкос скользит, и щит падает. Падая, щит встречает слой воды нижнего бьефа, чем уменьшается скорость падения и ослабляется удар.

Подъем и установка опущенных щитов производятся с лодки.

При помощи багра зацепляют крюк с канатом за проушину, заделанную внизу щита.

Навивая канат на ворот, тянут щит против течения, при чем щит, вращаясь на раме, тянет за собой раму и подкос.

Когда последний упрется пятою своею в чугунный выступ, щит опускают, и он силой течения приводится в положение, отвечающее закрытому состоянию плотины.

При тяжелых щитах и больших подпорах маневры с лодки становятся затруднительными.

Поэтому приходится устраивать впереди плотины служебный мостик из ферм Поаре облегченного типа (рис. 440).

Все манипуляции производятся со служебного мостика, который по миновании надобности разбирается подобно тому, как разбирается плотина Поаре.

Описанный затвор Шаноана не может сам притти в прежнее положение после прохода паводка.

После нескольких попыток достигнуть полной автоматичности действия затвора Шаноан отказался от этой мысли.

Необходимо обратить особое внимание на положение оси вращения щита.

Если она совпадает с центром давления, то щит совсем неустойчив и при самом незначительном повышении горизонта воды щит опрокидывается.

Если ось вращения расположена посреди высоты щита, щит не опрокинется ни при каком повышении горизонта воды.

Преувеличенная чувствительность щита к повышению горизонта воды представляет существенные неудобства.

Если один или несколько щитов почему-либо перевернутся, вода в нижнем бьефе займет высший горизонт, вследствие чего падают и другие щиты.

Происходит неожиданный паводок.

Так в 1879 г. на Верхней Сене щиты Шаноана падали сами 202 раза в течение 215 дней своей работы¹.

Практика дает указание, что нижняя часть щита часто делается около 0,36 всей его длины, если порог флютбета поднять; при пониженном флютбете нижняя часть достигает 0,49 общей длины.

Естественно, в каждом отдельном случае необходимо расчетом найти выгоднейшее соотношение верхней и нижней частей щита, руководствуясь приведенными данными лишь предварительно.

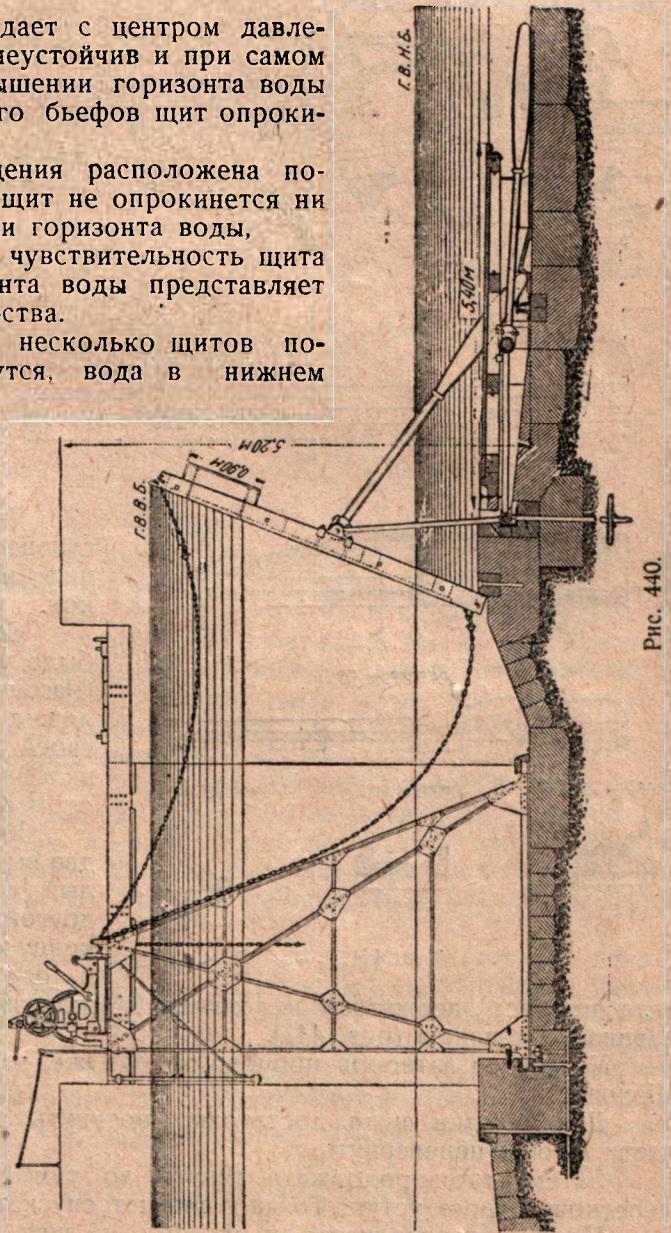
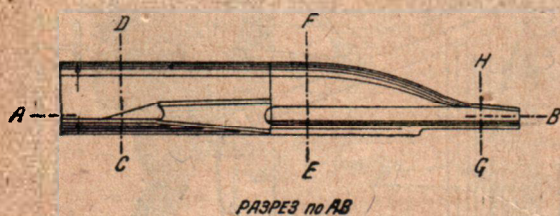
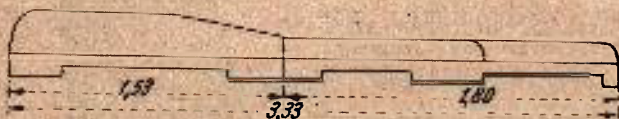
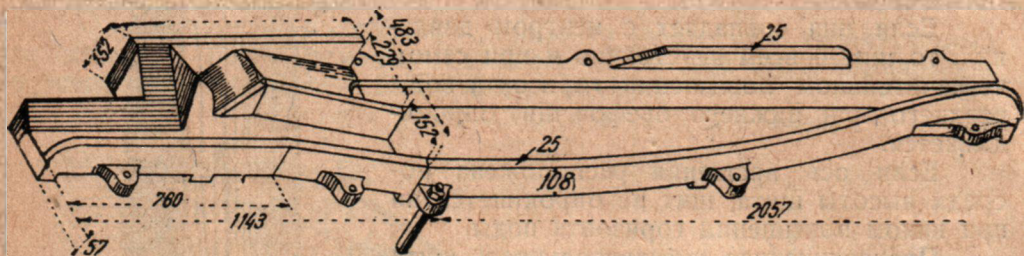


Рис. 440.

¹ Справедливость требует отметить, что все подобные случаи — в далеком прошлом; теперь о них не слышно.

Наличие рейки на катках, выводящей подкосы из их упоров,— крупный недостаток затвора Шаноана, так как плохо действует, быстро срабатывается и требует частого ремонта.



РАЗРЕЗ ПО CD

РАЗРЕЗ ПО EF

РАЗРЕЗ ПО GH



Рис. 441.

пята подкоса держаться не может и скользит по коробке вбок и вниз по течению (рис. 441).

Установка затворов происходит так же, как и в случае коробки Шаноана.

Для укладки щита достаточно потянуть за цепь нижней его части, чтобы перевернуть.

Затем надо продолжать тянуть до тех пор, пока подкос не перескочит через уступ. Тогда начинают спускать цепь.

Подкос направляется к желобу, и щит плавно ложится на флютбет.

С устранением рейки щиты становятся независимыми друг от друга.

Плотины системы Шаноана распространены в Америке, Франции и Голландии.

Различные усовершенствования рейки не устранили крупных ее недостатков.

Серьезное улучшение было введено инж. Паско (Pasqueau), который предложил упорную коробку своей системы, при чем надобность в рейке при этом отпала.

Коробка Паско имеет два выступа: один полукруглый (в плане)—упорный, а другой (ближе к верховому концу коробки)—наклонный к оси коробки; на нем

Щиты Шаноана имеют между собой зазор в 0,1—0,05 м и по водонепроницаемости занимают среднее положение между спицевыми и щитовыми затворами ферм Поаре.

Зазоры между щитами легко перекрыть рейками, хотя наличие реек — недостаток плотины, так как усложняется маневрирование затворами.

Сумма расходов через зазоры должна быть во всяком случае меньше остающейся части меженного расхода реки по использованию его для других надобностей.

Коробка Паско, внося усовершенствование в конструкцию затвора Шаноана, в то же время лишила ее одного из достоинств: быстрого открытия отверстий плотины при помощи рейки.

Так в Melun на Верхней Сене пролет в 65,1 м открывался в 5,25 мин. благодаря наличию рейки.

Плотина Mulatière у г. Лиона на р. Saône имеет пролет 103,6 м и открывалась в 4,5 часа при помощи маневров со служебного мостика (коробка Паско).

Приведенные примеры ярко иллюстрируют достоинства рейки в смысле быстроты освобождения отверстия плотины.

Быстроту открытия особенно приходится ценить при появлении льда.

Сохраняя за щитами Шаноана автоматичность действия при пропуске паводка, все же лучше уменьшать чувствительность щитов, создавая более удобные условия эксплуатации плотины.

Теперь относительно служебного мостика из ферм Поаре.

Мостик улучшает условия эксплуатации, но является все же недостатком системы Шаноана¹, так как вызывает уширение флют-бета, а также расходы на устройство самых ферм, которые делаются все же достаточно солидными, далеко не в соответствии с вертикальной нагрузкой, выдерживаемой ими; это вызывает неблагоприятными условиями работы ферм при подъеме их и опускании, вследствие чего фермы получают по весу близкими к фермам со спицевыми затворами. Однако распространение в САСШ плотин Шаноана связано с отказом от мостика, так как существуют плотины Шаноана и без служебного мостика; маневры производятся с помощью судна (на плаву)².

Необходимо упомянуть о применении в щите Шаноана (вверху) особого щитка, позволяющего регулировать небольшие расходы (рис. 439). Опыт их устройства показал, что щитки хороши при управлении вручную, но не при автоматическом действии. Основное назначение их сначала было — возвращать щиту устойчивость при некоторых колебаниях горизонта верхнего бьефа. Плотина Шаноана — рациональная конструкция, успешно применяемая по настоящее время в САСШ.

Расчет затвора Шаноана

Высота гребня щитов. Гребень щитов располагают как раз на уровне подпорного горизонта без всякого запаса, так как он

¹ Этот недостаток теперь устранен путем отказа от него при использовании иного приема маневрирования.

² Американцы находят этот прием достаточно удобным и единственно целесообразным при обилии плавающих тел; перекрываемое отверстие может иметь при этом сотни метров.

не нужен, а был бы скорее вреден, вызывая затрату лишних усилий при маневрировании щитом.

Расстояние между щитами. Расстояние между щитами, как было выше упомянуто, не должно быть чрезмерно большим и во всяком случае должно отвечать части меженного расхода, остающегося неиспользованным в реке.

Обычно берут зазор между щитами в 0,05—0,1 м.

Расход воды через элемент щели adx выше горизонта нижнего бьефа равен:

$$dq_1 = \mu \cdot \frac{adx \sqrt{2gx}}{\sin \alpha}$$

$$q_1 = \frac{\mu \cdot a}{\sin \alpha} \int_0^H \sqrt{2gx} \cdot dx = \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu a H}{\sin \alpha} \sqrt{2gH} \quad (\text{рис. 442}).$$

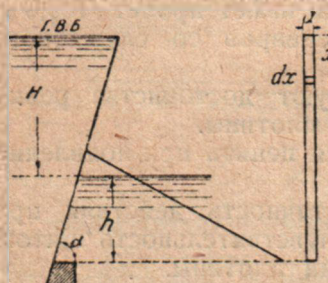


Рис. 442.

Расход через всю часть щели ниже горизонта нижнего бьефа:

$$q_2 = \frac{ua h}{\sin \alpha} \sqrt{2g \cdot H}.$$

Весь расход через щель равен:

$$q = q_1 + q_2 = \left(\frac{2H}{3} + h \right) \frac{ua \sqrt{2gH}}{\sin \alpha}.$$

Принимая $\mu = 0,6$ и число щелей равным N , найдем общий расход чрез все отверстие плотины, закрытое щитами Шаноана:

$$Q = 0,6 \cdot N \left(\frac{2 \cdot H}{3} + h \right) \frac{\sqrt{2gH}}{\sin \alpha} \cdot a.$$

В действительности расход может оказаться меньше; μ может оказаться не больше 0,4—0,5.

Пример—рис. 443, когда имеем двойное сжатие струи между швеллерами: в больших щитах металл необходим.



Рис. 443.

Ширина щитов. Ширина щитов зависит от принятой конструкции и от подъемной силы, которую можно располагать при маневрах.

На верхней Сене щитам в 2,00 м высоты давали ширину в 1,3 м
 " " " " 3,00 " " " " 1,2 "
 " " " " 3,83 " " " " 1,0 "

На Saône щитам в 3,62 м длины давали ширину в 1,1 м.

Таким образом ширина берется в зависимости от высоты, чтобы не повышать чрезмерно статического давления на щиты, пропорционального $B \cdot K^2$, где B —ширина щита и K —его высота.

Положение оси вращения щита. Рассмотрим отдельный щит в закрытом положении (рис. 444).

Пусть H —величина его вертикальной проекции,

α —угол, составляемый им с вертикалью,

u —толщина слоя воды, переливающейся через гребень щита,

h —превышение горизонта нижнего бьефа над подошвой щита.

Давление на 1 м ширины щита со стороны верхнего бьефа
 $P_1 = \frac{H(H+2u)}{2 \cos \alpha}$ — все в тоннах и метрах.

Момент этого давления относительно подошвы щита равен:
 $M_1 = \frac{H^2(H+3u)}{6 \cos^2 \alpha}$, так как плечо момента равно $\frac{H}{3} \frac{H+3u}{(H+2u) \cos \alpha}$.

Давление с низовой стороны равно на 1 п. м ширины щита
 $P_2 = \frac{h^2}{2 \cos \alpha}$, и момент этого давления относительно подошвы щита равен
 $M_2 = \frac{h^3}{6 \cos^2 \alpha}$.

Равнодействующая давлений P_1 и P_2 равна:

$$P_1 - P_2 = \frac{H(H+2u) - h^2}{2 \cos \alpha}.$$

Расстояние точки приложения равнодействующей от подошвы щита:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{P_1 - P_2} = \frac{H^2(H+3u) - h^3}{3 \cos \alpha [H(H+2u) - h^2]}.$$

В судоходных отверстиях плотин затворы Шаноана не должны вращаться сами собой во избежание нежелательных последствий (обмеление верхнего бьефа, сильное течение перед плотиной, опасное для судов, и т. п.).

Так как величины h и u колеблются и нельзя установить точные их значения, то Lagrené советует давать h максимальное значение, которое оно вообще может иметь, т. е. принять

$$h = H.$$

Тогда выражение для t обратится в другое:

$$t = \frac{H}{2 \cos \alpha},$$

т. е. при всякой величине u равнодействующая $P_1 - P_2$ всегда проходит через середину щита.

На этой высоте Lagrené и советует располагать ось вращения щита в судоходных отверстиях, указывая, что возвышение оси щита в $\frac{5}{12}$ длины оказалось недостаточным на Марне, Ионне и В. Сене.

В водосливных отверстиях щиты должны автоматически открываться при повышении подпорного горизонта на определенную, заранее заданную величину на случай недосмотра.

Установку щитов рациональнее производить со служебного мостика.

Гребень щитов лучше располагать в уровне подпорного горизонта.

Мы нашли, что

$$t = \frac{H^2(H+3u) - h^3}{3 \cos \alpha [H(H+2u) - h^2]}.$$

Так как h не вполне определенная величина, а меняющаяся, то точного расчета быть не может.

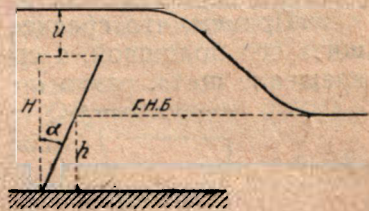


Рис. 444.

Угол наклона щита. Выясним, при каком угле наклона происходит наиболее выгодное распределение усилий в подкосе, раме и самом щите.

Пусть $\angle JAO = \alpha$ (рис. 446).

$\angle ODK = \beta$, где

AO — плоскость щита,

OB — „ рамы,

OD — ось подкоса,

KD — вертикаль.

H — вертикальная проекция установленного щита,

l — длина щита, равная $\frac{H}{\cos \alpha}$,

Q — нормальное к плоскости щита давление, передающееся через ось щита,

S — составляющая силы Q по линии подкоса OD

T — „ „ в плоскости OB (плоскость рамы),

u — толщина переливающегося слоя воды.

Невыгоднейший случай имеем, когда со стороны нижнего бьефа нет давления на щит.

Выше мы нашли:

$$M_1 - M_2 = \frac{H^2(H + 3u) - h^3}{6 \cos^2 \alpha}$$

При $h = 0$ получим:

$$M_1 - M_2 = \frac{H^2(H + 3u)}{6 \cos^2 \alpha}$$

Если щиты устроены в судоходной части плотины, то ось вращения щита помещается в середине щита, и

$$Q = \frac{2 \cdot H^2 \cdot (H + 3u)}{6 l \cos^2 \alpha} = \frac{2H^2 \cos \alpha (H + 3u)}{6 H \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{H(H + 3u)}{3 \cos \alpha}$$

Рама OB обычно составляет с вертикалью угол в 5° , наклоненный в сторону верхнего бьефа.

При таком расположении рамы легче установка подкоса, так как центр тяжести щита при этом выше по течению нижней оси B вращения рамы. Длины AB и OB выразим через H .

$$AB = \frac{H}{2} \cdot \frac{\sin(\alpha + 5^\circ)}{\cos \alpha \cdot \cos 5^\circ} \quad \text{и} \quad OB = \frac{H}{2 \cos 5^\circ}$$

Величина BD определяется следующим образом.

Отложим от точки B величину $BC = OB$.

На протяжении BC ляжет рама при уложенном щите.

Для рейки берем $0,5 - 0,6$ м вправо от точки C . Получим точку D — начало упорной коробки и точку опоры подкоса.

Пусть $CD = b$.

Тогда

$$OB = \frac{H}{2 \cos 5^\circ}$$

$$BD = \frac{H}{2 \cos 5^\circ} + b$$

$$\frac{OB}{BD} = \frac{\sin \beta}{\cos (\beta - 5^\circ)},$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{\cos 5^\circ} + \operatorname{tg} 5^\circ + \frac{2b}{H}.$$

Если предположить, что угол α изменяется при постоянной величине H и неизменном положении точки A , то треугольник BOD лишь переместится параллельно себе, скользя по основанию AD .

Следовательно при заданной величине H и высоте оси вращения $\frac{H}{2}$ имеем тем самым уже заданными наклон и длину рамы и подкоса, а меняя угол α , изменим только длину l щита и толщину порога AB .

Найдем величины S и T сил, действующих по оси подкоса и в плоскости рамы.

$$S = Q \cdot \frac{\cos (\alpha + 5^\circ)}{\sin (\beta - 5^\circ)}$$

и

$$T = Q \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\sin (\beta - 5^\circ)}.$$

Подставив вместо Q величину

$$\frac{H(H + 3u)}{3 \cos \alpha},$$

получим;

$$S = \frac{H(H + 3u) \cdot \cos (\alpha + 5^\circ)}{3 \sin (\beta - 5^\circ) \cdot \cos \alpha}$$

и

$$T = \frac{H(H + 3u) \cdot \cos (\alpha + \beta)}{3 \sin (\beta - 5^\circ) \cdot \cos \alpha}.$$

Максимум T и S получится при $\alpha = 0$.

С увеличением угла α величины T и S уменьшаются до 0, затем переходят в отрицательные и наконец обращаются в бесконечность при $\alpha = 90^\circ$.

Сила T вырывает раму; T равно 0 при $\alpha + \beta = 90^\circ$.

При этом случае подкос перпендикулярен щиту. Длина $l = \frac{H}{\cos \alpha}$ получается при этом слишком большой и невыгодной.

Нельзя дать общее правило для выбора угла α .

Довольно хорошие результаты получаются, если дать α значение, равное половине того, при коем $T = 0$.

Лучше всего каждый раз исследовать вопрос, составив таблицу значений величин l , Q , S и T при α от нуля до $\alpha = 90 - \beta$.

Величина M таблицы равна

$$\frac{H^2 \left(\frac{H}{2} + 3u \right)}{24 \cos \alpha}$$

Таблица могла бы иметь вид:

α	I	Q	S	T	M
0°					
5°					
10°					
15°					
—					
—					
—					
—					
—					
$(90 - \beta)$					

и выражает максимальный изгибающий момент в свешивающейся части щита.

Рассмотрим тот же вопрос в случае применения щитов Шаноана в водосливной части плотины.

Рис. 445 изображает схему затвора для этого случая.

Раньше мы нашли величину момента верхового давления воды на щит (низовым давлением пренебрегаем).

Она равна

$$\frac{H^2 (H + 3u)}{\cos \alpha}$$

Так как в нашем примерном расчете

$$AO = \frac{0,37 \cdot H}{\cos \alpha} = 0,37 l,$$

то

$$Q = \frac{H^2 \cdot (H + 3u)}{6 \cos \alpha} \cdot \frac{\cos \alpha}{0,37 H} = \frac{H \cdot (H + 3u)}{2,22 \cos \alpha}.$$

При вертикальной раме

$$S = Q \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} = \frac{H(H + 3u)}{2,22 \sin \beta}$$

и

$$T = Q \cdot \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\sin \beta} = \frac{H(H + 3u) \cdot \cos (\alpha + \beta)}{2,22 \cos \alpha \cdot \sin \beta}.$$

BD должно равняться длине рамы OB плюс около $0,4$ м для пропуска рейки.

Значит

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,37 H + 0,4 \text{ м}}{0,37 \cdot H}$$

При $\alpha + \beta = 90^\circ$ усилие $T = 0$, но щит и свешивающаяся его часть получают недопустимо большими,

По Lagrené надо брать α как и в судоходных отверстиях, т. е. равное половине того, при коем $T = 0$; другими словами:

$$\alpha = \frac{1}{2} (90 - \beta).$$

Расчет щита. Каждый щит состоит из 2—4 длинных деревянных ребер (рис. 447—448), соединенных деревянными поперечинами.

Пусть r —радиус сечения подкоса (подкосы обычно делаются круглые), ε —эксцентриситет, m_1 —добавочное напряжение в подкосе в силу эксцентриситета.

Изгибающий момент равен $S \cdot \varepsilon$; момент сопротивления подкоса:

$$W = \frac{\pi r^3}{4}$$

и

$$S \cdot \varepsilon = m_1 \cdot \frac{\pi r^3}{4}$$

откуда

$$m_1 = \frac{4 \cdot S \cdot \varepsilon}{\pi \cdot r^3}$$

Напряжение m_1 надо прибавить к основному напряжению.

$$m = \frac{S}{\pi \cdot r^2}$$

Полное напряжение в подкосе равно:

$$m + m_1 = \frac{S}{\pi r^2} \left(1 + \frac{4\varepsilon}{r} \right)$$

При $\varepsilon = r$ напряжение в подкосе становится в 5 раз больше напряжения при центральном действии силы S . Отсюда видим, насколько важно значение эксцентриситета.

Рама. Рама обычно имеет трапециoidalную форму (рис. 448-а) и состоит из двух стоек и ряда поперечин.

Верхняя поперечина служит осью вращения щита, а нижняя— осью вращения самой рамы. Рама испытывает вытягивающие усилия, но подержана также ударам (см. выше).

При подъеме лежащего щита стойки рамы (вместе) сжимаются силой, равной равнодействующей двух сил: веса всего затвора в целом и натяжения цепи, поднимающей щит.

Величина T выше была найдена. Сделав поверку на растяжение, все же сравниваем полученные размеры с размерами стоек рам благополучно существующих плотин.

Это приходится сказать и о подкосе—в виду недостаточной определенности величин возникающих усилий.

Верхняя поперечина рассматривается как балка, закрепленная в середине. К каждой половине поперечины приложены две силы: сила $\frac{Q}{2}$, перпендикулярная плоскости щита, и $\frac{T}{2}$ —растягивающая стойку рамы.

Пусть n_1 —расстояние между осью рамы и точкой пересечения оси стойки с осью вращения; n_2 —расстояние между осью рамы и серединой шипа. Имеем два момента сил, действующих на поперечину

Первый момент равен $\frac{T}{2} \cdot n_1$ и второй момент $\frac{Q \cdot n_2}{2}$.

M равнодействующий равен:

$$\sqrt{\left(\frac{T \cdot n_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q \cdot n_2}{2}\right)^2} + \frac{T \cdot Q n_2}{2} \cos \delta,$$

где δ —угол между осями моментов. Шипы необходимо повернуть на срезывание. Остальные части конструкции берутся по имеющимся образцам существующих конструкций, за исключением тех, что могут быть найдены простым расчетом.

Рис. 449—450 изображают металлические щиты Шаноана, запроектированные для шлюзования р. Оки, но, к сожалению, не осуществ-

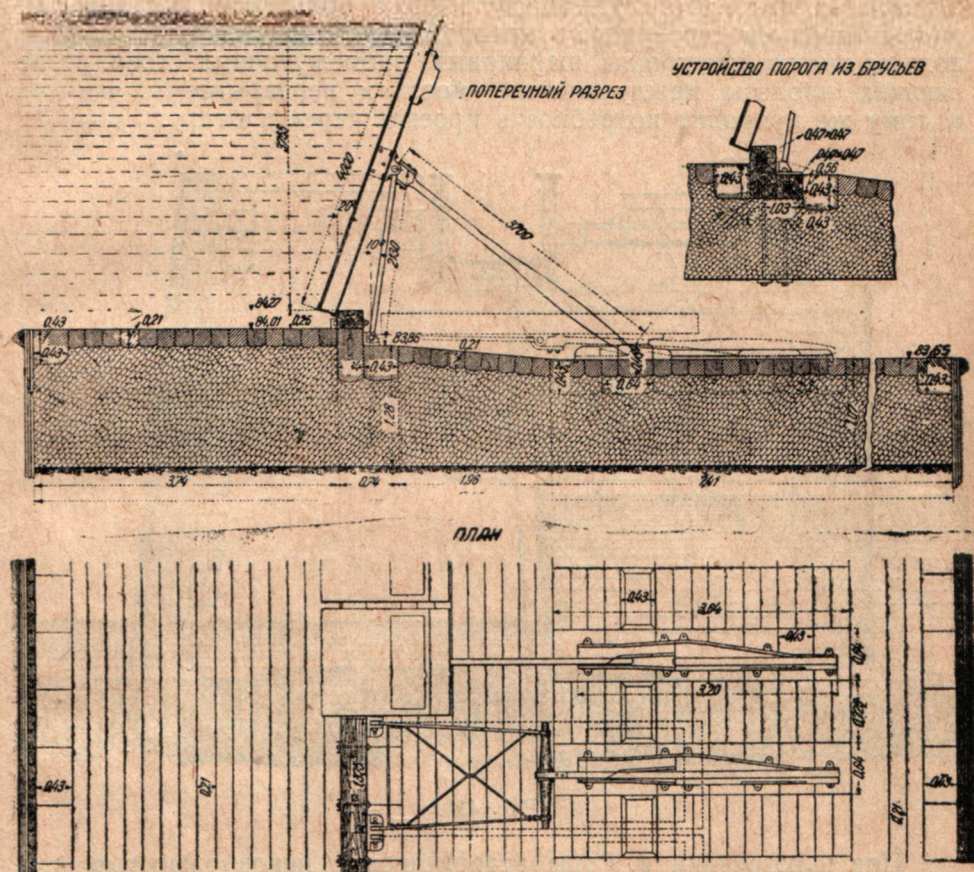


Рис. 449.

зленные: постройка плотины или пролета плотины Шаноана в нашей стране обогатило бы нашу техническую мысль опытом применения данной конструкции, весьма оцененной в Америке, где в настоящее время успешно работают 52 плотины Шаноана (!).

Наибольший пролет, перекрываемый в настоящее время щитами Шаноана, равен 365 м (р. Огайо).

Интересный обзор применения щитов Шаноана в САСШ и Европе дан в 1929 г. проф. В. Е. Тимоновым в его статье „Новейшие применения плотин системы Шаноана в Европе и Америке и их перспективы в СССР“¹.

¹ Труды МИИТ'а, вып. XI, 1929 г.

Глава двадцать шестая

Мостовые плотины

Если требуется получить над уровнем воды при поднятых щитах большую высоту свободного сечения, то сооружают мостовые плотины, т. е. вместо служебных мостиков пользуются мостами с солидным верхним строением, с которого производится вертикальный подъем щитов или уборка шарнирных промежуточных стоек, разделяющих пролеты между быками моста и перекрываемых щитами. К тому же приводит потребность проезда через плотину.

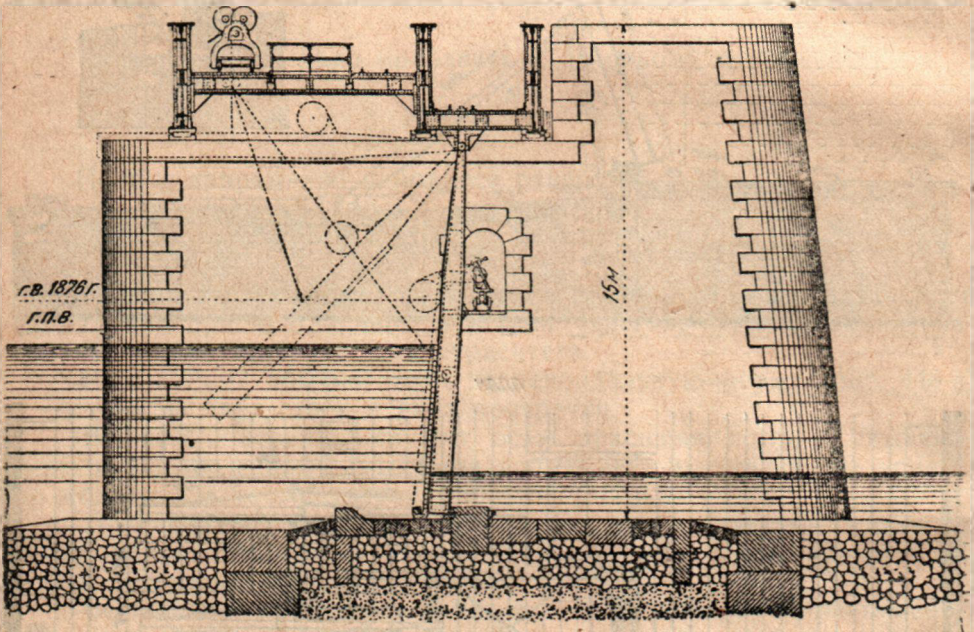


Рис. 451.

При шлюзовании р. Роны встретились с невозможностью применить фермы Поаре в виду большого количества крупных наносов, которые несет р. Рона.

При таких обстоятельствах пришлось отказаться от применения затворов, складывающихся на флютбете при их открытии.⁴

В силу изложенного пришлось строить мостовую плотину со спускающимися с моста стойками, одним концом шарнирно прикрепленными к поясу моста, а другим опирающимися на порог флютбета плотины.

Примером такого сооружения является плотина на р. Сене у Поз.

Подпор плотины равен 4,18 м (рис. 451).

Плотина имеет 7 пролетов с разной глубиной заложения порога: от 3 до 5 м ниже подпорного горизонта.

Пролеты образованы быками, имеющими толщину 4 м, поддерживающими мост балочной системы.

В нижней части моста прикреплена горизонтальная ось, вокруг которой вращаются стойки, упирающиеся в порог в положении, почти вертикальном.

Стойки соединены вместе по 4 и образуют рамы.

На рамы надеваются шарнирные шторы, образующие затвор.

Чтобы открыть пролет, надо свернуть шторы и поднять рамы к верховому месту. Пролет освобождается.

На маневровом мосту уложены два рельсовых пути: один предназначен для передвижения лебедки, управляющей рамами, а другой — для передвижения крана, поднимающего и опускающего шторы.

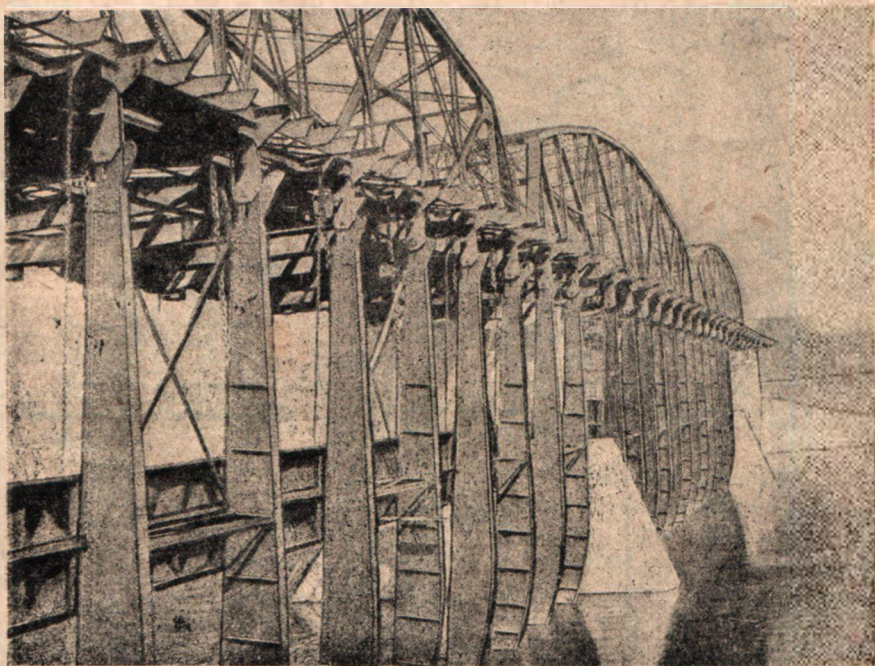


Рис. 452.

Нижний мост (рис. 451, правый мост) воспринимает горизонтальные усилия, вызываемые давлением воды на шторы и следовательно на стойки.

Рельсовый путь на нижнем мосту служит для передвижения домкрата для поднятия рам.

Длина стоек—11,62 м при уклоне в 0,005 м на 1 п. м длины.

Стойки соединены попарно при общей ширине в 0,91 м.

Расстояние в чистоте между соседними парами стоек равно 0,25 м.

Две пары стоек составляют раму, связанную четырьмя поперечинами из углового и листового железа.

Со стороны нижнего бьефа на 1 м выше горизонта верхнего бьефа устроен служебный мостик с рельсовым путем по нему. Мостик может быть убран вместе со стойками, так как он соединен с ними шарниром.

Расстояние между рельсами равно 0,55 м.

По рельсовому пути перемещается лебедка, маневрирующая шторами.

Для открытия пролета плотины сначала наматывается штора при помощи лебедки со служебного мостика.

Затем выступает лебедка верхнего моста для маневров с рамами.

С лебедки отпускают цепи.

Рабочие на служебном мостике захватывают концы цепей и прикрепляют их к раме.

Мостик также закрепляется на рамах.

Лебедка пускается в ход.

Поднятая рама прикрепляется к настилу при помощи цепей.

Цепи лебедки освобождаются, и лебедка передвигается дальше.

Средняя продолжительность маневра с рамами равна для ручной лебедки:

Поднятие—30 мин.

Спуск —10,5 „

Для паровой лебедки:

Поднятие—13,5 мин.

Спуск — 9,5 „

При электрической лебедке продолжительность маневров еще уменьшается.

В случае нагромождения льда при глухой конструкции опор стоек подъем рам был бы весьма затруднителен, а иногда даже невозможен.

Конструкция на этот случай предусматривает возможность движения вверх концов оси в особых вертикальных салазках.

Длина салазок дает возможность приподнять раму, чтобы нижний конец стоек мог освободиться от порога, в который он упирается.

Рамы отгибаются в сторону нижнего бьефа, и лед может быть пропущен.

Поднятие рам происходит домкратом, установленным на тележке, перемещающейся на нижнем маневровом мосту.

Мостовые плотины отличаются дороговизной.

Капитально устроенная мостовая плотина должна обеспечивать максимальный габарит, необходимый для прохода судов.

Следовательно она должна быть очень высока.

В таких случаях, правда, прибегают иногда к устройству поворотных мостов, освобождающих пролет после уборки затворов плотины (канал St-Mary в Сев. Америке, Панамский канал), что придает конструкции большую целесообразность.

Рис. 452 изображает мостовую плотину на Нью-Йоркском Barge Canal.

Несмотря на встречающиеся в литературе отзывы отрицательного свойства об экономической целесообразности применения мостовых плотин, фактически в данное время этот тип сооружения достаточно оценен и признан как позволяющий иметь на судоходной реке подпор до 5 м и более при полном освобождении отверстия в паводок.

Следовательно мостовая плотина на судоходной реке имеет огромное преимущество, выдвигающееся на первый план при относительно высоких берегах, позволяющих иметь подпор более 4 м,

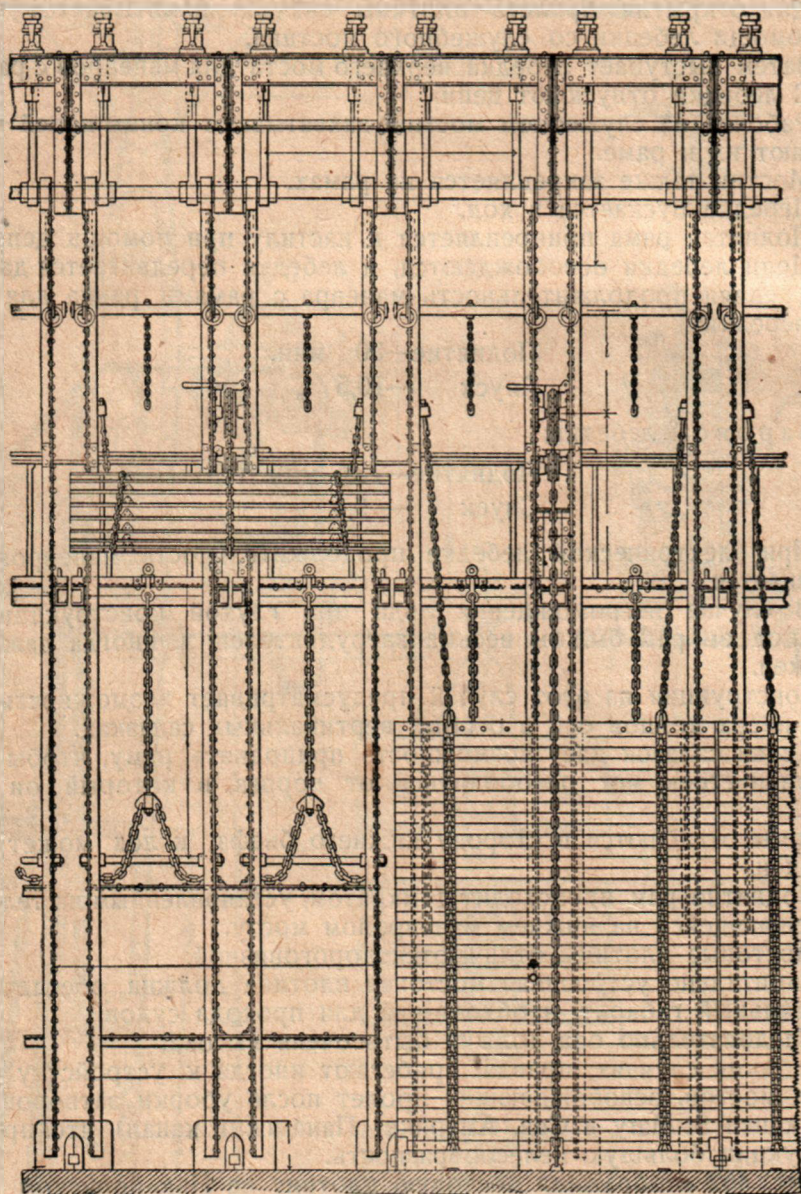


Рис. 454.

в особенности при необходимости получить одновременно и сообщение между берегами. При этом порог плотины может быть расположен на отметке дна реки; другими словами при подпоре 5 м и более имеем отличное решение в случае потребности в разборчатой плотине, когда плотины Поаре и Шаноана не применяются.

Комбинация с сегментным затвором дала прекрасное решение для р. Одера (см. „Щитовые плотины“), позволяя удешевить плотину и иметь хорошее судоходное отверстие шириной 53,4 м.

В заключение приведем таблицу данных о применении мостовых плотин.

Название места	Высота шита над порогом в м	Пролеты в м
Scotia	5,80	1 · 64 + 2 · 45,6
Rotterdam	6,10	1 · 64 + 2 · 45,6
Cranes Village	6,10	1 · 54,8 + 2 · 45,6
Amsterdam	4,10	1 · 64 + 2 · 54,8
Tribes	6,86	2 · 73
Iosts	5,48	2 · 54,8
Canajoharie	4,88	2 · 64
Fort Plain	5,48	2 · 64
Ransern	4,60	53,40
Grave (Maas)	4,80	1 · 63,86 + 2 · 51,76

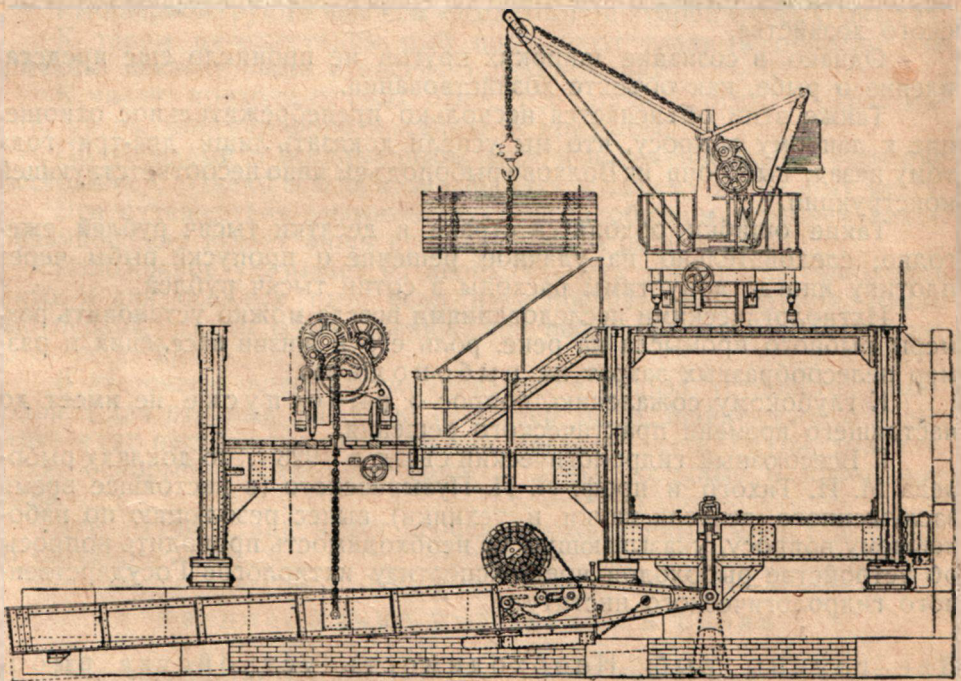


Рис. 455.

Современные мостовые плотины снабжаются стойками, по две соединенными в одну раму для увеличения жесткости стоек при длине их до 16 и более метров, при весе каждой стойки до 15 и более тонн.

Для освобождения отверстия можно поступить тройким образом: поднять щиты и подвесить их вверху; поднять щиты, а затем вместе с ними стойки; отклонить стойки со щитами вниз по течению на случай внезапного паводка (см. „Эволюция щитового затвора“).

Рис. 453—455 иллюстрируют применение штор Камере (см. „Плотины Поаре“) для мостовой плотины.

Остается добавить, что более совершенной конструкцией мостовой плотины надо назвать таковую, примененную на р. Одере, а не со шторами Камере, не дающими никаких преимуществ, а, наоборот, капризными в эксплуатации.

Глава двадцать седьмая

Дополнительные устройства при плотине

1. Рыбоходы

Широкие круги технических и хозяйственных работников ныне уже отчетливо представляют ту взаимную связанность вопросов, что наблюдается при разрешении сложных водохозяйственных задач, когда переплетаются интересы судоходства, энергетики, мелиорации и сельского хозяйства.

Однако в сознание широких кругов не проникло еще представление о рыбе, как объекте хозяйствования.

Также этим объясняется несколько пренебрежительное отношение к данному вопросу, что мы успели доказать лишь два-три года тому назад, выстроив на Волхове рыбоподъем явно несоответствующей конструкции.

Такие ошибки обходятся стране в десятки тысяч рублей ежегодно; следовательно на удачное решение о пропуске рыбы через плотину иногда допустимы расходы в сотни тысяч рублей.

Ихтиологическими исследованиями всегда можно установить размеры рыбного промысла на реке, роль его в жизни населения и размер целесообразных затрат на рыбоподъем.

К глубокому сожалению, вопрос о рыбоспуске не имеет до настоящего времени практического решения.

II Всесоюзный гидрологический съезд в 1928 г. по докладу рыбоведа М. И. Тихого и проф. Н. П. Пузыревского (в настоящее время заслуженного деятеля науки и техники) вынес резолюцию по наиболее важному вопросу, указывающую на необходимость проводить вопросы об устройстве рыбоходов чрез экспертизу ихтиологов Государственного гидрологического института.

Две группы рыб. Необходимость устройства рыбоходов для обеих групп

Современные условия проектирования водоподъемных плотин в большинстве случаев не позволяют пренебречь интересами рыбоводства.

Обычное в русской практике стремление обойти вопрос об устройстве при плотинах рыбоходов или отделаться случайной кон-

струкцией подкреплялось нередко тем соображением, что рыба будто бы чаще всего не может попасть в рыбоход, который в силу этого оказывается выстроенным понапрасну (см. например Бюллетень № 4 по шлюзованию р. Сев. Донца).

Нельзя отрицать фактов неудачного расположения в плотине рыбоходов, а также несоответствующей конструкции их, но необходимо помнить, что при удачном расположении рыбоходов как показал опыт, рыба интенсивно пользуется приспособлениями для перехода из одного бьефа в другой, если конструкция рыбоподъема соответствующая.

Трудность удачного решения вопроса в каждом отдельном случае зависит от незнакомства строителей с привычками рыб и от недостаточного тщательного изучения гидрологических особенностей данного участка реки.

Там, где справлялись с этими трудностями, рыбоходы прекрасно выполняли свое назначение уже чрез несколько часов по их устройстве.

В зависимости от времени года, изменений горизонта воды и других причин рыба передвигается вверх или вниз по течению.

Однако для одной группы рыб характерны передвижения на короткие и дальние расстояния, с возвращением на свои родные места, а для другой — передвижения на очень большие расстояния от истоков рек в моря и наоборот.

Рыб первой группы назовем «оседлыми», а второй — «проходными».

К таким путешествиям рыб побуждают главным образом две причины: искание пищи и инстинкт размножения.

К числу проходных рыб относятся: лосось, осетр, речная минога, угорь, морская форель, сельдь и др. рыбы.

Полуоседлые и оседлые рыбы хотя и перемещаются на большие расстояния¹, однако всегда возвращаются к своему исходному месту.

Эти путешествия вызываются главным образом исканием пищи, а размножение играет лишь второстепенную роль.

Изложенное указывает на необходимость устройства рыбоходов также и для оседлых рыб, если путь прегражден плотиной. Число рыб первой группы очень велико, при весьма высоком качестве некоторых из них.

В настоящее время всеми признается польза устройства рыбоходов и для оседлых рыб. Так например на р. Майне уже в конце марта идут пеструшки, затем плотва, пескари, лещи, окуни, головли, щуки, белорыбица, макрели, ерши и другие оседлые и проходные рыбы.

Эти путешествия носят особенно оживленный характер с мая по сентябрь.

Расположение рыбоходов в плане

При устройстве рыбохода надо решить две задачи: привести рыбу к рыбоходу и пропустить ее через рыбоход.

¹ Это относится собственно к полуоседлым рыбам, к коим причисляют: налима, карпа, язя, стерлядь, головля, подуста и др.

Оседлые рыбы: окунь, ерш, палья, хариус, щука и др. В дальнейшем будем понимать под оседлыми рыбами как оседлых, так и полуоседлых.

Первая задача важнее второй, так как от удачного разрешения ее зависит успех выполнения второй, решение которой, при внимательном учете накопившихся к 1931 г. данных, более просто.

Первая задача много трудней, так как она требует хорошего знания привычек рыб и гидрологических особенностей участка реки.

Если приходится устраивать рыбоход в существующей плотине, то легче добиться удачных результатов, нежели в случае устройства рыбохода одновременно с новой плотиной, так как в этом последнем случае надо представить себе будущее действие плотины на течение, надо исследовать, какие изменения русла, перекатов и берегов вызовет плотина, и как могут повлиять эти изменения на путь движения рыб.

При устройстве рыбохода в существующей плотине имеется возможность добиться удачных результатов, произведя тщательные исследования, не пренебрегая при этом подробным опросом рыбаков относительно перемещения рыб на данном участке у плотины.

Особенное значение имеет расположение низового выхода. Обычно его устраивают в водобойной части плотины.

Однако такое расположение может оказаться неудачным при значительном перепаде воды в плотине и сильном шуме при слабой струе воды, идущей чрез рыбоход.

В этом случае рыба вовсе не замечает слабого течения, так как идет на шум, на сильнейшее течение.

Если рыбе не удастся проникнуть через заграждение, то после нескольких попыток она считает свои усилия тщетными и отдыхает где-нибудь в тихой воде недалеко от заграждения.

Отдохнув, рыба снова старается взять препятствие.

После новой неудачи рыба ищет другое место для прохода, отыскивая все же сильное течение. Следовательно задача инженера состоит в умении так расположить низовой вход рыбохода, чтобы рыба при своих попытках перебраться через плотину заметила рыбоход. Эта задача осложняется тем, что из хозяйственных соображений через рыбоход обычно пропускают небольшое количество воды, в силу чего струя воды, вытекающая из рыбохода, уступает по силе струе падающей воды через отверстия плотины.

Необходимо помнить, что, как бы хорошо мы ни расположили выход рыбохода, рыба всегда предпочтет искать прохода прямо через плотину, на сильном течении; этот путь является излюбленным для рыбы, но непроходимым.

Если бы удалось весь расход воды чрез плотину пропустить через рыбоход, то рыба, идущая вверх, сразу предпочла бы этот путь.

Но такое устройство рыбохода возможно в редких случаях.

Низовой выход рыбохода рыба находит, обычно плывя уже сверху вниз, временно отступая перед препятствием, намереваясь возобновить попытку, после отдыха ниже плотины.

Следовательно ошибочно прикрывать низовой выход рыбохода каким-либо сооружением вроде стены или шпунтового ряда или прятать его у самого берега, где рыба с трудом может найти вход.

Ошибочно также располагать низовой выход слишком далеко вниз по течению: пределом является то расстояние, на которое от-

стует рыба, уставшая от безрезультатных попыток перейти через плотину на сильном течении.

Однако известное удаление выхода от сильного течения необходимо, так как иначе рыбе было бы трудно заметить струю воды, вытекающую из рыбохода.

В практике это расстояние колеблется от 2 до 12 м, при чем 2 м были бы достаточны при очень маленьких падениях и незначительных расходах через плотину, а 12 м — при больших расходах и значительных падениях.

В отдельных случаях допустимо дальнейшее увеличение расстояния.

При косом расположении плотины лучшим местом для рыбохода является место плотины, наивысшее по течению.

Однако это правило нельзя применять всегда и всюду без изменений: в реке могут встретиться особые препятствия, неправильности в образовании течений, дна, островов и перекатов, которые могут повести к разделению течения, в силу чего рыба может не достигнуть наиболее высокого места плотины.

Поэтому необходимо исследовать образование течений ко времени прохода рыб.

Приведем пример неудачного расположения низового выхода рыбохода.

Рис. 456 изображает рыбоход, не достигнувший своей цели.

Он представляет собой лестницу, расположенную дугой и снабженную перегородками и вырезами. Лестница устроена в обход спицевой плотины. Против типа рыбохода ничего нельзя возразить: он мог бы пропустить из одного бьефа в другой и лососей, если бы они попали в рыбоход.

Но это последнее было невозможно.

Дело в том, что выход рыбохода прикрыт шпунтовым рядом длиной 3 м, расположенным выше выхода.

Шпунтовый ряд обложен с верхней стороны камнем.

Очевидно, имелось в виду защитить рыбоход от плавающих предметов. Кроме того тем же самым предполагалось достигнуть стеснения струи воды, вытекающей из рыбохода, чем могло быть привлечено внимание рыбы.

Но здесь допущена грубая ошибка.

Лососи, идущие вверх по течению, ищут самую сильную струю.

Поэтому они идут по середине реки, минуя рыбоход.

Если бы какая-нибудь рыба, плывущая вдоль берега вверх по течению, достигла струи рыбохода, то все-таки она ее не заметила бы и последовала бы за сильным течением, идущим от плотины.

Таким образом вся рыба шла к плотине и при неудачных попытках перехода, уставшая, отходила вниз по течению, но на меньшее расстояние, чем расположен выход рыбохода.

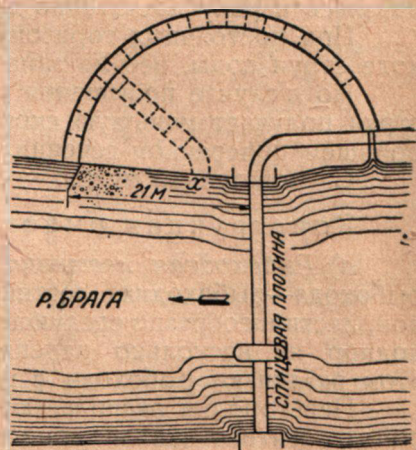


Рис. 456.

Кроме того шпунтовая стенка скрывала рыбоход от внимания рыбы.

Целесообразное расположение выхода показано пунктиром.

Кроме правильного расположения в плане выхода рыбохода необходимо обратить серьезное внимание на расположение выхода по глубине.

Рыбоход должен быть так устроен, чтобы рыба могла в него вплыть.

Никогда нельзя заставлять рыбу прыгать из свободной воды в рыбоход.

Если рыба уже попала в рыбоход, то она менее задумывается, и от нее можно ожидать прыжка в следующую камеру.

Но этого никогда не случается при переходе рыбы из свободной воды.

Нижний выход должен лежать так глубоко, чтобы при самом низком горизонте воды во время хода рыбы вода из рыбохода выливалась в реку достаточно большим поперечным сечением.

При постоянных горизонтах легко добиться получения при выходе струи воды, весьма заметной для рыбы и достаточной глубины.

Но в случае повышения горизонта воды нижнего бьефа выходная струя получает меньшую скорость при одном и том же расходе и большем поперечном сечении.

Следовательно нужно усилить питание водой рыбохода.

Конструкция рыбоходов для проходных рыб.

а) *Рыбоходная лестница.* Наиболее часто встречающийся тип рыбохода—рыбоходная лестница, представляющая собою ряд бассейнов, лестницеобразно следующих друг за другом и разбивающих весь подпор на несколько перепадов, легко преодолимых рыбой. При этом различают рыбоходы с перегородками и рыбоходы с порогами.

Перегородки располагаются поочередно с одной и другой сторон открытого желоба: они не доходят до противоположных стен желоба.

Перегородки отделяют бассейны друг от друга и заставляют воду следовать в обход их.

Если перегородки идут во всю ширину желоба, то они называются порогами.

В этом последнем случае вода переливается в следующий бассейн через верх порога.

Рыбоходы с порогами различаются двух родов.

Во-первых, устраивается в пороге вырез полукруглой или прямоугольной формы для облегчения перехода рыбы; во-вторых, отверстие в пороге залагается ниже горизонта нижней воды каждого порога и имеет прямоугольную форму. Описанное отверстие называется впывным отверстием (рис. 457).

Рис. 458 изображает план рыбохода с перегородками, рис. 457-а—сечение рыбохода с порогами и вырезным отверстием.

Усовершенствование конструкции рыбоходов с перегородками привело к применению своеобразного расположения перегородок.

Рис. 459—463 изображают примеры устройства перегородок.

Косое расположение перегородок увеличивает путь движения воды и замедляет скорость ее, т. е. улучшает действие рыбохода.

Однако при этом возникают водовороты, и в острых углах отлагаются наносы.

Более удачное устройство изображено на рис. 462.

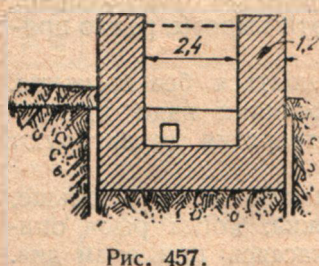


Рис. 457.

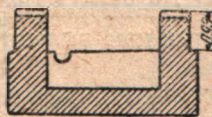


Рис. 457-а.



Рис. 458.



Рис. 459.

В данном случае рыба при движении между стеной рыбохода и перегородкой не прижимается боковой струей к стенке рыбохода.



Рис. 460.



Рис. 461.

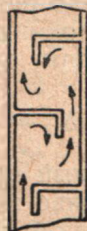


Рис. 462.



Рис. 463.

Рис. 463 изображает рыбоход длиной 132 м при подпоре 10 м.

Применение перегородок позволило увеличить длину пути воды на 270 м, так что в конце концов получилась скорость около 0,8 м/сек.

В Германии имеется много примеров удачно работающих рыбоходов.

Одним из лучших является рыбоход, выстроенный Мейером в 1877 г. в Эмской плотине (вплывные отверстия).

Стоимость рыбохода равна около 20000 марок.

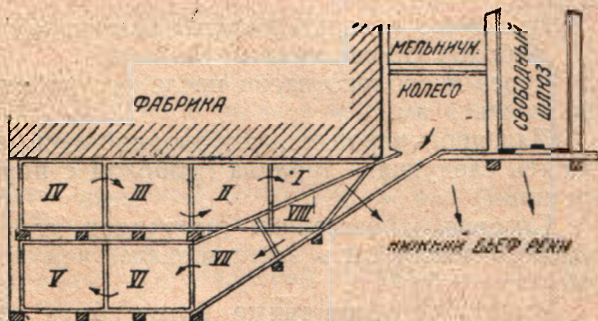


Рис. 464.

Значительно более дешевое устройство, не менее хорошо работающее, показано на рис. 464.

Здесь рыбоход представляет собой деревянную лестницу, вход и выход которой помещаются почти один над другим, при чем лестница образовала петлю.

Бассейны имеют ширину 1,72 м при длине в 2,15 м и 0,25 м падения. Глубина их равна 0,7 м.

Вплывные отверстия имеют сечение 0,2 · 0,35 м (ширина на глубину).

Рыбоход хорошо обслуживал лососей, угрей, а также оседлых рыб.

Рыба всех пород на плаву преодолевает эти вырезы, редко прибегая к прыжку.

Отсюда вывод: рыба предпочитает перемещаться без прыжков.

Следовательно пороги с вливными отверстиями надо предпочитать порогам с вырезами, так как вливные отверстия гарантируют проход рыбы без прыжков.

При вливных отверстиях глубина в бассейнах может быть меньше, так как не требуется запаса глубины для прыжка, когда рыба опирается хвостом о воду, ни в коем случае не касаясь при этом дна.

Вливные отверстия должны лежать у основания бассейнов, чтобы последние могли самостоятельно очищаться от песка и ила.

Для удержания больших плавающих предметов должна устраиваться решетка у верхнего входа в рыбоход.

Первый рыбоход с вливными отверстиями был устроен в Англии в 1864 г. (близ Дарлингтона).

В Германии первый рыбоход того же типа был выстроен Мейером в 1882 г. в Эмской плотине.

Пороги образованы дубовыми досками, заложенными в железные пазы.

Расстояние между порогами равно 2,5 м, уклон рыбохода равен 1 : 9.

Самый значительный из немецких рыбоходов рассматриваемого типа — рыбоход в плотине на р. Везере у Гаммельна.

Рыбоход сделан из бетона с облицовкой песчаником и состоит из 8 бассейнов шириной 2,4 м, длиной — 2,5 м и глубиной — 0,75 м.

Высота ступени равна 0,33 м.

Пороги бетонные, края вливных отверстий закруглены для уменьшения сжатия струи и в целях предохранения рыб от поранения.

Вливные отверстия имеют сечение 35,5 · 35,5 см.

Рыбоход обошелся в 21 130 марок.

Через несколько часов после постройки рыбохода лососи стали пользоваться им.

Для проектирования рыбоходной лестницы для лосося может служить следующая таблица (рыбоход с порогами и вливными отверстиями):

Глубина в бассейнах рыбоходов, где рыба перемещается без прыжков, может быть взята меньше, чем там, где рыба вынуждена прыгать.

Высота ступеней также может быть изменена с 25 до 30 см, если рыбы проплывают рыбоход без прыжков.

Не следует устраивать высоту ступеней больше 0,3 м, допуская для коротких рыбоходов (,38 м при незначительном подпоре плотины).

В противном случае рыба быстро утомляется.

При определении размеров вливных отверстий рыбоходов для лососей необходимо различать, вся ли питающая рыбоход вода должна проводиться через вливные отверстия или, кроме того, допускается переливание воды через порог.

№№ по порядку	Д а н н ы е	Предельные размеры	Обычные размеры	Особо благоприятные размеры
1	Уклон	1:6,5 и меньше	1:9	1:13
2	Длина бассейнов в свету	2,10 м	2,50 м	3,50 м
3	Ширина	1,80 »	2,00 »	2,50 »
4	Глубина бассейнов	0,50 »	0,60 »	0,70 »
5	Высота ступеней	0,38 » и меньше	0,30 »	0,25 »
6	Высота ступени к нижнему бьефу . .	0,15 м	0,12 »	0,10 »
7	Размер вливных отверстий с перепадом воды	25,30 см	30,36 см	40,40 см
8	То же без перепада воды	40,40 »	40,45 »	45,45 »
9	Размер самого нижнего вливного отверстия без перепада воды . .	50,50 »	50,55 »	50,60 »
10	Высота стен рыбохода над поверхностью воды в бассейнах	0,12 м	0,15 м	0,20 м
11	Ширина затворов в свету, в верхнем входе	0,38 »	0,45 »	0,50 »
12	Число затворов	2	2	3

Последнее имеет преимущество: шум привлекает рыбу; кроме того, когда не идут лососи, стеснением воды в верхнем выходе при помощи затворов можно увеличить перепад воды и приспособить рыбоход к передвижению оседлых рыб.

Необходимо устраивать вливные отверстия в верхнем конце рыбохода больше, чем в нижнем, для выравнивания прироста скорости течения воды по пути к нижнему бьефу.

При равных размерах вливных отверстий глубина в бассейнах может сильно упасть.

Поэтому приросту скорости воды противопоставляют уменьшение размеров вливных отверстий сверху вниз.

В среднем можно принять, чтобы каждое следующее вливное отверстие было на 1 см по ширине или высоте меньше предыдущего.

Проходя вливные отверстия, рыба преодолевает самую сильную струю воды в рыбоходе.

Поэтому, чтобы не утомлять рыбы без нужды, пороги делают возможно меньше.

Лучше всего их делать из бетонных плит или досок.

Рядом с вplyвными отверстиями надо всегда располагать тонкие защищающие доски (рис. 465—466).

Вода в бассейнах образует круговороты.

Если нет защищающей доски, то рыба, проплывая через отверстие, получает сильный удар сбоку.

Этот удар пугает рыбу и отбрасывает к противоположному острому краю отверстия, чем может повредить ей.

Короткие защитные дощечки предохраняют рыбу от ударов.



Рис. 465.



Рис. 466.

Чтобы укоротить узкое место со стесненной струей, дощечки лучше располагать в косом направлении (рис. 466).

Защитные доски устраиваются длиной 0,6—0,7 м и высотой не превышают высоты отверстий.

Необходимо обратить особое внимание на устройство последнего (самого нижнего) порога рыбохода.

Рыба должна легко входить в рыбоход снизу без прыжков при любом горизонте.

Широкая струя умеренной силы здесь уместней узкой струи большой силы.

Поэтому в приведенной таблице и даются особые размеры нижнего вplyвного отверстия.

Не следует устраивать слишком высокие боковые стены рыбоходов, чтобы не затемнять пути движения рыбы, что может препятствовать работе рыбохода.

Не надо покрывать рыбоходы для лосося: наоборот, необходимо открыть доступ света и воздуха.

Особенно это ценно в нижней части рыбохода.

Извилины в рыбоходах надо избегать.

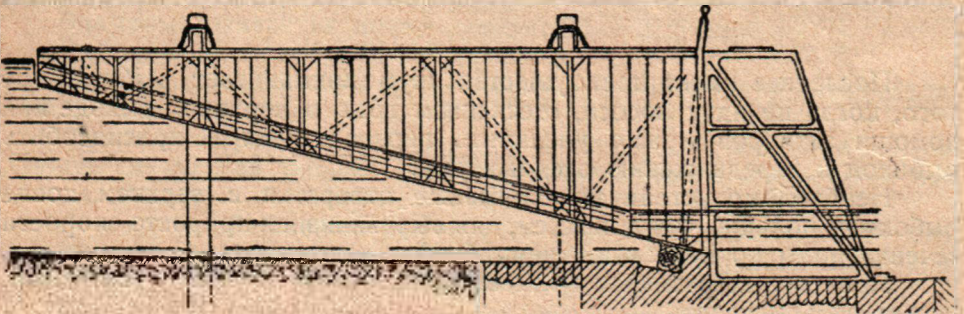


Рис. 467.

Если устраивается неизбежная излучина, то возникающее неудобство должно быть компенсировано устройством места для отдыха рыбы после прохода излучины.

Нельзя допускать применения острых углов и краев на пути рыбы. Все края и углы должны быть хорошо закруглены.

Все остальные части рыбохода, которые не могут быть задеты рыбами, должны быть возможно грубо шероховаты для уменьшения скорости течения воды.

б) *Рыбоходы Камере и Дениля.* Американец Макдональд, француз Камере и бельгиец Дениль искали практические решения вопроса об уменьшении скорости течения воды в рыбоходах с крутым уклоном.

Всех троих интересовала возможность выпускать для этого в рыбоход под напором воду, создающую обратное течение.

Попытки Макдональда, вызвавшие в свое время шум благодаря рекламе, дали слабые результаты.

Французский инж. Камере с успехом выполнил идею рыбохода по принципу, указанному выше.

Рис. 467—468 изображают конструкцию рыбохода Камере, устроенного в спицевой плотине на р. Сене. Между фермами спицевой плотины подвешен желоб из листового и углового железа, боковые стенки которого обшиты деревом.

Желоб имеет длину 10,3 м, ширину—0,9 м в свету и уклон 1:4 при максимальном подпоре 2,83 м.

Желоб подвешен цепями к двум фермам, которые дают возможность поднимать его или опускать, и представляет собой прямой путь для рыбы, без всяких перегородок.

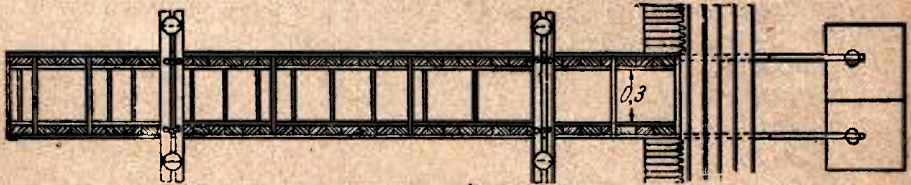


Рис. 468.

Сверху рыбоход открыт и перекрыт по длине лишь поперечинами, скрепляющими боковые стены.

Чтобы уменьшить скорость протекающей воды, в дне желоба, сделанном из листового железа, проделано 18 отверстий.

Эти отверстия имеют вид полосок шириной 2 см и тянутся по всей ширине желоба.

Отверстия имеют одинаковые размеры, но расстояние между ними увеличивается сверху вниз по мере увеличения напора воды, протекающей в отверстия.

С нижней стороны отверстия снабжены уголком, полки которого образуют между собой угол в 45°.

Таким образом вода поступает в рыбоход не только сверху, но и снизу через все 18 отверстий.

Эти отверстия, взятые вместе, дают 0,324 м² поперечного сечения.

Для возможности регулирования расхода воды в рыбоходе щели могут закрываться пластинками из листового железа толщиной 4 мм и шириной 7 см, снабженными зажимами, допускающими передвигу пластинок над отверстиями.

Вода, поступающая в рыбоход через щели, замедляет сток воды в желобе, так как направление входа втекающей воды—встречное.

Скорость движения воды в рыбоходе достигает при этом $\approx 2,5$ м/сек. при глубине воды $\approx 0,35$ м.

Глубина в 0,35 м для плавающей рыбы (без прыжков) достаточна.

В 1907 г. в Бельгии, при впадении Урты в Маас, выстроен рыбоход измененной системы Камере с 24 косыми донными прорезами.

Подпор плотины равен 3,50 м.

Уклон рыбохода 1 : 4 при ширине 0,9 м.

Строитель рыбохода инж.

Дениль обратил внимание на то, что скорость у входа рыбохода равнялась 5,8 м/сек.

Дениль уменьшил эту скорость до 3,15 м/сек. путем устройства *особых деревянных поперечин*.

Исследования над различными уклонами дали интересные результаты: средняя скорость воды в лотке мало меняется до тех пор, пока уклон лотка не превышает угла в 45°.

При более крупных уклонах скорость быстро возрастает.

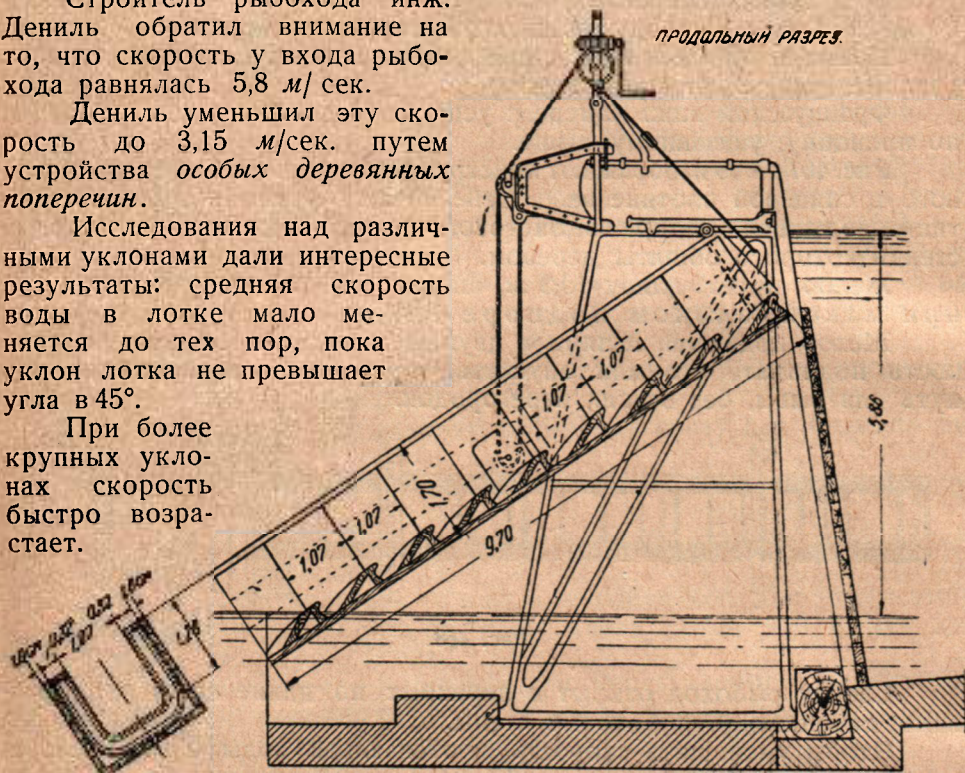


Рис. 469.

В силу указанного Дениль рекомендует придавать лотку уклон к горизонту, близкий к $\text{tg } 40^\circ$.

Данные наблюдений Дениль занес в следующую таблицу:

Расход воды в куб. метрах в секунду . . .	0,25	0,41	0,57	0,66
Средняя скорость в метрах в секунду . . .	0,87	2,19	2,48	2,42
Глубина воды в метрах	0,24	0,35	0,40	0,47

По этим данным Дениль спроектировал рыбоход, изображенный на рис. 469—470, имеющий уклон 2 : 3.

Такой уклон считаем едва допустимым лишь для лососей при малых подпорах. Лучше принимать более пологие

уклоны до $\frac{1^1}{3}$

Для оседлых рыб и при значительных падениях лучше не превосходить уклона 1 : 4.



Рис. 470.

¹ См. Anlage und Betrieb von Fischpässen. Handbuch der Binnenfischerei Mitteleuropas, Bd VI, Lief 1, 1924.

в) *Угреходы*. Угри мечут икру в марте, мальки поднимаются в реки и взрослыми рыбами возвращаются в море для метания икры.

Отсюда следует, что для перехода угрей через плотину нужно иметь два приспособления: угреход для взрослых угрей вниз по течению и угреподъем для мальков угрей.

Взрослые угри пользуются всякой возможностью проскользнуть через плотину: вместе с водой, переливающейся через гребень плотины, через щитовое отверстие; даже водяные колеса не представляют препятствий.

Но с применением турбин стало необходимым устраивать рыбоходы, так как турбина рвет рыбу на куски, не давая ей возможности пройти в нижний бьеф.

Самым простым проходом для угрей является отверстие в щитовой плотине в нижнем крае щита, для чего достаточно иметь щель толщиной 10 см и шириной 15 см.

Угорь, плывущий ночью по дну по течению, легко найдет это отверстие, так как здесь течение сильное и не имеет препятствий.

Заложенная в кладку глазированная труба также является хорошим угреходом.

Но оба эти приспособления имеют тот дефект, что вызывают постоянный значительный расход воды, не всегда целесообразный, так как использование его в турбине иногда может дать больше пользы, нежели принесет ее угреход.

Рис. 471—472 изображают рациональную конструкцию угрехода.

Идущий вверх желоб *A* начинается у дна верхнего бьефа, почти достигая горизонта воды.

Далее желоб *B* идет к нижнему бьефу.

Желоб *A* снабжен многочисленными маленькими дырочками. Дно желоба и боковые стенки на высоту 0,3 м должны быть деревянные, так как соприкосновение с хорошими проводниками тепла отпугивает угрей.

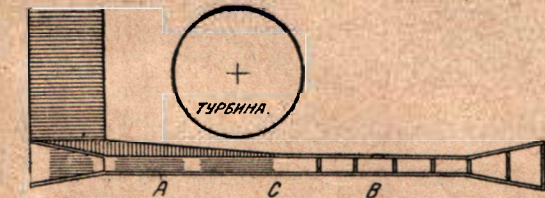


Рис. 472.

Несмотря на оживленный приток воды, рыбоход требует незначительного расхода воды: потерянной водой является вода, прошедшая из желоба *A* в желоб *B* через промежуточный гребень, который может быть сужен до 8 см по ширине при глубине в 5 см.

Деревянные части желоба должны быть вычернены, так как угорь боится малейших светлых пятен на дереве дна и боковых стенок и не пойдет по угреходу. Доски с внутренней стороны должны быть хорошо выстроганы, чтобы угорь не повредил себе кожу.

Молодые угри (длина 8—13 см и толщина—в вязальную спицу) идут от морей большими стаями и держатся возле берегов, так как с трудом борются с течением.

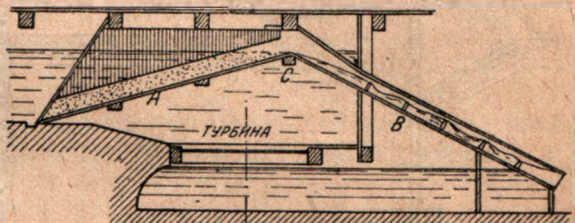


Рис. 471.

Они редко в первый год достигают верховий рек и чаще зимуют в болотистых участках рек, продолжая путешествие в следующий год.

Чем более угри удаляются от моря, тем длинее и толще становятся они.

Это необходимо учитывать при устройстве угреподъемов.

Раньше удовлетворялись тем что клали в желоб фашину, которая при слабом течении всегда содержалась влажной при уклоне желоба 1 : 5, 1 : 8.

В 1882 г. Штерман пробовал провести угрей через маленький деревянный лоток 12 см ширины и 8 см глубины при уклоне 1 : 9.

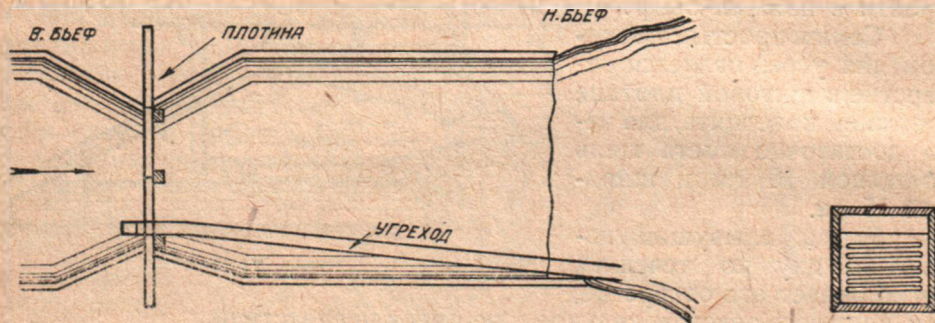


Рис. 473.

Рис. 474.

Успех был достигнут путем расширения нижнего выхода, вложения в лоток соломы и березовой коры, устройства деревянных перегородок и набивки желоба гравием.

Еще успешнее работали закрытые рыбоходы Штермана: молодые угри совершают свои переходы ночью.

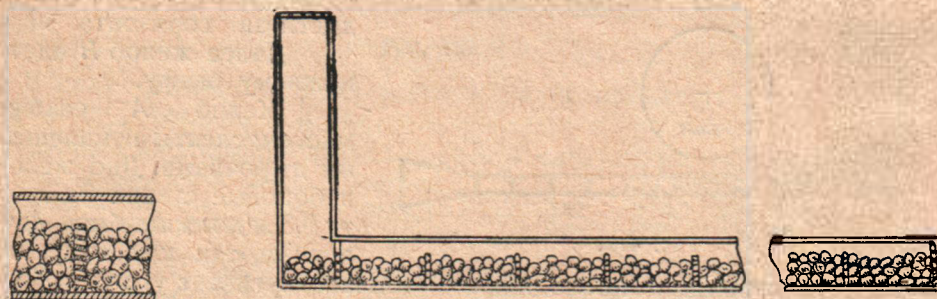


Рис. 475.

Рис. 476.

Рис. 473—476 изображают эти лотки, состоящие из двух частей: вертикального ящика шириной от 12 до 20 см и переброшенного через плотину лотка того же поперечного сечения и достигающего нижнего бьефа.

В этой второй части через каждые 0,4 м установлены деревянные перегородки с горизонтальными прорезами, имеющими клинообразную форму во избежание закупорки их.

Ширина их с верхней стороны 5—6 мм и с нижней—8—9 мм.

Подобные прорезы имеются по обоим концам рыбохода.

Между перегородками и верхними крышками угрехода остается свободное пространство в 10 мм, чтобы большие угри могли перебраться: им не пройти через прорези.

Пространство между перегородками заполнено камнями величиной от грецкого ореха до картофеля.

Верхняя часть рыбохода не заполняется ни галькой, ни гравием.

Верхняя часть рыбохода прикрыта съемной крышкой с отверстиями.

Такие лотки хороши для небольших угрей, т. е. описанные угреподъемы пригодны вблизи морей.

Для более крупных угрей пригодны рыбоходы типа „для оседлых рыб“.

Существующие рыбоходы для лососей оказываются также пригодными для крупных угрей, — в этом случае нет надобности устраивать особые угреподъемы.

2) *Рыбоходные шлюзы.* Наблюдения показали, что при шлюзовании судов рыба часто переходит из нижнего бьефа в верхний.

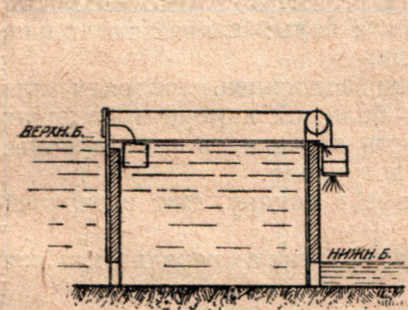


Рис. 477.

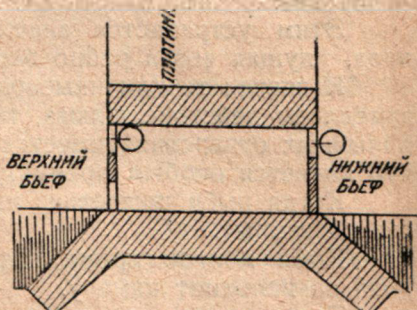


Рис. 478.

На основании этих наблюдений Реккен спроектировал камерный шлюз, предназначенный исключительно для пользования рыб и снабженный устройством, производящим автоматически обмен верхней и нижней воды.

Рис. 477—478 поясняют эту конструкцию.

Камера отделяется от бьефов прямыми стенами.

Через верхнюю стену вода льется в камеру.

Эта стена внизу имеет вливное отверстие, запирающееся щитом.

Щит соединен с поплавком, который следит за изменением горизонтов

Поплавок опускается—и вливное отверстие закрывается щитом.

Нижняя стена имеет на высоте верхнего бьефа маленькую трубу и на высоте нижнего бьефа—вливное отверстие со щитом.

Щит соединен деревянным цилиндром, открытым сверху и помещенным с внешней стороны камеры.

Из верхней трубы в цилиндр переливается вода.

Как только цилиндр наполняется—щит поднимается силой тяжести цилиндра.

Вода с шумом вытекает через вливное отверстие, что привлекает рыбу, которая вливается в камеру.

В дне деревянного цилиндра устраивается маленькое отверстие, откуда течет вода, что обеспечивает подход рыбы к шлюзу.

Иногда вода переливается через нижнюю стенку, что привлекает рыбу еще лучше.

Вода течет из вливного отверстия под переменным (падающим) напором, в силу чего разная рыба может подниматься в камеру в разные моменты.

Как только горизонт воды в камере опустится ниже сливной трубы, приток воды в деревянном цилиндре прекращается.

Цилиндр теряет всю воду через нижнее отверстие в нем.

При порожней камере щит совершенно свободен.

Тогда закрывают щит, подвешенный на цепи через блок, и поднимают пустой цилиндр.

По наполнении камеры и цилиндра водой те же операции повторяются снова.

При опорожнении шлюзной камеры поплавков опускается и тянет вниз щит верхней стенки, жестко соединенный с поплавком, что вызывает закрытие отверстия в верхней стене камеры.

Таким образом вода не может попасть в камеру через вливное отверстие.

Этим устраняется значительная трата воды: сливается только вода, идущая через ребро верхней стенки.

Назначая те или иные размеры этого водослива, ускоряем или замедляем действие шлюза, так что при большой камере и больших вливных отверстиях имеется возможность ограничить расход воды, что является особым преимуществом конструкции.

Когда рыба плывет из нижнего бьефа в камеру, щит в верхней стенке закрыт.

Рыба долгое время остается в камере, пока переливающаяся вода не наполнит камеру.

Тогда поплавок поднимается и открывает щит.

Вода со слабым, но заметным течением устремляется в камеру.

Течение достаточно для того, чтобы заставить рыбу плыть в верхний бьеф.

Впервые шлюз описанной конструкции был выстроен на р. Везере.

Камера имела длину 1 м и ширину 0,45 м и наполнялась 15 раз в 1 час.

Вливные отверстия имели сечение 15 · 10 см.

Позднее был построен рыбоходный шлюз у Гаммельна (Везер).

Рыбоход действовал и как шлюз и как рыбоходная лестница.

Наблюдения показали, что лестница предпочитается рыбами.

Позднейшие наблюдения еще резче подчеркнули преимущество рыбоходных лестниц.

Угри совсем неохотно идут в шлюзы.

Повидимому, рыб пугают изменения в течении воды, чего нет в рыбоходных лестницах.

Шлюзы успешнее работают при увеличении времени на шлюзование.

Очевидно, рыба при этом начинает успокаиваться.

Рыбоходные шлюзы сначала обратили на себя внимания, но затем эксплуатация их показала относительную неудовлетворительность этой конструкции рыбохода.

Особенности конструкции рыбоходов для оседлых рыб

Устройство рыбоходов для «оседлых» рыб способствует увеличению рыбы в весе и улучшению во вкусе, так как дает удовлетворение жизненных потребностей как в отношении отыскания пищи, так и в отношении икрометания.

«Оседлые» рыбы с трудом берут препятствие прыжком.

Лучшим рыбоходом в этом случае является рыбоходная лестница с порогами и впускными отверстиями.

Приведенные выше размеры лестниц для лососей должны быть изменены соответственно размерам рыб.

Достаточно иметь длину бассейнов 0,6—1 м при ширине 0,6—0,8 м и глубине 0,3—0,4 м.

Падение ступеней берется 0,1 м.

Впускные отверстия имеют размеры: 0,15 · 0,2 м.

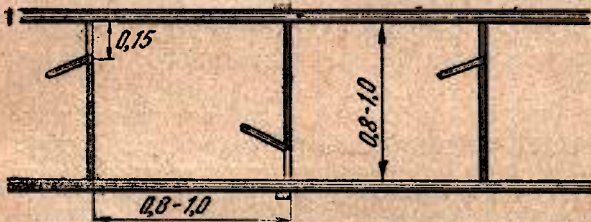


Рис. 480.

Отверстия уменьшаются против предыдущего (сверху вниз) на 0,5 см по ширине и на 0,5 см по высоте.

Падение самой нижней ступени перед нижним бьефом уменьшается примерно на 5 см.

Впускные отверстия непосредственно следующее за нижним бьефом, увеличивается на 40% сравнительно с предшествующим.

Уклон рыбохода берется в пределах от 1 : 3 до 1 : 11.

Такие рыбоходы в целях экономии устраиваются обычно из дерева (рис. 479—480).

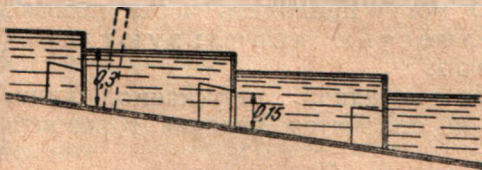


Рис. 481.

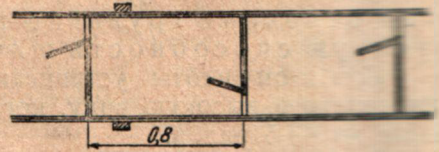


Рис. 482.

Если в реке встречаются только форели и другие мелкие рыбы (верховье рек), то размеры рыбоходов могут быть еще уменьшены.

Тогда достаточно устраивать узкие деревянные рыбоходы (рис. 481—482).

Длина бассейнов устанавливается 0,6—0,8 м, ширина—0,3—0,5 м, глубина—0,25—0,35 м при падении ступеней 0,1 м.

Впускные отверстия берутся размерами 0,1 · 0,15 м.

Падение нижней ступени берется совсем незначительное, с увеличением в высоте (на 50%) вливного отверстия в нижней стене, замыкающей рыбоход.

Питание рыбоходов. Количество питающей воды определяется по величине рыбохода и по величине рыб. Большие рыбоходы для лососей расходуют в секунду 0,25—0,33 м³, рыбоходы для оседлых рыб расходуют меньше: 0,12—0,2 м³/сек и даже 25—30 л в секунду в случае рыбоходов небольших размеров.

В рыбоходах для форелей расход воды составляет лишь 10—20 л в секунду. Иногда, с целью заманить рыбу, применяют дополнительное питание с проведением воды в обход рыбохода к нижнему его выходу, что улучшает работу устройства для прохода рыб. Регулирование поступающей воды в рыбоход достигается маневрированием щитами, устанавливаемыми в верхнем входе.

При высокой воде рыбоход вовсе закрывают во избежание загрязнения его наносами.

2. Лесосплавные устройства

Общие соображения о пропуске сплавляемого леса через плотину

При устройстве плотины через реку нередко приходится принимать меры к обеспечению возможности беспрепятственного прохода через плотину леса и дров.

При этом лес или сплавляется россыпью, если нет взводного судоходства, или идет в плотах, или наконец отправляется в судах.

Продолжительными и весьма обстоятельными австрийскими опытами на Эльбе, Молдаве и Дунае установлено, что самый рациональный способ перевозки лесных материалов, не стесняющий судоходства,—буксирная тяга плотов¹.

Перевозка леса в баржах могла бы конкурировать лишь при наличии обратных грузов.

В том и другом случаях во время высоких вод при разобранной судоходной плотине все перевозки происходят как в свободной реке.

Если сплав не прекращается по закрытии отверстий плотин, то лесные материалы в судах и плотах могут проходить через шлюзы, если основные грузы не полностью используют пропускную способность шлюзов.

При этом плоты устраиваются с осадкой, допускаемой лишь при сплаве в высокую воду, когда не опасаются падения горизонта воды: до 4—5 рядов.

В противном случае, а также при глухих плотинах, необходимо устройство специальных отверстий в плотине или рядом с ней—«плотоходов» для пропуска леса в плотах. При этом дрова и пиленный материал пойдут в судах через шлюзы.

При сплаве леса на несудоходных реках лес сплавляется россыпью или в плотах, при чем в плотинах устраиваются специальные отверстия для пропуска леса. Иногда плотина в этих целях снабжается

¹ В шлюзованных реках по проходе высоких вод. При высоких водах сплав может оказаться дешевле буксирной тяги.

полноразборчатым отверстием или, при сплаве россыпью, устраивается лесоспуск упрощенного типа.

Лесоспуски¹. Лесоспуск, устраиваемый при сплаве россыпью, состоит из двух частей: сплавоуправляющих сооружений и лотка.

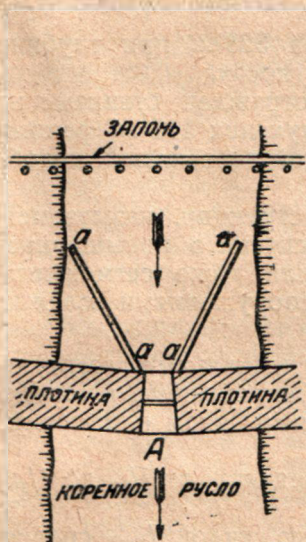


Рис. 483.

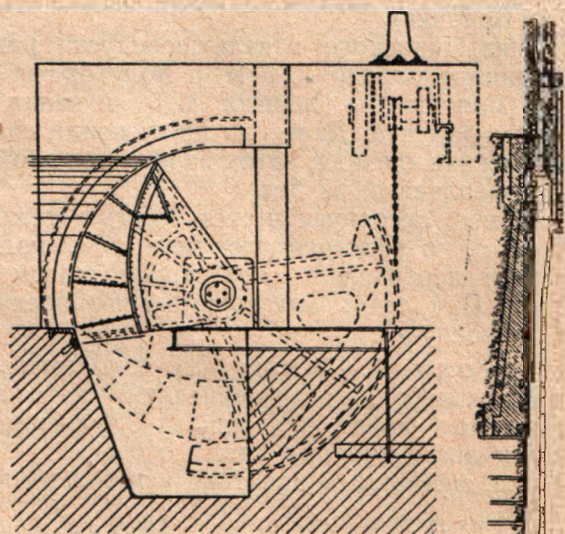


Рис. 485.

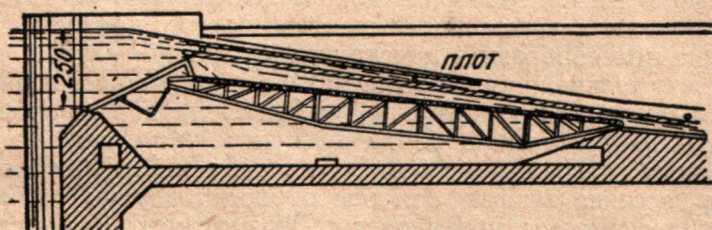


Рис. 486.

Сплавоуправляющими сооружениями служат запони (боны), лавы или стены сквозной конструкции, расстояние между которыми суживается при подходе к лотку (рис. 483).

Если лес выходит из лотка под углом к течению реки, то необходимо иметь аналогичные выходные сплавоуправляющие сооружения. За границей обычно устраивают постоянные сплавоуправляющие сооружения, у нас — лишь на время сплава и то не всегда.

Лоток устраивается деревянный, самой простой конструкции, укрепленный на сваях, при длине лотка, равной двойной длине бревен и небольшом уклоне дна лотка по течению.

¹ Подробное изложение вопросов главы см. инж. С. Я. Жука, Лесославные лотки, изд. 1925 г., Ленинград.

Иногда лоток устраивается в теле ряжевой плотины. В некоторых случаях целесообразно устройство лесоспуска в виде канала в обход плотины с выходом в желательное место реки. Пример—канал для спуска бревен в р. Цну из Заводского водохранилища (2,5 км выше г. Волочка).

Длина Цнинского канала-лесоспуска равна 328 м при глубине 1,6 м, ширине понизу—6,4 м и полукоренных откосах.

На протяжении первых 42,5 м канал огражден стенками из брусчатого шпунта. Далее, на протяжении следующих 110 м, фашинная и каменная одежда; затем начинается двойной деревянный желоб-лоток, укрепленный на дне.

Наконец лесоспуск может иметь вид конструкции, называемой плотоходом, но облегченного типа, т. е. водоспуска с повышенным порогом и деревянным скользящим щитом или даже сегментным затвором. При этом сплавоуправляющими сооружениями служат крылья лесоспуска.

Плотоходы. Плотоходами называются специальные отверстия при плотине, имеющие назначение пропускать лес, сплаваемый в плотах.

Плотоход имеет вид канала с укрепленным дном и стенами, с уклоном дна в сторону нижнего бьефа.

Уклон меняется в практике в широких пределах от $1/10$ до $1/100$ (рис. 484).

Уклон в $1/10$ ближе отвечает сплаву россыпью, уклон $1/10$ —сплаву плотов в современных условиях за границей. Плотоход закрывается щитом. В последнее время затвором для закрытия плотоходных отверстий служит почти исключительно сегментный затвор, признанный всеми как наиболее целесообразная конструкция в данном случае.

Затвор подвергся дальнейшим усовершенствованиям, и в настоящее время одной из удачнейших конструкций является затвор системы Прашиля (рис. 485), примененный в плотоходах на р. Молдаве¹.

На обоих концах затвора Прашиля устроены массивные секторы, оси которых опираются на цапфах. Эти оси проходят внутри устоя, где в особой камере устроены противовесы. При открытии плотохода весь затвор при помощи цепей входит в нишу, открывая все отверстие. Ниша сверху перекрывается листом, прикрепленным к консоли ниши. Сектору можно давать небольшой эксцентриситет и таким образом при вращении сегмент может быть прижат к порогу. Затвор Прашиля на молдавских плотоходах открывается в $1/2$ минуты, закрывается также в $1/2$ минуты при пролете, перекрываемом затвором, в 12 м. Для пропуска плота затвор открывают, и как только плот войдет в канал и задняя часть плота минует голову, затвор закрывают. Благодаря этому скорость течения воды в канал быстро уменьшается, и плот выходит из канала с незначительной скоростью. Затвор открывается и закрывается с применением электричества или вручную. Рис. 484 изображает плотоход на р. Молдаве. Длина плотохода—100 м при уклоне дна в $1/100$. Верхняя часть канала на протяжении 30 м имеет бетонный флютбет с каменным полом. В остальной части—дно досчатое, на сваях. В конце расположен поплавок в целях предохранения плотов от зарывания.

¹ Однако имеются примеры удачного применения дахвера с пологим низовым щитом (рис. 486) и даже затвора Дефонтена.

Глава двадцать восьмая

Выбор типа судоходной плотины

При постройке плотины на судоходной реке приходится во главу угла ставить вопрос о полном освобождении отверстия плотины в паводок, когда река допускает судоходство в ее естественном состоянии.

Если плотина строится лишь для судоходных целей, то естественней избрать тип чисто судоходной плотины, а именно: Поаре, Томаса, Шаноана, мостовую плотину, так как при этом можем открыть русло реки от берега до берега и до дна реки.

Однако, при подпоре свыше 4 м, применение плотин Поаре, Томаса и Шаноана не может быть рекомендовано в виду недостаточной пригодности этих типов затворов при указанных подпорах; маневрирование такими большими затворами лишено той легкости, простоты и надежности, которые присущи упомянутым конструкциям при подпорах до 3,5—4 м. При подпорах от 4 до 5—6 м целесообразно перейти к мостовой плотине.

Точно так же при подпорах свыше 5—6 м мостовая плотина может получить применение лишь при не слишком большой амплитуде колебания горизонта воды в реке, а при дальнейшем повышении подпора применение мостовой плотины вообще говоря становится нерациональным в виду чрезмерной громоздкости конструкции и дороговизны.

Во всяком случае при подпорах порядка 7—8 м и выше никогда и нигде пока еще не поднимался вопрос об устройстве мостовой плотины.

В случае, если плотина строится на судоходной реке с одновременной целью использования водной энергии, тогда отпадает вопрос о необходимости полного освобождения реки в паводок, если в паводок все же происходит использование водной энергии (наиболее частый случай).

Тогда выбор типа плотины диктуется вопросом использования водной энергии (см. главу XXI).

Однако бывают случаи, когда использование водной энергии реки прекращается в весенний паводок в виду того, что разность горизонтов воды в берегах становится ничтожной (например несколько сантиметров).

Тогда переходим к вопросу о выборе типа судоходной плотины, способной работать также зимой. Такие примеры имеются (см. ниже).

По совокупности изложенного в данной главе надлежит рассмотреть вопрос о выборе типа чисто судоходной плотины, предназначенной работать лишь в судоходное время (первый случай), а также плотины, работающей круглый год, кроме весеннего паводка, т. е. также и зимой.

Первый случай

Плотина Шаноана, являясь несколько более дорогой конструкцией, чем плотина Поаре, предпочтительна применением, если река имеет столь быстро наступающие паводки, что фермы Поаре не

удастся своевременно убрать со щитами. Автоматическое открытие щитов Шаноана является весьма важным их преимуществом в этом отношении (см. выше в соответствующей главе время уборки щитов Буле и спиц).

Плотина Поаре предпочтительна по дешевизне и большей надежности эксплуатации, если нет указанных быстро наступающих паводков.

При этом спицевые плотины предпочтительны при малых подпорах, если в реке избыточное количество воды, достаточное и на пропуск судов и на фильтрацию между спицами.

Щиты Буле, наоборот, применяются при больших подпорах в особенности когда надо сберечь воду для шлюзования судов.

При большой ширине реки возможна комбинация Поаре с Шаноаном или дахвером, если это вызывается паводками.

При обилии мелких наносов и плавающих тел может выдвигаться ферма Томаса, а при обильных галечно-гравелистых наносах или подпорах свыше 4 м внимание останавливается на мостовой плотине, в особенности если налицо задача также устроить сообщение между берегами. При большой ширине реки достаточно иметь одно судоходное отверстие при других отверстиях, перекрытых иным затвором (пример—р. Ордер, где судоходное отверстие шириной 53,4 м перекрыто мостовой плотиной, а береговые—по 30,8 м шириной—сегментными затворами при толщине бычков 4,24 м).

Второй случай

Судоходная плотина с работой в зимнее время

Опыт службы щитов Шаноана в Америке, где эксплуатируются свыше 50 плотин Шаноана, показал вполне удовлетворительную их службу в зимнее время. Новая гидростанция Louisville на р. Огайо имеет щиты Шаноана, статически работающие в условиях суровой зимы и динамически—в весенний паводок.

При большой ширине р. Огайо пролеты распределены следующим образом:

2 бертрепа по 28 м пролетом каждый;

1 100 п. м плотины—тип Поаре со щитами Буле;

260 п. м—плотина Шаноана.

Бертрепы служат для регулирования горизонта воды¹, Шаноан—для пропуска значительных паводков.

Фермы Поаре, при наличии щитов Шаноана, могут быть уложены в спокойном порядке.

Судоходное отверстие перекрыто щитами Шаноана.

В заключение отметим, что мостовые плотины для зимнего времени вполне приспособлены.

Заключение

Если при небольшой ширине реки приходится выбирать один тип плотины, чтобы не стеснять сечения реки бычками, то при большой ширине реки вполне целесообразно применение основного типа,

¹ Они пропускают до 435 м³/сек. при общем расходе реки до 3000 м³/сек.

исходя из экономических соображений (например ферма Поаре), пропуская большие паводки плотинной Шаноана и регулируя при надобности горизонт наиболее современной в этом отношении плотинной—дахвером; наличие достаточного судоходного отверстия не препятствует одновременному применению и несудоходного типа плотины, если это дает выгоды в эксплуатации.

Глава двадцать девятая

Расположение сооружений в плане. Укрепление берегов

При расположении плотины в плане стремятся к возможно меньшему стеснению русла реки, чтобы обеспечить в высокие воды судоходство при скоростях не свыше 1,8 м в секунду, если река судоходна—с одной стороны, а с другой—для облегчения условий пропуска воды, что создает меньший подпор и вызывает меньшее затопление берегов.

Однако указанные соображения нередко уступают место экономии. Решением является сооружение, по возможности лишенное скольконибудь значительных сопрягающих дамб, помещенных в реке, и расположенное в не слишком узкой части реки, но и не в чрезмерно расширенной.

Иногда и узкий участок реки является подходящим, если берега прочны и условия пропуска воды не слишком тяжелы.

Увеличение экономией и стремление свести к возможному минимуму отверстие плотины за счет увеличения сопрягающих дамб дает очень плохие результаты, так как вызывает необходимость постоянных затрат на ремонт, иногда очень значительный, а также преждевременный разрыв рисбермы, так как расход воды на погонную единицу длины флютбета возрастает (грунты мягкие).

В простейшем случае имеем плотину без промежуточных быков, снабженную лишь по концам устоями, сопрягающимися с берегами. Береговой устой обделывается с тыльной части как устой мостов, т. е. штрабами, для лучшего сопряжения кладки с засыпкой.

Сопрягающая дамба устраивается с внутренним глиняным ядром, уложенным над шпунтовым рядом, забитым примерно на глубину, равную величине подпора плотины¹. Глубина врезки в берега должна обеспечить достаточно большой путь фильтрации воды.

Откосы дамбы укрепляются двойной мостовой или плетневыми клетками с загрузкой камнем.

Последнее укрепление более надежно.

Верх дамбы также укрепляется мостовой и имеет уклон от берега к устью.

Укрепление того же типа распространяют у подходов к плотине и у выходов, т. е. берег выше и ниже дамбы укрепляется по тому же типу.

¹ Необходимо обратить внимание на достаточность и тщательность устройства шпунтовых рядов (ряжевых ящиков и проч.), чтобы берега не были поставлены в худшие условия работы, нежели флютбет плотины. Экспертная практика автора отмечает слишком частые прорывы плотин в берегах по причине слабой врезки в берега.

Протяжение этих последних укреплений зависит от устойчивости берегов и условий пропуска льда, а также от степени стеснения плотиной русла реки (при мягких грунтах надо избегать стеснения реки свыше чем на 20—25%).

Рис. 487 изображает план расположения сооружений при устройстве шлюза и плотины на судоходной реке. На том же рисунке пока-

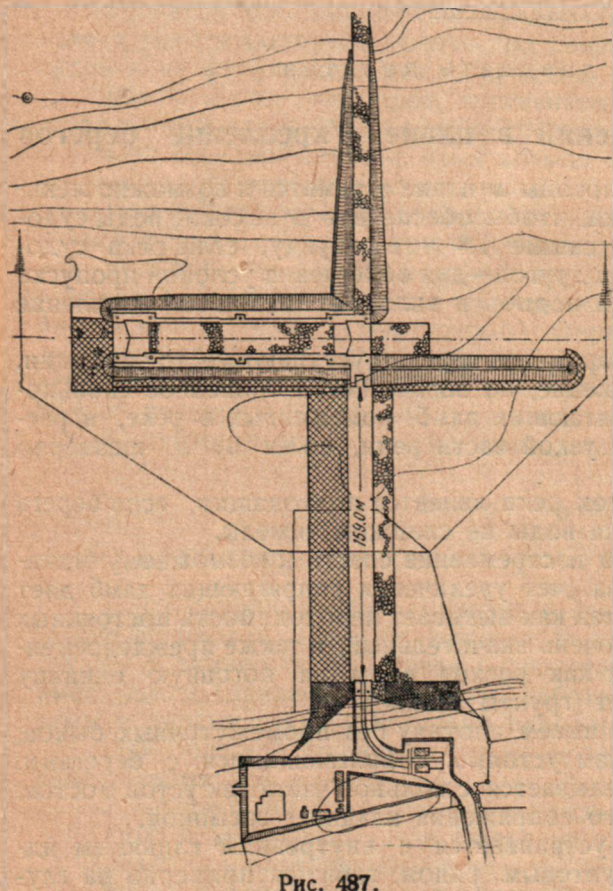


Рис. 487.

При таком расположении сарай для щитов помещается на одном берегу с тонким устоем, что дает возможность поднимать и убирать фермы Поаре, минуя шлюзы.

Рис. 338 изображает план расположения плотины, шлюза и станции на р. Везере (секторный затвор) у Бремена, а на рис. 380 показано расположение плотин Вонсдорфа (дахвер) со шлюзом и станцией.

В заключение приведем краткие данные о стоимости германских плотин. Довоенные данные о стоимости плотин на территории нынешнего Союза не представляют теперь ценности; современные же данные автор не имел возможности получить в достоверном виде, так как для этого надо было бы иметь отчетные (исполнительные) сметы, коих автор не видел с 1923 г.

заны контуры перемычек I и II очередей для постройки сооружения.

Рис. 488 изображает расположение шлюза в канале при плотине на судоходной реке.

Такое расположение предпочтительно в эксплуатационном отношении, но в предыдущем случае оно не применено в виду того, что пришлось бы устраивать плотину большей длины, чем это требуется по условиям пропуска воды, в силу чего решено было поместить шлюз в реке в целях экономии.

Устой без ниши (береговой) носит название тонкого устоя; устой с нишей, куда попадают крайние фермы, называется толстым устоем.

Толстый устой сопрягается с головой шлюза.

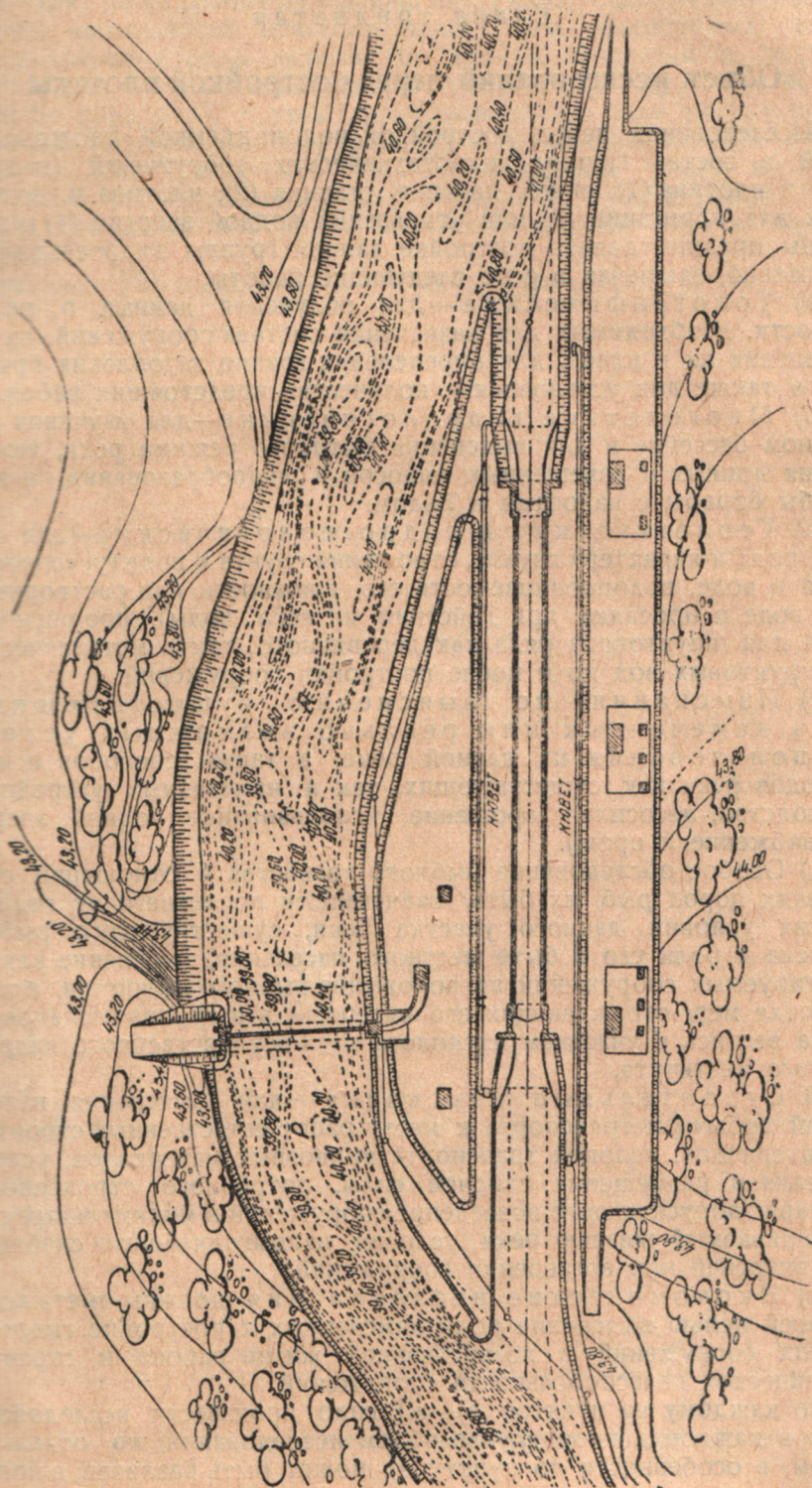


Рис. 488.

Глава тридцатая

Объем исследований перед постройкой плотины

Исследования перед постройкой водоподъемной плотины, входящей в состав группы гидротехнических сооружений (например шлюз и плотина (1); шлюз, плотина, станция (2); плотина и водоприемник для ирригации (3) или утилизации водной энергии (4) и проч.) должны предшествовать постройке данной группы гидротехнических сооружений, включая в себе следующие работы:

а) Топографические—для получения данных о рельефе местности, необходимых для назначения состава сооружений, их типа, размещения их в плане, для определения границ затопления при подпоре, а также для установления количества предстоящих работ.

б) Многолетние гидрологические—для изучения стока в данном бассейне и для выяснения бытового режима реки, включая явления донных и взвешенных наносов и льдообразования, а также способы борьбы с наносами и льдом.

в) Геологические и гидрогеологические—для выяснения рода и характера грунта, отношения грунта к воде (устойчивость грунта в воде, водопроницаемость его, влажность или растворимость его в воде и просадка при действии на него воды), проницаемости грунта для шпунтового ряда как деревянного, так и металлического, роли грунтовых вод до и после постройки сооружений.

г) Изыскания по выяснению существующих и вновь намеченных или реально возможных условий водопользования на данной реке, а также способов и места переходов реки как существующих, так и намеченных устройством (судоходство, лесосплав, орошение, использование водной энергии, водоснабжение и проч.).

д) Особое обследование рыбного хозяйства в отношении существующих пород рыб, их быта, зависимости последнего от гидрологических условий данного участка реки, существующего рыбного промысла и роли его в быте местного населения, выяснение влияния проектируемых сооружений на положение рыбного хозяйства, а также выработка мер, ограждающих его интересы; эта группа исследований должна вестись с участием ихтиолога от Государственного гидрологического института.

е) Строительные изыскания—для выяснения наличия условий добычи и транспорта к месту работ естественных строительных материалов, условий транспорта привозных материалов, условий получения и размещения рабочей силы, потребного строительного инвентаря, допускающего возведение сооружений в минимальный срок, устанавливаемый жизнью реки, условия наивыгоднейшего снабжения работ энергией при возведении сооружений.

ж) Экономические исследования должны иметь конечной своей целью выяснение роли намеченных к постройке гидротехнических сооружений в хозяйственной жизни района и страны и экономической целесообразности сооружений.

По каждому из пунктов а)—ж) надо произвести исследования; однако в каждом данном случае объем исследований по отдельным пунктам, в особенности по пункту в), может быть различен; в полном

объеме пункт в) подлежит выяснению лишь для суглинков комковатой структуры, вызывающей опасения присутствия растворимых солей.

Чем дальше порода отходит от мягкой пористой в сторону скалистой, тем сильнее меняется (внешне упрощается) объем исследований по пункту в); в этом последнем случае при значительном подпоре плотины (свыше 10 м) приходится прибегать к вращательному бурению в целях получения из породы кернов, концы которых (округленные или изломанные) указывают, прошла ли скважина в валуне или сплошной породе, в плитняковой скале или в породе с кавернами¹.

Рис. 489—500 дополнительно иллюстрируют текст книги.

¹ Подробно см. Н. И. Анисимов, Гидроэлектрические силовые установки, изд. 1930 г.

Стоимость германских водоподъемных плотин

№№ по порядку	Название плотины	Река и утилизируемый расход в м³/сек.	Максимальный расход в м³/сек.	Подпор нормальный в метрах	Высота плотины	Глухая часть	Разборчатая часть			Расстояние между береговыми устоями	Водоприемник шириной в метрах	Полная стоимость в тыс. марок
						Описание и размеры	Описание	Число отверстий и ширина их	Общее отверстие в свету			
1	Brennerwerke	12 (Зил)	200	3,0	4,05	Гранитная криволинейная плотина с водосливом шириной 13,85 м	1 двоянный щит для донного спуска	1 · 5	5	21	1 двоянный щит 5,7	280
2	Werdohl	36 (Ленне)	1 100	4,0	4,05	—	2 вальцовых затвора с бычком между ними	2 · 20	40	44	Вход в канал без щитов	400
3	Walchenseckraff werk	25 (Изар)	160	4,0	7,05	Бетонная плотина с гранитной облицовкой; ширина водослива 43 м	1 валец и 1 щит	1 · 10 1 · 4	14	61,4	Щиты 6 · 3,85	950
4	Schweinfurt	100 (Майн)	1 850	3,6	7,50	—	1 валец; 1 валец для донного спуска; 1 плотход 9,6 м с вальцом; 1 рыбоход	1 · 35 1 · 18	53	72	2 щита общей шириной 11	1 400 без стоимости судоходного шлюза (900)

5	Frönderberg	50 (Рур)	1 100	5,3	7,00	—	2 сегментных затвора шириной	2 · 22	44	48,0	3 отверстия по 40	1 800
6	Augsburg	60 (Лех)	1 200	6,5	9,40	Бетонная плотина с гранитной облицовкой; водослив шириной 100 м	2 вальцов. затвора; 1 плодоход 7,5 м; 1 рыбоход 1,5 м	2 · 20	40	150,0	5 щитов 5 · 5,85	2 000
7	Wehranlage der Mittl- ren Isar	150 (Изар)	1 500	4,5	8,10	—	4 вальца по 17 м; 1 рыбоход 1,2 м	4 · 17	68	78,50	8 щитов 8 · 5,50	3 500
8	Augst-Wyhlen	450 (Рейн)	5 500	8,4	14,00	—	10 щитов Стоinea с льдоспускными клапанами; 1 судоходный шлюз; 1 рыбоход	10 · 17,5	175	213,0	Непосредственный вход в турбинные камеры	6 000

Примечание. Стоимость рабочего дня (чернорабочий) — 80 пф./час

> цемента

> металла

— 50 мар./т

— 180 мар./т

цены и стоимости
1925 г.

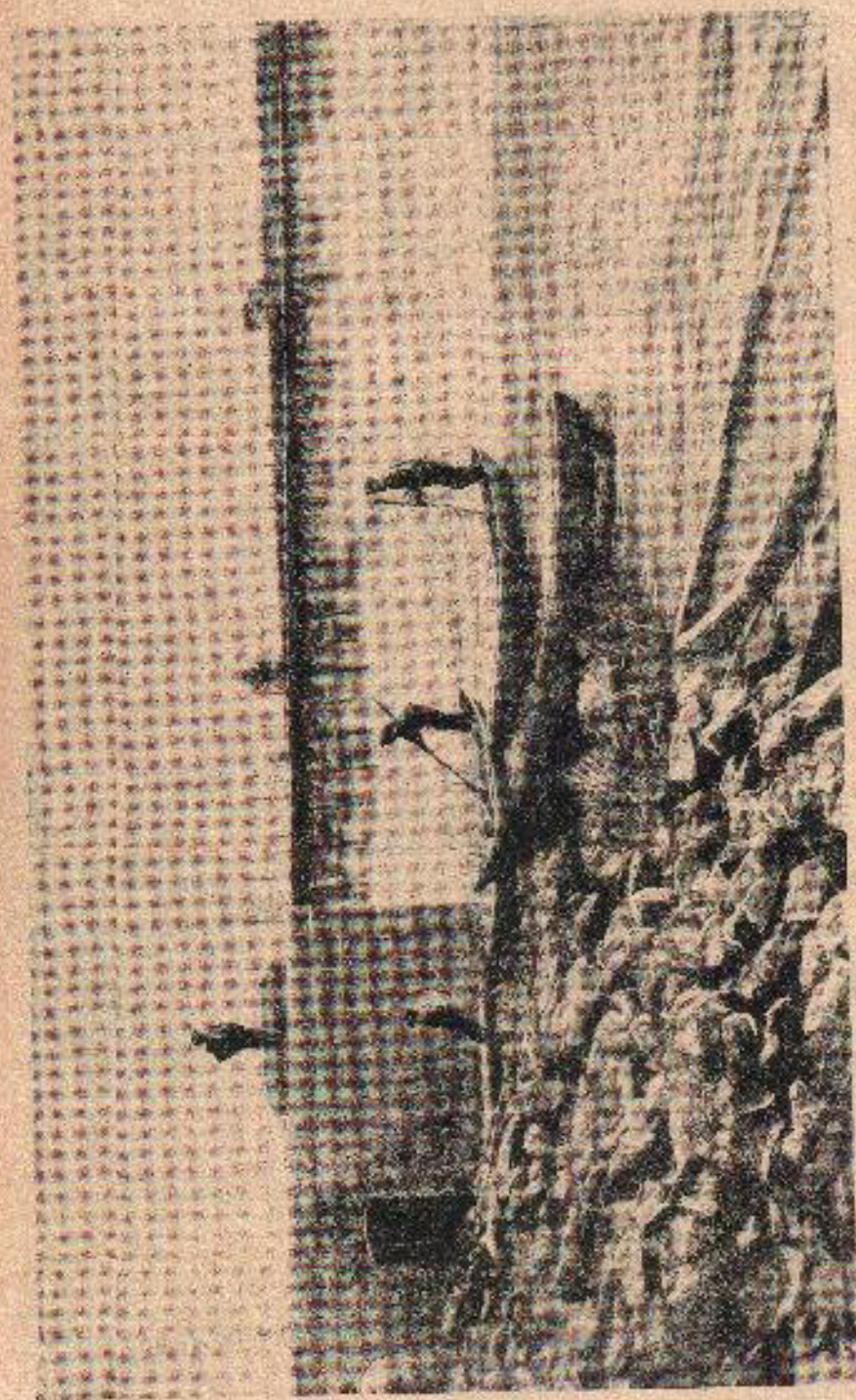


Рис. 469.

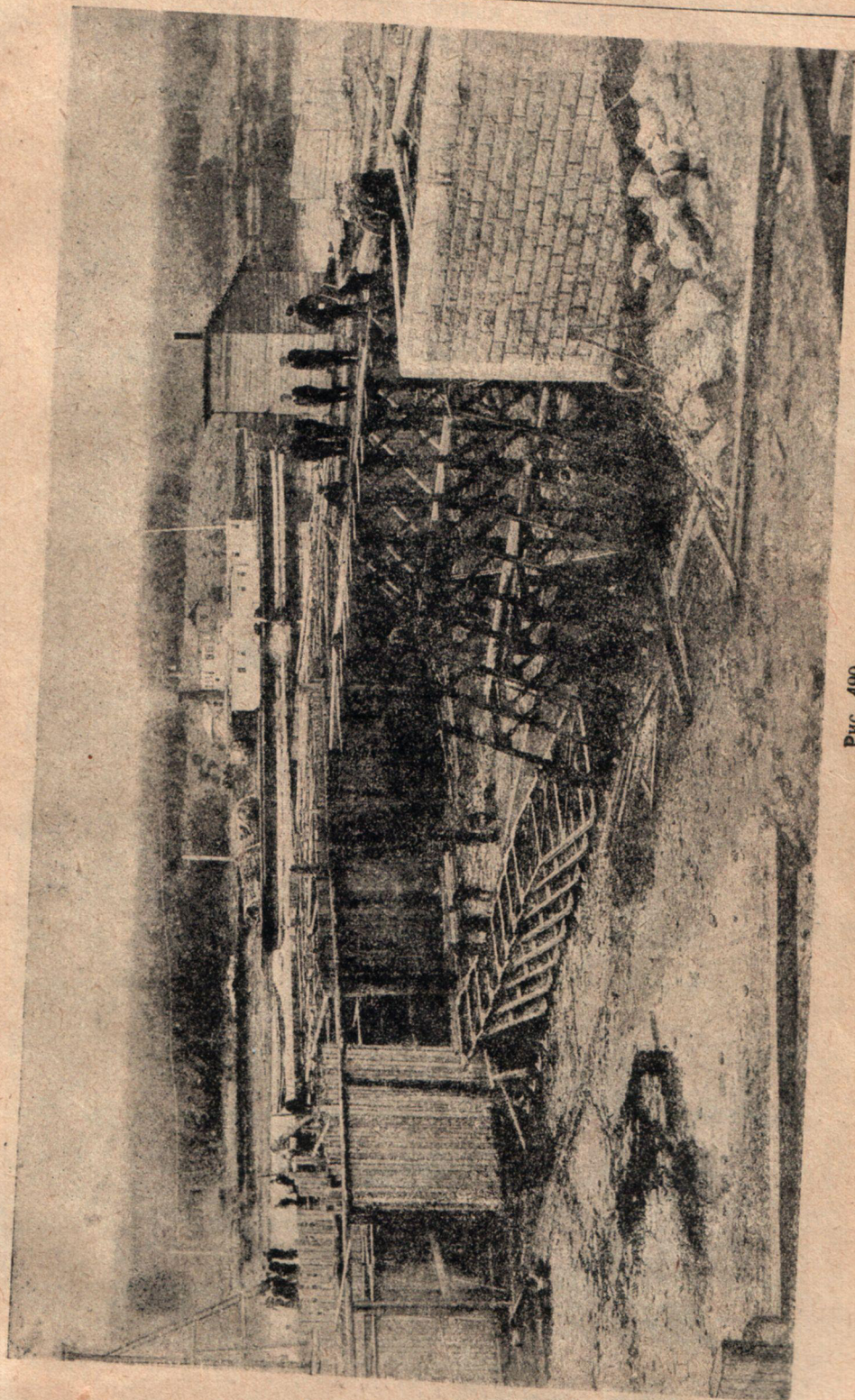


Рис. 490.

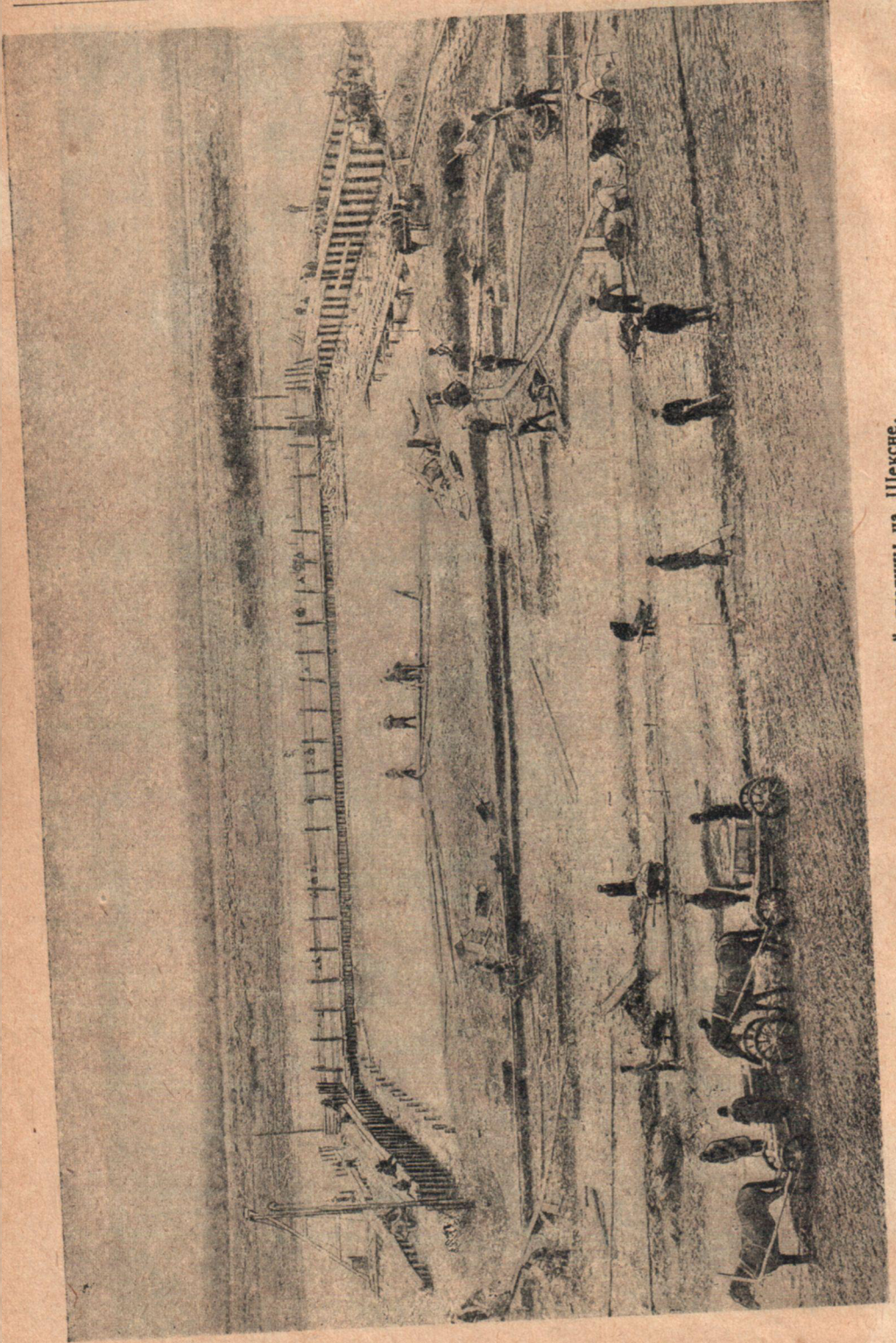


Рис. 491. Постройка судходной плотины на Шексне.

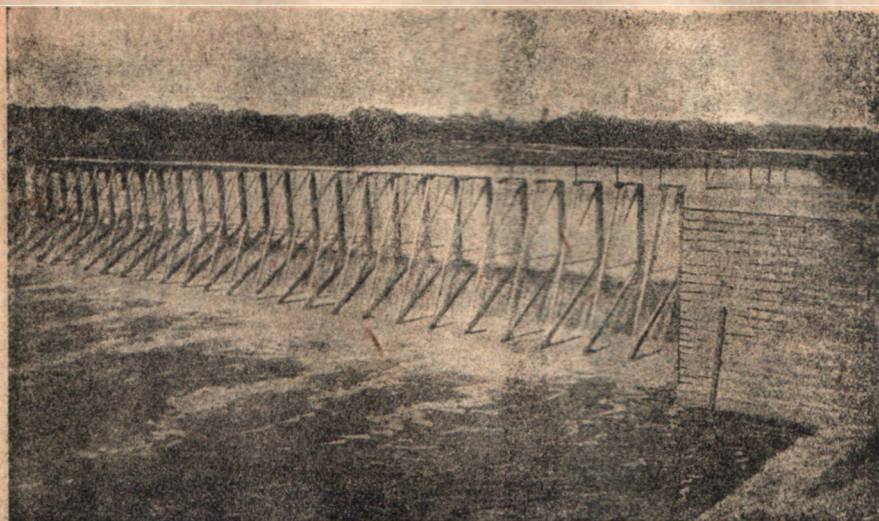


Рис. 492. Плотина Поаре на Сев. Донце.

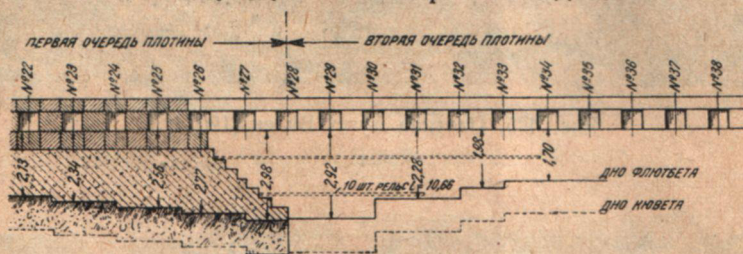


Рис. 493. Сопряжение двух очередей плотины при постройке.

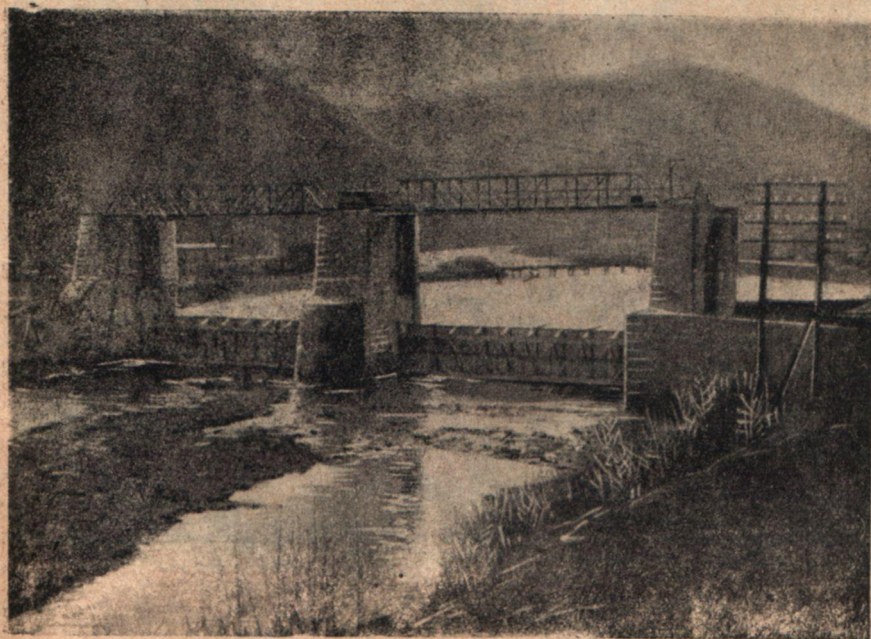


Рис. 494. Плотина Вердоль.

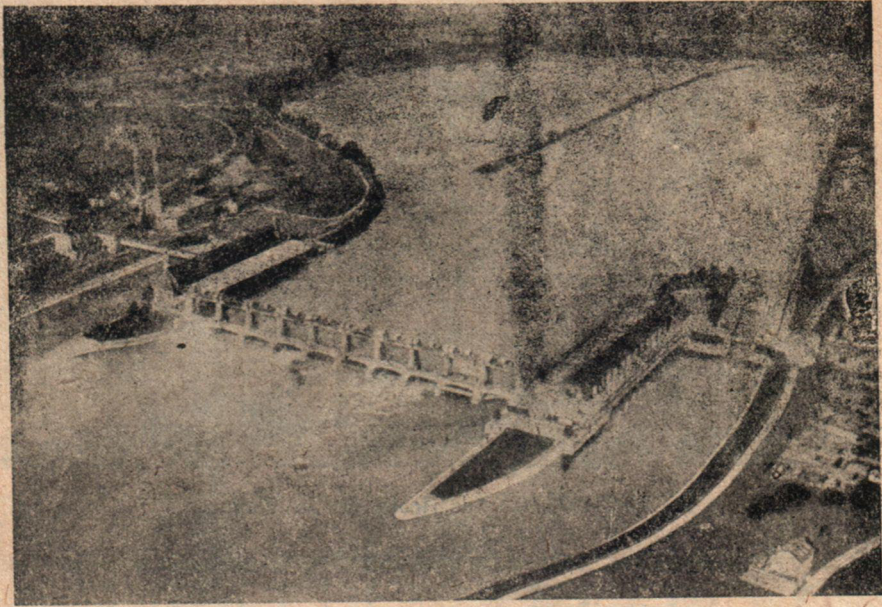


Рис. 495. Плотина Аугст Вилен (1907 г.).

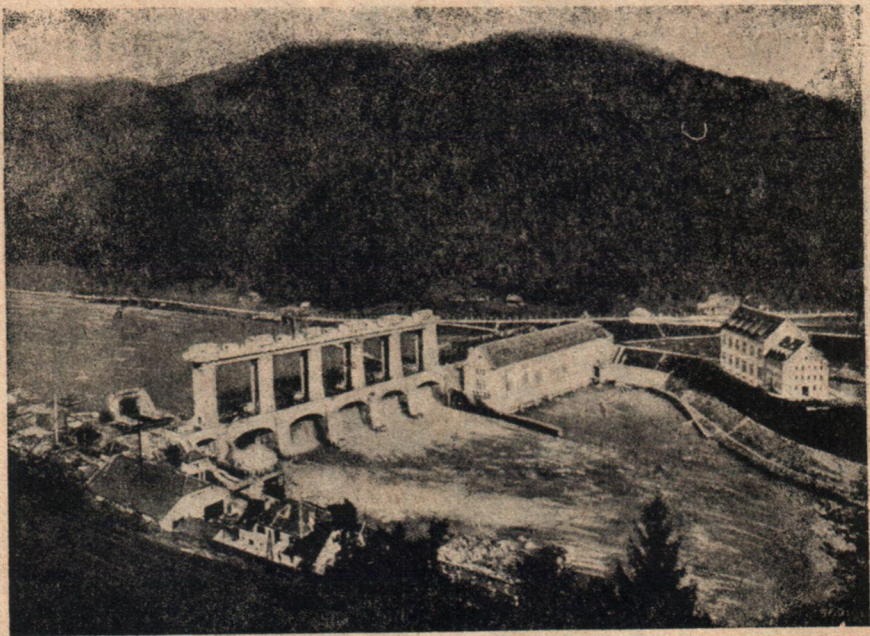


Рис. 496. Плотина Фааль.

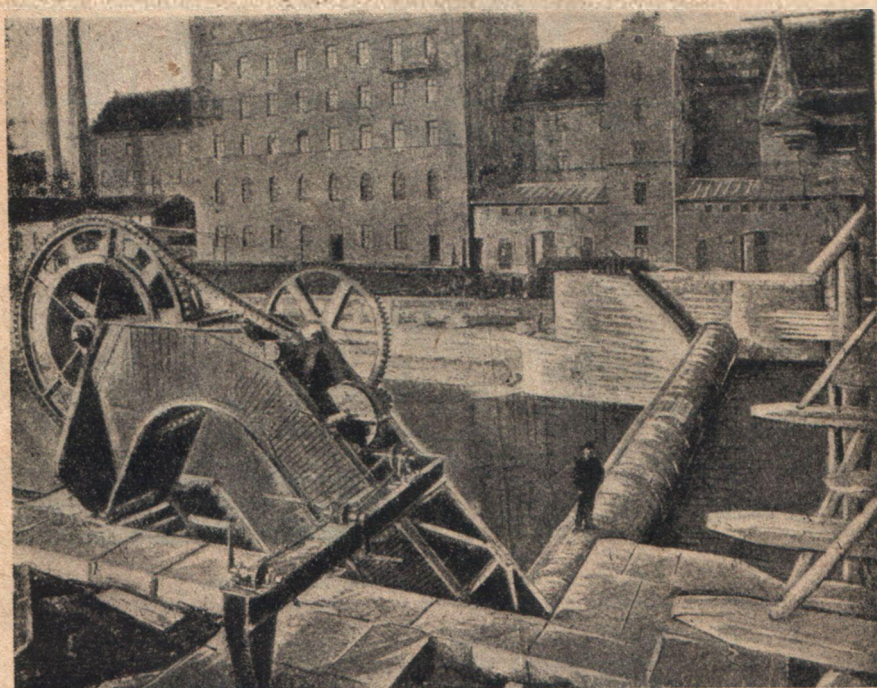


Рис. 497. Швейнфуртская плотина.

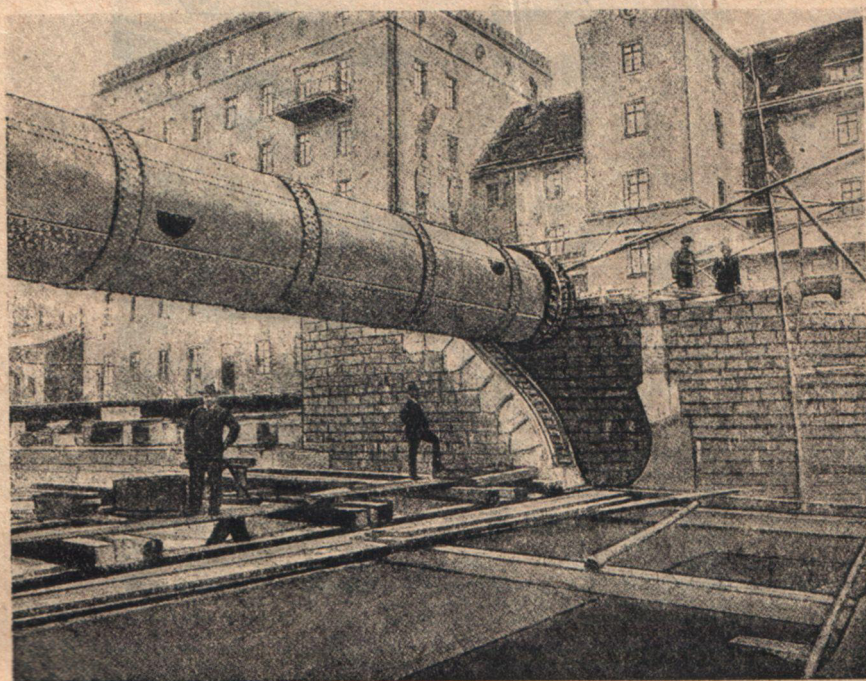


Рис. 498. Швейнфуртская плотина.