

**А. И. ОТРЕШКО, А. М. ИВЯНСКИЙ, К. В. ШМУРНОВ**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ  
КОНСТРУКЦИИ  
В  
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОМ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ**



**С Е Л Ъ Х О З Г И З  
1955**

А. И. ОТРЕШКО

*Доктор технических наук, профессор*

А. М. ИВЯНСКИЙ, К. В. ШМУРНОВ

*Кандидаты технических наук, доценты*

ИНЖЕНЕРНЫЕ  
КОНСТРУКЦИИ  
В ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОМ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Под общей редакцией

*доктора технических наук, профессора*

А. И. ОТРЕШКО

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва—1955

## ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

В книге освещены вопросы проектирования строительных конструкций гидротехнического и мелиоративного назначения: плоских затворов, резервуаров, водонапорных башен и подпорных стенок.

В книге приведены также вспомогательные материалы, требующиеся при проектировании указанных сооружений, и даны примеры проектирования.

Книга рассчитана на инженеров-проектировщиков и строителей гидротехнических сооружений и сооружений мелиоративного назначения.

Ею смогут пользоваться также студенты гидротехнических институтов и факультетов.

Просьба замечания о книге направлять по адресу: Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3, Сельхозгиз.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Грандиозный объем гидротехнического и мелиоративного строительства, осуществляемого в нашей стране в соответствии с решениями партии и правительства, требует выполнения в общем комплексе этих сооружений очень большого количества разнообразных строительных конструкций гидротехнического и мелиоративного назначения: затворов, подкрановых и служебных мостов, трубопроводов, резервуаров, водонапорных и уравнивательных башен, подпорных стенок, струенаправляющих систем и многих других.

Перечисленные конструкции имеют специфические особенности, существенно отличающие их от обычных строительных конструкций промышленного и гражданского назначения.

Проектирование и возведение указанных строительных конструкций гидротехнического назначения для крупнейших объектов обычно выполняются специализированными организациями, накопившими большой опыт, разработавшими свои технические условия, инструкции, типовые решения, нормы и другие ценные подсобные материалы.

Проектирование и возведение строительных конструкций гидротехнического назначения для средних и малых мелиоративных объектов и для целей сельскохозяйственного водоснабжения обычно производится местными специализированными организациями. Инженерам этих организаций приходится эпизодически заниматься проектированием самых разнообразных объектов.

Настоящая работа ставит цель оказать техническую помощь указанной многочисленной группе инженеров.

Кроме того, книга может служить учебным пособием для студентов мелиоративной, гидротехнической, водоснабженческой и других аналогичных специальностей при выполнении ими курсовых и дипломных проектов по строительным конструкциям гидротехнического назначения.

Книга состоит из следующих трех частей:

- I—плоские затворы гидротехнических сооружений;
- II—резервуары и водонапорные башни;
- III—подпорные стенки.

Первая часть написана доктором технических наук, профессором А. И. Отрешко, вторая—кандидатом технических наук, доцентом К. В. Шмурновым, а третья часть—кандидатом технических наук, доцентом А. М. Ивянским совместно с инженером М. Г. Ивянским

Общее руководство и редактирование выполнены профессором А. И. Орешко.

При работе над книгой были использованы материалы Московской и Ленинградской проектных контор Гидростальпроекта для первой части и Государственного института по проектированию специальных сооружений нефтяной промышленности—для второй части. Авторы приносят большую благодарность коллективу указанных организаций и их руководству.

Авторы приносят глубокую благодарность академику Е. А. Замарину и профессору, доктору технических наук А. В. Калининскому, инженерам Я. Н. Ветухновскому, А. И. Дощечко и кандидату технических наук М. С. Бернштейну за их ценные указания, сделанные при рецензировании рукописи, а также кандидату технических наук В. М. Алексею, взявшему на себя труд по специальному редактированию настоящей книги.

*Часть I*  
**ПЛОСКИЕ ЗАТВОРЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ**

---

---

*Глава I*

**РАЗНОВИДНОСТИ ЗАТВОРОВ, МАТЕРИАЛЫ,  
ОТВЕРСТИЯ**

Затворами называют конструкции, закрывающие и открывающие в гидротехнических сооружениях отверстия для пропуска воды, а также судов, плотов, льда и других плавающих тел.

Различают затворы постоянно действующие (рабочие, основные) и временно действующие (ремонтные, аварийные и строительные).

В зависимости от положения по отношению к горизонту воды в верхнем бьефе различают затворы поверхностные, располагаемые на пороге плотины и возвышающиеся своей верхней кромкой над уровнем воды, и глубинные, закрывающие отверстия, полностью погруженные в воду. Пропуск воды может производиться снизу затвора, поверху и снизу одновременно и только поверху.

В строительстве применяют очень большое количество разнообразных типов затворов. Для классификации их существует несколько систем.

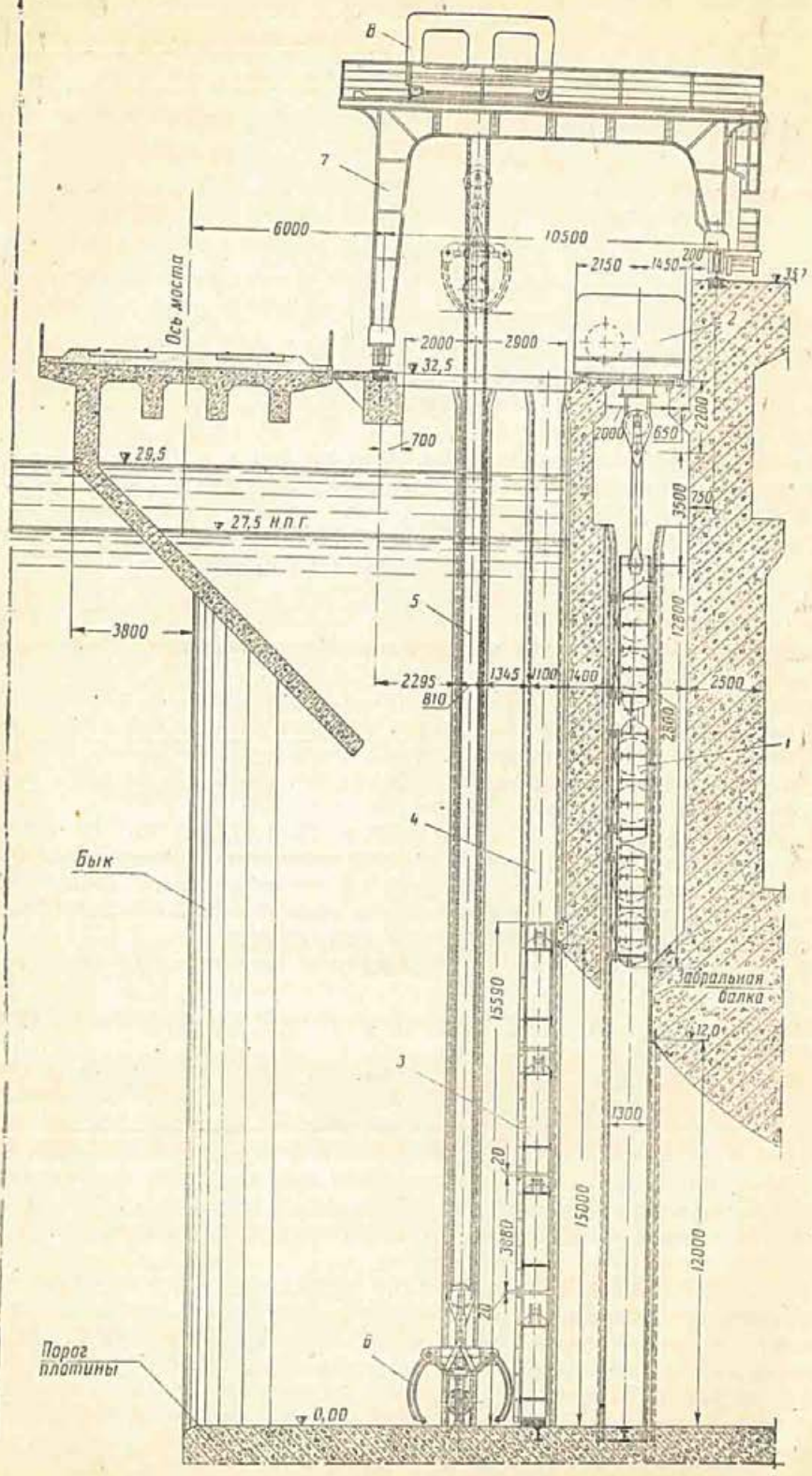
По конструктивному признаку различают затворы плоские, сегментные, секторные, вальцовые и др.

Выбор типа затвора—сложная комплексная задача гидротехнического строительства. Например, для поверхностного водосливного затвора этот выбор связан с очертанием и размерами гребня водослива, с расположением, размерами и количеством промежуточных опор (быков), с типами мостов, с режимом работы и с многими другими факторами.

В современном строительстве наиболее часто применяют плоские и сегментные затворы.

На фигурах 1а, 1б и 1в показано механическое оборудование глубинных отверстий шириной 7 и высотой 12 м при напоре 27,5 м в эксплуатационном состоянии. Отверстия перекрыты плоскими трехсекционными колесными затворами 1, обслуживаемыми стационарными подъемными механизмами 2. Перед затворами расположены сороудерживающие решетки 3. Пазы 4 решеток используют для установки в случае надобности ремонтных шандорных заграждений. Перед решетками устроены пазы 5 для направляющей балки грейфера 6, служащего для удаления тел, накапливающихся перед решетками. Решетки, грейфер и ремонтное заграждение обслуживает козловый кран 7 с тележкой 8.

На фигуре 2 показан вертикальный разрез по щитовому отделению, обслуживающему отверстия перед турбинами. Глубинное отверстие перекрыто плоским затвором 1, поднимаемым и опускаемым при помощи стационарной канатной лебедки 2. Затвор состоит из четырех секций. Каждая секция имеет по четыре ригеля. Перед затвором расположена сороудерживающая решетка 3, состоящая из восьми секций. Перед решеткой устроен паз 4 для направляющей балки грейфера 5, служащего для удаления накапливающихся перед решеткой тел. Грейфер обслуживает передвижной кран 6. Перед решеткой в пазах 7 может быть поставлено ремонтное балочное (шандорное) заграждение 8. Маневрирование ремонтным заграждением и решеткой осуществляется при



Фиг. 1а. Механическое оборудование глубинного отверстия. Вертикальный разрез.

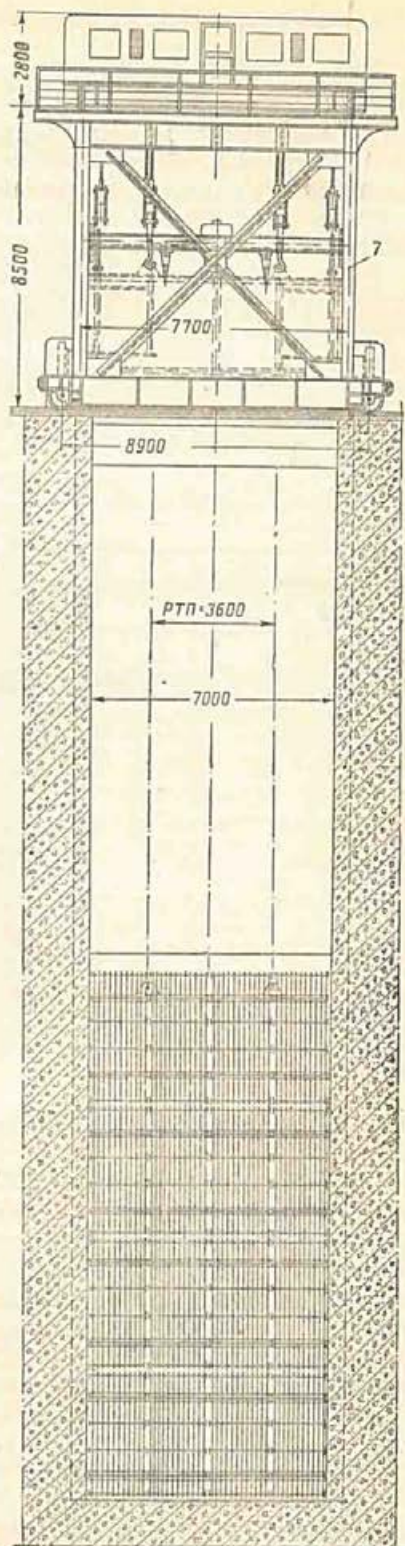
помощи мостового крана 9, перемещаемого по железобетонным подкрановым балкам 10.

На фигуре 3 показано перекрытие поверхностного отверстия пролетом 20 м сегментным затвором 1, приводимым в движение стационарной лебедкой 2. Глубинное отверстие перекрыто плоским двухригельным затвором 3 с подъемным механизмом 4. Со стороны верхнего и нижнего бьефов могут быть поставлены балочные ремонтные заграждения 5 и 6. Заграждения со стороны верхнего бьефа обслуживает мостовой кран 7, перемещаемый по открытой железобетонной эстакаде 8. Заграждения со стороны нижнего бьефа обслуживает подъемный механизм 9. Правее расположен автодорожный мост 10.

Плоские затворы применяют на плотинах, водосбросах, гидростанциях, шлюзах, каналах и др.

Обычно для открытия отверстия эти затворы поднимают вверх, перемещая поступательно в пазах быков. В некоторых случаях, главным образом для обеспечения большого свободного габарита над уровнем воды, затворы в нерабочем положении опускают вниз (затворы шлюзов, временные заграждения на каналах). В редких случаях затворам обеспечивают возможность небольшого опускания (например, для сброса льда и шуги) и возможность полного подъема, или наоборот, возможность частичного подъема и полного опускания. Такие устройства сложны и не всегда надежны в действии.

Несущие подвижные конструкции затворов наиболее часто делают металлическими, реже деревянными, иногда комбинируют оба материала. Наблюдаемый в настоящее время прогресс в развитии деревянных клееных конструкций обещает расширить области применения древесины в затворостроении. Железобетон, вследствие большого собственного веса, опасности образования трещин и преждевременного износа кромок, для подвижных конструкций затворов применяют очень редко. Однако в связи с успешным развитием напряженно-армированных железобетонных конструкций и с применением водонепроницаемого расширяющегося цемента, можно ожидать некоторого расширения области рационального использования железобетона.

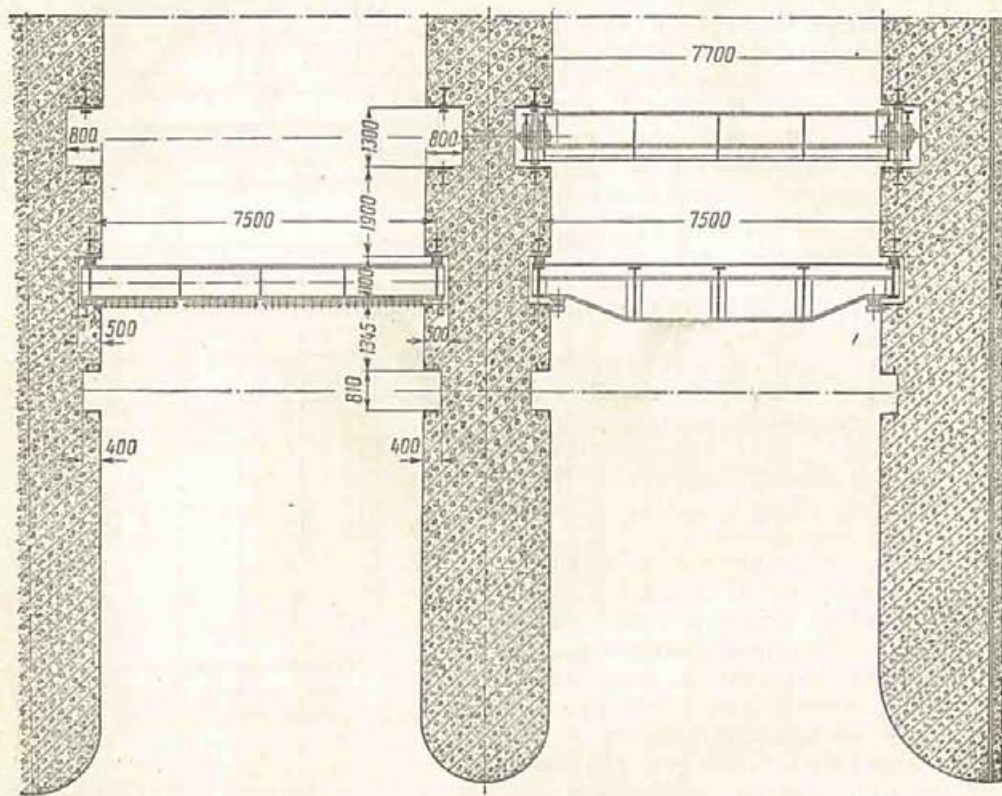


Фиг. 16. Механическое оборудование глубинного отверстия. Вид со стороны верхнего бьефа.



бетона в затворостроении (например, балочные заграждения, секторные затворы и др.).

Несущие конструкции затворов обычно изготовляют из мартеновской прокатной стали успокоенной плавки марок Ст. 3 (ГОСТ 380—50) и Ст. 3м (ОСТ 12535—38). Последнюю (мостовую сталь) применяют для затворов больших пролетов и напоров, а также для затворов, работающих под тяжелыми гидродинамическими воздействиями. Мелкие затворы иногда осуществляют литыми из серого чугуна (при напорах до 3 м—ГОСТ 1412—48), из модифицированного серого чугуна (ГОСТ 2611—44) и из литой стали (ГОСТ 977—53).



Фиг. 1в. Механическое оборудование глубинного отверстия. План двух отверстий.

С 1 января 1954 г. взамен ОСТ 12535—38 введен в действие ГОСТ 6713—53 «Сталь горячекатанная для мостостроения. Технические условия». Этот ГОСТ предусматривает мартеновскую сталь двух марок: для сварных конструкций—М16С и для клепаных—Ст. 3м. Прокат из стали марки Ст. 3м с согласия заказчика может быть изготовлен из кипящей стали; прокат стали марки М16С готовится только из успокоенных плавок.

В настоящее время сталь марки М16С является наиболее подходящим материалом для изготовления сварных конструкций затворов, особенно таких, которые работают в тяжелых условиях гидродинамического воздействия или резких температурных перепадов.

Химический состав и механические свойства сталей марок М16С и Ст. 3м приведены в таблицах 1 и 2.

Наиболее эффективным материалом для несущих конструкций подвижных частей затворов очень больших пролетов или очень больших напоров должна явиться низколегированная сталь марки НЛ2 (ГОСТ 5058—49). Применение для изготовления затворов, находящихся под большим гидростатическим давлением, сталей повышенного качества и сварки, как основного способа

Таблица 1

Химический состав сталей марок М16С и Ст. 3м в процентах по ГОСТ 6713—53

Элементы	Стали марок		Элементы	Стали марок	
	М16С	Ст. 3м		М16С	Ст. 3м
Углерод . . . . .	0,12—0,20	0,14—0,22	Фосфор не более	0,040	0,045
Марганец . . . . .	0,40—0,70	0,40—0,65	Хром не более . .	0,30	—
Кремний . . . . .	0,12—0,25	0,15—0,30	Никель не более .	0,30	—
Сера не более . .	0,045	0,050	Медь не более . .	0,30	—

Таблица 2

Механические свойства сталей марок М16С и Ст. 3м по ГОСТ 6713—53

№ пп.	Показатели	Измерители	Стали марок		Примечания
			М16С	Ст. 3м	
1	Предел текучести . . . . .	кг/см <sup>2</sup>	2 300	2 400	Пп. 1—5 относятся к испытаниям на растяжение
2	Предел прочности . . . . .	»	3 800	3 800	
3	Относительное удлинение длинного образца— $\delta_{10}$ : для сортовой и фасонной стали . . . . .	%	24	24	
	для листовой и широкополосной стали . . . . .	%	22	22	
4	Относительное удлинение короткого образца— $\delta_5$ : для сортовой и фасонной стали . . . . .	%	28	28	
	для листовой и широкополосной стали . . . . .	%	26	26	
5	Относительное сужение площади поперечного сечения	%	50	50	Факультативное требование
6	Загиб в холодном состоянии на 180°: при толщине образца $\delta \leq 25$ мм вокруг оправки то же, при $\delta > 25$ мм вокруг оправки . . . . .		$d=0$	$d=0$	
7	Ударная вязкость продольных образцов: а) при нормальной температуре листовой и широкополосной стали . . . . . сортовой и фасонной стали . . . . .	кгм/см <sup>2</sup>	8	8	
	б) при температуре—20° листовой и широкополосной стали . . . . . сортовой и фасонной стали . . . . .	»	10	10	
	в) при нормальной температуре после старения заготовки для образцов листовой и широкополосной стали . . . . . сортовой и фасонной стали . . . . .	»	4	4	
		»	4	4	
		»	4	—	
		»	5	—	

изготовления, еще более эффективно и целесообразно, чем в мостостроении. Снижение веса затворов важно не только само по себе как показатель уменьшения расхода стали. Для затворов меньшего веса требуются меньшей мощности подъемные механизмы и приспособления, меньшего веса подкрановые мосты и меньший расход энергии в процессе эксплуатации.

При выборе марки стали и видов проката для конструкций затворов необходимо принимать во внимание не только качественные характеристики сталей, но и соотношения их стоимостей.

В настоящее время существуют следующие (округленные) соотношения в отпускных ценах на строительные стали различных марок [1].

Стали общего назначения углеродистые:

Ст. 3 и Ст. 2 . . . . .	100%
Ст. 4 . . . . .	107%
Ст. 5 . . . . .	116%
Ст. 0 . . . . .	88%

Сталь для мостостроения (ОСТ 12535—38) марки Ст. 3м и сталь для сварных мостов (МПУ 2321—49) стоят на 32% дороже стали марки Ст. 3 общего назначения, а стали низколегированные (НЛ1 и НЛ2 по ГОСТ 5058—49) стоят на 48% дороже стали марки Ст. 3.

За поставку стали по группе А для сварных конструкций с гарантированным содержанием углерода установлена надбавка для листового проката в 25 руб. за 1 т, а для фасонного 29 руб. Такие же надбавки установлены и для поставок с гарантированным содержанием серы и фосфора.

За поставку стали спокойных плавок с испытанием на свариваемость и с гарантированным содержанием кремния, хрома, никеля и меди (согласно ГОСТ 380—50) установлена приплата в размере 4,5% к основной цене.

За поставку спокойной стали для сварных конструкций без указанных

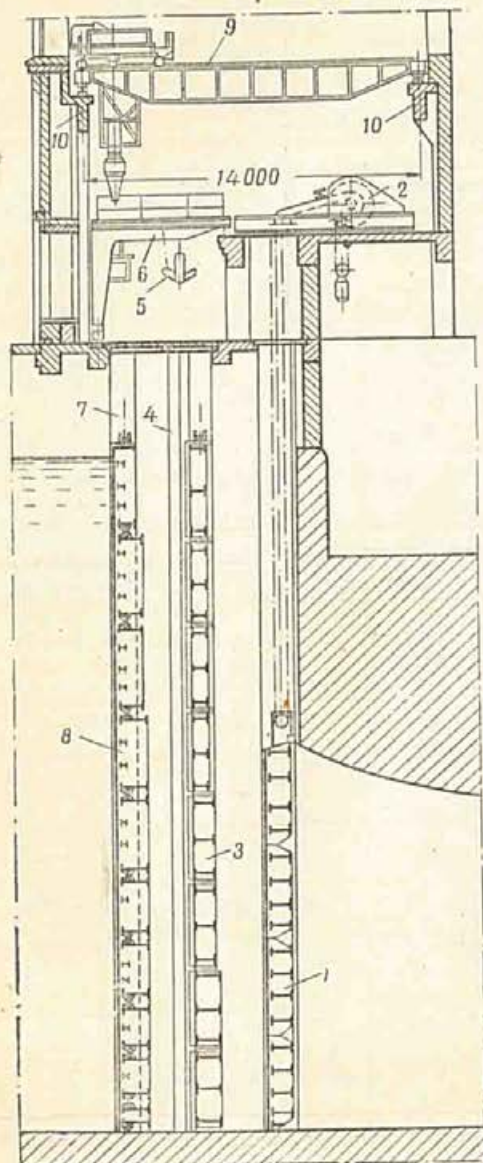
ограничений и без испытания на свариваемость особой приплаты не взимается.

За дополнительные испытания стали установлены следующие приплаты (в процентах):

за испытание на предел текучести . . . . .	2
» » » ударную вязкость . . . . .	7,5
» » » незакаливаемость загибом . . . . .	4,5

В стоимости стали одной и той же марки, но разных видов проката существуют следующие соотношения (в процентах):

уголки равнобокие от № 8 до № 15 . . . . .	100
» неравнобокие от № 8,5/5 до № 20/15 . . . . .	104

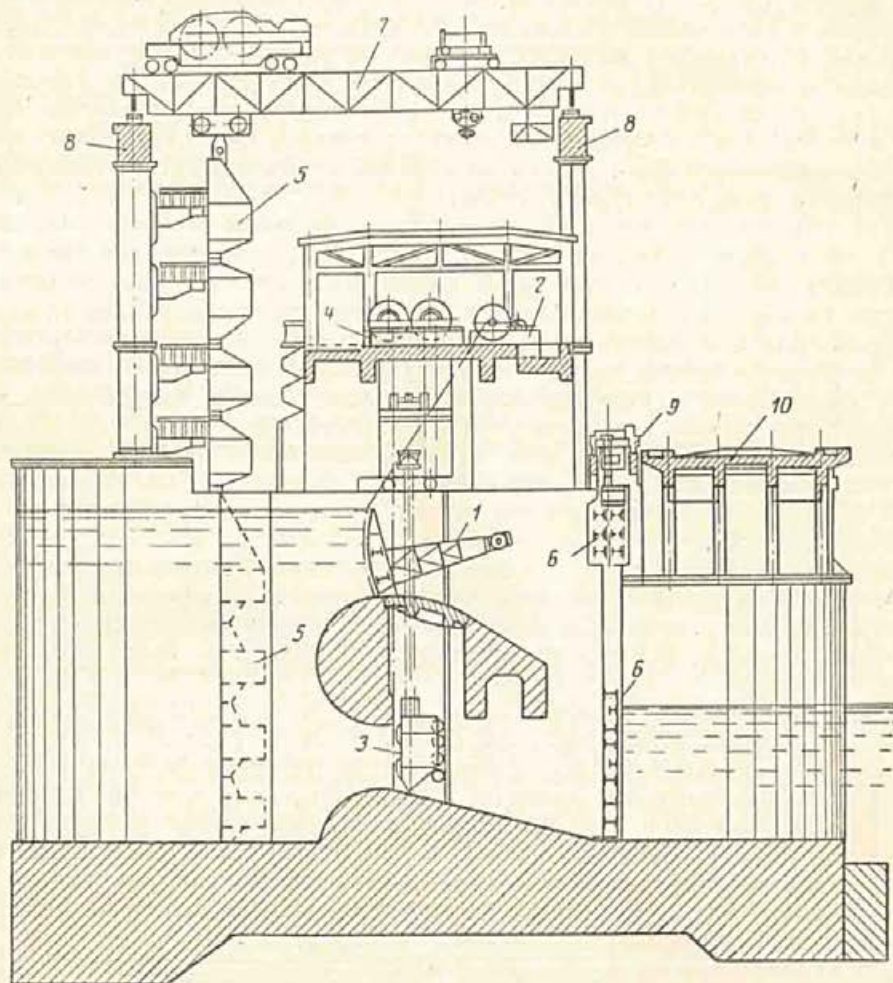


Фиг. 2. Перекрытие глубинного отверстия плоским секционным затвором.

двутавры приблизительно . . . . .	110
швеллеры > . . . . .	110
универсальная толщиной 10÷30 мм . . . . .	85
толстолистовая толщиной 10÷32 мм в среднем около . . . . .	103

Сталь толстолистовая стоит дороже универсальной: при толщине 8÷9 мм—на 14%, при толщине 10÷14 мм—на 21%, при толщине 15÷25 мм—на 16% и при толщине 33÷50 мм—на 57%.

Основным средством соединения в конструкциях затворов является электрическая сварка ручная (электродами марок Э42 и выше) и автоматическая под



Фиг. 3. Перекрытие глубинного отверстия плоским и поверхностного отверстия сегментным затворами.

слоем флюса. Реже применяют клепаные соединения, требующие более сложного конструктивного оформления и большего расхода стали. Преимуществами клепаных соединений являются их большая вязкость и меньшая чувствительность к резким колебаниям температуры, а также простота контроля качества выполненных работ.

Клепаные соединения применяют также для осуществления монтажных (поперечных) стыков негабаритных марок сварных конструкций затворов.

При конструировании и расчете сварных затворов необходимо учитывать неблагоприятное влияние вибрационного воздействия нагрузок во время подъема и опускания затворов. Так же необходимо учитывать неблагоприятное

воздействие разности температур в частях затвора, омываемых с одной стороны водой, а с другой — воздухом, и резких колебаний температуры при маневрировании затворами в очень холодную зимнюю погоду. Учет неблагоприятного влияния вибрационной нагрузки на прочность основной стали, сварных и клепаных соединений регламентирован нормами. Учет неблагоприятного влияния резких температурных перепадов нормативными документами не регламентирован и в технической литературе освещен очень мало. Однако этот весьма неблагоприятный фактор не может быть забыт при практическом проектировании сварных затворов.

Размеры отверстий, перекрываемых затворами, надлежит назначать в соответствии с ГОСТ 4688—49 (см. табл. 3 и 4).

Шириной отверстия называют его горизонтальный размер. Высотой поверхностного отверстия называют вертикальное расстояние от порога до нормального подпорного горизонта; высотой погруженного отверстия называют вертикальное расстояние от порога до верхней грани отверстия, а при наличии пазов — размер от порога до верхней грани отверстия, измеренный в плоскости опорных граней пазов.

Уместно отметить, что введение стандарта «Размеры отверстий, перекрываемых затворами» не решает задачи взаимозаменяемости затворов различных сооружений. Необходимость в такой взаимозаменяемости может возникнуть в случае стихийных бедствий или при других чрезвычайных обстоятельствах. Для этой цели необходимо совместно с размерами отверстий стандартизировать расчетные пролеты несущих конструкций и ширину ниш. Желательно также нормализовать хотя бы горизонтальные размеры загруженной площади затвора, увязав их со стандартом на отверстия и расчетные пролеты.

Следует также отметить избыточно большое число размеров отверстий, предусмотренных ГОСТ 4688—49. Полезно на базе этого ГОСТ'а установить ограниченное количество рекомендуемых размеров для применения в нормальных условиях.

Большая работа в этом направлении проделана Ленинградской проектной конторой Гидростальпроекта Всесоюзного треста Гидромонтаж\*, предложившей в порядке первого приближения более ограниченный перечень типоразмеров плоских и сегментных затворов, чем это предусмотрено в ГОСТ 4688—49.

Указанная работа базировалась на результатах обследования проектов плоских и сегментных затворов, выполненных Ленинградской и Московской проектными конторами Гидростальмонтажа за период с 1938 по 1952 г.

Из обследованных 489 проектов 242 представляли плоские глубинные затворы, 205 — плоские поверхностные и 41 — сегментные поверхностные.

Повторяемость размеров ширины и высоты отверстий, перекрываемых плоскими затворами, представлена на фигуре 4. При составлении сведений о повторяемости было произведено некоторое округление фактически осуществленных размеров до ближайших, показанных на графике.

Почти половина всех запроектированных поверхностных затворов (96 из 206) приходится на затворы отверстий шириной от 4 до 12 и высотой от 4 до 8 м. Четверть всех проектов приходится на еще более узкую группу типоразмеров отверстий шириной от 5 до 8 и высотой от 4 до 6 м.

Более трех четвертей всех запроектированных глубинных плоских затворов (185 из 242) приходится на отверстия шириной и высотой от 1,5 до 6 м. Более 40% (103 из 242) глубинных затворов перекрывают отверстия шириной и высотой от 2 до 4 м. Следует, однако, отметить, что в конструкцию глубинных затворов вносит существенные изменения величина расчетного напора, которая колеблется в весьма широких пределах.

Размеры отверстий, рекомендованные в указанной работе к преимущественному применению, показаны в таблицах 3 и 4 жирным шрифтом.

\* Ленинградская проектная контора Гидростальпроекта Всесоюзного треста Гидромонтаж. «Рекомендуемые типоразмеры плоских и сегментных затворов». ТУ. Л., 1953.





Размеры погруженных отверстий гидротехнических сооружений, перекрываемых затворами, по ГОСТ 4685—49

Высота (м)	Ширина (м)																																								
	0,60	0,80	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0															
0,60	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
0,80	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
1,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
1,25	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
1,50	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
1,75	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
2,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
2,50	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
3,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
3,50	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
4,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4,50	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5,50	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6,50	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7,50	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,00	x	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечания. Размеры, обозначенные знаком 0, допускается применять при наличии технико-экономических обоснований и с разрешения организации, утверждающей проект.  
 Размеры, набранные жирным шрифтом, рекомендуются к преимущественному применению в порядке первого ограничения типоразмеров.



В связи с широким развитием строительства гидротехнических сооружений и их затворов перед проектировщиками встала актуальная задача типизации конструкций затворов. Последняя должна обеспечить специализированным заводам возможность создать типовую технологию изготовления, дающую более качественные и более дешевые конструкции при меньших затратах труда и времени. Типизация конструкций затворов облегчила бы и монтаж их.

Работу по типизации затворов средних и больших пролетов следует начинать не с создания серии типовых проектов затворов для какой-либо сетки основных размеров, а с разработки и создания набора типовых решений и нормалей узлов конструкций и их деталей.



Фиг. 4. Повторяемость размеров отверстий, перекрытых плоскими поверхностными и глубинными затворами.

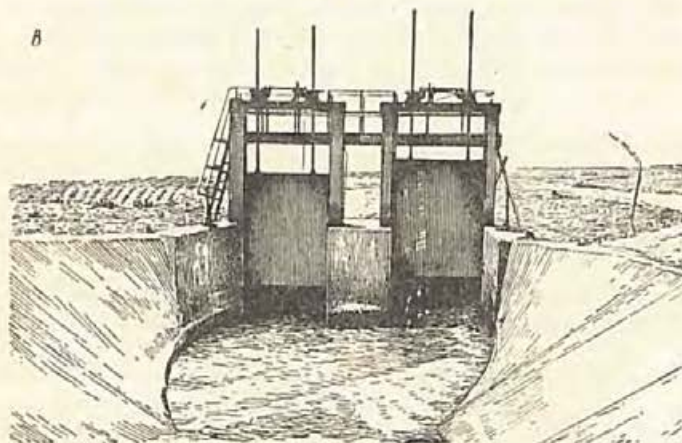
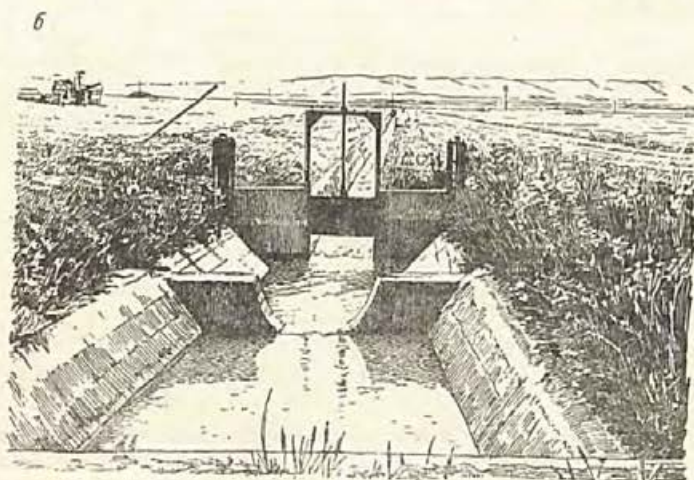
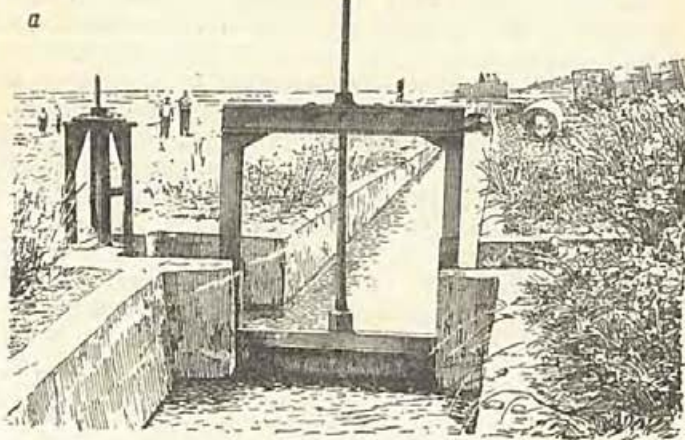
Наиболее сложной частью плоских затворов являются пазовые устройства. К нормализации размеров пазов и деталей их устройств, к созданию набора нормалей этих устройств для разных условий должно быть приковано в первую очередь внимание проектировщиков. На базе таких нормалей и типовых решений узлов возможно легко перейти к типовым конструкциям целых затворов.

Основными показателями для построения системы нормалей, повидимому, должны служить размеры перекрываемого затвором отверстия (ширина  $l_0$  и высота  $h_0$ ) и величина напора  $H$ . Сочетания  $l_0$ ,  $h_0$  и  $H$  определяют давление на 1 пог. м ходовых путей затвора. Для многих деталей пазовых устройств величина этого давления может служить самостоятельным признаком для построения сетки нормалей и типовых решений.

Благодарное поле деятельности представляет типизация затворов малых отверстий, применяемых в большом количестве на мелиоративных системах. В этом направлении уже на протяжении нескольких десятков лет успешно работает Бюро металлических конструкций Средазводпроекта.

При выборе типов мелких и средних затворов и их подъемных механизмов для сооружений на мелиоративных сетях необходимо учитывать специфические особенности их изготовления и эксплуатации. Часто такие затворы изготавливают в механических мастерских самих строителей, машинно-мелиоративных станций или на заводах, не приспособленных для таких работ. Затворы оказываются размещенными на большой территории и на большом удалении друг от друга, что затрудняет уход за ними и снабжение их электроприводом, часто делая последний совсем нецелесообразным. Подъемные механизмы очень часто должны приводиться в движение вручную. Затворы работают с большими перерывами.

Перечисленные условия требуют, чтобы конструкции затворов и их механизмов были максимально простыми, надежными и постоянно готовыми к действию.



Фиг. 5. Плоские скользящие затворы на гидромелиоративных каналах:

*a*—одновитовой закрытый; *б*—одновитовой открытый; *в*—двухвитовые.

Для малых поверхностных отверстий, а также для донных промывных отверстий, подверженных заилению, применяют плоские скользящие затворы с ручными винтовыми подъемниками (фиг. 5). Для отверстий больших пролетов применяют плоские колесные затворы и сегментные. Преимущество последних перед плоскими затворами заключается в существенном уменьшении подъемного усилия, что особенно важно при ручном приводе. Маневрирование затворами на мелкоразливной сети обычно производят при помощи стационарных ручных подъемников: одновинтовых или двухвинтовых — при плоских затворах и канатных двухбарабанных — при сегментных. Балочные заграждения (шандоры) обычно обслуживают баграми, кранами-укосинами, тельферами на монорельсах или передвижными кранами с тележками.

По мере увеличения отверстия и напора происходит усложнение конструкций, повышаются эксплуатационные требования и создается необходимость в электроприводе. К средним и большим затворам на ирригационной сети предъявляют такие же требования, как и к затворам на других гидротехнических сооружениях.

## Глава II

### ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ

Конструкции затворов должны полностью удовлетворять предъявляемым к ним эксплуатационным требованиям, быть надежными и возможно более простыми при маневрировании.

Требования экономии металла при проектировании затворов важны не только сами по себе. Они приобретают особо важное значение, так как уменьшение расхода стали на подвижную часть затвора облегчает вес ее и обеспечивает возможность уменьшения мощности подъемных механизмов, тяг, подкрановых мостов и тому подобных устройств.

При проектировании затворов следует применять всевозможные меры к уменьшению трудоемкости и к ускорению процессов изготовления и монтажа конструкций.

При проектировании закладных частей необходимо обеспечивать большую жесткость их и неизменное положение при бетонировании. Бетонировка закладных частей одновременно с кладкой основного массива (без применения штрафного бетона) повышает требования к точности производства работ и к тщательному соблюдению установленных строгих допусков.

Конструкция монтажных стыков должна обеспечивать возможность легкой завалки собираемых частей, простоту закрепления и быстроту выверки.

На рабочих чертежах необходимо указывать порядок наложения сварных швов в монтажных стыках. Если часть монтажных стыков осуществляется с помощью сварки, а часть — с помощью клепки, то в первую очередь должны быть выполнены все сварные соединения (продольные швы между марками), а затем — клепаные (поперечные швы).

Разбивку затворов на отправочные марки следует производить так, чтобы максимум работ был выполнен на заводе. Также необходимо учитывать удобства транспорта и грузоподъемность кранового оборудования реальной монтажной организации. В обычных случаях вес монтажной единицы следует ограничивать 30 т, а длину при перевозке на двух железнодорожных платформах — 27 м\*.

Размеры поперечных сечений конструкций должны быть такими, чтобы последние не выходили за пределы габарита подвижного состава железных дорог (фиг. 6).

В отдельных случаях возможна перевозка негабаритных конструкций, на что в каждом случае требуется разрешение начальника дороги.

Разбивку стыков следует производить так, чтобы возможно шире использовать сталь в заказных длинах, с наименьшими отходами и потерями.

В затворах, вследствие неопределенности работы их элементов при вибрации, не следует устраивать стыков элементов с фрезерованными торцами, а применять взамен их сварные швы встык или втавр.

\* ЦНИЛСС треста Проектстальконструкция, «Руководство по погрузке стальных конструкций на железнодорожные платформы».

Элементы конструкций затворов следует проектировать, как правило, из жестких профилей, преимущественно прокатных—уголков, двутавров обыкновенных и широкополочных, швеллеров и др. Все элементы конструкций следует проектировать состоящими из наименьшего числа частей.

Толщина прокатных профилей и листов, употребляемых на изготовление затворов, должна быть не менее 6 мм, за исключением затворов очень малых размеров, в которых допускается толщина 4 мм..

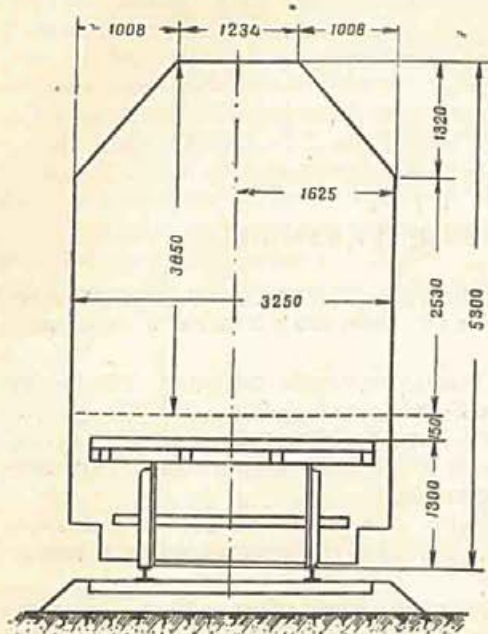
Высота расчетных валиковых сварных швов должна быть не менее 6 мм, а уплотнительных—не менее 4 мм. Прерывистые сварные швы не следует допускать.

Высадку и гнутье профильной стали рекомендуется не применять.

Расположение сварных швов должно быть таким, чтобы в конструкции при сварке возникали возможно меньшие усадочные напряжения и деформации.

Следует стремиться к таким типам конструкций и к такому расположению сварных швов, при которых в процессе сварки требуется наименьшее количество кантовок.

Форма и расположение элементов, составляющих затворы, а также способы соединения их в узлах должны, по возможности, не создавать благоприятных условий для застоя воды и накопления грязи. Замкнутые корытообразные поверхности с ребрами, повернутыми вверх, должны



Фиг. 6. Габарит подвижного состава железных дорог.

иметь водоспускные отверстия диаметром не менее 50 мм.

Элементы затворов должны не иметь узких щелей и пустот, недоступных для очистки и окраски.

Необходимо, чтобы конструкции затворов были доступны для осмотра и удобны для ремонта и смены элементов, наиболее подверженных износу и повреждениям. С этой целью расстояние между ремонтными и основными затворами должно быть не менее 800 мм.

Очертание нижней части затвора, а в случае перелива воды поверху—и верхней части должно обеспечивать протекание воды без вакуума и срыва струн. При переливе воды поверху затвора необходимо принимать меры для устранения возможности повреждения частей затвора плавающими телами. Отгон струи при узких затворах может быть осуществлен соответствующим криволинейным очертанием верха обшивки (фиг. 7), выполненным в виде отклоняющего козырька 1 и небольшого плоского лотка 2, отклоняющего струю при малой толщине переливающегося слоя воды. Пример плоского затвора, перекрытого сплошным криволинейным лотком, показан на фигуре 8. При наличии вакуума в зону пониженных давлений следует подводить воздух.

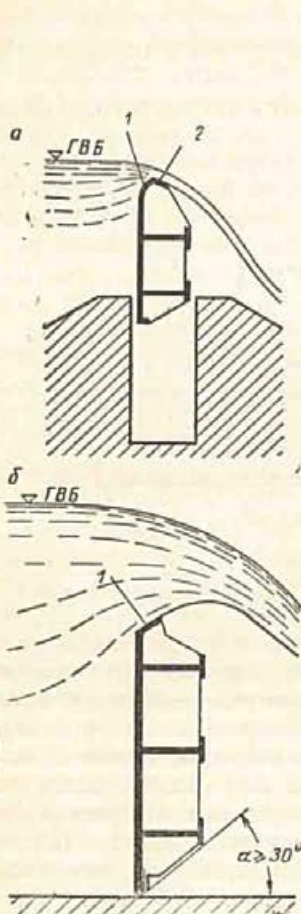
Удаление нижнего ригеля от нижней кромки затвора должно удовлетворять требованию безвакуумного истечения воды под затвором. Для этой цели желательно, чтобы угол (фиг. 7 и 9) между горизонтальной линией и линией, проходящей через нижние точки подвижной части затвора у верхнего и нижнего бьефов, был не менее  $30^\circ$ . В случаях возможности образования вакуума, стен-

\* Б. М. Шур. Выбор типа плоского затвора в различных случаях обтекания его водой. Бюллетень технической информации № 2 Ленинградской проектно-конструкторской конторы Гидромонтажа, 1951.

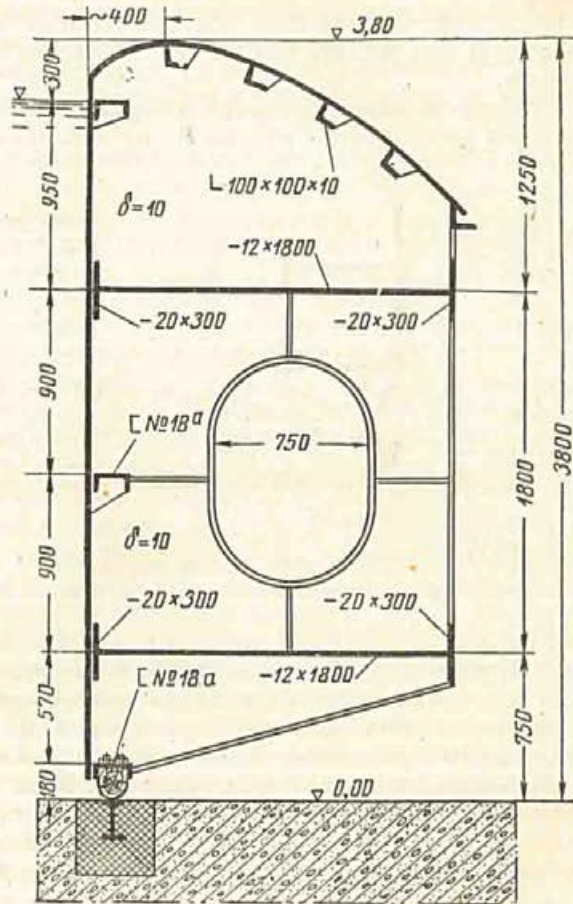
ку нижнего ригеля, если он выполнен в виде сплошной балки, следует снабжать отверстиями, вырезанными или просверленными (фиг. 9, б).

Донные уплотнения должны быть расположены возможно ближе к обшивке и иметь удобообтекаемую форму.

В часто работающих глубинных затворах забральную стенку следует облицовывать листовой сталью на всю высоту рабочего подъема затвора, увеличенную на 25—40 см. Это необходимо для обеспечения плотного соприкосновения с забральной стенкой верхнего горизонтального уплотнения



Фиг. 7. Устройства для отгона струн, переливающейся через затвор:  
а—при малой толщине слоя переливающейся воды; б—то же, при большой толщине.



Фиг. 8. Плоский затвор с верхней водосливной поверхностью.

затвора во все время его движения. Таким путем устраняют возможность перелива воды через затвор, который вызывает его вибрацию, способствует засасыванию посторонних тел между забральной стенкой и уплотнением и значительно увеличивает подъемное усилие.

В затворах, предназначенных для работы при низких температурах, должно предусматривать специальные меры для гарантирования их бесперебойной работы:

- а) обеспечение наибольшей водонепроницаемости уплотнений;
- б) уменьшение поверхностей, по которым возможно примерзание подвижных частей затвора к неподвижным;
- в) изготовление пазов затворов с такими размерами и устройствами, которые позволяли бы легко производить очистку льда;

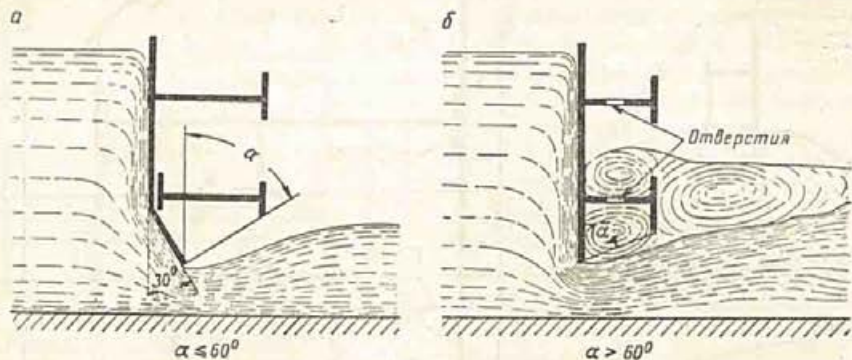
г) снабжение обогревающими устройствами закладных или подвижных частей у мест возможного смерзания.

При сбросе льда поверху затвора ледосбросные устройства должны предохранять части затвора и пазы от повреждения сбрасываемым льдом.

При наличии в воде большого количества наносов, а также карчей и других плавающих тел необходимо принимать специальные меры для предохранения частей затвора от засорения, заедания, чрезмерного износа и т. п. Особое внимание в этих случаях следует обращать на защиту опорно-ходовых частей.

Возможность отложения наносов на пороге плотины у затвора должна быть учтена при расчете как частей собственно затвора, так и подъемных механизмов.

У затворов, маневрирование которыми производят в текущей воде, обшивку следует располагать с напорной стороны. В случае необходимости при опу-



Фиг. 9. Очертание низа затвора:

а—обеспечивающее устранение вакуума под затвором; б—не обеспечивающее устранение вакуума.

скании глубинных затворов в добавочном давлении водяного балласта, возможно верхнюю часть обшивки таких затворов располагать с низовой стороны.

Стоимость металлических конструкций и механического оборудования доходит до 10% от всей стоимости сооружения гидроэлектростанции. В весовом отношении расход стали составляет от 30 до 45 кг на 1 квт мощности станции (меньше—в деривационных и больше—в приплотинных станциях). Значительная доля указанных стоимости и веса стали падает на затворы. Поэтому вопросы снижения стоимости затворов и их оборудования, вопросы уменьшения трудоемкости, ускорения изготовления и монтажа требуют к себе самого пристального внимания.

В настоящее время стальные конструкции гидротехнических сооружений относятся к группе наиболее трудоемких и дорогих как по изготовлению, так и по монтажу. Если трудоемкость изготовления стальных конструкций железнодорожных мостов и промышленных зданий принять за 100%, то трудоемкость изготовления конструкций зданий гидростанций составит 120%, напорных трубопроводов—130, подъемных кранов 200—250 и конструкций гидротехнического назначения—250%. Стоимость монтажа стальных конструкций гидротехнических сооружений в  $1\frac{1}{2}$ —2 раза выше стоимости монтажа промышленных зданий [2].

Стоимость изготовления плоских колесных затворов на 8—15% ниже стоимости изготовления сегментных, секторных и вальцовых затворов. Изготовление затворов габаритных обходится несколько дороже, чем негабаритных (около 4%). Зато монтаж габаритных затворов значительно проще, осуществляется скорее и стоит дешевле (на 14%), чем негабаритных. Монтаж габаритных плоских колесных затворов на 30% дешевле сегментных, на 50% дешевле вальцовых и в 2 раза дешевле секторных. Для негабаритных плоских затворов

указанная разница в стоимости монтажа составит соответственно 16, 31 и 74% [3].

Повышенная стоимость изготовления и монтажа стальных конструкций гидротехнического назначения объясняется сложностью конструкций, занимающих промежуточное положение между собственно строительными конструкциями и механизмами; наличием механических деталей, требующих особо тщательной пригонки; повышенными требованиями к точности изготовления и монтажа; особенностями условий монтажа, в частности совместным выполнением монтажных и строительных работ, и др.

Снижение стоимости конструкций затворов и механического оборудования должно производиться комплексно по многим путям.

В области проектирования имеются следующие возможности:

а) выбор оптимального типа и оптимальных размеров несущих конструкций;

б) увеличение повторяемости элементов, составляющих затвор; типизация и нормализация деталей и целых затворов; стандартизация деталей, их комплектов и затворов в целом;

в) более широкое применение автоматической сварки под слоем флюса не только на заводах, но и на крупных монтажных площадках. Еще более широкая замена клепаных и болтовых соединений сварными;

г) учет работы стальной обшивки совместно с несущими конструкциями и учет пространственной работы несущих элементов затвора;

д) снижение излишних коэффициентов запаса, в частности: повышение допускаемых напряжений в стали марки Ст.3 с 1400 до 1600 кг/см<sup>2</sup>; повышение допускаемых напряжений в сварных соединениях встык, выполненных автоматической сваркой под слоем флюса или ручной — электродами марки Э42 и выше, до напряжений, допускаемых в основной стали, и др.

Учитывая дефицит листовой стали и указания директивных органов о всемерной экономии ее, следует шире применять сквозные конструкции в тех случаях, когда это способствует улучшению гидравлических условий работы затворов (например, при малом расстоянии от нижнего ригеля до порога). Сквозные конструкции меньше подвержены застою воды и накоплению грязи, а потому и менее подвержены коррозии. Сквозные конструкции обычно получаются несколько легче сплошных.

При решении вопроса о применении сплошной или сквозной конструкции в затворе необходимо также учитывать следующие недостатки сквозных конструкций: более высокая трудоемкость изготовления; необходимость использования главным образом ручной сварки, тогда как в сплошных конструкциях главная масса сварных соединений может быть выполнена автоматом под слоем флюса; большая чувствительность к динамическим воздействиям; более высокая чувствительность к дефектам сварных соединений.

Существенное снижение расхода листовой стали в затворах может быть получено заменой стальной обшивки клееными деревянными щитами или лучше судостроительным арктилитом (см. гл. VII).

На ряде крупных существующих затворов арктилита была заменена сильно фильтровавшая деревянная брусчатая обшивка. Эксплуатация таких затворов показала полную пригодность арктилита для этих целей.

Снижение стоимости, ускорение изготовления и монтажа стальных конструкций и механического оборудования может быть получено в результате изготовления на заводе габаритных затворов полностью, включая установку уплотнений и подгонку всех механических деталей. Негабаритные затворы следует на заводе изготавливать максимально крупными пространственными блоками, учитывая все возрастающую мощность грузоподъемного оборудования строек. Большие преимущества в этом отношении имеют секционные затворы, отдельные секции которых почти всегда вписываются в габарит подвижного состава железных дорог.

Монтаж затворов наиболее эффективно производить с помощью их эксплуатационных кранов.



Произведенное у нас объединение организаций, занимающихся проектированием, изготовлением и монтажом стальных конструкций и механического оборудования гидросооружений, и создание специализированных заводов позволяют накапливать и творчески анализировать огромный опыт всех звеньев, повышать производительность труда и существенно ускорять и удешевлять строительство.

Составление проекта металлических конструкций и механического оборудования обычно осуществляют в три стадии: проектное задание, технический проект и рабочие чертежи. Выполнение проектов обычно осуществляют специализированные проектные организации.

Необходимо, чтобы проектировщики с начала своей работы знали, какой завод будет изготавливать запроектированные ими конструкции, и были хорошо осведомлены о производственных возможностях завода-изготовителя, о принятых на заводе нормалях и т. п. Также необходимо, чтобы проектировщики знали и учитывали в своей работе особенности производства монтажа, требования, вытекающие из этих особенностей, и имели сведения о технической оснащенности организации, которой предстоит монтировать проектируемые ими конструкции.

## Глава III

### СИЛЫ И НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЗАТВОРЫ

#### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

На затворы могут оказывать воздействия следующие силы и нагрузки.

1. Собственный вес затвора.
2. Давление воды: а) гидростатическое, б) гидродинамическое, в) фильтрационное и г) волновое.
3. Давление наносов.
4. Давление льда.
5. Давление ветра.
6. Реактивные силы (трение, сцепление и т. п.).
7. Сейсмические силы.
8. Нагрузки, возникающие в процессе монтажа, ремонта и т. п.

В соответствии с ГОСТ 3154-46 к основным силам и нагрузкам (группа А) относят собственный вес затвора, гидростатическое и гидродинамическое давления воды при нормальном подпорном горизонте, нагрузку от нагона волны и давление ветра обычной силы. К дополнительным (группа Б) относят гидростатическое и гидродинамическое давления при повышенном подпорном горизонте, давление наносов, силы, действующие во время монтажа и ремонта, температурные воздействия в статически неопределимых системах и др. К особым силам и нагрузкам (группа В) относят сейсмические силы, давление ураганного ветра, давление воды при катастрофическом паводке и при разрушении выше или ниже расположенных сооружений, давление штормовых волн и др.

Для расчета принимают наименее выгоднейшие комбинации сил и нагрузок, могущих действовать на затвор одновременно.

В зависимости от сочетания групп нагрузок назначают величины допускаемых напряжений и коэффициентов запаса.

Расчетные комбинации сил и нагрузок рассматривают для следующих положений затвора:

- а) он опирается на порог;
- б) он полностью поднят;
- в) момент отрыва от порога и момент посадки на порог;
- г) промежуточное положение с учетом гидродинамической нагрузки;
- д) такие монтажные состояния и положения, при которых в отдельных частях затвора возникают усилия, большие по величине или другого направления, чем при нормальной эксплуатации.

#### 2. СОБСТВЕННЫЙ ВЕС ЗАТВОРА

Для предварительных подсчетов собственный вес затвора можно определять путем сопоставления с весом аналогичных ранее запроектированных конструкций, по приближенным формулам или по графикам.

Собственный вес  $G$  подвижной части стального плоского затвора можно определить по формуле А. Р. Березинского:

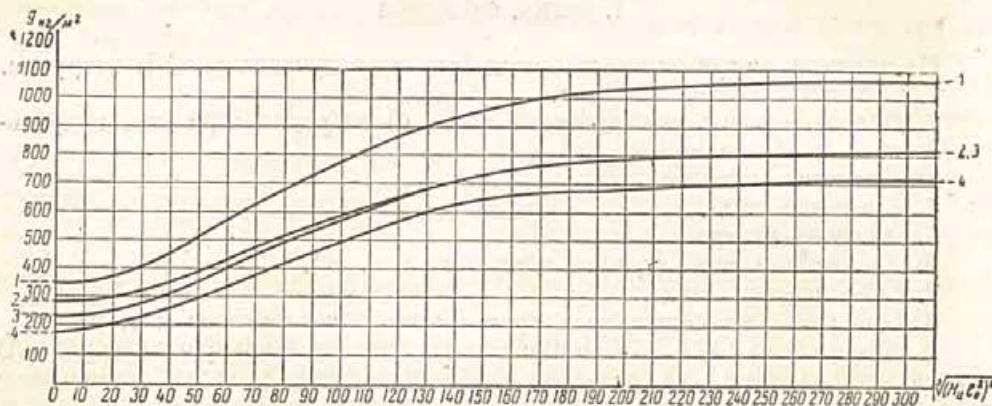
$$G = 0,055 F \sqrt{\bar{F}}_T, \quad (1)$$

или по формуле П. А. Ефимовича:

$$G = 0,157 F \sqrt{\bar{F}}_T, \quad (2)$$

где  $F$  — нагруженная гидростатическим давлением площадь затвора (в  $\text{м}^2$ ).

Недостатком приведенных формул является то, что они выражают вес затвора только в функции площади перекрываемого отверстия. Они не учитывают влияния таких существенных факторов, как ширина и высота перекрываемого отверстия, величина напора, место расположения затвора и вид опорно-ходовых частей.



Фиг. 10. График для определения веса плоских сварных затворов со сплошными ригелями:

1 — глубинных колесных; 2 — глубинных скользящих; 3 — поверхностных колесных; 4 — поверхностных скользящих.

Инженер А. П. Цветков предложил для определения веса  $g$  плоских затворов новую формулу, основанную на учете советского опыта их проектирования [4]:

$$g = k \sqrt{(H_{ц} l_0^2)^2} \text{ кг/м}^2, \quad (3)$$

где  $g$  — вес подвижной части затвора (в  $\text{кг/м}^2$ ) перекрываемого отверстия;

$l_0$  — ширина отверстия (в м);

$H_{ц}$  — расчетный напор над центром отверстия (в м);

$k$  — коэффициент, зависящий от величины  $H_{ц} l_0^2$ , допускаемого напряжения и типа затвора.

Значения коэффициента  $k$  и величины  $g$   $\text{кг/м}^2$  приведены в таблице 5\*.

По формуле (3) построены графики веса  $g$  в килограммах на  $1 \text{ м}^2$  перекрываемого отверстия плоских затворов (фиг. 10).

Вес  $g$  находят по графику в зависимости от величины  $\sqrt{(H_{ц} l_0^2)^2}$ , которая должна быть предварительно вычислена.

В таблице 5 приведены данные, а на фигуре 10 показаны кривые отдельно для поверхностных и глубинных затворов с колесными и скользящими опорами.

\* Всесоюзный трест Гидромонтаж. Московская проектная контора. «Данные для предварительного определения веса плоских затворов». Т—М 150—52.

Значения коэффициента  $k$  формулы (3) и вес плоских сварных затворов  $g$  (в кг/м<sup>2</sup>) перекрываемого отверстия

$H_{ц} l_0^2$	Значения коэффициентов $k$ для сварных затворов при $[-]=1400$ кг/см <sup>2</sup>				Вес $g$ затворов, отнесенный к 1 м <sup>2</sup> отверстия (в кг)			
	поверхностных		глубинных		поверхностных		глубинных	
	скользящих	колесных	скользящих	колесных	скользящих	колесных	скользящих	колесных
2	112,0	142,0	189,0	207,0	185	235	295	350
3	89,0	111,0	140,0	167,0	187	235	295	350
5	65,0	81,0	101,0	121,0	189	236	295	350
10	41,0	51,0	64,0	77,0	191	237	296	350
15	32,0	39,0	48,0	58,0	195	238	297	352
20	26,0	32,0	40,0	48,0	196	239	298	354
25	23,0	28,0	35,0	42,0	197	240	299	355
30	21,0	25,0	31,0	37,0	199	242	300	355
40	18,0	21,0	25,0	32,0	200	246	301	357
50	15,0	19,0	22,0	26,0	205	248	302	358
60	13,0	16,0	19,0	24,0	210	250	305	360
75	12,0	14,0	17,0	21,0	215	255	310	365
100	10,0	12,0	14,0	17,0	220	260	315	370
125	9,2	10,8	12,8	15,0	230	270	320	380
150	8,8	9,9	11,5	14,0	240	280	325	390
200	7,6	8,9	9,9	11,7	260	305	340	400
250	6,9	8,1	9,0	11,3	275	325	360	450
300	6,4	7,4	8,2	10,8	287	331	367	484
400	5,9	6,9	7,5	10,0	320	375	407	543
600	5,5	6,4	6,8	9,0	392	456	484	641
800	5,2	6,0	6,2	8,2	448	517	534	707
1 000	5,0	5,8	5,9	7,8	500	580	590	780
1 500	4,7	5,3	5,3	7,0	616	695	695	918
2 000	4,2	4,8	4,8	6,2	667	762	762	985
3 000	3,3	3,8	3,8	5,0	686	790	790	1 040
4 000	2,8	3,2	3,2	4,2	705	806	806	1 058
5 000	2,5	2,8	2,8	3,7	731	819	819	1 082

Данные таблицы 5 и фигуры 10 относятся к одиночным сварным затворам со сплошными ригелями при напоре до 25 м, рассчитанным путем разложения на отдельные плоскостные элементы при допускаемых напряжениях в прокатной стали от основных нагрузок—1400 кг/см<sup>2</sup>.

Для предварительного определения веса плоских затворов, проектируемых при других, отличных от указанных выше условий, необходимо результаты, получаемые по формуле (3), по таблице 5 или по графику фигуры 10, умножить на коэффициент  $k_1$ . Значения коэффициента  $k_1$  для различных условий проектирования плоских затворов приведены в таблице 6.

По данным А. П. Цветкова, отклонение вычисленных по формуле (3) весов затворов от действительных находится в пределах  $\pm 15\%$  для 82% из обследованных им около 150 затворов.

Вес опорно-ходовых частей составляет в глубинных затворах около 24% от общего веса затвора, а в поверхностных—около 14%, поднимаясь до 20 и даже 30% при показателе  $H_{ц} l_0^2 < 30$ . Скользящие глубинные затворы легче колесных примерно на 24%, а поверхностные—на 14%.

На базе материалов, опубликованных в статье инж. А. П. Цветкова [4], и анализа этих материалов доктор технических наук П. П. Лаупман [5] предложил для определения веса плоских затворов более простые формулы с постоянными коэффициентами:

а) для плоских колесных затворов глубинных отверстий:

$$g = 76 \sqrt[3]{H_{ц} l_0^2} \text{ кг/м}^2, \quad (3a)$$

но не менее 410 кг/м<sup>2</sup>;

Значения поправочных коэффициентов  $k_1$  в формуле (3)

Тип затвора и условия его проектирования	$k_1$
Секционный с разными секциями . . . . .	1,10
» » повторяющимися секциями . . . . .	1,20
Со сквозными ригелями . . . . .	0,85
Клепанный . . . . .	1,15
Скользкий при напоре над порогом $H > 25$ м . . . . .	$\sqrt[3]{\frac{H}{25}}$
Колесный » » » » $H > 25$ » . . . . .	$\sqrt[3]{\left(\frac{H}{25}\right)^2}$
Скользкий при $[\sigma] \neq 1400$ кг/см <sup>2</sup> . . . . .	$\sqrt[3]{\frac{1400}{[\sigma]}}$
Колесный » $[\sigma] \neq 1400$ » . . . . .	$0,2 + 0,8 \sqrt[3]{\frac{1400}{[\sigma]}}$
При расчете затворов как пространственных систем .	0,9

б) для плоских колесных затворов поверхностных отверстий:

$$g = 64 \left( \sqrt[3]{\frac{H}{H_0}} - 1 \right) \text{ кг/м}^2, \quad (36)$$

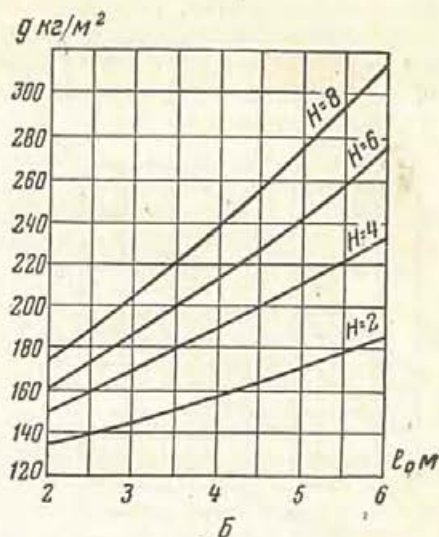
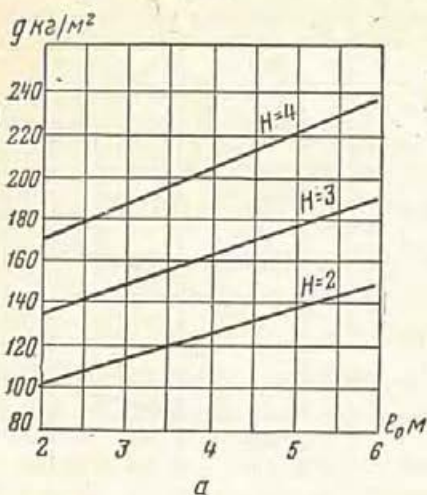
но не менее 260 кг/м<sup>2</sup>.

В формулах (3а) и (3б) приняты те же обозначения, что и в формуле (3). Формулы (3а) и (3б) дают более закономерно меняющиеся значения теоретического веса затворов, чем формула (3), при относительно малых значениях напоров и пролетов. Эти формулы справедливы для значений  $H/H_0 > 1$ .

На фигурах 11—13 даны графики для определения веса подвижной части поверхностных плоских затворов, заимствованные из ТУ и Н проектирования металлических затворов гидротехнических сооружений 1935 г. [6]. Графики дают вес подвижной части затвора  $g$  в кг на 1 м<sup>2</sup> площади перекрываемого отверстия. Для колесных плоских затворов даны отдельные графики: левые— для определения веса проката стали в подвижной части, и правые— для определения веса стального литья подвижной части, идущего главным образом на изготовление подвижных опорно-ходовых частей.

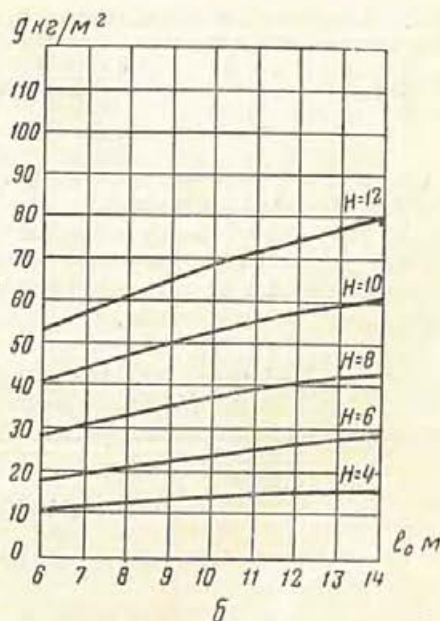
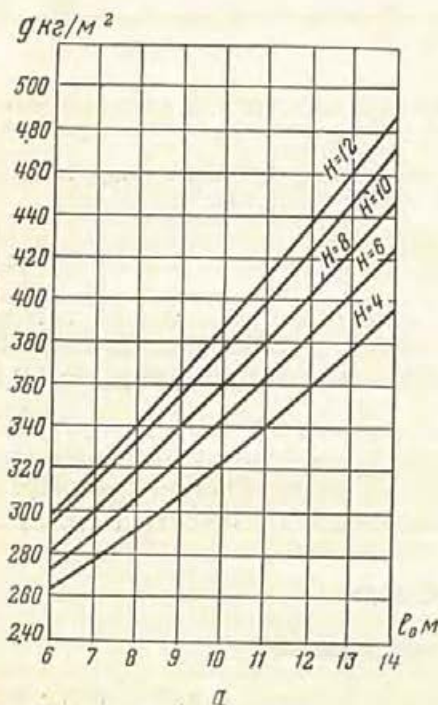
Графики построены для клепаных конструкций при основном допускаемом напряжении в стальном прокате 1400 кг/см<sup>2</sup> и дают вес  $g$  в кг/м<sup>2</sup> перекрываемого отверстия в зависимости от ширины отверстия  $l_0$  в м и от величины расчетного напора над порогом  $H$  в м. При допускаемом напряжении в прокатной стали  $[\sigma]$  отличным от 1400 кг/см<sup>2</sup>, следует вес, определенный по графикам (фиг. 11—13), изменить, умножив его на коэффициент  $k_2 = \sqrt[3]{\frac{1400}{[\sigma]}}$ .

При большом изменении допускаемых напряжений, связанных с заменой в основных несущих элементах стали марки Ст.3 сталью марки НЛ2, облегчение веса затвора происходит с существенным отставанием от роста напряжений. Причины этого кроются в том, что в затворах из стали НЛ2 часть мало нагруженных элементов, а иногда и обшивку, осуществляют из стали марки Ст.3; количество элементов, размеры которых назначают конструктивно, возрастает; неблагоприятное влияние возможности потери устойчивости при сжатии и изгибе в элементах из стали НЛ2 сказывается относительно сильнее, чем в элементах из стали Ст.3; так же относительно сильнее сказывается и неблагоприятное влияние воздействия динамических нагрузок.



Фиг. 11. Графики для определения веса подвижной части плоского поверхностного скользящего затвора со сплошными ригелями клепаной конструкции при  $[\sigma]=1400 \text{ кг/см}^2$ :

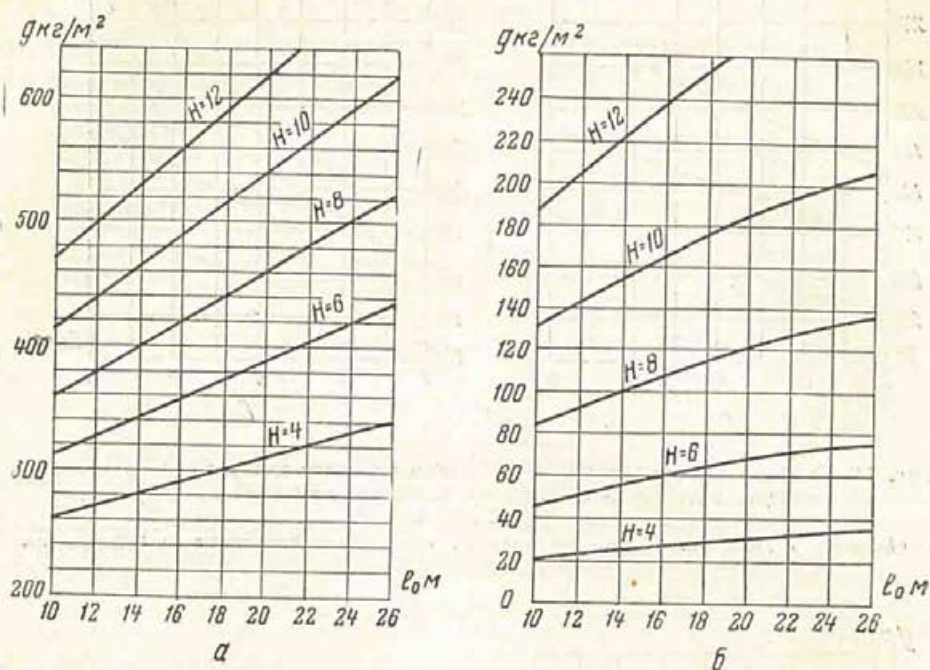
*а*—стоечного; *б*—многоригельного. Вес сварных конструкций принимают на 10% меньше.



Фиг. 12. Графики для определения веса подвижной части плоского поверхностного многоригельного колесного затвора со сплошными ригелями клепаной конструкции при  $[\sigma]=1400 \text{ кг/см}^2$ :

*а*—стального проката; *б*—стального литья. Вес стального проката сварной конструкции принимают на 20% меньше.

Вес стального литья, указанный в графиках на фигурах 11—13, вычислен при допускаемом напряжении на диаметральное сжатие—35 кг/см<sup>2</sup>. Облегчение веса сварных конструкций по сравнению с клепаными указано (приближенно) в подписях к графикам.



Фиг. 13. Графики для определения веса подвижной части плоского поверхностного двухригельного колесного затвора клепаной конструкции при сквозных ригелях и при  $[\sigma]=1400$  кг/см<sup>2</sup>:

а—стального проката; б—стального литья. Вес стального проката сварной конструкции принимают на 15% меньше.

Точный вес затвора определяют по спецификациям, составленным на основании рабочих чертежей.

Для предварительного определения веса малых скользящих затворов открытых регуляторов шириной  $B=0,4\div 2,5$  м и с напором  $H=(0,6\div 2)$  В приведены графики на фигурах 14 и 15. Указанные затворы оборудованы одновитовыми подъемниками.

На фигуре 14 представлены кривые веса подвижной части затвора (щита), а на фигуре 15—кривые веса закладных рам при высоте открытия щита, равной величине напора  $H$ . Графики составлены по результатам проектировок Бюро металлических конструкций Средазводпроекта 1941 г. [7].

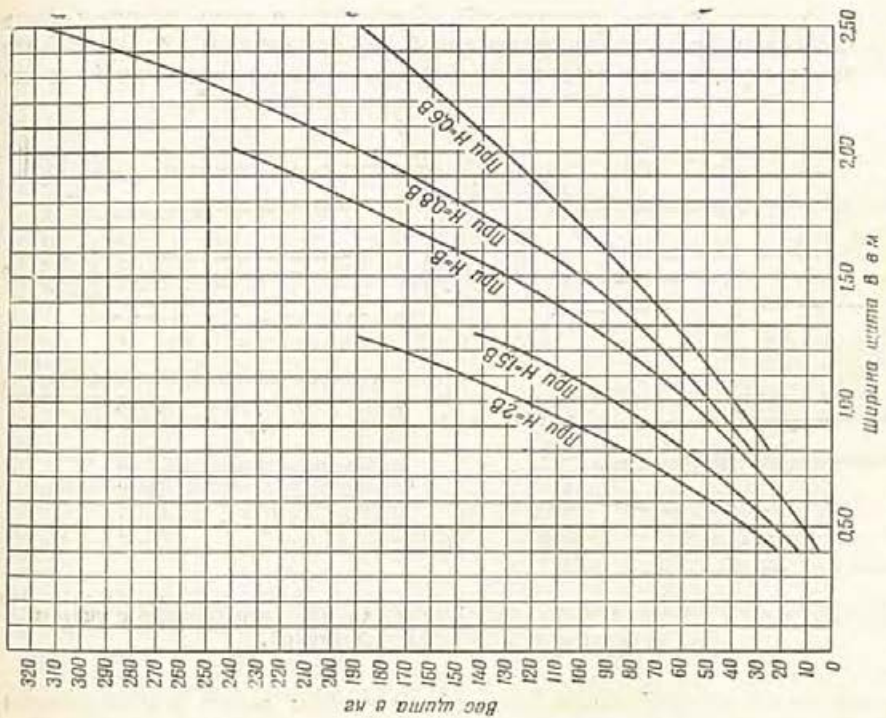
### 3. ДАВЛЕНИЕ ВОДЫ

#### а) Гидростатическое давление

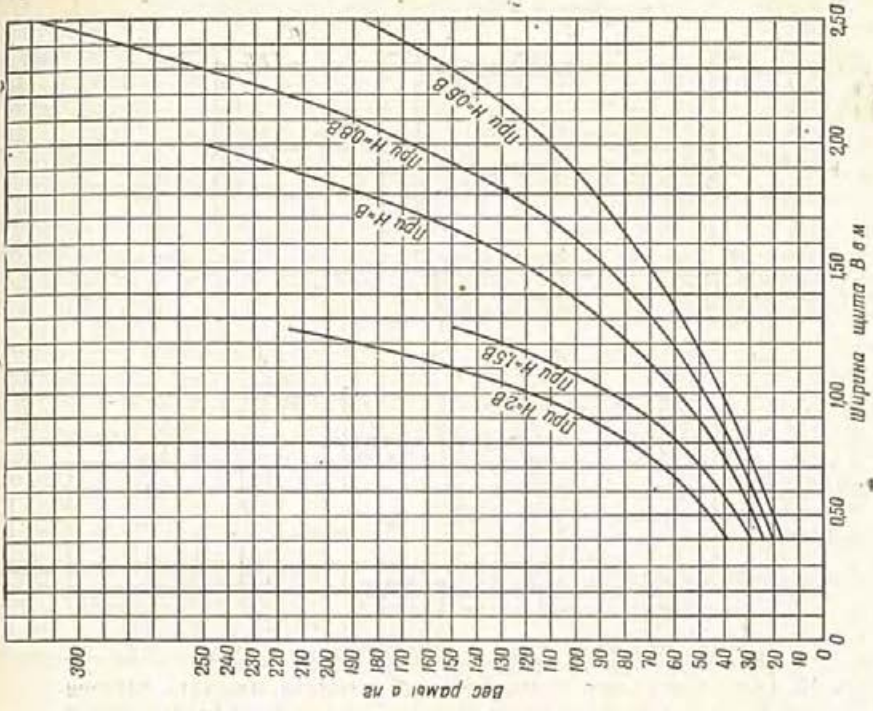
Давление  $p$  покоящейся воды на единицу площади в любой точке вододерживающей поверхности затвора прямо пропорционально глубине погружения  $H$  этой точки, направлено нормально к этой поверхности и определяется по формуле:

$$p = \gamma H \text{ т/м}^2 \text{ или } p = 0,1\gamma H \text{ кг/см}^2, \quad (4)$$

где  $\gamma$ —объемный вес воды, обычно принимаемый равным 1 т/м<sup>3</sup>;  
 $H$ —глубина погружения в м (в обеих формулах).



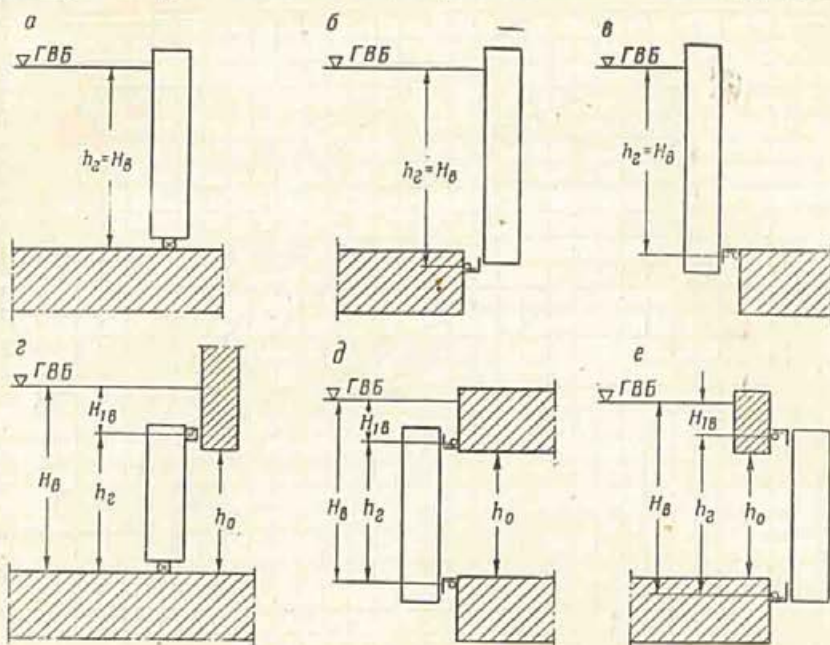
Фиг. 14. Вес подвижной части малых скользящих затворов открытых регуляторов.



Фиг. 15. Вес закладных рам малых скользящих затворов с закрытыми регуляторами.

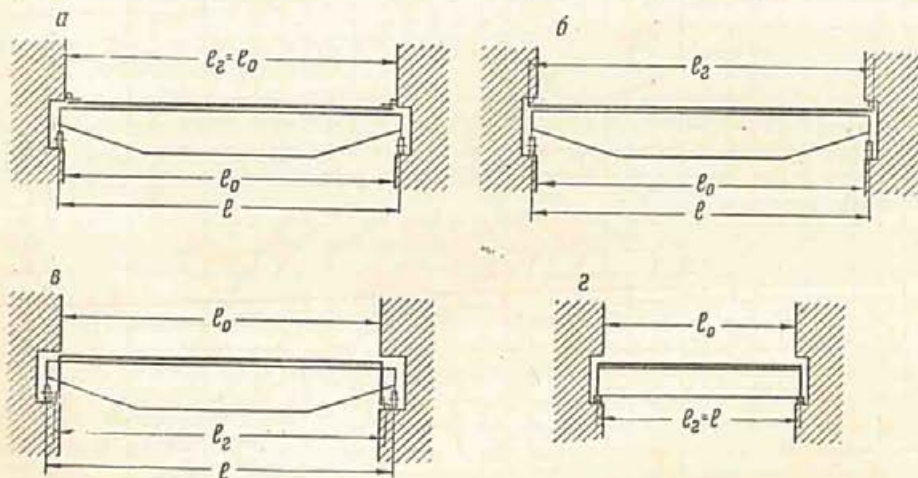


Размеры  $l_r$  и  $h_r$  нагруженной гидростатическим давлением площади затвора (водоудерживающей площади) зависят от ширины  $l_0$  и высоты  $h_0$  отверстия в свету, а также от места расположения и конструкции вертика-



Фиг. 16. Определение высоты нагруженной площади плоского затвора и расчетного напора верхнего бьефа в зависимости от места расположения и конструкции горизонтальных уплотнений.

кальных и горизонтальных уплотнений. Сообразно с этим должны быть уточнены значения расчетных напоров  $H_в$  — верхнего и  $H_н$  — нижнего бьефов. Примеры уточнения высоты водоудерживающей площади  $h_r$  и ве-

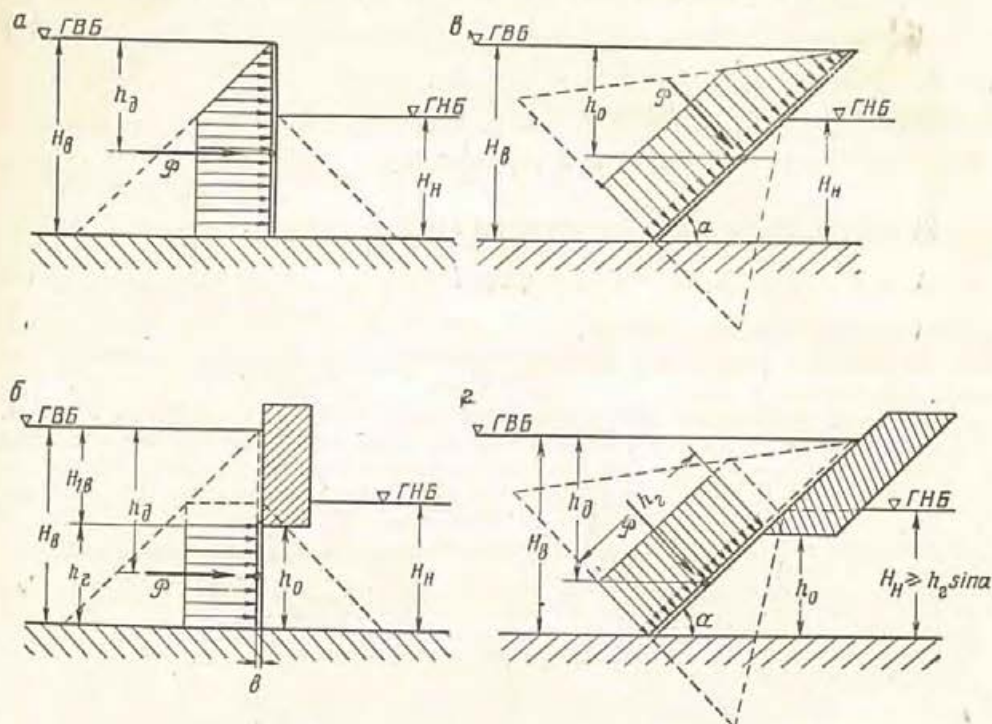


Фиг. 17. Определение ширины нагруженной площади плоского затвора с учетом места расположения боковых уплотнений.

личины расчетного напора верхнего бьефа с учетом места расположения и конструкции горизонтальных уплотнений приведены на фигуре 16; примеры определения ширины  $l_r$  нагруженной площади с учетом расположения боковых уплотнений показаны на фигуре 17.

Ниже приведены формулы для определения величины гидростатического давления на плоские затворы.

Плоский поверхностный вертикальный затвор (фиг. 18,а).



Фиг. 18. Определение гидростатического давления воды на плоские затворы: а—вертикальный поверхностный; б—вертикальный глубинный; в—наклонный поверхностный; г—наклонный глубинный.

1) Давление воды верхнего бьефа:

$$P_v = \frac{1}{2} \gamma H_B^2 l_r \text{ т.} \quad (5)$$

Ордината центра давления (расстояние от расчетного горизонта верхнего бьефа до центра тяжести эпюры давления):

$$h_d = \frac{2}{3} H_B \text{ м.} \quad (6)$$

2) Полное давление воды верхнего и нижнего бьефов:

$$P = \frac{1}{2} \gamma (H_B^2 - H_H^2) l_r \text{ т.} \quad (7)$$

Ордината центра давления:

$$h_d = \frac{1}{3} \left( 2H_B - \frac{H_H^2}{H_B - H_H} \right) \text{ м.} \quad (8)$$

Плоский глубинный вертикальный затвор (фиг. 18,б).

1) Давление воды верхнего бьефа:

$$P_v = \frac{1}{2} \gamma (H_B^2 - H_{1B}^2) l_r \text{ т.} \quad (9)$$

Ордината центра давления:

$$h_d = \frac{2}{3} \left( H_{1B} + \frac{H_B^2}{H_B + H_{1B}} \right) \text{ м,} \quad (10)$$

где  $H_{1в}$  — глубина погружения верхней кромки нагруженной площади затвора.

2) Полное давление воды верхнего и нижнего бьефов при  $H_n > h_r$ :

$$P = \gamma (H_n - H_n) h_r l_r \tau, \quad (11)$$

где  $h_r$  — высота нагруженной площади затвора.

Ордината центра давления:

$$h_d = H_n - \frac{1}{2} h_r \text{ м.} \quad (12)$$

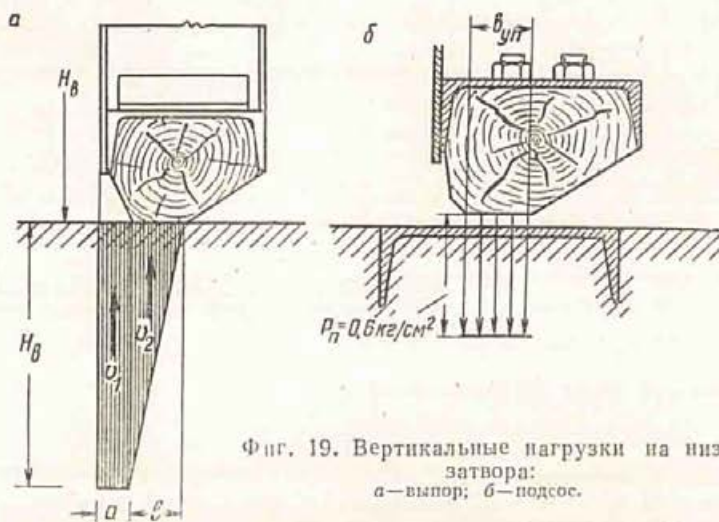
3) Вертикальное давление воды на гребень затвора:

$$V = \gamma H_{1в} b l_r \tau, \quad (13)$$

где  $b$  — ширина гребня затвора.

Аналогично учитывают вертикальное давление переливающегося слоя воды в затворах с клапаном, в двоянных и в секционных затворах.

**Плоские, наклонные поверхностные и глубинные затворы** (фиг. 18, а, з). Давление воды верхнего бьефа и полное давление воды с обонх бьефов



Фиг. 19. Вертикальные нагрузки на низ затвора:

а — выпор; б — подсос.

определяют соответственно по формулам (5) и (7) для поверхностного и по формулам (9) и (11) — для глубинного затворов, учитывая влияние угла  $\alpha$  наклона напорной поверхности затвора к горизонту на величину нагруженной площади. Этот учет производят умножением значений  $P$  на величину  $\frac{1}{\sin \alpha}$ , за исключением формулы (11), в которой влияние угла  $\alpha$  учитывается автоматически введением величины  $h_r$ , измеренной по напорной плоскости затвора.

Ординаты центра давления воды находят соответственно по формулам (6), (8), (10) и (12), при этом в формуле (12)  $h_r$  следует умножить на  $\sin \alpha$ .

Кроме главной гидростатической нагрузки, действующей перпендикулярно к нагруженной поверхности затвора, и веса воды, расположенной над верхней гранью затвора [формула (13)], на плоские затворы действуют второстепенные вертикальные гидростатические нагрузки, зависящие от конструкции донного уплотнения и направленные обычно вверх — так называемый «выпор». (В случае, показанном на фиг. 19, б, эти силы направлены вниз; их называют «подсос».)

Величина выпора может быть определена по схеме на фигуре 19, а, представленной для случая давления только со стороны верхнего бьефа:

$$V' = V_1 + V_2 = \gamma H_b (a + 0,5b) l_r \tau, \quad (14)$$

где  $a$  — расстояние от лицевой грани обшивки до передней кромки донного уплотнения;

$b$  — ширина рабочей грани донного уплотнения.

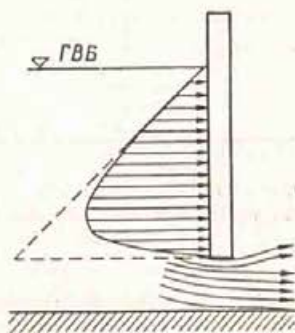
При подвижном донном уплотнении фильтрационное давление воды  $V_2 = 0,5\gamma H_b b l_r$  отсутствует. Аналогично следует учитывать и давление воды со стороны нижнего бьефа.

### б) Гидродинамическое давление

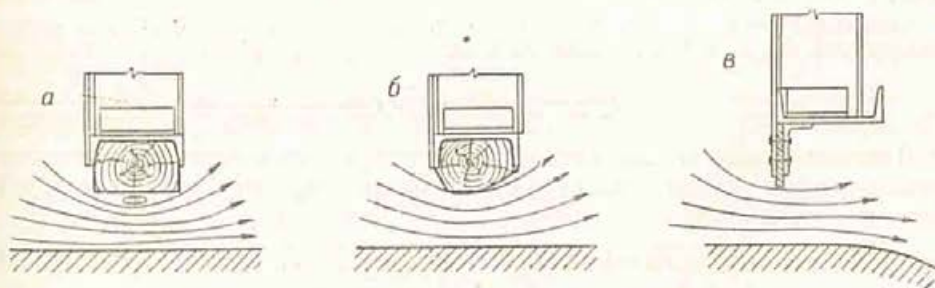
Гидродинамическое давление возникает при истечении воды из-под затвора или при переливе через него\*. Давление движущейся воды (без учета вакуума) несколько меньше гидростатического давления (за счет потерь напора на обтекание затвора, фиг. 20), Поэтому, за исключением особо ответственных случаев, изучаемых в лабораториях на моделях, горизонтальное давление движущейся воды на затвор в практических расчетах определяют как гидростатическое.

Очертание низа затвора не соответствует очертанию верхней поверхности струи, вытекающей из-под него. Если струя не отклоняется от нижних поверхностей затвора, то она создает только выпор — гидродинамическое давление, направленное вверх. По величине оно несколько меньше соответствующего гидростатического давления (благодаря потере напора). Если вытекающая струя отклоняется от нижних поверхностей затвора, то в пространстве, изолированном от атмосферы, возникает вакуум. Последний создает эффект «присоса» затвора к порогу и увеличивает подъемное усилие.

При обтекании верхнего края затвора имеет место аналогичная картина, но с обратным направлением усилий. Кроме того, если пространство под переливающейся струей непосредственно за затвором не сообщается с наружным



Фиг. 20. Горизонтальное давление воды на затвор при истечении ее из-под затвора.



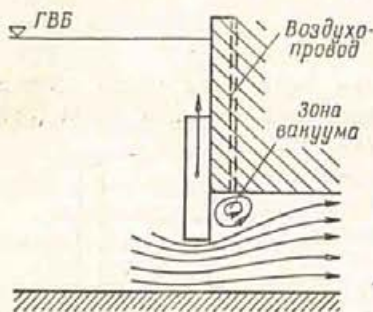
Фиг. 21. Образование вакуума под приподнятым затвором (а) и меры борьбы с ним (б, в).

воздухом, то может появиться дополнительная горизонтальная нагрузка на верх затвора, направленная так же, как давление верхнего бьефа.

Указанные гидродинамические воздействия на затвор весьма сложны и вредны. Количественная оценка их (без специальных лабораторных исследо-

\* Действие гидравлического удара на затвор в настоящей книге не рассмотрено.

ваний на моделях) очень трудна и неточна. При проектировании затворов необходимо принимать специальные меры, устраняющие возможность появления вакуума. Водосливному гребню затвора придают плавное обтекаемое очертание (фиг. 8), сводящее к минимуму вертикальное давление переливающейся воды и исключаящее отрыв струи; под струю подводят воздух; донному уплотнению сообщают относительно более плавное очертание; нижнюю горизонтальную поверхность уплотняющих брусков по возможности уменьшают (фиг. 21); порогу водослива непосредственно за кромкой затвора сообщают уклон в сторону нижнего бьефа (фиг. 21, в); в стенке сплошного нижнего ригеля устраивают отверстия. В затворах водоспусков в зону вакуума



Фиг. 22. Образование вакуума за приподнятым глубинным затвором.

(за затвором) впускают воздух для восстановления атмосферного давления (фиг. 22).

В момент отрыва горизонтального уплотнения затвора от порога при истечении воды из-под затвора возможно возникновение разреженной зоны (вакуума) под уплотнением. Вакуум создает подсос—вертикальное усилие, направленное вниз. Интенсивность подсоса принимают равной  $p_n = 0,6$  кг/см<sup>2</sup> площади горизонтального уплотнения. Величину подсоса (фиг. 19, б) определяют по формуле:

$$V_a = p_n b_{уп} l_{уп}, \quad (15)$$

где  $b_{уп}$ —ширина уплотняющей площади;  $l_{уп}$ —нагруженная длина уплотняющей площади.

Если очертание низа затвора не обеспечивает свободное расширение вытекающей из-под затвора струи (фиг. 9) и зона возможного вакуума не обеспечена аэрацией, то в расчетах затворов необходимо учитывать вертикальную нагрузку от вакуума интенсивностью 0,6 кг/см<sup>2</sup>.

Возможные, но не поддающиеся точному количественному определению, дополнительные сопротивления подъему (посадке) затвора при обтекании его водой учитывают при назначении величины коэффициента запаса к подъемному усилию.

### в) Давление волн

Давление штормовых волн на затвор определяют по ГОСТ 3255—46 «Воздействия волновые».

Горизонтальную нагрузку от нагона волны учитывают некоторым увеличением высоты расчетного напора.

## 4. ДАВЛЕНИЕ НАНОСОВ

Давление наносов на затвор в случае возможности отложения их перед затвором должно быть учтено независимо от гидростатического давления по формуле:

$$P_n = 0,5 \gamma_n h_n^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) l_r \tau, \quad (16)$$

где  $h_n$ —высота слоя наносов;

$\varphi$ —угол естественного откоса взвешенных наносов;

$l_r$ —ширина нагруженной площади затвора;

$\gamma_n$ —объемный вес грунтового скелета в воде.

Последний определяют по формуле:

$$\gamma_n = (\gamma_0 - 1)(1 - p),$$

где  $\gamma_0$ —удельный вес материала частиц грунта, колеблющийся от 2,5 до 2,8;

$p$ —порозность в долях единицы объема.

## 5. ДАВЛЕНИЕ ВЕТРА

Давление ветра учитывают при поднятом над водой положении затвора по ГОСТ 1664—42 «Расчет строительных конструкций. Нагрузка ветровая».

## 6. ДАВЛЕНИЕ ЛЬДА

Статическое давление льда на затвор, происходящее вследствие термического расширения сплошного ледяного покрова, расчетом не учитывают. Возможность такого давления льда должна быть устранена околкой льда перед сооружением и другими эксплуатационными мероприятиями.

Динамическое воздействие льда (удар льдин) в отдельных случаях следует учитывать в зависимости от местных условий (размеры льдин, скорость подхода, условия прохода через пролеты сооружения и др.).

## 7. СЕЙСМИЧЕСКИЕ СИЛЫ

Определение сейсмических воздействий на затвор производят по специальным указаниям в тех случаях, когда все сооружение рассчитано на действие этих сил.

## 8. СИЛЫ, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ ПОДЪЕМУ (ОПУСКАНИЮ) ЗАТВОРА

При определении подъемного и опускного усилий учитывают все силы, оказывающие сопротивление движению затвора: собственный вес подвижной части, вертикальное давление воды, трение в опорно-ходовых частях и уплотнениях. Влияние таких не поддающихся точному учету неблагоприятных факторов, как сила сцепления обмерзшей конструкции затвора по контуру, вес наледи на затворе, присос к порогу, перекосы при движении и т. п., учитывают увеличением вычисленного подъемного усилия на 20% и более в соответствии с условиями работы и конструкцией затвора.

## ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ПРОГИБЫ И ГИБКОСТИ

Допускаемые напряжения в элементах затворов назначают в зависимости от материала, из которого изготовлены эти элементы, от сочетания и характера нагрузок, от класса капитальности и от характера работы затвора.

Ниже в таблицах 7, 8, 9, 10 и 11 приведены допускаемые напряжения, установленные в 1952 г. для затворов одного из крупнейших гидротехнических строителств\*. В элементах конструкций и механических деталей глубоинных затворов, регулярно работающих в потоке, допускаемые напряжения понижают на 20%.

Стальные конструкции для указанного строительства изготовляют на специализированных заводах, на которых хорошо поставлен контроль за качеством материалов, сборки и сварки. Таким образом, приведенные в таблицах 7—11 величины допускаемых напряжений являются тем пределом, к которому в настоящее время следует стремиться путем повышения качества изготовления, монтажа и контроля стальных конструкций затворов.

Для затворов, изготовление которых производится в менее благоприятных условиях, проектные организации принимают менее высокие напряжения, установленные «Техническими условиями и нормами проектирования металлических затворов гидротехнических сооружений», 1935 г., НКТП СССР [6].

Величины допускаемых напряжений, установленные указанными ТУ и Н, приведены в таблицах 16 и 17.

Допускаемые напряжения в штангах из прокатной стали следует назначать по таблице 8, как для механических деталей.

Во всех случаях, за исключением контактных напряжений смятия, допускаемые напряжения должны не превышать 0,9 от предела текучести применяемого материала.

Допускаемые контактные напряжения смятия принимают равными пределу текучести соприкасающихся материалов из стали и равными половине предела прочности при сжатии—для чугуна.

Допускаемые напряжения в чугунных отливках, а также в клепаных и болтовых соединениях конструкций из стали марок Ст.3, Ст.2 и Ст.0 приведены в соответствии с Н и ТУ 1—46 проектирования стальных конструкций Минтяжстроя (табл. 13) [8]. Допускаемые напряжения в клепаных и болтовых соединениях конструкций из стали марок НЛ1 и НЛ2 приведены в соответствии с указаниями по проектированию конструкций из сталей этих марок У—70—51 МСПТИ (табл. 14 и 15) [9].

В элементах, прикрепленных к фасонке только с одной стороны (например, в элементе, состоящем только из одного уголка), допускаемые таблицами 7 и 16 напряжения снижают на 25%.

\* Гидромонтаж. Конструкторское бюро гидромеханических сооружений. «Сооружения гидротехнические. Затворы стальные. Технические условия и нормы проектирования». 2-я редакция, 1952 г.

Допускаемые напряжения в элементах затворов из прокатной стали

Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при марке стали проката					
	Ст. 3			НЛ2у		
	и при воздействиях					
	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых
Растяжение, сжатие и изгиб . . . . .	1 600	1 800	2 100	2 250	2 600	2 900
Срез . . . . .	1 000	1 100	1 300	1 350	1 550	1 800
Смятие торцовой поверхности	2 400	2 400	2 400	3 400	3 400	3 400

Таблица 8

Допускаемые напряжения в механических деталях затворов из поковок или прокатной стали

Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при поковках или прокате из стали марок											
	Ст. 3			Ст. 5			Ст. 35у			НЛ2у		
	и при воздействиях											
	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых
Растяжение, сжатие и изгиб . . . . .	1 000	1 100	1 250	1 200	1 350	1 500	1 300	1 450	1 700	1 400	1 600	1 800
Срез . . . . .	650	700	800	750	850	950	850	950	1 100	900	1 000	1 150
Смятие торцовой поверхности . . . . .	1 500	1 650	1 900	1 800	2 000	2 250	1 950	2 200	2 500	2 100	2 400	2 700
Смятие местное при плотном касании . . . . .	800	900	1 000	950	1 100	1 200	1 050	1 200	1 350	1 100	1 300	1 400
Растяжение проушины . . . . .	1 200	1 400	1 800	1 450	1 700	2 200	1 500	1 750	2 300	1 800	2 100	2 700

В таблицах 7—10 смятие торцовой поверхности предусматривает случай местного смятия, например, у торцов ребер жесткости, у стенки балки от подвижной нагрузки и т. п.

В таблицах 8—10 смятие местное при плотном касании (удельное давление) относят к площади проекции поверхности касания малоподвижных шарниров.

Приведенные в таблицах 8 и 9 значения допускаемых напряжений на растяжение при расчете проушины по Лямэ относятся к неподвижным соединениям. Во вращающихся цапфах, в выдвигаемых осях штанг и т. п. значения допускаемых напряжений, приведенные в таблицах 8 и 9, уменьшают на 20%.

Допускаемые напряжения в сварных соединениях встык, приведенные в таблице 11, приняты ниже, чем в основном металле (Ст. 3 или НЛ2у), при сжатии на 10%, а при растяжении — на 20%. Эта принципиальная установка устарела. Она не отвечает современному состоянию технологии сварочного производства и огромным достижениям в этой области за военные и, особенно, послевоенные годы.



Допускаемые напряжения в отливках из углеродистой стали для затворов

Таблица 9

Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при марке стального литья								
	25-4522			35-5015			55-6012		
	и при воздействиях								
	основных	основных и допол- нительных	основных, допол- нительных и особых	основных	основных и допол- нительных	основных, допол- нительных и особых	основных	основных и допол- нительных	основных, допол- нительных и особых
Растяжение, сжатие и из- гиб . . . . .	1 150	1 400	1 450	1 200	1 450	1 500	1 500	1 800	2 000
Срез . . . . .	850	1 000	1 100	900	1 200	1 200	1 150	1 300	1 450
Смятие торцовой поверх- ности . . . . .	1 700	2 000	2 100	1 800	2 150	2 200	2 200	2 600	2 750
Смятие местное при плот- ном касании . . . . .	900	1 100	1 150	950	1 150	1 200	1 200	1 450	1 500
Растяжение проушин . . . . .	1 300	1 600	1 700	1 400	1 700	1 750	1 700	2 000	2 200

Допускаемые напряжения в отливках из серого чугуна

Таблица 10

Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при марке чугунного литья			
	СЧ12-28 и СЧ15-32		СЧ18-36 и СЧ21-40	
	и при воздействиях			
	основных	основных и дополни- тельных	основных	основных и дополни- тельных
Сжатие центральное и при изгибе . . . . .	1 200	1 450	1 500	1 800
Растяжение при изгибе . . . . .	350	400	450	550
Срез . . . . .	250	300	350	400
Смятие торцовой поверхности . . . . .	1 700	2 100	2 100	2 500
Смятие местное при плотном касании . . . . .	600	700	750	900

Примечание. При учете особых воздействий допускаемые напряжения увеличивают на 25% против указанных в графах для основных воздействий.

Многочисленные испытания сварных соединений, произведенные на заводах и строительных площадках, показывают, что механические свойства этих соединений, выполненных автоматом под слоем флюса или вручную качественными электродами, не ниже свойств основной (свариваемой) стали. Требования к механическим свойствам сварных соединений, выполненных автоматом под слоем флюса или вручную качественными электродами, установлены более высокие, чем для основной (свариваемой) стали\*. Сравнение этих требований сделано в таблице 12.

Благодаря работам Института электросварки АН УССР автоматическую сварку под слоем флюса представляется возможным широко применять не

\* За редким исключением.

Таблица 11

Допускаемые напряжения в сварных соединениях зазоров, выполненных автоматической сваркой под слоем флюса или ручной сваркой качественными электродами соответствующих марок

Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при сварке стали марок					
	Ст. 3			НЛ2у		
	и при воздействиях					
	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых	основных	основных и дополнительных	основных, дополнительных и особых
Сжатие . . . . .	1 450	1 600	1 800	2 000	2 300	2 500
Растяжение . . . . .	1 300	1 450	1 600	1 800	2 050	2 250
Срез . . . . .	1 100	1 250	1 350	1 550	1 800	1 950

Примечания. 1. Допускаемые напряжения в швах, выполненных на монтаже или в полевых условиях, понижают на 10%.

2. Допускаемые напряжения в потолочных швах понижают на 10%, независимо от снижения по примечанию 1.

Таблица 12

Сопоставление допускаемых минимальных показателей механических свойств свариваемых строительных сталей и сварных соединений

Сопоставляемые механические свойства	Показатели
<i>Предел прочности при растяжении:</i>	
стали НЛ1 . . . . .	42 кг/мм <sup>2</sup>
» НЛ2 . . . . .	48 »
металла, наплавленного электродами Э50А . . . . .	50 »
» » » Э55А . . . . .	55 »
сварного соединения встык » Э50А . . . . .	50 »
» » » Э55А . . . . .	55 »
<i>Относительное удлинение длинного образца:</i>	
стали НЛ1 . . . . .	20%
» НЛ2 . . . . .	18%
металла, наплавленного электродами Э50А и Э55А . . . . .	20%
<i>Ударная вязкость:</i>	
стали НЛ1 . . . . .	8 кгм/см <sup>2</sup>
» НЛ2 . . . . .	6 »
сварного соединения электродами Э50А и Э55А . . . . .	13 »
<i>Предел прочности при растяжении:</i>	
стали Ст. 3 . . . . .	38 кг/мм <sup>2</sup>
металла, наплавленного электродами Э42 . . . . .	42 »
сварного соединения встык » Э42 . . . . .	42 »
<i>Относительное удлинение длинного образца:</i>	
стали Ст. 3 . . . . .	21%
металла, наплавленного электродами Э42 . . . . .	18%
<i>Ударная вязкость:</i>	
стали Ст. 3 . . . . .	8 кгм/см <sup>2</sup>
сварного соединения электродами Э42 . . . . .	8 »

только в заводских условиях, но и на строительно-монтажных площадках. При этом возможно варить не только горизонтальные, но и вертикальные швы.

Эти бесспорные факты до сих пор не нашли должного отражения в ряде наших норм. Только Министерство путей сообщения на основе богатого опыта работы с автоматической сваркой еще в 1947 г. признало возможным для сварных соединений, выполненных автоматом под слоем флюса, принимать допускаемые напряжения такими же, как и для основной стали марки Ст.3м. Для соединений встык, выполненных вручную качественными электродами, и в нормах МПС остались пониженные на 10 и 20% допускаемые напряжения. В «Строительных нормах и правилах» («СН и П») 1954 г. (в нормах проектирования стальных конструкций промышленного и гражданского строительства) по предложению автора в 1950 г. расчетные сопротивления в сварных соединениях и в свариваемой стали приняты одинаковыми\*.

Это прогрессивное мероприятие следует безотлагательно провести в жизнь в нормах проектирования гидротехнических и других сооружений. Особо следует отметить, что предел выносливости соединений встык (без усилительных накладок) значительно выше, чем соединения встык с усилительными накладками.

Таблица 13

Допускаемые напряжения в клепаных и болтовых соединениях конструкций из стали марок Ст. 0, Ст. 2 и Ст. 3 при марках стали заклепок и болтов Ст. 2 и Ст. 3 по Н и ТУ 1—46 Минтяжстроя

Элементы соединений	Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) в конструкциях из стали марок			
		Ст. 0 и Ст. 2		Ст. 3	
		и при воздействиях			
		основных	основных и дополнительных	основных	основных и дополнительных
Заклепки	Срез В . . . . .	1 400	1 600	1 400	1 600
	» С . . . . .	1 000	1 200	1 000	1 200
	Смятие В . . . . .	2 800	3 200	3 200	3 600
	» С . . . . .	2 400	2 800	2 800	3 200
	Отрыв головок . . . . .	900	1 100	900	1 100
Чистые болты	Растяжение . . . . .	1 200	1 450	1 200	1 450
	Срез В . . . . .	1 200	1 450	1 200	1 450
	Смятие В . . . . .	2 800	3 200	3 200	3 600
Черные »	Растяжение . . . . .	1 200	1 450	1 200	1 450
	Срез . . . . .	800	1 000	800	1 000
	Смятие . . . . .	1 700	2 000	2 000	2 200
Анкерные »	Растяжение . . . . .	1 000	1 200	1 000	1 200

Примечания: 1. Срез и смятие В относятся к заклепкам и болтам, поставленным в отверстия:

- а) сверленные на проектный диаметр в собранных элементах;
- б) сверленные на проектный диаметр в отдельных деталях и элементах по кондукторам;
- в) сверленные или продавленные на меньший диаметр в отдельных деталях с последующей рассверловкой до проектного диаметра в собранных элементах.

2. Срез и смятие С относится к заклепкам и болтам, поставленным в продавленные, но не рассверленные отверстия, или в отверстия сверленные или рассверленные в каждом элементе в отдельности (без кондукторов).

3. Приведенные в таблице допускаемые напряжения смятия для заклепок соответствуют расстоянию вдоль усилия от последней заклепки до края элемента, равному  $2d$ , и шагу заклепок— $3d$  ( $d$ —диаметр заклепки). В случае увеличения указанного расстояния и шага заклепок допускаемые напряжения смятия увеличивают пропорционально увеличению этого расстояния и шага заклепок, но не более чем на 25%.

4. Для заклепок с потайными и полупотайными головками допускаемые напряжения понижают на 20%.

\* При этом для контроля качества растянутых соединений требуется применять электромагнитные, рентгеновские и другие усовершенствованные методы.

5. При учете особых воздействий допускаемые напряжения увеличивают на 25% против указанных в графах для основных воздействий.

Таблица 14

Допускаемые напряжения в клепаных соединениях конструкций из стали марок НЛ1 и НЛ2 при марках стали заклепок Ст. 2з, Ст. 3з и НЛ1 по У-70-51 МСПТИ

Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при марках стали заклепок			
	Ст. 2з и Ст. 3з		НЛ1	
	и при воздействиях			
	основных	основных и дополнительных	основных	основных и дополнительных
Срез . . . . .	1 400	1 600	1 700	1 950
Смятие в конструкциях из стали НЛ1	3 200	3 600	4 000	4 600
Смятие в конструкциях из стали НЛ2	4 400	5 200	4 400	5 200
Отрыв головок . . . . .	900	1 100	1 200	1 450

Таблица 15

Допускаемые напряжения в болтовых соединениях конструкций из стали марок НЛ1 и НЛ2 при марках стали болтов Ст. 3, НЛ1 и НЛ2 по У-70-51 МСПТИ

Вид соединений	Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при марках стали болтов					
		Ст. 3		НЛ1		НЛ2	
		и при воздействиях					
		основных	основных и дополнительных	основных	основных и дополнительных	основных	основных и дополнительных
Чистые болты	Растяжение . . .	1 200	1 450	1 500	1 750	1 650	1 900
	Срез . . . . .	1 200	1 450	1 500	1 750	1 650	1 900
	Смятие в конструкциях из стали НЛ1 . .	3 200	3 600	4 000	4 600	4 000	4 600
	Смятие в конструкциях из стали НЛ2 . .	4 400	5 200	4 400	5 200	4 400	5 200
Анкерные болты	Растяжение . .	1 000	1 200	1 300	1 500	1 450	1 700

Заклепки и чистые болты в конструкциях из стали марок НЛ1 и НЛ2 должны быть поставлены в отверстия, образованные одним из следующих способов:

- а) сверлением на проектный диаметр в собранных пакетах;
- б) сверлением на проектный диаметр в отдельных деталях и элементах по кондукторам;
- в) сверлением или продавливанием на меньший диаметр в отдельных деталях с последующей рассверловкой до проектного диаметра в собранных пакетах.

В клепаных конструкциях из стали марок НЛ1 и НЛ2, непосредственно воспринимающих регулярную подвижную нагрузку (например, в подкрановых балках), допускаемые напряжения, приведенные в таблицах 7 и 14, понижают умножением на коэффициент  $\gamma$ , определяемый по формуле:

$$\gamma = \frac{1}{1,1 - 0,8 \frac{N_{\text{мин}}}{N_{\text{макс}}}}$$

где  $N_{\text{мин}}$  и  $N_{\text{макс}}$  — соответственно наименьшее и наибольшее по абсолютной величине расчетные усилия, взятые с их знаками.

Определенное по этой формуле значение коэффициента  $\gamma$  принимают не выше единицы.

При действии регулярных вибрационных нагрузок (например, в конструкциях под турбины, электромоторы и т. п.) приведенный коэффициент  $\gamma$  понижают на 20%.

Ниже, в таблицах 16 и 17, приведены допускаемые напряжения в элементах затворов из стали марки Ст. 3, в клепаных и болтовых соединениях, установленные «Техническими условиями и нормами на проектирование металлических затворов гидротехнических сооружений», 1935 г. Допускаемые напряжения в сварных соединениях, приведенные в указанных ТУ и Н, установлены для сварки, обеспечивающей предел прочности от 2 500 до 3 000 кг/см<sup>2</sup>, т. е. значительно более низкий, чем обеспечивают современные способы сварки. Поэтому таблица этих допускаемых напряжений в настоящей книге не приведена.

Таблица 16

Допускаемые напряжения в элементах затворов 2-го класса из стали марки Ст. 3 по ТУ и Н 1935 г. Главстройпрома НКТП

Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при воздействиях	
	основных	основных и дополнительных
Растяжение, сжатие и изгиб . . . . .	1 400	1 700
Срез . . . . .	1 050	1 300
Смятие торцовых поверхностей . . . . .	2 100	2 550
Местное смятие при плотном касании . . . . .	1 100	1 300
Диаметральное сжатие катков . . . . .	55	65

Примечание. В затворах 1-го класса указанные в этой таблице величины допускаемых напряжений уменьшают на 10%, а в затворах 3 и 4-го классов увеличивают соответственно на 10 и 45%.

Таблица 17

Допускаемые напряжения в клепаных и болтовых соединениях затворов 2-го класса из стали марки Ст. 3 при заклепках из стали марок Ст. 3<sub>з</sub> и Ст. 2<sub>з</sub> и болтах из стали марки Ст. 3 по ТУ и Н 1935 г. Главстройпрома НКТП

Вид соединений	Вид напряжений	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при воздействиях	
		основных	основных и дополнительных
Заклепки	Срез В . . . . .	1 100	1 350
	» С . . . . .	950	1 150
	Смятие В . . . . .	2 800	3 400
	» С . . . . .	2 400	2 900
	Отрыв головок . . . . .	850	1 000
Чистые болты	Растяжение . . . . .	1 100	1 350
	Срез . . . . .	1 100	1 350
	Смятие . . . . .	2 800	3 400
Черные »	Растяжение . . . . .	1 100	1 350
	Срез . . . . .	850	1 000
	Смятие . . . . .	1 700	2 050
Анкерные »	Растяжение . . . . .	1 050	1 300

Примечания. 1. Пояснение к литерам В и С см. в примечаниях к табл. 13.

2. В соединениях затворов 1-го класса указанные в настоящей таблице величины допускаемых напряжений уменьшают на 10%, а в затворах 3 и 4-го классов увеличивают соответственно на 10 и 45%.

Коэффициенты  $\varphi$  уменьшения допускаемых напряжений при продольном изгибе центрально сжатых элементов из стали разных марок и из чугуна

Гибкость элемента	Коэффициенты $\varphi$		
	для стали марок		для чугуна марок от СЧ 12-28 до СЧ 21-40
	Ст. 0, Ст. 2 и Ст. 3	НЛ2	
0	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97
20	0,97	0,95	0,91
30	0,95	0,93	0,81
40	0,92	0,90	0,69
50	0,89	0,83	0,57
60	0,86	0,78	0,44
70	0,81	0,71	0,34
80	0,75	0,63	0,26
90	0,69	0,54	0,20
100	0,60	0,45	0,16
110	0,52	0,39	—
120	0,45	0,33	—
130	0,40	0,29	—
140	0,36	0,25	—
150	0,32	0,23	—
160	0,29	0,21	—
170	0,26	0,19	—
180	0,23	0,17	—
190	0,21	0,15	—
200	0,19	0,13	—

Максимальные значения относительных допускаемых прогибов  $[f:l]$  несущих сплошных и сквозных конструкций затворов от основных воздействий, выраженные в долях пролета  $l$ , приведены ниже\*.

В затворах шлюзов, систематически работающих в потоке  $[f:l] = \frac{1}{700}$

В основных затворах плотин, работающих в потоке  $[f:l] = \frac{1}{600}$

В аварийных затворах плотин, гидроэлектростанций и шлюзов, а также в затворах шлюзов, работающих под статической нагрузкой  $[f:l] = \frac{1}{500}$

В ремонтных затворах  $[f:l] = \frac{1}{400}$

В Технических условиях и нормах проектирования затворов 1935 г. [6] приняты следующие значения допускаемых прогибов.

В балках со сплошной стенкой постоянно действующих затворов  $[f:l] = \frac{1}{750}$

То же, временно действующих  $[f:l] = \frac{1}{500}$

В фермах постоянно действующих затворов  $[f:l] = \frac{1}{1000}$

То же, временно действующих  $[f:l] = \frac{1}{700}$

Во второстепенных элементах затворов  $[f:l] = \frac{1}{250}$

\* См. сноску на стр. 38.

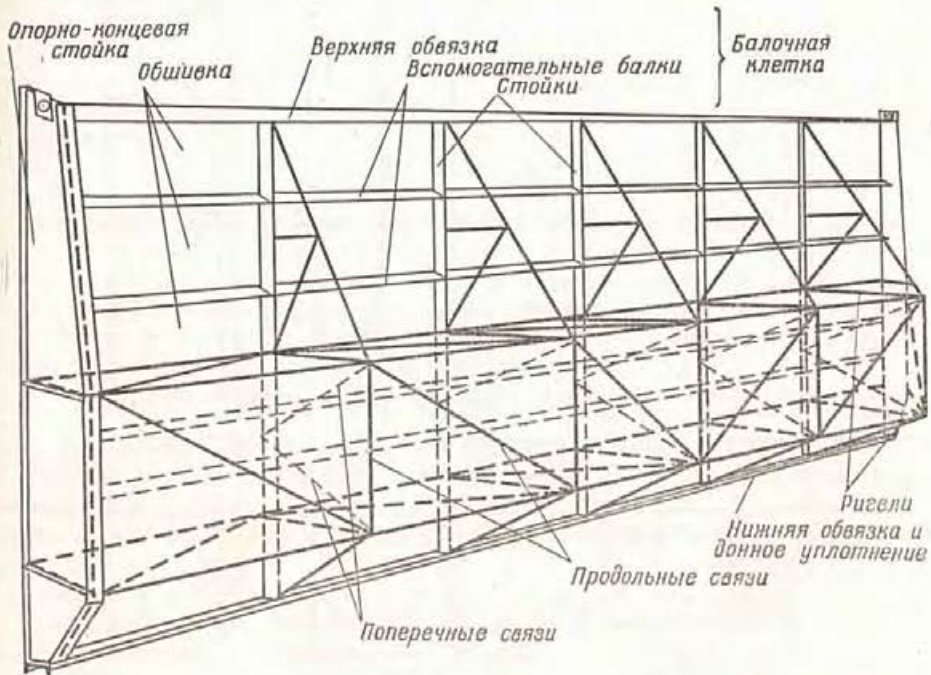
Гибкость элементов затворов должна не превышать указанных ниже величин.

- а) В сжатых стержнях:  
основных (пояса ферм, раскосы опорных панелей и стойки, нагруженные опорным давлением)—120  
второстепенных—150  
элементов связей—200.
- б) В растянутых стержнях:  
основных—200  
второстепенных—300  
элементов связей—400.

## ЭЛЕМЕНТЫ ПЛОСКОГО ЗАТВОРА

Плоский затвор состоит из подвижной части (щита) и неподвижных (закладных) частей. Перемещение затвора осуществляют подъемные механизмы. Над затворами для их обслуживания обычно устраивают служебные и подкрановые мосты.

Подвижную часть плоского затвора составляют перечисленные ниже элементы, показанные на фигурах 23 и 24.

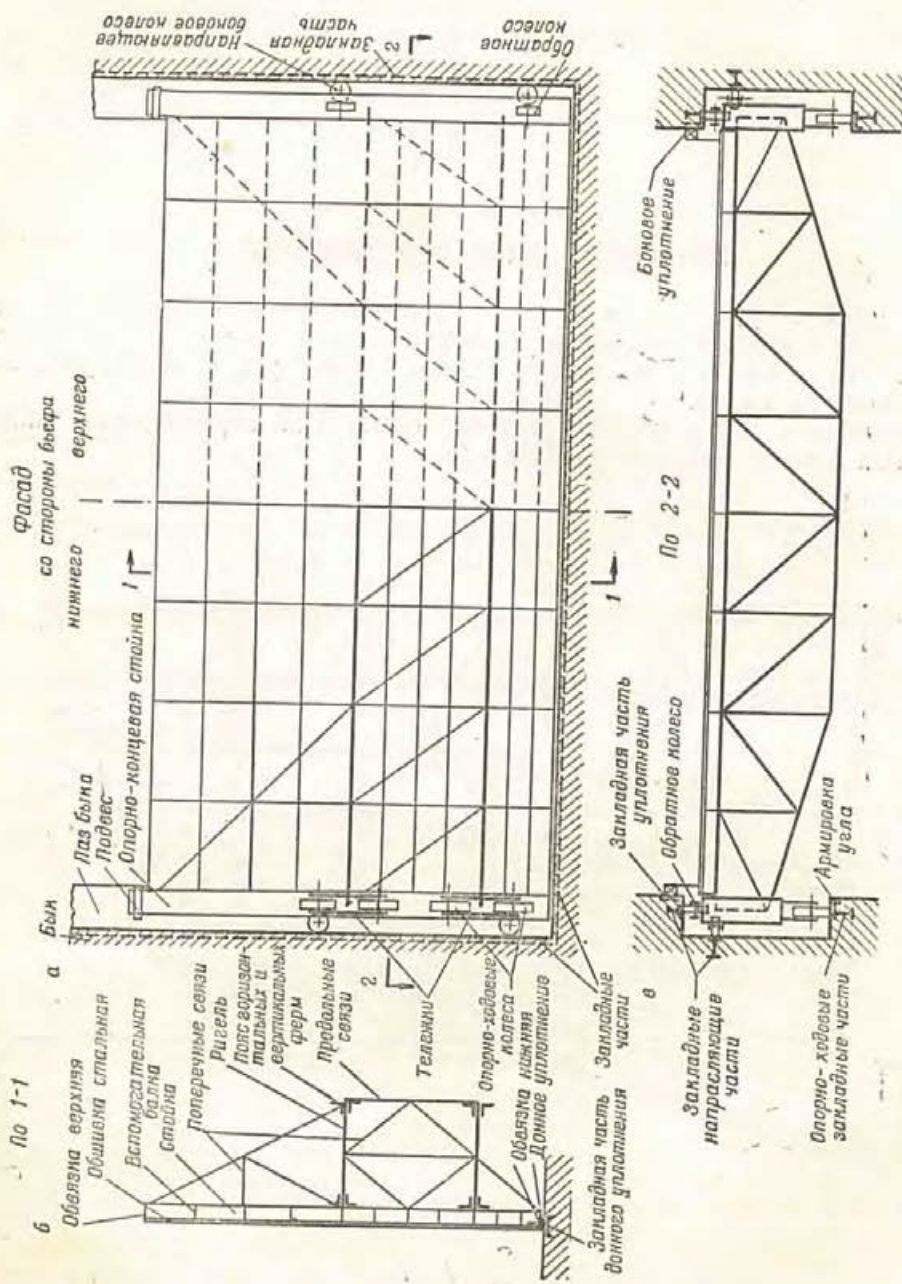


Фиг. 23. Общий вид плоского затвора.

1. Обшивка, располагаемая обычно с напорной стороны затвора, препятствует протеканию воды, воспринимает ее давление и передает последнее на вспомогательные балки, стойки и ригели. Обшивку делают обычно из листовой стали и реже—из брусьев, толстых досок и арктилита.

2. Балочная клетка состоит из стоек (диафрагм) и вспомогательных балок. Последние обычно располагают горизонтально. Брусья деревянной обшивки крепят непосредственно к основным стойкам, почему





Фиг. 24. Схема плоского затвора:

а—вид с верхнего и нижнего быфов; б—вертикальный разрез по 1-1; в—горизонтальный разрез по 2-2.

надобность во вспомогательных балках отпадает. Балочная клетка принимает давление воды от обшивки и передает его на ригели.

3. Ригели затвора принимают давление воды от стоек балочной клетки и передают его опорно-концевым стойкам. В зависимости от величины пролета затвора и высоты напора воды ригели изготовляют из прокатных или составных балок или из ферм.

4. Опорно-концевые стойки принимают давления от ригелей и продольных связевых ферм и передают их на опорно-ходовые части и подвесные устройства. Опорно-концевые стойки обеспечивают неизменное взаимное расположение концов главных ригелей и служат для закрепления всех опорно-ходовых и подъемных устройств\*.

5. Продольные связи между ригелями, расположенные в плоскостях их сжатых и растянутых поясов, образуют совместно с этими поясами вертикальные фермы. Они воспринимают собственный вес затвора и другие вертикально действующие нагрузки и передают их на опорно-концевые стойки. По этой причине продольные связевые фермы часто называют весовыми или подъемными фермами. Продольные связи обеспечивают неизменное взаимное расположение ригелей и устойчивость их сжатых поясов; они также уменьшают вертикальные деформации (провисание) горизонтальных ригелей.

Стальная обшивка совместно со стойками и вспомогательными балками образует жесткий диск, могущий обеспечить неизменное по вертикали положение главных ригелей, их устойчивость и совместную работу на восприятие вертикальных сил. По этой причине в затворах со стальной обшивкой, наложенной на пояса ригелей, со стороны расположения последней продольных связей между ригелями не устраивают.

6. Поперечные связи представляют собой вертикальные фермы, поясами которых служат стойки балочной клетки с одной стороны и стойки продольной связевой фермы—с другой стороны. Решетка этих ферм бывает весьма разнообразного начертания. При малых расстояниях между ригелями решетку поперечных связей заменяют сплошным листом—диафрагмой.

Поперечные связи должны обеспечить пространственную неизменяемость сквозного параллелепипеда, образованного ригелями и продольными связями, и препятствовать его скручиванию. В случаях неравномерного нагружения отдельных ригелей поперечные связи выравнивают нагрузки между ними. При средних и больших напорах поперечные связевые фермы принимают на себя нагрузку от вспомогательных балок и передают ее на ригели.

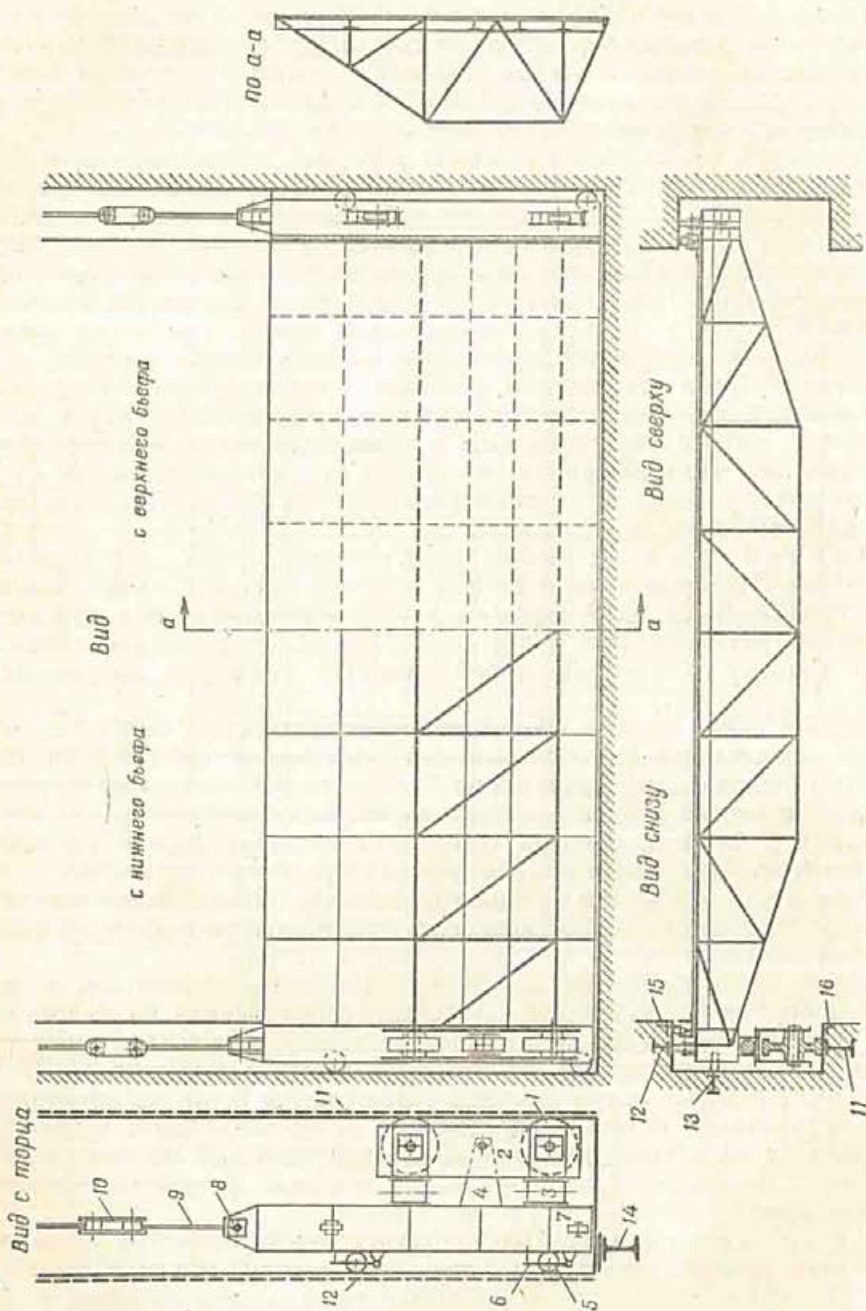
7. Опорно-ходовые части (фиг. 24 и 25) служат для передачи давления воды на неподвижные (закладные) части затвора и далее на массу бетона сооружения, а также для передвижения затвора.

Наиболее часто применяют колесные опоры, реже—скользящие, в виде деревянных брусьев или металлических полос, расположенных по всей высоте затвора. В последние годы в нашем строительстве получают все более широкое применение скользящие опоры из древесно-слоистого пластика (ДСП-Б). Катковые и гусеничные опоры в нашем строительстве почти не применяют.

Для ограничения боковых перемещений и перекосов щита в процессе маневрирования им, а также для уменьшения вибрации при неполном открытии затвора применяют дополнительные опорные устройства—боковые и обратные колеса.

8. Уплотнения перекрывают зазоры между обшивкой и закладными частями затвора, препятствуя уходу воды в обход обшивки. В зависимости от расположения уплотнений различают вертикальные (боковые) и горизонтальные уплотнения. Горизонтальные уплотнения, расположенные внизу подвижной части затвора, называют донными; расположенные между секциями или между клапаном и основной частью щита—промежуточными; уплотнения между забральной балкой и верхом глубинного затвора—верхними.

\* Подъемные устройства иногда крепят к промежуточным диафрагмам.



Фиг. 25. Плоский затвор и его назовные устройства;

подвижные части: 1—опорно-ходовое колесо; 2—ходовая тележка; 3—каток; 4—водило; 5—буферная тележка с обратным колесом; 6—буфер; 7—боковое направляющее колесо; 8—подвес; 9—переходное звено штанги; 10—соединительное звено штанги; 11—закладная часть; 12—опорно-ходовой путь; 13—обратный путь; 14—закладная часть донного уплотнения; 15—армировка угла; 16—армировка угла.

9. Подвесные устройства соединяют подвижную часть затвора с тягами подъемных механизмов, а также с подхватами в период временной подвески ее.

Неподвижные части затвора состоят из перечисленных ниже элементов (фиг. 24 и 25):

1) опорно-ходовые закладные части для рабочих колес, катков и т. п. (рабочие пути);

2) опорно-ходовые закладные части для обратных и боковых колес (обратные и боковые пути);

3) закладные части вертикальных и горизонтальных уплотнений;

4) армировка углов бетонной кладки и забральных стен;

5) устройства для обогрева затвора.

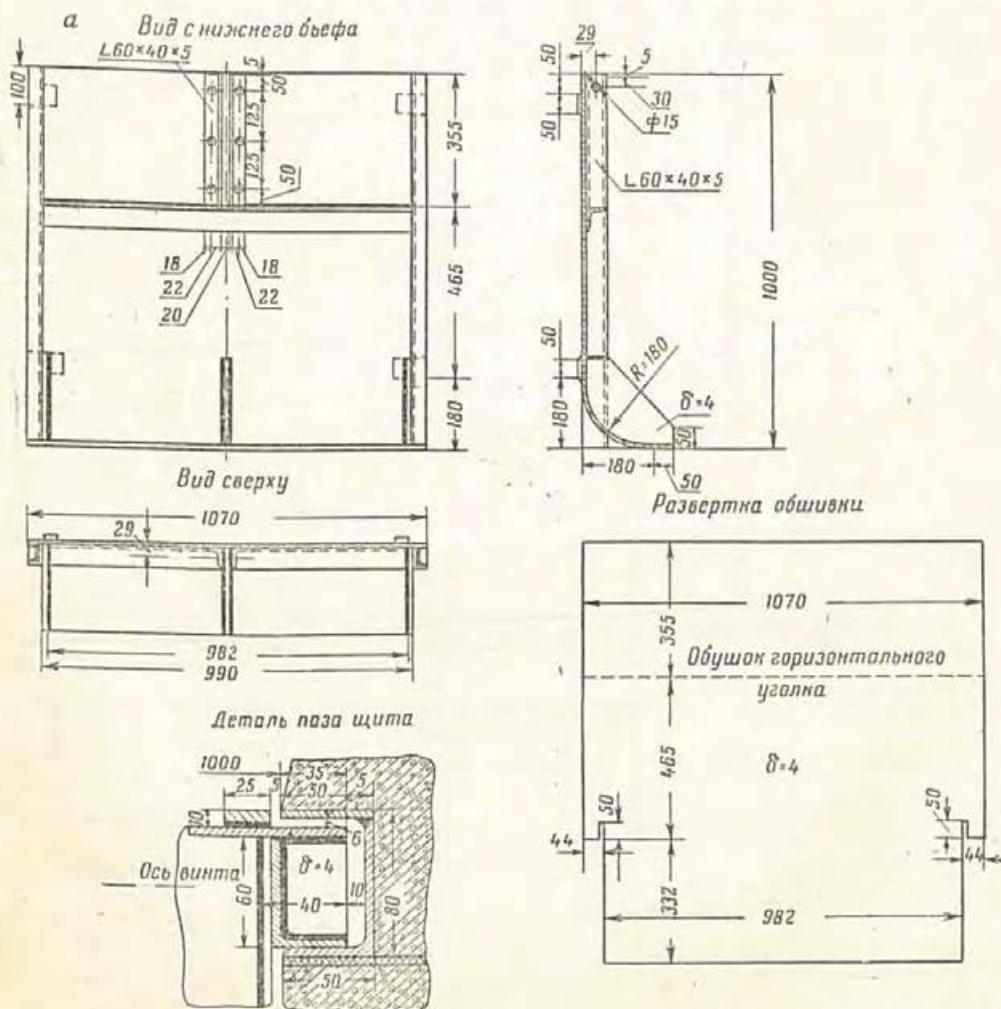
Подъемные механизмы (фиг. 1—3) могут быть подвижными—тельферы, козловые, порталные, мостовые и другие краны—или неподвижными—лебедки и винтовые подъемники. Неподвижные механизмы целесообразны при малом числе затворов, при быстродействующих затворах и в ряде других случаев. Соединение подвижной части затвора с подъемным механизмом осуществляют посредством тросов, штанг, цепей и т. п.

## Глава VI

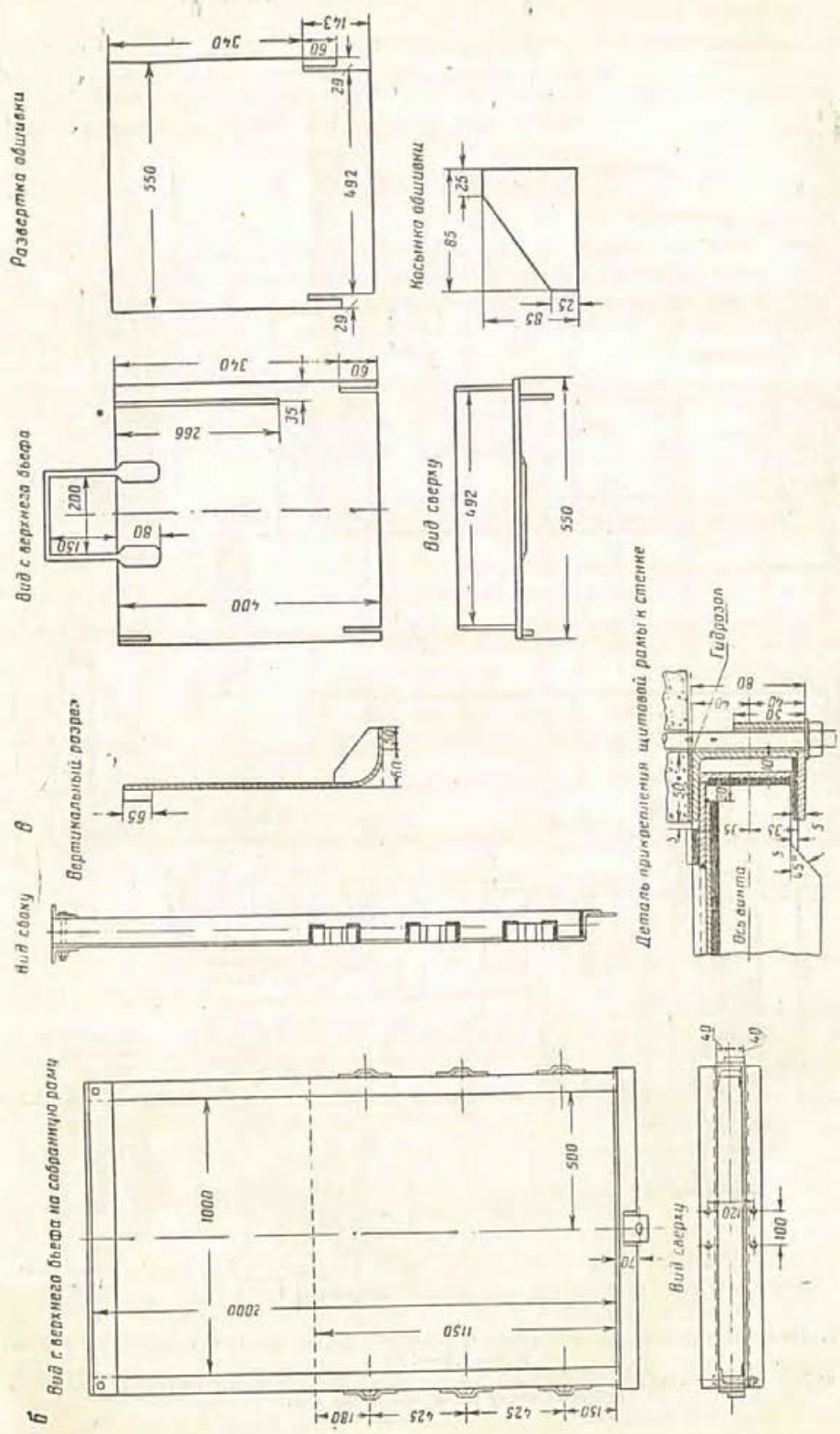
### ТИПЫ ПЛОСКИХ ЗАТВОРОВ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ

#### 1. БЕЗРИГЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ

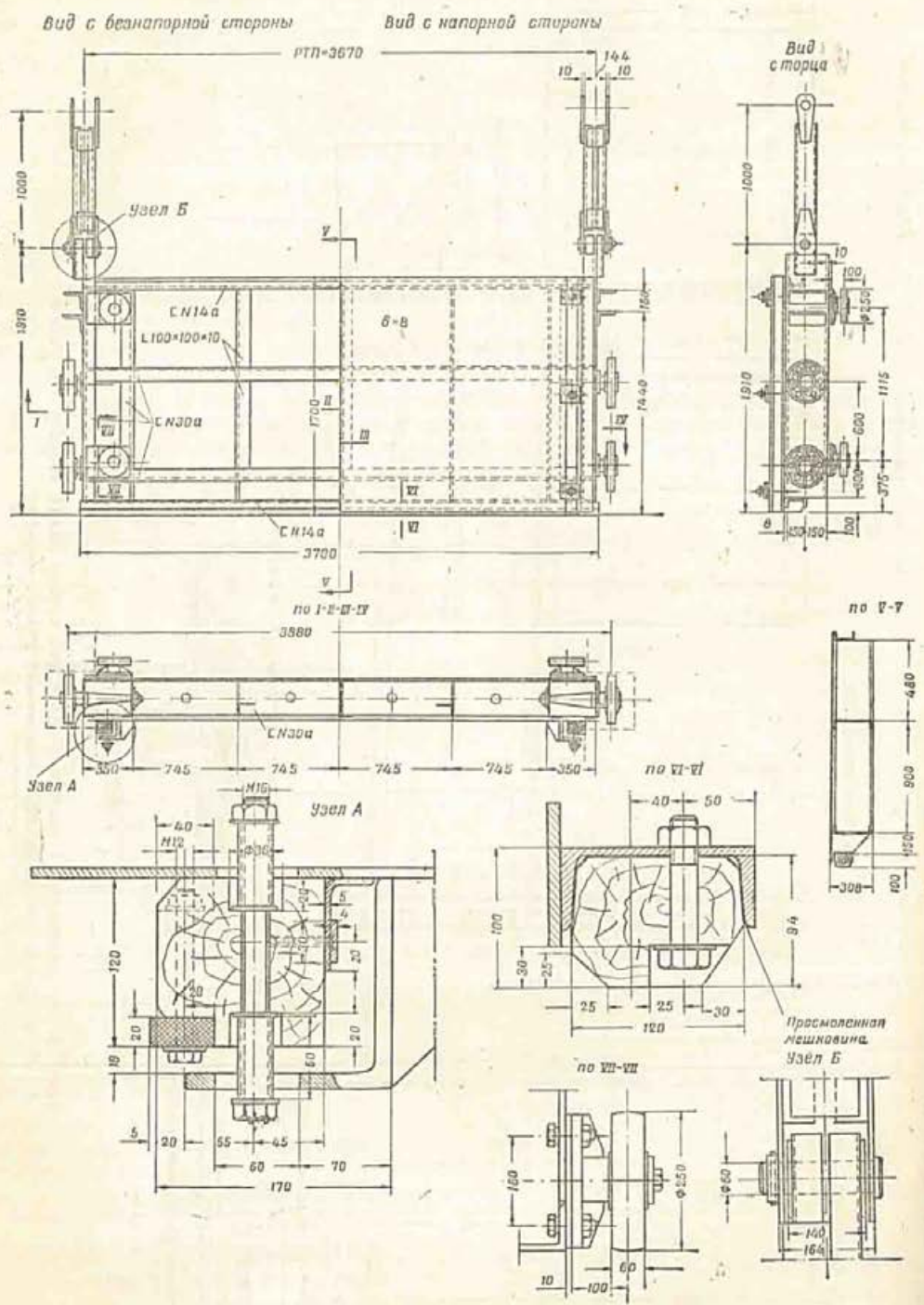
Наиболее простые типы плоских затворов представлены на фигуре 26. Они состоят из закладной рамы и щита. Их широко применяют на мелких мелиоративных каналах. Конструкция подвижной части (щита) состоит



Фиг. 26. Плоский скользящий затвор очень малого отверстия:  
а — щит с винтовым подъемником.



Фиг. 26. (продолжение). Глоский скользящий затвор очень малого отверстия:  
 б — прислонная рама; в — щит ручного подъема.



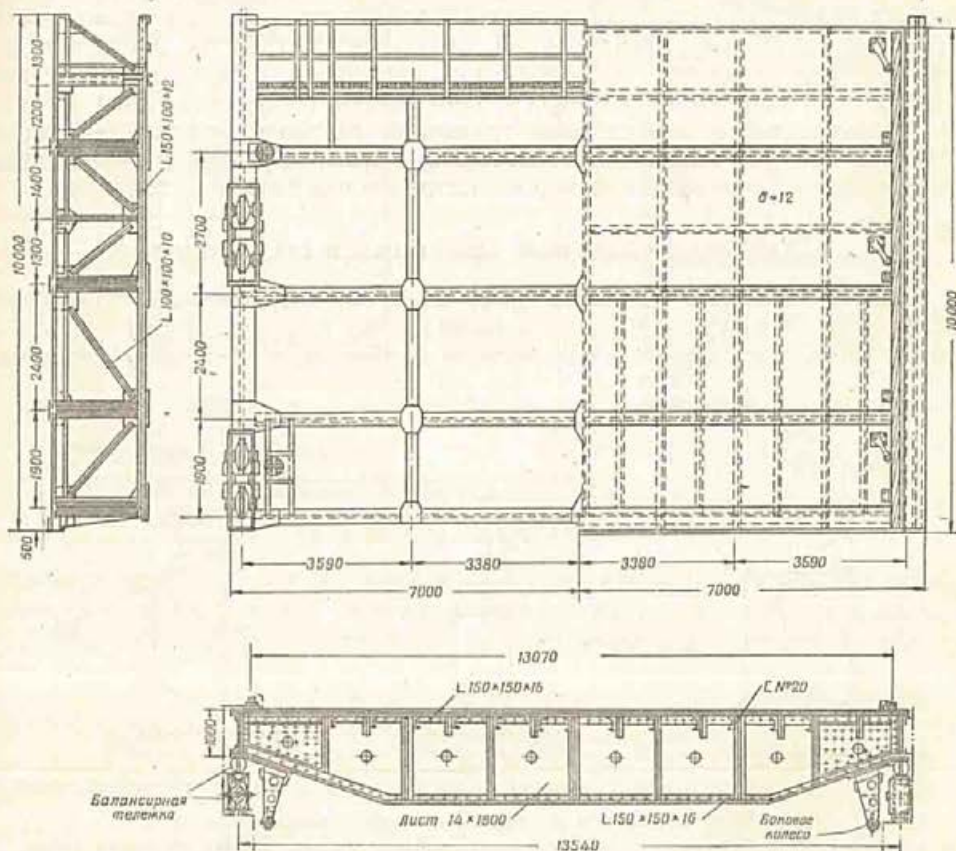
Фиг. 27. Плоский поверхностный затвор с ригелями из прокатных профилей, сварной (3,5—1,6—1,6)  
 Первая цифра означает ширину отверстия в м. Вторая цифра означает высоту отверстия в м. Третья цифра означает расчетный напор в м.

из обвязки (двух стоек и одной или двух балок) и обшивки. Закладные рамы в сборных конструкциях делают прислонными.

При малой высоте отверстия и сравнительно большой длине его между горизонтальными обвязками возможно поместить несколько промежуточных стоек. Такие затворы называют стоечными. Их применяют при условии обеспечения постоянного прилегания крайних стоек к опорам, при перемещении в безнапорном состоянии и в качестве ремонтных.

## 2. МНОГОРИГЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ

Областью применения многоригельных затворов являются малые и средние пролеты, при которых возможно обойтись ригелями из прокатных балок (фиг. 27), а также средние пролеты (10—20 м) при большой высоте напора—до 18 м (фиг. 28). В последнем случае для ригелей наиболее целесообразно применение однотипных сварных балок с переменной по пролету высотой.



Фиг. 28. Плоский многоригельный клепаный затвор (13,07—9,75—9,75)  
(значения цифр см. в подписи к фиг. 27).

Многоригельные затворы часто применяют для перекрытия глубоких отверстий, а также в случаях ограничения максимальной высоты ригелей по местным габаритным условиям.

По высоте затвора ригели следует располагать так, чтобы в нормальном рабочем положении они были одинаково загружены. В этом случае обеспечивается наибольшая повторяемость элементов основных несущих конструкций и относительно равномерное нагружение опорно-концевой стойки. Последнее важно при скользящих опорно-ходовых частях.



В многоригельных затворах особенно целесообразно включение стальной обшивки в работу несущих элементов и проведение расчета затвора как пространственной системы.

### 3. ДВУХРИГЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ

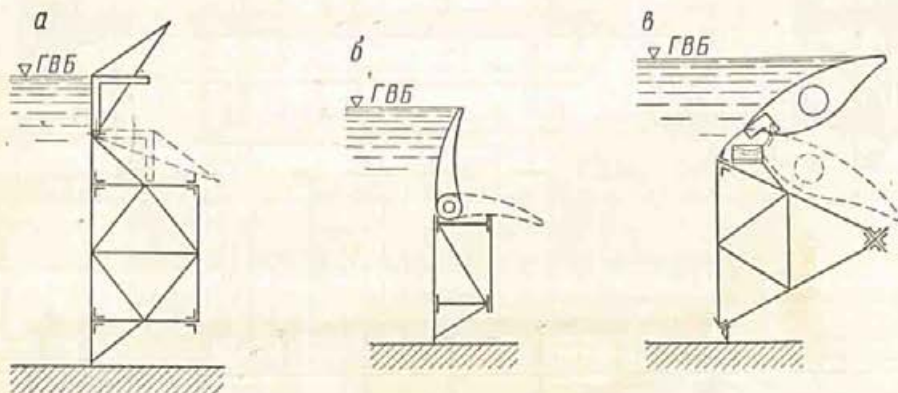
Двухригельные затворы (фиг. 23—25) в нашем строительстве применяют наиболее часто.

Концентрация усилий, а следовательно, и материалов в двух мощных ригелях приводит к простоте конструкции, ясности ее статической работы, а также к уменьшению трудоемкости изготовления и монтажа. Целесообразность применения двухригельных затворов возрастает с увеличением пролета.

Необходимость сброса льда (шуги) и других плавающих тел без значительной потери воды, а также требования в отношении точности регулирования подпорного горизонта создают необходимость в сбросе воды поверху затвора, т. е. в опускании его верхней кромки. Частичное опускание затвора в нишу флютбета не получило распространения в строительстве, вследствие сложности устройства и маневрирования такими затворами. Устройство ниши в водосливном пороге ухудшает гидравлические качества водослива и затрудняет осуществление уплотнений по порогу. При низком пороге водослива устройство ниши создает дополнительные трудности. Большие затруднения также причиняют наносы и плавающие тела. Поэтому решение указанных выше задач осуществляется применением затворов с клапаном или сдвоенных затворов.

### 4. ЗАТВОРЫ С КЛАПАНОМ, СДВОЕННЫЕ И СЕКЦИОННЫЕ

Плоские затворы с клапаном (фиг. 29 и 30) впервые были применены в 1912 г. Для сброса льда поверху затвора высоту клапана следует назначать не менее 1,5 м. Расположение клапанов по отношению к обшивке и очертание



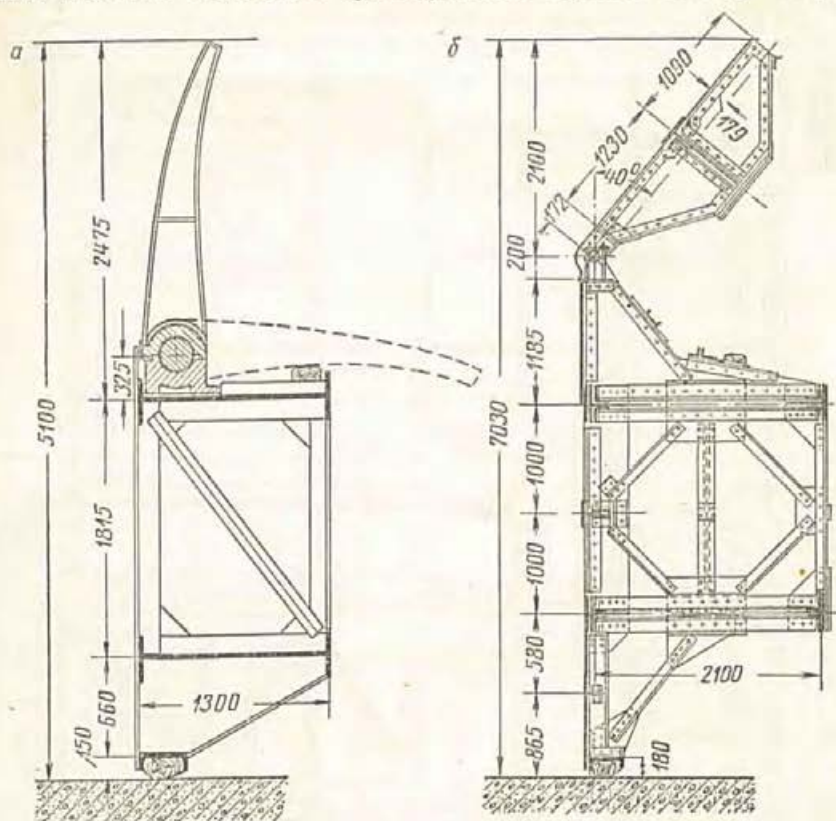
Фиг. 29. Схемы плоских затворов с клапаном:

а—неудобоотъемаемой формы; б—клапан удобоотъемаемой формы; элемент жесткости совмещен с осью вращения; а—удобоотъемаемая форма совмещена клапану и обшивке; ось вращения и элемент жесткости не совмещены.

их верхних поверхностей в открытом положении должны обеспечивать плавную (по возможности безвакуумную) поверхность для слива воды (фиг. 29, в). Конструкция клапана должна обладать большой жесткостью для принятия значительных изгибающих и крутящих моментов, а также возможных ударов плавающих тел. Элемент жесткости (обычно труба) не следует объединять с осью вращения (фиг. 29, б), так как это усложняет и удорожает устройство подшипников и уплотнений.

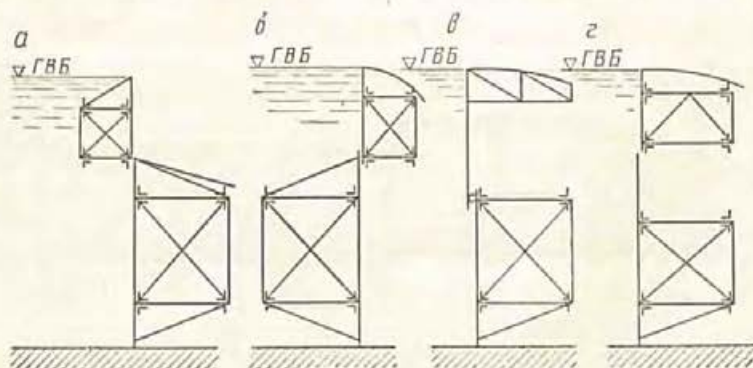
Схемы сдвоенных плоских затворов представлены на фигуре 31. Сдвоенные затворы целесообразны при высоте напора не менее 5 м. Затворы, пред-

ставленные на схемах фигуры 31, а и б, могут перемещаться независимо один от другого, однако это требует устройства лишней пары комплектов закладных ходовых частей. В схеме 31, а при опускании верхнего затвора отсутствует



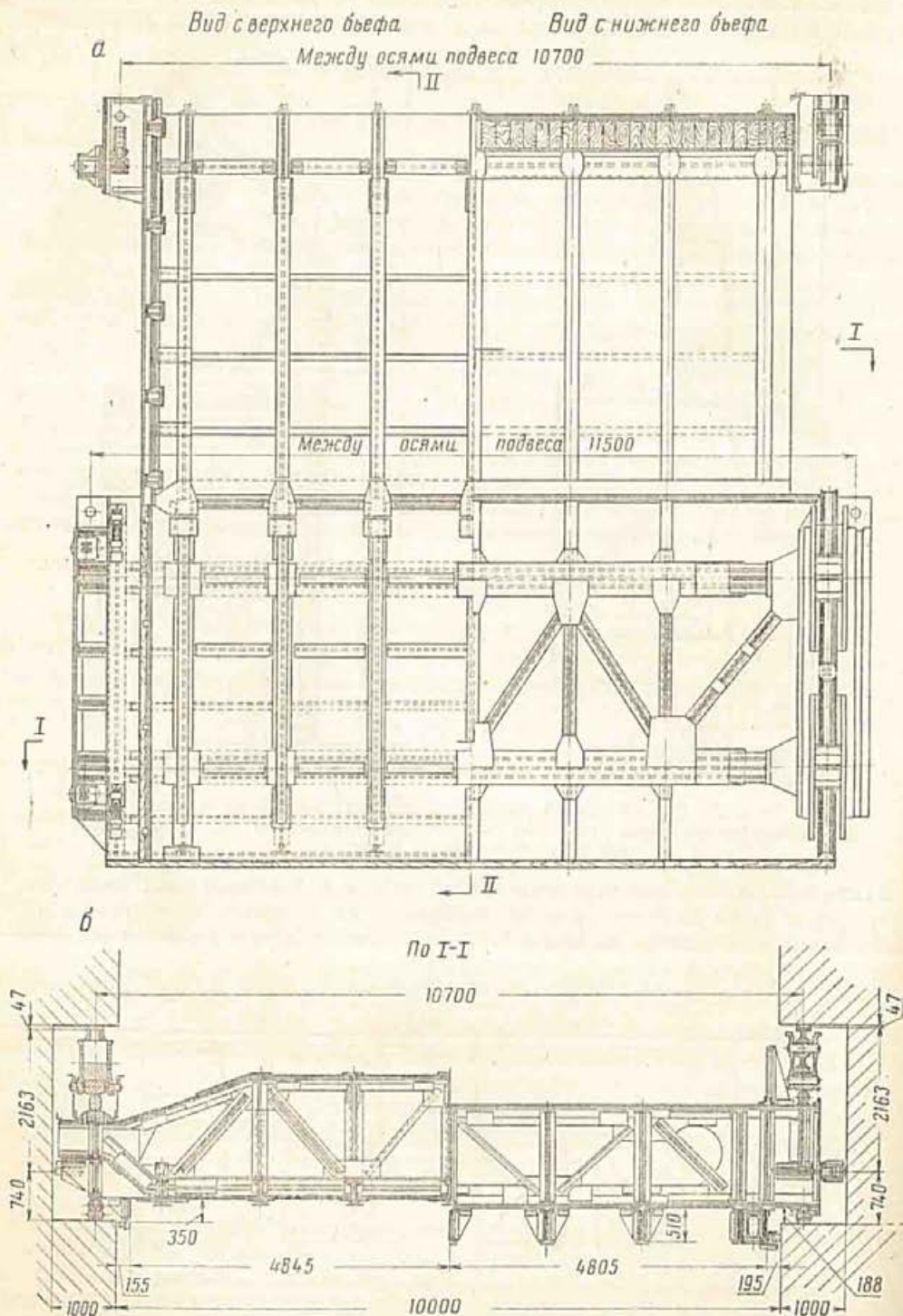
Фиг. 30. Вертикальный разрез плоского затвора с клапаном:  
а—удобообтекаемой формы (10—5—5); б—с плоской поверхностью (14—7—7). (Значения цифр см. в подписи к фиг. 27)

плавная поверхность для переливающейся воды и плавающих тел. Последние, ударяясь о части нижнего затвора, вызывают их вибрацию и повреждения. Подъем нижнего затвора по схеме 31, б затруднен в случае наличия обшивки



Фиг. 31. Схемы плоских сдвоенных затворов:  
а и б—с раздельными ходовыми путями; а и г—с совмещенными путями.

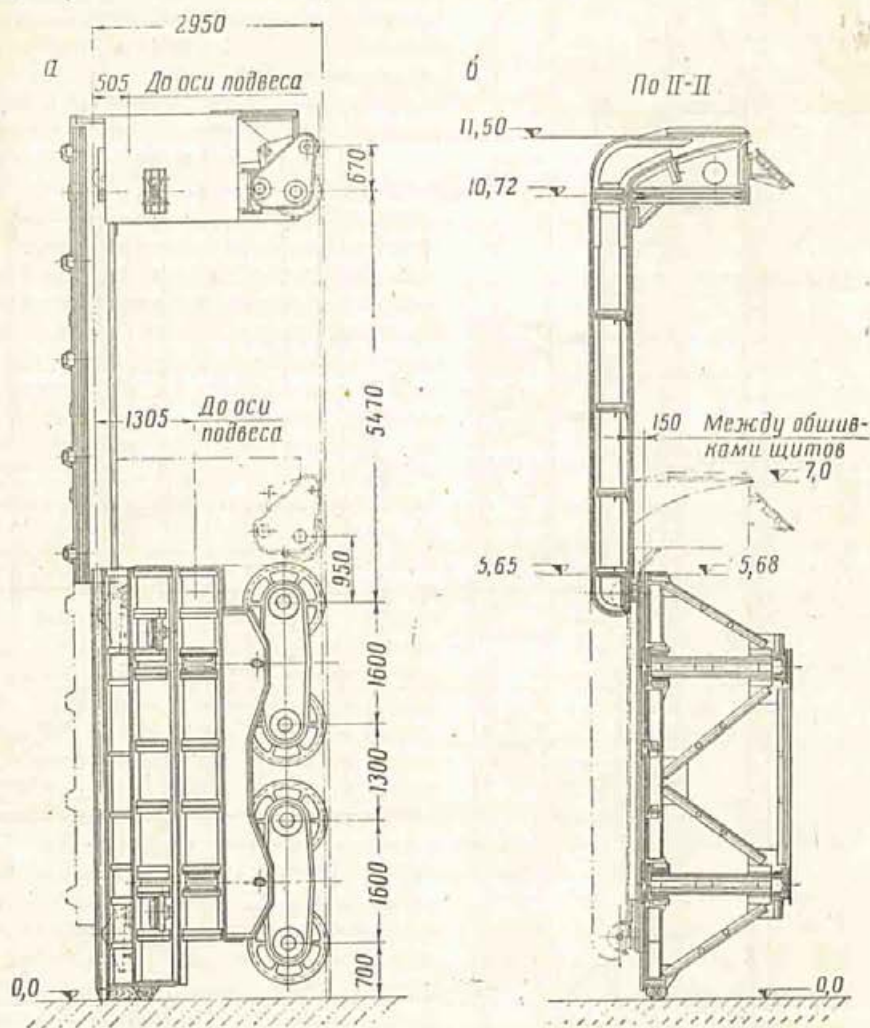
с напорной стороны давлением столба выше лежащей воды, а при обшивке с низовой стороны—льдом, карчами и другими предметами, могущими застрять среди элементов конструкции.



Фиг. 32а. Плоский сдвоенный затвор с Г-образной верхней частью (10—11,5—11,5)  
 (значения цифр см. в подписи к фиг. 27);

а—виды со стороны верхнего и нижнего бьефов; б—горизонтальные разрезы.

Указанные недостатки устранены в схемах с консолями, показанных на фигуре 31, в и г. Устройство консоли во втором случае, вследствие невозможности постановки подкосов, труднее, чем в первом. В случае, изображенном на фигуре 31, в, консоль верхней части затвора опирается на ходовые колеса, перемещающиеся по вертикальным путям, устроенным на нижней части



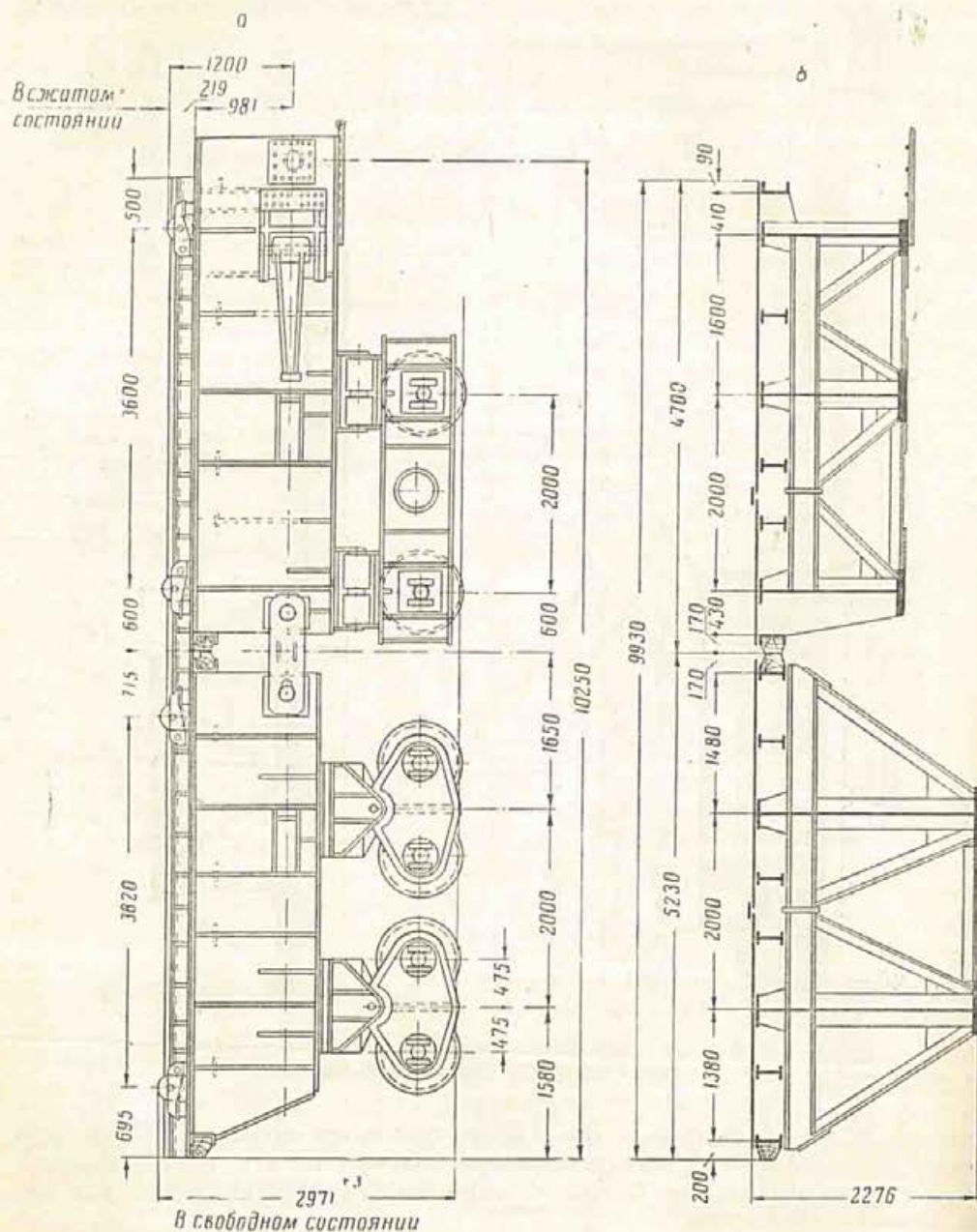
Фиг. 326. Плоский сдвоенный затвор с Г-образной верхней частью:  
а—вид с торца; б—вертикальный разрез.

затвора. Такое Г-образное устройство верхней части затвора позволяет опускать ее до 0,4 полной высоты затвора и получать высоту слоя переливающейся воды значительно большую, чем в других сдвоенных затворах или в затворах с клапаном.

Конструкция сдвоенных затворов с Г-образной верхней частью является наиболее совершенной; пример ее представлен на фигуре 32 а и 32 б. Недостатки ее состоят в следующем: усложнение изготовления и монтажа вследствие необходимости подгонки ходовых колес верхней части к путям на нижней части; усложнение пропуска тяг, расположенных в одном пазу, от двух частей затвора; вес переливающейся воды является дополнительной нагрузкой при движении затвора.

Недостатки сдвоенных затворов по сравнению с одиночными заключаются в увеличении на 15÷20% расхода стали и в повышении стоимости на 10÷20%,

в усложнении подъемных механизмов и в увеличении затруднений при маневрировании зимой (вследствие обмерзания). Применение сдвоенных затворов и затворов с клапаном несколько уменьшает требуемую высоту быков, что отчасти компенсирует удорожание подвижной части затвора.



Фиг. 33. Секционный затвор из двух секций (20—9—9);  
а—вид с торца; б—вертикальный разрез.

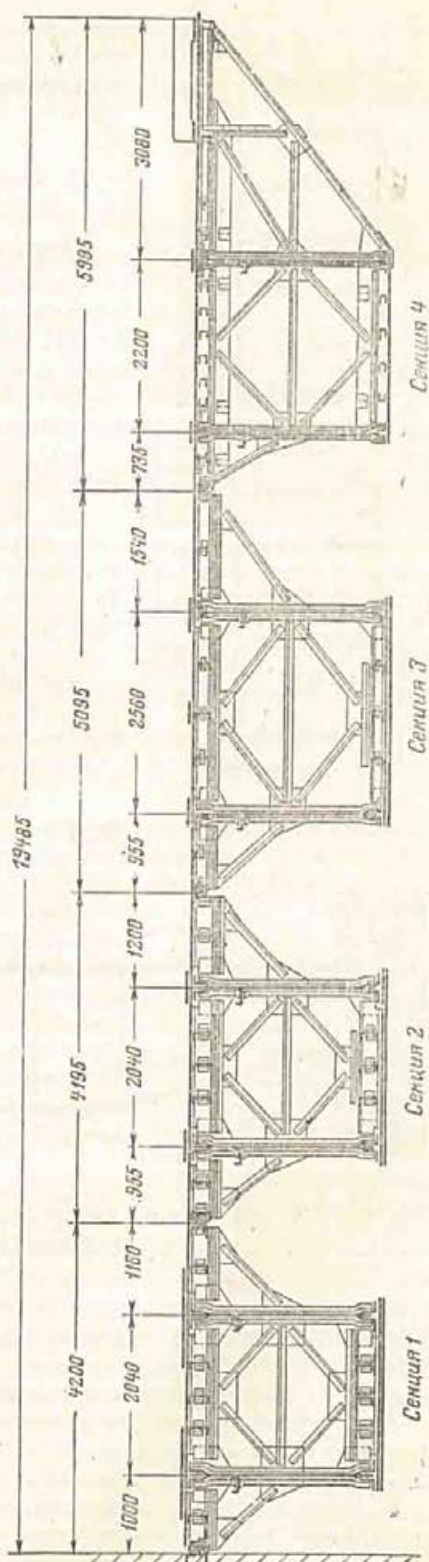
В последние годы для перекрытия отверстий с большим напором стали широко применять плоские затворы, составленные по высоте из нескольких секций (фиг. 33 и 34). При проектировании таких затворов в целях облегчения и ускорения их изготовления и монтажа необходимо стремиться к достижению наибольшей повторяемости элементов; например, полезно разместить ригели

так, чтобы в нормальном рабочем положении они были равно нагружены. С этой целью секции иногда делают одинаковыми, рассчитывая их по наиболее нагруженной. Габаритные размеры отдельных секций затворов следует назначать такими, чтобы иметь возможность перевозить секции в собранном виде. Подъем и опускание в воду секционных затворов обычно производят без расцепа на отдельные секции.

Очень интересной и прогрессивной является конструкция «гибкого» плоского многоригельного затвора без поперечных диафрагм и без раскосных связей по поясам, предложенная в Ленинградской проектно-конструкторской конторе Главгидроэнергомонтажа и описанная ниже М. Н. Федоровым\*. Для перекрытия глубинного отверстия пролетом 18 м и высотой 17 м (в свету) при напоре верхнего бьефа 46 м и нижнего — 4 м (нагрузка 12 000 т) предложен плоский затвор (фиг. 35), состоящий из 14 одинаковых одностенчатых сплошных балок 1. Последние расположены по высоте так, чтобы обеспечить равную нагруженность их в рабочем положении. Меняющиеся по высоте промежутки между балками-ригелями перекрыты сплошными накладками 2 разной ширины, приваренными на монтаже непосредственно к поясам балок. У этого затвора каждый ригель работает почти совершенно самостоятельно; поэтому нагрузка на опорно-ходовые части и бетон вполне определенная. Сжатые пояса балок, не связанные между собой сплошными накладками, соединены вертикальными полосами 3, мало препятствующими самостоятельным горизонтальным смещениям отдельных ригелей.

Вес подвижной части такого затвора оказалась приблизительно на 13% легче плоского семисекционного затвора обычной конструкции (364 и 420 т). Следует отметить, что некоторое облегчение гибкого затвора произошло за счет изменения высоты составных балок по пролету, что не было сделано с балками секционного затвора.

Гибкий затвор оказался более удобным в изготовлении, перевозке и монтаже. Все 14 одинаковых балок могут



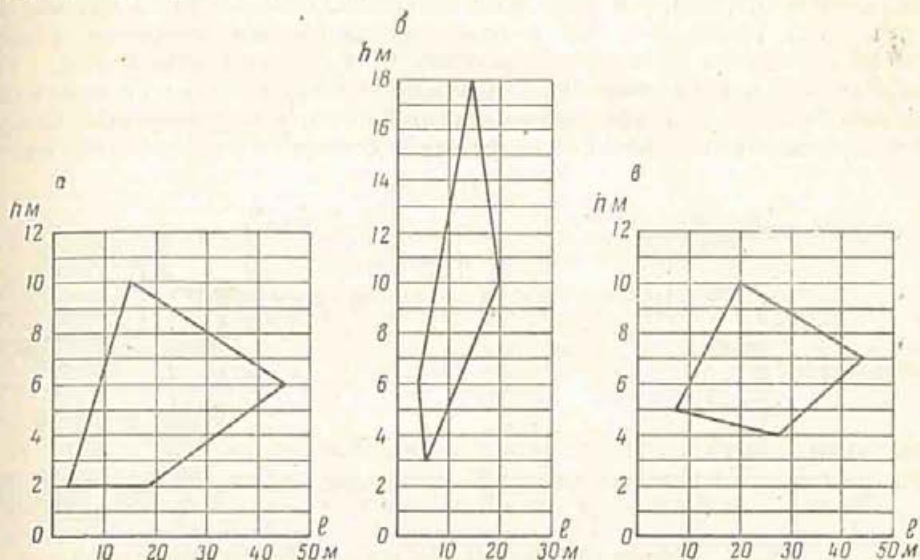
Фиг. 34. Секционный затвор из четырех секций (19,8—14,5—14,5) (значения цифр см. в подписи к фиг. 27)

\* М. Н. Федоров. Выбор типа конструкции сильно нагруженных затворов. «Бюллетень технической информации». Ленинградская проектно-конструкторская контора Главгидроэнергомонтаж В/т Гидромонтаж, Ленинград, 1951.



10. Плоские затворы наиболее приспособлены для перекрытия глубинных отверстий.

11. Пропуск воды может быть осуществлен из-под затвора, поверху затвора и одновременно сверху и снизу.



Фиг. 36. Перекрывающая способность плоских одиночных затворов: а—двухригельных; б—многоригельных; в—с клапаном.

Пропуск воды одновременно сверху и снизу затвора иногда осуществляют для гашения скорости потока. Несмотря на подачу воздуха за затвор со стороны быков для уменьшения влияния вакуума, работа затвора протекает в тяжелых условиях резко меняющейся гидродинамической нагрузки, принимающей иногда характер ударной; конструкция затвора получается тяжелой, а грузоподъемность механизмов очень большой. Вертикальная нагрузка при подъеме одной секции при истечении воды сверху и снизу ее может получиться более усилия, требуемого для подъема всего затвора (без расцепления секций).

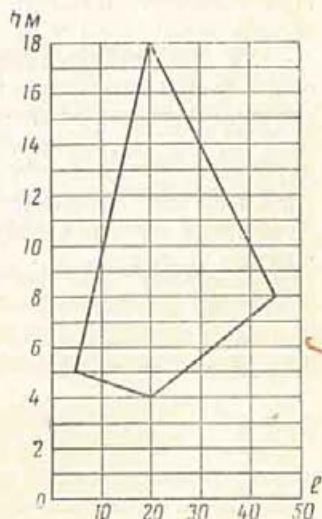
К недостаткам плоских затворов следует отнести:

1. Затруднительность обеспечения безотказной работы их в суровых зимних условиях и в период пропуска ледохода. Применение искусственного обогрева смягчает этот недостаток, но пока не устраняет его полностью.

2. Относительно большая высота и толщина быков.

3. Большие подъемные усилия и в связи с этим потребность в подъемных механизмах большой мощности.

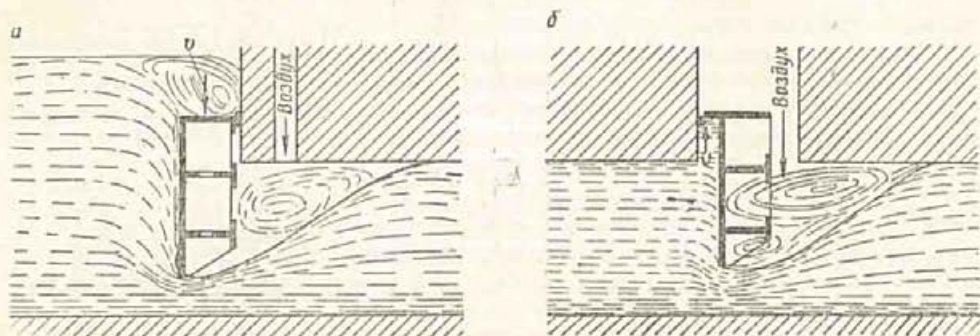
Плоскими затворами перекрывают поверхностные отверстия от самых малых пролетов и напоров до пролета 45 и напора 18 м. Площадь перекрываемого отверстия в современных затворах достигла 400 м<sup>2</sup>. На фигурах 36 и 37 показаны графики рекомендуемых областей применения различных типов плоских затворов, заимствованные из книги профессора А. Р. Березинского «Верхнее строение плотин», 1949 г.



Фиг. 37. Перекрывающая способность плоских двоянных и секционных затворов.



Экономическая и техническая целесообразность применения плоских затворов возрастает с увеличением высоты отверстия (сверх 10 м), а также в многопролетных плотинах, оборудованных подъемными кранами. Плоские затворы применяют не только в качестве основных, но и в качестве ремонтных и аварийных при наличии кранового хозяйства, используемого для маневрирования как основными, так и ремонтно-аварийными затворами. Плоские затворы применяют на водосливных отверстиях плотин и водосбросов, в качестве шлюзных ворот и аварийных заграждений на судоходных каналах и шлюзах, для перекрытия глубинных отверстий плотин, в водопроводных галереях шлюзов, в щитовых отделениях гидроэлектростанций и в других сооружениях.



Фиг. 38. Способы расположения затворов глубинных отверстий:  
 а—перед забральной стеной; б—за забральной стеной.

Затворы глубинных отверстий располагают или спереди забральной стены или за ней (фиг. 38). В первом случае вертикальное давление воды способствует опусканию затвора, а при подъеме—увеличивает подъемное усилие. Во втором случае наблюдается обратное явление, и необходимая сила для опускания затвора создается балластом в затворе или механизмом с дожимом. При горизонте нижнего бьефа выше отверстия в обоих случаях необходима подача воздуха за щит.

Условия работы плоских затворов глубинных отверстий характеризуются очень большими гидростатическими давлениями и вибрацией затворов при маневрировании. Вследствие наличия уплотнений по всему периметру и большой величины гидростатического давления достижение водонепроницаемости затвора представляет трудную задачу. Осмотр и ремонт глубинных затворов сложнее, чем поверхностных. Все это заставляет предъявлять к конструкции глубинных затворов повышенные требования в отношении прочности, устойчивости и жесткости.

## Глава VII

### ОБШИВКА И БАЛОЧНАЯ КЛЕТКА

Обшивку стальных затворов обычно делают стальной и в редких случаях деревянной или арктилитовой\*. Как правило, обшивку располагают со стороны верхнего бьефа.

К недостаткам деревянной обшивки относятся: большая потеря воды из-за просачивания между отдельными брусьями (несмотря на тщательность конопатки), большой вес и высокая стоимость креплений (болтов), большие затраты на содержание обшивки, недолговечность ее и недостаточная мощность при больших напорах. Недостатком деревянной обшивки является также необходимость в устройстве продольной связевой фермы между сжатыми поясами главных ригелей. В целях уменьшения фильтрации возможно применить клееные щиты из досок, уложенных плашмя.

Преимуществами деревянной обшивки являются большая экономия листовой стали и экономия прокатной стали, вследствие отсутствия надобности во вспомогательных балках. Деревянную обшивку крепят непосредственно к стойкам, что сильно упрощает конструкцию балочной клетки и ее изготовление.

Преимуществами стальной обшивки являются ее водонепроницаемость, долговечность и большая жесткость, сообщаемая ею всей конструкции затвора. Стальная обшивка совместно с балочной клеткой образует жесткий диск, который надежно обеспечивает неизменное положение в пространстве сжатых поясов ригелей и их устойчивость. Поэтому со стороны стальной обшивки, уложенной на пояса ригелей, между последними можно не устраивать продольных связей. Кроме того, мощная стальная обшивка с развитой в продольном направлении балочной клеткой принимает большое участие в работе всего затвора на изгиб и позволяет рассчитывать затвор как пространственную конструкцию с включением обшивки в расчетное сечение. Если затвор рассчитывают, разбивая его на плоские составляющие элементы, то и в этом случае часть стальной обшивки возможно включить в расчетное сечение плоских несущих конструкций.

В настоящее время в затворах применяют главным образом стальную обшивку.

Брусья деревянной обшивки лучше располагать горизонтально. Такое расположение позволяет менять толщину брусьев по высоте затвора

\* Судостроительный арктилит состоит из слоев (шпонов) древесины, металлических сеток и ткани, соединенных между собой смоляным клеем. Размеры плит 1200×4800 мм при толщине от 3 до 30 мм. Для обшивки затворов применялись плиты толщиной 11—14 мм. Крепление плит осуществляется болтами с гидронепроницающей швов. Предел прочности арктилита на изгиб около 1700 кг/см<sup>2</sup>, растяжение—1350 кг/см<sup>2</sup>, сжатие—1550 кг/см<sup>2</sup>. Модуль упругости около 210 000 кг/см<sup>2</sup> вдоль волокон и около 180 000 кг/см<sup>2</sup> поперек волокон.

Объемный вес около 1,5 т/м<sup>3</sup>. После 30 суток пребывания в воде вес увеличивается почти на 10%.

в зависимости от величины напора. Изменение толщины обшивки делают через 1—1,5 м. Ширину брусев назначают от 150 до 200 мм, чтобы иметь возможность поставить рядом два болта, крепящих брус к стойке. Диаметр болтов назначают от 16 до 28 мм.

Толщину  $\delta$  деревянной обшивки определяют из условия прочности:

$$W_{тр} = \frac{M}{[\sigma_n]} = \frac{\rho l^2}{8[\sigma_n]} = \frac{b\delta^2}{6},$$

откуда

$$\delta = \sqrt{\frac{6M}{b[\sigma_n]}} = \sqrt{\frac{3\rho l^2}{4b[\sigma_n]}} \quad (1)$$

где  $b$  — ширина бруса;

$l$  — пролет настила (расстояние между стойками);

$\rho$  — давление воды на нижний брус рассчитываемой зоны (в кг/см<sup>2</sup>);

$[\sigma_n]$  — допускаемое напряжение на изгиб.

Величину допускаемых напряжений на изгиб назначают в зависимости от класса сооружения, породы и сорта лесного материала. В таблице 19 приведены допускаемые напряжения на изгиб в обшивке из сосновых брусев 2-го сорта. В случае применения брусев 1-го сорта допускаемые напряжения повышают на 10%. В еловой обшивке допускаемые напряжения снижают на 10%, в дубовой обшивке — повышают на 30%, а в лиственничной — на 20%.

Таблица 19

Допускаемые напряжения (в кг/см<sup>2</sup>) на изгиб в сосновой обшивке затворов в зависимости от класса капитальности последних

Класс затвора . . . . .	II	III	IV	V
Допускаемые напряжения . . . . .	65	80	100	120

Принятую толщину обшивки следует проверить на прогиб:

$$\frac{f}{l} = \frac{5\rho l^3}{384EI} \leq \left[ \frac{f}{l} \right], \quad (2)$$

где  $\left[ \frac{f}{l} \right]$  — допускаемый прогиб (в сооружениях II и III классов  $\frac{1}{180}$ ,

а IV и V классов —  $\frac{1}{150}$ );

$E = 70\,000$  кг/см<sup>2</sup> — модуль упругости сырой древесины;

$I$  — момент инерции бруса.

Стальную обшивку делают из листовой (плоской) стали. Применение выгнутой, лотковой и волнистой обшивки не получило распространения в практике строительства вследствие более высокой стоимости такой стали, усложнения процесса изготовления обшивки, необходимости постановки связей между ригелями с напорной стороны и затруднительности включения такой обшивки в общую пространственную работу всего затвора.

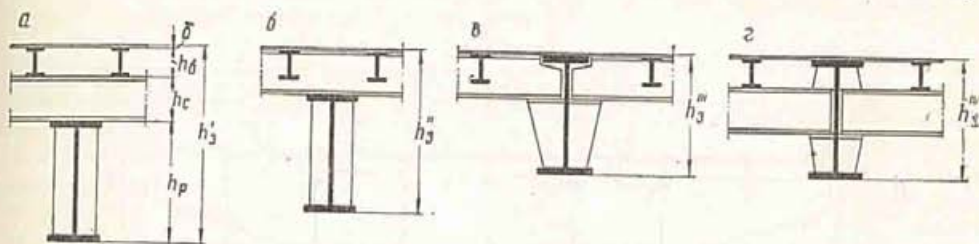
Конструирование стальной обшивки должно быть тщательно увязано с проектированием балочной клетки и ригелей (при включении обшивки в расчетное сечение последних), а также с предполагаемым способом перевозки и монтажа затвора. При назначении размеров листов рекомендуется пользоваться так называемыми нормальными размерами, поставляемыми прокатными заводами без надбавок к стоимости. Листы обшивки лучше располагать горизонтально. Такое расположение удобнее для разделения затвора на монтажные пространственные блоки. Кроме того, оно позволяет менять толщину обшивки по высоте затвора в зависимости от изменения величины напора.

Взаимное расположение обшивки, балочной клетки и ригелей может быть различным (фиг. 39).

Этажное расположение балок (фиг. 39, а) обеспечивает наибольшую простоту устройства балочной клетки, так как в этом случае отпадает необходимость в разрезе балок на отдельные короткие куски и значительно упрощается

крепление балок к стойкам и стоек к ригелям. Однако такое расположение балок имеет и крупные недостатки, вследствие которых на практике его не применяют: а) увеличение общей толщины затвора, что приводит к увеличению ширины паза в быках; б) обшивка получается очень удаленной от ригелей и влияние ее на жесткость всей конструкции сильно снижается; в) высота вспомогательных балок  $h_6$ , а также высота стоек  $h_с$  должны быть постоянными по всей высоте затвора; г) обшивка работает как плита, опертая только по двум сторонам (а не по четырем).

Расположение вспомогательных балок заподлицо со стойками (фиг. 39, б) обеспечивает: а) уменьшение общей толщины затвора на высоту вспомогательных балок; б) опирание обшивки на балки по четырем сторонам, что улучшает условия ее работы и уменьшает требуемую толщину обшивки; в) большую



Фиг. 39. Варианты расположения обшивки, балок, стоек и ригелей: а—этажное; б—балки и стойки в одном уровне; в—балки, стойки и ригели в одном уровне; г—балки и ригели в одном уровне—вспомогательные балки непрерывны.

жесткость диска, образованного балочной клеткой и обшивкой, который в свою очередь обеспечивает неизменное положение сжатых поясов балок-ригелей; г) возможность изменения сечения вспомогательных балок.

Расположение обшивки по фигуре 39, а и б обеспечивает наибольшую простоту смены отдельных частей ее.

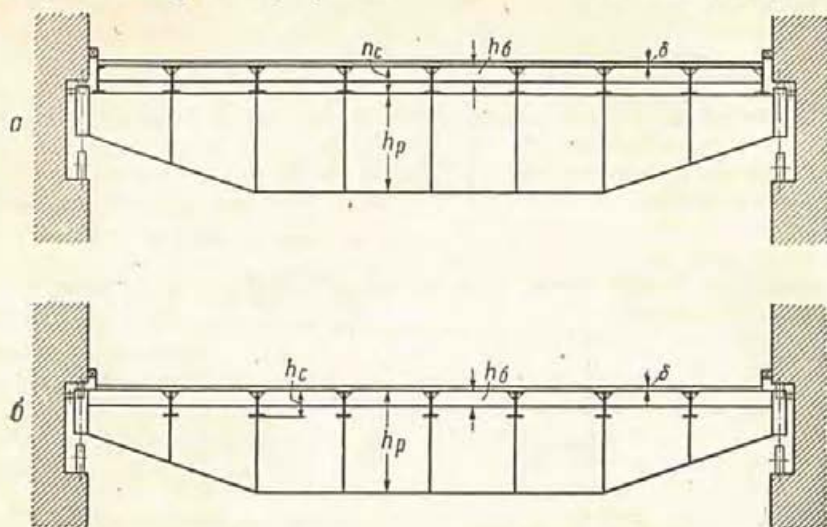
Расположение стоек и вспомогательных балок заподлицо со сжатыми поясами ригелей (фиг. 39, в) обеспечивает: а) надежную работу обшивки и вспомогательных балок совместно с ригелями; б) устранение продольных связей между ригелями со стороны обшивки; в) расчет обшивки как пластинки, опертой по четырем сторонам при соотношении их размеров не более чем 2 : 1; г) возможность изменять сечения как вспомогательных балок, так и стоек по высоте затвора; д) уменьшение общей толщины затвора на высоту вспомогательных балок и стоек (по сравнению с вариантом фиг. 39, а). В качестве недостатков последнего варианта (фиг. 39, в) следует указать: а) значительное усложнение креплений стоек к ригелям и вспомогательных балок к стойкам; б) сложность смены отдельных частей обшивки; в) наличие изгибающих моментов от местной (междуузловой) нагрузки в сжатых поясах ригелей. Однако следует отметить, что дополнительные моменты в сжатом поясе ригеля от междуузловой нагрузки вызывают увеличение его веса на меньшую величину, чем вес отдельно поставленной балки для опирания обшивки.

Устройство балочной клетки по фигуре 39, г с углубленным расположением стоек удобно при главных ригелях из сплошных балок. При сквозных ригелях оно менее удобно, но осуществимо. Такое расположение балок устраняет необходимость в разрезе вспомогательных балок на короткие части, очень упрощает крепление вспомогательных балок к стойкам и потому особенно целесообразно при частом расположении вспомогательных балок и большом их числе. Такое расположение обеспечивает лучшую совместную работу вспомогательных балок с обшивкой и главными ригелями при изгибе последних.

Расположение вспомогательных балок и стоек, как показано на фигуре 39, в и г, следует применять во всех многоригельных затворах и в двухригельных с ригелями из балок со сплошной стенкой. Расположение по фигуре 39, г следует применять в случаях, когда затвор рассчитывают

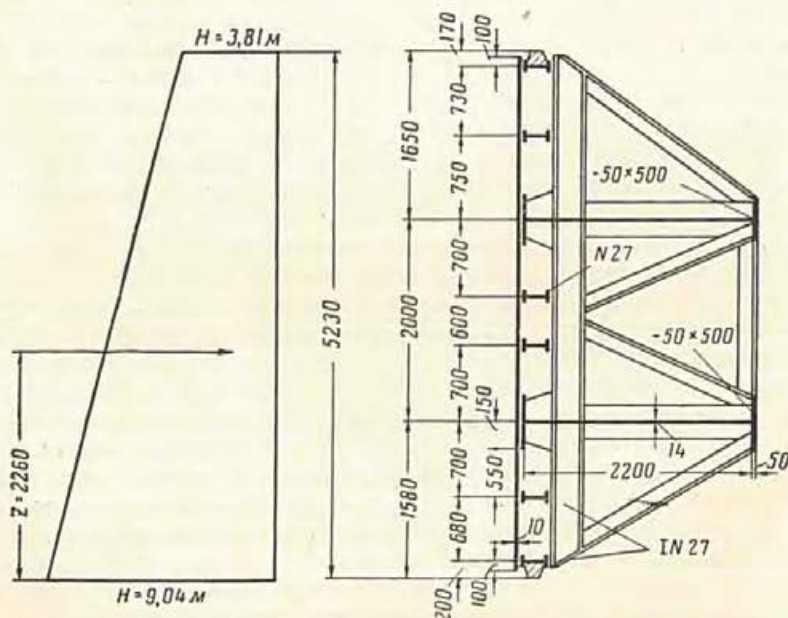
как пространственную конструкцию с учетом работы обшивки и вспомогательных балок.

В случаях перевозки с завода на постройку затворов плоскими блоками (фермами) целесообразно устройство балочной клетки по фигуре 39, б, что



Фиг. 40. Схемы плоского затвора с расположением обшивки, балок и стоек по вариантам б и а фигуры 39.

уменьшает объем монтажных работ. В этом случае балочную клетку с обшивкой на заводе собирают в блоки наибольших размеров, допускаемых по условиям железнодорожных перевозок.



Фиг. 41. Вертикальный разрез нижней секции плоского затвора с расположением балок и стоек по схеме фигуры 39, а.

На фигуре 40, а показано взаимное расположение обшивки, вспомогательных балок, стоек и ригелей затвора в случае выноса балочной клетки в сторону верхнего бьефа, а на фигуре 40, б—в случае расположения их заподлицо

с поясами ригелей. На фигуре 41 показан вертикальный разрез нижней секции плоского затвора ( $l_0=20$  м и  $H=9$  м) с расположением вспомогательных балок и стоек по варианту фигуры 39, г.

При проектировании балочной клетки затвора следует обеспечивать наиболее выгодную работу обшивки, полное использование несущей способности балок и наименьший общий вес затвора.

Если вспомогательные балки\* расположены так, что со стойками они образуют прямоугольники, длинная сторона которых не больше двукратной короткой стороны, то обшивку рассчитывают как пластинку, опертую по четырем сторонам, и толщина ее получается существенно меньше, чем в случаях опирания обшивки по двум сторонам. В поверхностных затворах расстояние между вспомогательными балками к низу затвора, по мере увеличения гидростатической нагрузки, уменьшают.

Если затвор рассчитывают как пространственную конструкцию с учетом работы обшивки и вспомогательных балок на изгиб совместно с ригелями, то вспомогательные (горизонтальные) балки располагают значительно чаще, стремясь заставить обшивку работать на изгиб от давления воды, как вертикальную многопролетную балку. В этом случае нормальные напряжения в обшивке от изгиба ее непосредственным давлением воды будут ориентированы по вертикали, а нормальные напряжения от изгиба обшивки при работе совместно с ригелями будут ориентированы по горизонтали.

В случае опирания обшивки только по двум сторонам, расчетный изгибающий момент в ней  $M = \frac{pl^2}{12}$ , а момент сопротивления полосы обшивки шириной 1 см —  $W = \frac{1 \cdot \delta^2}{6}$ . Зная величину допускаемого напряжения, можем определить требуемую толщину обшивки:

$$\delta = \sqrt{\frac{pl^2}{2[\sigma]}} \text{ см}; \quad 2 \cdot 2100 = 4200 \quad (3)$$

$$\text{при } 2[\sigma] = 3200 \text{ кг/см}^2 \quad \delta = 0,0177l\sqrt{p} \text{ см}, \quad (4)$$

$$\text{» } 2[\sigma] = 2800 \text{ »} \quad \delta = 0,0189l\sqrt{p} \text{ »}, \quad (4a)$$

где  $l$  — пролет обшивки, равный расстоянию между швами, прикрепляющими обшивку к соседним опорам (в см);

$p$  — давление воды по середине пролета обшивки (в кг/см<sup>2</sup>).

Толщину обшивки, опертой по четырем сторонам, определяют по формуле:

$$\delta = l_k \sqrt{\frac{kp}{2[\sigma](1+n^2)}} \text{ см}, \quad 0,0155l_k \sqrt{\frac{kp}{2[\sigma](1+n^2)}} \quad (5)$$

где  $\delta$  — толщина обшивки (в см);

$n = l_k : l_d$ ;

$l_k$  — короткая сторона прямоугольника балочной клетки, по которому опирается пластинка (в см);

$l_d$  — длинная сторона того же прямоугольника (в см); размеры  $l_k$  и  $l_d$  определяют между осями сварных швов или рисками заклепок, прикрепляющих обшивку к балочной клетке;

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение на изгиб в листовой стальной обшивке (в кг/см<sup>2</sup>);

$p$  — гидростатическое давление в центре рассматриваемого прямоугольника пластинки (в кг/см<sup>2</sup>);

$k$  — коэффициент, зависящий от способа закрепления обшивки; при заделке по четырем сторонам принимают  $k=0,75$ , по двум сторонам —  $k=1$ .

\* В многоригельных затворах часто представляется возможным крепить обшивку только к ригелям, стойкам и обвязкам (без промежуточных вспомогательных балок).

Влияние соотношения сторон прямоугольного контура опирания пластинки на величину напряжений изгиба  $\sigma$  [по формуле (5)] при постоянных значениях  $l_k$  и  $\delta$  видно из следующего сопоставления:

$$\begin{aligned} \text{при } l_k : l_d = 1 : \infty \quad \sigma - 100\%; & \quad \text{при } l_k : l_d = 1 : 2 \quad \sigma - 80\%; \\ \text{» } l_k : l_d = 1 : 4 \quad \sigma - 94\%; & \quad \text{» } l_k : l_d = 1 : 1 \quad \sigma - 50\%. \\ \text{» } l_k : l_d = 1 : 3 \quad \sigma - 90\%; & \end{aligned}$$

К полученной по формулам (3) — (5) толщине обшивки часто добавляют 1 мм на износ (истирание) обшивки, возможные повреждения ее плавающими телами и на неточность проката. Эта добавка служит также запахом и на случай коррозии при недостаточном тщательном уходе за ней в процессе эксплуатации. Здесь следует отметить, что из всех существующих способов защиты стали от коррозии, защита ее самой сталью (т. е. увеличением толщины) является экономически наиболее невыгодной и технически мало эффективной. При плохой антикоррозийной изоляции стальные конструкции, осуществленные и из толстостенных элементов, подвергаются быстрой порче.

Толщину обшивки назначают не менее 6 мм\*. Указанный минимум необходим для обеспечения жесткости всей конструкции и для устранения возможности появления вмятин от ударов плавающими телами. В глубинных затворах с большим напором толщина обшивки доходит до 16 — 20 мм. В глубинных затворах, а также в случаях учета работы обшивки в общем расчете затвора, толщину обшивки назначают одинаковой по всей высоте.

При изгибе обшивки под действием нагрузки в местах крепления ее к балкам появляются силы распора. Величину последних можно приближенно определить по формуле:

$$q = 0,07\delta \sigma_{\max} \text{ кг/см}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{\max}$  — наибольшее напряжение в обшивке толщиной  $\delta$  см.

В стыках листов обшивки шаг заклепок  $a_3$  должен удовлетворять требованиям водонепроницаемости:  $a_3 \leq 9\delta$  и  $a_3 \leq 6d_3$ .

Стыки обшивки в клепаных затворах необходимо устраивать на элементах балочной клетки. При сварке листов обшивки встык эти стыки могут быть расположены без учета размещения элементов балочной клетки.

Если обшивка включена в расчет несущей конструкции затвора, то ее располагают непосредственно на первом пояском листе ригеля-балки или на уголках сжатых поясов ферм или балок. Остальные поясные листы, если они требуются, накладывают на обшивку снаружи и обрывают в соответствии с эпюрой моментов.

Вспомогательные балки рассчитывают на действие сплошной нагрузки, передаваемой обшивкой.

Если обшивка рассчитана как пластинка, опертая по двум сторонам, то нагрузку на вспомогательные балки находят как сумму нагрузок с двух примыкающих панелей (фиг. 42):

$$p_1 = p \frac{l_v + l_k}{2} \text{ кг/см},$$

где  $p$  — среднее гидростатическое давление (в кг/см<sup>2</sup>) по высоте рассматриваемой площадки.

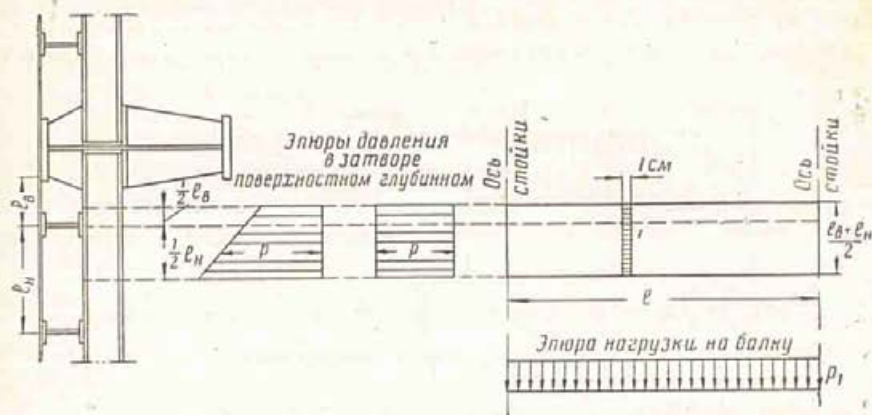
Полная нагрузка на всю балку пролетом  $l$ :

$$P_0 = p_1 l \text{ кг}. \quad (7)$$

Если обшивка рассчитана как пластинка, опертая по четырем сторонам, то распределение нагрузки между горизонтальными и вертикальными

\* Исключением являются безригельные затворы весьма малых отверстий, в которых толщину обшивки принимают равной 4 мм.

балками допускается принимать по биссектрисам углов грузовых площадей (фиг. 43). В этом случае нагрузка на балку, являющуюся длинной сторо-

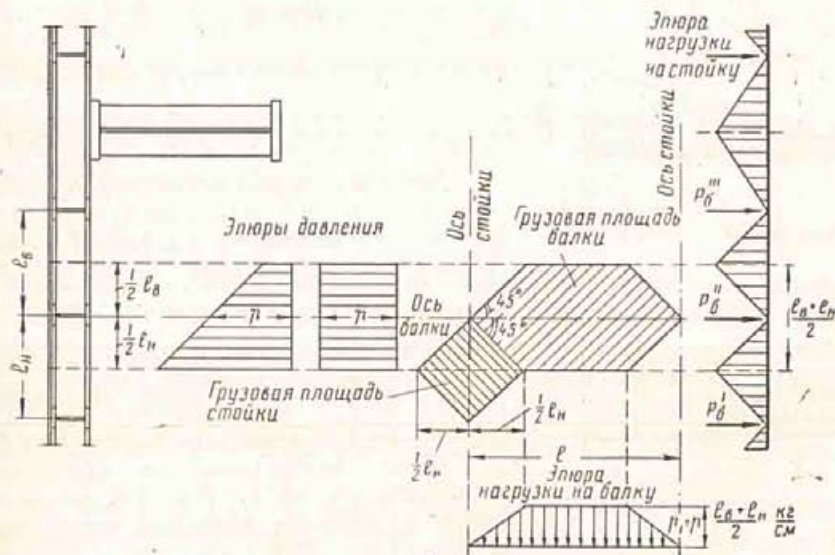


Фиг. 42. Схема определения гидростатической нагрузки на вспомогательную балку при обшивке, опертой по двум сторонам.

ной контура, представится трапецией с высотой  $p_1 = p \frac{l_n + l_n}{2}$  кг/см, а полная нагрузка на балку пролетом  $l$ :

$$P_6 = p \left[ \frac{l_n}{2} \left( l - \frac{l_n}{2} \right) + \frac{l_n}{2} \left( l - \frac{l_n}{2} \right) \right] \text{ кг.} \quad (8)$$

Величину гидростатического давления  $p$  для упрощения подсчетов часто берут на уровне геометрической оси балки, как показано на фигуре 43.



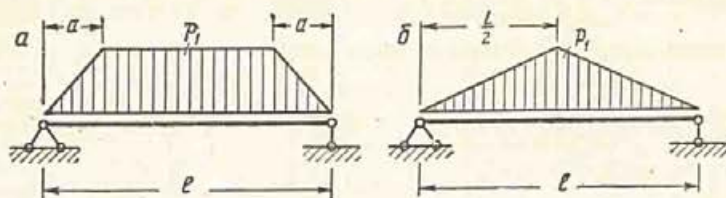
Фиг. 43. Схема определения гидростатической нагрузки на вспомогательную балку и стойку при обшивке, опертой по четырем сторонам.

Нагрузка на балку, являющуюся короткой стороной контура, представится в виде треугольников с высотой каждого  $p_1 = p l_n$  или  $p_1 = p l_n$  кг/см, а полная нагрузка от каждого треугольника:

$$P = \frac{p l_n^2}{2} \text{ кг} \quad \text{или} \quad P = \frac{p l_n^2}{2} \text{ кг.} \quad (9)$$



Вспомогательные горизонтальные балки, лежащие на стойках, рассчитывают как многопролетные неразрезные балки. Все промежуточные опоры такой балки находятся в одинаковых условиях загрузки. Стойки, лежащие на ригелях, также возможно рассчитывать как неразрезные балки. При равнонагруженных ригелях промежуточные опоры такой балки будут



Фиг. 44. Схемы к определению изгибающих моментов в однопролетных балках с нагрузкой: а—трапециoidalной; б—треугольной.

находиться в одинаковых условиях работы. В двухригельных затворах стойки, лежащие на ригелях, представляют двухконсольные балки.

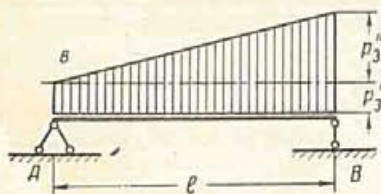
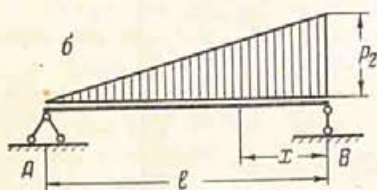
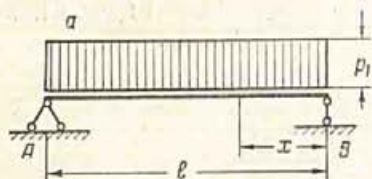
Если вспомогательные балки разрезаны в местах примыкания к стойкам, то такие балки часто считают как простые двухопорные балки. При этом крепление их к стойкам рассчитывают на опорное давление и  $0,5 M$  — максимального момента в примыкающей свободно лежащей балке.

Максимальное значение изгибающего момента в свободно опертой балке с трапециoidalной нагрузкой  $p_1$  (фиг. 44, а):

$$M = p_1 \left( \frac{l^2}{8} - \frac{a^2}{6} \right); \quad (10)$$

то же с треугольной нагрузкой  $p_1$  (фиг. 44, б)

$$M = p_1 \frac{l^2}{12}. \quad (11)$$



Фиг. 45. Схема загрузки балок.

моментов и прогибов в таких балках возможно производить по формулам для простых балок со средней равномерно распределенной сплошной по всему пролету нагрузкой  $p' = \frac{P_2}{l}$  или  $p'' = \frac{P_3}{l}$ .

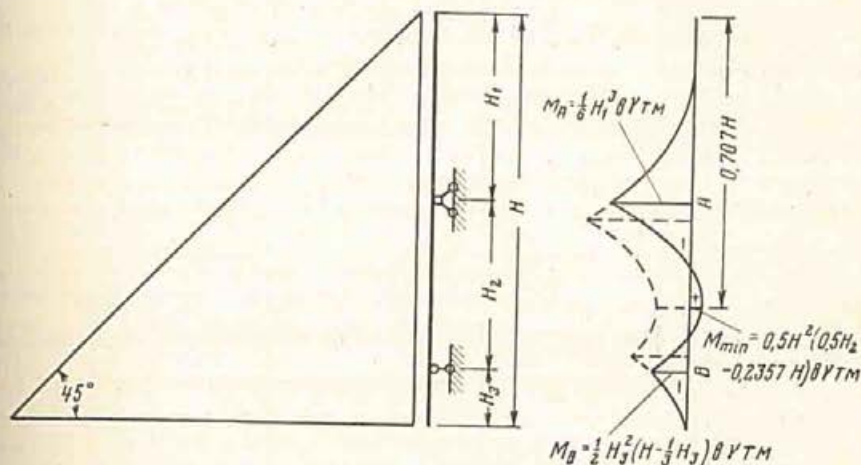
Значения расчетных величин для однопролетных свободно опертых и защемленных балок при разных видах нагрузок приведены в таблицах 21 и 22 (таблицы составлены с использованием материалов Справочника Промстройпроекта, т. II, 1934 г.).

Максимальный изгибающий момент в двухконсольной балке (стойке) при треугольной эпюре нагрузки (фиг. 46) и равномерно нагруженных ригелях имеет место на уровне верхней опоры:

$$M = \gamma b \frac{H_1^3}{6}, \quad (12)$$

где  $H_1$  — высота напора у начала консоли;  
 $b$  — расстояние между стойками.

На этой же фигуре показаны значения изгибающих моментов на уровне нижней опоры и между опор.



Фиг. 46. Схема к определению изгибающих моментов в двухконсольной стойке.

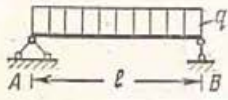
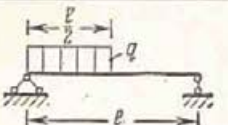
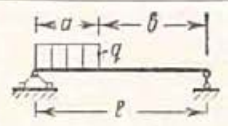
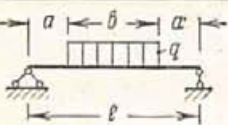
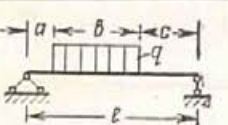
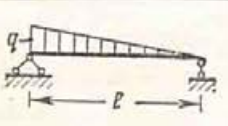
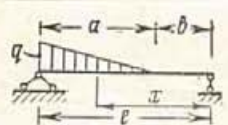
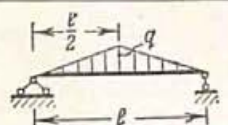
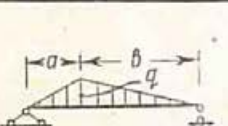
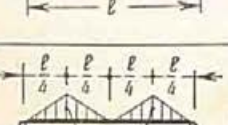
В сечение балок, непосредственно поддерживающих обшивку, следует вводить часть последней шириной по  $15 \delta$  с каждой стороны пояса балки ( $\delta$  — толщина обшивки).

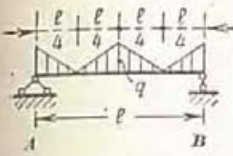
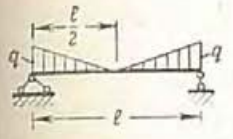
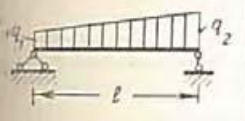
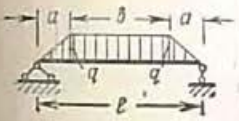



Таблица 20

Расчетные характеристики однопролетных свободно опертых балок с равномерно распределенной, треугольной и трапециевидной нагрузкой

Вид нагрузки	Полная нагрузка на балку	Реакции опор		Максимальный изгибающий момент и его место	Максимальный прогиб и его место
		А	В		
Равномерно распределенная (фиг. 45, а)	$P_1 = p_1 l$	$\frac{P_1}{2}$	$\frac{P_1}{2}$	$0,125 P_1 l$ при $x = 0,5 l$	$0,01302 \frac{P_1 l^3}{EI}$ при $x = 0,5 l$
Распределенная по треугольнику (фиг. 45, б)	$P_2 = \frac{p_2 l}{2}$	$\frac{P_2}{3}$	$\frac{2P_2}{3}$	$0,1283 P_2 l$ при $x = 0,422 l$	$0,01304 \frac{P_2 l^3}{EI}$ при $x = 0,481 l$
Распределенная по трапеции (фиг. 45, в)	$P_3 = P_3' + P_3'' = p_3' l + \frac{p_3'' l}{2}$	$\frac{P_3'}{2} + \frac{P_3''}{3}$	$\frac{P_3'}{2} + \frac{2P_3''}{3}$	$\approx 0,125 P_3' l + 0,128 P_3'' l$	$\approx 0,013 \frac{(P_3' + P_3'') l^3}{EI}$

Данные для статического расчета однопролетных свободно опертых балок

Схемы балок и нагрузений	Опорные реакции	Наибольшие изгибающие моменты		Наибольший прогиб
		величина $M_{\max}$	место* $M_{\max}$	
	$A = B = \frac{ql}{2}$	$\frac{ql^2}{8}$	По середине пролета	$\frac{5ql^4}{384EI}$
	$A = \frac{3}{8} ql$ $B = \frac{1}{8} ql$	$\frac{9}{128} ql^2$	$\frac{3}{8} l$	$0,006565 \frac{ql^4}{EI}$ в точке $\approx 0,46l$
	$A = \frac{qa}{2l} (2l - a)$ $B = \frac{qa^2}{2l}$	$\frac{qa^2}{8l^2} (2l - a)^2$	$a \left(1 - \frac{a}{2l}\right)$	
	$A = B = \frac{qb}{2}$	$\frac{qb}{8} (2l - b)$	По середине пролета	
	$A = \frac{qb}{2l} (b + 2c)$ $B = \frac{qb}{2l} (b + 2a)$	$A \left(a + \frac{A}{2q}\right)$	$a + \frac{A}{q}$	
	$A = \frac{1}{3} ql$ $B = \frac{1}{6} ql$	$\frac{ql^2}{9\sqrt{3}} \approx 0,0642 ql^2$	$\left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) l \approx 0,422l$	$0,00652 \frac{ql^4}{EI}$ в точке $\approx 0,4807l$
	$A = \frac{qa}{2} \left(1 - \frac{a}{3l}\right)$ $B = \frac{qa^2}{6l}$	$M_x = Bx - \frac{q}{6a} (x - b)^3$	При $x = b + a \sqrt{\frac{a}{3l}}$	
	$A = B = \frac{1}{4} ql$	$\frac{ql^2}{12}$	По середине пролета	
	$A = \frac{q}{6} (l + b)$ $B = \frac{q}{6} (l + a)$	$M_x = B(l - x) - \frac{q}{6b} (l - x)^3$	При $x = l - \sqrt{\frac{b(l + a)}{3}}$ , если $a < b$	
	$A = B = \frac{ql}{4}$	$\frac{ql^2}{16}$	По середине пролета	

Схемы балки и загружений	Опорные реакции	Наибольшие изгибающие моменты		Наибольший прогиб
		величина $M_{\max}$	место* $M_{\max}$	
	$A = B = \frac{ql}{4}$	$\frac{ql^2}{16}$	По середине пролета	
	$A = B = \frac{ql}{4}$	$\frac{ql^2}{24}$	То же	
	$A = \frac{l}{6} (q_2 + 2q_1)$ $B = \frac{l}{6} (q_1 + 2q_2)$	$M_x = A_x - \frac{q_1 x^2}{2} - \frac{x^3}{6l} (q_2 - q_1)$	$x = \frac{l}{(q_2 - q_1)} \times \left[ \sqrt{q_1^2 + \frac{(q_2 - q_1)(q_2 + 2q_1)}{3}} - q_1 \right]$ $y_{\frac{l}{2}} = \frac{5(q_1 + q_2)l^4}{768EI}$	
	$A = B = \frac{q}{2} (a + b)$	$\frac{ql^2}{8} - \frac{qa^2}{6}$	По середине пролета	
	$A = -\frac{M_a}{l}$ $B = +\frac{M_a}{l}$	$M_A = M_a$	На опоре	$0,0641 \frac{M_a l^2}{EI}$ при $x = 0,423l$
	$A = -\frac{M_a - M_b}{l}$ $B = +\frac{M_a - M_b}{l}$ $M_a > M_b$	$M_A = M_a; M_B = M_b$	На опорах	
	$A = -\frac{M_a + M_b}{l}$ $B = +\frac{M_a + M_b}{l}$	$M_A = M_a; M_B = M_b$	То же	

\*Расстояния до  $M_{\max}$  указаны от левой опоры за исключением одного особого оговоренного случая.

Данные для статического расчета балок с двумя защемленными концами, с одним защемленным, а с другим свободно опертым концами и с одним защемленным и другим свободным концами

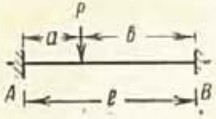

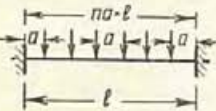
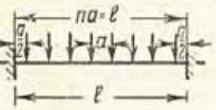
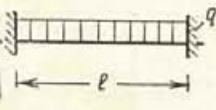
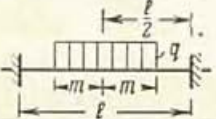
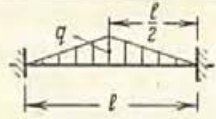
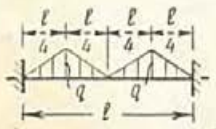
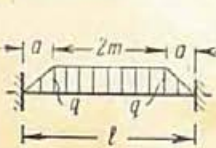
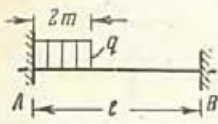
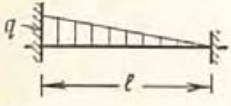
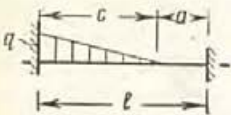
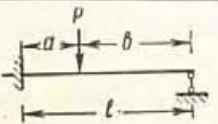
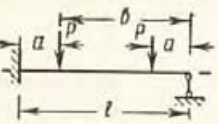
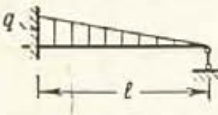
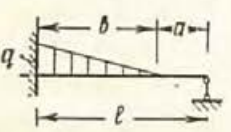
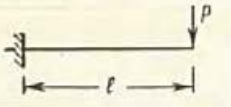
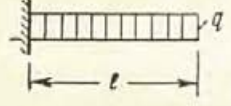
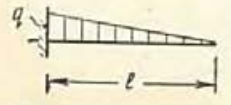
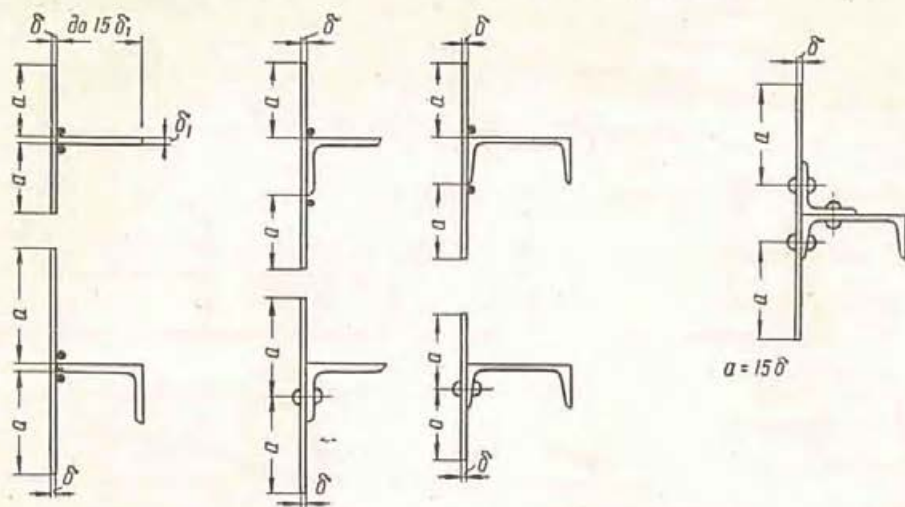
Схема балок и загрузений	Опорные реакции	Наибольшие изгибающие моменты $M_{\max}$	Наибольший прогиб
	$A = \frac{Pb}{l} \left[ 1 + \frac{a}{l^2} (b-a) \right]$ $B = \frac{Pa}{l} \left[ 1 + \frac{b}{l^2} (a-b) \right]$	$M_A = -P \frac{ab^2}{l^2}$ $M_B = -P \frac{ba^2}{l^2}$	$\frac{P2a^2b^3}{3(a+3b)^2} \cdot \frac{1}{EI}$ в точке $x = \frac{2b}{a+3b} l$
	$A = B = P$	$M_A = M_B = -P \frac{ab}{l}$	
	$A = B = \frac{P(n-1)}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{n^2-1}{12n} Pl$	
	$A = B = \frac{P \cdot n}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{n^2+0,5}{12n} Pl$	
	$A = B = \frac{ql}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{ql^2}{12}$	$\frac{ql^4}{384} \cdot \frac{1}{EI}$ по середине пролета
	$A = B = mq$	$M_A = M_B = -\frac{mq}{12l} (3l^2 - 4m^2)$	
	$A = B = \frac{ql}{4}$	$M_A = M_B = -\frac{5}{96} ql^2$	$\frac{7ql^4}{3840} \cdot \frac{1}{EI}$
	$A = B = \frac{ql}{4}$	$M_A = M_B = -\frac{17}{384} ql^2$	$\frac{17ql^4}{5760} \cdot \frac{1}{EI}$
	$A = B = \frac{q(l-a)}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{q}{3l} \left( \frac{3ml^2}{4} - m^3 + a^2l - \frac{3}{4} a^3 \right)$	

Схема балок и загружений	Опорные реакции	Наибольшие изгибающие моменты $M_{\max}$	Наибольший прогиб
	$A = qm \left[ 3 - \frac{2m}{l} \left( 3 - \frac{2m}{l} \right) \right]$ $B = qm \left[ \frac{2m}{l} \left( 3 - \frac{2m}{l} \right) - 1 \right]$	$M_A = -\frac{qml}{3} \left( 3 + \frac{6m^2}{l^2} - \frac{8m}{l} \right)$ $M_B = -\frac{2qm^2}{3l} (2l - 3m)$	
	$A = \frac{7}{20} \cdot ql$ $B = \frac{3}{20} \cdot ql$	$M_A = -\frac{ql^2}{20}$ $M_B = -\frac{ql^2}{30}$	
	$A = \frac{qc}{20l^3} (10l^3 - 5ac^2 - 3c^3)$ $B = \frac{qc}{20l^3} (5ac^2 + 3c^3)$	$M_A = -\frac{qc^2}{60l^2} (10al + 3c^2)$ $M_B = -\frac{qc^3}{60l^2} (2l + 3a)$	
	$A = \frac{Pb}{2l^3} (3l^2 - b^2)$ $B = \frac{Pa^2}{2l^3} (3l - a)$	$M_A = -\frac{Pab(l+b)}{2l^2}$	
	$A = \frac{P}{2l^2} (2l^2 + 3ab)$ $B = \frac{P}{2l^2} (2l^2 - 3ab)$	$M_A = -\frac{3Pab}{2l}$	
	$A = \frac{2}{5} ql$ $B = \frac{1}{10} ql$	$M_A = -\frac{ql^2}{15}$	
	$A = \frac{Pb}{40l^3} [2l^3 + (2l + a) \times (7l^2 - a^2)]$ $B = \frac{qb^2}{40l^3} (4l^2 - 3al - a^2)$	$M_A = -\frac{qb^2}{120l^2} (8l^2 + 9al + 3a^2)$	
	$A = P$	$M_A = -Pl$	$\frac{Pl^3}{3EI}$
	$A = ql$	$M_A = -\frac{ql^2}{2}$	$\frac{ql^4}{8EI}$
	$A = \frac{ql}{2}$	$M_A = -\frac{ql^2}{6}$	$\frac{ql^4}{30EI}$

Принятая форма балок должна исключать возможность накопления атмосферных осадков, грязи и застоя воды. На фигуре 47 представлены целесообразные сечения вспомогательных балок и положение их полок. Для при-



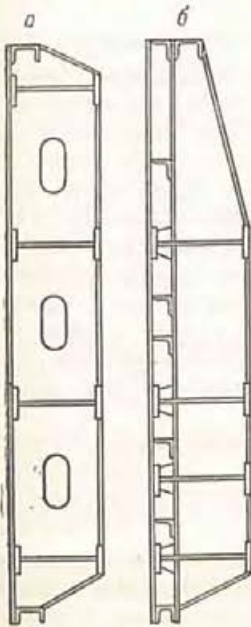
Фиг. 47. Сечения вспомогательных балок и рекомендуемое положение их полок.

дания большей жесткости балочной клетке желательно, чтобы высота вспомогательных балок, размещаемых заподлицо со стойками, была равна или приближалась к высоте последних.

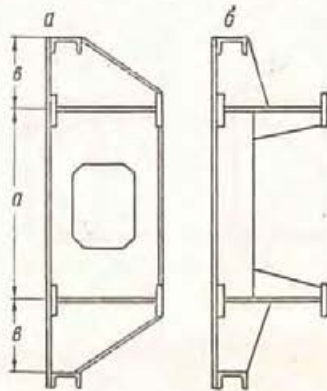
СТОЙКИ И ПОПЕРЕЧНЫЕ СВЯЗИ

Стойки затворов обычно включают в состав поперечных связей, обеспечивающих неизменное расположение ригелей и продольных связей по отношению друг к другу.

Поперечные связи должны принять на себя воздействие случайных сил, не лежащих в плоскостях ригелей и вызывающих крутящие моменты в пространственной конструкции затвора, а также выравнивать нагрузки между ригелями в случае перегрузки одного из них. Кроме того, поскольку в состав поперечных связей включены стойки, эти связи должны принять от вспомогательных балок давление воды и передать его на ригели. Число поперечных связей следует назначать нечетным.



Фиг. 48. Схемы стоек—поперечных связей в виде диафрагм в поверхности затвора:  
*a*—при отсутствии вспомогательных балок; *б*—при наличии вспомогательных балок.



Фиг. 49. Схемы стоек—поперечных связей рамного типа в глубинном затворе:  
*a*—закрытого контура; *б*—открытого контура (не рекомендуются).

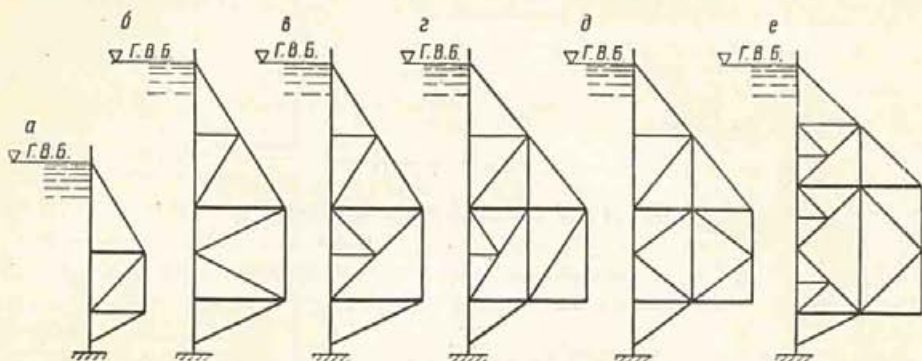
При относительно небольшой высоте сплошных ригелей и относительно небольшом расстоянии между ними целесообразно развить высоту стойки и превратить ее в диафрагму (фиг. 48 и 49). Такие стойки являются одновременно и поперечными связями. Чтобы повысить устойчивость пластинки-диафрагмы, иногда ставят диагональные ребра жесткости. Для уменьшения общего веса затвора возможно среднюю, неработающую часть диафрагмы вырезать. Отверстие обрамляют полосой или уголком. Незамкнутые попереч-



ные связи рамного типа (фиг. 49, б) не следует применять, как мало жесткие при кручении затвора.

В затворах с двумя ригелями большой высоты обычно поперечные связи осуществляют в виде ферм (фиг. 41). На фигуре 50 представлены схемы ферм поперечных связей поверхностных затворов, а на фигуре 51—глубинных.

Выбор типа решетки ферм поперечных связей (стоек) в очень сильной мере зависит от высоты затвора, определяющего длину ферм-связей, и от высоты



Фиг. 50. Схемы стоек—поперечных связей в виде ферм в поверхностных затворах.

ригелей, определяющих высоту ферм-связей. Углы между направлениями раскосов ферм и их поясов следует назначать в пределах 30—60°. Решетку ферм поперечных связей следует назначать простой, статически определимой, с наибольшим числом однотипных повторяющихся элементов. Допускается работа пояса, поддерживающего обшивку, на местный изгиб от давления воды. При большой высоте затвора возможно применение шпренгельной решетки (фиг. 50 а, г, е). При большом значении изгибающего момента в стойке на участке между ригелями следует решетку поперечных связей назначить так, чтобы пролет стойки между ригелями разбить на две части (фиг. 50, б—д), а в отдельных случаях—на четыре части (фиг. 50, е).

Поперечные фермы удобно располагать в плоскости каждой стойки ригелей-ферм (т. е. в каждом нагруженном узле).

В глубинных затворах при постоянном гидростатическом давлении целесообразно поперечные фермы проектировать симметричными относительно своей горизонтальной оси (фиг. 51, б и в), так как это обеспечивает наибольшую повторяемость элементов, упрощает и ускоряет изготовление ферм.

Определение узловых нагрузок  $P$  в поперечных фермах производят по грузовым площадям с учетом меняющейся интенсивности гидростатического давления (фиг. 52). При этом следует учесть наличие нагрузки на консоли в нижней панели и возможное неполное загрузление верхней панели.

В качестве примера ниже приведены значения узловых нагрузок в ферме, представленной на фигуре 52, при давлении воды, действующем непосредственно на пояс:

$$P_1 = \frac{H_1^2}{a_1} \frac{b_1}{6}; \quad (1)$$

$$P_2 = \left( 3H_1^2 + 2H_1 a_2 + H_2 a_2 - \frac{H_1^2}{a_1} \right) \frac{b_1}{6}; \quad (2)$$

$$P_3 = (H_1 a_2 + 2H_2 a_2 + 2H_2 a_3 + H_3 a_3) \frac{b\gamma}{6}; \quad (3)$$

$$P_4 = (H_2 a_3 + 2H_3 a_3 + 2H_3 a_4 + H_4 a_4) \frac{b\gamma}{6}; \quad (4)$$

$$P_5 = (H_3 a_4 + 2H_4 a_4 + 2H_4 a_5 + H_5 a_5) \frac{b\gamma}{6} - A_5; \quad (5)$$

$$P_6 = (H_4 + 2H_5) \frac{a_5 b\gamma}{6} + A_6, \quad (6)$$

где  $b$  — расстояние между поперечными связями;  
 $A_5$  и  $A_6$  — опорные давления в предпоследнем и последнем узлах фермы от нагрузки на консольной части:

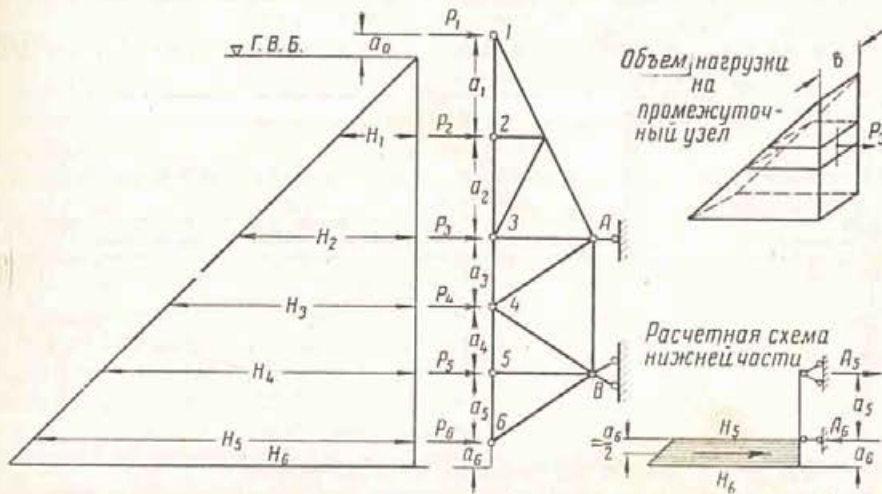
$$A_5 \approx \frac{H_5 + H_6}{4} \cdot \frac{a_5^2}{a_5} b\gamma; \quad (7)$$

$$A_6 \approx \frac{H_5 + H_6}{2} \cdot \frac{a_6}{a_5} \left( a_5 + \frac{a_6}{2} \right) b\gamma. \quad (8)$$

После определения узловых нагрузок необходимо проверить правильность вычислений:

$$\sum P_i = \frac{H_5^2}{2} b\gamma. \quad (9)$$

При числе узлов, отличном от схемы, приведенной на фигуре 52, можно пользоваться этими же формулами, меняя индексы у  $a$  и  $H$  в фор-



Фиг. 52. Схема для определения нагрузок в узлах ферм-поперечных связей.

муле для последнего узла и учитывая влияние консольного участка на нагрузку в последнем и предпоследнем узлах.

Для определения усилий в стержнях поперечных ферм предполагают, что они опоры на узлы растянутых поясов ригелей (фиг. 52).

При конструировании и расчете пояса поперечной фермы со стороны верхнего бьефа необходимо учитывать, что он работает не только на осевое усилие как элемент фермы, но и на изгиб от давления, непосредственно передающегося обшивкой и вспомогательными балками, расположенными вне узлов фермы. Вертикальная часть пояса поперечной фермы со стороны нижнего бьефа одновременно является стойкой продольной связевой фермы.

## Глава IX

### РИГЕЛИ

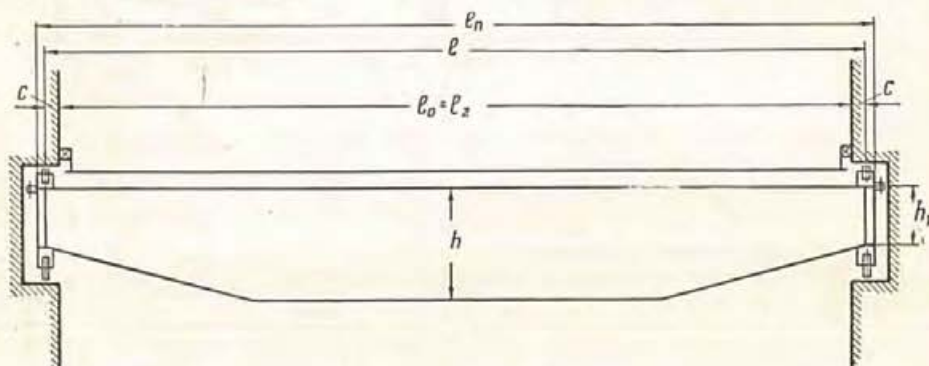
#### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Расчетный пролет  $l$  ригеля складывается из ширины отверстия  $l_0$  и двух расстояний  $c$  от внешней кромки паза до центра опорного узла (фиг. 53). Расстояние  $c$  в поверхностных затворах составляет около

$$\begin{aligned} 0,05 l_0 & \text{ при } l_0 = 10 \div 20 \text{ м} \\ 0,04 l_0 & \text{ » } l_0 = 20 \div 40 \text{ »} \\ 0,03 l_0 & \text{ » } l_0 \geq 40 \text{ »} . \end{aligned}$$

Расстояние  $c$  уточняют с учетом прочности бетона под опорными путями и удобства размещения закладных частей, опорно-ходовых и направляющих устройств, стремясь всемерно его уменьшить.

В сдвоенных затворах величину  $c$  увеличивают до  $(0,06—0,07)l_0$ .



Фиг. 53. Основные размеры ригеля:

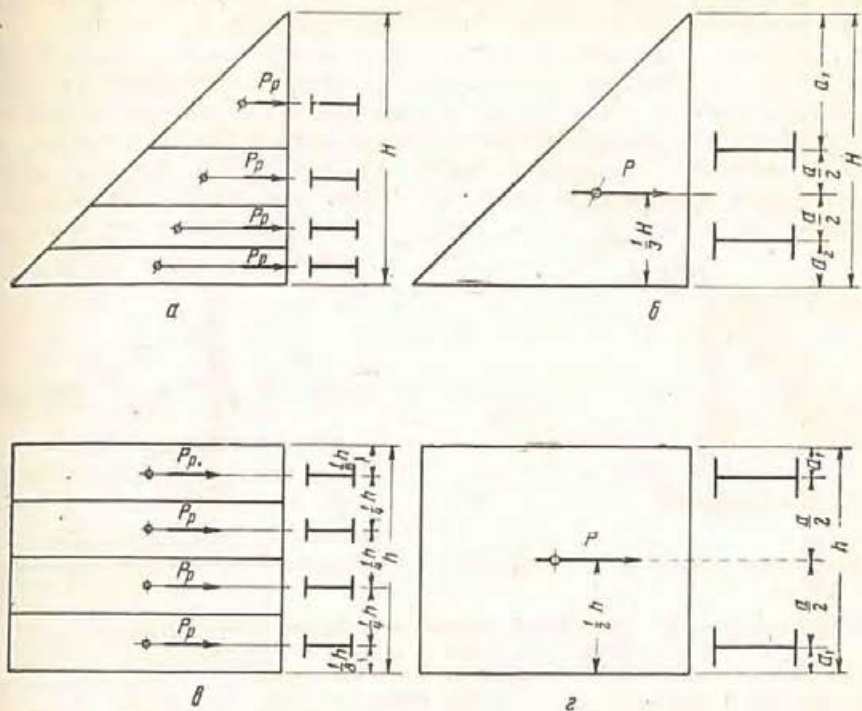
$l_0$ —ширина отверстия;  $l_r$ —ширина нагруженной площади;  $l$ —расчетный пролет;  $l_n$ —полная длина;  $h$ —высота в середине пролета;  $h_1$ —высота у опоры.

В глубинных затворах с возрастанием напора и, следовательно, давления на опорные части величина  $c$  также возрастает по сравнению с указанной выше. В затворах малых пролетов величина  $c$  доходит до  $(0,10 \div 0,15)l_0$ .

Во всех случаях величину  $c$  следует назначать возможно меньшей, чтобы уменьшить глубину пазов и ширину быков, что ведет к уменьшению общего объема бетона. Кроме того, уменьшение глубины ниш улучшает условия протекания воды.

Ригели следует располагать по высоте затвора так, чтобы обеспечить равную нагруженность их при полностью закрытом отверстии (фиг. 54). В двухригельных затворах ригели располагают на равных расстояниях от направления равнодействующей гидростатического давления (фиг. 54, б). Расстояние между ригелями  $a$  необходимо назначать возможно бóльшим,

чтобы обеспечить большую устойчивость всего щита на колесных тележках и большую высоту продольной связевой (подъемной) фермы. Последнее

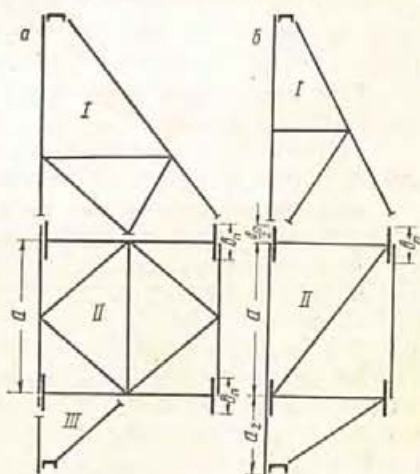


Фиг. 54. Расположение ригелей в плоских затворах:  
 а—поверхностном многоригельном; б—поверхностном двухригельном; в—глубинном многоригельном; г—глубинном двухригельном.

уменьшает дополнительные усилия в поясах главных ферм от действия собственного веса. Увеличение расстояния между ригелями, кроме того, уменьшает вылет  $a_1$  верхней консольной части затвора и делает ее более жесткой (в двухригельных поверхностных затворах желательно иметь  $a_1 \leq 0,45 H$ ).

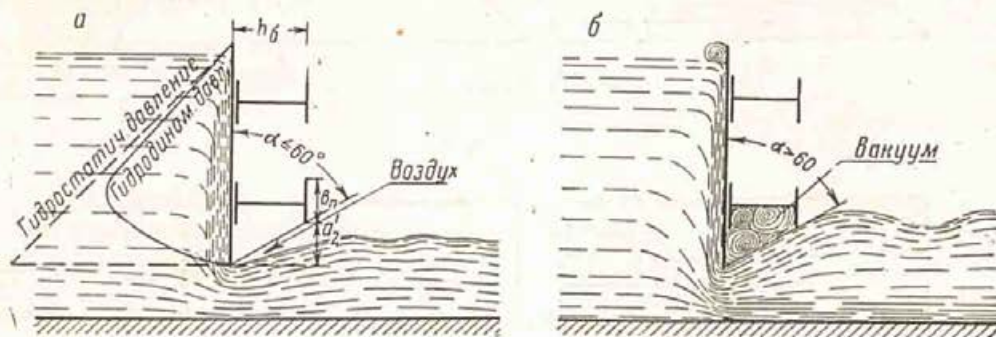
Назначая расстояние между ригелями, необходимо учитывать способ перевозки конструкции затвора на постройку (плоскими или пространственными блоками). При перевозке конструкции пространственными блоками (что очень упрощает и ускоряет монтажные работы), затвор по высоте разбивают на 3 или 2 отправочные марки. В первом случае размер  $a + b_n$  (фиг. 55, а), а во втором случае размер  $a + a_2 + \frac{b_n}{2}$  (фиг. 55, б) должен укладываться в пределах железнодорожного габарита. На фигуре 55  $b_n$ —ширина пояса ригеля,  $a_2$ —расстояние от оси нижнего ригеля до нижней кромки затвора,  $a$ —расстояние между осями ригелей.

Расстояние  $a_2$  от нижней точки щита до оси нижнего ригеля следует назначать таким, чтобы при приподнятом положении щита вытекающая изпод него вода не была бы в нижний ригель и не создавала бы под ним



Фиг. 55. Разделение щита на пространственные отправочные марки:  
 а—три; б—две.

вакуум (фиг. 56). Вакуум увеличивает подъемное усилие. Понижение давления в местах вакуума по сравнению с нормальным давлением воздуха может достигать величины  $0,6 \div 0,8$  кг/см<sup>2</sup>. Особенно неблагоприятно неустановившееся протекание воды с прилипанием и отрывом струи от ригеля. В этом случае возникает значительная и резко меняющаяся динамическая нагрузка, создающая вибрацию затвора. Для устранения вакуума инж. Б. М. Шур в статье «Выбор типа плоского затвора в различных случаях обтекания его водой» рекомендует назначать угол между вертикалью и линией, проходящей через нижние точки щита с напорной и безнапорной стороны, не более  $60^\circ$  (фиг. 56). При соблюдении этого требования расстояние  $a_2'$  по вертикали от низа щита до низа безнапорного



Фиг. 56. Расположение нижнего ригеля:  
а—обеспечивающее безвакуумное истечение воды; б—истечение воды с вакуумом.

пояса нижнего ригеля (фиг. 56, а) должно быть не менее  $0,577h$  (где  $0,577 = \text{tg } 30^\circ$ ), а расстояние  $a_2$  не менее  $0,577h + 0,5b_n$  (где  $b_n$  — ширина пояса ригеля, а  $h$  — высота ригеля). Существует рекомендация назначать величину  $a_2$  не менее  $(0,12 \div 0,18)H$ .

Для уменьшения опасности образования вакуума под сплошным нижним ригелем в его стенке устраивают овальные отверстия, вытянутые вдоль оси ригеля. Высоту этих отверстий назначают около  $\left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{8}\right)h$ . При сквозных ригелях расстояние  $a_2$  может быть значительно меньшим, чем при сплошных, но не менее 40 см.

При назначении расстояния  $a_2$  необходимо учитывать удобство размещения ходовых колес или колесных тележек.

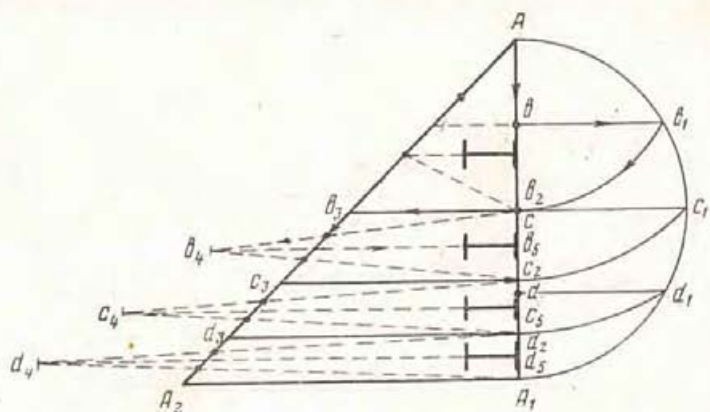
Принимая расстояния  $a$ ,  $a_1$  и  $a_2$  в клепаных затворах, необходимо также считаться с шириной листов обшивки.

Положение равномерно загруженных ригелей по высоте поверхностного многоригельного затвора можно определить графическим путем (фиг. 57). На высоте  $AA_1$  треугольника  $AA_1A_2$ , представляющего эпюру давления воды, строят, как на диаметре, полуокружность. Затем делят диаметр  $AA_1$  на  $n$  равных частей, в соответствии с числом ригелей, и получают отрезки  $Ab = bc = cd = dA_1$ .

Из точек  $b$ ,  $c$  и  $d$  восстанавливают перпендикуляры к диаметру  $AA_1$  до пересечения их с дугой полуокружности. Далее из точки  $A$  радиусами  $Ab_1$ ,  $Ac_1$  и  $Ad_1$  описывают дуги  $b_1b_2$ ,  $c_1c_2$  и  $d_1d_2$  до пересечения с линией  $AA_1$ . Перпендикуляры  $b_2b_3$ ,  $c_2c_3$  и  $d_2d_3$  разделят площадь треугольной эпюры давления воды на равновеликие площадки ( $n=4$ ).

Для отыскания центров тяжести каждой площадки делят наклонную сторону каждой трапеции на три равные части. Через полученные таким образом точки и противоположащие вершины трапеции проводят прямые до пересечения их в точках  $b_4$ ,  $c_4$  и  $d_4$ . Перпендикуляры к  $AA_1$ , проведенные через точки  $b_4$ ,  $c_4$  и  $d_4$ , определяют положение центра тяжести каждой трапеции по высоте затвора, а следовательно, и положение ригелей.

Скорее и проще можно определить положение равнонагруженных ригелей по высоте затвора, пользуясь таблицами 23 и 24.



Фиг. 57. Графическое определение положения равнонагруженных ригелей в поверхностном многоригельном затворе.

Таблица 23

Расстояния от вершины прямоугольного равнобедренного треугольника до центра тяжести равновеликих площадок в долях от  $H$  (фиг. 58)

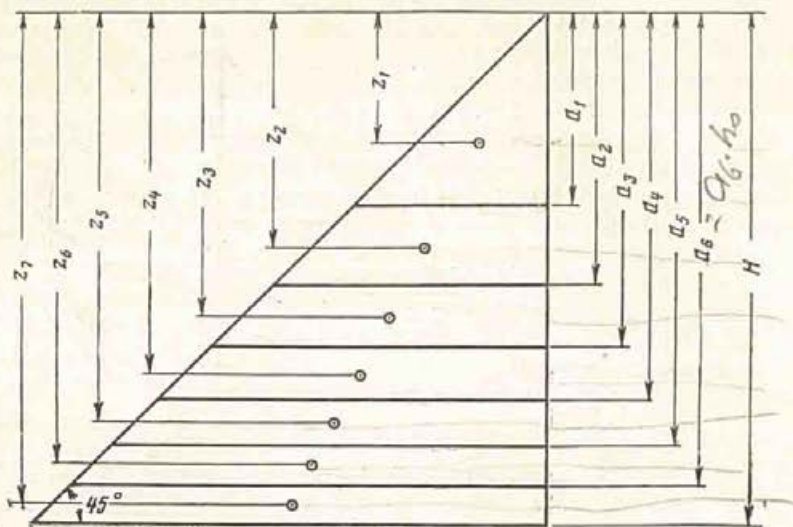
Расстояния до центра тяжести площадок	Число равновеликих площадок						
	2	3	4	5	6	7	8
$z_1$	0,471	0,384	0,333	0,298	0,272	0,252	0,235
$z_2$	0,862	0,756	0,610	0,543	0,498	0,460	0,431
$z_3$	—	0,910	0,790	0,705	0,644	0,596	0,558
$z_4$	—	—	0,935	0,836	0,763	0,706	0,661
$z_5$	—	—	—	0,948	0,865	0,802	0,749
$z_6$	—	—	—	—	0,957	0,886	0,829
$z_7$	—	—	—	—	—	0,963	0,901
$z_8$	—	—	—	—	—	—	0,968

Таблица 24

Расстояния от вершины прямоугольного равнобедренного треугольника до основания равновеликих площадок в долях от  $H$  (фиг. 58)

Расстояния до основания площадок	Число равновеликих площадок						
	2	3	4	5	6	7	8
$a_1$	0,797	0,577	0,500	0,447	0,408	0,378	0,353
$a_2$	—	0,816	0,707	0,632	0,577	0,534	0,500
$a_3$	—	—	0,866	0,775	0,707	0,654	0,612
$a_4$	—	—	—	0,894	0,816	0,756	0,707
$a_5$	—	—	—	—	0,913	0,845	0,790
$a_6$	—	—	—	—	—	0,926	0,866
$a_7$	—	—	—	—	—	—	0,935
$a_8$	—	—	—	—	—	—	—

В этих таблицах приведены расстояния  $z_1, z_2, z_3, \dots$  от вершины равнобедренного прямоугольного треугольника до центра тяжести равновеликих



Фиг. 58. К определению положения ригелей по таблицам 23 и 24.

площадок, при числе последних от 2 до 8, а также расстояния  $a_1, a_2, a_3$  от вершины треугольника до основания равновеликих площадок (фиг. 58). Таблицы 23 и 24 составлены инженером С. В. Зелепугиным.

## 2. РИГЕЛИ ИЗ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Применение прокатных профилей в качестве ригелей сильно упрощает, ускоряет и удешевляет изготовление плоских затворов. Область применения прокатных профилей ограничивается их высотой, размером допускаемых прогибов и величиной допускаемых напряжений. Между наибольшим пролетом  $l$ , перекрываемым балкой, ее высотой  $h_0$ , допускаемым прогибом  $[f : l]$  и допускаемым напряжением  $[\sigma]$  существует известная зависимость. При нагрузке, равномерно распределенной по пролету, эта зависимость выражается формулой:

$$l \leq \frac{24}{5} \frac{Eh_0}{[\sigma]} \left[ \frac{f}{l} \right]. \quad (1)$$

Величина наибольшего пролета, перекрываемого балкой, возрастает с увеличением высоты балки и величины допускаемого прогиба и убывает с увеличением допускаемых напряжений (при полном их использовании). В таблице 25 приведены значения наибольших пролетов, напоров и отверстий, которые возможно перекрыть при ригелях из двутавровых балок № 60а и швеллеров № 40а (наибольших прокатываемых на наших заводах) и из широкополочных балочных двутавров № 100 (прокат которых предусмотрен ГОСТ 6183—52).

Ширина отверстия, перекрываемого затвором из двутавровых балок № 60а, колеблется примерно от 5 м при допускаемом прогибе  $[f : l] = 1 : 750$  до 10 м при  $[f : l] = 1 : 500$ . Величина напора при двух ригелях колеблется соответственно от 7,5 до 3,25 м. При этом площадь  $F$  перекрываемого отверстия при заданной величине допускаемого напряжения не зависит от величины допускаемого прогиба (см. табл. 25); так при  $[\sigma] = 1 \text{ 200 кг/см}^2$   $F = 32,8 \text{ м}^2$ ; при  $[\sigma] = 1 \text{ 400 кг/см}^2$   $F = 35,5 \text{ м}^2$  и при  $[\sigma] = 1 \text{ 600 кг/см}^2$   $F = 38 \text{ м}^2$ .

Прокат широкополочных двутавров высотой до 100 см позволит очень сильно увеличить область рационального применения прокатных балок в качестве ригелей плоских затворов. Внизу таблицы 25 указана перекрываю-

Наибольшие поверхностные отверстия, перекрываемые плоскими затворами с ригелями из прокатных балок (без учета работы обшивки и без конструктивной добавки на устройство опорных узлов)

Тип балок	Показатели	Измерители	При допускаемых прогибах					
			[f:l]=1:750			[f:l]=1:500		
			и при допускаемых напряжениях (кг/см <sup>2</sup> )					
			1 600	1 400	1 200	1 600	1 400	1 200
Двутавр № 60а $W_x=2800\text{ см}^3$	Наибольший пролет .	м	5,05	5,75	6,7	7,6	8,65	10,1
	Наибольший напор при числе ригелей							
	2 . . . . .	»	7,5	6,15	4,9	5,0	4,1	3,25
	4 . . . . .	»	10,6	8,7	6,9	7,1	5,8	4,6
	6 . . . . .	»	13,0	10,65	8,5	8,7	7,1	5,6
	Площадь отверстия, перекрываемого двухригельным за- твором . . . . .	м <sup>2</sup>	38,0	35,5	32,8	38,0	35,5	32,8
Швеллер № 40а $W_x=879\text{ см}^3$	Наибольший пролет .	м	3,35	3,85	4,50	5,05	5,75	6,70
	Наибольший напор при числе ригелей							
	2 . . . . .	»	6,3	5,2	4,05	4,2	3,45	2,75
	4 . . . . .	»	8,95	7,4	5,75	5,95	4,9	3,9
	6 . . . . .	»	10,95	9,0	7,0	7,3	6,0	4,8
	Площадь отверстия, перекрываемого двухригельным за- твором . . . . .	м <sup>2</sup>	21,1	20,0	18,2	21,2	19,8	18,4
Двутавр широкопо- лочный ба- лочный № 100 $W_x=8860$ и $W_x=20440\text{ см}^3$	Наибольший пролет .	м	8,4	9,6	11,2	12,6	14,4	16,8
	Наибольший напор при числе ригелей							
	2 . . . . .	»	8,0	6,55	5,2	5,35	4,40	3,45
			$\frac{12,15}{11,3}$	$\frac{10,0}{9,25}$	$\frac{8,0}{8,27}$	$\frac{8,1}{7,5}$	$\frac{6,65}{6,2}$	$\frac{5,3}{4,95}$
	4 . . . . .	»	$\frac{17,15}{13,8}$	$\frac{14,1}{11,3}$	$\frac{11,3}{10,20}$	$\frac{11,45}{9,25}$	$\frac{9,40}{7,6}$	$\frac{7,25}{6,05}$
		6 . . . . .	$\frac{21,0}{17,3}$	$\frac{17,3}{13,85}$	$\frac{13,85}{14,05}$	$\frac{14,05}{11,5}$	$\frac{11,5}{9,1}$	$\frac{9,1}{7,25}$
	Площадь отверстия, перекрываемого двухригельным за- твором . . . . .	м <sup>2</sup>	$\frac{67,2}{102,0}$	$\frac{63,0}{96,0}$	$\frac{58,3}{89,6}$	$\frac{67,2}{102,0}$	$\frac{63,0}{96,0}$	$\frac{58,3}{89,0}$

щая способность двух типов балочных широкополочных двутавров высотой 100 см с наиболее тонкими и наиболее толстыми полками и стенкой. Из таблицы 25 видим, что применение указанных профилей нового сортамента позволит довести пролет затворов с ригелями из прокатных балок до 8,4÷16,8 м при высоте напора соответственно от 3,45 до 12,15 м. Площадь перекрываемого поверхностного отверстия при этом достигает 100 м<sup>2</sup> (при двух ригелях).

Увеличение числа ригелей не позволяет увеличить ширину перекрываемого отверстия, а приводит к увеличению его высоты. При этом высота возрастает пропорционально квадратному корню из соотношения числа ригелей; например, отношение высоты напора при затворах с четырьмя и с двумя ригелями  $H_4: H_2 = \sqrt{4:2} = 1,41$ , а с шестью и двумя  $H_6: H_2 = \sqrt{6:2} = 1,73$ .

При постоянной величине допускаемого прогиба с увеличением допускаемых напряжений ширина отверстия, перекрываемого ригелями из прокатных балок, уменьшается, а высота отверстия—возрастает; так же несколько возрастает и площадь перекрываемого отверстия.



В случаях применения для ригелей прокатных балок из стали НЛ2, перекрываемые пролеты уменьшатся по сравнению с ригелями из стали Ст. 3 до величины

$$\frac{[\sigma_{\text{Ст. 3}}]}{[\sigma_{\text{НЛ2}}]} l = \frac{1600}{2250} l \approx 0,71 l,$$

т. е. на 29%. Наибольший напор и величина перекрываемого отверстия, наоборот, возрастут. Так, например, в случае применения ригелей из двутавров № 60а обычного профиля из стали НЛ2, перекрываемый пролет уменьшится с 5,05 до 3,6 м, а напор возрастет с 7,5 до 12,5 м (при двухригельном затворе). Площадь перекрываемого отверстия возрастет с 38 до 45 м<sup>2</sup>, т. е. на 18,5% (при увеличении допускаемых напряжений на 40,5%).

В случае применения наиболее мощного широкополочного двутавра № 100Б из стали НЛ2, величина расчетного пролета составит около 6 м, высота напора при двухригельном поверхностном затворе будет 21 м, а площадь отверстия—121 м<sup>2</sup>. Необходимо отметить, что полученная высота двухригельного затвора—21 м совершенно неудобна по конструктивным соображениям.

При решении вопроса о замене стали марки Ст. 3 сталью НЛ2 с экономической стороны следует учитывать, что сталь НЛ2 на 48% дороже стали Ст.3 и что изготовление конструкций из стали НЛ2 также стоит несколько дороже, чем из стали Ст. 3.

Следует отметить, что величина допускаемого прогиба для постоянно действующих затворов, установленная нашими нормами— $[f : l] = 1 : 750$ , для затворов из прокатных и сварных балок при стальной обшивке представляется заниженной. По мнению автора, допускаемый прогиб в этом случае возможно увеличить до  $[f : l] = 1 : 600$  и даже до  $1 : 500$ . Это увеличило бы на  $1/5 \div 1/2$  пролеты, перекрываемые прокатными балками, без ухудшения эксплуатационных качеств таких затворов.

Учет работы обшивки совместно с ригелями позволит несколько увеличить размеры перекрываемых отверстий. В многоригельных затворах особенно целесообразны включение стальной обшивки в работу ригелей и расчет затвора как пространственной системы.

Минимальное значение высоты однопролетной балки постоянного сечения, нагруженной сплошной равномерной нагрузкой, в зависимости от величины допускаемых прогибов  $[f : l]$  и напряжений  $[\sigma]$  может быть вычислено по формуле:

$$h_0 = \frac{5l[\sigma]}{24E} \left[ \frac{l}{f} \right] \approx \frac{l[\sigma]}{10^7} \left[ \frac{l}{f} \right]. \quad (2)$$

Значения минимальной высоты балки в долях от расчетного пролета, вычисленные по формуле (2), приведены в таблице 26.

В таблице 26 значения относительной высоты балок в правильных дробях даны приближенно.

Относительный прогиб однопролетной балки переменного сечения с моментами инерции  $I$  в месте наибольшего изгибающего момента и  $I_0$  на опоре при сплошной равномерной нагрузке может быть приближенно подсчитан по формуле:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{24} \frac{l\sigma}{h_0 E} \left( 1 + \frac{3}{25} \cdot \frac{l - I_0}{I_0} \right). \quad (3)$$

Из приведенной формулы, зная величину допускаемого прогиба  $[f : l]$  и допускаемого напряжения  $[\sigma]$ , можем определить наименьшую допустимую

Минимальная относительная высота  $[h_G : l]$  однопролетных свободно опертых балок, нагруженных сплошной равномерной нагрузкой при различных допускаемых напряжениях и прогибах

Допускаемое напряжение (в кг/см <sup>2</sup> )	Минимальная относительная высота балок $[h_G : l]$ при допускаемом прогибе $[f : l]$				
	1 : 750	1 : 600	1 : 500	1 : 400	1 : 250
1 200	0,0892 $\frac{1}{11}$	0,0714 $\frac{1}{14}$	0,0595 $\frac{1}{16,8}$	0,0476 $\frac{1}{21}$	0,0297 $\frac{1}{33,6}$
1 400	0,104 $\frac{1}{9,6}$	0,0833 $\frac{1}{12}$	0,0694 $\frac{1}{14,4}$	0,0555 $\frac{1}{18}$	0,0347 $\frac{1}{28,8}$
1 600	0,119 $\frac{1}{8,4}$	0,0952 $\frac{1}{10,5}$	0,0793 $\frac{1}{12,6}$	0,0634 $\frac{1}{15,7}$	0,0396 $\frac{1}{25,2}$
2 250	0,167 $\frac{1}{6}$	0,134 $\frac{1}{7,5}$	0,111 $\frac{1}{9}$	0,089 $\frac{1}{11}$	0,056 $\frac{1}{18}$

относительную высоту балки:

$$\frac{h_G}{l} = \frac{5 [\sigma]}{24 E} \left( 1 + \frac{3}{25} \cdot \frac{I - I_0}{I_0} \right) \left[ \frac{l}{f} \right]. \quad (4)$$

Обозначив

$$k = \frac{5}{24} \left( 1 + \frac{3}{25} \cdot \frac{I - I_0}{I_0} \right),$$

получим:

$$\frac{h_G}{l} = k \frac{[\sigma]}{E} \left[ \frac{l}{f} \right]; \quad (4a)$$

при

$$I : I_0 = 1 : 2 \quad k = 0,233$$

$$I : I_0 = 1 : 3 \quad k = 0,258$$

$$I : I_0 = 1 : 4 \quad k = 0,288$$

Относительный прогиб однопролетной балки постоянной высоты с несимметричным сечением при равномерно распределенной нагрузке может быть определен по формуле:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{24} \cdot \frac{l \sigma}{2 E a}, \quad (5)$$

где  $a$  — расстояние от центра тяжести расчетного сечения до наиболее удаленных волокон пояса.

В затворах, рассчитываемых с учетом работы обшивки, расстояние  $a$  обычно колеблется от 0,75 до 0,65 полной высоты балки-ригеля.

Исходя из указанных соотношений и зная величину допускаемого прогиба, можно определить требуемую высоту ригеля.

### 3. РИГЕЛИ ИЗ СОСТАВНЫХ БАЛОК

В тех случаях, когда прокатные балки оказываются недостаточными для перекрытия требуемых отверстий, применяют ригели из составных балок. Преимущественно следует применять сварные балки, как более легкие, более жесткие и менее трудоемкие, чем клепаные. В целях повышения вибрационной

выносливости сварных балок следует избегать: а) валиковых швов, пересекающих поперек растянутые пояса; б) мест с резким изменением сечений; в) соединений внахлестку и с усилительными накладками и т. п. Пояс сварных балок следует по возможности выполнять из одного листа. Изменение сечения пояса следует делать, изменяя ширину пояса, а не толщину (чтобы не осложнять крепления обшивки к поясу). Пояса лучше осуществлять из листов относительно более широких, чем из листов более толстых.

Минимальную высоту составной балки постоянного сечения определяют, исходя из размера допускаемого прогиба по таблице 26 или по формулам (2) и (4).

Наибольшую целесообразную высоту составной балки находят из условия наименьшего расхода стали и, следовательно, наименьшего веса. Для подвижной части затвора последнее требование имеет особо важное значение.

Для определения наиболее выгодной высоты балки предложено много формул.

Недостатком этих формул является то, что в них не учитывается влияние изменения относительной толщины стенки ( $\delta_{ст} : h_{ст}$ ) с увеличением общей высоты балок. Изменения эти весьма велики (от 1:80 до 1:250).

Определение наибольшей целесообразной высоты составной балки, исходя из требования наименьшего веса стали, с учетом переменности относительной толщины стенки при изменении ее высоты может быть сделано следующим образом.

Требуемую площадь одного пояса балки возможно определить по приближенной формуле:

$$F_n = \frac{k_n M}{h_6 [\sigma]} = \frac{k_n W_{TP}}{h_6},$$

где  $M$  — максимальный изгибающий момент в балке;

$W_{TP}$  — требуемый момент сопротивления поперечного сечения балки;

$h_6$  — высота балки;

$k_n$  — поправочный коэффициент.

Коэффициент  $k_n$  учитывает следующее: а) часть изгибающего момента (10 — 15%) воспринимается стенкой; б) в клепаной балке площадь пояса нетто должна быть увеличена на 15 — 20% вследствие наличия ослаблений; в) высота балки несколько больше, чем расстояние между центрами тяжести поясов; г) по высоте пояса напряжения распределены неравномерно, особенно в клепаных балках; д) не всегда удается подобрать сечение балки с полным использованием допускаемого напряжения и др.

Вес единицы длины двух поясов при объемном весе стали  $\gamma$ :

$$g_n = \frac{2k_n W_{TP}}{h_6} \gamma.$$

Вес единицы длины стенки приближенно:

$$g_{ст} = k_{ст} \delta_{ст} h_6 \gamma = k_{ст} \frac{h_6^2}{n} \gamma,$$

где  $k_{ст}$  учитывает: а) увеличение веса стенки вследствие постановки ребер жесткости (5 — 15%); б)  $h_{ст} < h_6$  и ряд других факторов;  $n = h_{ст} : \delta_{ст}$  и колеблется от 80 до 250.

Полный вес единицы длины балки:

$$g_6 = \frac{2k_n W_{TP}}{h_6} \gamma + k_{ст} \frac{h_6^2}{n} \gamma.$$

Чтобы определить, какому значению  $h_6$  соответствует минимальный вес балки, берем первую производную от  $g_6$  по  $h_6$  и приравниваем ее нулю:

$$\frac{dg_6}{dh_6} = -\frac{2k_n W_{TP}}{h_6^2} \gamma + \frac{2k_{ст} h_6}{n} \gamma = 0,$$

откуда

$$h_G = \sqrt[3]{\frac{k_n}{k_{ст}} n W_{тр}}$$

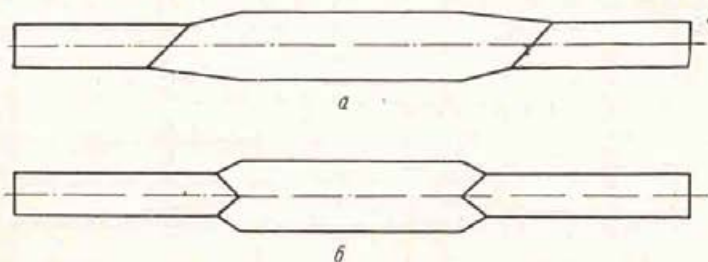
или, обозначив  $k_n : k_{ст} = k$ , получим

$$h_G = \sqrt[3]{k n W_{тр}} \text{ см.} \quad (6)$$

Для балок с поперечными, но без продольных ребер жесткости следует принимать  $n$  от 100 до 160, для балок с продольными ребрами от 200 до 250, а для балок без ребер жесткости  $n \leq 80$ .

Величину  $k$  для сварных балок можно принимать от 0,8 до 1,1, а для клепаных — от 1 до 1,3.

В целях уменьшения размеров поперечных связей и длин быков высоту балок, определенную по формуле (6), можно уменьшить на 10—20%, но не менее высоты, установленной по допускаемому прогибу [формулы (2) или (4)]. Указанное уменьшение высоты балки мало сказывается на ее



Фиг. 59. Изменение ширины пояса сварной балки:  
а—косым швом; б—клинообразным швом.

весе. Что касается общей стоимости составных балок, то небольшое уменьшение высоты их (до 10%) против определенной по формуле (6) представляется даже полезным, вследствие того, что толстолистовая сталь, идущая на стенку, стоит дороже универсальной стали, идущей на пояса.

Для снижения веса и стоимости составных балок следует около 0,6 всего поперечного сечения балки размещать в поясах, а ширину и высоту балки по пролету менять. Уменьшение высоты балки к опоре, кроме того, позволяет уменьшить ширину ниши. Изменение высоты балок следует производить в местах расположения поперечных связей-стоек. Высоту балки на опоре следует назначать в пределах (0,4 ÷ 0,6) полной высоты балки. Ширину поясов балки к опорам следует уменьшать или скачкообразно (фиг. 59) или постепенно. В последнем случае рекомендуется производить раскрой листов по фигуре 60. В клепаных балках площадь поясов меняют путем обрыва наружных поясных листов.

Толщину листов стенки в сварных балках также можно менять, назначая более толстые листы у опоры и тонкие — в средней части пролета.

Подбор сечения сварной балки удобно вести в следующем порядке. Требуемый момент инерции балки (фиг. 61):

$$I_{тр} = \frac{M}{[\sigma]} \frac{h_G}{2} = I_{ст} + I_n, \quad (7)$$

где  $I_{ст}$  и  $I_n$  — моменты инерции стенки и поясов (брутто) относительно нейтральной оси.

Пользуясь обозначениями на фигуре 61, находят:

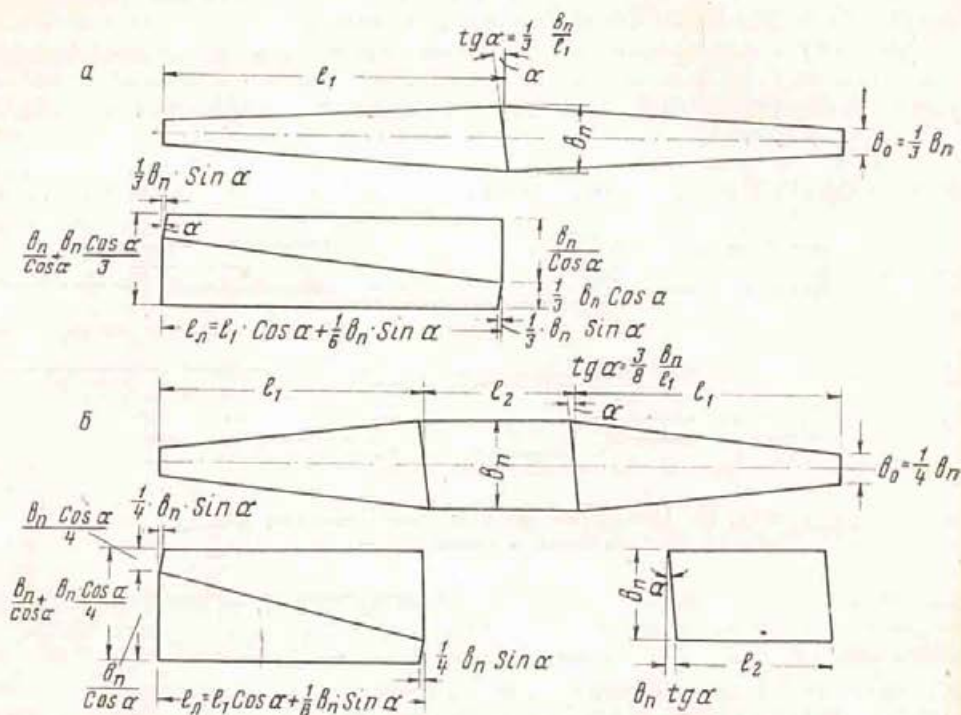
$$I_{тр} = \frac{\delta_{ст} h_{ст}^3}{12} + \frac{b_n \delta_n h_n^2}{2}. \quad (8)$$

Задавшись высотой стенки  $h_{ст}$  менее высоты балки  $h_0$  на 40—80 мм и назначив толщину стенки по формуле

$$\delta_{ст} = 7 + \frac{3h_0}{1000} \text{ мм} \quad (9)$$

с учетом размеров, предусмотренных в ГОСТ, находят требуемую площадь одного пояса:

$$F_{п} = b_{п} \delta_{п} = \left( I_{тр} - \frac{\delta_{ст} h_{ст}^3}{12} \right) \frac{2}{h_{п}^2} \quad (10)$$



Фиг. 60. Раскрой листов для получения поясов постепенно меняющейся ширины: а—на всем пролете балки; б—на крайних частях.

Ширину  $b_{п}$  и толщину  $\delta_{п}$  пояса уточняют по ГОСТ 82—51 на универсальную сталь. При этом следует в сечение напорного пояса включить часть обшивки шириной  $b_0 = b_{п} + 30\delta_0$  (где  $\delta_0$ —толщина обшивки). Ширина пояса колеблется в пределах (0,2—0,4) высоты балки и должна быть не более  $30\delta_{п}$ . Эти ограничения диктуются условиями обеспечения местной устойчивости сжатых поясов балок и обеспечением равномерного распределения нормальных напряжений по ширине пояса. Толщина пояса колеблется от 10 до 50 мм. При большей толщине листов поясные сварные швы получают большие усадочные напряжения, а сталь толстых листов под влиянием частичного нагрева переходит в хрупкое состояние. Кроме того, листы большой толщины при прокате оказываются менее обжатыми и имеют несколько пониженную прочность.

Подбор сечения клепаной балки удобно вести в следующем порядке.

Требуемый момент инерции балки (фиг. 62) состоит из моментов инерции стенки, четырех уголков и поясных листов:

$$I_{тр} = 1,2 \frac{M}{[\sigma]} \frac{h_0}{2} = I_{ст} + I_{уг} + I_{л}; \quad (11)$$

$$I_{тр} = \frac{\delta_{ст} h_{ст}^3}{12} + 4 \left[ I'_{уг} + F'_{уг} \left( \frac{h_{уг}}{2} \right)^2 \right] + 2b_{п} \Sigma \delta_{л} \left( \frac{h_{л}}{2} \right)^2, \quad (12)$$

где  $F'_{уг}$  и  $I'_{уг}$  — площадь и момент инерции относительно своей главной оси одного поясного уголка;

$b_n$  и  $\Sigma\delta_l$  — ширина и суммарная толщина поясных листов в одном поясе;

$h_{уг}$  — расстояние между центрами тяжести поясных уголков;

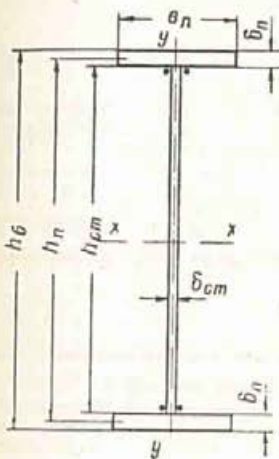
$h_l$  — расстояние между центрами тяжести поясных листов.

Высоту стенки назначают кратной 5 см, предварительно задавшись  $\Sigma\delta_l$ :

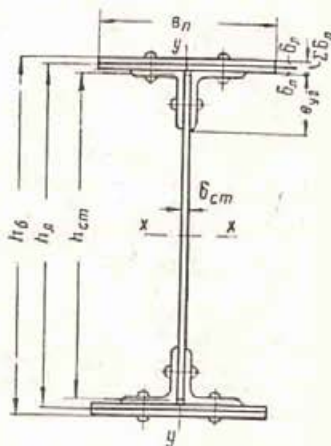
$$h_{ст} = h_b - 2\Sigma\delta_l - 2 \times 0,5 \text{ см,}$$

где 0,5 см — допуск между обухами поясных уголков и кромкой листа стенки (на неточность среза листа).

Толщину стенки находят по формуле (9). Ширину полок уголков  $b_{уг}$  назначают около  $0,1 h_b$ , а толщину  $\delta_{уг} \geq 0,1 b_{уг}$ . В балках высотой  $h_b > 2,3$  м ставят наибольшие по сортаменту уголки. Для обеспечения надежной связи



Фиг. 61. Поперечное сечение подбираемой сварной балки.



Фиг. 62. Поперечное сечение подбираемой клепаной балки.

между стенкой и поясными листами следует площадь двух уголков назначать не менее 0,3 от площади всего пояса, что примерно соответствует отношению  $I_{уг} : I_l = 1 : 3$ .

Назначив размеры поясных уголков, вычисляют их момент инерции относительно нейтральной оси балки —  $I_{уг}$  и находят по формулам (12) и (13) требуемую площадь поясных листов:

$$b_n \Sigma\delta_l = \frac{2(I_{тр} - I_{ст} - I_{уг})}{h_n^2} \quad (13)$$

В поясе ставят от одного до трех листов. Толщина отдельного листа от 10 до 22 мм (чтобы обеспечить возможность продавливания отверстий). Полная толщина пояса с учетом стыковых накладок не должна превышать 5 или 7 диаметров заклепок, в зависимости от типа заклепок и способа клепки.

Ширину поясных листов назначают от 0,25 до 0,4 высоты балки с тем, чтобы расстояние от крайнего ряда поясных заклепок до кромки одиночного листа не превышало 15 его толщины, а при пакете поясных листов, не связанных между собой заклепками вне уголков, — 8 толщин одного листа. Выступ поясных листов за кромку уголков и угольковых стыковых накладок должен быть не менее 10 мм.

Подобранные сечения балок должны быть проверены на прочность в месте максимального момента:

$$\sigma = \frac{M}{W_{II}} \leq [\sigma] \quad (14)$$

и в месте максимальной перерезывающей силы:

$$\tau = \frac{QS}{I_{0,ст}} \leq [\tau]. \quad (15)$$

В клепаных двутавровых балках разрешается принимать  $W_{II} = 0,85 W_{бр.}$

Если расстояния  $l_1$  между закреплениями сжатого пояса балки, препятствующими потере ею общей устойчивости, превышают десятикратную ширину пояса, то необходимо проверить общую устойчивость такой балки. Проверку делают по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W_{бр} \varphi_{\sigma}} \leq [\sigma]. \quad (16)$$

Значения коэффициентов  $\varphi_{\sigma}$  для прокатных и составных балок из сталей различных марок приведены в таблицах 28 — 31.

В случаях, когда нагрузка приложена по нижнему поясу балки (например, от тельфера), расчет с коэффициентами таблиц 28 — 31 дает значительно преувеличенный запас.

В СН и П 1954 г. установлено, что проверка общей устойчивости балок двутаврового сечения может не производиться, если отношение свободной длины сжатого пояса их к ширине пояса не превышает величин, указанных в таблице 27.

Таблица 27

Наибольшие отношения свободной длины  $l_1$  сжатого пояса к его ширине  $b_{II}$ , при которых не требуется проверка общей устойчивости балок двутаврового сечения

Марка стали балок	Наибольшие отношения $l_1 : b_{II}$ при нагрузке	
	по верхнему поясу	по нижнему поясу
Ст. 0, Ст. 2, Ст. 3 и Ст. 4 . . . . .	16	25
Ст. 5 и НЛ1 . . . . .	14	22
НЛ2 . . . . .	12	18

Таблица 28

Коэффициенты  $\varphi_{\sigma}$  уменьшения допускаемых напряжений при поперечном изгибе прокатных двутавровых балок из стали марок Ст. 0, Ст. 2 и Ст. 3

$l_1$ (в м)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0 и более
$\varphi_{\sigma}$	0,98	0,94	0,89	0,82	0,71	0,61	0,54	0,48	0,44

Таблица 29

Коэффициенты  $\varphi_{\sigma}$  уменьшения допускаемых напряжений при поперечном изгибе прокатных двутавровых балок из стали марок НЛ1 и НЛ2

$l_1$ (в м)	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0 и более
$\varphi_{\sigma}$	0,97	0,90	0,81	0,72	0,50	0,43	0,37	0,33	0,30

Коэффициенты  $\varphi_{\sigma}$  уменьшения допускаемых напряжений, при поперечном изгибе сварных и клепаных двутавровых балок из стали марок Ст. 0, Ст. 2 и Ст. 3

$l_1 : b_n$	$h_{\sigma} : \delta_n$								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100 и более
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	0,99	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
20	0,94	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86
25	0,90	0,85	0,77	0,71	0,68	0,66	0,65	0,64	0,62
30	0,86	0,68	0,57	0,52	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44
35	0,79	0,55	0,46	0,41	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33
40	0,69	0,47	0,38	0,33	0,31	0,29	0,28	0,27	0,26

Таблица 31

Коэффициенты  $\varphi_{\sigma}$  уменьшения допускаемых напряжений при поперечном изгибе сварных и клепаных двутавровых балок из стали марок НЛ1 и НЛ2

$l_1 : b_n$	$h_{\sigma} : \delta_n$								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100 и более
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
20	0,91	0,89	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85
25	0,87	0,75	0,67	0,64	0,63	0,61	0,60	0,59	0,59
30	0,72	0,56	0,49	0,46	0,44	0,43	0,42	0,42	0,41
35	0,59	0,45	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,31	0,31
40	0,43	0,37	0,31	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23

В таблицах 27 ÷ 31 приняты следующие обозначения:

$l_1$  — пролет балки или расстояние между закреплениями сжатого пояса;

$b_n$  — ширина пояса балки;

$h_{\sigma}$  — высота балки;

$\delta_n$  — толщина пояса балки (включая полки уголков).

В балках с усиленным сжатым поясом, симметрично развитым относительно стенки, ширину  $b_n$  принимают равной ширине усиленного пояса.

Для балок со сжатым поясом, несимметрично развитым относительно стенки, значения коэффициентов  $\varphi_{\sigma}$  принимают в соответствии с шириной этого пояса по последнему столбцу таблиц 30 и 31, т. е. независимо от величины  $h_{\sigma} : \delta_n$ .

В клепаных балках без горизонтальных листов при

$$\frac{h_{\sigma}}{b_n} > 3 \frac{\delta_{уг}}{\delta_{ст}},$$

где  $b_n$  — ширина пояса;

$h_{\sigma}$  — высота балки;

$\delta_{ст}$  — толщина стенки балки;

$\delta_{уг}$  — толщина полки уголка;

коэффициент  $\varphi_{\sigma}$  в таблицах 30 и 31 умножается на величину

$$\mu = 1,1 - 0,01 \frac{l_1}{b_n}.$$

Расстояния  $z_1$  и  $z_2$  от опоры до места теоретического обрыва поясных листов в клепаных балках или до места изменения сечения поясных листов сварных балок можно определить, приравняв момент внешних сил моменту, допускаемому в балке без оборванного листа или с уменьшенным сечением



поясного листа —  $W'_n[\sigma]$ . Задача может быть решена аналитически или графически.

При равномерно распределенной нагрузке  $q$  имеем уравнение:

$$\frac{qz^2}{2} - \frac{qlz}{2} + W'_n[\sigma] = 0.$$

Откуда

$$z = \frac{l}{2} \pm \sqrt{\frac{l^2}{4} - \frac{2W'_n[\sigma]}{q}}. \quad (17)$$

Место фактического обрыва листа должно быть сдвинуто к опорам на расстояние, необходимое для размещения связей, требуемых для передачи половины усилия, допускаемого в обрываемом листе: число заклепок

$$n_3 = \frac{F'_n[\sigma]}{2[N_3]} \quad (18)$$

или площадь сварки

$$F_{ш} = \frac{F'_n[\sigma]}{2[\tau_{ш}]}. \quad (19)$$

Изменение ширины листа в сварных балках следует начинать за местом теоретического обрыва, ближе к опоре.

В балках с параллельными поясами, несущими равномерно распределенную нагрузку, наиболее выгодное место изменения сечения поясов находится на расстоянии около  $\frac{1}{6}$  пролета от опоры. Это изменение сечения дает 10—12% экономии стали. Второе изменение сечения поясов (ближе к опорам) дает экономию в расходе стали всего 3—4%. Наибольшую экономию стали (до 20%) дает постепенное изменение ширины поясов (фиг. 60). Ширина пояса в уменьшенном сечении должна быть не менее  $\frac{1}{4}$  полной его ширины, не менее 0,1 полной высоты балки и не менее 180 мм.

В местах фактического изменения сечения составных балок необходимо сделать проверку приведенных напряжений на уровне поясных швов:

$$\sigma_{прив} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma], \quad (20)$$

и проверку местной устойчивости стенки:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\varphi_{м.ск}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\varphi_{м.ск}}\right)^2} \leq [\sigma]. \quad (21)$$

В формуле (20):

$$\sigma = \frac{M'}{W'_n} \frac{h'}{h'_0}, \quad \tau = \frac{Q'S'_n}{I'_{ст} \delta_{ст}},$$

где  $M'$  и  $Q'$  — изгибающий момент и поперечная сила в месте фактического обрыва листа (крайнего ряда заклепок) или фактического изменения сечения пояса;

$W'_n$  — момент сопротивления балки уменьшенного сечения (нетто);

$h'_0$  — высота балки уменьшенного сечения;

$h'$  — расстояние между поясными швами (сварными или клепаными);

$S'_n$  — статический момент уменьшенного поперечного сечения пояса относительно нейтральной оси балки (в клепаных балках следует также учесть и часть сечения стенки, лежащую за пределами поясных заклепок);

$I'$  — момент инерции уменьшенного сечения балки брутто;

$\delta_{ст}$  — толщина стенки.

В формуле (21)  $\varphi_{м.сж}$  и  $\varphi_{м.ск}$  — коэффициенты снижения допускаемых напряжений для обеспечения нормативного коэффициента запаса в пластинках, нагруженных сжимающими и сдвигающими силами. Значения их см. Н и ТУ 1—46 Минтяжстроя.

При пользовании формулой (21) должно быть соблюдено требование:

$$\sigma_{прив} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]. \quad (22)$$

В формулах (21) и (22)  $\sigma$  — нормальное напряжение в наиболее сжатой кромке расчетной части стенки по середине длины рассматриваемого участка, вычисленное по сечению балки брутто, без учета потери общей устойчивости (т. е. без учета коэффициента  $\varphi_{\sigma}$ );  $\tau$  — среднее скальвающее напряжение по середине длины рассматриваемого участка, вычисленное по формуле:

$$\tau = \frac{Q}{h_{ст} \delta_{ст}}.$$

Поперечные ребра жесткости должны быть расположены во всех местах примыкания стоек и в местах изменения высоты балки. Если стойки — поперечные связи выполнены в виде диафрагм, то эти же диафрагмы одновременно служат и ребрами жесткости. Размер  $b_p$  выступающей части симметричного поперечного ребра жесткости должен удовлетворять условию:

$$b_p > \frac{h_{ст}}{30} + 40 \text{ мм}. \quad (23)$$

Толщина ребра должна быть не менее  $\frac{1}{15} b_p$ .

Расстояние между поперечными ребрами жесткости должно быть не более двукратной свободной высоты стенки и не более 3 м. Обычно это расстояние получается значительно меньше из условия размещения стоек.

Общая устойчивость балок-ригелей обеспечена наличием стальной обшивки, наложенной на сжатые пояса балок. При деревянной обшивке она должна быть обеспечена постановкой продольной связевой фермы между сжатыми поясами балок.

#### 4. РИГЕЛИ ИЗ ФЕРМ

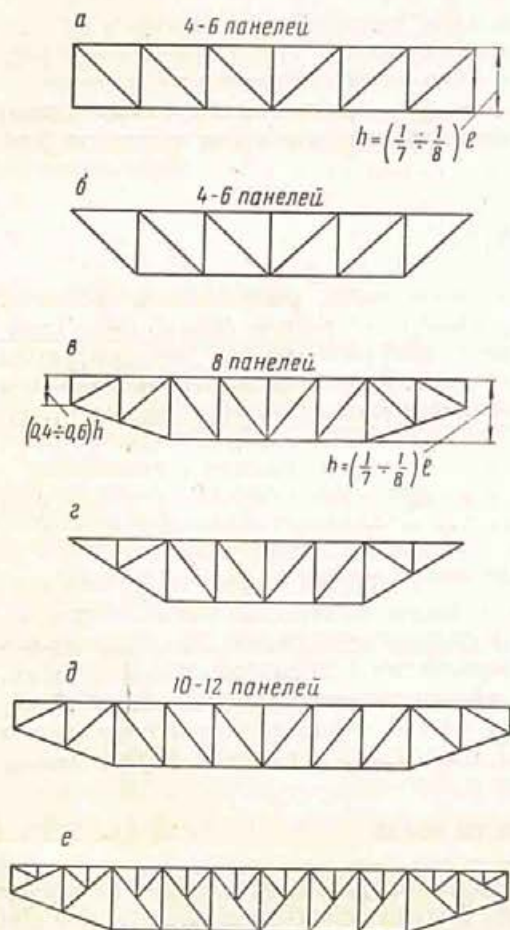
Установить четко границы целесообразного применения ригелей из сплошных балок и перехода к фермам трудно. Однако можно предполагать, что при пролетах около 15—17 м следует переходить к сквозным ригелям как в целях снижения общего веса затвора, так и для улучшения условий истечения воды при подъеме и посадке затвора. При необходимости экономии листовой стали переход на решетчатые ригели может оказаться целесообразным и при меньших пролетах.

Необходимость в применении сквозных ригелей (ферм) создается по соображениям гидравлического порядка, в случаях маневрирования затворами при переливающейся сверху воде, при опускании отдельных секций затворов или заграждений в текущую воду, при низком расположении нижнего ригеля и т. п., а также на реках с большим количеством наносов.

Расчетный пролет  $l$  ферм назначают в соответствии с указаниями § 1 настоящей главы. Высоту  $h$  ферм назначают от  $\frac{1}{6}$  до  $\frac{1}{9}$  пролета; рекомендуется принимать  $h = \left(\frac{1}{7} \div \frac{1}{8}\right) l$ .

Вследствие высоких напряжений, допускаемых в современных стальных конструкциях, особенно из сталей марок НЛ2, фермы ригелей должны быть проверены не только на прочность и устойчивость их элементов, но и на прогиб.

Очертание напорного пояса делают прямолинейным. Ось безнапорного пояса обычно имеет два перелома (фиг. 63) для уменьшения высоты фермы на опоре. Последнее позволяет уменьшить ширину ниши и длину быков, облегчает расположение колесных тележек и несколько уменьшает общий вес фермы. Изменение направления оси безнапорного пояса обычно делают во вторых промежуточных узлах, реже в первых или в третьих. При небольших пролетах можно в опорном узле стыковать оба пояса (фиг. 63, б и г). При средних и больших пролетах для придания большей пространственной жесткости решетчатому «параллелепипеду» и для облегчения конструирования опорно-концевых стоек целесообразно высоту ферм на опоре назначать около  $(0,4 \div 0,6)h$  — их высоты на середине пролета; при этом угол между крайним раскосом и напорным поясом должен находиться в приемлемых пределах (не менее  $25^\circ$ ).



Фиг. 63. Схемы ферм ригелей:

а—малого пролета с параллельными поясами; б—то же, шатрового типа; в—пролета средней величины и с многоугольным очертанием поясов; г—то же, шатрового типа; д—большого пролета с простой решеткой; е—то же, со шпренгельной решеткой.

а стойки (более короткие элементы) работали на сжатие. В этом случае влияние продольного изгиба сказывается в меньшей мере, и общий расход стали на решетку фермы несколько уменьшается.

Угол наклона раскосов к поясу следует назначать в пределах  $30-60^\circ$ . Это требование было причиной изменения направления двух крайних раскосов в схемах ферм на фигуре 63, в—е. Следует отметить, что наличие мощного сжатого раскоса в крайней панели фермы существенно увеличивает ее общую жесткость на случай возможных силовых воздействий, не учитываемых в расчете.

Длину панели сжатого пояса в обычных случаях не следует принимать более 2,5—3 м. Ограничение длины панели диктуется рядом соображений: а) улучшением условий работы напорного пояса на сжатие с продольным

Число панелей в ферме следует назначать четным, что обеспечивает ее симметрию, большую повторяемость элементов ферм и шаблонов для их изготовления. Число панелей по сжатому и растянутому поясам лучше назначать одинаковым. При стойках, включенных в состав поперечных ферм-связей и рассчитанных как верхний пояс последних, это требование является обязательным.

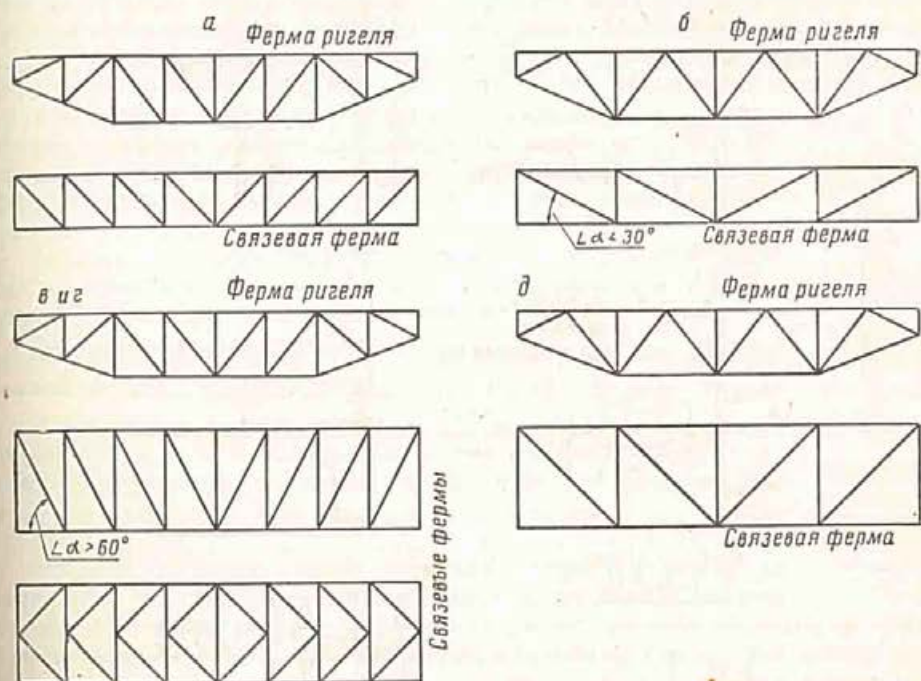
При устройстве продольных связей в плоскостях как сжатого, так и растянутого поясов соблюдение этого указания также обязательно. Оно обеспечивает однообразие элементов обеих связевых ферм. Большая длина панелей растянутых поясов главных ферм при малом расстоянии между ними может дать неприемлемое расположение раскосов связевой фермы.

Решетку главных ферм следует назначать наиболее простого типа (фиг. 63), стремясь к тому, чтобы раскосы (более длинные элементы решетки) работали на растяжение, а стойки (более короткие элементы) работали на сжатие.

Решетку главных ферм следует назначать наиболее простого типа (фиг. 63), стремясь к тому, чтобы раскосы (более длинные элементы решетки) работали на растяжение, а стойки (более короткие элементы) работали на сжатие.

изгибом и на поперечный изгиб (в случае междуузловой нагрузки); б) улучшением работы обшивки (особенно деревянной) и облегчением работы стоек; в) улучшением начертания решетки продольных связевых ферм (фиг. 64). При пролетах свыше 30—35 м может представиться целесообразным значительное увеличение длины основной панели сжатого пояса и применение шпренгельной решетки (чтобы обеспечить приемлемые углы между раскосами и поясами) (фиг. 63, е).

Применение шпренгельной решетки усложняет не только конструирование главных ферм, но и конструирование стоек затвора. В этом случае получается два типа стоек: стойки—поперечные связевые фермы, располагаемые



Фиг. 64. Зависимость начертания решетки продольной связевой фермы от решетки ферм ригелей и расстояния между последними: а и б—при малом расстоянии между ригелями; в и г—при среднем расстоянии; д—при большом расстоянии.

в плоскостях основных стоек главных ферм, и промежуточные стойки, опирающиеся в дополнительных узлах и несущие только давление воды. Разная степень жесткости первых и вторых стоек вносит некоторую неопределенность в работу вспомогательных балок и обшивки.

Нагрузки на узлы ферм ригелей находят в зависимости от нагруженной площади, приходящейся на каждый узел и от глубины погружения этой площади.

В случае равно нагруженных двух ригелей поверхностного затвора, гидростатическая нагрузка на 1 м пролета одной фермы составит:

$$P_1 = \frac{1}{4} H^2 \gamma \text{ т/м}, \quad (24)$$

а нагрузка на один промежуточный узел:

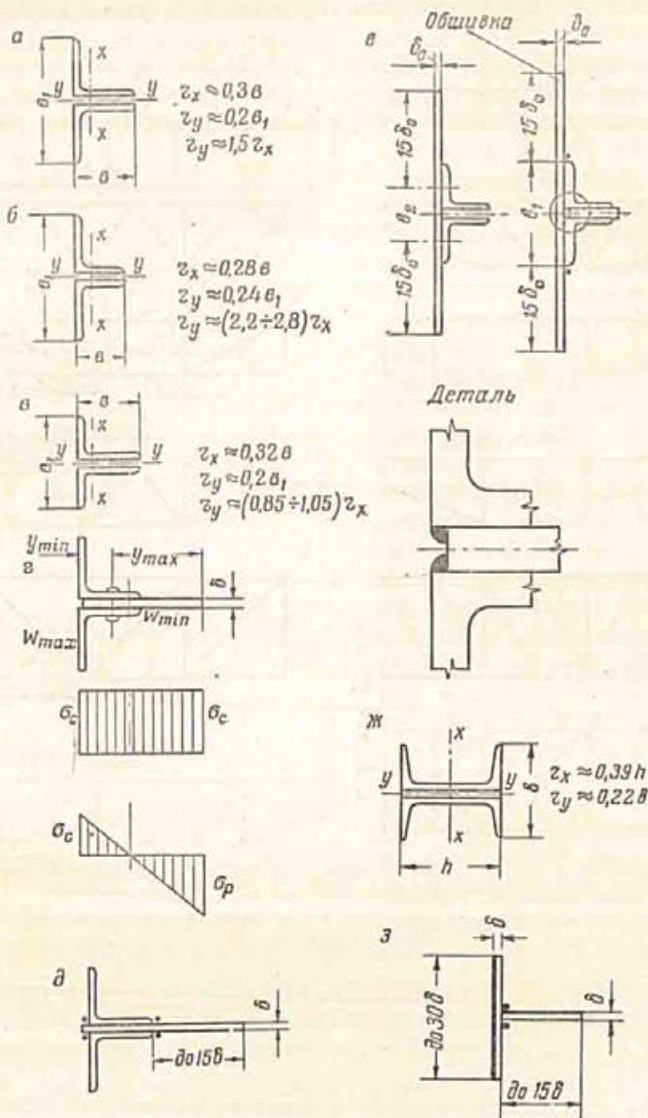
$$P_{уз} = \frac{1}{4} H^2 \gamma \frac{b_n + b_n}{2} \text{ т}, \quad (25)$$

где  $b_n$  и  $b_n$  —длины панелей, примыкающих к рассматриваемому узлу.

Определение усилий в стержнях ферм целесообразно производить графически. Преимущество графического метода расчета перед аналитическим

заключается не только в его простоте и скорости, но и в том, что замыкание диаграммы служит контролем правильности всех найденных усилий.

Сечения поясов главных ферм в подавляющем большинстве случаев представляется целесообразным осуществлять одностенчатыми из двух равнобоких уголков, образующих тавр (фиг. 65, а). Современный сортамент про-



Фиг. 65. Типы одностенчатых сечений поясов ферм:

а — из двух равнобоких уголков; б и в — из двух неравнобоких уголков; г и д — из двух уголков, усиленных прокладкой; е — то же, накладкой; ж — из двух швеллеров; з — тавровое из двух листов.

катных уголков, доходящих до размера  $220 \times 28$  и  $230 \times 24$  мм (площадь одного уголка до  $116 \text{ см}^2$ ), позволяет получать из них пояса очень большой мощности, способные принять усилие до 300—370 т.

Для обеспечения совместной работы уголки должны быть соединены между собой прокладками, размещенными на протяжении панели не реже чем через 40 радиусов инерции в сжатых стержнях и 80 радиусов — в растянутых. По длине сжатого элемента должно быть поставлено не менее двух прокладок. Прокладки (шайбы) приваривают или приклепывают к основным уголкам.

Если сжатый пояс работает и на изгиб, то можно усилить сечение из двух уголков листом, поставленным между ними (фиг. 65, *з* и *д*). Несимметричное развитие сечения в плоскости действия момента в этом случае представляется выгодным: в середине панели максимальные напряжения от изгиба будут растягивающими (т. е. обратными основным), а минимальные—сжимающими. В узлах будет иметь место противоположное соотношение, но там сечение сжатого пояса имеет запас, вследствие отсутствия возможности продольного изгиба и наличия узловых уширений.

Ширину листа, помещаемого между уголками, назначают так, чтобы местная устойчивость его свободной кромки была обеспечена без постановки продольного или поперечных ребер жесткости. Для этого свободную ширину листа следует принимать не более 15 его толщин. Постановка ребер жесткости сильно усложняет изготовление поясов. Продольные ребра («пояски»), кроме того, препятствуют стоку воды и способствуют отложению наносов, увеличивая опасность коррозии. Ширину горизонтального листа следует назначать так, чтобы крепление слабо нагруженных элементов решетки в узлах средней части фермы было возможно производить к этому листу без вставки узловых фасонек или уширения листа.

Толщину узловых фасонек (а также толщину листов-вставок) назначают в зависимости от величины поясного усилия. Можно рекомендовать следующие соотношения:

максимальное усилие в поясе (в т) . . .	15	20	50	100	150	200	250
толщина фасонек (листов) (в мм) . . .	8	10	12	14	16	18	20

В клепаных фермах, кроме того, желательно назначать толщину  $\delta$  фасонек или сплошных горизонтальных листов так, чтобы обеспечивать примерно одинаковую допускаемую нагрузку на заклепку при расчете на два среза и на смятие ( $\delta = 0,6d_3 \div 0,7d_3$ ).

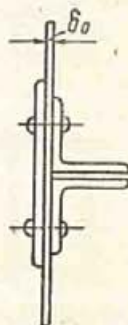
Во всех случаях, когда обшивка опирается непосредственно на пояса ферм, часть обшивки включают в рабочее сечение пояса (фиг. 65, *е*). Вводимая в расчет ширина обшивки в сварных фермах  $b_0 = b_1 + 30\delta_0$ , а в клепаных  $b_0 = b_2 + 30\delta_0$ , где  $b_1$ —расстояние между сварными швами, прикрепляющими обшивку к поясу,  $b_2$ —расстояние между крайними рядами заклепок и  $\delta_0$ —толщина обшивки. Сварные швы, крепящие обшивку, следует делать сплошными, предельно тонкими (6 мм).

При очень больших усилиях и отсутствии уголков больших размеров возможно усиление пояса дополнительным листом, накладываемым на обшивку по длине наиболее нагруженных панелей (фиг. 66). При этом следует помнить, что введение в сечение пояса листов как вертикального (накладываемого на обшивку), так и горизонтального, помещаемого между уголками, усложняет изготовление фермы. Введение горизонтального листа заполняет пространство между полками уголков и тем повышает общую сопротивляемость пояса коррозии.

Сечение из двух швеллеров (фиг. 65, *ж*) может быть допущено в поясе, работающем не только на сжатие, но и в значительной мере на изгиб от внеузловой нагрузки. Малая жесткость такого стержня из плоскости фермы в затворах со стальной обшивкой, наложенной на сжатые пояса, не представляет неудобств, так как сплошная обшивка надежно обеспечивает устойчивость пояса в направлении из плоскости фермы на всем его протяжении.

В сварных фермах возможно образование поясов из двух листов, сваренных тавром (фиг. 65, *з*).

Изготовление таких поясов следует производить автоматической сваркой под слоем флюса; ручная сварка их очень трудоемка. В этой связи следует высказать сожаление о том, что разработанный в Проектстальконструкции Минтяжстроя вскоре после Отечественной войны проект стандарта

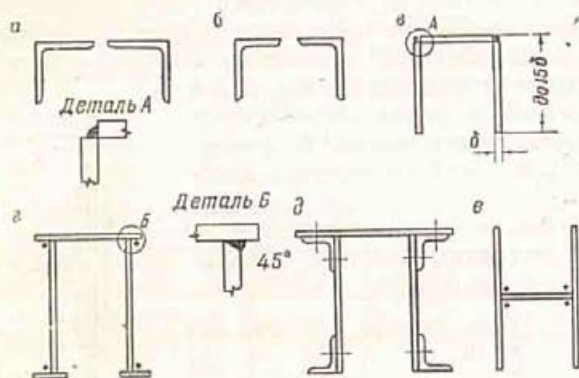


Фиг. 66. Наложение усиливающей поясной накладки на обшивку.

на прокатные тавры большой мощности до сих пор не получил осуществления. Мощные тавры могли бы найти широкое и эффективное применение в поясах ферм ригелей с обшивкой, уложенной на пояса, в фермах поперечных и продольных связей, а иногда и в решетке главных ферм.

Они также могут быть с большой пользой применены и в поясах балок-ригелей со сплошной стенкой. При этом мощность тавров следовало бы увеличить сверх тех, которые были предусмотрены проектом стандарта.

Образование тавров разрезкой на две части двутавров требует дополнительной затраты времени и энергии и часто сопровождается сильным искривлением отдельных половин двутавра под влиянием внутренних начальных напряжений. Эти напряжения образуются в двутавре при его прокате вследствие



Фиг. 67. Двухстенчатые сечения поясов:  
 а—из равнобоких уголков; б—из неравнобоких уголков; в—  
 П-образное из листовой стали; г—то же, с поясками; д—то  
 же, клепанный вариант; е—И-образное.

неравномерного остывания отдельных частей профиля и остаются в нем (до разреза) в состоянии внутренне уравновешенном. Величина этих напряжений в отдельных точках профиля иногда превышает  $1\ 000\ \text{кг/см}^2$ . Кроме того, обыкновенные (не широкополочные) двутавры имеют относительно малую жесткость в боковом направлении, что снижает эффективность использования половин двутавра в элементах ферм по соображениям, связанным с продольным изгибом.

В клепаных поясах ферм не рекомендуется применять уголки  $100 \times 8$  и  $100 \times 10$ , так как полки этих уголков недостаточно плотно прижимаются заклепками к листам и образуют щели. По этой же причине не следует применять уголки № 12 с однорядным размещением заклепок. Двухстенчатые сечения поясов применяют редко, при очень больших пролетах и усилениях, особенно если при этом стальная обшивка расположена не у сжатого пояса. Изготовление таких ферм значительно более трудоемко, чем с одностенчатыми сечениями. Возрастает дополнительная затрата стали на узловые фасонки, соединительные планки и тому подобные элементы. В то же время в затворах даже больших пролетов при большой длине панелей отсутствует необходимость в увеличении жесткости сжатого пояса из плоскости фермы, так как устойчивость его обеспечена наличием сплошной стальной обшивки.

Двухстенчатые сечения могут быть образованы из двух равнобоких или неравнобоких уголков (фиг. 67, а и б) из трех листов (фиг. 67, в). Усиление сечения поясками по фигуре 67, г нежелательно. Такое усиление значительно увеличивает трудоемкость изготовления не только поясов, но и узлов. Кроме того, пояски способствуют застою воды и грязи на горизонтальных полках.

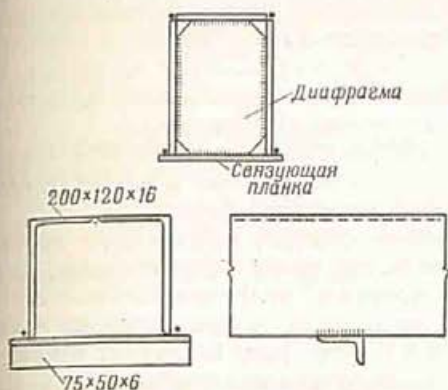
Расстояние между стенками назначают так, чтобы обеспечить удобство производства сварки или клепки; обычно это расстояние колеблется от 200 до 400 мм. Ширина стенок колеблется от 200 до 500 мм.

Толщину поперечного листа назначают такой же, как и стенок. Поперечный лист пояса работает как ригель рамы; малая толщина его не обеспечит требуемую жесткость всего сечения.

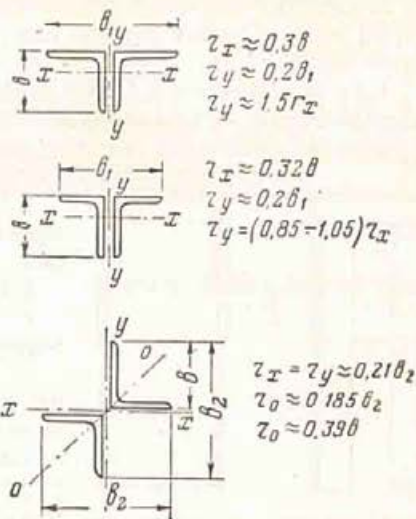
Если обшивка непосредственно примыкает к поясу, то ее включают в состав последнего. Толстая обшивка может полностью заменить поперечный лист пояса. При тонкой обшивке возможно некоторое уменьшение толщины поперечного листа.

Изменение сечения П-образных поясов удобно производить за счет изменения толщины стенок, так как при этом положение центра тяжести всего сечения изменяется очень незначительно. Последнее облегчает взаимную увязку соседних панелей пояса с разными сечениями.

Под влиянием неравномерного распределения напряжений в поясе и по ряду других причин П-образное сечение пояса искажается. Наличие даже тол-



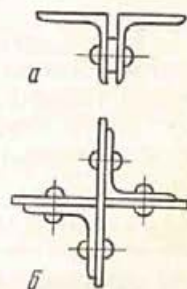
Фиг. 68. Диафрагмы и связующие планки двухстенчатых сечений.



Фиг. 69. Сечения элементов решетки: а—тавровое из равнобоких уголков; б—то же, из неравнобоких уголков; в—крестовое.

стого поперечного листа оказывается недостаточным, чтобы воспрепятствовать этим деформациям. Для повышения жесткости сечения и сохранения правильной формы его, ставят поперечные диафрагмы и связующие планки по свободным краям стенок (фиг. 68). В сжатых панелях пояса следует ставить по две диафрагмы и планки (в третях панелей); в растянутых—по одной. Диафрагмы и планки располагают в одном поперечном сечении и соединяют между собой. Диафрагмы должны быть поставлены и в узлах, в плоскости расположения стоек затворов.

Сечения раскосов и стоек фермы с одностенчатыми поясами целесообразно выполнять из двух равнобоких уголков (фиг. 69). При этом стойки ферм ригелей, к которым примыкают стойки-поперечные связи затвора, целесообразно устраивать крестового сечения, а все остальные элементы—таврового. Крестовое сечение стоек облегчает крепление к ним фасонки поперечных связей и обеспечивает центрированное расположение последних, чего нельзя получить при тавровом сечении стоек. Одновременно с этим крестовое сечение обеспечивает и некоторое уменьшение расхода стали на сжатые стойки, так как наименьший радиус инерции  $r_0$  крестового сечения из двух уголков больше, чем наименьший радиус инерции  $r_x$  тех же уголков, поставленных тавром (фиг. 69).



Фиг. 70. Сопоставление числа и размеров связующих элементов в сечении тавром (а) и крестом (б).

Недостатками крестового сечения являются потребность в дополнительном металле и рабочей силе на устройство связей между уголками для обеспечения их совместной работы (фиг. 70), увеличение площади узловых фасонки и увеличение в 2 раза числа заклепок. Эти недостатки служат основанием для отказа от применения крестовых сечений во всех случаях, за исключением отмеченного выше.

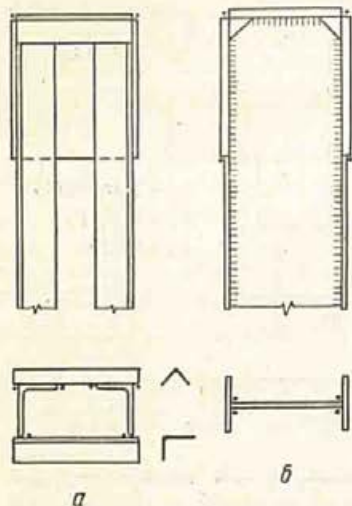
В фермах с двухстенчатыми поясами решетку можно выполнить из широкополочных двутавров, а при малом расстоянии между стенками из двух уголков, прикрепляемых по одному к каждой стенке пояса (фиг. 71, а).



Изготовление сжатых элементов решетки из одиночных прокатных швеллеров и неширокополочных двутавров нежелательно вследствие малой жесткости их в плоскости, перпендикулярной к стенке.

В случаях изготовления конструкций затвора с помощью автоматической сварки возможно выполнение элементов решетки Н-образного сечения из трех листов (фиг. 71,б).

При Н-образных и П-образных сечениях поясов высоту сечений решетки назначают так, чтобы полки (горизонтальные листы) решетки примыкали к стенкам поясов, а стенка решетки проходила внутрь пояса, образуя диафрагму последнего (фиг. 71,б).



Фиг. 71. Примыкание к П-образному поясу элементов решетки:  
а—из двух уголков; б—из трех листов.

В клепаных фермах толщина элементов решетки, примыкающих к стенкам поясов, должна быть увязана с толщиной последних.

Во всех случаях сечения элементов поясов и решетки должны быть симметричными относительно средней плоскости фермы.

При подборе сечений поясов ферм необходимо учитывать, что пояса горизонтальных ферм ригелей одновременно являются поясами вертикальных связевых ферм. В момент отрыва затвора от порога в поясах ферм возникнут напряжения от собственного веса всего затвора. В поясах верхнего ригеля будут сжимающие напряжения, а в поясах нижнего ригеля—растягивающие. Поэтому сжатый (напорный) пояс верхнего ригеля и растянутый пояс нижнего ригеля окажутся дополнительно нагруженными, а два других пояса этих ригелей—разгруженными. Ориентировочно можно считать, что величина напряжений от собственного веса составляет около  $(0,1 \div 0,15) [\sigma]$ , а при наличии обшивки в поясах, непосредственно к ней примыкающих, около  $(0,06 \div 0,1) [\sigma]$ .

Кроме того, сжатые пояса ферм, на которые непосредственно опирается обшивка, будут испытывать напряжения от изгиба; ориентировочно можно принять, что величина последних составит около  $(0,07 \div 0,15) [\sigma]$ .

Таким образом, требуемая площадь растянутого пояса может быть предварительно (приближенно) определена в сварных фермах по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \frac{N}{(0,90 \div 0,85) [\sigma]}, \quad (26)$$

а в клепаных, учитывая ослабление заклепками:

$$F_{\text{тр}} = \frac{N}{0,85 (0,90 \div 0,85) [\sigma]} \approx \frac{N}{(0,70 \div 0,75) [\sigma]}, \quad (26a)$$

где  $N$ —усилие в поясе.

Требуемая площадь сжатого пояса, учитывая напряжения от собственного веса затвора и от местного изгиба, может быть определена по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \frac{N}{(0,85 \div 0,75) \varphi [\sigma]}, \quad (27)$$

где  $N$ —сжимающее усилие;

$\varphi$ —коэффициент снижения допускаемых напряжений при продольном изгибе.

Вследствие больших усилий и относительно малых длин панелей сжатых поясов ферм затворов, сечения поясов имеют обычно большие ширины,

большие значения радиусов инерции и малые значения гибкости. Поэтому влияние продольного изгиба на работе их оказывается мало. Для ориентировочного подбора можно принимать  $\varphi \approx 0,85 \div 0,90$ .

Тогда

$$F_{\text{тр}} \approx \frac{N}{(0,65 \div 0,75) [\sigma]} \quad (28)$$

Сечения сжатых поясов из двух уголков (если почему-либо обшивка не включена в состав пояса) можно подбирать по графикам Промстрой-проекта (приложение I), определив требуемую величину:

$$F\varphi = \frac{N}{(0,85 \div 0,75) [\sigma]} \quad (29)$$

Подобранное сечение сжатого пояса должно быть проверено на устойчивость по формуле:

$$\sigma = \frac{N + N_1}{F_{\text{бр}} \varphi_{\text{мин}}} \leq [\sigma], \quad (30)$$

а сжато-изогнутого по формуле:

$$\sigma = \frac{N + N_1}{F_{\text{бр}} \varphi_x} + \frac{M}{W_{\text{хбр}}} \leq [\sigma], \quad (31)$$

где  $\varphi_{\text{мин}}$ —коэффициент продольного изгиба, зависящий от максимальной гибкости стержня;

$\varphi_x$ —коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости стержня в плоскости действия изгибающего момента;

$N$  и  $N_1$ —максимальные усилия в панели пояса от горизонтальных и вертикальных нагрузок;

$M$ —изгибающий момент от внеузловой нагрузки.

Так как влияние продольного изгиба на работу сжатых поясов затворов весьма невелико, то в клепаных фермах сжатые пояса должны быть проверены и на прочность в сечении, наиболее ослабленном отверстиями для заклепок, по формуле:

$$\sigma = \frac{N + N_1}{F_{\text{н}}} \leq [\sigma] \quad (32)$$

или

$$\sigma = \frac{N + N_1}{F_{\text{н}}} + \frac{M}{W_{\text{хн}}} \leq [\sigma]. \quad (33)$$

Подобранные сечения растянутых поясов следует проверить по формуле (32).

Сечения растянутых раскосов и стоек проверяют по формуле (32), а сжатых—по формулам (30) и (32)\*. При определении гибкости сжатых элементов решетки в плоскости фермы, за исключением раскоса в опорной панели и стойки, нагруженной опорным давлением, учитывают эффект частичного защемления их в поясах и принимают приведенную длину на 20% меньше их теоретической длины (т. е. 0,8 расстояния между центрами узлов). При определении гибкости элементов решетки из плоскости фермы в расчет вводят полную теоретическую длину их. Таким образом приведенная длина сжатых элементов решетки относительно оси  $x-x$  на  $1/6$  меньше, чем относительно оси  $y-y$ . Поэтому для сжатых элементов решетки целесообразно применять сечения, образованные из двух неравнобоких уголков, поставленных большими полками вместе (фиг. 69, б). У сечений такого типа  $r_y \approx (0,85 \div 1,05) r_x$ ; для равной же устойчивости требуется соотношение  $r_y = 1,25 r_x$ . Замена равнобоких уголков неравнобокими может оказаться целесообразной в растянутых элементах решетки, если такая замена позволяет разместить заклепки по полкам уголков в два ряда и тем сократить размер узловых фасонок.

\* В элементах решетки  $N_1=0$ .

Раскосы и стойки, образованные из двух ветвей, связанных между собой планками или решеткой (фиг. 72), проверяют на продольный изгиб относительно оси  $y-y$  по приведенной гибкости: при планках

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\lambda_m^2 + \lambda_n^2}, \quad (34)$$

при раскосной решетке

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\lambda_m^2 + 27 \frac{F}{F_d}}. \quad (35)$$

В формулах (34) и (35):

$\lambda_m = \frac{l_{пр}}{r_y}$  — гибкость всего стержня, вычисленная в предположении полной его монолитности относительно оси, перпендикулярной к плоскостям планок или решеток (на фиг. 72 ось  $y-y$ );

$\lambda_n = \frac{l_n}{r_n}$  — гибкость отдельной ветви на участке между крайними заклепками, прикрепляющими соседние планки или в свету между приваренными планками;  $r_n$  берется для одной ветви относительно оси, проходящей через ее центр тяжести перпендикулярно к плоскостям планок (на фиг. 72, а ось  $I-I$ );

$F$  — площадь поперечного сечения стержня (без учета элементов связующей решетки);

$F_d$  — сумма площадей поперечных сечений всех диагоналей связующей решетки, попадающих в одно поперечное сечение сквозного стержня.

Величину  $\lambda_n$  следует назначать не более  $\lambda_m$ .

Решетку и планки, а также крепление их к ветвям в центрально сжатых составных элементах рассчитывают на действие условной поперечной силы. Величину последней принимают равной:

$$\text{в стержнях из стали марки Ст3 } Q = 20 F_{бр} \text{ кг}^* \quad (36)$$

$$\text{» » » » » НЛ1 или НЛ2 } Q = 40 F_{бр} \text{ кг}^*, \quad (37)$$

где  $F_{бр}$  — площадь всего сечения стержня в  $\text{см}^2$ .

Считают, что эта поперечная сила действует в любом поперечном сечении стержня и что она поровну распределяется между решетками (планками), расположенными в параллельных плоскостях. Обычно решетки (планки) располагают в двух плоскостях (фиг. 72). Тогда поперечная сила, оказывающая воздействие на элементы решетки (планки), расположенные в одной плоскости:

$$Q_1 = 0,5Q.$$

Расчет решеток (планок) внецентренно сжатых составных стержней ведут по реальной поперечной силе или по условной силе [формулы (36) и (37)], в зависимости от того, которая из них окажется больше.

Усилие в раскосе (диагонали — фиг. 72, б):

$$D = \frac{Q_1}{\cos \alpha}. \quad (38)$$

Напряжение в нем:

$$\sigma = \frac{D}{F_{бр} \varphi_{мин}} \leq [\sigma], \quad (39)$$

где  $F_{бр}$  — площадь поперечного сечения одного раскоса;

$\varphi_{мин}$  — коэффициент снижения допускаемых напряжений, вычисленный по гибкости раскоса  $\lambda_p = \frac{l_p}{r_p}$ .

\* По «Строительным нормам и правилам» 1954 г.

Раскосы и стойки решетки обычно выполняют одинакового сечения, чаще всего из неравнобоких уголков.

Уголки крепят по одной (большей) полке, что создает значительный конструктивный эксцентриситет и дополнительные напряжения. Поэтому допускаемые напряжения в таких одиночных уголках следует снижать на 25%.

На усилие  $D$  следует рассчитать и крепящие элементы решетки к ветвям:  $D \leq n [N_a]$  или  $D \leq F_{ш} [\tau_{ш}]$ .

В виде исключения допускается крепить элементы решетки всего одной заклепкой на конец.

Принятый диаметр заклепок часто определяет не только наименьший размер уголков решетки, но и наименьший размер ветвей; например, при  $d_a = 20$  мм наименьший уголок  $60 \times 40 \times 6$ , швеллер не менее № 16, а двутавр не менее № 24.

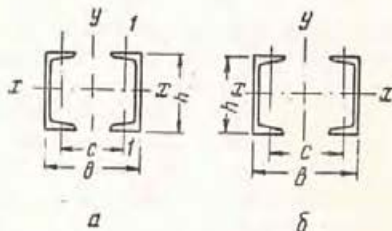
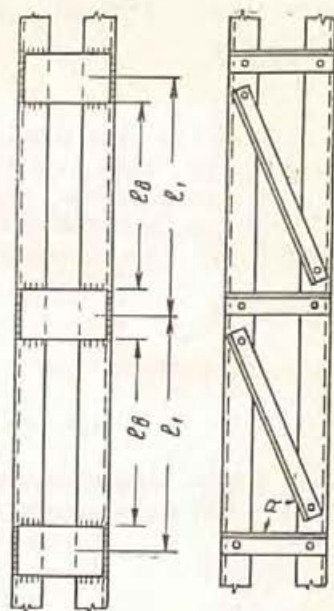
Планки и их крепления должны быть проверены на действие перерезывающей силы

$$T = \frac{Q_1 l_1}{c} \quad (40)$$

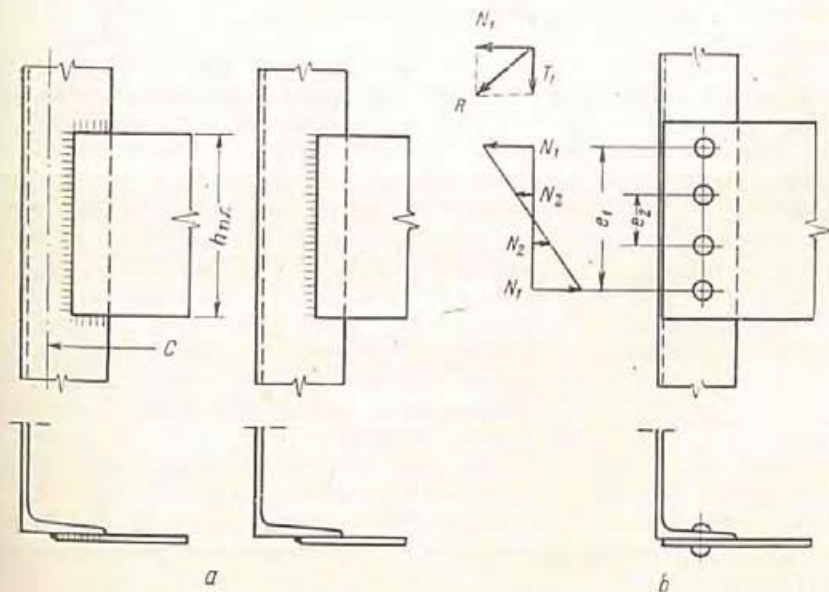
и изгибающего момента

$$M = \frac{Q_1 l_1^2}{2} \quad (41)$$

где  $l_1$ —расстояние между центрами планок;  $c$ —расстояние между центрами тяжести ветвей.



Фиг. 72. Составные сжатые элементы: а—с планками; б—с раскосной решеткой.



Фиг. 73. Крепление планок составных сжатых элементов: а—сварными швами; б—заклепками.

Усилie в крайней наиболее нагруженной заклепке (фиг. 73, б):

$$R = \sqrt{\left(\frac{Me_1}{\sum e_i^2}\right)^2 + \left(\frac{T}{n}\right)^2} \leq [N_3], \quad (42)$$

где  $e_i$ —расстояния между симметрично расположенными заклепками;

$e_1$ —то же, между крайними заклепками;

$n$ —число заклепок, крепящих один конец планки.

Проверку достаточности принятого крепления планки валиковыми швами производят по изгибающему моменту:

$$\frac{M}{W_{ш}} \leq [\tau_{ш}] \quad (43)$$

и по срезающей силе:

$$\frac{T}{F_{ш}} \leq [\tau_{ш}]. \quad (44)$$

Ширину планок назначают (0,5 ÷ 0,8)  $c$  в сварных конструкциях и (0,7 ÷ 1,0)  $c$  в клепаных; толщину—не менее 8 мм.

## ПРОДОЛЬНЫЕ СВЯЗЕВЫЕ ФЕРМЫ

Продольные связевые фермы устраивают в плоскостях сжатых и растянутых поясов ригелей. Если обшивка примыкает непосредственно к поясам ригелей (обычно к сжатым и реже к растянутым), то она же выполняет и функции связевой фермы, почему последнюю в плоскости таких поясов не устраивают.

Поясами связевых ферм служат пояса главных ферм (ригелей).

Решетку связевых ферм назначают раскосной с нисходящими к середине пролета (растянутыми от сил тяжести) раскосами (фиг. 64, а и б). При относительно большом расстоянии между ригелями и малой длине панелей главных ферм может оказаться удобным применение полураскосной решетки (фиг. 64, в). Элементы решетки продольных связевых ферм обычно осуществляют из двух равнобоких уголков, образующих тавр, значительно реже из одного уголка, из тавра, полученного путем продольного разреза двутавра, или из одного швеллера. Предельные допускаемые гибкости в элементах продольных связевых ферм должны быть назначены, как в обычных фермах, с учетом наличия вибраций в момент подъема (посадки) затвора и возможности перемены направления усилий при скручивании решетчатого «параллелепипеда», образованного ригелями и продольными связями.

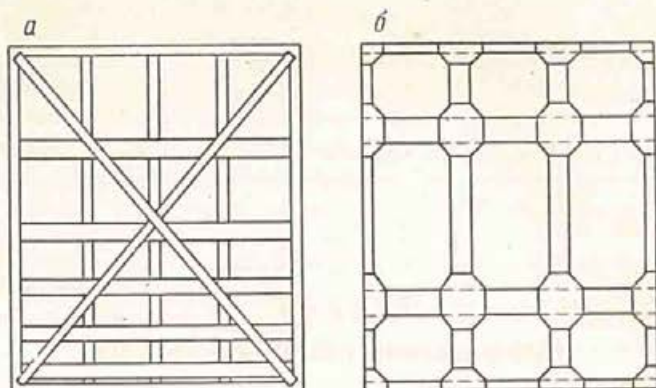
Стойки продольных связевых ферм одновременно служат поясами поперечных связевых ферм-стоек затвора. Напряжения в них должны быть просуммированы (с учетом знаков).

При малом расстоянии между ригелями, что имеет место в затворах малых напоров, а также в многоригельных затворах нижнюю связевую продольную ферму можно заменить двумя пересекающимися диагоналями (фиг. 74, а) или безраскосной системой связей рамного типа (фиг. 74, б). Применение безраскосных связей допускается в затворах пролетом не более 10 м, при условии маневрирования ими не в текущей воде. Исключением из этого правила являются гибкие многоригельные затворы (фиг. 35). При очень малой высоте ригелей из прокатных профилей; что бывает в поверхностных затворах малых отверстий и напоров, а также в безригельных затворах полагают, что стальная обшивка полностью обеспечивает жесткость и неизменяемость всей конструкции затвора, и связи с низовой стороны не устраивают.

Продольные связевые фермы нагружены:

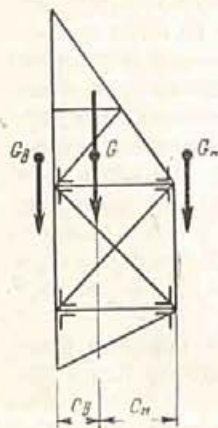
- а) вертикальными силами, действующими на затвор (собственный вес подвижной части затвора, вес слоя воды над затвором, подсос и др.);
- б) усилиями, возникающими от скручивания затвора вследствие неточной установки ходовых путей (выход точки опирания четвертого колеса затвора из плоскости, проходящей через точки опирания трех других колес);
- в) не поддающимися учету силами, возникающими при скручивании затвора от заклинки или неравномерного подъема его;
- г) силами инерции при подъеме и опускании затвора и др.

Собственный вес  $G$  затвора считают распределенным между верхней и нижней продольными фермами в зависимости от удаления центра тяжести



Фиг. 74. Продольные связи:  
а—крестового типа; б—безраскосные.

сти всего затвора от каждой из этих ферм. Обозначив эти расстояния  $c_{в}$  и  $c_{н}$  (фиг. 75), можем вычислить полную нагрузку на нижнюю ферму:



Фиг. 75. К определению нагрузки на продольные связевые фермы.

$$G_{н} = G \frac{c_{н}}{c_{в} + c_{н}} \quad (1)$$

и нагрузку на каждый узел фермы:

$$G_{уз} = G_{н} \frac{a_{л} + a_{н}}{2l}, \quad (2)$$

где  $l$  — расчетный пролет фермы;  
 $a_{л}$  и  $a_{н}$  — длины панелей фермы, примыкающих к рассматриваемому узлу слева и справа.

Если растянутый пояс ферм ригелей в плане непрямолинейный, а многоугольный (фиг. 63, б—в), то для косо расположенных частей пояса в расчет по формуле (2) вводят не физическую длину панелей, а длину их проекций на плоскость отверстия, т. е. длину соответствующих панелей сжатого пояса ферм ригелей.

Условно, для упрощения расчета, можно предположить, что вся вертикальная нагрузка на связевую ферму приложена в узлах верхнего пояса. Для предварительных расчетов нижней фермы можно также условно принять, что на нее передается около 40% полного веса затвора.

## ОПОРНО-КОНЦЕВЫЕ СТОЙКИ

Опорно-концевые стойки представляют вертикально расположенные балки, к которым примыкают торцы ригелей и второстепенных балок, крайние раскосы продольных связевых ферм, опорно-ходовые и направляющие устройства, тяговые устройства, подхваты и крюки временного подвеса. Опорно-концевые стойки принимают от ригелей давление воды, а от продольных связевых ферм собственный вес затвора и другие вертикальные силы. Горизонтальные давления концевые стойки передают на ходовые устройства, а вертикальные силы — осям подъемно-тяговых устройств, подхватом или крюкам временного подвеса. При этом в концевых стойках возникают дополнительные растягивающие усилия от трения в колесах и уплотнениях и дополнительные моменты от несовпадения линий действия активных и реактивных сил (как вертикальных так и горизонтальных). Схема внешних сил, действующих на концевую стойку, представлена на фигуре 76, где

$P_1$  и  $P_2$  — горизонтальные давления ригелей;

$P_3$  и  $P_4$  — горизонтальные давления обвязок, вспомогательных балок и обшивки, если последняя непосредственно опирается на стойку;

$R_1$  и  $R_2$  — реакции ходовых колес или тележек;

$G$  — вес затвора;

$V_1$  — силы трения в опорно-ходовых частях;

$V_2$  — вес столба воды над затвором;

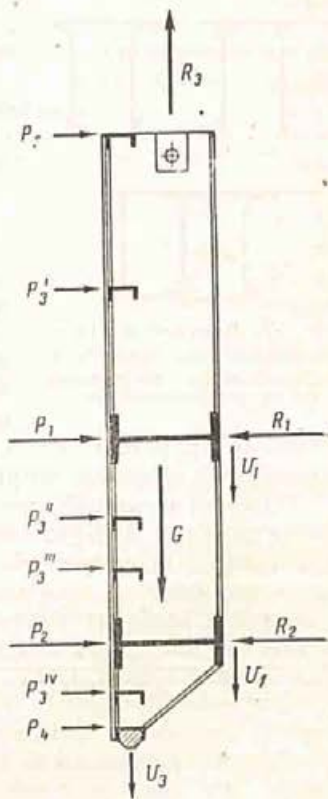
$V_3$  — подсос в начале подъема (если он имеет место);

$R_3$  — подъемное усилие.

Опираание затвора на ходовые колеса (тележки) следует осуществлять так, чтобы их реакции располагались в плоскостях симметрии ригелей и не вызывали изгибающих моментов в концевых стойках.

Перечисленные многообразные функции опорно-концевых стоек говорят о большой важности их в общем комплексе элементов, образующих затвор.

Опорно-концевые стойки обычно осуществляют в виде одностенчатых или двухстенчатых сплошных балок (фиг. 77). В редких случаях, например,



Фиг. 76. Силы, действующие на опорно-концевую стойку.



в некоторых сдвоенных затворах, встречаются трехстенчатые стойки, очень сложные в изготовлении.

Двухстенчатые опорные стойки имеют некоторые преимущества перед одностенчатыми стойками:

а) большая жесткость поперечного сечения, полезная при значительном количестве разнообразных дополнительных, не учитываемых в расчете силовых воздействий; двухстенчатые стойки повышают общую жесткость всего затвора, что важно при больших пролетах;

б) удобство и надежность закрепления осей ходовых колес или опорных подушек и водил колесных тележек;

в) удобство и надежность крепления осей подъемно-тяговых устройств и крюков временного подвеса.

Недостатком двухстенчатых опорных стоек является большее число составляющих их элементов, сложность изготовления и наличие мест, трудно доступных для производства клепки или сварки.

Изготовление одностенчатых стоек значительно проще, но крепление к ним тяговых, а в ряде случаев и ходовых устройств сложнее. Сечение опорной стойки в виде двутавра плохо сопротивляется крутящим моментам, могущим возникнуть в стойке при смещении ее под влиянием прогиба затвора или колебаний температуры.

Одностенчатые стойки применяют преимущественно в затворах с опорно-ходовыми частями скользящего типа, с катковыми опорами и с балансирными тележками, примыкающими в опорных узлах главных ригелей. В проектах последних лет одностенчатые стойки встречаются наиболее часто.

Для повышения сопротивления опорно-концевых стоек кручению желательно в двухстенчатых и трехстенчатых стойках иметь замкнутые коробчатые сечения. В случае невозможности по условиям производства работ получить коробчатое сечение следует вдоль открытой части П-образного сечения ставить планки или раскосную решетку,

Фиг. 77. Поперечные сечения опорно-концевых стоек: а—одностенчатых; б—двухстенчатых; в—трехстенчатых.

а также диафрагмы. Естественными диафрагмами являются стенки сплошных ригелей или фасонки опорных узлов главных ферм.

Одностенчатые опорно-концевые стойки осуществляют сплошными по всей высоте затвора. В двухстенчатых стойках крайнюю (наружную) стенку также проектируют непрерывной, а внутреннюю стенку прерывают для пропуска стенок или фасонки опорных узлов ригелей. Такое устройство опорных стоек в клепаных затворах диктуется стремлением избежать работы ответственных соединений на отрыв головок заклепок, а в сварных затворах—работы на растяжение валиковых швов.

Современные методы изготовления сварных соединений автоматической сваркой под слоем флюса или ручной сваркой качественными электродами с К-образной разделкой торцов стенок обеспечивают полный провар соединения тавром. Это позволяет пересмотреть укоренившуюся практику проектирования и при больших пролетах двухригельных затворов, а следовательно, при очень больших горизонтальных опорных давлениях передавать эти давления от главных ферм непосредственно на колесные тележки. Стенки же опорно-концевых стоек—проектировать как диафрагмы между опорными узлами главных ферм, с продолжением их вниз и вверх по всей высоте затвора.

Высоту опорных стоек назначают равной высоте концевой части ригелей. Расстояние между стенками двухстенчатых стоек должно быть таким, чтобы обеспечить удобство производства сварки или клепки (не менее 400 мм). Толщина стенок стоек обычно колеблется от 8 до 14 мм. Толщину поясных листов

7111  
стоек назначают на 2—6 мм больше толщины стенок. Если стальная обшивка примыкает непосредственно к стойке, то ее включают в расчетное сечение стойки.

Сечение стоек должно быть проверено на одновременное действие растягивающих сил и изгибающих моментов. Обычно наиболее опасными сечениями являются: место опирания стойки на верхнее колесо (верхнюю тележку), верхний стык стойки и место примыкания верхнего ригеля. В месте расположения оси подвеса необходимо проверить стойку на растяжение и смятие. Исходя из расчета на смятие, приходится производить местное утолщение стенки.

Стенки сплошных ригелей и фасонки опорных узлов ферм ригелей примыкают к стенке стойки, а в двухстенчатых стойках—к наружной стенке. Располагаемые в этом месте горизонтальные швы должны быть проверены на полное опорное давление ригеля. Пояса ригелей и стоек соединяют мощными фасонками (при сварке возможны треугольные вставки, привариваемые встык). К этим фасонкам крепят крайние раскосы продольных связей. Наличие обшивки, входящей в состав поясов ригелей и стоек, исключает необходимость в устройстве с этой стороны узловой фасонки.

Крепление поясов ригелей к стойкам должно быть рассчитано с учетом воздействий вертикальных сил, действующих на связевые фермы.

При небольшом расстоянии между ригелями фасонки объединяют в один лист, идущий по всей высоте стойки.

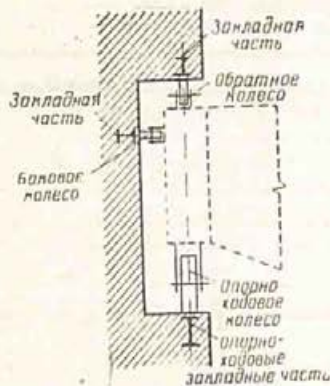
Монтажные стыки стойки, при перевозке затвора пространственными блоками (фиг. 55), располагают вблизи ригелей на расстоянии, обеспечивающем удобство устройства стыка всех элементов стойки.

## Глава XII

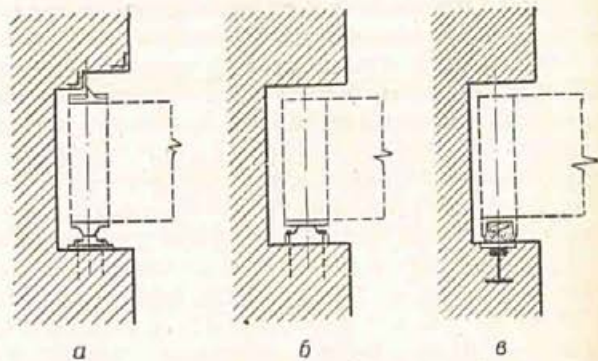
### ОПОРНО-ХОДОВЫЕ ЧАСТИ

#### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для передачи давления воды на устон (быки) и для обеспечения возможности перемещения подвижной части затвора служат опорно-ходовые устрой-

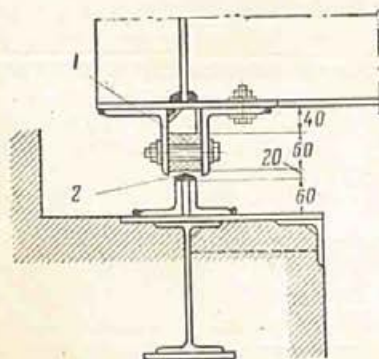


Фиг. 78. Опорно-ходовые устройства.



Фиг. 79. Скользящие опорно-ходовые устройства: а—стальные—тангенциальные; б—стальные плоские; в—деревянные.

ства (фиг. 78). Различают подвижные опорно-ходовые части, перемещающиеся во время подъема затвора, и неподвижные (закладные) части, наглухо заделанные в бетоне быков и устоев.



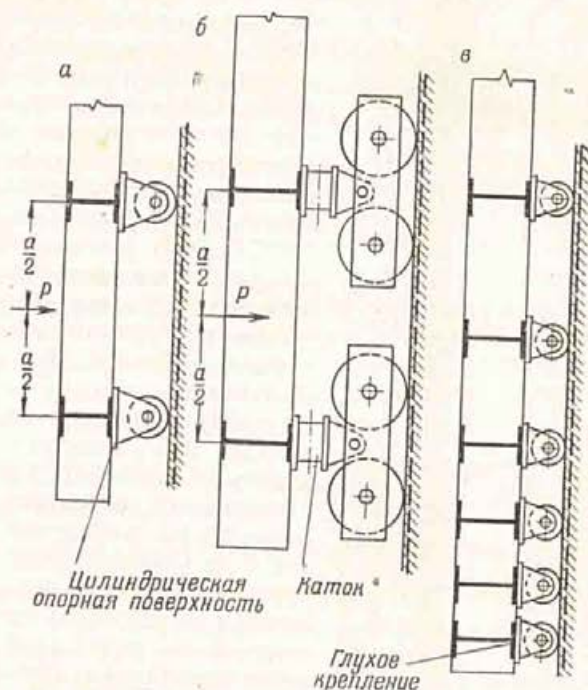
Фиг. 80. Скользящая опора с древно-слоистым пластиком: 1—полоса из древопластика; 2—наплавка из нержавеющей стали.

Различают также основные опорно-ходовые устройства, служащие для передачи давления воды, и дополнительные, так называемые направляющие устройства (обратные и боковые).

Подвижные опорно-ходовые части принимают на себя и передают закладным частям и далее на устон (быки) давление воды. При этом они должны фиксировать положение и направление опорных реакций, обеспечив возможность поворота опорных сечений главных ригелей и возможность продольного смещения их концов. Эти смещения могут происходить при повороте опорных сечений и при колебаниях температуры. Опорно-ходовые устройства должны обеспечить возможность плавного перемещения подвижной части затвора с наименьшим значением сопротивления сил трения.

Подвижные опорно-ходовые части устраивают трех типов: скользящие (фиг. 79 и 80), колесные (фиг. 81) и катковые (фиг. 82).

Скользкие опоры очень просты в изготовлении и эксплуатации, дешевы, надежны. Опорные части, на которых скользит щит затвора, обычно используют в качестве боковых уплотнений, что упрощает и удешевляет конструкцию затвора. Сами уплотнения при этом оказываются весьма надежными.



Фиг. 81. Колесные опорно-ходовые устройства:  
а и б—с равномерно нагруженными колесами; в—с неравномерно нагруженными колесами.

Однако при движении затвора на скользких опорах (за исключением полозьев из древопластика) развиваются очень большие силы трения:

$$T = fP, \quad (1)$$

где  $f$ —коэффициент трения скольжения (1-го рода, см. табл. 32);  
 $P$ —полное гидростатическое давление воды на затвор.

Таблица 32

Коэффициенты трения скольжения в воде при покое в скользких опорах (с учетом загрязнения) и в уплотнениях (с учетом неровности поверхностей)

№ п. п.	Материал полоза или уплотнения	Коэффициент трения скольжения при материале закладных частей		
		сталь обыкновенная	сталь нержавеющая	баббит
1	Сталь . . . . .	0,5	—	0,2
2	Бронза . . . . .	0,4	0,2	—
3	Древесина . . . . .	0,65	0,5	—
4	Древесно-слоистый пластик . . . . .	0,4	0,09—0,12*	—
5	Резина . . . . .	0,65	0,5	—
6	Транспортная лента . . . . .	0,65	0,5	—

\* Для полозьев из ДСП-Б по полированной поверхности. Значения коэффициентов трения, полученные из экспериментов в лабораториях и в натуре, колеблются от 0,05 до 0,07 (по данным Московской проектной конторы Гидростальпроекта).

Большие силы трения создают необходимость в значительном увеличении грузоподъемности тяг и обслуживающих механизмов. Последнее повышает стоимость как строительства, так и эксплуатации средних и больших затворов со скользящими опорами. Поэтому металлические и деревянные скользящие опорно-ходовые части обычно применяют в затворах с малыми отверстиями при небольших давлениях воды и в затворах, перемещаемых в безнапорном состоянии (при выровненных бьефах). Использование древопластиков в полозьях скользящих опор (фиг. 80) сильно уменьшает силы трения и значительно расширяет области эффективного применения скользящих затворов.

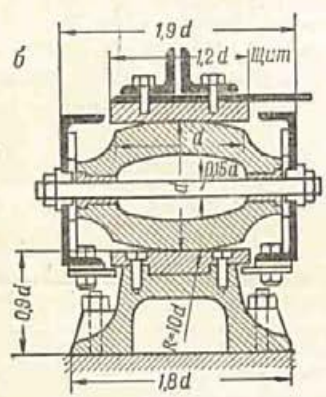
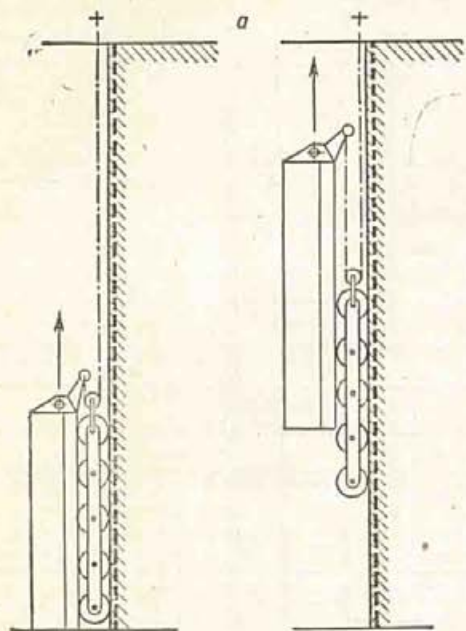
С целью уменьшения сил трения при движении затворов применяют колесные и катковые опоры, в которых трение скольжения заменено трением качения полностью (при роликовых подшипниках) или частично.

Сопrotивление трению движению затвора при колесных опорах уменьшается в несколько раз по сравнению с обычными скользящими опорами (т. е. не из древесно-слоистых пластиков).

Еще меньшие силы трения теоретически должны развиваться при движении затвора на катковых опорах, вследствие устранения трения скольжения во втулках колес. Однако практика эксплуатации катковых тележек показала большое количество свойственных им недостатков: быстрый и неравномерный износ катков; значительное возрастание сопротивления движению затворов по мере износа ходовых частей; необходимость в добавочных приспособлениях для подвески и передвижения катковых тележек; затруднения в изменении длины затвора при колебаниях температуры и при повороте опорных сечений вследствие прогиба ригелей; засорение частей катковых тележек, остающихся в воде и др. По этим причинам в нашем современном строительстве катковых опор не применяют.

Новейшим, усовершенствованным видом катковых опор являются так называемые гусеничные опоры, в которых катки объединены в бесконечную цепь (фиг. 83). Последняя перемещается вокруг специальной рамы, закрепленной на торцовых листах опорных стоек затворов. В опорах этого типа катки перемещаются вместе с затвором, поэтому отпадает надобность в устройстве отдельных катковых тележек и приспособлений для их перемещения; кроме того, катки не остаются в зоне потока, что уменьшает степень износа их.

Гусеничные опоры требуют большой точности изготовления и монтажа затворов и закладных частей. Гусеничные опоры пока не получили широкого распространения.



Фиг. 82. Катковые опорно-ходовые устройства:  
 а — общая схема затвора и тележки; б — деталь катка и закладной части.

(фиг. 83). Последняя перемещается вокруг специальной рамы, закрепленной на торцовых листах опорных стоек затворов. В опорах этого типа катки перемещаются вместе с затвором, поэтому отпадает надобность в устройстве отдельных катковых тележек и приспособлений для их перемещения; кроме того, катки не остаются в зоне потока, что уменьшает степень износа их.

Наиболее часто в плоских затворах применяют скользящие и колесные опорно-ходовые части.

## 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СКОльзяЩИХ ОПОР

Скользящие опорно-ходовые части затворов с малой нагрузкой обычно осуществляют из деревянных брусков, прикрепленных черными болтами к опорно-концевым стойкам. Последние в этом случае делают одностенчатыми. Бруска делают из антисептированной сосновой или дубовой древесины. Применение лиственницы менее желательно вследствие большой склонности ее к растрескиванию. Опорные бруска обычно служат и боковыми уплотнениями.

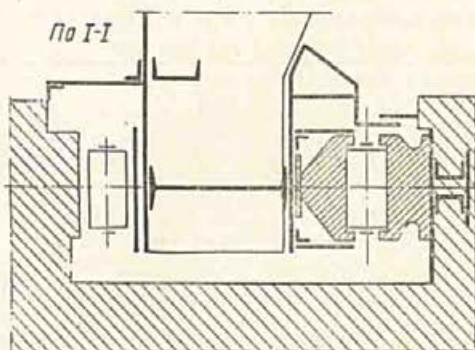
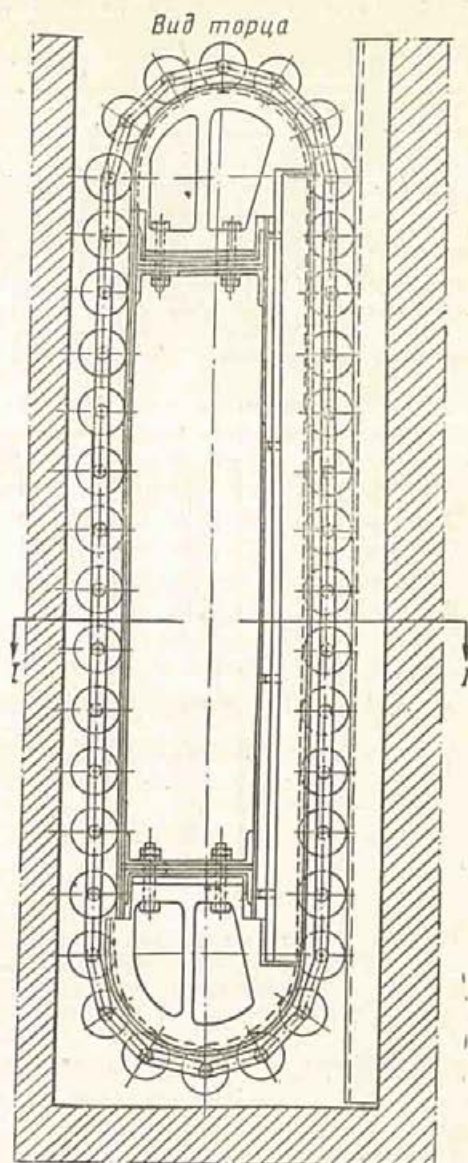
Поперечные размеры брусков назначают в зависимости от величины гидростатического давления; они колеблются от 18 до 35 см; наиболее часто от 20 до 24 см. Большой размер бруска располагают по плоскости смятия.

Со стороны закладных частей кромки бруска скашивают под углом  $45^\circ$  с величиной катета 2—2,5 см. С другой стороны бруска плотно входит в швеллер, закрепленный по всей высоте опорно-концевой стойки. Между бруском и швеллером помещают прокладку из просмоленного войлока или брезента. Болты, крепящие бруска к швеллеру, располагают по двум рискам в шахматном порядке с шагом 25÷50 см. Головки болтов устанавливают в специальных гнездах, сделанных в бруске, чтобы не препятствовать плотному прилеганию последнего к закладной части. Заглубление головок назначают с запасом на полное обжатие бруска под нагрузкой и износ его в процессе эксплуатации.

Количество болтов и их размер должны быть достаточными для восприятия веса бруска и сил трения, развивающихся между бруском и закладной частью при движении затвора.

Ширина сминаемой части бруска должна удовлетворять требованиям прочности его на сжатие (смятие) поперек волокон и допускать размещение болтов в два ряда.

Расчет на сжатие (смятие) бруска можно производить условно по



Фиг. 83. Гусеничные катковые опоры.

среднему напряжению на нижней наиболее нагруженной полосе высотой 0,5 м:

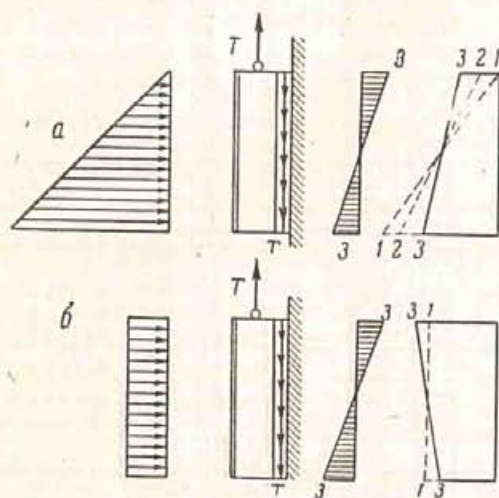
$$\sigma_c = \frac{P'}{2bl} \leq [\sigma_c]_{90}, \quad (2)$$

где  $P'$ —полное гидростатическое давление на наиболее нагруженную полосу высотой 0,5 м;

$b$  и  $l$ —ширина и длина сминаемой поверхности полоза (бруса) с одной стороны затвора ( $l=0,5$  м);

$[\sigma_c]_{90}$ —допускаемое напряжение на сжатие поперек волокон по всей длине: для сосны I сорта—15 кг/см<sup>2</sup> и для дуба—22 кг/см<sup>2</sup>.

Для обеспечения более равномерного распределения сминающих напряжений по высоте стойки необходимо, чтобы она обладала значительной жесткостью в вертикальной плоскости. За счет ее жесткости происходит некоторое



Фиг. 84. Схемы загрузки скользящей опоры и изменения напряжений сжатия при подъеме:  
а—поверхностного затвора; б—глубинного затвора.

выравнивание напряжений сжатия в брус (фиг. 84, а, линии 1—1 и 2—2). Дополнительный момент (фиг. 84), создаваемый силами трения и частью подъемного усилия, уменьшает напряжения смятия в нижней части опорного бруса и увеличивает их в верхней части. В поверхностных затворах дополнительный момент выравнивает напряжения смятия (фиг. 84, а, линии 3—3).

При больших давлениях, превосходящих допускаемые на сжатие поперек волокон деревянных брусков, скользящие опоры устраивают стальными из прокатных полос, рельс или стальных отливок. Ширина этих опор должна быть проверена по условию прочности на смятие.

Для уменьшения сил трения в скользящих опорах устраивают полозья из древесно-слоистого пластика ДСП-Б\*.

В этом случае коэффициент трения скольжения снижается более чем в 5 раз по сравнению с коэффициентом трения между обычными деревянным брусом и сталью.

Допускаемое удельное давление на древопластик в полозьях принимают равным 400 кг/см<sup>2</sup> при условии обжатия древопластика с двух сторон усилием в 200 кг/см<sup>2</sup>\*\*. Расчет на смятие полоза из древопластика ведут по наиболее нагруженной полосе высотой 1 см (т. е. по максимальным, а не по средним напряжениям).

Древесно-слоистый пластик (ДСП) изготовляют в виде плит из березовых шпонов, пропитанных фенольно- или крезольно-формальдегидными смолами и склеенных в процессе термической обработки под высоким давлением.

В зависимости от расположения волокон древесины в смежных шпонах и физико-механических свойств ГОСТ 5704—51 предусматривает три марки древесно-слоистых пластиков: ДСП-Б—в котором каждые 10—20 слоев шпона с параллельным направлением волокон перемежаются с одним слоем шпона с волокнами, расположенными перпендикулярно предыдущим; ДСП-В—в котором волокна смежных слоев имеют взаимно перпендикулярное напри-

\* Предложение инженеров М. А. Рудыка, К. П. Егорова и Н. В. Шевелева.

\*\* В направлении, перпендикулярном опорному давлению.

вление; ДСП-Г—в котором волокна каждого последующего шпона повернуты по отношению к предыдущему на 30° (т. е. расположены радиально).

Для изготовления полозьев применяют древесно-слоистый пластик марки ДСП-Б.

Нормальная толщина плит колеблется от 15 до 50 мм и кратна 5 мм. Длина (размер в направлении волокон наружных шпонов) коротких плит колеблется от 750 до 1 500 мм (через 100 мм), а в длинных составляет 2 300, 4 800, 5 500 и 5 700 мм. Ширина обоих видов плит колеблется от 900 до 1 200 мм через 100 мм.

Физико-механические свойства плит древесно-слоистых пластиков марки ДСП-Б должны удовлетворять требованиям таблицы 33. В плитах не допускаются выпучивание, трещины, расслоения, недопрессовки и посторонние включения.

Таблица 33

Физико-механические свойства древесно-слоистых пластиков марки ДСП-Б

№ п. п.	Наименование показателей	Плиты ДСП-Б	
		короткие	длинные
1	Предел прочности при растяжении вдоль волокон (в кг/см <sup>2</sup> ), не менее . . . . .	2 600	2 200
		(2 300)	(2 100)
2	Предел прочности при сжатии вдоль волокон (в кг/см <sup>2</sup> ), не менее . . . . .	1 600	1 550
		(1 500)	(1 450)
3	Предел прочности при скалывании по плоскости склейки (в кг/см <sup>2</sup> ), не менее . . . . .	140	120
		(130)	
4	Предел прочности при статическом изгибе (в кг/см <sup>2</sup> ), не менее . . . . .	2 800	2 600
		(2 600)	(2 200)
5	Предел прочности при ударном изгибе в $\frac{\text{кг см}}{\text{см}^2}$ , не менее . . . . .	80	70
		(70)	(60)
6	Объемный вес (в г/см <sup>3</sup> ), не менее . . . . .	1,30	1,30
7	Влажность (в %), не более . . . . .	7	7
8	Водопоглощение за 24 часа (в %), не более . . . . .	5	5

Примечания. 1. Нормы прочности ДСП, указанные в скобках, допускаются для одного из трех и для двух из шести испытанных образцов.

2. Обязательным является определение предела прочности при сжатии и скалывании, объемного веса, влажности и водопоглощения за 24 часа. Остальные показатели определяются по требованию потребителя.

Скользящая опора с древесно-слоистым пластиком состоит из полоза, укрепленного на подвижной части затвора, и рельса, опирающегося или непосредственно на бетон или на закладные части.

Рабочая поверхность рельса должна быть выполнена из нержавеющей металла и иметь цилиндрическую форму (фиг. 85). Рельс может быть литым, сварным или прокатным.

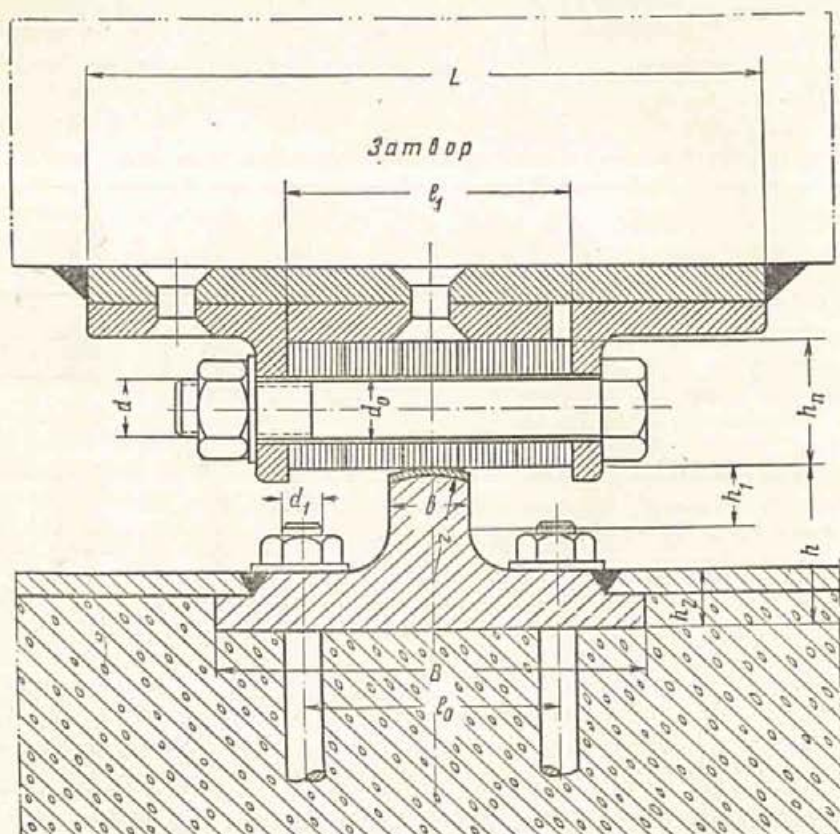
Нержавеющая рабочая поверхность рельса может быть наплавлена электродами марки ЭА1-Б (ГОСТ 2523—51) или образована сплошной приваркой полосы нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т (также электродами марки ЭА1-Б). Толщина наплавленного металла после обработки (по 7 классу чистоты обработки) должна быть в пределах 2—3 мм. Толщину полосы нержавеющей стали берут не менее 8 мм.

Полоз (фиг. 86) представляет собой или разборную или литую (сплошную) стальную обойму, заполненную брусками древесно-слоистого пластика марки ДСП-Б. Длину брусков рекомендуется брать не более 500 мм. Брусочки пластика, высушенные до влажности 4%, собирают в пакеты и склеивают клеем ВИАМ-БЗ. Пластик должен быть расположен так, чтобы торцы волокон выходили на поверхность скольжения под прямым углом к последней.



Древопластик в обойме должен быть предварительно обжат в направлении перпендикулярном к опорному давлению, силой в  $200 \text{ кг/см}^2$  боковой поверхности (за вычетом площади отверстий). Неплотности между брусками и поверхностями обоймы (боковыми и опорной) не допускаются.

Разборная обойма полоза состоит из двух уголков (неподвижного и подвижного), полосовой подкладки и листового основания—«подшвы». Неподвижные части обоймы соединяют между собой заклепками (частично потайными) и крепят к щиту оцинкованными болтами. Так же болтами крепят и подвижной



Фиг. 85. Скользящая опора с древесно-слоистым пластиком и литым рельсом.

уголок, после обжатия древопластика. Обжатие пластика достигают навинчиванием гаек на стягивающие болты (Ст. 5) на  $\frac{3}{4}$  оборота после того, как будут выбраны люфты при помощи обычного гаечного ключа М30. Резьба этих болтов и соприкасающиеся поверхности гайки и шайбы должны быть смазаны солидолом.

Степень обжатия брусков пластика в обойме проверяют у 25% болтов по величине крутящего момента при завинчивании гаек динамометрическим ключом. Величина замеренного крутящего момента должна отличаться от расчетной не более чем на 15%.

Радиус  $r$  цилиндрической поверхности рельса и ширину  $b$  его рабочей части назначают в зависимости от интенсивности погонной нагрузки  $p$  на рельс по таблице 34\*.

\* Технические условия и нормы на проектирование скользящих опор для плоских затворов гидротехнических сооружений. МПК Гидростальпроект.

Радиус  $r$  и хорда  $b$  цилиндрической части рельса под полоз из ДСП-Б

Интенсивность $p$ опорного давления (в кг на 1 см длины рельса)	До 1 000	От 1 000 до 2 000	От 2 000 до 3 000
Радиус $r$ цилиндрической части (в см) . . . . .	10	15	20
Хорда $b$ цилиндрической части (в см) . . . . .	2,5	3,2	4,0

Ширину  $B$  подошвы рельса находят, исходя из допускаемого напряжения  $[\sigma]$  на бетон:

$$B = \frac{P}{[\sigma]} \quad (3)$$

Высоту рельса назначают не менее  $\frac{1}{3}B$ .

Высота брусков древесно-слоистого пластика в обойме должна быть не менее диаметра отверстия под болт плюс 24 мм. Диаметр  $d_0$  отверстий в пластике под стяжные болты назначают на 0,5 мм более диаметра стяжного болта. Ширина древопластика в обойме должна быть не более двукратной высоты его. Ширину подкладки обоймы назначают на 5—10 мм менее ширины древопластика.

Шаг  $a$  стяжных болтов должен целое число раз повторяться по длине брусков древопластика.

Величину растягивающего усилия, которое должен развить один стяжной болт, находят по формуле:

$$N_0 = (ah_n - 0,785d_0^2) 200 \text{ кг}, \quad (4)$$

где  $a$  — шаг болтов;

$h_n$  — высота пакета древопластика;

$d_0$  — диаметр отверстия (все размеры в см);

200 — величина предварительного обжатия древопластика в кг/см<sup>2</sup>.

Приведенное напряжение в нарезанной части стяжного болта проверяют с учетом крутящего момента по формуле:

$$\sigma_{\text{прив}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{\sigma_T}{1,3}, \quad (5)$$

где  $\sigma = \frac{N_0}{0,785d_n^2}$  и  $\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{0,2d_n^3}$ ; при коэффициенте трения  $f = 0,18$ ,  $\tau = \frac{N_0 d}{2d_n^3}$ ;

$d$  и  $d_n$  — диаметры болта брутто и нетто.

Напряжение в ослабленном сечении болта при работе полза проверяют по формуле:

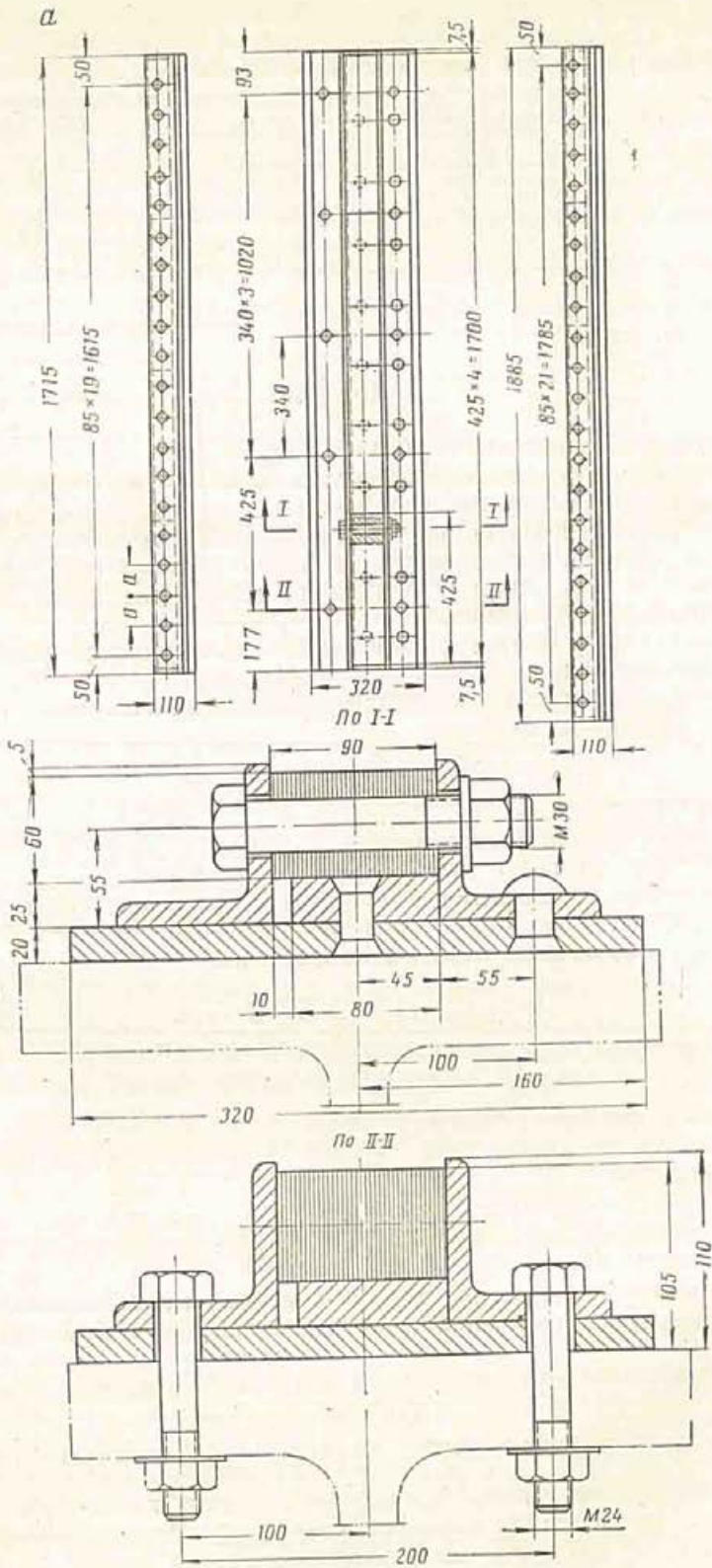
$$\sigma = \frac{N_0 + 0,05pa}{0,785d_n^2} \leq \frac{\sigma_T}{1,3}. \quad (6)$$

Недостатком формулы (6) является неучет дополнительных напряжений, возникающих при увлажнении древопластика и некотором набухании его.

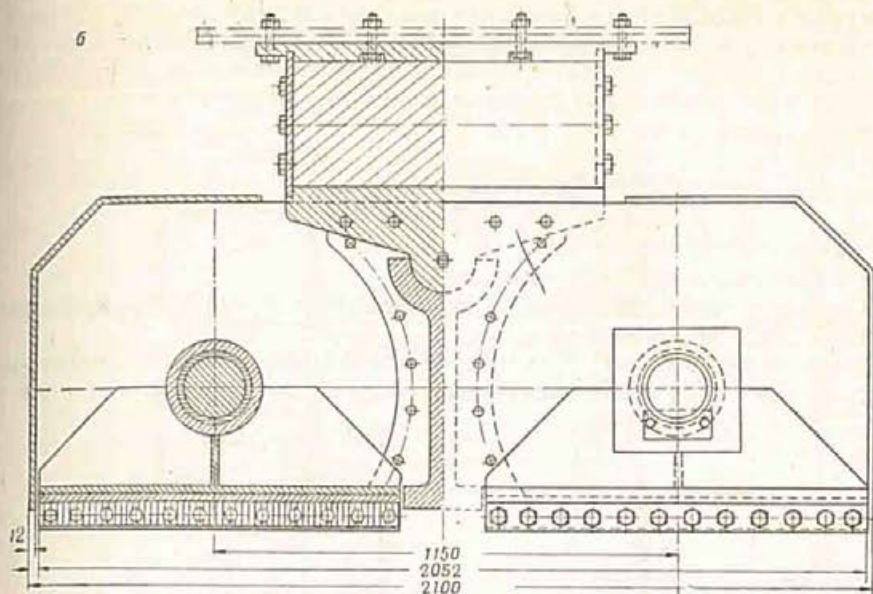
Конструкции полза показаны на фигурах 86 а и 86 б.

### 3. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОЛЕСНЫХ ОПОРНО-ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ

Для обеспечения ясности и определенности работы опорных устройств желательно, чтобы затвор имел всего четыре равнонагруженные опорные точки. Для этой цели с каждой стороны затвора ставят по два колеса или по две колесные тележки на равном расстоянии их от равнодействующей гидростатического давления (фиг. 81, а и б).



Фиг. 86а. Полос с древесно-слоистым пластиком, установленный непосредственно на затворе.



Фиг. 866. Полос с древесно-слоистым пластиком, установленный на балансирной тележке взамен колес.

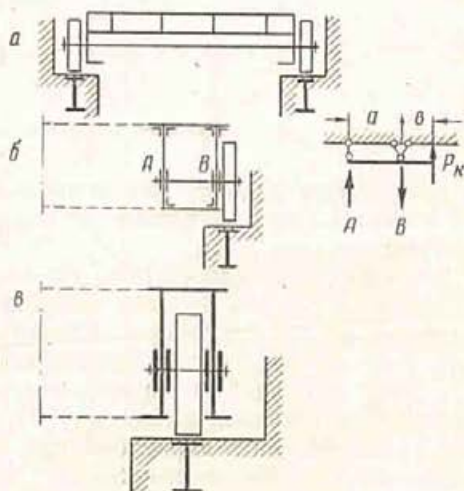
В многоригельных затворах, особенно в «гибких» затворах (без жестких диафрагм), целесообразна постановка отдельных колес под концом каждого ригеля.

Соединение колесных устройств с опорно-концевыми стойками должно обеспечивать передачу давления от колеса на рельс по всей линии касания; для этой цели соединение должно обеспечивать возможность поворота и горизонтального смещения концов ригелей.

В отступлении от указанного правила затворы небольших напоров и пролетов опирают непосредственно на оси колес (тележек), закрепленные в опорно-концевых стойках (фиг. 87). При этом колеса могут быть расположены вне концевых стоек на консолях осей (фиг. 87, а, б) или между стенками опорно-концевых стоек. Последние в этом случае называют колесными коробками (фиг. 87, в).

При малом пролете затвора (до 2—3 м) оси колес делают сплошными (по всей длине затвора), закрепленными в одностенчатых опорно-концевых стойках (фиг. 88) [11]. На выступающих наружу концах осей крепят колеса. Значительный расход стали на среднюю часть осей является недостатком этого способа крепления колес; его достоинство—возможность обходиться одностенчатыми опорно-концевыми стойками.

Чтобы уменьшить расход стали на оси, последние делают отдельными для каждого колеса. Опорно-концевые стойки в этом случае делают двухстен-



Фиг. 87. Крепление опорно-ходовых колес на осях, наглухо связанных с затвором: а—сплошных с консолями; б—раздельных с консолями; в—раздельных без консолей.

чатыми или на всей высоте затвора или только на тех участках, на которых крепят оси колес. Колеса располагают или между стенками стоек или на консолях осей снаружи затвора. Крепление колес на консолях отдельных осей (фиг. 87,б и 89) увеличивает опорные давления, передаваемые на ближайшие к колесам стенки стоек (фиг. 87,б):

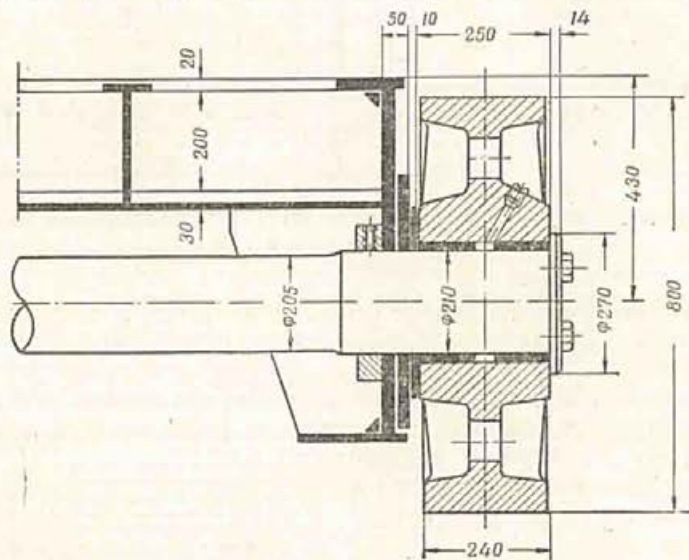
$$B = P_k \frac{a+b}{a} = P_k + A, \quad (7)$$

где  $P_k$ —давление на колесо;

$A$  и  $B$ —давления оси на стенки стойки.

Крепление колес на консолях рекомендуется производить при давлении на одно колесо не более 50 т.

Более удобным является крепление колес между стенками опорно-концевых стоек (фиг. 87,в и 90). Максимальные давления от осей на стенки стоек



Фиг. 88. Опорное колесо на сплошной оси.

в этом случае меньше, чем в предыдущем, почему при больших давлениях на колеса такое крепление целесообразнее. Глубина ниши в этом случае получается несколько больше, чем в предыдущем, что может незначительно отразиться на общей ширине быков.

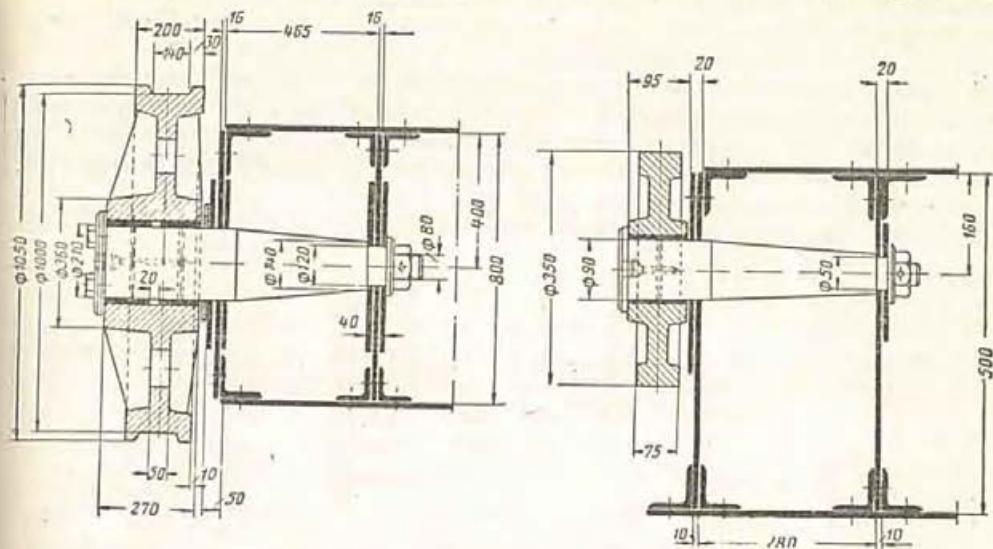
Колеса с осями, жестко закрепленными в стойках затворов, следует, как правило, делать без реборд. Колеса с ребордами в этих случаях встречаются при относительно небольших давлениях (до 30 т на колесо).

Крепление осей колес непосредственно к стенкам стоек при прогибе ригелей вызывает поворот колес (фиг. 91), неполное опирание их на ходовой рельс\*, преждевременный и неравномерный износ ходовых частей. Кроме того, такое крепление сложно и трудоемко. Чтобы устранить эти недостатки, иногда стойки или непосредственно ригели опирают на специальные сварные или литые вилки с закрепленными в последних осями и колесами. Поверхности этих отливок, обращенной к щиту, следует придавать цилиндрическое очертание для обеспечения возможности поворота опорных сечений ригелей. Недостатком такого крепления колес является уширение ниши.

Если при опирании затвора на четыре колеса размеры последних получаются чрезмерно большими, применяют колесные тележки (фиг. 92). Обычно

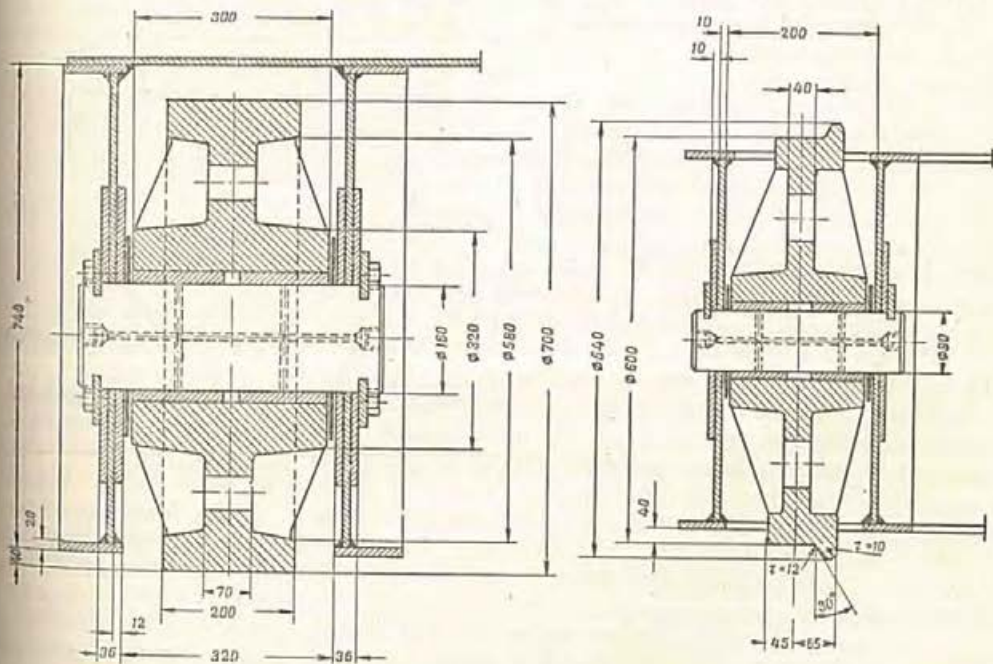
\* Железнодорожные рельсы менее чувствительны к повороту колеса, чем подкравные и другие рельсы с плоской поверхностью катания.

тележки имеют два колеса, в очень редких случаях—три (фиг. 92, г). Возможно применение кареток с четырьмя колесами, расположенными в двух параллель-



Фиг. 89. Опорные колеса на консолях отдельных осей.

ных плоскостях и перемещаемыми по двум рельсам. Опираие затвора на такие тележки следует осуществлять при помощи шарового шарнира. Устройство



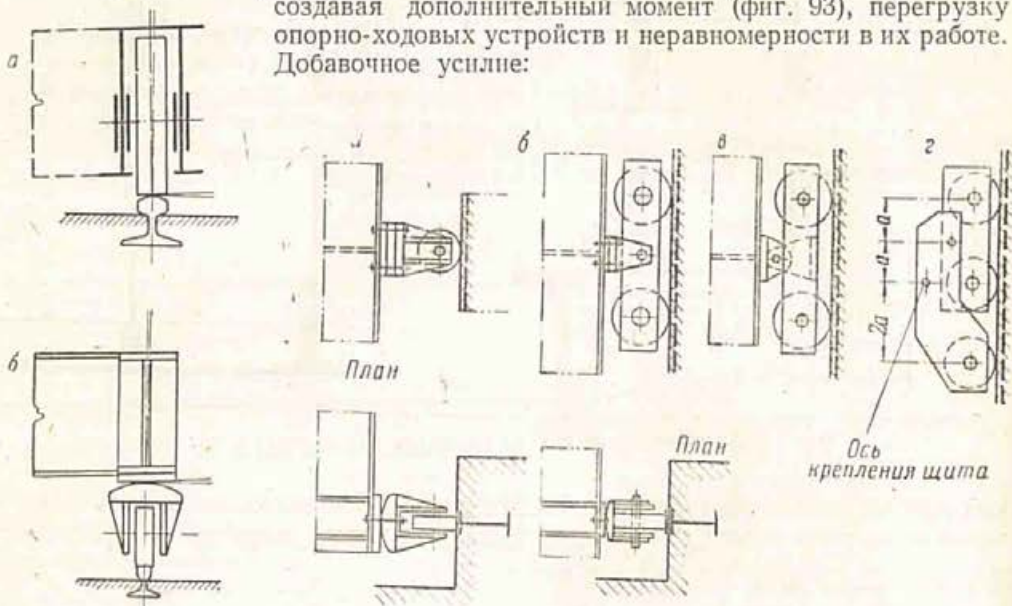
Фиг. 90. Опорные колеса на отдельных осях между стенками концевых стоек.

таких кареток сложнее предыдущих. Преимущество их—возможность применения колес меньшего диаметра и уменьшение ширины ниши.

Опираие затвора на тележку и крепление осей колес в тележке должно обеспечивать равную нагруженность всех колес (фиг. 92).

Недостаток опирания затвора непосредственно на оси тележек (фиг. 92, *в* и *г*) заключается в том, что при прогибе ригелей и повороте их опорных сечений происходит поворот осей и колес (фиг. 91). Давление от стенок на ось, от оси на колесо и от колеса на рельс начинает передаваться неравномерно, что ведет к неравномерному износу их.

Трение скольжения между колесом и рельсом, развивающееся при изменении длины затвора, оказывает большое сопротивление этим деформациям, создавая дополнительный момент (фиг. 93), перегрузку опорно-ходовых устройств и неравномерности в их работе. Добавочное усилие:



Фиг. 91. Прогиб ригеля:

*а* — вызывает поворот оси и колеса; *б* — не вызывает поворота колеса.

Фиг. 92. Опирание щита:

*а* — на колесо через отливку с цилиндрической поверхностью; *б* — на двухколесную тележку через тангенциальную подушку; *в* — на двухколесную тележку через глухую ось; *г* — то же, на трехколесную тележку.

$$N = T \frac{b}{c} = f P_k \frac{b}{c}, \quad (8)$$

где  $P_k$  — давление на колесо;  
 $f$  — коэффициент трения скольжения;  
 $b$  и  $c$  — размеры, показанные на фигуре 93.

Вследствие указанных недостатков опирание затворов непосредственно на оси колес или тележек производят при пролетах до 10 м.

При пролетах более 10 м для лучшей центровки опорного давления и для облегчения перемещения концов ригелей между затвором и тележкой помещают цилиндрические катки (фиг. 94). Тележки с такими устройствами называют балансирами. Балансирная тележка состоит из двух колес, литой, сварной или клепаной рамы и цилиндрического катка, зажатого между двумя плитами из литой (иногда ковanej) стали. Катки располагают под опорными узлами ригелей. Колеса тележек с вертикальными балансирами следует делать с ребордами.

При очень больших давлениях на тележку (сверх 250 т), чтобы обеспечить более равномерное загрузку отдельных колес, соединение рамы тележки с затвором осуществляют при помощи двух цилиндрических шарниров с взаимно перпендикулярными осями (фиг. 94, б).

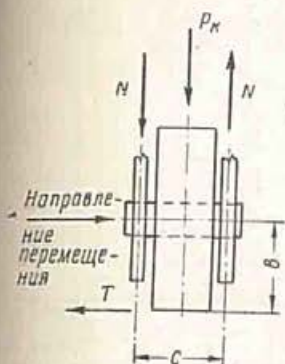
Конструкция литой балансирной тележки с двумя взаимно перпендикулярными цилиндрическими шарнирами представлена на фигуре 95 [11]. В левой части тележки расположено обратное колесо на подвижной оси.

Взамен двух цилиндрических шарниров возможно применение одного шарового шарнира. Рамы тележек в этом случае обычно делают литыми.

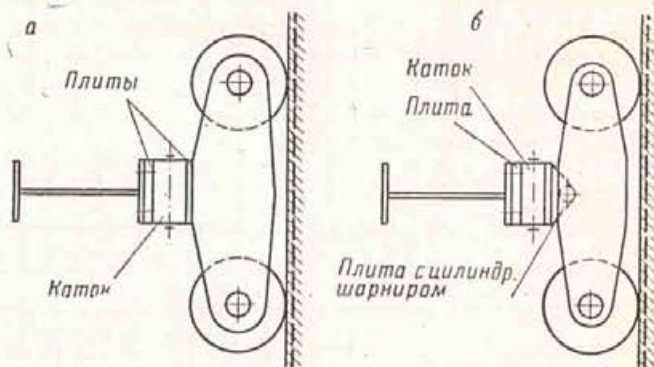
Изготовление их трудоемко и дорого. Проще изготавливать тележки с помощью сварки, отливая лишь более мелкие детали.

В случае размещения отливки, опираемой на каток, между стенками опорно-концевой стойки, эту отливку делают Н-образной формы, а в случае размещения ее снаружи стойки—П-образной или плоской.

При малом расстоянии между главными ригелями и относительно небольшим давлением на затвор, позволяющем обойтись всего двумя колесами с каждой стороны затвора, возможно устройство одной общей тележки под оба ригеля (фиг. 96). В этом случае ось колеса располагают под балансиrom, чтобы не создавать изгибающего момента в тележке. Соединение отливок, зажимающих каток, с опорно-концевой стойкой и с тележкой производят чистыми болтами.



Фиг. 93. Момент, возникающий от сил трения между колесом и рельсом, при изменении длины ригеля.



Фиг. 94. Опирание щита на тележку с помощью цилиндрических шарниров:  
а—одного; б—двух взаимноперпендикулярных.

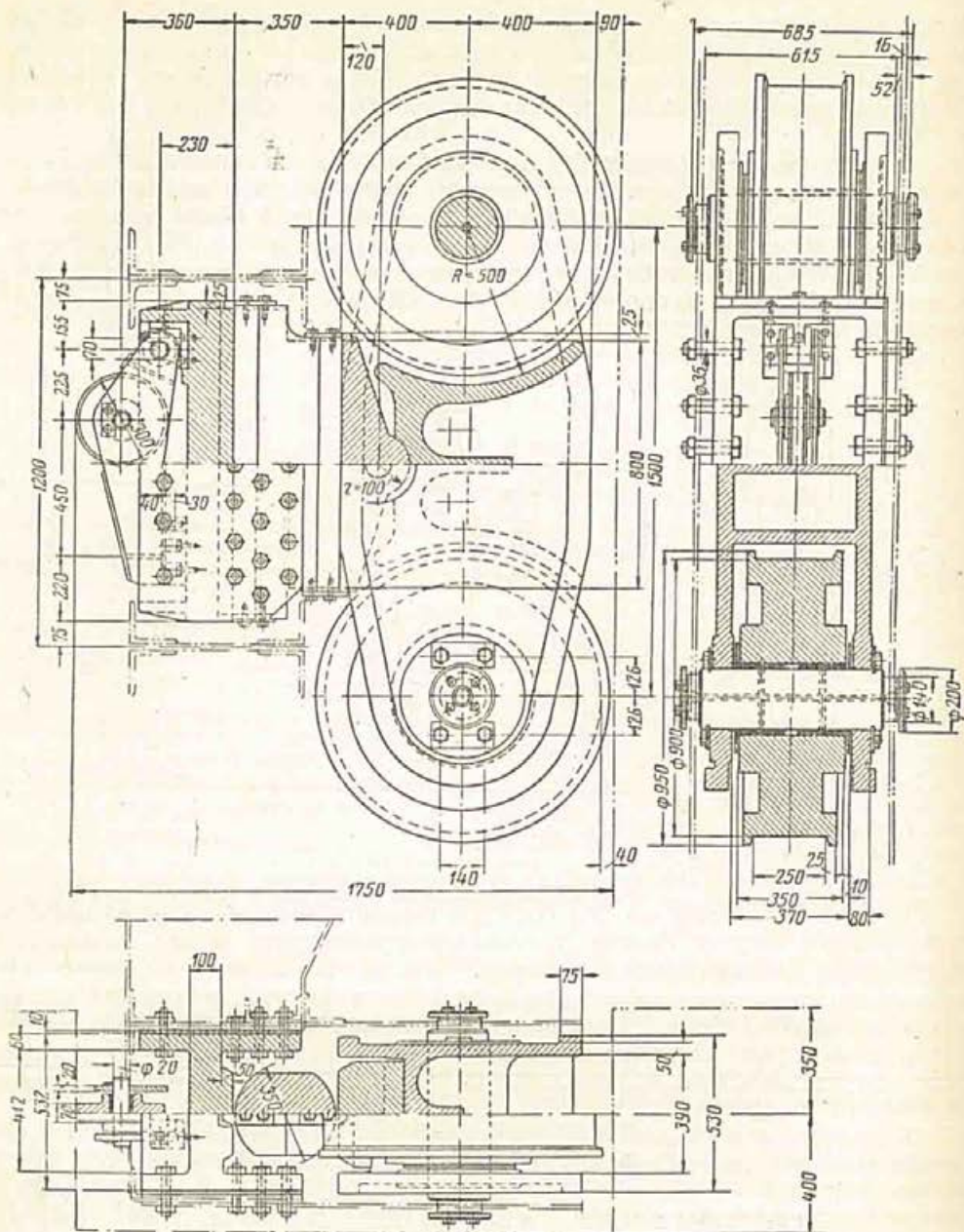
При движении затвора под большой гидростатической нагрузкой подобные тележки ведутся силами трения, развиваемыми между балансиrom и опорными плитами щита и тележки. При малом давлении на затвор или полном его отсутствии тележки удерживаются специальной консольной частью опорно-концевой стойки, так называемым водилом (фиг. 96,б). Чтобы водило не принимало участия в передаче давления воды на тележку, отверстие в нем для оси, соединяющей водило с рамой тележки, делают овальной формы, вытянутым по горизонтали.

Специальные меры должны быть приняты для того, чтобы каток балансира не мог сместиться вдоль своей оси; например, по его торцам ставят по планке («сухарю»), которые своими закругленными концами входят в специальные углубления, сделанные в верхней и нижней опорных плитах. Планку к катку крепят болтом, расположенным по оси катка. Взамен планок («сухарей») каток может быть снабжен по торцам ребрами, а плиты—соответствующими углублениями.

Колесные опорно-ходовые части плоских затворов следует рассчитывать с учетом возможной перегрузки их, вследствие внешней статической неопределенности конструкции относительно ее опор (опирание на 4 точки). Интенсивность перегрузки определяют в зависимости от величины допусков на установку опорно-ходовых частей щита и закладных частей (см. «Технические условия на изготовление и монтаж затворов гидротехнических сооружений» — ТУ—1—49 МЭС).

Размеры колес (фиг. 97):  $d$ —диаметр колеса и  $l_k$ —рабочую ширину обода колеса (длину линии касания колеса с рельсом),—определяют исходя из условия прочности на смятие по линии касания (свободное касание). Для случая касания цилиндрической поверхности с плоскостью проверка



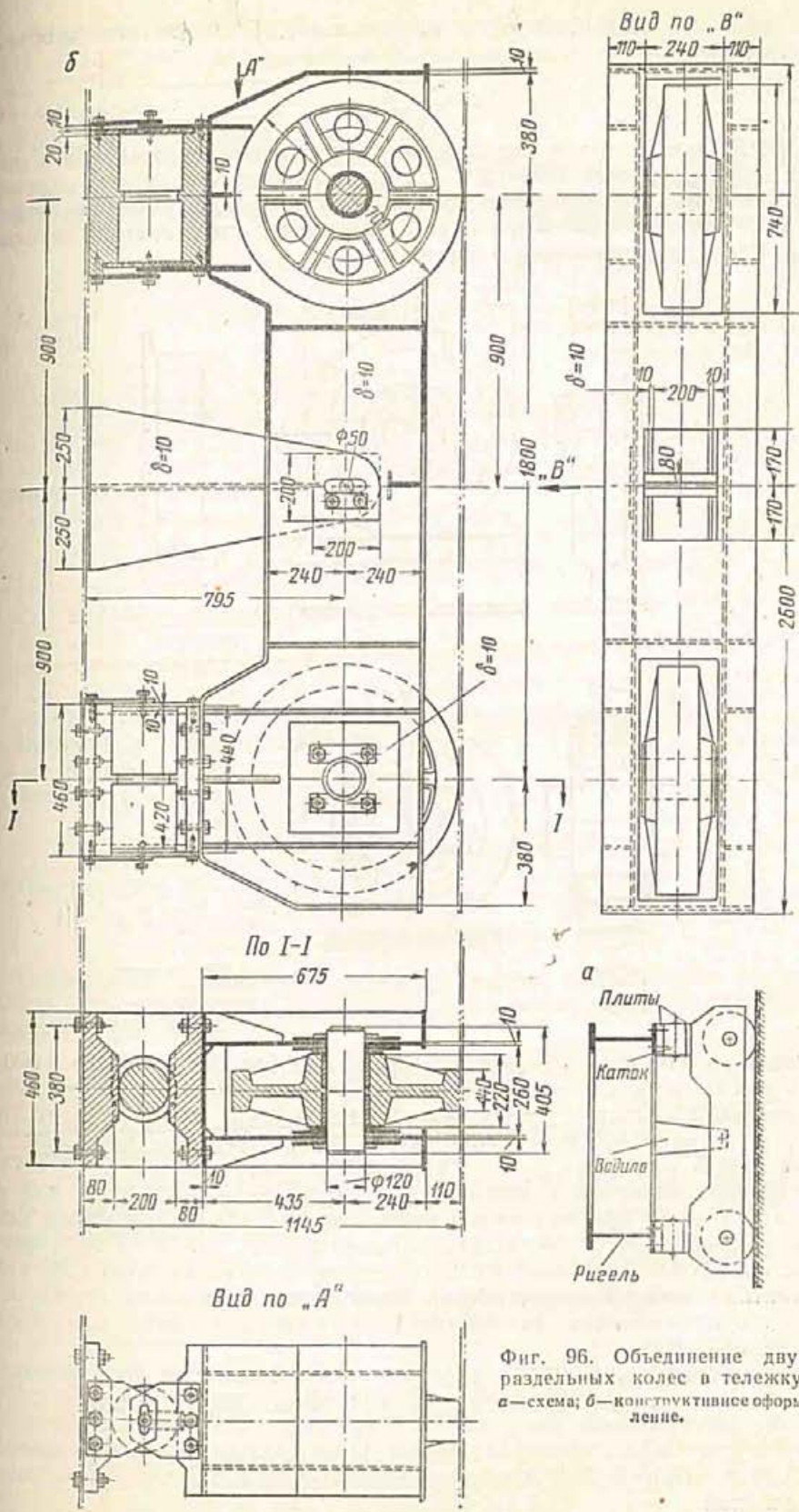


Фиг. 95. Балансирная тележка с двумя взаимно перпендикулярными шарнирами и с обратным колесом на подвижной оси.

на смятие сводится к очень простому вычислению [формула (9)], называемому в технической литературе расчетом на «диаметральное сжатие»:

$$\sigma = \frac{P_k}{d l_k} < [\sigma_{д.с}], \quad (9)$$

где  $P_k$  — давление, приходящееся на одно колесо (в кг);  
 $d$  — диаметр колеса (в см);  
 $l_k$  — длина линий касания обода колеса с рельсом (в см);  
 $[\sigma_{д.с}]$  — допускаемое напряжение при диаметральном сжатии.

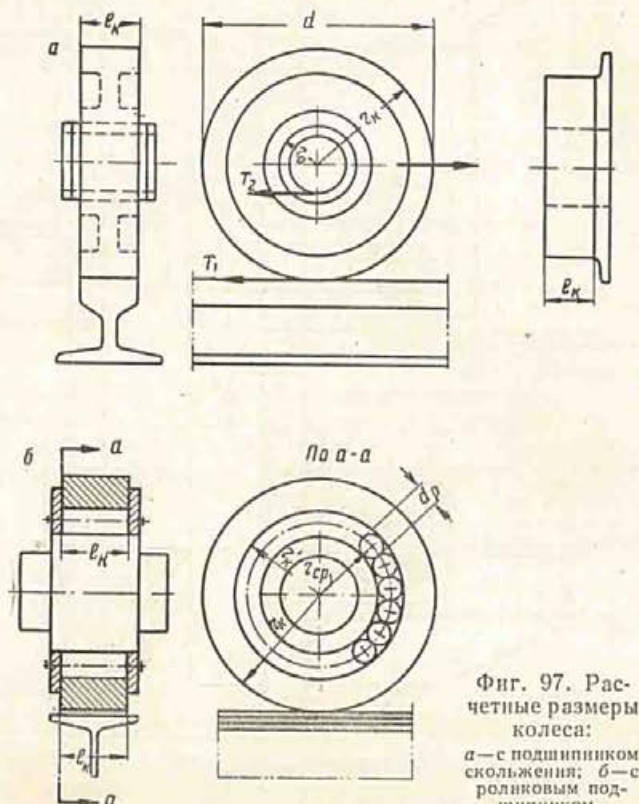


Фиг. 96. Объединение двух отдельных колес в тележку: а — схема; б — конструктивное оформление.

Задавшись величиной  $l_k$  и назначив  $[\sigma_{д.с}]$ , определяют требуемый диаметр колеса:

$$d = \frac{P_k}{l_k [\sigma_{д.с}]} \quad (10)$$

При выборе размеров ходовых колес необходимо учитывать, что уменьшение диаметра колеса приводит к существенному увеличению сопротивления движению затвора (сила трения обратно пропорциональна радиусу колеса). Уменьшение диаметра колеса приводит к уширению его и головки рельса; последнее увеличивает вес рельса.



Фиг. 97. Расчетные размеры колеса:

а — с подшипником скольжения; б — с роликовым подшипником.

Диаметр обычно применяемых колес колеблется от 300 до 1000 мм (редко до 1200 мм), ширина обода (длина линии касания) — от 80 до 150 мм, а в отдельных случаях — до 250 мм. Величина  $[\sigma_{д.с}]$  колеблется от 35 до 85 кг/см<sup>2</sup> в зависимости от марки стали:  $[\sigma_{д.с}] = 85$  кг/см<sup>2</sup> принимают для катков малой подвижности из стали НЛ2 и  $[\sigma_{д.с}] = 65$  кг/см<sup>2</sup> для Ст. 5.

Удельное давление, отнесенное к диаметральной плоскости, для подшипников и цапф при медленном вращении не должно превышать следующих величин: сталь по чугуну 25 ÷ 40 кг/см<sup>2</sup>, сталь по фосфористой бронзе 100 ÷ 200 кг/см<sup>2</sup> в постоянно действующих затворах и 125 ÷ 250 кг/см<sup>2</sup> в ремонтных затворах и в шандорах. Более высокие удельные давления допускают в подшипниках, находящихся вне воды, доступных для осмотра и регулярной смазки.

В целях экономии цветных металлов и уменьшения сил трения для втулок ходовых колес и вкладышей шарнирных опор затворов с коротковременно работающими гнездами трения, при непродолжительных циклах работы и длительных перерывах между ними следует применять древесно-слоистый пластик ДСП-Б с обязательной минеральной смазкой трущихся поверхностей.

Допускаемое удельное давление в указанном древопластике принимают: для втулок, вкладышей и т. п. с ограничителями торцов и при наличии минеральной смазки — 350 кг/см<sup>2</sup>; то же, без ограничителей торцов — 200 кг/см<sup>2</sup>.

Кроме проверки напряжений в колесе на диаметрально сжатие, необходимо проверить:

а) удельное давление во втулках

$$\sigma = \frac{P_k}{d_b l_b} \leq [\sigma], \quad (11)$$

где  $d_b$  — внутренний диаметр втулки (диаметр оси);

$l_b$  — рабочая длина втулки;

б) прочность оси на изгиб, как балки, несущей равномерно распределенную нагрузку;

в) смятие в местах закрепления оси колеса в стенках опорно-концевой стойки с учетом возможной неравномерности распределения опорного давления между стенками.

Ось колеса проверяют на изгиб по схеме, показанной на фигуре 98:

$$M = \frac{P_k}{2} \left( \frac{l}{2} + a - \frac{s}{2} \right) - \frac{P_k}{2} \cdot \frac{l_b}{4} = \frac{P_k}{8} (2l + 4a - 2s - l_b),$$

где  $P_k$  — давление колеса;

$l_b$  — длина втулки;

$s$  — зазор между втулками;

$l$  — длина ступицы;

$a$  — расстояние от краев втулки до направления реакций.

Величина  $a$  может быть принята равной 2—3 см, а  $s$  колеблется от 2 до 4 см.

Так как  $l_b = l - s$ , то

$$M = \frac{P_k}{8} (2l + 4a + 2s - l - s) = \frac{P_k}{8} (l + 4a - s). \quad (12)$$

Напряжения (при  $W = 0,1d^3$ ):

$$\sigma = \frac{P_k (l + 4a - s)}{0,8d^3} \leq [\sigma]. \quad (13)$$

Соппротивление движению в одном колесе складывается из трения качения колеса по рельсу  $T_1$  и трения скольжения между втулкой колеса и осью  $T_2$  (фиг. 97, а):

$$T = \frac{P_k (f r_0 + f_k)}{r_k}, \quad (14)$$

где  $P_k$  — давление, приходящееся на одно колесо (в кг);

$f$  — коэффициент трения скольжения (см. табл. 35);

$f_k$  — коэффициент трения качения, принимаемый равным 0,05 ÷ 0,10 см;

$r_k$  — радиус колеса (в см);

$r_0$  — радиус оси (в см).

Таблица 35

Коэффициенты трения скольжения  $f$  в подшипниках колес со стальной осью

Материал подшипников	Коэффициент трения
Бронза . . . . .	0,3
Баббит . . . . .	0,2
Древесно-слоистый пластик Б . . . . .	0,2 ÷ 0,16

Применение роликовых подшипников исключает трение скольжения у оси колеса. Сопротивление движению одного колеса при роликовых подшипниках складывается из трений качения роликов и собственно колеса:

$$T = \frac{P_k}{r_k} \left( \frac{r'_k}{d_p} f_{k.p} + f_k \right), \quad (15)$$

где  $r'_k$  — радиус внутреннего обода колеса;

$d_p$  — диаметр роликов;

$f_{k.p}$  — коэффициент трения качения у роликов.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

При одинаковых значениях коэффициента трения качения у роликов и колеса

$$T = \frac{P_k f_k}{r_k} \left( \frac{r'_k}{d_p} + 1 \right). \quad (16)$$

При определении размеров колеса с роликовым подшипником необходимо проверить прочность на смятие роликов, оси и внутренней поверхности обода колеса по формуле:

$$\sigma = \frac{P_k}{r_{cp} l'_k} \leq [\sigma_{д. с}], \quad (17)$$

где  $r_{cp}$  — радиус средней окружности роликового подшипника (фиг. 97,б);

$l'_k$  — длина линии касания ролика с колесом (или с осью).

Недостатки колес с роликовыми подшипниками заключаются в значительном усложнении конструкции, в возможности засорения подшипников наносами и в ржавлении их. Роликовые подшипники должны быть тщательно защищены от возможности засорения их наносами.

Силу трения при перемещении плоского затвора на катковых цепях (фиг. 83) или на катковых тележках (фиг. 82) определяют по эмпирической формуле:

$$T = 0,1P, \quad (18)$$

где  $P$  — полная нагрузка на затвор в направлении, перпендикулярном к плоскости движения.

Сопротивления движению в плоском затворе со скользящими опорами не из древопластика, с колесными опорами на обычных подшипниках и с колесными опорами на роликовых подшипниках находятся в соотношении:

$$f : \frac{f r_0 + f_k}{r_k} : \frac{f_k \left( \frac{r'_k}{d_p} + 1 \right)}{r_k},$$

дающем при обычных размерах и материалах:

$$1 : \left( \frac{1}{5} \div \frac{1}{7} \right) : \left( \frac{1}{20} \div \frac{1}{50} \right).$$

Выше были рассмотрены сопротивления сил трения, возникающие в ходовых колесах. Значительные силы трения могут возникнуть и в обратных колесах, прижатие которых к обратным путям обеспечено рессорами или резиновыми буферами. Нажатие рессор или буферов на обратные колеса увеличивает в соответствующей мере давления на ходовые колеса.

## НАПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Для обеспечения нормального положения подвижной части затвора (щита) в пазах при подъемах и опусканиях, для устранения перекосов и резких толчков, а также для уменьшения вибрации устанавливают обратные и боковые колеса, а в устоях (быках) — соответствующие им закладные направляющие части.

## 1. ОБРАТНЫЕ КОЛЕСА

Обратные колеса воспринимают горизонтальные силы:

а) возникающие вследствие несовпадения центра тяжести щита и равнодействующей  $T$  сил трения\* с вертикальной плоскостью, в которой расположены оси подвесов (фиг. 99,а):

$$R = \frac{Ge_1 + Te_2}{a}; \quad (1)$$

б) возникающие при загрузке нижней части щита, когда равнодействующая гидростатического давления находится ниже осей нижней пары ходовых колес или тележек (фиг. 99,б):

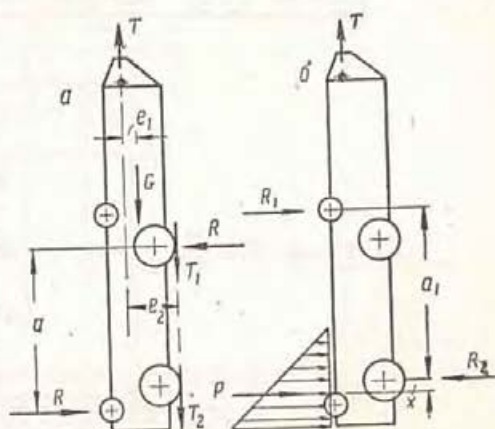
$$R_1 = \frac{Px}{a_1}; \quad (2)$$

в) возникающие при толчках и вибрации щита в процессе передвижения и др.

Обратные колеса в количестве четырех штук на затвор располагают со стороны, противоположной основным (ходовым) колесам, и вблизи последних.

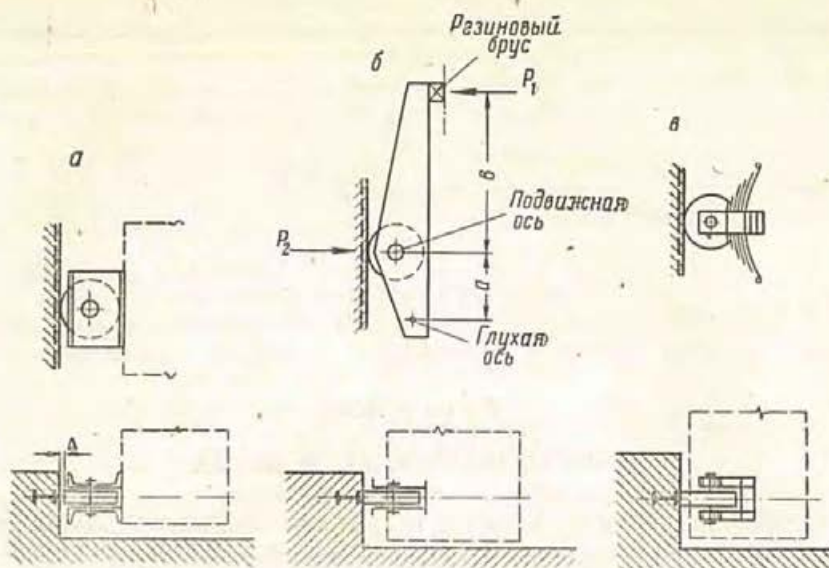
Обратное колесо может быть установлено или на неподвижной оси, наглухо закрепленной на щите (фиг. 100,а), или на подвижной оси (фиг. 100,б,в). Обратные колеса на глухих осях устанавливают с зазором  $\Delta = 15 \div 30$  мм между ободом колеса и соответствующей закладной частью. Установка обратных колес на подвижной оси обеспечивает постоянное соприкосновение их с закладными частями и упругое, плотноежатие щита в пазах быков.

\* На фигуре 99,а не показаны силы трения, развиваемые у обратных колес. Учет их уменьшит силу  $R$  [формула (1)].

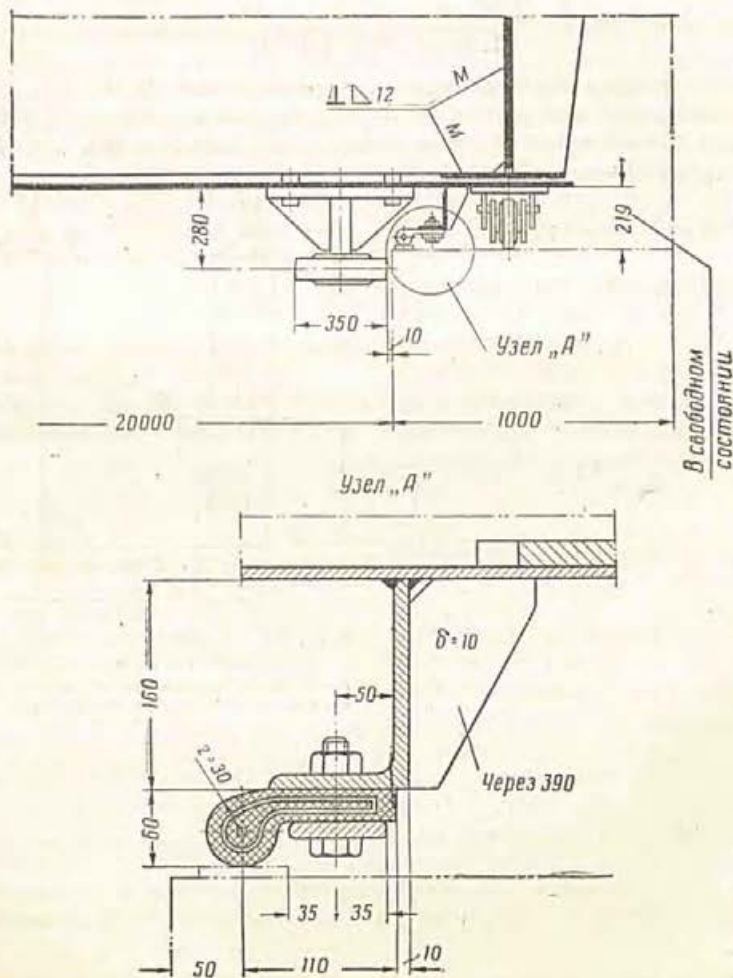


Фиг. 99. Горизонтальные силы, действующие на обратные колеса:

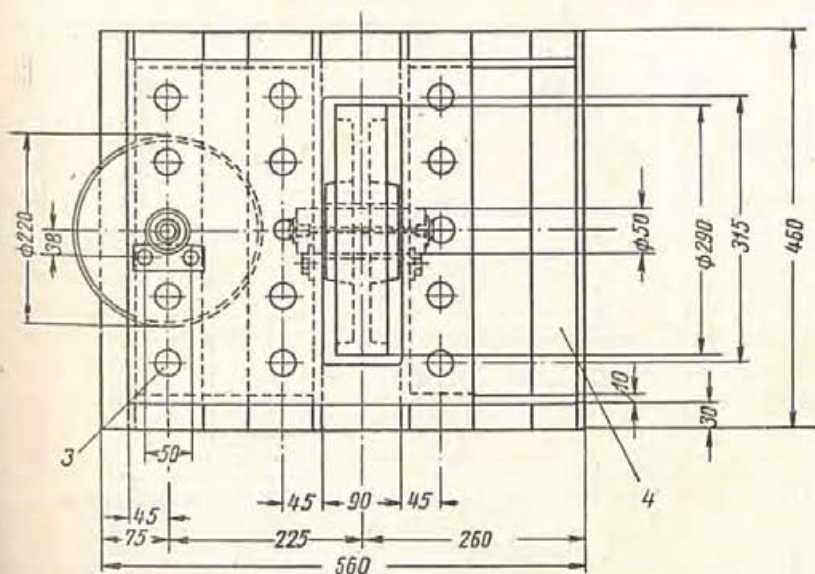
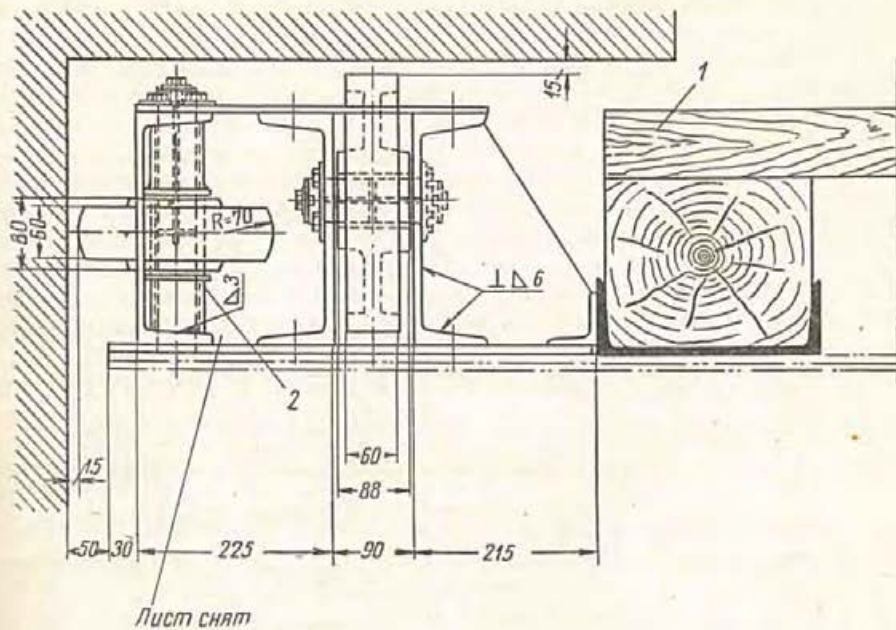
а — от несовпадения вертикальных сил с плоскостью подвесов; б — при загрузке только нижней части щита.



Фиг. 100. Схемы установки обратных колес:  
 а - на неподвижной оси; б - на подвижной оси с резиновым буфером или цилиндрической пружиной; в - то же, с рессорами.



Фиг. 101. Раздельное расположение обратного и бокового колес.



Фиг. 102. Совмещенное расположение обратного и бокового колес (закладные части не показаны):

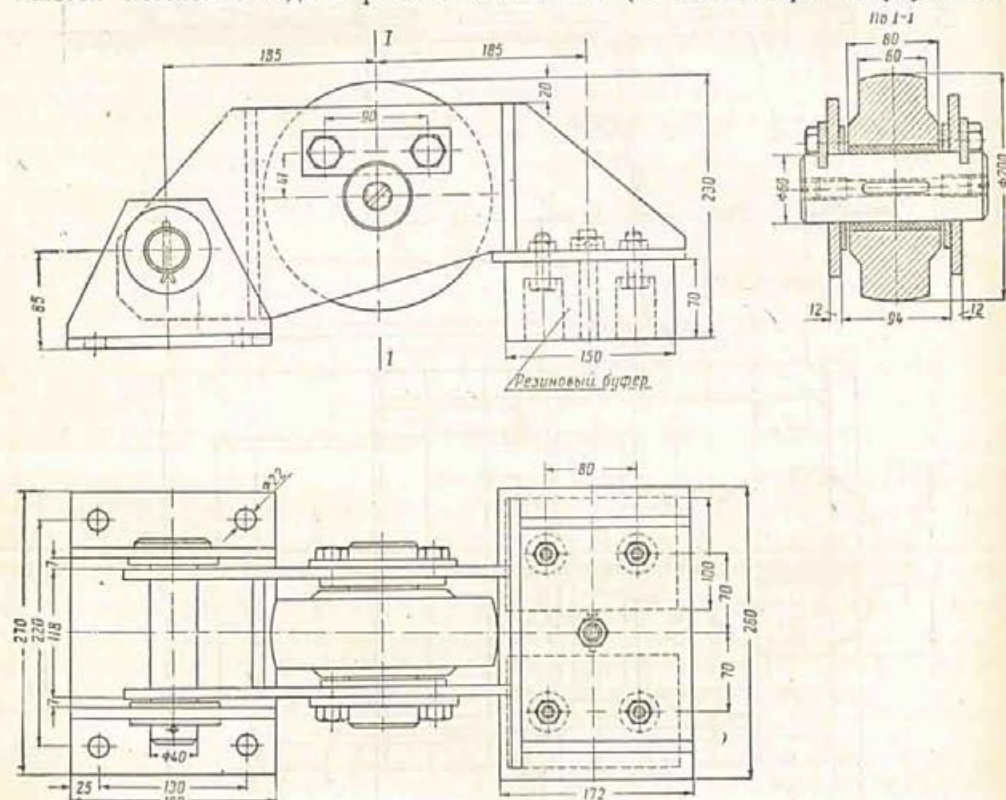
1—обшивка затвора; 2—распорная трубка с шайбой; 3—заклепка  $\phi 20$  мм; 4—угольник 65×8 мм.



Последнее устраняет резкие удары щита о закладные части и тем обеспечивает относительно плавные и уменьшенные колебания его. Резкие удары и толчки, возникающие при истечении воды из-под щита, вызывают расстройство соединений и механических деталей.

Упругоежатие подвижной части затвора в пазах достигается постановкой рессор, пружинных или резиновых буферов. Для того чтобы обеспечить постоянное плотное прижатие к закладным частям как ходовых, так и обратных колес, необходимо, чтобы сила нажатия на каждое обратное колесо, развиваемая рессорами или буферами, была не меньше горизонтальных сил, возникающих при перекосах и качании щита, а также при его вибрации. Величина этих сил пока не поддается теоретическому вычислению и принимается на основе опытных данных в пределах 20—40 т (на весь затвор) в больших глубинных затворах и 6—12 т в средних и малых глубинных затворах и в больших поверхностных. В поверхностных затворах при высоте напора до 6 м и пролетах до 20 м применяют обратные колеса на неподвижных осях.

Если из-под поверхностных затворов средних и больших пролетов допускается истечение воды в рабочем состоянии (не только при непрерывном

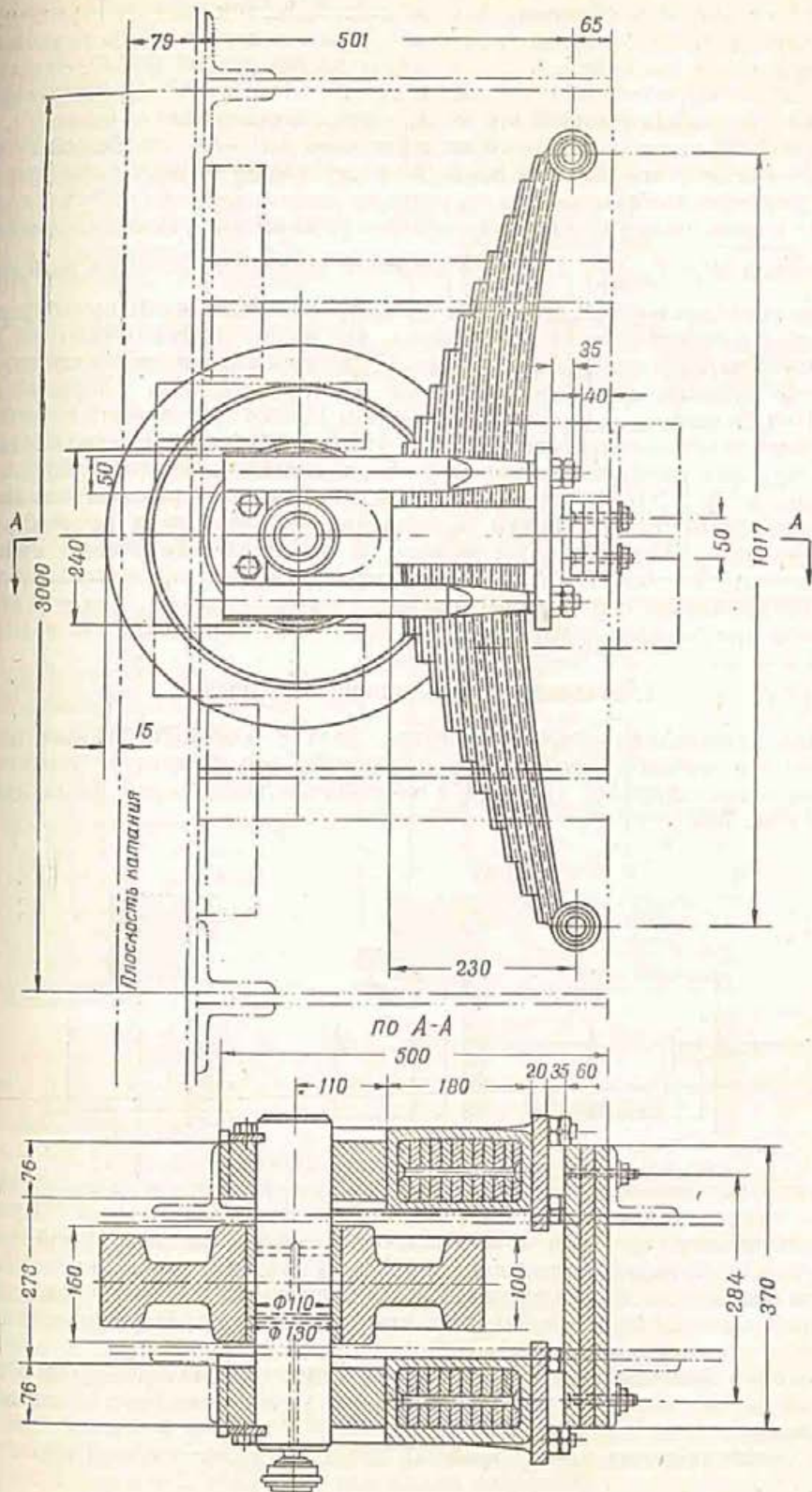


Фиг. 103. Крепление обратного колеса на подвижной оси с резиновым буфером.

подъеме или опускании), то обратные колеса таких затворов следует осуществлять на подвижных осях с принудительным постоянным прижимом.

Диаметр колес на неподвижных осях назначают от 150 до 350 мм, а ширину ходовой части колеса от 60 до 80 мм. Глухие оси колес закрепляют на опорно-концевой стойке так, чтобы ободы колес несколько выступали наружу из стальной конструкции (с напорной стороны).

Пример раздельного расположения обратного и бокового колес показан на фигуре 101. Между ними в пазу помещено вертикальное уплотнение. Пример совмещенного расположения обратного и бокового колес при деревянной обшивке показан на фигуре 102 [11].



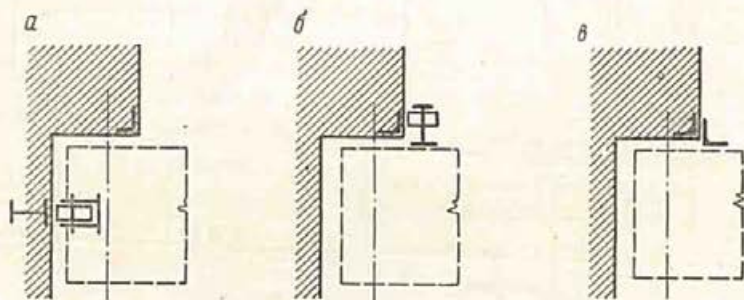
Фиг. 104. Рессорное крепление обратного колеса.

Подвижную ось обратного колеса при буферном нажатии размещают на рычаге (фиг. 100, б и 103), один конец которого закреплен на глухой оси, а второй оперт на буфер. Теоретическую длину рычага ( $a+b$ ) назначают от 300 до 900 мм, а соотношение плеч  $a : b$  от 1 : 1 до 1 : 2,5. Буфером служат или цилиндрическая стальная пружина, развивающая усилие от 0,5 до 1 т, или резиновый брус толщиной 50—70 мм и шириной 100—200 мм. Величину монтажного (начального) обжатия пружины и резинового буфера назначают так, чтобы получить требуемую силу  $P_2$  нажатия колеса. Величину обжатия определяют в зависимости от упругих качеств пружины или резины. Сжимающая буфер сила  $P_1 = P_2 \frac{a}{a+b}$ . Обычно величина начального обжатия резинового буфера колеблется от 10 до 20 мм. Диаметр обратных колес при буферном нажатии колеблется в тех же пределах, что и при глухих осях.

Ось обратного колеса при рессорном нажатии закрепляют в подвижном стакане, который может перемещаться в горизонтальных направляющих (фиг. 104). Закрепление концов самой рессоры должно обеспечивать их подвижность в вертикальном направлении. Для этого возможно устройство овальных цапф, круглых цапф, диаметром на 3—5 мм больше диаметра концевой оси рессоры, и др. Степень начального обжатия листовой рессоры назначают в зависимости от требуемой силы  $P_2$  нажатия обратного колеса и от жесткости самой рессоры. Обычно обжатие рессоры на 30—45 мм обеспечивает нажатие на колесо силой от 6 до 10 т. Обжатие рессоры происходит при опускании щита в паз (под влиянием сил тяжести) благодаря нажатию колеса. Диаметр обратных колес при рессорах колеблется от 350 до 600 мм, а ширина доходит до 120 мм.

## 2. БОКОВЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Для устранения возможности схода щита с основных ходовых путей, касания его торцов с бетоном опор и заклинивания его в пазах устанавливают боковые направляющие устройства, а в опорах соответствующие им закладные части (фиг. 78).



Фиг. 105. Расположение боковых направляющих устройств: а—колесных в пазу; б—колесных вне пазу; в—скользящих вне пазу.

В секционных затворах возможно горизонтальное смещение одной секции по отношению к другой вдоль пролета. Четыре боковых колеса, поставленные на весь щит из нескольких секций, таким смещениям не оказывают должного сопротивления. Для устранения этих смещений следует в пределах опорно-концевых стоек секций устраивать специальные упоры.

Затворы желательно снабжать устройствами, сигнализирующими о перекосах и автоматически останавливающими в случае надобности подъемные механизмы.

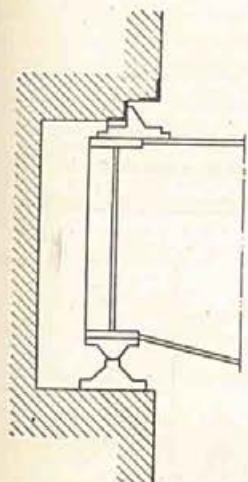
Боковые направляющие устройства могут быть скользящими или колесными.

Направляющие устройства (в количестве 4 штук на щит) устанавливают или на торцах щита (фиг. 105, а), или по бокам его со стороны верхнего (ниж-

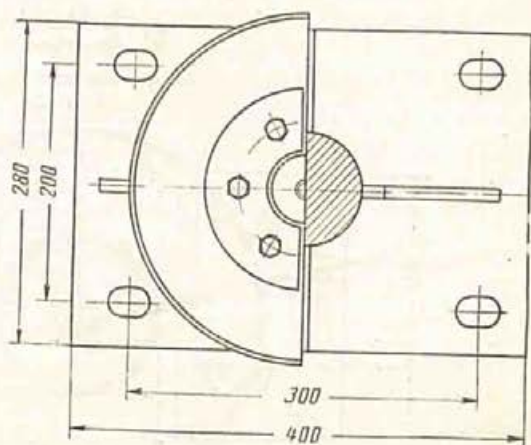
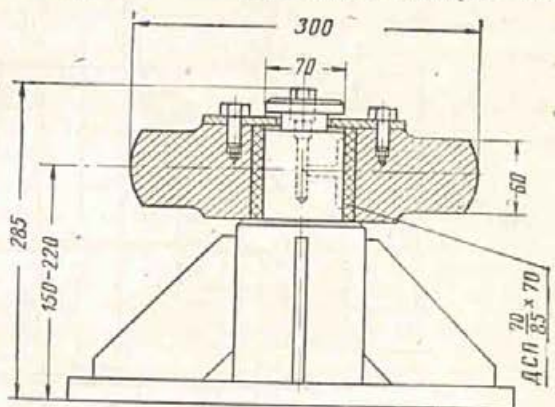
него) бьефа (фиг. 105, б, в). Во втором случае отпадает необходимость в устройстве специальных закладных частей, так как роль последних играют стальные уголки, заложенные в бетонную кладку для предохранения ее прямых углов от повреждения.

Боковые направляющие устройства со стороны верхнего бьефа располагают на концевой стойке или на обшивке, а со стороны нижнего бьефа — на поясах ригелей. Направляющие устройства на торцах затворов крепят или на стеновые направляющие устройства. В глубинных затворах боковые направляющие устройства следует располагать на торцовых сторонах. Расположению их со стороны верхнего или нижнего бьефа могут препятствовать забральные бетонные балки.

Расстояние по вертикали между боковыми направляющими устройствами следует назначать возможно большим. Это приводит к уменьшению усилий, приходящихся на каждую деталь.



Фиг. 106. Скользящие совмещенные направляющие устройства.



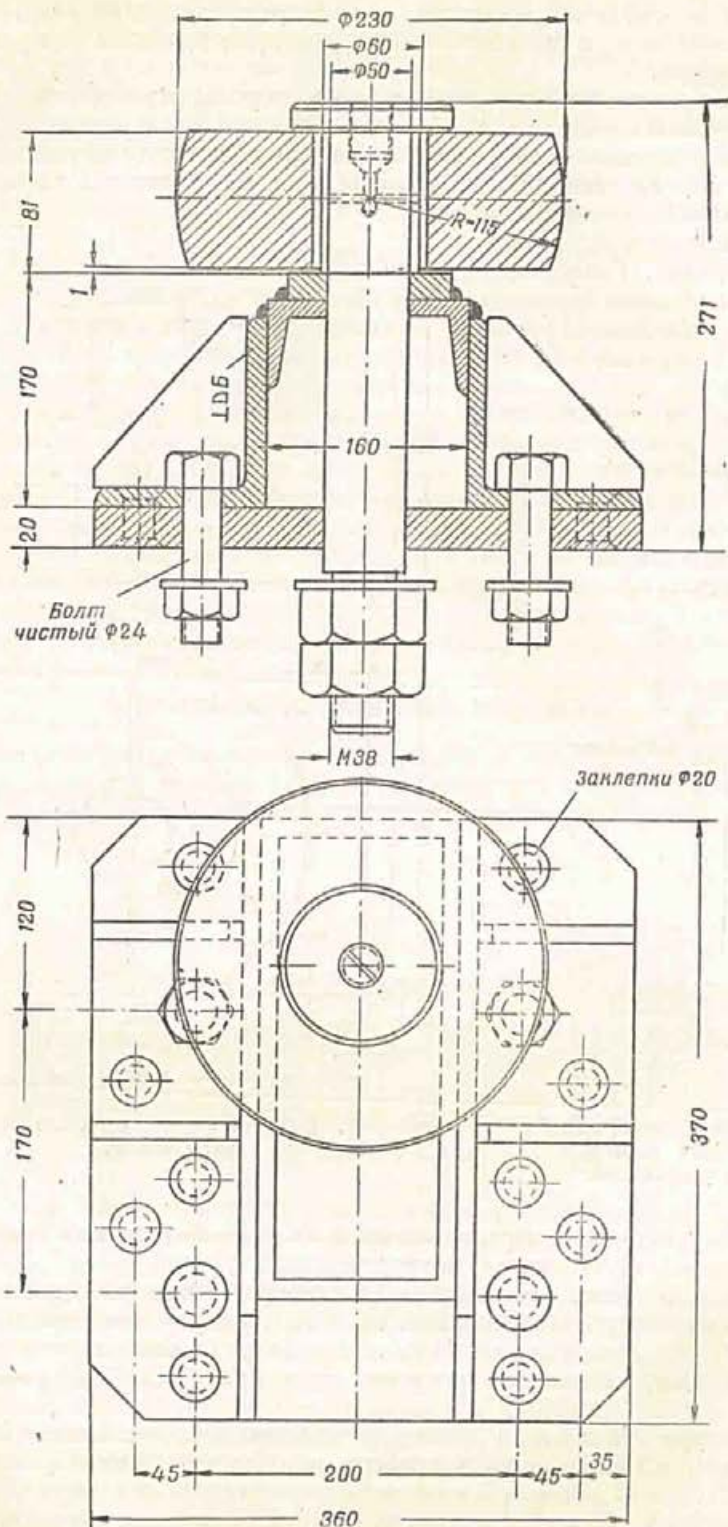
Фиг. 107. Боковое колесо на кронштейне, привариваемое.

В малых затворах, перемещаемых в спокойной воде или при перепадах примерно до 1 м, боковыми направляющими устройствами служат четыре угольковых коротыша, помещенные на обшивке (фиг. 105, в). Выступающие полки коротышей-уголков скользят по стальным уголкам, предохраняющим углы кладки от повреждения. Иногда взамен угольковых коротышей на консолях помещают специальные отливки с цилиндрической наружной поверхностью.

На фигуре 106 показан пример устройства и расположения скользящих совмещенных направляющих устройств (обратных и боковых), примененных в затворе большого пролета и напора со скользящими ходовыми опорами.

На фигурах 107 и 108 показаны боковые колеса на кронштейне.

После установки и выверки положения кронштейна его приваривают или прибалчивают к металлической конструкции цита. Крепление боковых колес на кронштейнах и на консольных осях должно обладать большой жесткостью.



Фиг. 108. Боковое колесо на кронштейне с болтовым креплением.

77

Размеры боковых колес назначают конструктивно и расчетом не проверяют. Диаметр колес колеблется в зависимости от размера и веса затвора в пределах 150—500 мм, а ширина 35—100 мм. Рабочую поверхность колес делают выпуклой, очерчивая ее радиусом, немного большим ширины колеса.

Имеются рекомендации рассчитывать каждое боковое колесо на нагрузку, равную 5% от полного горизонтального давления воды на затвор при глухой заделке осей ходовых колес и равную 1% от того же давления при наличии вертикальных цилиндрических шарниров между осями и ходовыми колесами.

Между боковыми направляющими устройствами и их закладными частями оставляют зазоры от 10 до 25 мм. Величина этих зазоров должна быть меньше возможного безвредного перемещения боковых уплотнений. В противном случае при смещении щита в одну сторону\* вся нагрузка передается на боковое уплотнение, а не на боковые направляющие устройства. В результате может произойти повреждение уплотнения.

Чтобы обеспечить соблюдение требуемых зазоров между закладными частями и боковыми направляющими устройствами, установку последних обычно производят на месте монтажа всего затвора [2].

\* Как говорят, при навале щита на бок.

## Глава XIV

### УПЛОТНЕНИЯ

Для перекрытия зазоров между подвижной частью затвора и опорами устанавливают вертикальные (боковые) и горизонтальные уплотнения. В зависимости от места расположения и назначения горизонтальных уплотнений различают донные (нижние) уплотнения, верхние—в глубинных затворах и промежуточные—в затворах с клапаном, в сдвоенных и секционных. Окончательную установку уплотнений на подвижной части затвора обычно производят во время монтажа, чтобы обеспечить тщательную подгонку их к соответствующим закладным частям. Особого внимания требуют места сопряжения вертикальных и горизонтальных уплотнений.

Работу донных уплотнений обычно обеспечивает нажатие силы тяжести (веса) щита; в редких случаях добавляется балласт или давление воды. Работу боковых и верхних уплотнений в подавляющем большинстве случаев обеспечивает давление воды верхнего бьефа, прижимающее уплотнения к закладным частям.

Значительно реже применяют уплотнения, прижатие которых к закладным частям обеспечивают внешние силы, механический привод. Последний применяют главным образом для уплотнений глубинных затворов, работающих при выровненных бьефах.

В строительстве последних лет для уплотнений наиболее часто применяют износоустойчивую и морозоустойчивую литую резину: полосовую, брусковую и фасонную. Работа боковых и верхних резиновых уплотнений обеспечивается давлением воды, донных—весом конструкции, а промежуточных—в зависимости от конструкции—или давлением воды, или весом выше лежащих частей.

Резиновые уплотнения являются наилучшими. Их относительно легко подогнать к закладным частям, устанавливаемым, как известно, со значительно большими допусками, чем ходовые пути. Резиновые уплотнения обеспечивают наименьшую фильтрацию воды.

Резина, предназначенная для уплотнений, должна иметь предел прочности на разрыв не менее  $45 \text{ кг/см}^2$  при относительном удлинении не менее 300% и остаточном—не более 40%. Допускаемое давление на резину не более  $12 \text{ кг/см}^2$ . Деформации образца при напряжении  $3\text{--}5 \text{ кг/см}^2$  составляют около 20%, а при  $9\text{--}12 \text{ кг/см}^2$ —40%. Резина должна быть морозостойкой при температуре до  $-30^\circ$ .

Морозостойкость резины проверяется при толщине изделия не более 15 мм изгибом полосы длиной 150 мм до соприкосновения, а при толщине 20 мм и более сжатием образца сечением  $4 \text{ см}^2$  и более до 25% первоначальной толщины.

Вид фигурных профилей резины для уплотнений, изготавливаемых отечественными заводами, показан на фигурах 109, 110а и 110б.

Профили Р-образный (тип II—фиг. 109) и уголкового (тип III—фиг. 110а) имеют постоянное по длине сечение, профиль О-образный (тип I—фиг. 110б)

имеет периодически повторяющиеся по его длине большие отверстия в тонкой части. Эти отверстия обеспечивают нажатие воды на утолщенную круглую часть уплотнения и возможность крепления последнего болтами (см. далее фиг. 114,а).

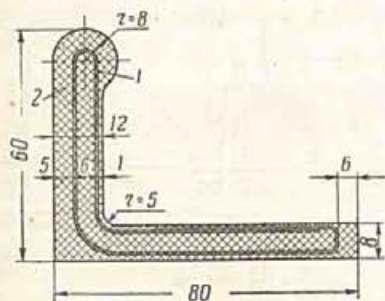
Вес 1 пог. м резинового уплотнения Р-образного профиля (тип II)—6,6 кг, О-образного (тип I)—3,5 кг и уголкового (тип III)—1,9 кг. Минимальная длина резиновых уплотнений—20 м, максимальная длина не ограничена.

Р-образный профиль, показанный на фигуре 109, пользуется в современном строительстве наибольшим распространением. Его применяют для боковых и верхних уплотнений. Некоторым недостатком Р-образного профиля является его большая жесткость и относительно малая ширина.

Уголкового профиля (фиг. 110а) применяют преимущественно для боковых уплотнений в сегментных затворах. Он может быть применен и в плоских затворах в случаях расположения вертикальных уплотнений в пролете, а не в пазах. Значительная ширина этого профиля, относительно малая жесткость и легкая деформируемость его обеспечивают надежность работы уплотнения и при больших горизонтальных перемещениях плоских затворов (при «навале на бок»).

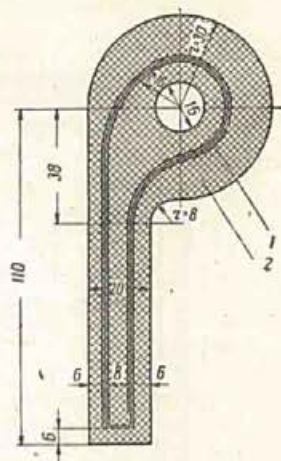
Донные уплотнения обычно осуществляют из полосовой резины, зажатой с трех сторон в обойме, образованной обшивкой, обвязкой и специальным уголком (фиг. 111). Полоса резины в этом случае служит опорной частью щита в закрытом состоянии затвора. Получаемая при этом узкая нижняя полоса щита резко уменьшает явления «выпора», «подсоса» и устраняет возможности образования вакуума под самим уплотнением. В затворах, поднимаемых над порогом, донное уплотнение всегда следует располагать у обшивки, что улучшает условия протекания воды под щитом.

Для надежного действия донного уплотнения удельное давление на уплотняющую поверхность резины



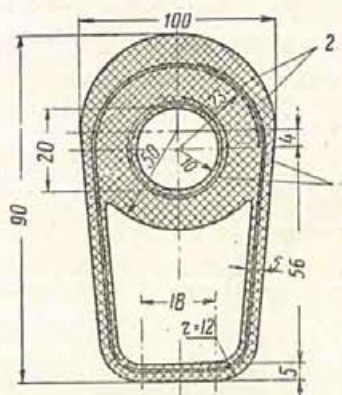
Фиг. 110а. Уголкового фасонного профиля резины:

1—двухслойная матерчатая армировка; 2—резины.



Фиг. 109. Р-образного фасонного профиля резины:

1—трехслойная матерчатая армировка; 2—резины.



Фиг. 110б. О-образного фасонного профиля резины:

1—двухслойная матерчатая армировка; 2—резины.

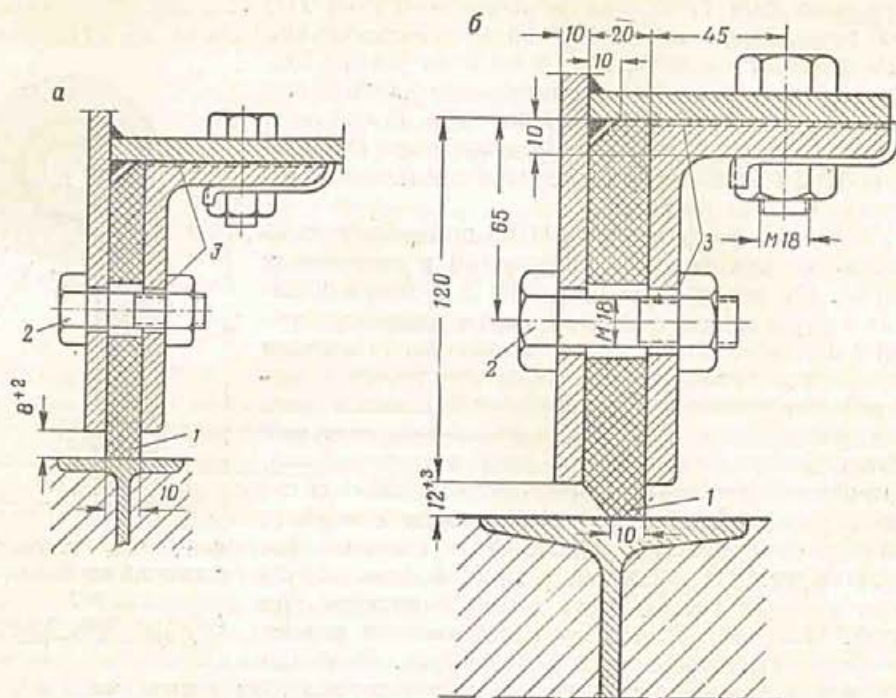
должно быть более 5 кг/см<sup>2</sup>. При этом вертикальная деформация полосы резины составляет около 2—3 мм. При толстых полосах резины для получения большего удельного давления на основание такой полосы одну нижнюю кромку ее срезают наискось (фиг. 111,б).

Донные уплотнения, осуществленные из Р-образной профильной резины, показанные на фигуре 112, работают хуже, чем уплотнения с полосовой резиной. В уплотнении по фигуре 112,а возможен значительный «подсос» в приподнятом положении затвора.



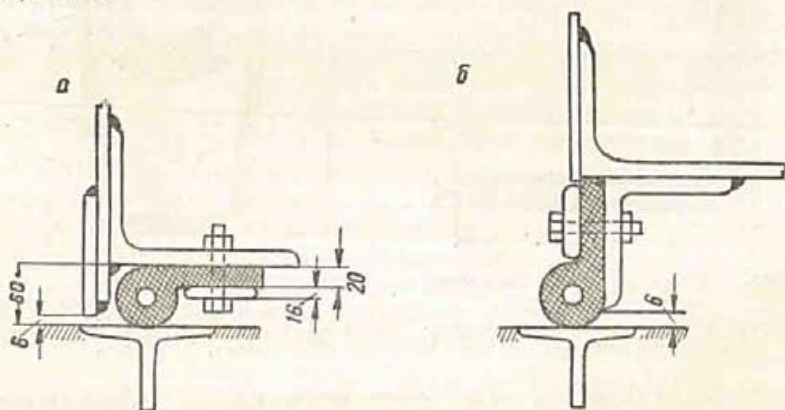
Расположение бокового и донного резиновых уплотнений поверхностного затвора показано на фигуре 113.

Вертикальные резиновые уплотнения поверхностных затворов устанавливаются на обшивке так, чтобы все части затвора были вне воды (при отсут-



Фиг. 111. Рекомендуемые донные уплотнения из полосовой резины: а—при напоре до 10 м; б—при большем напоре. 1—резиновая полоса, плотно пригоняемая к порогу до затяжки болтов; 2—болты с шагом 200—250 мм; 3—замазка на сурьме.

ствии воды в нижнем бьефе). Многие чертежи резиновых уплотнений и ряд рекомендаций по их применению заимствованы из брошюры инженера ЛПК Гидростальпроекта Б. М. Шур «Уплотнения затворов гидросооружений», ВНИТОЭ, 1953.

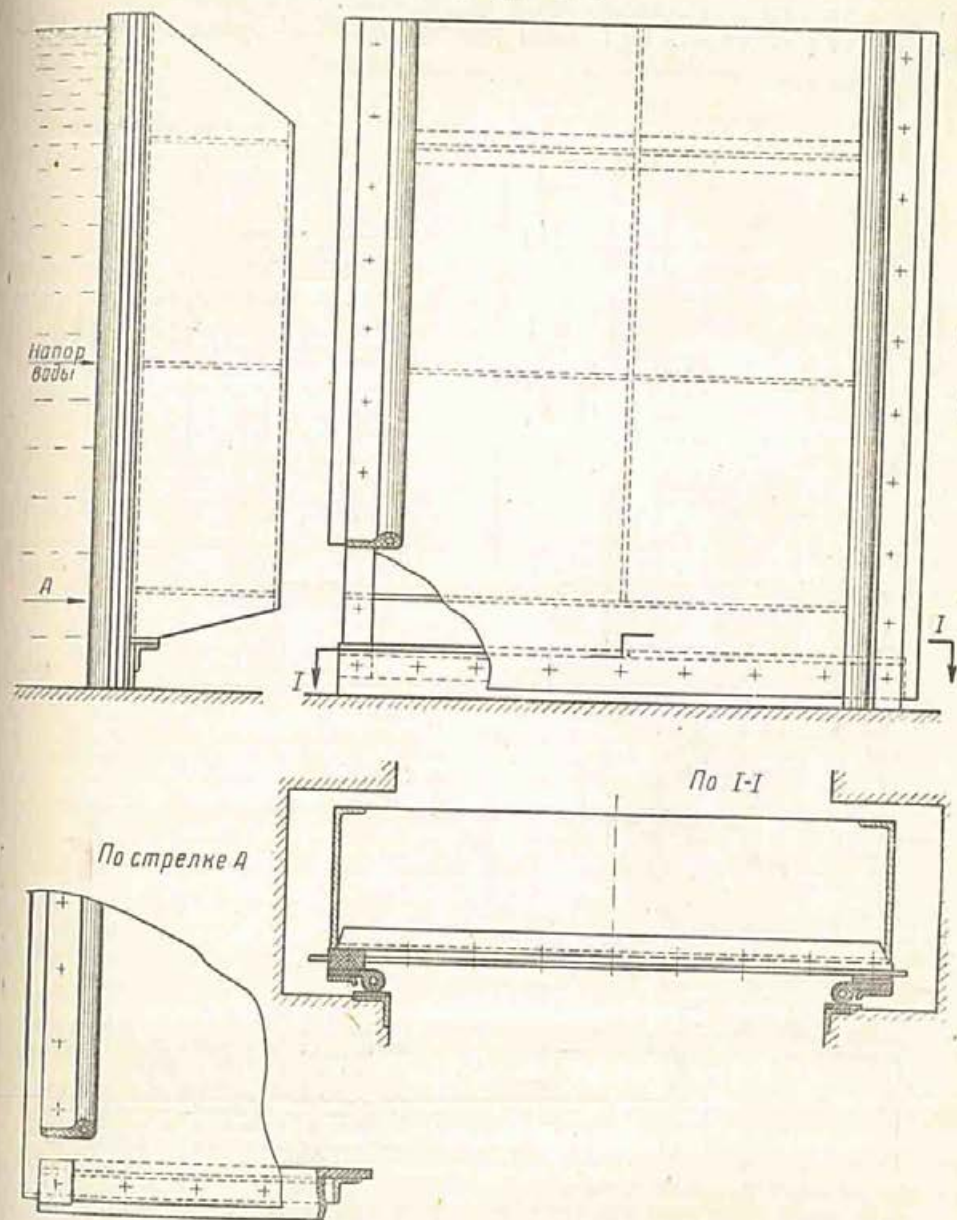


Фиг. 112. Донные уплотнения из P-образной профильной резины (не рекомендуются).

Детали боковых уплотнений из профильной резины даны на фигуре 114.

На фигуре 115 показаны детали сопряжения вертикального уплотнения с нижним горизонтальным. Это сопряжение осуществлено с помощью резиновой прокладки (обшивка в этом месте вырезана).

Расположение резиновых уплотнений на глубинном затворе показано на фигуре 116. Детали горизонтальных верхних уплотнений из Р-образной резины показаны на фигуре 117. Сопряжение вертикального уплотнения с нижним горизонтальным показано на фигуре 118.

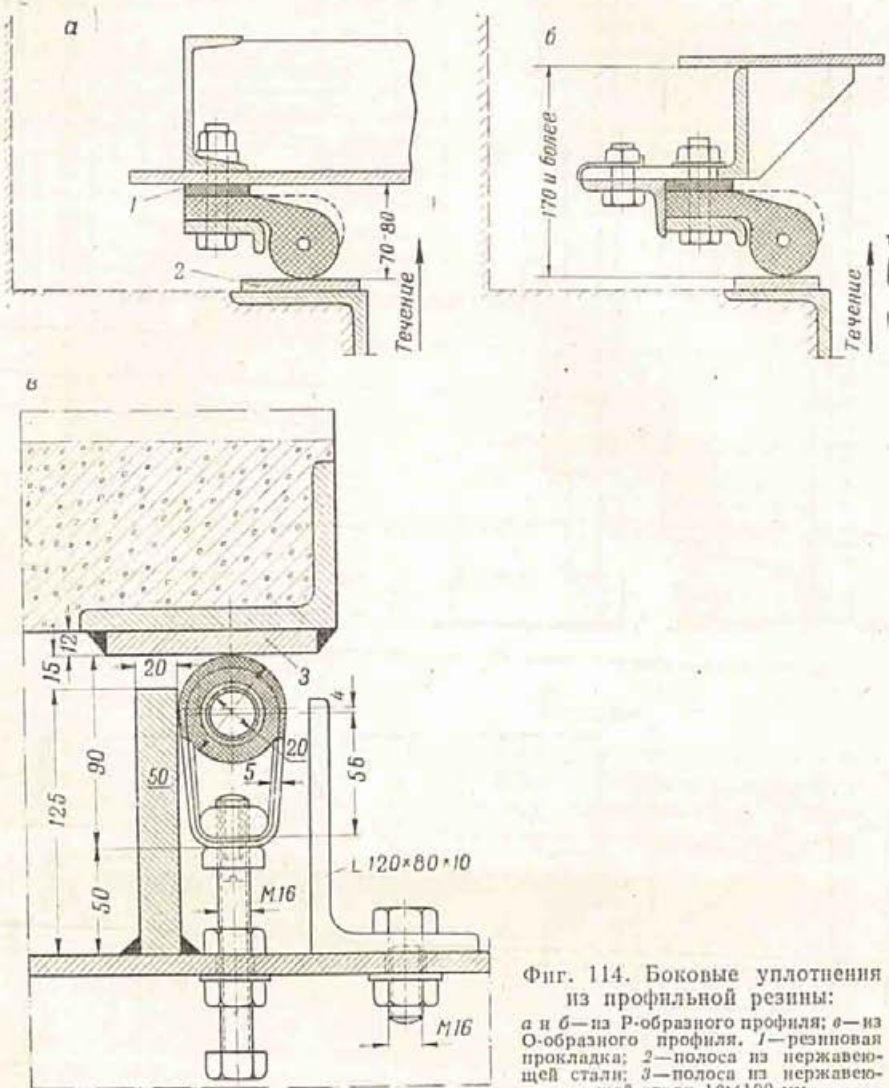


Фиг. 113. Расположение бокового и донного резиновых уплотнений на поверхностном затворе.

Вертикальные уплотнения погруженных затворов следует располагать в одной плоскости с верхним горизонтальным уплотнением для получения контура уплотнений в виде плоской непрерывной П-образной рамки. Переход Р-образного профиля резины с горизонтального в вертикальное положение осуществляют плавным закруглением. В углах плоской части профиля делают треугольный вырез. Места срезов следует доводить до плотного соприкосновения. Желательна склейка их. Соединение горизонтального и вертикального

резиновых уплотнений не следует делать под прямым углом с обрезкой резины «в ус».

Осуществление такого стыка требует исключительно точной резки резины и представляет значительные трудности. Кроме того, даже при тщательной пригонке в таких стыках наблюдается фильтрация. Стык резинового уплотнения следует располагать на прямом участке. Изгибать резиновый профиль



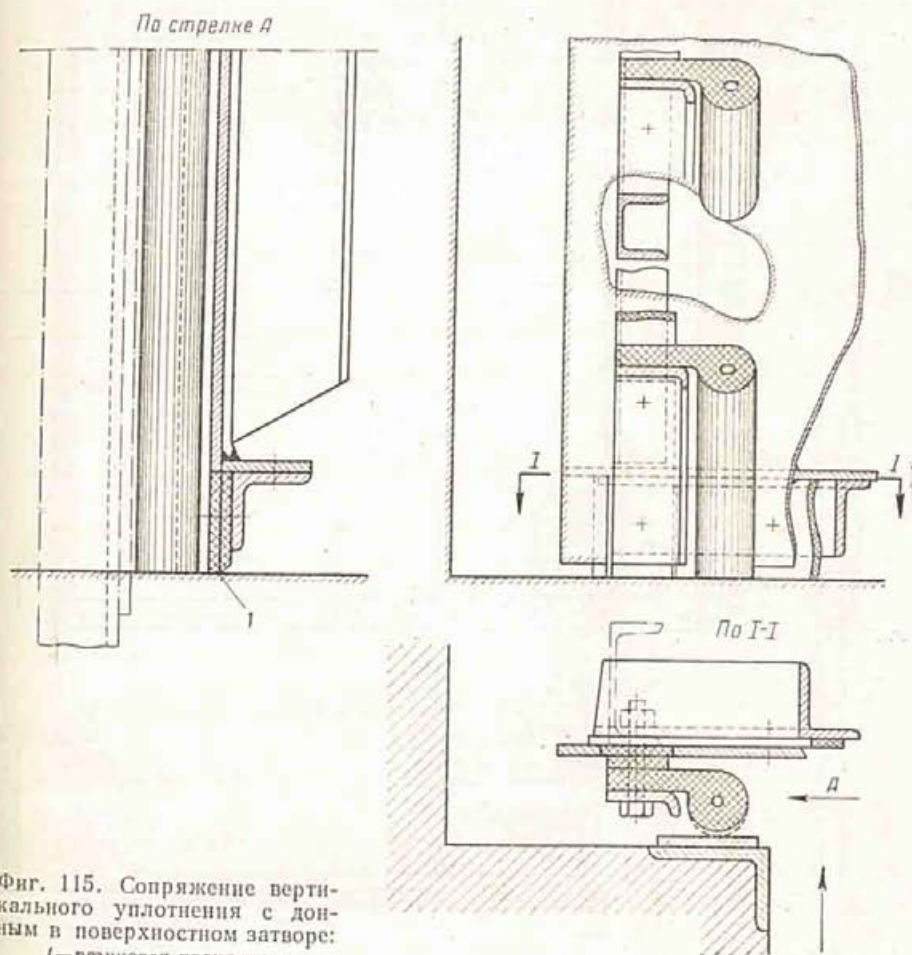
Фиг. 114. Боковые уплотнения из профильной резины: а и б—из P-образного профиля; в—из O-образного профиля. 1—резиновая прокладка; 2—полоса из нержавеющей стали; 3—полоса из нержавеющей стали 12×100 мм.

под прямым углом не следует—в таких местах образуются или складки (у внутренней стороны угла), препятствующие плотному прилеганию, или трещины и разрывы резины (у внешней стороны угла).

В случае расположения верхнего уплотнения по фигуре 119, а (перед забральной стенкой) это уплотнение при прогибе конструкций затвора от гидростатической нагрузки будет прижиматься к армировке забрала и дополнительно уплотняться. Наоборот, при расположении верхнего уплотнения за забральной стенкой (фиг. 119, б) при прогибе конструкций затвора уплотнение будет отходить от армировки забрала. При больших пролетах затворов и больших нагрузках это обстоятельство необходимо учитывать. В этом случае верхнее уплотнение следует осуществлять по фигуре 120. Уплотнения по

фигуре 117,б следует применять при ожидаемых горизонтальных прогибах затвора не более 10 мм.

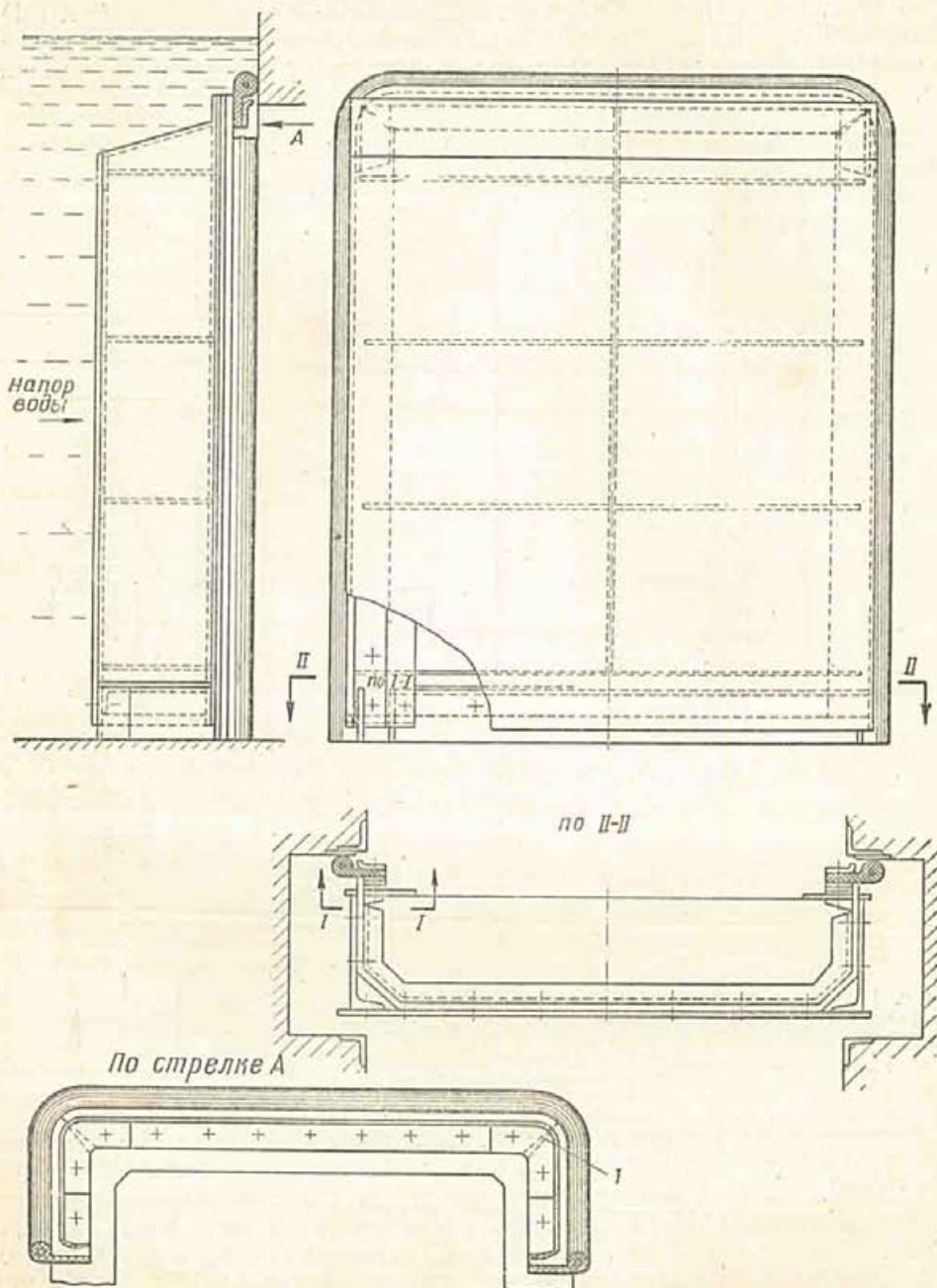
Уплотнения из Р-образной профильной резины следует располагать так, чтобы плотное прилегание их к закладным частям обеспечивалось изгибом резины (фиг. 114, а, б, 119 и 120), а не предварительным обжатием ее (фиг. 121). В последнем случае наблюдается повышенная фильтрация вследствие нарушения плотного прилегания резины к закладным частям при отходе щита от стенки паза.



Фиг. 115. Сопряжение вертикального уплотнения с донным в поверхностном затворе:  
1—резиновая прокладка.

Изготовление и монтаж как щитов, так и закладных частей при больших размерах требуют больших допусков, а следовательно, и больших зазоров между ними. Особенно велики зазоры между боковыми направляющими и их закладными частями (10–25 мм). Полное перемещение щита вдоль пролета может достигать 20–50 мм. Кроме того, перемещения в опорных частях щита происходят вследствие изгиба ригелей от нагрузки водой. Чтобы эти перемещения не вызывали нарушения работы боковых уплотнений, последние следует располагать в пазах или делать широкими и легко деформируемыми. Уплотнения в первом случае должны примыкать к плоскостям пазов, параллельных обшивке, т. е. параллельных направлению возможного бокового перемещения.

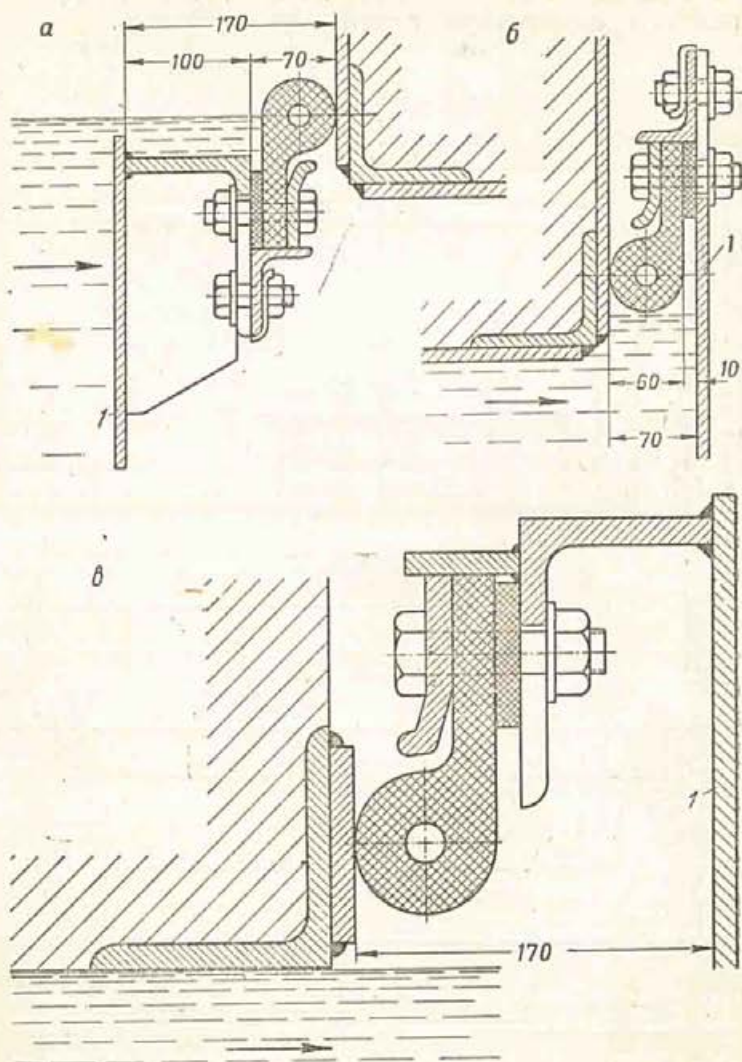
В случаях обогрева закладных частей размещение боковых уплотнений в пазу обеспечивает более компактное расположение обогреваемых деталей. Кроме того, размещение бокового уплотнения в пазу позволяет удобно



Фиг. 116. Расположение вертикальных и горизонтальных резиновых уплотнений на глубинном затворе:  
 I—вырез в плоской части резины.

разместить боковые колеса на кронштейнах и использовать для них армировку углов в качестве закладных направляющих частей.

Резиновые уплотнения должны прилегать к стальным закладным частям. Поверхности трения последних должны быть защищены от коррозии методом металлизации (слоем цинка, нержавеющей стали, алюминия и др.) или



Фиг. 117. Верхние резиновые уплотнения глубинных затворов: а—при забральной стенке со стороны нижнего бьефа; б и в—то же, со стороны верхнего бьефа. 1—обшивка затвора.

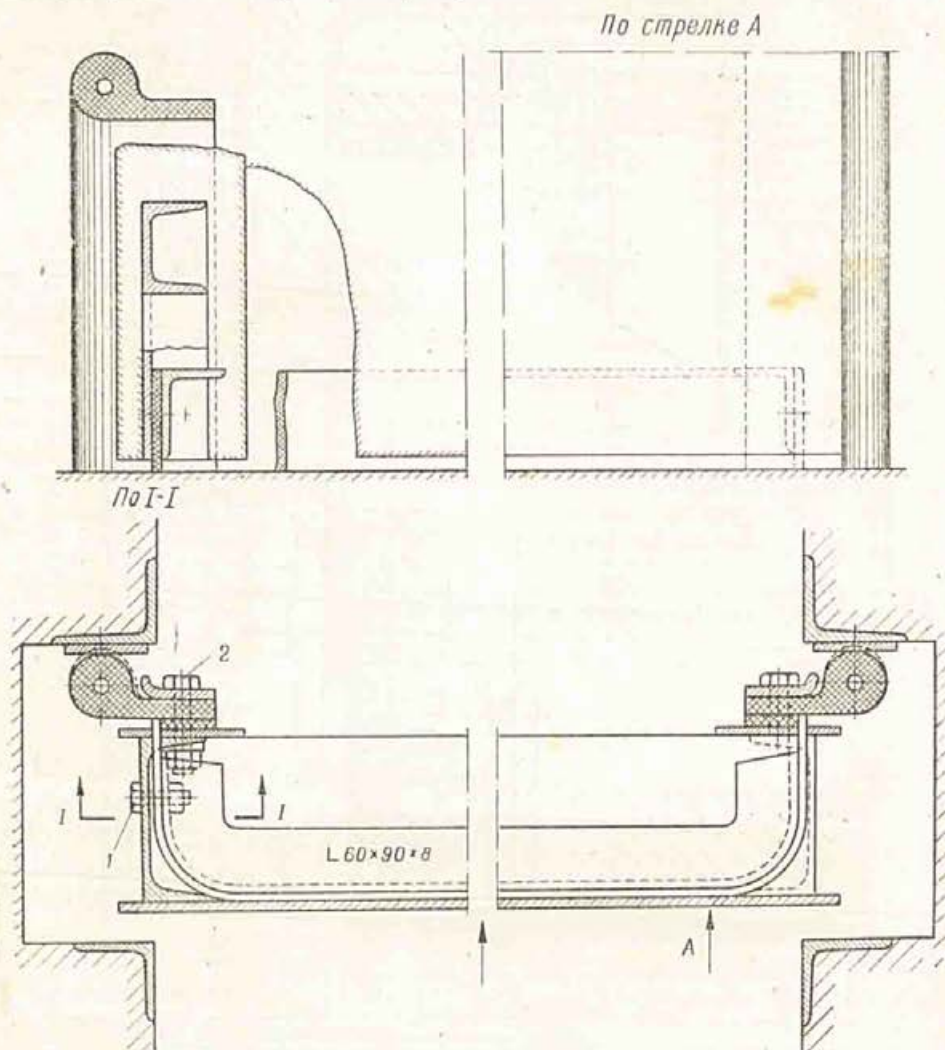
навариванием полосы толщиной 4÷8 мм из нержавеющей стали. Рабочая поверхность этой полосы должна быть полирована. Оцинковку применяют преимущественно для высоких армировок забрал. Оцинкованные поверхности для гладкости покрывают алюминиевым лаком.

Волнистость армировки под уплотнения должна быть не более 1 мм на метр, а выход любой точки армировки из ее плоскости не более  $\pm 5$  мм. Крепление резины к щиту производят болтами и другими метизами с антикоррозийными покрытиями для обеспечения возможности разборки их при смене уплотнений. Для устранения развинчивания гаек под них подкладывают планки с отогнутыми кромками или пружинящие шайбы. Под болты

ставят фасонные планки, предохраняющие уплотнения от чрезмерных прогибов.

Под все съемные металлические полосы или фасонный прокат подкладывают резиновые прокладки или парусину на сурике. Под головку болтов подкладывают прядь, пропитанную суриком.

Резиновые полосовые прокладки (фиг. 114 и др.) регулируют положение основной резины в направлении, нормальном к обшивке.

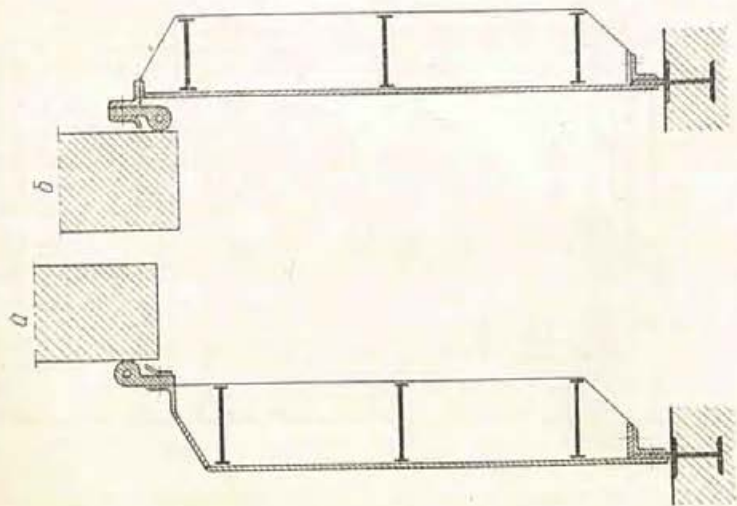


Фиг. 118. Сопряжение вертикального уплотнения с донным в глубинном затворе: 1—болт диаметром 16 мм; 2—болт диаметром 18 мм. Вид по 1—1 дан без изображения переднего листа, примыкающей к нему полки швеллера и резиновой полосы; вторая полка швеллера и задняя полка листа прорезаны для укладки в щели концов резины нижнего уплотнения.

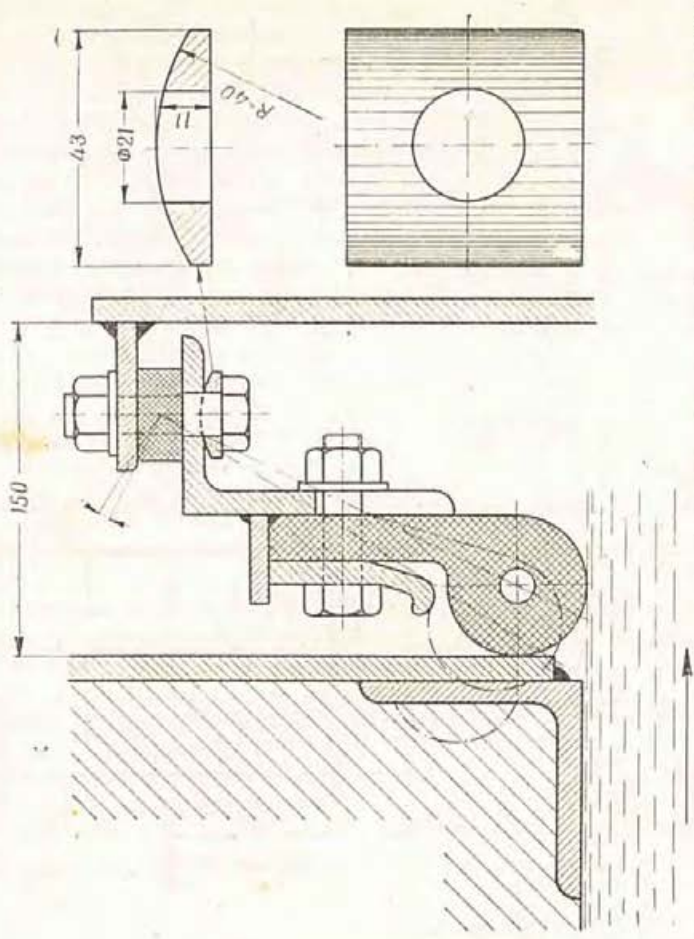
Чтобы обеспечить пригонку резинового уплотнения к донным закладным частям при больших неровностях последних, отверстия для болтов в резине делают на 5—10 мм более диаметра болтов.

Донное уплотнение часто осуществляют из деревянного бруса, неподвижно закрепленного в нижней обвязке затвора (фиг. 122).

Верхняя часть бруса плотно входит в швеллер обвязки. Между ними помещают прокладку из антисептированного войлока или брезента. Крепление бруса осуществляют вертикальными болтами. Головки последних устанавливают в специальных гнездах, сделанных в бруссе, чтобы не препятствовать

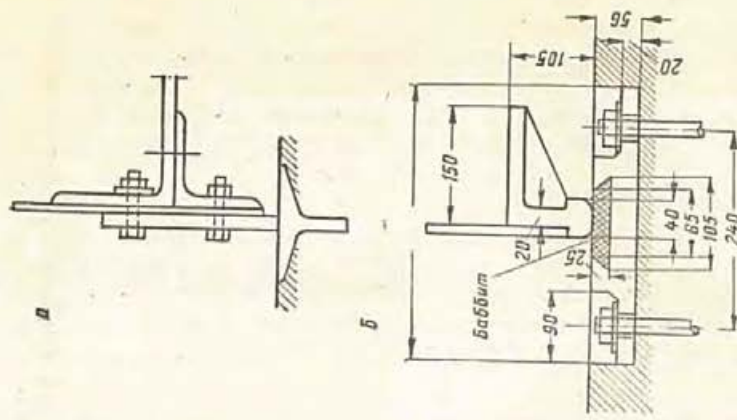


Фиг. 119. Два варианта расположения верхних уплотнений глубоких затворов.

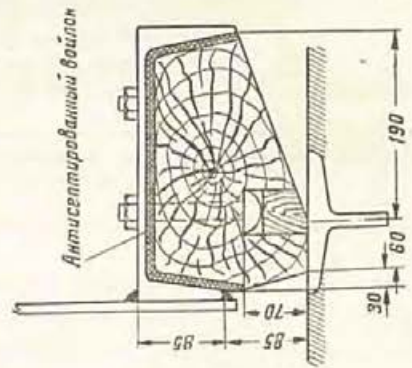


Фиг. 120. Верхнее уплотнение глубоких затворов при больших горизонтальных прогибах ригелей.

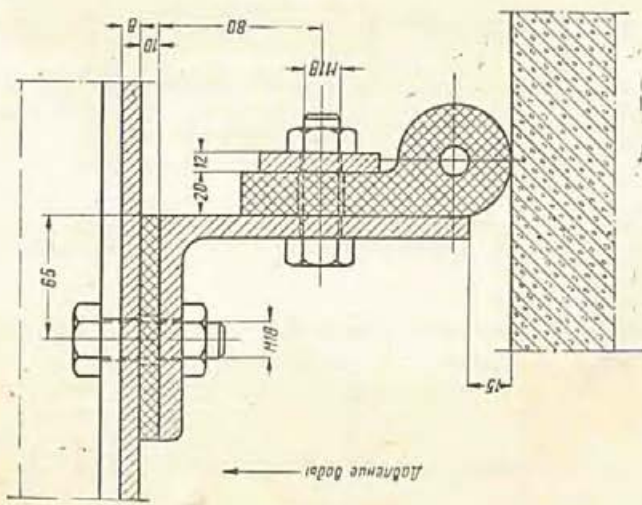




Фиг. 123. Стальные донные уплотнения (ножевые).



Фиг. 122. Донное уплотнение из деревянного бруса.



Фиг. 121. Пример неудачного применения бокового резинового уплотнения; работа уплотнения обеспечивается начальным обжатием резины, последняя упруга непосредственно в бетон, кромка планки не закруглена.

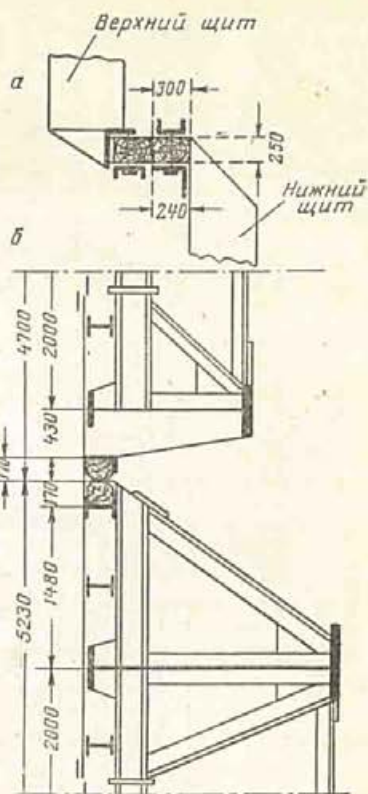
плотному прилеганию бруса к закладным частям. Глубину гнезд назначают с запасом на полное обжатие бруса под нагрузкой и износ его в процессе эксплуатации. Нижней части бруса придают удобообтекаемую форму. Скос с напорной стороны делают круче, а с противоположной—более пологим. Чтобы уменьшить возможность образования вакуума и присоса щита, а также чтобы уменьшить выпирающую затвор силу давления воды, ширину нижней горизонтальной площадки делают возможно меньшей, но допустимой по условиям прочности.

Для изготовления уплотнений применяют дубовую и сосновую древесину I сорта полусухую, если уплотнения нормально находятся под водой, и сухую—для ремонтных и аварийных затворов, нормально находящихся вне воды.

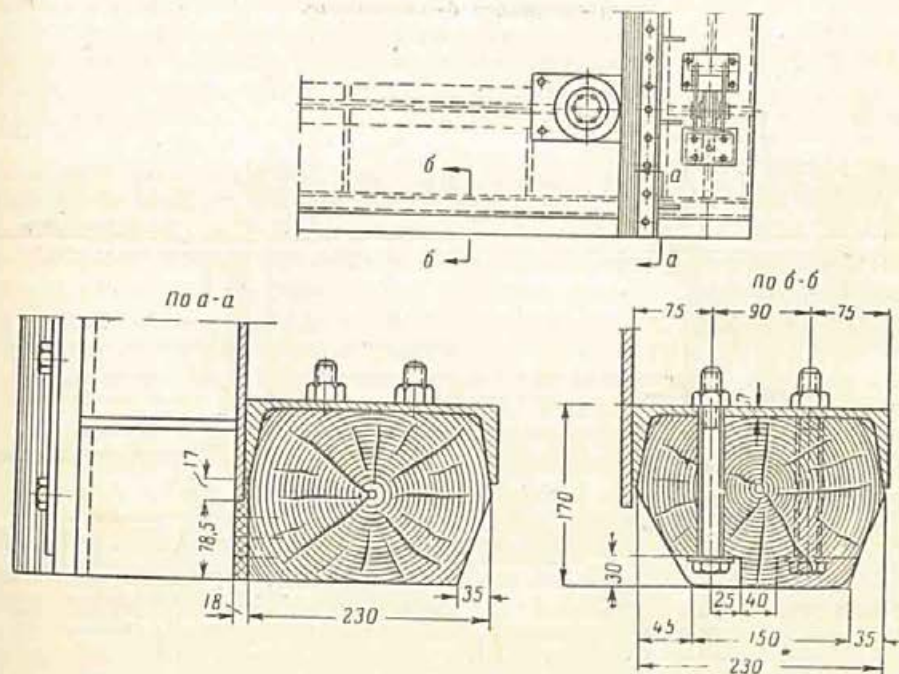
При больших пролетах затворов, а также при напорах более 12 м применяют донные уплотнения из стального листа или стальной отливки (фиг. 123).

Донные уплотнения иногда осуществляли из обрезиненных стальных труб.

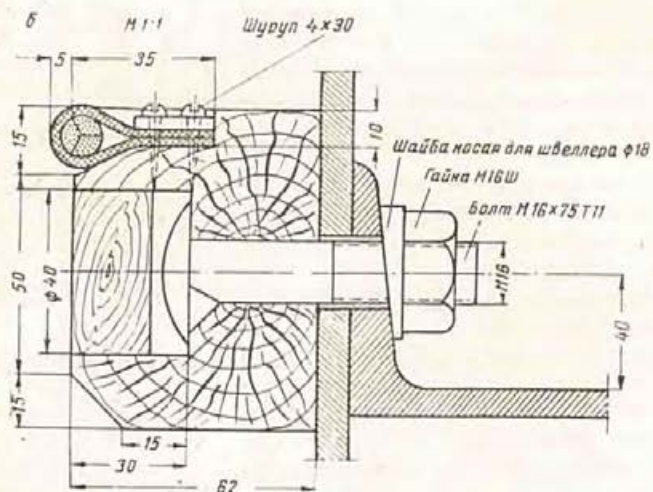
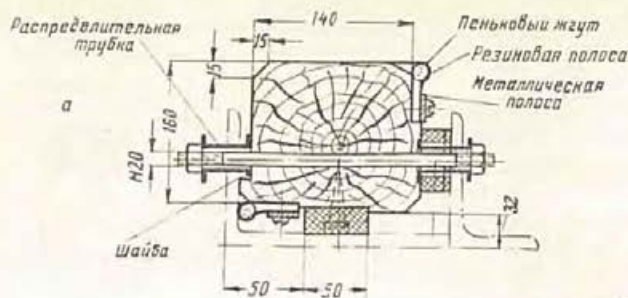
Схематический пример промежуточного (горизонтального) уплотнения между сдвоенными затворами показан на фигуре 124, а и между секциями затвора—на фигуре 124, б. Конструкция промежуточного деревянного уплотнения показана на фигуре 125.



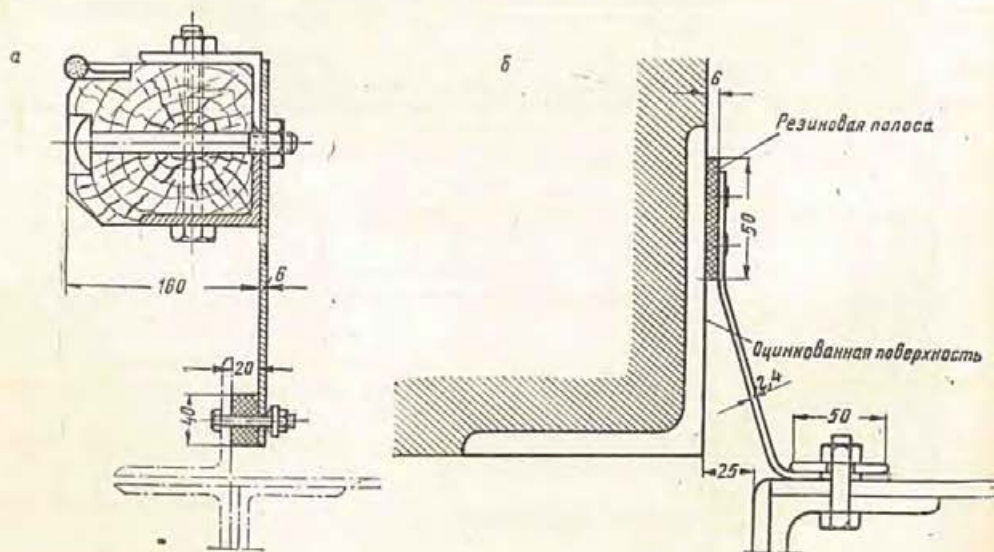
Фиг. 124. Схемы промежуточных уплотнений:  
а—в сдвоенном затворе; б—в секционном затворе.



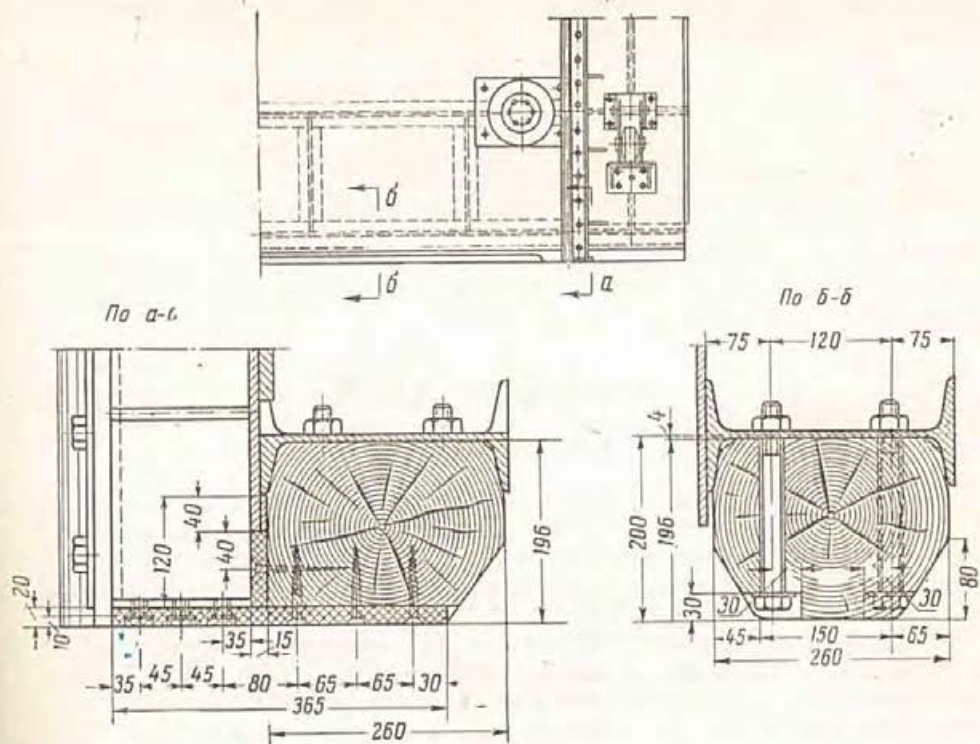
Фиг. 125. Конструкция промежуточного деревянного уплотнения секционного затвора.



Фиг. 126. Боковые уплотнения деревянными брусками  
а — подвижное; б — неподвижное.



Фиг. 127. Боковые уплотнения с гибкой металлической полосой:  
а — с деревянным брусом; б — с резиновой полосой.



Фиг. 128. Узел соединения вертикального резинового уплотнения с донным деревянным.

Деревянные боковые уплотнения показаны на фигуре 126. Присоединение брусков к щиту производят при помощи уголков и болтов (удерживающих и направляющих). Для повышения водонепроницаемости уплотнения деревянные брусья снабжают резиновыми фартуками.

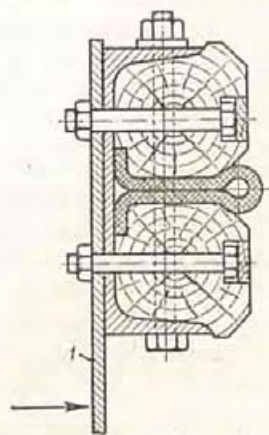
Широким распространением пользовались уплотнения из гибких тонких стальных листов, снабженных на свободном конце бруском или резиновой полосой (фиг. 127).

Места, в которых происходит соединение деревянных горизонтальных уплотнений с вертикальными, представляют наибольшие трудности как в отношении конструирования, так и в отношении осуществления. Добиться устранения фильтрации в этих местах наиболее трудно. В рабочих проектах местам соединения вертикальных и горизонтальных уплотнений должно быть уделено особое внимание.

На фигурах 125 и 128 показаны узлы соединения вертикального резинового уплотнения с горизонтальным деревянным уплотнением. Там же показано расположение бокового колеса на консольной оси и обратного колеса на подвижной оси.

В скользящих затворах вертикальными уплотнениями служат опорные брусья. Для повышения водонепроницаемости брусья снабжают резиновыми фартуками, шлангами и т. п. (фиг. 129).

Крепление резиновых фартуков осуществляют винтами. Способ крепления уплотнений должен обеспечивать простоту подгонки их к соответствующим закладным частям во время монтажа затвора, а также легкость смены поврежденных или изношенных деталей уплотнения.



Фиг. 129. Деревянные скользящие опоры баблочного (шандорного) заграждения, служащие противофильтрационными уплотнениями:  
1 — обшивка затвора.

## Глава XV

### ЗАКЛАДНЫЕ ЧАСТИ

#### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для передачи давления от подвижной части затвора на устон и быки в их пазах устанавливают закладные ходовые части—основные пути. Для обеспечения нормального положения щита в процессе маневрирования и для устранения резких толчков устанавливают обратные и боковые направляющие закладные части (обратные и боковые пути).

Для создания ровной поверхности под подвижные части уплотнений, а также для защиты бетона (особенно его кромок) от удара плавающих тел и от протекающей воды с взвешенными наносами, устанавливают специальные закладные части, которые обычно называют армировками. При больших скоростях протекающей воды и при большом содержании в ней наносов (глубинные затворы) может возникнуть необходимость в облицовке бетона.

В пазах ремонтных заграждений и затворов иногда (при условии специального обоснования) ставят не все или совсем не ставят металлические закладные части.

Для обогрева пазов и уплотнений устанавливают специальные закладные устройства.

Установку закладных частей и обетонировку их производят или отдельно от кладки бетона основного сооружения, в специально оставленных штрабах (фиг. 130), или одновременно с установкой основной арматуры сооружения и бетонной кладкой.

Обетонировка закладных частей одновременно с бетонированием основных частей сооружения обеспечивает лучшее качество бетона вокруг закладных частей, меньшую фильтрацию и упрощение производства бетонных работ. По этим причинам в последнее время этот способ привлекает внимание проектировщиков и производственников, но широкого распространения в строительстве он пока не получил.

Монтаж закладных частей без штраб требует повышенной жесткости самих закладных частей, жесткого раскрепления их в пазах между собой, а также к каркасам арматуры основных частей сооружения.

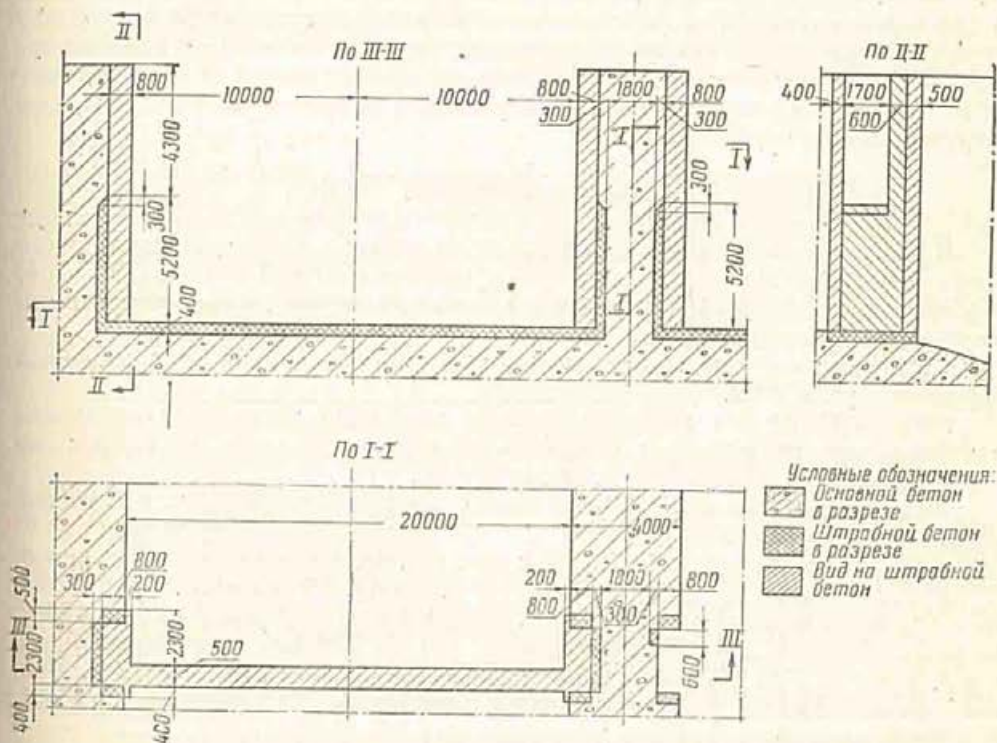
Установка закладных частей без штраб эффективна в случае наличия жесткой арматуры в железобетонных массивах сооружения или одновременно с монтажом стальных облицовок галерей. Наоборот, при отсутствии такой арматуры для обеспечения неизменного положения длинных вертикальных путей при их обетонировке требуется осуществлять вспомогательную жесткую металлическую конструкцию. Это требует больших затрат и много времени, и потому оказывается невыгодным. При установке закладных частей без штраб опоздание в поступлении их на постройку может задержать производство общестроительных работ.

Допуски для установки закладных частей, особенно для ходовых и направляющих путей, значительно меньше, чем для обычных арматурных и бетонных работ. Соблюдение строгих допусков при установке закладных частей в штра-

бах проще. Так же проще и надежнее жесткое, неподвижное крепление закладных частей и выверка их положения. Однако качество штрабного бетона обычно получается ниже, чем в основной массе сооружения, что при больших гидростатических давлениях способствует фильтрации воды через штрабный бетон и разрушению его. Для устранения фильтрации через штрабный бетон целесообразно применение расширяющихся цементов.

Установку и выверку закладных частей следует производить при помощи многократно оборачивающихся жестких направляющих устройств (кондукторов).

Для облегчения монтажа вертикальных закладных частей следует объединять закладные части разного назначения в жесткие пространственные блоки.



Фиг. 130. Штрабы для закладных частей плоского поверхностного затвора.

Штрабы, оставляемые в основной бетонной кладке для установки в них закладных частей, должны иметь очертания и размеры, обеспечивающие удобство монтажа и последующего производства бетонных работ. Обычно поперечное сечение штраб имеет прямоугольную форму. Иногда для повышения прочности заделки поперечному сечению штраб сообщают форму трапеции. Глубину штраб назначают не более 500 мм, а расстояния от боковых стенок до закладных частей не менее 250 мм. При глубоких штрабах необходимо обеспечить рабочему возможность проникнуть внутрь штраб при установленных закладных частях. Небольшие размеры штраб обеспечивают большие удобства при установке и выверке закладных частей, а также облегчают крепление закладных частей сваркой непосредственно к коротким выпускам основной арматуры или к специально уложенным дополнительным стержням.

Расположение закладных частей и штраб должно быть увязано с расположением рабочей арматуры так, чтобы, с одной стороны, установка закладных частей не требовала резки или отгиба основной арматуры, а с другой стороны — чтобы всемерно облегчить жесткое и неизменное крепление закладных частей на период их обетонирования.

От правильности постановки закладных частей и соблюдения установленных допусков зависят:

а) соответствие действительной работы подвижной части затвора расчетным предположениям;

б) удобство маневрирования затвором;

в) надежность работы уплотнений.

Поэтому установке и обетонировке закладных частей следует уделять большое внимание. Для закладных частей не следует применять тонкие, малой жесткости прокатные профили, вследствие опасности деформации их в процессе монтажа и обетонировки. Все поверхности закладных частей, которые должны быть обетонированы, необходимо тщательно очистить от краски, грунтовки, масляных пятен, ржавчины и покрыть цементным раствором. В противном случае бетон не схватится с металлом закладных частей. Щели, пустоты и трещины в бетоне у закладных частей способствуют фильтрации воды и коррозии арматуры. Конструкция закладных частей должна обеспечивать удобство их обетонировки. Выступающие из бетона части должны быть загрунтованы и окрашены.

## 2. ХОДОВЫЕ ЗАКЛАДНЫЕ ЧАСТИ

В зависимости от величины нагрузки на ходовые колеса основные (ходовые) пути осуществляют или из крановых рельсов с низкой и толстой стенкой, хорошо сопротивляющейся боковым толчкам, или литыми, или составленными из прокатных профилей.

Для повышения жесткости ходовые пути объединяют с армировкой наружного угла паза.

Расстояние от оси ходового пути до наружной грани паза назначают в зависимости от величины отверстия затвора и давления на колесо; оно колеблется от 150 до 750 мм (см. также гл. IX, § 1).

Пути из рельс и специальных литых профилей закрепляют в бетонной кладке при помощи анкеров.

Крановые рельсы (ГОСТ 4121—52; фиг. 131, а) прокатывают четырех типов: Кр70, Кр80, Кр100 и Кр120 (цифры означают ширину головки). Высота крановых рельсов колеблется от 120 до 170 мм, а толщина стенки от 28 до 44 мм. Ширина подошвы рельса колеблется от 120 до 170 мм, теоретический вес 1 пог. м—от 52,7 до 117,9 кг. Нормальная длина рельса 9, 10, 11 и 12 м. Предел прочности при растяжении рельсовой стали должен быть не менее 75 кг/мм<sup>2</sup>.

Взамен рельсов может быть использована сталь квадратная (ГОСТ 2591—44) марки Ст. 6 или Ст. 5.

Ширина головки специальных литых профилей (фиг. 131, б) колеблется от 30 до 250 мм, толщина стенки—от 20 до 100 мм; высота отливки—от 250 до 600 мм. Литые пути применяют при давлениях на одно колесо более 50 т. Литой рельс и деталь его стыка показаны на фигуре 131, в и г.

Для устранения удара при переходе колеса с одного куска рельса на другой и для устранения выкрашивания бетона в месте стыка рельсов необходимо уделять большое внимание конструктивному оформлению стыков.

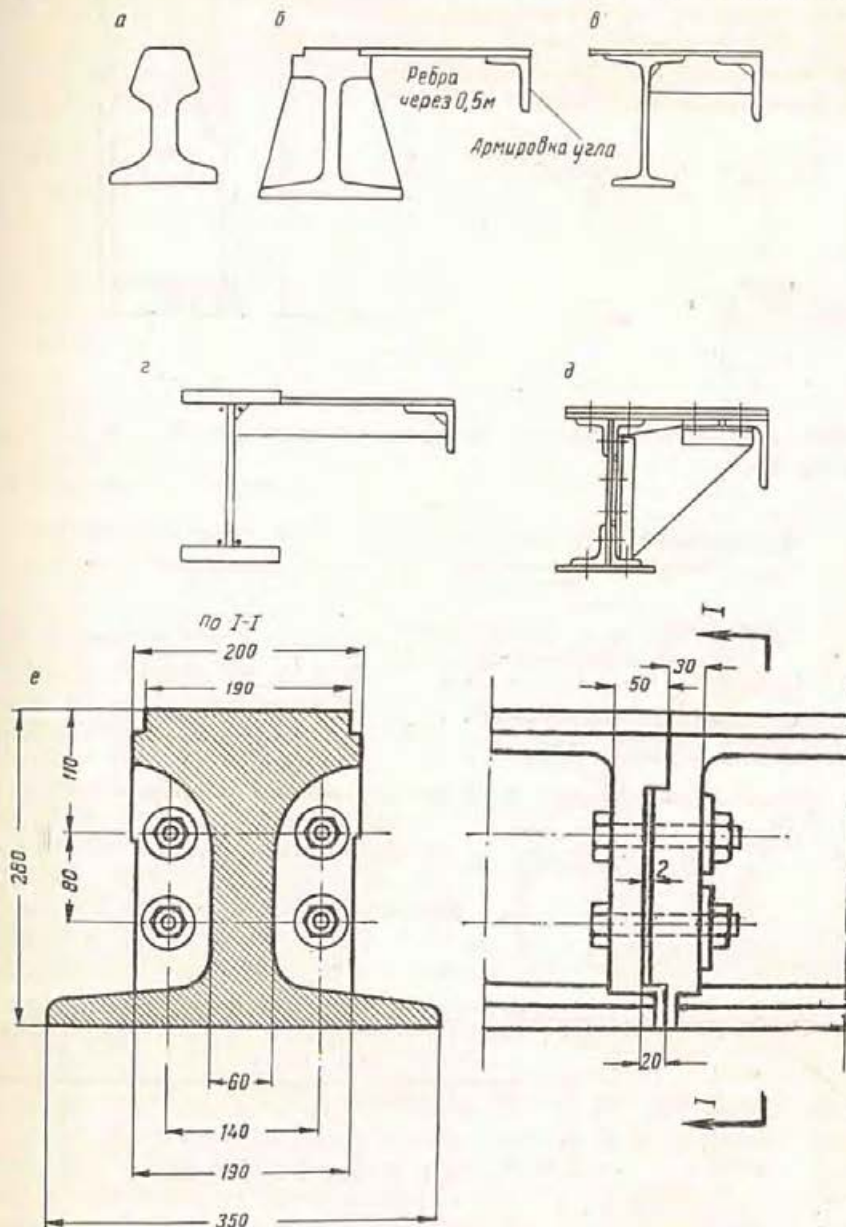
Сварные пути изготовляют из трех толстых листов (фиг. 131, з) по форме обычной сварной балки. Кромки стенки при ручной сварке следует обработать под К-образный шов для обеспечения полного провара. В клепаных путях (фиг. 131, д) кромки стенки пристрагивают к поясным листам. Поверхности катания необходимо прострогать. Для этой цели толщину наружного листа в сварных и клепаных путях назначают на 5—10 мм больше расчетной. Головки потайных заклепок заглубляют так, чтобы их не повредить при строжке.

При небольших давлениях на отдельное колесо (до 20 т) ходовые пути могут быть осуществлены из прокатного двутавра (фиг. 131, е).

В часто перемещаемых затворах происходит довольно интенсивный износ рабочей части ходовых путей. Необходимо при устройстве таких путей предусматривать специальные меры, облегчающие смену изношенных частей.

Обратные и боковые пути обычно осуществляют из прокатных профилей, усиленных иногда с наружной стороны приваренным листом (фиг. 132).

Прокатные швеллеры имеют относительно тонкую стенку, поэтому последние мало подходят для путей катания колес (по соображениям требуемой



Фиг. 131. Ходовые закладные части:  
 а—подкрановый рельс; б—литой рельс; в и г—сварные пути; д—клепанный путь; е—деталь стыка литого рельса (для устранения толчков прямоугольный шип лучше заменить цилиндрической шпонкой).

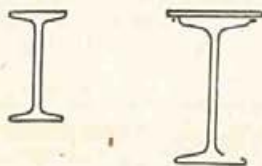
жесткости и опасности коррозии). В качестве боковых путей часто используют армировку наружных углов паза.

Для удобства завода подвижной части затвора в пазы верхние концы обратных путей скашивают. Для этой цели в профиле вырезают часть стенки (треугольной формы), а полку профиля пригибают к оставшейся части и приваривают (фиг. 133).

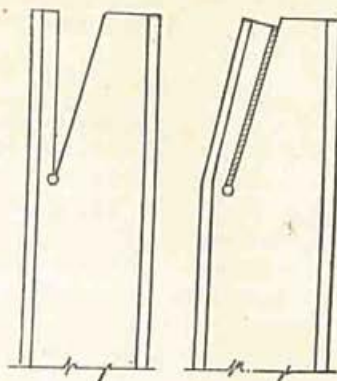


Расчет бетона под ходовыми и обратными путями производят на местное сжатие. Расчет остальных закладных частей не производят, а размеры их назначают по конструктивным соображениям, главным образом с учетом требуемой жесткости их в процессе монтажа и обетонировки.

Бетон под опорные закладные части затворов должен быть не ниже



Фиг. 132. Обратные и боковые пути.



Фиг. 133. Скос верхней части обратного пути.

марки 170. Допускаемое напряжение на осевое сжатие бетона принимают по таблице 36.

Таблица 36

Воздействия	Допускаемые напряжения (в кг/см <sup>2</sup> ) при осевом сжатии в бетоне		
	Марки бетона		
	170	300	500
Основные . . . . .	55	87	135
Основные и дополнительные . . .	60	95	145
Основные, дополнительные и особые	70	100	172

### 3. ЗАКЛАДНЫЕ ЧАСТИ ПОД УПЛОТНЕНИЯ

Закладные части под боковые уплотнения осуществляют из уголков, прокатных или составных швеллеров (фиг. 134). Применение составных швеллеров вызывается относительно малой толщиной стенки в прокатных швеллерах и опасностью быстрого износа ее. Для устранения истирания резинового уплотнения в короткий срок необходимо снаружи стального профиля помещать полосу из нержавеющей стали или оцинковывать поверхность трения. Последнее—менее желательно.



Фиг. 134. Закладные части под боковые уплотнения.

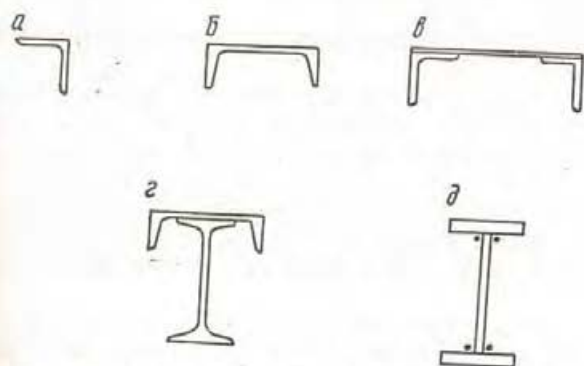
При отсутствии полосы из нержавеющей стали резина будет прижиматься к ржавой поверхности, износ резины и фильтрация через уплотнение резко увеличатся.

Закладные части под донное уплотнение из деревянного бруса или из литой резины осуществляют из составного швеллера (фиг. 135, а) с толщиной листа от 10 до 20 мм и с уголками от 65 × 8 до 120 × 12.

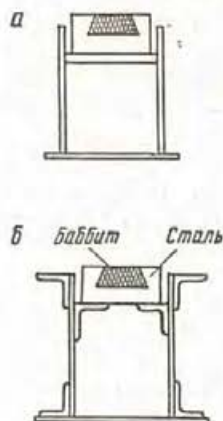
При малых напорах и малом количестве наносов возможно применение и прокатных швеллеров. В очень малых затворах порог армируют уголково-сталью.

При ножевом донном уплотнении порог армируют прокатным или составным двутавром (фиг. 135, г, д) или составной коробчатой (двухстенчатой) балкой.

Сверху порога размещают баббитовую заливку для опирания ножа затвора (фиг. 136). Ширину баббитовой заливки назначают так, чтобы нож затвора находился на этой заливке по всей своей длине, несмотря на горизон-



Фиг. 135. Закладные части под донные уплотнения.



Фиг. 136. Закладные части донного ножевого уплотнения с баббитовой заливкой: а—сварные; б—клепанные.

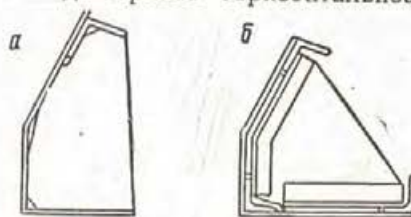
тальный прогиб конструкции затвора под влиянием гидростатической нагрузки. Для указанной цели применяют баббит оловянистый марки Б-6 (ГОСТ 1320—41).

Армировку порога в глубинных затворах с большим напором развивают в глубину, что препятствует размыву флютбета у места заделки армировки.

Пример армировки забральной балки под верхнее горизонтальное уплотнение представлен на фигуре 137.

Уклон верхней части армировки обеспечивает плавность установки верхнего уплотнения в рабочее положение у вертикального участка. Уклон верхней части назначают около 1:10 при вертикальной проекции ее от 300 до 600 мм. Ширину вертикальной плоскости назначают от 150 до 250 мм.

У часто действующих затворов забральную стену следует облицовывать стальными листами на всю высоту рабочего хода затвора. Только таким путем возможно обеспечить действительно гладкую поверхность, к которой во все время движения затвора прилегало бы верхнее горизонтальное уплотнение.



Фиг. 137. Армировка забральной балки под верхнее уплотнение: а—сварная; б—клепаная.

#### 4. ОБОГРЕВ ЗАТВОРОВ

В зимнее время у затворов возможно образование льда, который создает большие препятствия для маневрирования подвижными частями. Наиболее интенсивное образование наледей происходит у уплотнений и по наружным граням пазов, где протекает просачивающаяся через уплотнения вода. При стальной обшивке возможно образование льда по всей напорной поверхности затвора. Пропуск шуги также сопровождается образованием значительной наледи на стальных закладных частях.

Для обеспечения маневрирования затвором в холодное время устраивают обогрев закладных частей и поверхностей пазов. В случаях опасности образования чрезмерно мощной наледи у переохлажденной стальной обшивки устраи-

вают обогрев всей подвижной части затвора. Для этого последнюю обшивают со всех свободных сторон досками, фанерой или тонкой листовой сталью. Образованное таким образом внутреннее пространство обогревают.

Обогрев закладных частей возможно производить или непрерывно, препятствуя самому образованию льда, или периодически, растапливая перед маневрированием затвором небольшой слой льда, примыкающий к закладным частям.

Эксплуатационные расходы в первом случае выше, чем во втором, но мощность оборудования и его стоимость ниже.

Обогрев производят электрическим током, горячим маслом или горячей водой. Нагрев масла и воды обычно производят электрическим током в бойлерах, установленных на быках или устоях. Закладные части в случаях обогрева их маслом проектируют полыми или непосредственно у них располагают специальные трубы—маслопроводы. В первом случае значительно осложняется конструкция закладных частей. Во втором случае снижается эффективность самого обогрева. Циркуляция горячего масла (воды) обеспечивается насосом.

Пример устройства маслообогрева ходовых, обратных путей и торца паза показан на фигуре 138. Для циркуляции масла в штрабном бетоне справа и слева от путей заложены трубы и их арматура.

Обогрев закладных частей непосредственно пропуском электрического тока вносит меньшие осложнения в конструкцию закладных частей и их эксплуатацию. В настоящее время его применяют наиболее часто. При проектировании электрообогрева желательно соблюдать парное параллельное расположение шин, с тем чтобы ток в двух соседних шинах шел навстречу друг другу. Вследствие взаимоиндукции такое расположение шин уменьшает сопротивление их прохождению тока и повышает экономичность установки. При назначении размеров сечения шин целесообразно развивать их ширину и уменьшать толщину.

Крепление шин должно обеспечить возможность изменения их длины при нагреве; например, постановка винтов в овальных отверстиях. Возможно и глухое крепление шин с малым расстоянием между болтами. В этом случае шины должны иметь возможность слегка выпучиваться в паз, а в болтах будут развиваться небольшие растягивающие усилия.

Расстояние между соседними шинами электрообогрева, а также от шин до других металлических частей, заделанных в бетоне, должно быть назначено в зависимости от величины напряжения в цепи (не менее 80 мм). Изоляция шин от остальной арматуры требует к себе пристального внимания при производстве работ.

Обогрев каждого паза обычно обслуживает отдельный трансформатор. Большая мощность трансформаторов и их габариты иногда затрудняют размещение их на быках. Потребность в цветных металлах для ряда деталей является недостатком электрообогрева.

В зимнее время перед затворами, во избежание навала на них льда, необходимо поддерживать полынью.



## Глава XVI

### ПОДЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

#### 1. ПОДЪЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Подъем щитов производят подъемными механизмами стационарными, находящимися постоянно у обслуживаемого ими объекта, или передвижными.

В качестве стационарных подъемных механизмов применяют электрические и ручные лебедки, винтовые и гидравлические подъемники. Передвижными подъемными механизмами служат козловые, мостовые и другие краны, тельферы, катучие лебедки и т. п. Грузоподъемность механизмов зависит от величины напора, веса обслуживаемых затворов и от ряда других факторов. Она достигает в современных сооружениях 300—500 т.

В случаях применения стационарных подъемных механизмов значительно упрощается и ускоряется маневрирование подвижной частью затвора и удержание ее на любой требуемой высоте (по условиям регулирования пропуска воды). Для удержания затвора на заданном уровне требуется лишь остановка лебедки и включение тормозных устройств. При передвижных подъемных механизмах для удержания щитов в поднятом состоянии требуются специальные подвижные устройства—подхваты. Последние чаще помещают наверху быков и в случае надобности выдвигают внутрь пазов; реже подхватные устройства размещают в пазах. Необходимость в подвратах может возникнуть и потому, что ход крюка передвижного крана не всегда бывает достаточен для полного подъема глубинного затвора из пазов.

При подъеме щитов стационарными подъемниками требуется большее количество подъемных механизмов, чем при передвижных, но отпадает необходимость в устройстве мощных подкрановых путей и в устройстве подхватов.

Применение стационарных подъемных механизмов целесообразно при небольшом числе открываемых затворов (обычно до четырех) или при очень коротких сроках, отводимых на маневрирование ими.

Во многих случаях электрические подъемные механизмы снабжают ручным приводом, рассчитанным на усилие 2—6 человек. Ручной привод обеспечивает возможность опробовать на весьма малой скорости механизмы и затворы в период их монтажа или ремонта. Кроме того, ручной привод может заменить электропривод в случае отсутствия тока и тому подобных обстоятельств. Присоединение ручного привода сильно усложняет схему моторной группы механизма, что является веским доводом в пользу отказа от применения ручных приводов.

Особое положение занимают винтовые подъемники, винты которых являются одновременно и подъемным механизмом и тягой. Винтовые подъемники развивают как подъемное, так и посадочное усилия. Они просты, дешевы и надежны в эксплуатации. Габариты их невелики, почему их можно разместить даже на узких быках или служебных мостиках. Эти качества обусловили широкое применение винтовых подъемников на ирригационных сооружениях при малых и средних затворах. Особенно широко они распространены в Средней Азии [7].

Подъемники могут быть одновинтовыми, двух- и четырехвинтовыми. Последние применяют для маневрирования сдвоенными затворами или затворами с клапаном. Грузоподъемность винтовых подъемников доходит до 20—30 т (т. е. до 15 т на одну точку подвеса), а в отдельных случаях до 150 т (Катта-Курганское водохранилище). Имеются случаи применения качающихся винтовых подъемников для маневрирования сегментными затворами (плотины Каратальская, Дюшамбе и Урта-Токайская).

Винтовые подъемники приводят в движение вручную или электрическим приводом. Для предохранения грузового винта от продольного изгиба при дожиме затвора применяют рукоять с фрикционной передачей.

Одновинтовые подъемники серии ВП-49 [7] имеют диаметр винта от 30 до 70 мм и развивают тяговое усилие от 600 до 3 400 кг. Длина винта до 6 м. Радиус рукоятки от 250 до 450 мм.

## 2. ТЯГИ И ПОДВЕСЫ

Соединение щита с подъемными механизмами осуществляют при помощи тяг: гибких—тросы и цепи Галля или жестких—винты, рейки (зубчатые и цевочные) и штанги. Применение жестких тяг необходимо при принудительной посадке щита на порог (дожим). В тех случаях, когда регулирование положения щита по высоте и удержание его в промежуточных открытых положениях производят с помощью подхватов, применяют штанги. Тросовые подвесы применяют при стационарных подъемных механизмах грузоподъемностью до 40—50 т. При большей грузоподъемности рациональнее применение подвесов на цепях Галля, вследствие большей их компактности\*.

Большая грузоподъемность цепи устраняет необходимость в применении сложных и громоздких многоблочных подвижных частей полиспадов, применяемых при тросах. Узел рабочей звездочки цепного механизма значительно компактнее, чем узел канатного барабана.

Наличие цепей позволяет легко осуществить применение противовесов, подвесив их к холостым концам цепей. В обычных канатных механизмах использование противовесов практически неосуществимо.

Крепление цепей производят непосредственно к затвору. Подъем затвора в любое положение производится без дополнительных операций.

Недостатками цепных передач являются:

а) неполное использование материала цепи, почему вес цепей значительно больше веса тросов той же грузоподъемности. Вес цепей доходит до 40% веса всего подъемного механизма и поглощает до 20% его грузоподъемности;

б) наличие пульсации усилия и динамических толчков создает необходимость в усилении конструкции механизма и поддерживающих его устройств;

в) коэффициент полезного действия цепных передач (звездочка—цепь) относительно низок, что вызывает необходимость в увеличении мощности моторов (на 10—20%, а иногда и более). Низкий коэффициент полезного действия цепных передач не позволяет использовать полностью облегчающую роль противовесов. Потери в весе противовеса на пути до полезного груза вследствие вредных сопротивлений доходят до одной трети;

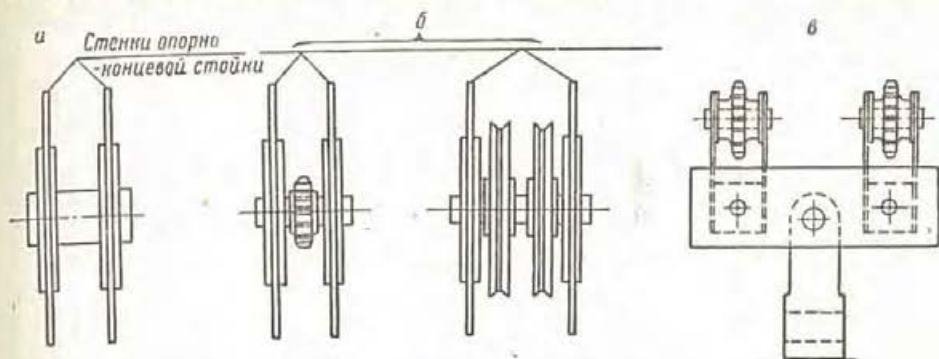
г) опыт эксплуатации показывает довольно быстрый износ цепей. В условиях эксплуатации цепей на судоходных каналах создается необходимость в замене их через 2—3 года. Имеются примеры и значительно более длительных сроков службы цепей (канал имени Москвы).

Для предохранения от преждевременного износа тросов и деталей подвеса не следует допускать погружения их в воду. Для этой цели между затвором и нижней подвеской полиспада помещают промежуточные штанги. Маневри-

\* И. В. А р о н. Применение канатов в стационарных механизмах гидротехнических сооружений; В. Е. Е к м о в. Стационарные механизмы для затворов гидротехнических сооружений. «Бюллетень технической информации». Ленинградская проектно-конструкторская контора. Главгидроэнерго-монтаж, В/т «Гидромонтаж», Ленинград, 1951.

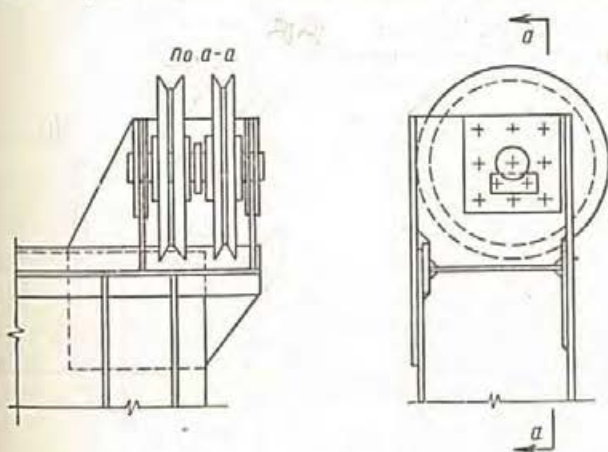
рование этими штангами (перцепы и т. п.) усложняет условия эксплуатации и требует ряда дополнительных устройств. Погружение в воду концов цепей Галля допускается.

Рейки применяют для маневрирования затворов с дожимом, а также в случаях отсутствия удобных мест для уборки холостого конца цепи. Цевочные рейки рекомендуется применять в редко работающих затворах.



Фиг. 139. Схемы подвеса затвора:  
а — непосредственно на оси; б — на оси со звездочкой и на оси с блоками; в — балансирный подвес.

Присоединение тяг к опорно-концевым стойкам затвора производят при помощи оси. Узел, в котором присоединяют тяги, называют подвесом (фиг. 139). Ось подвеса плоского затвора следует располагать возможно ближе к вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести всего затвора. На оси размещают блоки для тросов или звездочку для цепи Галля. Пример

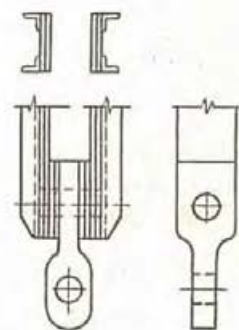


Фиг. 140. Подвес с двумя блоками.

оформления подвеса с двумя блоками показан на фигуре 140. Присоединение к щиту растянутой штанги осуществляют при помощи переходного звена. Ось, соединяющая переходное звено штанги с нормальным, должна быть расположена перпендикулярно к оси подвеса, образуя таким образом пространственный шарнир (фиг. 141).

Штанги имеют Н-образное, коробчатое или круглое (сплошное или трубчатое) сечения (фиг. 142). При Н-образном сечении звено штанги состоит из двух продольных (основных) ветвей и соединительной стенки—диафрагмы.

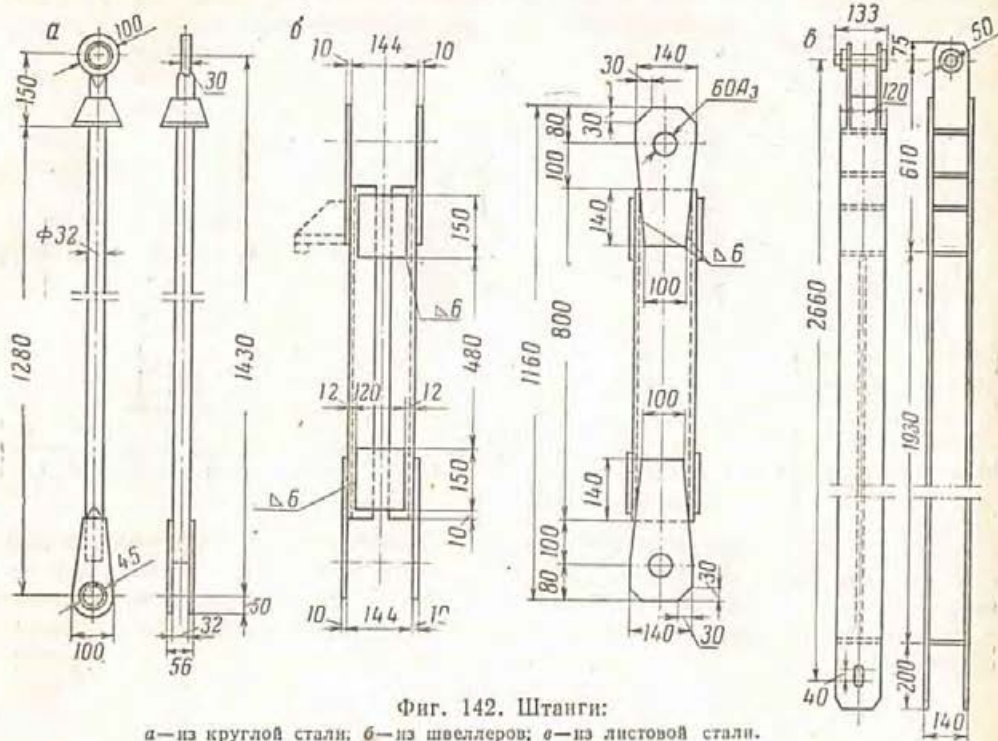
Для возможности регулирования степени открытия затвора по длине звена в стенке оставляют отверстия, служащие для пропуски подхвата и опи-



Фиг. 141. Соединение штанги с затвором при помощи переходного звена и двух взаимно перпендикулярных осей.

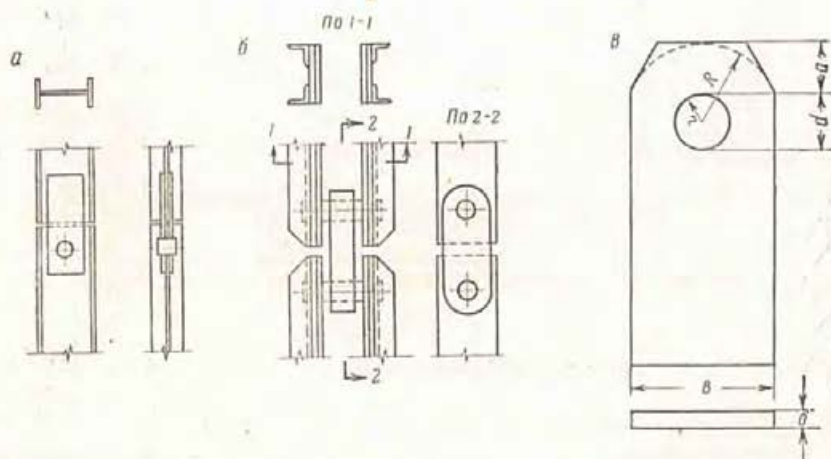
рания штанги на последний. Величина расстояния между этими отверстиями определяет точность регулировки открытия затвора.

Рабочими элементами штанги считают лишь продольные листы, в которых закреплены оси, соединяющие звенья штанги. Диафрагму (стенку) рассма-



Фиг. 142. Штанги:

а—из круглой стали; б—из швеллеров; в—из листовой стали.



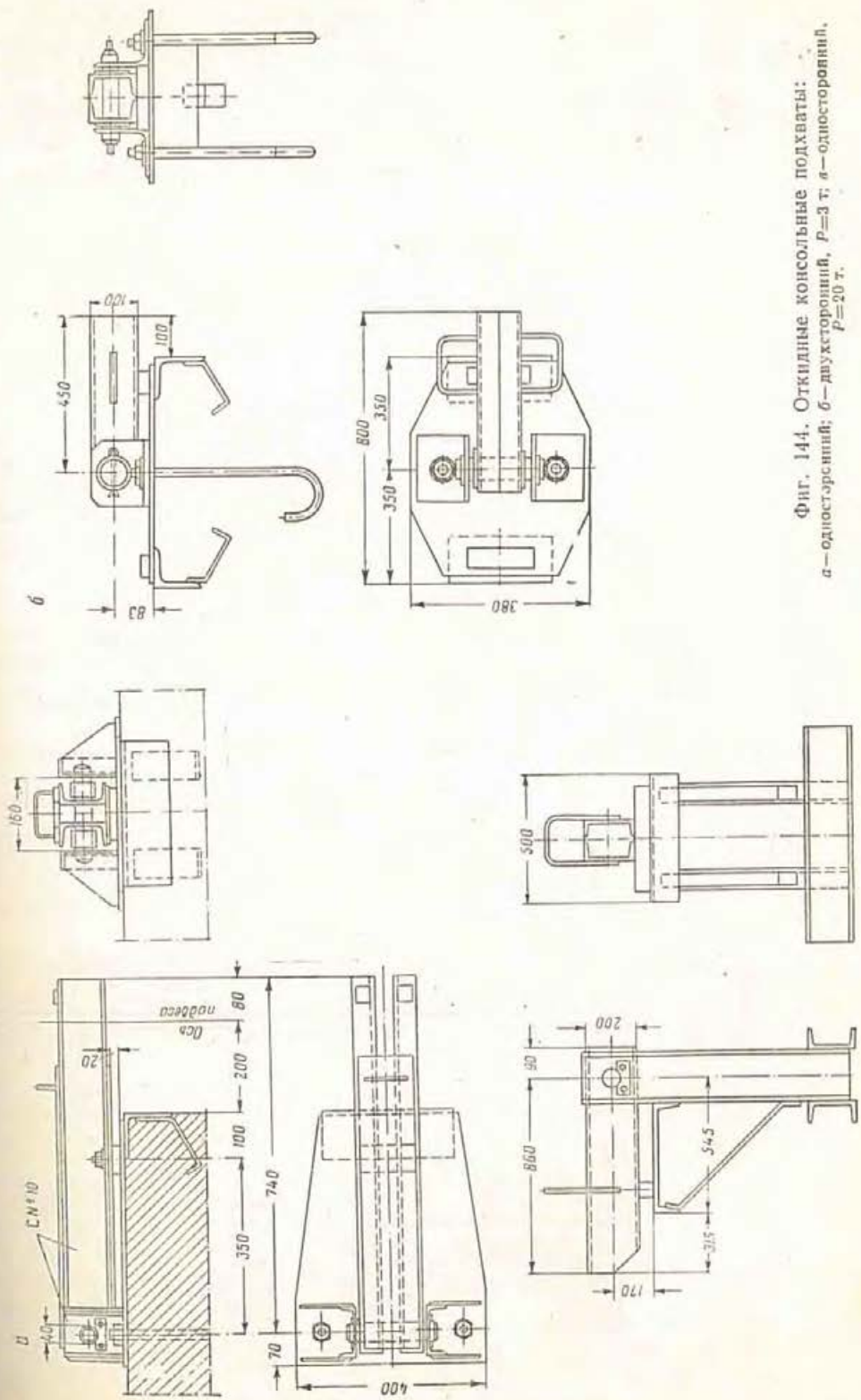
Фиг. 143. Соединение звеньев штанги:

а—непосредственное; б—соединительной вставкой; в—к назначению размеров проушины.

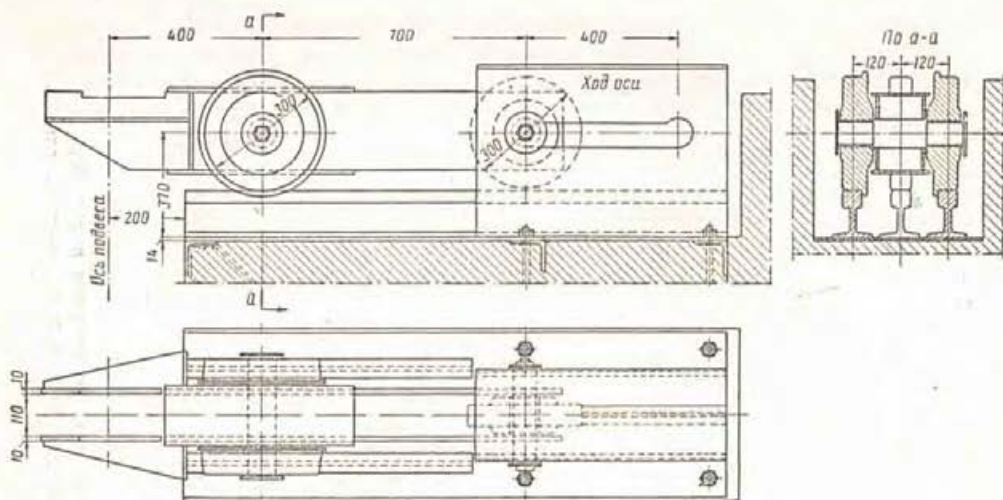
тривают как соединительный элемент и в расчете штанги на осевое усилие не учитывают.

Длину звеньев штанги назначают в зависимости от величины хода крюка подъемного механизма. По мере подъема затвора сработавшие звенья отсоединяют и убирают. Звенья штанги соединяют между собой осью непосредственно (фиг. 143,а) или при помощи соединительных вставок (фиг. 143,б).

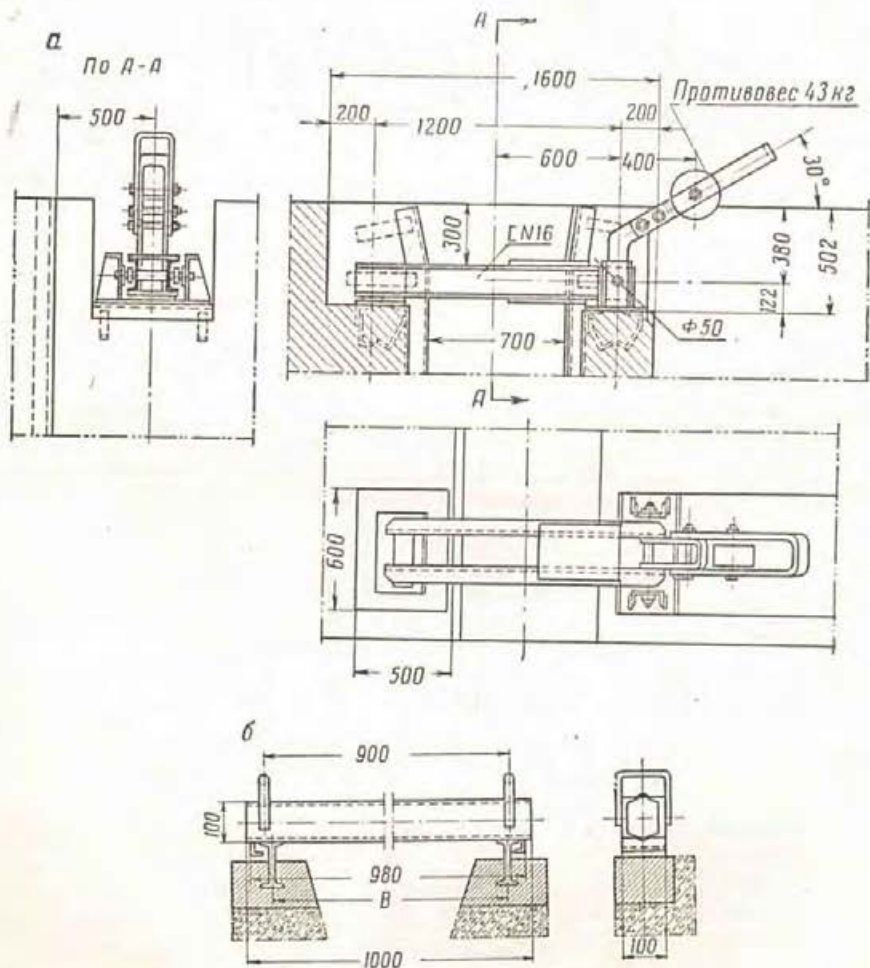




Фиг. 144. Откидные консольные подхваты:  
 а — односторонний; б — двухсторонний, P=3 т; в — односторонний,  
 P=20 т.



Фиг. 145. Выдвижной консольный подхват.



Фиг. 146. Двухопорные подхваты:  
а—откидной с противовесом; б—передвижной.

При назначении размеров проушины рекомендуется соблюдать следующие их соотношения (фиг. 143, в):

$$b = (2,4 \div 2,6) d; \quad \delta = \frac{1}{20} b \quad \text{и} \quad a = (0,88 \div 1,05) d.$$

Напряжения на разрыв проушины проверяют по формуле Ляме:

$$\sigma_{\text{л}} = \sigma_{\text{см}} \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \leq [\sigma],$$

где  $\sigma_{\text{см}}$  — напряжение смятия между осью и листом проушины, вычисленное по диаметральной плоскости;

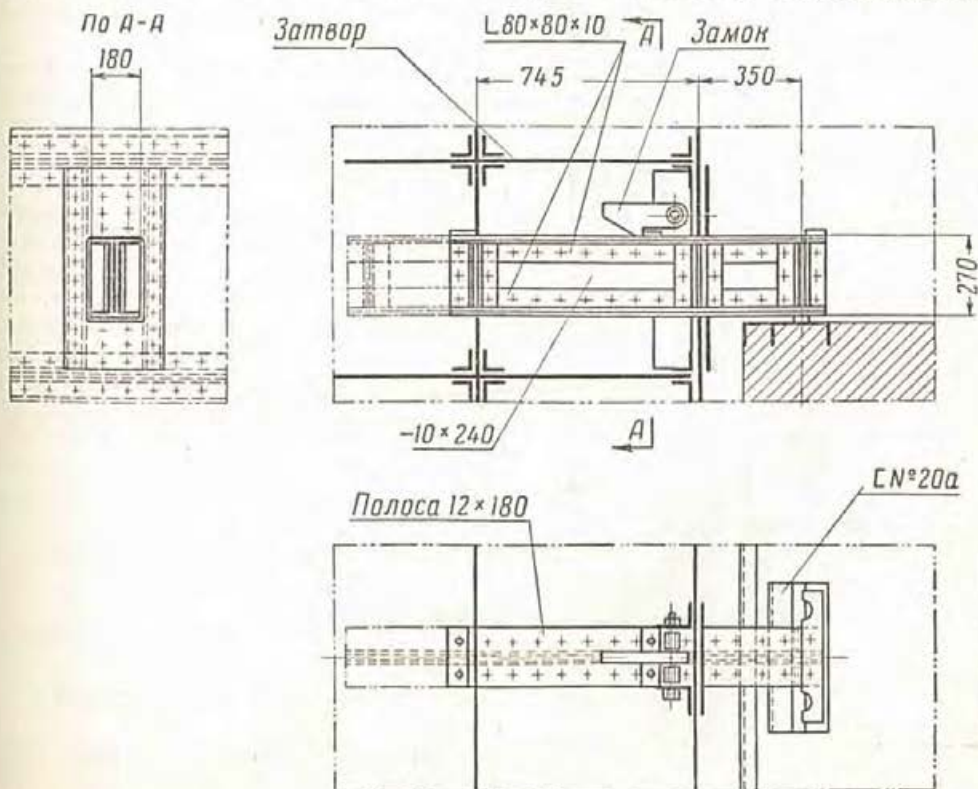
$[\sigma]$  — см. табл. 8 и 9;

$R$  и  $r$  — см. фиг. 143, в.

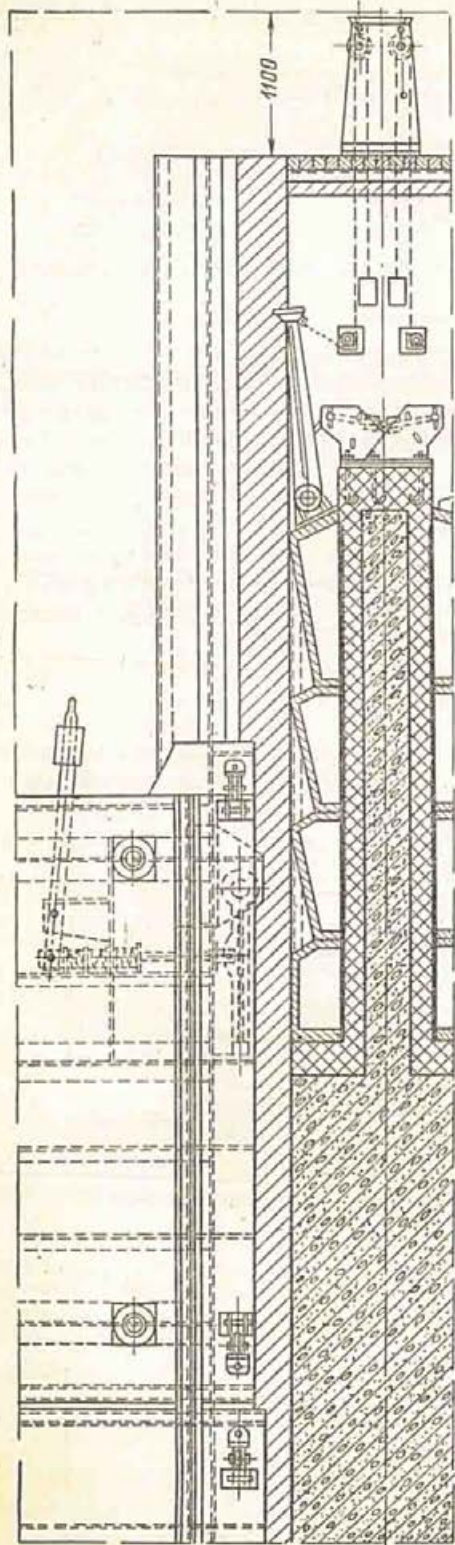
Штанги работают в условиях тяжелых статических и динамических воздействий, не поддающихся полному и достоверному вычислению (рывки щита при образовании вакуума, вибрация щита, влияние неровностей путей, колебания в интенсивности сил трения, временная заклинка щита в пазах, влияние обледенения и т. п.). Поэтому материал для штанг должен обладать не только высокой прочностью, но и высокой вязкостью при низких температурах. Допускаемые напряжения в продольных листах штанг принимают со значительным снижением против нормальных; например, для стали марки Ст.3 на растяжение не более 1 000 кг/см<sup>2</sup> (см. табл. 8 — допускаемые напряжения для механических деталей из поковок или прокатной стали).

### 3. ПОДХВАТЫ

Подхваты, служащие для удержания щита на весу, состоят из двух частей: неподвижной, заделанной в бетоне быка, и подвижной, выдвигаемой или



Фиг. 147. Выдвижной консольный подхват, установленный в щите.



Фиг. 148. Рычажные подхваты на щите и быке.

откидываемой в паз. На последнюю собственно и опирается штанга или специальные приспособления самого щита.

Подхваты могут быть консольными (фиг. 144 и 145) и двухопорными (фиг. 146), перекрывающими паз. Первые проще для маневрирования, но создают большие усилия, вырывающие неподвижную часть подхвата и усложняющие закрепление ее в бетоне быка.

Для облегчения работы с откидными подхватами их иногда снабжают противовесами (фиг. 146, а).

Наиболее удобным для маневрирования является расположение подхватов на верху паза.

Иногда удержание затворов на весу производят при помощи откидных крюков или мощных выдвигаемых реек (фиг. 147), закрепленных в опорных стойках щита.

В пазах устанавливают специальные мощные рейки с гнездами, в которые и входят откидные или выдвигаемые части подхвата щита.

Расстояние между гнездами определяет точность регулировки открытия отверстия затвора.

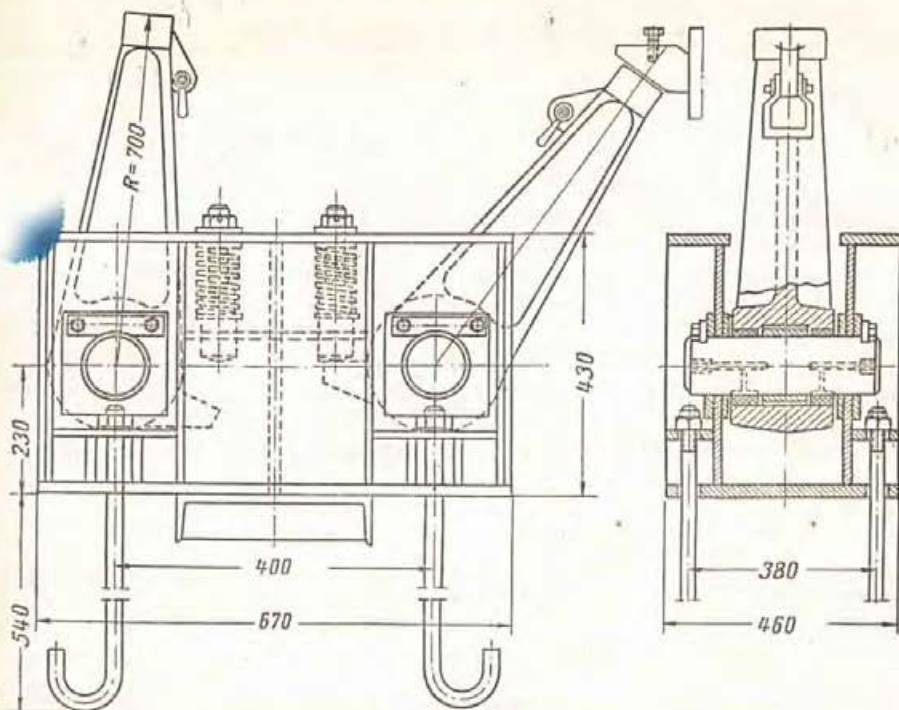
Неудобство подхватов такого типа состоит в невозможности обслуживания их с верхней площадки и в необходимости обслуживающему персоналу спускаться в паз.

Места, которыми затвор опирается на подхваты или в которых на затворе установлены подхваты, обычно требуют дополнительного усиления.

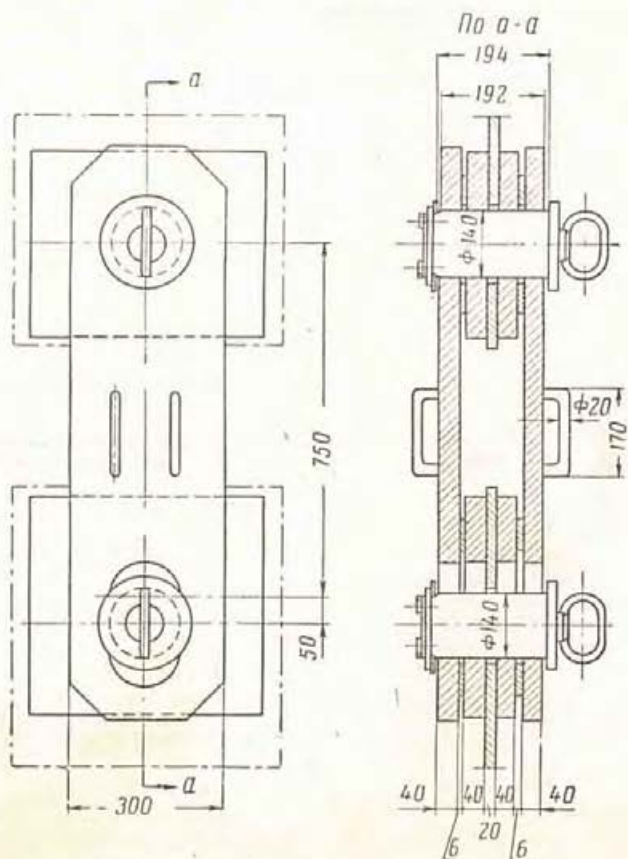
На фигуре 148 показаны пазовые устройства двухсекционного плоского колесного затвора для отверстия  $20 \times 9$  м, оборудованного рычажными подхватами грузоподъемностью 70 т. Эти подхваты установлены на верхнем щите и в верхней части быка. Первые служат для удержания затвора в промежуточных положениях. Упорами для них служат специальные литые части, заложенные в пазу быка.

На фигуре 149 показаны рычажные подхваты грузоподъемностью 40 т, устанавливаемые на верху быка затвора.

На фигуре 150 показана конструкция сцепа двухсекционного затвора при отверстии  $20 \times 9$  м.



Фиг. 149. Рычажные подхваты  $P=40$  т на верхней части быка.



Фиг. 150. Сцеп двухсекционного затвора отверстием  $20 \times 9$  м.

#### 4. ПОДЪЕМНОЕ И ОПУСКНОЕ УСИЛИЯ

Усилие  $N_{\text{п}}$ , требуемое для подъема плоских затворов, определяют по формуле:

$$N_{\text{п}} = 1,1G + 1,2(T_{\text{x}} + T_{\text{уп}} + V_{\text{н}} + V_{\text{в}}), \quad (1)$$

где  $G$  — полный вес подвижной части затвора;

$T_{\text{x}}$  — сумма сил трения во всех ходовых частях;

$T_{\text{уп}}$  — сумма сил трения в уплотнениях;

$V_{\text{н}}$  — вертикальное давление воды на нижнюю часть затвора;

$V_{\text{в}}$  — вертикальное давление воды на верхнюю часть затвора.

Знаки у сил  $V_{\text{н}}$  и  $V_{\text{в}}$  назначают в зависимости от направления их действия, т. е. в сторону движения затвора или против этого движения.

Усилие  $N_{\text{оп}}$ , требуемое для опускания затвора без дожима при полном весе подвижной части не более 5 т, определяют по формуле:

$$N'_{\text{оп}} = 2(T_{\text{x}} + T_{\text{уп}} + V_{\text{н}} + V_{\text{в}}); \quad (2)$$

при полном весе подвижной части более 5 т:

$$N''_{\text{оп}} = 1,2(T_{\text{x}} + T_{\text{уп}} + V_{\text{н}} + V_{\text{в}}). \quad (3)$$

Требуемое дожимное усилие —  $N_{\text{д}}$  механизма в затворах, снабженных таким механизмом:

$$N_{\text{д}} = 1,2(T_{\text{x}} + T_{\text{уп}} + V_{\text{н}} + V_{\text{в}}) - G. \quad (4)$$

В формулах (2)–(4) обозначения те же, что и в формуле (1);  $V_{\text{н}}$  — в формуле (1) — усилие подсоса, а в остальных — фильтрационное давление воды у порога.

Тормозные устройства механизмов для удержания подвижной части затвора рассчитывают на усилие  $N_{\text{уд}}$ , определенное по формуле:

$$N_{\text{уд}} = 1,75(G + V). \quad (5)$$

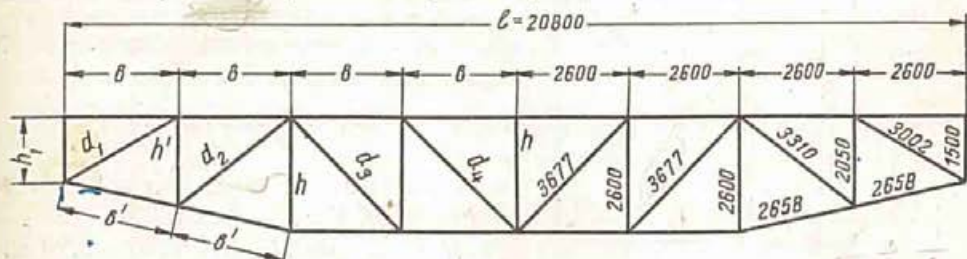
В формуле (5) учитывают только вертикальное давление воды, направленное сверху вниз.

Глава XVII

ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАТВОРА СО СКВОЗНЫМИ РИГЕЛЯМИ

1. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ, ВЫБОР СХЕМЫ ЗАТВОРА И НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЕГО

Отверстие поверхностное шириной  $l_0 = 20$  м и высотой  $h_0 = 6$  м; расчетный напор  $H = 6$  м; высота щита — 6,5 м.



Фиг. 151. Схема фермы ригеля.

Ст. Л55-6012. Материал — сталь прокатная марки Ст. 3, сталь литая марки

Соединения сварные электродами марки Э42.

Расчетный пролет:  $l \approx 1,04l_0 = 1,04 \times 20 = 20,8$  м.

Высота фермы:  $h = \frac{1}{8} l = \frac{20,8}{8} = 2,6$  м.

Число панелей:  $n = 8$ .

Длина панели:  $b = \frac{l}{n} = \frac{20,8}{8} = 2,6$  м.

Угол между осями раскоса и пояса  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b} = \frac{2,6}{2,6} = 1$ ;  $\alpha = 45^\circ$ .

Очертанию растянутого пояса во втором от опоры промежуточном узле сообщаем перелом для уменьшения высоты  $h_1$  фермы на опоре (фиг. 151).

Высота фермы на опоре  $h_1 = (0,4 \div 0,6) h = 1,5$  м.

Направление раскосов: два первых от опоры — восходящие к середине, следующие — нисходящие.

Угол между осями крайнего раскоса и сжатого пояса:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{b} = \frac{1,5}{2,6} = 0,577;$$

$$\alpha_1 = 30^\circ.$$

Высота первой от опоры стойки  $h' = \frac{h + h_1}{2} = \frac{2,6 + 1,5}{2} = 2,05$  м.

Длина раскосов:

$$\text{первого } d_1 = \sqrt{b^2 + h_1^2} = \sqrt{2,6^2 + 1,5^2} = 3,002 \text{ м};$$

$$\text{второго } d_2 = \sqrt{b^2 + (h')^2} = \sqrt{2,6^2 + 2,05^2} = 3,310 \text{ м};$$

$$\text{третьего и четвертого } d_3 = d_4 = \sqrt{b^2 + h^2} = \sqrt{2,6^2 + 2,6^2} = 3,677 \text{ м}.$$

Длина первой и второй панелей растянутого пояса:

$$b' = \sqrt{b^2 + (h - h')^2} = \sqrt{2,6^2 + 0,552^2} = 2,658 \text{ м.}$$

Ригели располагаем так, чтобы при закрытом отверстии они были равно нагружены гидростатическим давлением (фиг. 152).

Расстояние  $a_2$  от низа затвора до нижнего ригеля:

$$a_2 = 0,12 \times H = 0,12 \cdot 6 \approx 0,70 \text{ м.}$$

Расстояние до центра гидростатического давления на затвор:

$$0,5a + a_2 = \frac{1}{3} H = \frac{1}{3} \cdot 6 = 2 \text{ м.}$$

Расстояние между ригелями:

$$a = 2(2 - 0,70) = 2,6 \text{ м.}$$

При длине панели фермы ригеля  $b = 2,6$  м, являющейся одновременно и длиной панели продольной связевой фермы, угол  $\alpha_c$  между раскосом связевой фермы и ее поясом будет равен  $45^\circ$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{a}{b} = \frac{2,6}{2,6} = 1.$$

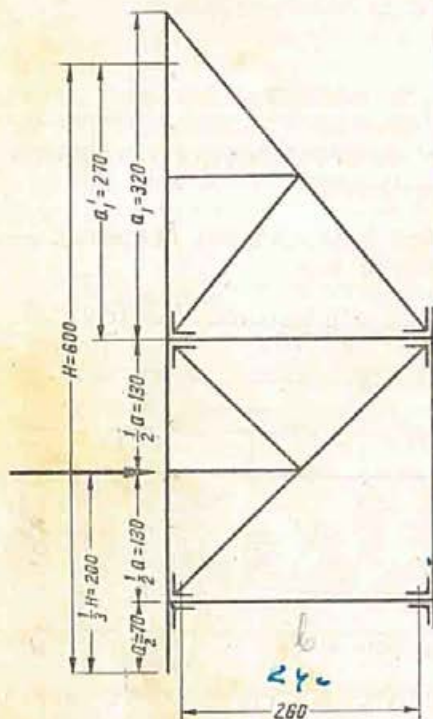
Нагруженная длина  $a'_1$  консольной части затвора:

$$a'_1 = H - a - a_2 = 6 - 2,6 - 0,70 = 2,70 \text{ м,}$$

что составляет  $\frac{2,70}{6} = 0,45 H$  и является приемлемым.

Полная длина консольной части:

$$a_1 = 2,7 + 0,5 = 3,2 \text{ м.}$$



Фиг. 152. Схема вертикального сечения затвора.

## 2. ОБШИВКА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ БАЛКИ

Вспомогательные балки из швеллеров, повернутых стенкой вверх, располагаем по высоте затвора так, чтобы изгибающие моменты в обшивке по всей высоте затвора были примерно одинаковы. Нижнюю обвязку осуществляем из мощного уголка, верхнюю из такого же швеллера, что и вспомогательные балки.

Обшивка опирается на сжатые пояса ригелей и вспомогательные балки. Последние опираются на стойки — поперечные связи.

Обшивку для расчета рассматриваем, как вертикально расположенную балку, защемленную по краям опор. Расчетным пролетом для обшивки считаем расстояние между ее опорами в свету.

Расположение обшивки и ее опор показано на фигуре 153. Слева на эпюре давления воды показана интенсивность этого давления по середине расчетного пролета каждого участка плиты. Расчетные пролеты обшивки и погружение середины пролета обшивки на каждом участке вычислены в предположении, что ширина пояса ригеля составляет 38 см, а ширина пояса вспомогательной балки — 6 см.

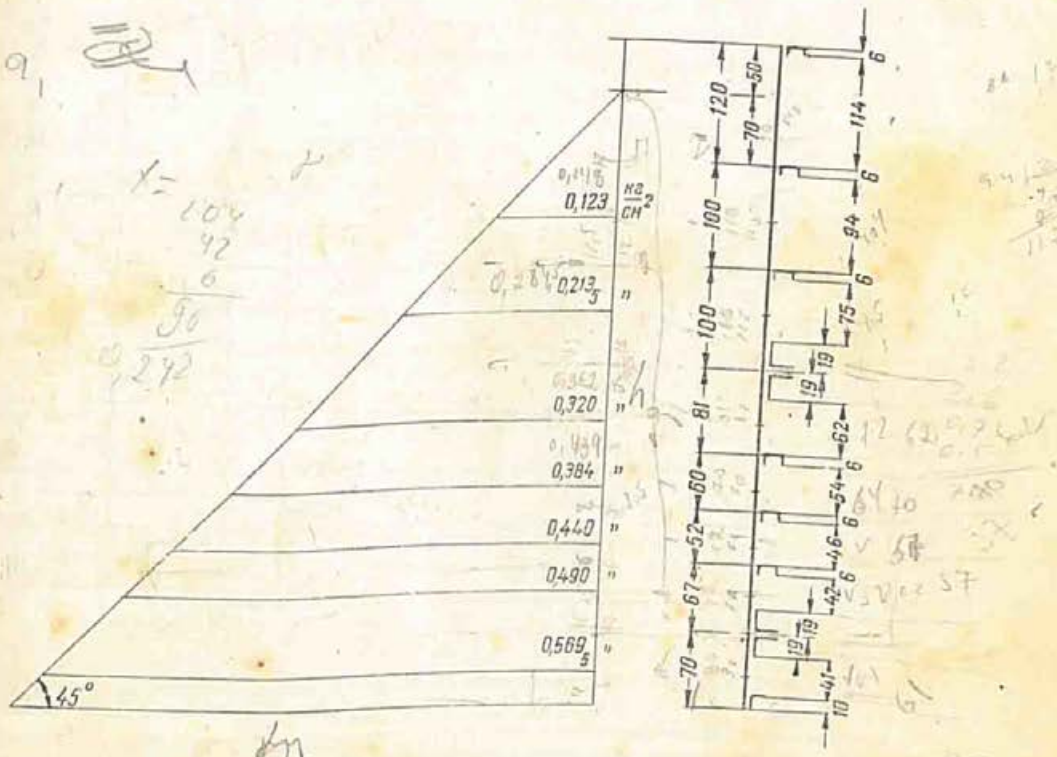
Требуемую толщину обшивки на каждом ее участке определяем по формуле (4) главы VII:

$$\delta = 0,0177 l \sqrt{p} \text{ см.}$$



Требуемая толщина обшивки:

- на втором участке  $\delta_2 = 0,0177 \cdot 94 \sqrt{0,123} = 0,58 \text{ см};$
- » третьем »  $\delta_3 = 0,0177 \cdot 75 \sqrt{0,2135} = 0,61 \text{ см};$
- » четвертом »  $\delta_4 = 0,0177 \cdot 62 \sqrt{0,32} = 0,62 \text{ см};$
- » пятом »  $\delta_5 = 0,0177 \cdot 54 \sqrt{0,384} = 0,59 \text{ см};$
- » шестом »  $\delta_6 = 0,0177 \cdot 46 \sqrt{0,44} = 0,54 \text{ см};$
- » седьмом »  $\delta_7 = 0,0177 \cdot 42 \sqrt{0,49} = 0,52 \text{ см};$
- » восьмом »  $\delta_8 = 0,0177 \cdot 41 \sqrt{0,57} = 0,55 \text{ см}.$



Фиг. 153. Схема расположения обвязок, вспомогательных балок и поясов ригелей, служащих опорами для обшивки, и расчетные давления для последней.

Принимаем ближайшую по сортаменту толщину листов обшивки  $\delta = 7 \text{ мм}$ . При этом напряжения в обшивке на четвертом наиболее нагруженном участке снизятся до

$$\sigma = 1600 \frac{0,62^2}{0,7^2} = 1256 \text{ кг/см}^2.$$

Вес обшивки  $0,007 \cdot 130 \cdot 7,85 = 7,15 \text{ т}$ .

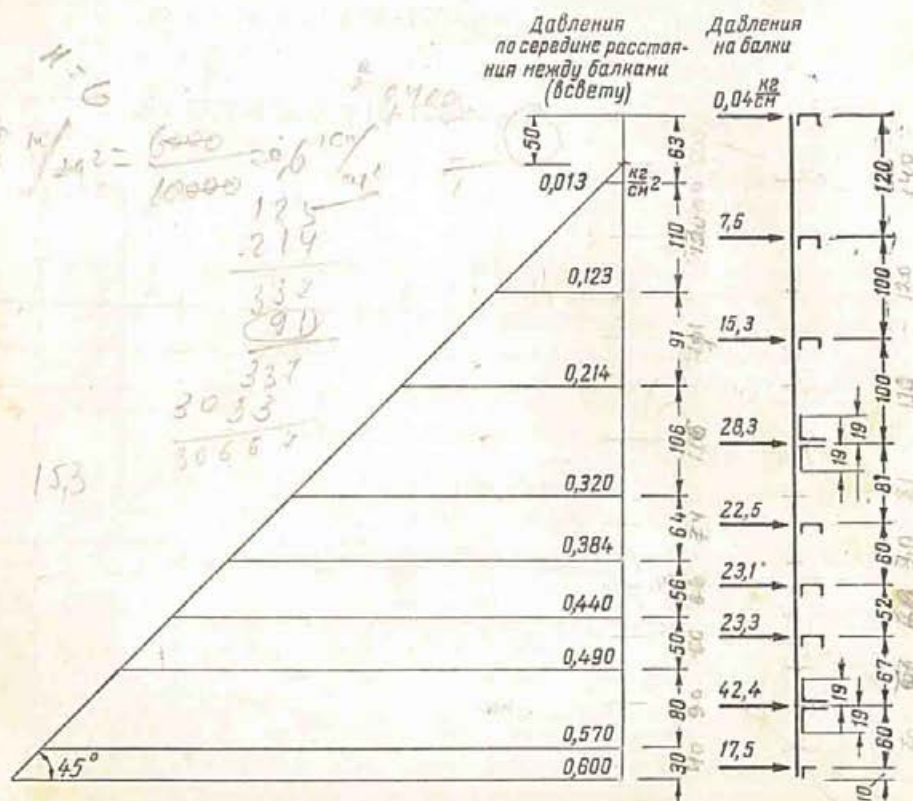
Если взамен трех вспомогательных балок между ригелями поставить две, то потребуется обшивка толщиной 7,6; 7,8 и 7,9 мм, т. е. 8 мм.

При этом вес обшивки составит  $0,008 \cdot 130 \cdot 7,85 = 8,15 \text{ т}$ .

При втором варианте расположения вспомогательных балок расход дефицитной листовой стали возрастает на 1 т, что примерно в 3 раза больше веса одной вспомогательной балки, добавленной в первом варианте.

При этом напряжения в обшивке во втором варианте достигают 1560 кг/см<sup>2</sup>, а в первом всего 1256 кг/см<sup>2</sup>. В проекте принимаем первый вариант, хотя трудоемкость его несколько больше вследствие постановки еще одной вспомогательной балки.

Определение давления на горизонтальные балки произведено на фигуре 154. Справа на этой фигуре показано расстояние между балками; слева — ширина нагруженной площади каждой балки (т. е. расстояние между серединами расчетных пролетов плиты). На эюре давления воды



Фиг. 154. Схема для определения давлений на балки, несущие обшивку.

показана в кг/см<sup>2</sup> интенсивность гидростатического давления на границах нагруженной площади каждой балки. Над стрелками у каждой балки показана в кг/см интенсивность гидростатического давления на них.

Наибольшее давление на вспомогательные балки составляет  $p = 23,3$  кг/см.

Вспомогательные балки прикреплены к стойкам сбоку (без разрывов). Поэтому изгибающие моменты в них находим, как в неразрезных балках:

$$M = \frac{pb^2}{10} = \frac{23,3 \cdot 260^2}{10} = 157\,500 \text{ кгсм.}$$

Требуемый момент сопротивления:

$$W_{\text{тр}} = \frac{157\,500}{1\,600} \approx 100 \text{ см}^3.$$

Этому моменту сопротивления соответствует швеллер № 16а с  $W_x = 108 \text{ см}^3$ . Учитывая работу части обшивки шириной по 150 с каждой стороны балки (фиг. 155) совместно с вспомогательной балкой, принимаем швеллер № 14а с

$$W_x = 80,5 \text{ см}^3, F_1 = 18,5 \text{ см}^2 \text{ и } I_1 = 564 \text{ см}^4.$$

Площадь обшивки  $F_2 = (2 \cdot 15 \delta + 6) \delta = 27 \cdot 0,7 = 18,9 \text{ см}^2$ .

Полная площадь балки  $F = 18,5 + 18,9 = 37,4 \text{ см}^2$ .

Статический момент относительно оси 1-1:

$$S = 18,9 \cdot 7,35 = 139 \text{ см}^3$$

Смещение центра тяжести сечения:

$$y' = \frac{139}{37,4} = 3,7 \text{ см}$$

Расстояние от центра тяжести сечения до края обшивки:

$$y''_1 = 7,7 - 3,7 = 4 \text{ см}$$

То же, до свободного края швеллера:

$$y''_2 = 14,7 - 4 = 10,7 \text{ см}$$

Момент инерции сечения:

$$I_x = 18,9(4 - 0,35)^2 + 564 + 18,5 \cdot 3,7^2 = 1069 \text{ см}^4$$

Моменты сопротивления:

$$W_x^{\text{макс}} = \frac{I_x}{y''_1} = \frac{1069}{4} = 257 \text{ см}^3$$

$$W_x^{\text{мин}} = \frac{I_x}{y''_2} = \frac{1069}{10,7} = 100 \text{ см}^3$$

Напряжения:

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{157500}{100} = 1575 \text{ кг/см}^2 <$$

$$< [\sigma] = 1600 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{157500}{257} = 610 \text{ кг/см}^2$$

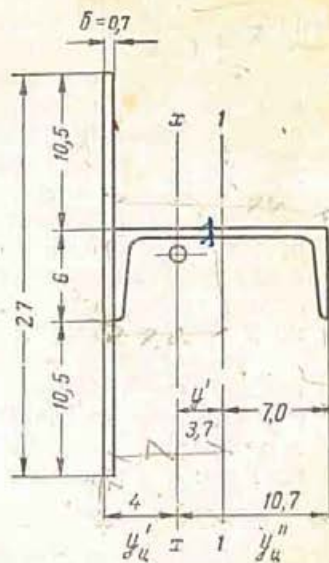
Все вспомогательные балки и верхнюю обвязку проектируем из швеллеров № 14а. Нижнюю обвязку проектируем из уголка 100 × 12 мм, встречающегося (как увидим в дальнейшем) в составе стержней фермы ригеля.

### 3. ФЕРМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СВЯЗЕЙ

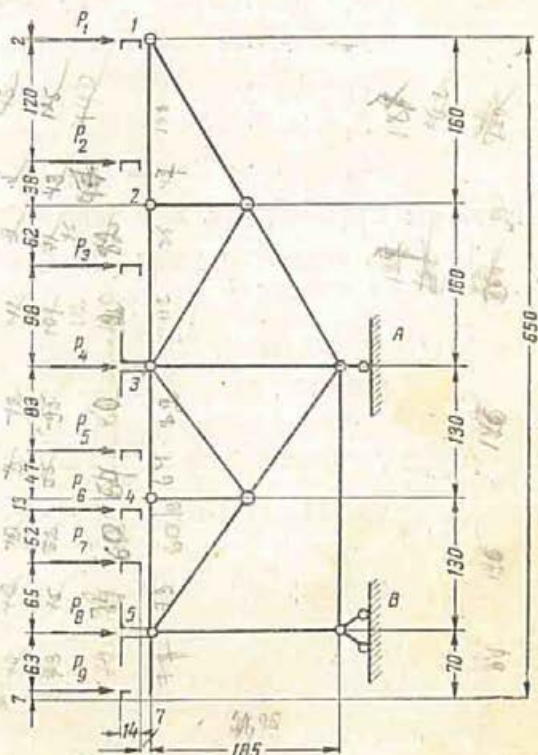
Фермы поперечных связей располагаем в вертикальной плоскости каждой стойки ферм ригелей, за исключением опорных стоек. В плоскости последних устраиваем опорно-концевые стойки.

Схему ферм поперечных связей выбираем простейшую, с одним раскосом между ригелями и с

дополнительными стойками (фиг. 156). Направление раскоса между ригелями назначено таким, чтобы в случае перегрузки нижней части этой перегрузки непосредственно передавалась верхнему ригелю, без вовлечения в работу крайней стойки и безнапорного пояса вертикальной фермы. При показании на фигуре 156



Фиг. 155. Поперечное сечение вспомогательной балки.



Фиг. 156. Схема фермы поперечных связей и ее загрузка.

расположении раскоса число нагруженных элементов вертикальной фермы оказывается наименьшим.

Для уменьшения изгибающего момента в панели вертикальной фермы между ригелями ставим шпренгель. (Постановка шпренгеля в рассматриваемом случае позволяет заменить в поясе поперечных связей два швеллера № 27а на два швеллера № 14а; вес этих швеллеров соответственно 30,83 и 14,53 кг/м.)

Всего на затворе семь поперечных ферм. Из них пять — высотой, соответствующей полной высоте фермы ригеля, т. е. 2,6 м (см. фиг. 151), а две крайние имеют высоту, равную высоте первой промежуточной стойки фермы ригеля (2,05 м). Нагрузки на все поперечные фермы почти одинаковы (46,8 и 46,2 т).

Расчет ферм и подбор сечений ведем по ферме с меньшей высотой, приняв для нее нагрузку 46,8 т. Расчетную высоту фермы определяем с учетом расположения вспомогательных балок высотой по 14 см заподлицо с напорными поясами ферм ригелей и смещения оси напорного пояса на 7 см:

$$h = 205 - 14 - 7 \approx 185 \text{ см.}$$

Схема фермы, ее размеры и нагрузки представлены на фигуре 156.

Давления вспомогательных балок на поперечную ферму (см. фиг. 154 и 156):

$$\begin{aligned} P_1 &= 0,04 \cdot 260 = 10 \text{ кг} & P_6 &= 23,1 \cdot 260 = 6000 \text{ кг} \\ P_2 &= 7,5 \cdot 260 = 1950 \text{ кг} & P_7 &= 23,3 \cdot 260 = 6060 \text{ кг} \\ P_3 &= 15,3 \cdot 260 = 3980 \text{ кг} & P_8 &= 42,4 \cdot 260 = 11020 \text{ кг} \\ P_4 &= 28,3 \cdot 260 = 7360 \text{ кг} & P_9 &= 17,5 \cdot 260 = 4550 \text{ кг} \\ P_5 &= 22,5 \cdot 260 = 5850 \text{ кг} \end{aligned}$$

Проверка:  $\sum P_i = 46,78 \text{ т}$ , а должно быть  $\frac{6 \cdot 6 \cdot 2,6}{2} = 46,8 \text{ т}$ .

Точность подсчетов удовлетворительна.

Узловые нагрузки:

$$P_{уз1} = 10 + \frac{1950 \cdot 38}{160} = 470 \text{ кг};$$

$$P_{уз2} = \frac{1950 \cdot 122}{160} + \frac{3980 \cdot 98}{160} = 3930 \text{ кг};$$

$$P_{уз3} = 7360 + \frac{3980 \cdot 62}{160} + \frac{5850 \cdot 47}{130} = 11020 \text{ кг};$$

$$P_{уз4} = \frac{5850 \cdot 83}{130} + \frac{6000 \cdot 117}{130} + \frac{6060 \cdot 65}{130} - \frac{4550 \cdot 63}{130} = 9970 \text{ кг};$$

$$P_{уз5} = 11020 + \frac{6000 \cdot 13}{130} + \frac{6060 \cdot 65}{130} + \frac{4550 \cdot 193}{130} = 21400 \text{ кг}.$$

Проверка:  $\sum P_{уз} = 46790 \text{ кг}$ .

Должно быть  $\sum P_{уз} = 46800 \text{ кг}$ ; точность подсчетов удовлетворительна.

Определение опорных давлений вертикальной фермы.

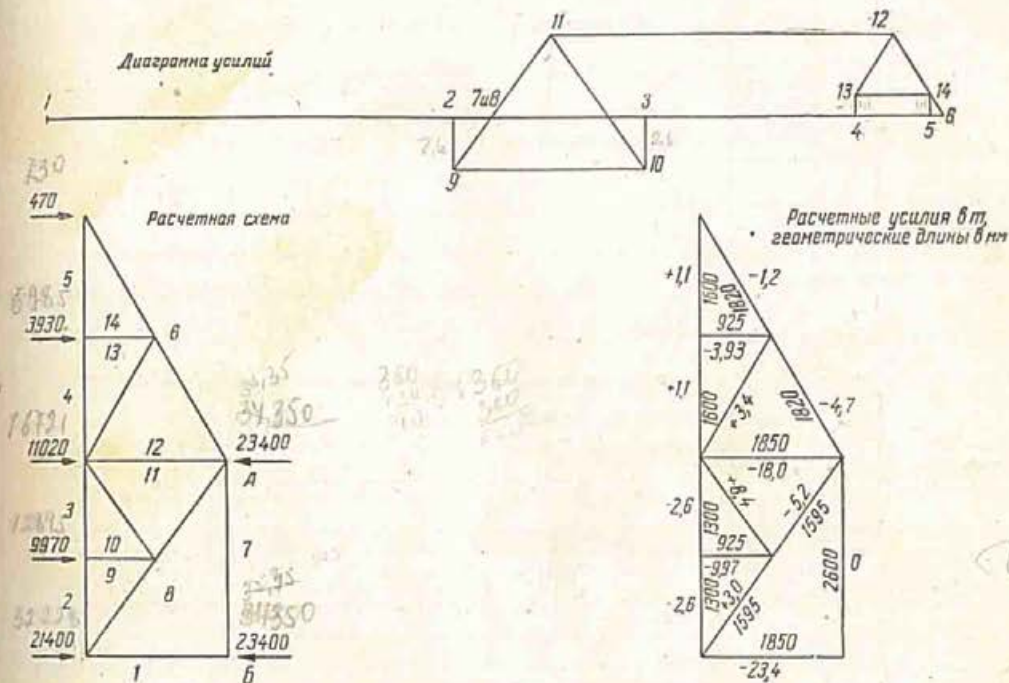
Условно считаем, что опорные реакции приложены в узлах А и В (фиг. 157).

$$B = \frac{-470 \cdot 320 - 3930 \cdot 160 + 9970 \cdot 130 + 21400 \cdot 260}{260} = 23390 \text{ кг};$$

$$A = \frac{470 \cdot 580 + 3930 \cdot 420 + 11020 \cdot 260 + 9970 \cdot 130}{260} = 23400 \text{ кг}.$$

Усилия в стержнях поперечной фермы определены графически (фиг. 157). Там же на правой схеме фермы показаны расчетные усилия (в т) стержней фермы и их длины (в мм).

В наихудших условиях работы находятся панели напорного пояса, работающие на местный изгиб, сжатый пояс консольной части и сжатый раскос 8-11. Основные стойки 1-8 и 11-12 вертикальных поперечных ферм входят в состав ферм ригелей. Сечение их подбирают при расчете ригелей и не меняют при расчете поперечных ферм. Усилия в стойках 1-8 и 11-12 зависят от условий опирания. Если бы мы при расчете поперечных ферм предположили, что они опираются не на растянутые пояса ригелей, а на сжатые, то в стойке 1-8 усилие было бы равно 0, а в стойке 11-12 оно изменило бы свой знак.



Фиг. 157. Графическое определение усилий в стержнях фермы поперечных связей и расчетная схема фермы.

Подбор сечений. Определяем изгибающие моменты в панелях напорного пояса (фиг. 158), предварительно определив опорные реакции:

$$M_1 = 1490 \cdot 38 = 56500 \text{ кгсм}$$

$$M_2 = 2440 \cdot 62 = 150000 \text{ »}$$

$$M_3 = 2120 \cdot 83 = 176000 \text{ »}$$

$$M_4 = 3630 \cdot 65 = 236000 \text{ »}$$

Влияние нижней консольной части балки в этом расчете не учитываем, так как нижняя обвязка связана большим числом малых промежуточных консолей с поясом фермы.

Требуемый момент сопротивления в нижней панели:

$$W_{тр} = \frac{236000}{1600} = 147,5 \text{ см}^3.$$

Принимаем сечение пояса из двух швеллеров № 14а:

$$W_x = 2 \cdot 80,5 = 161 \text{ см}^3; \quad F = 2 \cdot 18,51 = 37 \text{ см}^2;$$

$$r_x = 5,52 \text{ см}, \quad r'_y = 1,70 \text{ см}.$$

Радиус инерции сечения из двух швеллеров относительно оси  $y-y$  (фиг. 159):

$$r_y = \sqrt{(r'_y)^2 + e^2} = \sqrt{1,7^2 + (0,4 + 1,71)^2} = 2,70 \text{ см,}$$

где  $e$  — расстояние между центрами тяжести всего сечения и отдельного швеллера.

Гибкость в плоскости фермы:

$$\lambda_x = \frac{130}{5,52} = 23,6; \quad \varphi_x = 0,95.$$

Гибкость из плоскости фермы:

$$\lambda_y = \frac{260}{2,70} = 96; \quad \varphi_y = 0,64.$$

Напряжения:

$$\sigma_x = \frac{N}{F\varphi_x} + \frac{M}{W_x} = \frac{2600}{37 \cdot 0,95} + \frac{236000}{161} = 1539 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1600 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка устойчивости в плоскости, перпендикулярной плоскости изгибающего момента:

$$\sigma = \frac{N}{F\varphi_y k} = \frac{2600}{37 \cdot 0,64 \cdot 0,17} = 646 \text{ кг/см}^2,$$

где  $k = 0,17$ , так как

$$\frac{M_{\text{макс}}}{Nl} = \frac{236000}{2600 \cdot 14} \approx 6,5.$$

Во всех панелях напорного пояса сохраняем сечение из двух швеллеров № 14а.

Сечения основного раскоса 8-9-11 и сжатого пояса консольной части принимаем из двух уголков 75 × 8 мм, а сечения раскосов 10-11 и 12-13 и дополнительных стоек 9-10 и 13-14 принимаем из двух уголков 60 × 6 мм. Элемент 8-7 одновременно

Фиг. 158. Схемы для определения изгибающих моментов в панелях напорного пояса фермы поперечных связей.

Фиг. 159. Поперечное сечение напорного пояса связевой фермы.

но входит в состав продольной связевой фермы. Его сечение назначено при конструировании последней.

Характеристики принятых сечений.

Два уголка 75 × 8 мм:

$$F = 2 \cdot 11,5 = 23 \text{ см}^2; \quad r_x = 2,28 \text{ см;}$$

$$r_y = \sqrt{2,28^2 + (0,4 + 2,14)^2} = 3,56 \text{ см.}$$

Гибкость в плоскости фермы:

$$\lambda_x = \frac{182}{2,28} = 81.$$

Гибкость из плоскости фермы (в запас прочности не учитываем подерживающее влияние растянутого раскоса):

$$\lambda_y = \frac{364}{3,56} = 102; \quad \varphi_y = 0,58.$$

Напряжение в поясе:

$$\sigma_y = \frac{4700}{23 \cdot 0,58} = 352 \text{ кг/см}^2.$$

Два уголка  $60 \times 6$  мм:

$$F = 2 \cdot 6,91 = 13,82 \text{ см}^2; \quad r_x = 1,84 \text{ см.}$$

Гибкость в плоскости фермы:

$$\lambda_x = \frac{0,8 \cdot 92,5}{1,84} = 40; \quad \varphi_x = 0,92.$$

Напряжение:

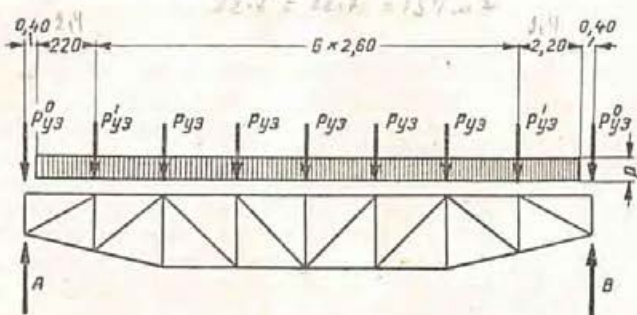
$$\sigma = \frac{9970}{13,82 \cdot 0,92} = 787 \text{ кг/см}^2.$$

При конструировании принято сечение из двух уголков  $65 \times 6$  мм.

#### 4. ОПОРНЫЕ ДАВЛЕНИЯ И УЗЛОВЫЕ НАГРУЗКИ ФЕРМ РИГЕЛЕЙ

Нагруженную гидростатическим давлением площадь затвора определяем в предположении, что боковые уплотнения расположены в отверстиях, а не в нишах\*, т. е. при  $l_r = l_0$ :

$$F = l_r \cdot H = 20 \cdot 6 = 120 \text{ м}^2.$$



Фиг. 160. Схема для определения узловых нагрузок фермы ригеля.

Нагрузка от давления воды на весь затвор по формуле (5) главы III:

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 l_r = \frac{1}{2} 6^2 \cdot 20 = 360 \text{ т.}$$

Опорные давления одной фермы

$$A = B = \frac{P}{4} = \frac{360}{4} = 90 \text{ т.}$$

Нагрузка на один промежуточный узел (за исключением первого — см. фиг. 160) по формуле (25) главы IX:

$$P_{уз} = \frac{1}{4} \gamma H^2 b = \frac{1}{4} 6^2 \cdot 2,6 = 23,4 \text{ т.}$$

Нагрузка на первый промежуточный узел:

$$P'_{уз} = \frac{1}{8} 6^2 \cdot 2,6 + \frac{1}{4} 6^2 \frac{2,2(1,1+0,4)}{2,6} = 23,1 \text{ т.}$$

\* При пролете ферм 20,8 м перенос резиновых уплотнений в нишу не вызовет существенных изменений в напряжениях элементов ригелей, а расчетная нагрузка на весь затвор возрастет приблизительно на 1%.







то же, до пера уголка:  $y_{II}'' = 20,0 + 0,7 - 4,70 = 16,0$  см.

Момент инерции всего сечения:

$$I_x = 2 \cdot 2355 + 124 \cdot 1,55^2 + 44(4,70 - 0,35)^2 = 5838 \text{ см}^4.$$

Моменты сопротивления:

$$W_x^{\text{макс}} = \frac{5838}{4,70} = 1240 \text{ см}^3;$$

$$W_x^{\text{мин}} = \frac{5838}{16,0} = 365 \text{ см}^3.$$

Радиус инерции:

$$r_x = \sqrt{\frac{5838}{168}} = 5,90 \text{ см.}$$

Гибкость:

$$\lambda_x = \frac{260}{5,90} = 44; \quad \varphi_x = 0,91.$$

Изгибающие моменты в поясе от гидростатической нагрузки интенсивностью  $p = 42,4$  кг/см (фиг. 154) находим, как в многопролетной неразрезной балке. Для расчета имеют значения пролетные и опорные моменты в средних наиболее сжатых панелях.

$$M_{\text{пр}} = +0,0462 \cdot p l^2 = +0,0462 \cdot 42,4 \cdot 260^2 = 132500 \text{ кгсм.}$$

$$M_{\text{оп}} = -0,079 p l^2 = -0,079 \cdot 42,4 \cdot 260^2 = -226500 \text{ кгсм.}$$

Напряжения в панели по формуле (31) главы IX:

$$\sigma_{\text{макс}} = -\frac{N}{F \varphi_x} - \frac{M_{\text{пр}}}{W_x^{\text{макс}}} = -\frac{188000}{168 \cdot 0,91} - \frac{132500}{1240} = 1340 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения в среднем узле (без учета работы узловой фасонки)

$$\sigma_{\text{макс}} = -\frac{N}{F} - \frac{M_{\text{оп}}}{W_x^{\text{мин}}} = -\frac{188000}{168} - \frac{226500}{365} = -1740 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{\text{мин}} = -\frac{N}{F} + \frac{M_{\text{оп}}}{W_x^{\text{макс}}} = -\frac{188000}{168} + \frac{226500}{1240} = -940 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения в остальных промежуточных узлах будут значительно ниже вследствие наличия в них мощных узловых фасонки и уменьшения усилий в поясах.

Чтобы не менять сечение пояса из-за перенапряжения в среднем узле, развиваем узловую фасонку на участке около  $\frac{1}{8}$  длины панели в каждую сторону от центра узла (по 30 см).

Сечение пояса в среднем узле показано на фигуре 164:

$$F = 124 + 44 + 30 \cdot 0,16 = 216 \text{ см}^2;$$

$$S_{I-I} = -44(5,55 + 0,35) + 30 \cdot 1,6(15,0 + 0,5 - 5,5) = 220 \text{ см}^3;$$

$$y' = \frac{220}{216} = 1,095 \approx 1,1 \text{ см (вправо)};$$

$$y_{II}' = 0,7 + 5,55 + 1,1 = 7,35 \text{ см};$$

$$y_{II}'' = 0,7 + 30,5 - 7,35 = 23,85 \text{ см};$$

$$I_x = 2 \cdot 2355 + 124 \cdot 1,1^2 + 44(7,35 - 0,35)^2 + 48(15 + 0,5 + 0,7 - 7,35)^2 = 8836 \text{ см}^4;$$

$$W_x^{\text{мин}} = \frac{8836}{23,85} = 370 \text{ см}^3; \quad 587$$

$$W_x^{\text{макс}} = \frac{8836}{7,35} = 1200 \text{ см}^3; \quad 1476$$

$$\sigma = -\frac{188000}{216} - \frac{226500}{370} = 1480 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1600 \text{ кг/см}^2.$$

Сечение сжатого пояса в двух крайних панелях подбираем по усилию  $N = -105\,000$  кг и моментам в панели  $M_{пр} = 132\,500$  кгсм и в узле  $M_{оп} = -226\,500$  кгсм.

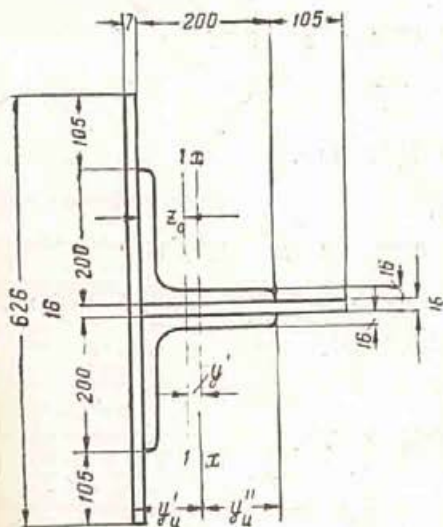
По графикам приложения I находим, что при длине панели 2,6 м и величине

$$F_{\varphi_{TP}} = \frac{105\,000}{0,9 \cdot 1\,600} = 73 \text{ см}^2$$

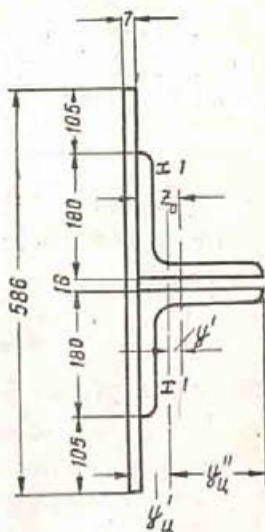
требуются уголки  $180 \times 14$  мм.

Геометрические характеристики одного уголка:

$$F' = 48,8 \text{ см}^2; \quad I'_x = 1515 \text{ см}^4; \quad z_0 = 4,97 \text{ см.}$$



Фиг. 164. Расчетное сечение сжатого пояса в среднем узле.



Фиг. 165. Расчетное сечение сжатого пояса во второй панели.

Расчетное сечение показано на фигуре 165:

$$F = 0,7 \cdot 58,6 + 2 \cdot 48,8 = 41,0 + 97,6 = 138,6 \text{ см}^2;$$

$$S = 41,0(4,97 + 0,35) = 218 \text{ см}^3;$$

$$y' = \frac{218}{138,6} = 1,57 \text{ см};$$

$$y'_c = 0,7 + 4,97 - 1,57 = 4,1 \text{ см};$$

$$y''_c = 0,7 + 18 - 4,1 = 14,6 \text{ см};$$

$$I_x = 41,0(4,1 - 0,35)^2 + 2 \cdot 1515 + 97,6 \cdot 1,57^2 = 3850 \text{ см}^4.$$

$$W_x^{\max} = \frac{3\,850}{4,1} = 940 \text{ см}^3;$$

$$W_x^{\min} = \frac{3\,850}{14,6} = 264 \text{ см}^3;$$

$$r_x = \sqrt{\frac{3\,850}{138,6}} = 5,27 \text{ см}; \quad \lambda_x = \frac{260}{5,27} = 49,5; \quad \varphi_x = 0,89.$$

Напряжения:

в панели

$$\sigma = -\frac{N}{F_{\varphi_x}} - \frac{M_{пр}}{W_x^{\max}} = -\frac{105\,000}{139 \cdot 0,89} - \frac{132\,500}{940} = 990 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1600 \text{ кг/см}^2;$$

в узле

$$\sigma = -\frac{N}{F} - \frac{M_{оп}}{W_x^{мин}} = -\frac{105\,000}{139} - \frac{226\,500}{264} = 1\,610 \text{ кг/см}^2.$$

Последние напряжения получены без учета работы узловой фасонки, имеющей большие размеры по условиям конструирования узла.

Нижний пояс. 4-я панель. Усилие  $N = +177\,000$  кг.

Требуемая площадь с учетом напряжений от действия собственного веса затвора (в момент отрыва от порога):

$$F_{тр} = \frac{177\,000}{0,9 \cdot 1\,600} = 123,0 \text{ см}^2.$$

Принимаем два уголка  $200 \times 16$  мм.

$$F = 2 \cdot 62 = 124 \text{ см}^2; r_x = 6,17 \text{ см}; z_0 = 5,55 \text{ см}.$$

2-я панель. Усилие  $N = +146\,000$  кг.

Требуемая площадь:

$$F_{тр} = \frac{146\,000}{0,9 \cdot 1\,600} = 101,4 \text{ см}^2.$$

Принимаем два уголка  $180 \times 14$  мм.

$$F = 2 \cdot 48,8 = 97,6 \text{ см}^2; r_x = 5,57 \text{ см}; z_0 = 4,97 \text{ см}.$$

Раскосы растянутые. Третий раскос. Усилие  $N = +49\,000$  кг.

$$F_{тр} = \frac{49\,000}{1\,600} = 30,6 \text{ см}^2.$$

Принимаем два уголка  $100 \times 8$  мм: ✓

$$F = 2 \cdot 15,6 = 31,2 \text{ см}^2.$$

Четвертый раскос. Усилие  $N = +16\,000$  кг.

$$F_{тр} = \frac{16\,000}{1\,600} = 10 \text{ см}^2.$$

Размер уголков назначаем конструктивно (см. табл. 37).

Раскосы сжатые. Первый раскос. Усилие  $N = -121\,000$  кг, длина  $l = 300$  см.

$$\text{При } F_{\varphi_{тр}} = \frac{121\,000}{1\,600} = 75,5 \text{ см}^2,$$

по графику приложения I требуются уголки  $180 \times 14$  мм.

$$F = 2 \cdot 48,8 = 97,6 \text{ см}^2; r_x = 5,57 \text{ см};$$

$$\lambda_x = \frac{300}{5,57} = 53,8; \varphi_x = 0,88.$$

Напряжение  $\sigma = \frac{121\,000}{97,6 \cdot 0,88} = 1\,410 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1\,600 \text{ кг/см}^2.$

Более полное использование площади по напряжениям дало бы уголки  $150 \times 18$  мм, но они более тяжелы ( $2 \cdot 80,2 > 2 \cdot 76,6$  кг/м).

Второй раскос. Усилие  $N = -48\,500$  кг, приведенная длина  $l_{пр} = 265$  см.

Принято два уголка  $100 \times 12$  мм.

$$F = 2 \cdot 22,8 = 45,6 \text{ см}^2; r_x = 3,03 \text{ см};$$

$$\lambda_x = \frac{265}{3,03} = 87; \varphi_x = 0,71.$$

Напряжение  $\sigma = \frac{48\,500}{45,6 \cdot 0,71} = 1\,500 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1\,600 \text{ кг/см}^2.$

Ближайшие меньшие уголки ( $100 \times 10$  мм) были бы перенапряжены.

Стойки. Первая стойка входит в состав опорно-концевой стойки всего затвора и будет законструирована позже.

Для удобства примыкания элементов поперечных связевых ферм все промежуточные стойки проектируем крестового сечения.

Вторая стойка.  $N = +37\,000$  кг.

$$F_{\text{тр}} = \frac{37\,000}{1\,600} = 23,1 \text{ см}^2.$$

Принимаем два уголка  $75 \times 8$  мм.

$$F = 2 \cdot 11,5 = 23 \text{ см}^2.$$

$$\text{Напряжение } \sigma = \frac{37\,000}{23} = 1\,608 \text{ кг/см}^2.$$

Третья стойка.  $N = -29\,000$  кг,  $l_{\text{пр}} = 208$  см.

Принято сечение из двух уголков  $90 \times 8$  мм.

$$F = 2 \cdot 14 = 28 \text{ см}^2; \quad r_0 = 3,46 \text{ см};$$

$$\lambda_0 = \frac{208}{3,46} = 60; \quad \varphi_0 = 0,86.$$

$$\text{Напряжение } \sigma = \frac{29\,000}{28 \cdot 0,86} = 1\,205 \text{ кг/см}^2.$$

Четвертая стойка  $N = -35\,300$  кг,  $l_{\text{пр}} = 208$  см.

Принято сечение из двух уголков  $100 \times 8$  мм. ✓

$$F = 2 \cdot 15,6 = 31,2 \text{ см}^2; \quad r_0 = 3,87 \text{ см};$$

$$\lambda_0 = \frac{208}{3,87} = 54; \quad \varphi_0 = 0,88.$$

$$\text{Напряжение } \sigma = \frac{35\,300}{31,2 \cdot 0,88} = 1\,286 \text{ кг/см}^2.$$

Пятая стойка  $N = -23\,400$  кг,  $l_{\text{пр}} = 208$  см.

Принято сечение из двух уголков  $75 \times 8$  мм.

$$F = 2 \cdot 11,5 = 23 \text{ см}^2; \quad r_0 = 2,87 \text{ см};$$

$$\lambda_0 = \frac{208}{2,87} = 72,5; \quad \varphi_0 = 0,79.$$

$$\text{Напряжение } \sigma = \frac{23\,400}{23 \cdot 0,79} = 1\,290 \text{ кг/см}^2.$$

В целях уменьшения числа профилей, идущих на изготовление затвора, вторую и пятую стойки и четвертый раскос принимаем из уголков  $75 \times 8$  мм, а третью стойку — из уголков  $100 \times 8$  мм.

В результате получим следующую повторяемость профилей в элементах ферм:

✓	уголки	$200 \times 16$ мм	— в двух элементах;	
✓	»	$180 \times 14$ »	— в четырех »	;
✓	»	$100 \times 12$ »	— в двух »	;
✓	»	$100 \times 8$ »	— в шести »	;
✓	»	$75 \times 8$ »	— в пяти »	;

Проект затвора представлен на фигурах 166 ÷ 168.



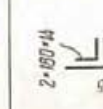
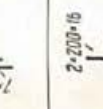
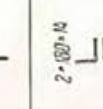
## 7. КРЕПЛЕНИЯ В УЗЛАХ

Допускаемые напряжения в сварных швах:

встык при сжатии	$[\sigma_{\text{ш}}]_c = 1\,450 \text{ кг/см}^2$
» » растяжении	$[\sigma_{\text{ш}}]_p = 1\,300 \text{ »}$
в валиковых швах	$[\tau_{\text{ш}}] = 1\,100 \text{ »}$

Размеры сварных швов для крепления концов поясов, раскосов и стоек назначаем из условия равной прочности уголков и их крепления.

Подбор сечений фермы ригеля (сталь марки Ст. 3,  $[\sigma] = 1600 \text{ кг/см}^2$ )

Стержни	Расчетные усилия (в кг)		Форма и размеры сечений (в мм)	Площадь сечений (в см <sup>2</sup> ) и моменты сопротивления (в см <sup>4</sup> )	Длины		Радиусы инерции (в см)	Гибкости	Коэффициенты $\mu$	Напряжения от нагрузок		
	основных	основных и дополнительных			геометрические (в см)	приведенные (в см)				основных (в кг/см <sup>2</sup> )	основных и дополнительных (в кг/см <sup>2</sup> )	
наименование	№											
Сжатый пояс	4-я панель	$N = -188\ 000$		$F = 168$ $W_{\text{макс}} = 1\ 240$ $W_{\text{мин}} = 365$	260	260	5,90	44	0,91	+	1 230	
		$M_{\text{пр}} = +132\ 500$									1 10	
		$M_{\text{оп}} = -226\ 500$									1 340 <sup>1</sup>	
Сжатый пояс	2-я панель	$N = -105\ 000$		$F = 216$ $W_{\text{макс}} = 1\ 200$ $W_{\text{мин}} = 370$	—	—	—	—	—	+	870	
		$M_{\text{пр}} = +132\ 500$									610	
		$M_{\text{оп}} = -226\ 500$									1 480 <sup>2</sup>	
Растянутый пояс	4-я панель	$N = +177\ 000$		$F = 139$ $W_{\text{макс}} = 940$ $F = 139$ $W_{\text{мин}} = 264$	260	—	5,27	49,5	0,89	+	849	
		$M_{\text{пр}} = +132\ 500$									—	990 <sup>1</sup>
		$M_{\text{оп}} = -226\ 500$									—	756
Растянутый пояс	2-я панель	$N = +146\ 000$		$F = 124,0$	—	—	6,17	42	—	+	1 428	
		$M_{\text{пр}} = +132\ 500$									—	—
		$M_{\text{оп}} = -226\ 500$									—	—
Раскосы	1-й	$N = -121\ 000$		$F = 97,6$	300	300	5,57	53,8	—	+	1 410	

Продолжение

Стержни	№	Расчетные усилия (в кг)		Форма и размеры сечений (в мм)	Площадь сечений (в см <sup>2</sup> ) и моменты сопротивления (в см <sup>3</sup> )	Длины		Радиусы искривления (в см)	Гибкости	Коэффициенты $\varphi$	Напряжения от нагрузок	
		основных	основных и дополнительных (в кг/см <sup>2</sup> )			геометрические (в см)	приведенные (в см)				основных (в кг/см <sup>2</sup> )	основных и дополнительных (в кг/см <sup>2</sup> )
Раскосы	2-й	$N = -48\ 500$		$2 \cdot 100 \cdot 12$ 	$F = 45,6$	331	265	3,03	87	0,71	1 500	
	3-й	$N = +49\ 000$		$2 \cdot 100 \cdot 8$ 	$F = 31,2$	368	—	3,07	120	—	1 570	
	4-й	$N = +16\ 000$		$2 \cdot 75 \cdot 8$ 	$F = 23,0$	368	—	2,28	161	—	695	
	2-я	$N = +37\ 000$		$2 \cdot 75 \cdot 8$ 	$F = 23,0$	205	—	2,87	71,5	—	1 608	
Стойки	3-я	$N = -29\ 000$		$2 \cdot 100 \cdot 8$ 	$F = 31,2$	260	208	3,87	54	0,88	1 057	
	4-я	$N = -35\ 300$		$2 \cdot 100 \cdot 8$ 	$F = 31,2$	260	208	3,87	54	0,88	1 286	
	5-я	$N = -23\ 400$		$2 \cdot 75 \cdot 8$ 	$F = 23,0$	260	208	2,87	72,5	0,79	1 290	

1 В панели.  
2 В узле с учетом специально развитой узловой фасонки.  
3 В узле без учета работы узловой фасонки.

Расчет названных швов см. в таблице 38.

Крепление фасонки к поясным уголкам в промежуточных узлах без стыка пояса назначаем конструктивно. Назначенное крепление проверяем в растянутом поясе на разность усилий в соседних панелях пояса, а в сжатом — на равнодействующую узловой нагрузки и разности усилий в соседних панелях пояса (см. табл. 39).

Таблица 38

Расчет сварных швов для крепления конца одного уголка

Уголки			Требуемая площадь сварных швов			Намечаемые расчетные размеры швов			
размеры (в мм)	площадь сечения (в см <sup>2</sup> )	допускаемое усилие (в кг)	всего (в см <sup>2</sup> )	у обуха (в см <sup>2</sup> )	у пера (в см <sup>2</sup> )	у обуха		у пера	
						высота и длина (в мм)	площадь (в см <sup>2</sup> )	высота и длина (в мм)	площадь (в см <sup>2</sup> )
180×14	48,8	78 000	71	49,7	21,3	20×360	50,2	10×310	21,7
						18×395	49,7	8×380	21,3
100×12	22,8	36 500	33,2	23,2	10,0	12×280	23,5	6×240	10,1
						14×240	23,5	8×180	10,1
100×8	15,6	25 000	22,7	15,9	6,8	12×190	16,0	8×125	7,0
						10×230	16,1	6×165	6,9
						8×285	16,0	—	—
75×8	11,5	18 400	16,7	11,7	5,0	10×170	11,9	8×90	5,04
						8×210	11,8	6×120	5,02

Таблица 39

Расчет сварных швов для крепления фасонки к поясным уголкам в промежуточных узлах без стыка пояса

Наименование пояса	№ Узлов	Разность усилий	Узловая нагрузка	Расчетное усилие	Требуемая площадь сварных швов		
					всего	у обуха	у пера
		(в кг)					(в см <sup>2</sup> )
Верхний пояс	1	105 000	23 400	107 600	98,0	68,7	29,3
	2	72 000	23 400	75 700	68,8	48,2	20,6
	3	11 000	23 400	25 900	23,5	16,5	7,1
	4	0	23 400	23 400	21,3	15,0	6,3
Нижний пояс	1	39 000	—	39 000	35,5	24,9	10,6
	2	0	—	—	—	—	—
	3	34 200	—	34 200	31,1	21,8	9,3
	4	0	—	—	—	—	—

Узловая нагрузка фермы ригеля складывается из непосредственного давления воды на пояс и прилегающую к нему часть обшивки и из давления стоек затвора, несущих на себе вспомогательные балки. Стойки затвора в узлах прикреплены к специальным фасонкам, которые в свою очередь прикреплены к уголкам пояса и стоек ригеля. Благодаря такому креплению часть узловой нагрузки передается стойкам ригеля непосредственно, минуя швы между поясными уголками и основной узловой фасонкой. Этим обстоятельством в описанном выше способе расчета крепления основных фасонки к поясу пренебрегают, что идет в запас прочности.

Соединение уголков сжатого пояса осуществляем встык (сварка уголков должна быть выполнена до начала общей сборки элементов фермы под сварку). На шов встык площадью 48,8 см<sup>2</sup> (площадь поперечного

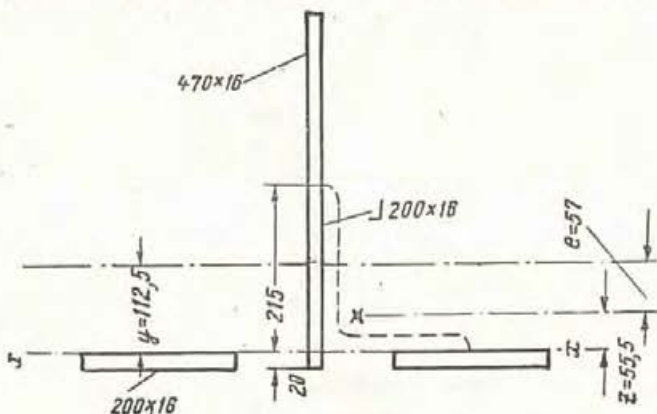


сечения одного уголка  $180 \times 14$  мм) может быть допущено сжимающее усилие:

$$[N_{\text{ш}}] = 48,8 \cdot 1450 = 70\,800 \text{ кг.}$$

Допускаемое усилие в стыке двух уголков  $141\,600$  кг больше усилия в левой панели ( $105\,000$  кг) и на  $177\,000 - 141\,600 = 33\,400$  кг меньше усилия в правой панели.

Так как крепления всех элементов фермы рассчитаны из условия обеспечения равной прочности уголка и его прикрепления, то и в стыко-



Фиг. 169. К расчету стыка в растянутом поясе.

вом узле крепление уголков к фасонке назначаем, исходя из разности усилий, допускаемых в уголке и в стыковом шве:

$$\begin{aligned} \text{для уголка } 180 \times 14 \text{ мм } \Delta N' &= 48,8 \cdot 150 = 7\,320 \text{ кг;} \\ \text{» } \text{» } 200 \times 16 \text{ » } \Delta N'' &= 62 \cdot 1\,600 - 70\,800 = 28\,200 \text{ кг.} \end{aligned}$$

При сильно развитой фасонке в стыковом узле (по условиям крепления двух раскосов) передача таких усилий не представляет затруднений. Требуемая площадь угловых швов:

$$\begin{aligned} \text{для уголков } 180 \times 14 \text{ мм} &- 6,6 \text{ см}^2 \\ \text{» } \text{» } 200 \times 16 \text{ »} &- 25,6 \text{ »} \end{aligned}$$

Площадь швов, крепящих фасонку к поясу, одновременно должна обеспечить и передачу равнодействующей усилий двух раскосов и стойки на пояс ( $177\,000 - 105\,000 = 72\,000$  кг; см. табл. 39 узел 2).

Соединение уголков растянутого пояса осуществляем без шва встык, чтобы устранить косую резку уголков. Стык перекрываем узловой фасонкой и двумя накладками.

Размеры фасонки  $500 \times 16$  и каждой накладки  $200 \times 16$  мм.

Суммарная площадь их  $50 \times 1,6 + 2 \cdot 20 \cdot 1,6 = 144 \text{ см}^2$  — больше площади двух уголков пояса.

Расстояние от наружных плоскостей поясных уголков (или внутренних плоскостей накладок — фиг. 169) до центра тяжести сечения фасонки и двух накладок:

$$y = \frac{S_{x-x}}{F} = \frac{47 \cdot 1,6 \cdot 21,5 - 2 \cdot 20 \cdot 1,6 \cdot 0,8}{80 + 64,0} = 11,25 \text{ см.}$$

Величина эксцентриситета:

$$e = y - z = 11,25 - 5,55 = 5,7 \text{ см.}$$

Момент инерции сечения относительно нейтральной оси:

$$I = \frac{1,6 \cdot 47^2}{12} + 75,2 \cdot 10,2^2 + 2 \frac{20 \cdot 1,6^3}{12} + 64,0 \cdot 12,0^2 = 30\,897 \text{ см}^4.$$

Моменты сопротивления:

$$W_{\text{мин}} = \frac{30\,897}{33,75} = 915 \text{ см}^3; \quad W_{\text{макс}} = \frac{30\,897}{13,25} = 2\,330 \text{ см}^3.$$

Напряжения у наружных кромок накладок (максимальные):

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{N}{F} + \frac{M}{W_{\text{макс}}} = \frac{142\,800}{139,2} + \frac{142\,800 \cdot 5,7}{2\,330} = 1\,374 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения у внутренней кромки фасонки (минимальные):

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{N}{F} - \frac{M}{W_{\text{мин}}} = \frac{142\,800}{139,2} - \frac{142\,800 \cdot 5,7}{915} = 135 \text{ кг/см}^2.$$

Крепление поясных уголков рассчитываем по усилню, допускаемому в уголке. Требуемая площадь угловых швов для крепления уголка  $200 \times 16$  мм:

$$F'_{\text{ш}} = \frac{62 \cdot 1\,600}{1\,100} = 90 \text{ см}^2.$$

То же, для уголка  $180 \times 14$  мм:

$$F''_{\text{ш}} = \frac{48,8 \cdot 1\,600}{1\,100} = 71 \text{ см}^2.$$

Все четыре шва принимаем высотой 12 мм и одинаковой длиной  $l_{\text{ш}}$ . Требуемые длины швов:

$$l'_{\text{ш}} = \frac{90}{4 \cdot 0,7 \cdot 1,2} = 26,8 \text{ см};$$

$$l''_{\text{ш}} = \frac{71}{4 \cdot 0,7 \cdot 1,2} = 21,1 \text{ см}.$$

Приняты швы длиной 28 и 23 см.

Уголки, образующие стержни фермы таврового типа, располагаем так, чтобы обушки их отстояли от осевых линий на расстоянии:

$$\begin{array}{l} \underline{\quad} 200 \times 16 - 55 \text{ мм (55,5);} \\ \underline{\quad} 180 \times 14 - 50 \text{ » (49,7);} \\ \underline{\quad} 75 \times 8 - 20 \text{ » (21,4).} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} 100 \times 12 \\ 100 \times 8 \end{array} \right\} 30 \text{ мм (29,1 и 27,5)}.$$

В скобках показаны расстояния от центра тяжести уголков до обушка.

В сжатом поясе, в состав которого включена и обшивка, расстояние от обушков уголков обоих размеров до осевой линии принимаем равным 35 мм. Расстояния от наружной грани обшивки до центра тяжести этих поясных сечений соответственно равны 47 и 41 мм. Приняв расстояние от обушка поясных уголков до осевой линии 35 мм, мы допускаем эксцентриситеты соответственно  $41 - 7 - 35 = -1$  мм и  $47 - 7 - 35 = 5$  мм, что не превышает обычно допускаемых округлений расстояний от обушков уголков до осевых линий в сварных фермах.

Для обеспечения совместной работы двух уголков по длине каждого стержня ставим по две связующие прокладки. Размер прокладок: толщина—16 мм, длина равна ширине уголка, увеличенной на 20 мм, ширина—120 мм при уголках № 20 и № 18 и 60 мм при уголках—№ 10 и № 7,5. Прокладки приваривают к уголкам угловыми швами высотой соответственно 8 и 6 мм. В сжатом поясе прокладки не должны выступать за обушки уголков, поэтому со стороны обшивки их крепят к уголкам так же, как фасонки в узлах.

В таблице 40 вычислены наибольшие допустимые расстояния между связями, обеспечивающими совместную работу двух уголков.

Наибольшие допустимые расстояния между связующими планками при уголках, применяемых в затворе

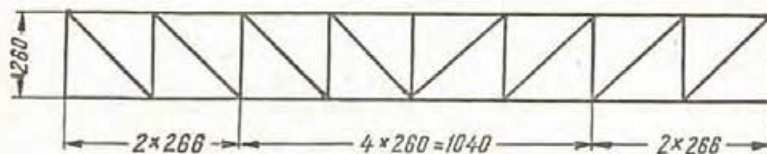
Размер уголков (в мм)	Радиус шерции (в см)	Допустимые расстояния (в см) между прокладками в стержнях	
		сжатых	растянутых
200×16	6,17	247	495
180×14	5,57	222	445
100×12	3,03	121	242
100×8	3,07	123	246
75×8	2,28	91	182

Наибольшее расстояние между связями при двух прокладках получается в средней сжатой стойке (из уголков 75×8) и в среднем растянутом раскосе (того же сечения). Они менее допустимых.

Ферма ригеля была проверена на прогиб. Последний оказался немного менее допускаемого  $l : I = 1 : 600$ . При современных высоких допускаемых напряжениях и относительно малых высотах ферм проверка на прогиб ферм ригелей является необходимой.

### 8. ФЕРМА ПРОДОЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ

В связи с наличием стальной обшивки, наложенной непосредственно на сжатые пояса ферм ригелей, ферму продольных связей устраиваем только в плоскости растянутых поясов ригелей. Для этой цели ставим семь промежуточных стоек и восемь раскосов нисходящих к середине пролета (растянутых—см. схему на фиг. 170).



Фиг. 170. Схема продольной связевой фермы.

Ферма продольных связей нагружена собственным весом затвора. Для расчета можно принять, что вес затвора  $G$  распределяется между связями, расположенными в плоскостях сжатых и растянутых поясов ферм ригелей, приблизительно пропорционально отношению 3 : 2. Для упрощения расчета принимаем, что собственный вес приложен в узлах верхнего пояса связевой фермы.

Величину нагрузки на узел связевой фермы определяем по формуле:

$$G_{уз} = G \frac{b_1 + b_2}{2l},$$

где  $G$  — вес собственно щита (без опорно-ходовых устройств);  
 $b_1$  и  $b_2$  — длины проекций на плоскость отверстия панелей связевой фермы, примыкающих к рассматриваемому узлу;  
 $l$  — расчетный пролет ферм ригелей.

Собственный вес щита (без опорно-ходовых устройств) определяем по графику фигуры 13:

$$G = 390 \cdot 20 \cdot 6 \frac{1}{1600} 0,85 = 34700 \text{ кг.}$$

Принимаем вес подвижной части затвора без опорно-ходовых устройств  $G \approx 35000$  кг.

На ферму продольных связей приходится:

$$G' = 0,4G = 0,4 \cdot 35\,000 = 14\,000 \text{ кг.}$$

Опорное давление  $A = B = 0,5 \cdot 14\,000 = 7\,000 \text{ кг.}$

Нагрузка на 1 промежуточный узел:

$$G_{уз} = G' \frac{b_n + b_p}{l} = 14\,000 \frac{2,6}{20,8} = 1\,750 \text{ кг.}$$

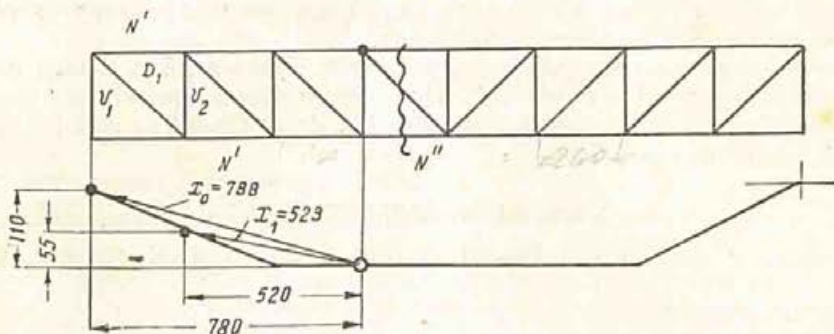
Нагрузка на опорный узел:

$$G_{уз}^0 = 0,5 \cdot 1\,750 = 875 \text{ кг.}$$

Усилие в крайней (опорной) стойке  $V_1 = A = 7\,000 \text{ кг.}$

Длина крайнего раскоса:

$$d_1 = \sqrt{260^2 + 266^2} = 372 \text{ см.}$$



Фиг. 171. К определению усилий в элементах связевой фермы.

Усилие в крайнем раскосе:

$$D_1 = (7\,000 - 875) \frac{372}{260} = 8\,760 \text{ кг.}$$

Усилие во второй от опоры стойке:

$$V_2 = 8\,760 \frac{260}{372} = 6\,125 \text{ кг.}$$

Усилие в крайней панели сжатого пояса и во второй панели растянутого пояса:

$$N' = 8\,760 \frac{266}{372} = 6\,260 \text{ кг.}$$

Усилие в средней панели растянутого пояса (наибольшее):

$$N'' = \frac{(A - P_{уз}^0)x_0 + P_{уз}x_1 + P_{уз}b}{h};$$

$$N'' = \frac{6\,125 \cdot 788 + 1\,750 \cdot 523 + 1\,750 \cdot 260}{260} = 20\,000 \text{ кг. (фиг. 171).}$$

Растянутым поясом фермы продольных связей служит растянутый пояс фермы ригеля. Сечение его в средних панелях принято из двух уголков  $200 \times 16 \text{ мм}$ ; площадь  $F = 124 \text{ см}^2$ ; напряжения от гидростатической нагрузки:

$$\sigma_{г.с} = 1\,428 \text{ кг/см}^2 \text{ (см. табл. 37).}$$

Полное напряжение в растянутом поясе:

$$\sigma = 1\,428 + \frac{20\,000}{124} = 1\,589 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1\,600 \text{ кг/см}^2.$$

Сечение крайней и второй панелей растянутого пояса принято из двух уголков  $180 \times 14$  мм; площадь  $F = 97,6 \text{ см}^2$ ; напряжения от гидростатической нагрузки  $\sigma_{г.с} = 1495 \text{ кг/см}^2$ .

Полное напряжение:

$$\sigma = 1495 + \frac{6260}{97,6} = 1560 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1600 \text{ кг/см}^2.$$

Требуемое сечение крайнего растянутого раскоса:

$$F_{тр} = \frac{8760}{1600} = 5,48 \text{ см}^2.$$

Все раскосы продольной связевой фермы назначаем одинакового сечения. Учитывая возможность появления сжимающих усилий при скручивании затвора (в средних раскосах), сечение их назначаем исходя из наибольшей допускаемой гибкости сжатых элементов связей  $[\lambda] = 200$ . Требуемый радиус инерции:

$$r_{тр} = \frac{372}{200} = 1,86 \text{ см.}$$

Можно принять два уголка  $60 \times 6$  мм;  $r_x = 1,84$  см;

$$F = 13,82 \text{ см}^2; g = 10,84 \text{ кг/м};$$

один уголок  $100 \times 8$  мм;  $r_{мин} = 1,96$  см;

$$F = 15,6 \text{ см}^2; g = 12,3 \text{ кг/м};$$

один уголок  $130 \times 90 \times 8$  мм;  $r_{мин} = 1,97$  см;

$$F = 17,2 \text{ см}^2; g = 13,5 \text{ кг/м}.$$

Принимаем для раскосов сечение из одного уголка  $100 \times 8$  мм. Раскосы крепим непосредственно к полкам поясных уголков ферм ригелей с внутренней стороны.

Наиболее нагруженной стойкой является вторая;

$$V_2 = -6125 \text{ кг}; \text{ длина ее } - 260 \text{ см, приведенная длина } - 0,8 \cdot 260 = 208 \text{ см.}$$

Можно принять два уголка  $60 \times 6$  мм:

$$\lambda_x = \frac{208}{1,84} = 114; \varphi_x = 0,49;$$

$$\sigma = \frac{6125}{13,82 \cdot 0,49} = 910 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1600 \text{ кг/см}^2;$$

или один уголок  $100 \times 8$  мм:

$$\lambda_{макс} = \frac{208}{1,96} = 106; \varphi_{мин} = 0,55;$$

$$\sigma = \frac{6125}{15,6 \cdot 0,55} = 715 \text{ кг/см}^2 < 0,75 [\sigma] = 1200 \text{ кг/см}^2.$$

Для всех стоек, которые одновременно являются и стойками поперечных связей, принято сечение из двух уголков  $75 \times 8$  мм.

## 9. ОПОРНО-КОНЦЕВАЯ СТОЙКА

Опорно-концевую стойку осуществляем в виде одностенчатой сплошной балки такой же высоты, как и высота ферм ригелей на опорах.

Крепление обоих опорных узлов фермы ригеля к стенке опорно-концевой стойки осуществляем объединенной фасонкой. Толщину стенки и поясов опорно-концевой стойки назначаем 16 мм (равной толщине фасонки ферм ригелей).

Вертикальные усилия, действующие на опорно-концевую стойку, состоят из собственного веса подвижной части затвора, сил трения в опорно-ходовых частях и уплотнениях, подсоса в момент отрыва затвора от порога и подъемного усилия.

Горизонтальные усилия состоят из гидростатического и гидродинамического давлений, реакций ходовых и направляющих устройств и ряда других факторов.

Кроме того, имеют место значительные крутящие моменты, возникающие как в фермах ригелей, так и в самой стойке. Влияние их учитываем конструктивно.

## 10. ОПОРНО-ХОДОВЫЕ УСТРОЙСТВА

Под конец каждого ригеля поставлено по одному ходовому колесу. Колеса с каждой стороны затвора объединены сварной ходовой тележкой, снабженной водилом. Между тележкой и опорно-концевой стойкой под каждым ригелем помещен каток (фиг. 168).

Колесо. Опорное давление одного ригеля  $A = B = 90$  т.

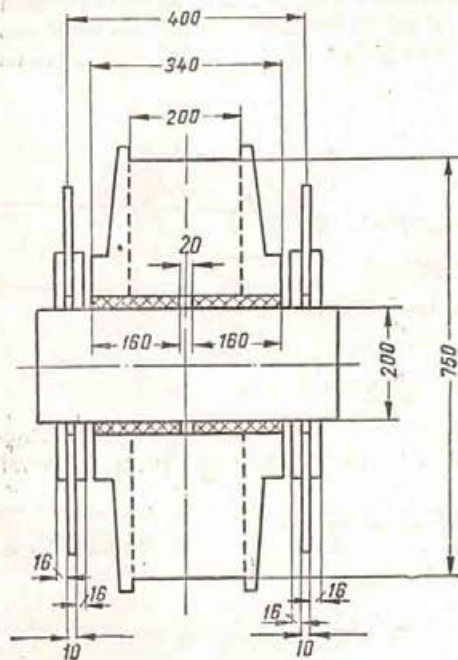
Дополнительное давление на ходовое колесо от отжатия тележки обратного колеса, от кручения, вызываемого неточностью изготовления конструкции шита, неточностью установки закладных частей и т. п., учитываем в первом приближении увеличением основного опорного давления на 15%.

Расчетное давление на одно колесо:

$$P_k = 1,15 \cdot 90 \approx 105 \text{ т.}$$

Требуемый диаметр колеса из литой стали марки Ст. Л55-6012 при допуске напряжении на диаметральной сжатие  $[\sigma_{д.с}] = 70 \text{ кг/см}^2$  и при ширине рабочей части обода  $l_k = 20 \text{ см}$  (фиг. 172) определяем по формуле (10) главы XII:

$$d_k = \frac{P_k}{l_k [\sigma_{д.с}]} = \frac{105\,000}{20 \cdot 70} = 75 \text{ см.}$$



Фиг. 172. Расчетная схема колеса, втулки и оси.

Удельное давление во втулках из древесно-слоистого пластика марки ДСП-Б при внутреннем диаметре втулки (диаметр оси колеса)  $d_b = 20 \text{ см}$  и ширине втулки  $l = 16 + 2 + 16 \text{ см}$  и рабочей длине  $l_b = 2 \cdot 16 = 32 \text{ см}$  (фиг. 172) определяем по формуле (11) той же главы:

$$\sigma = \frac{P_k}{d_b l_b} = \frac{105\,000}{20 \cdot 2 \cdot 16} = 164 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 200 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка оси колеса на изгиб (сталь марки Ст.5) по формуле (12) той же главы:

$$M = \frac{P_k (l + 4a - s)}{8} = \frac{105\,000 (34 + 4 \cdot 3 - 2)}{8} = 577\,500 \text{ кгсм.}$$

$$W = 0,098 \cdot 20^3 = 784 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \frac{577\,500}{784} = 738 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1\,200 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения смятия в гнезде двух опорных планок из стали марки Ст.3 толщиной по 16 мм (фиг. 172):

$$\sigma_{см} = \frac{105\,000}{2 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 1,6} = 820 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{см}].$$

Для крепления опорных планок к стенке тележки ставим впопай 16 заклепок  $d_3 = 23$  мм. Толщина стенки и планок по 16 мм.

Напряжения смятия:

$$\sigma_{см} = \frac{105\,000}{2 \cdot 16 \cdot 2,3 \cdot 1,6 \cdot 0,8} = 1\,116 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{см}] = 3\,200 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения среза:

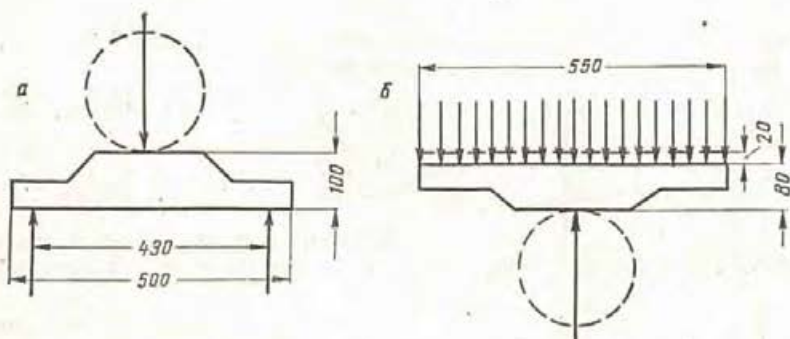
$$\tau = \frac{105\,000 \cdot 2}{2 \cdot 16 \cdot 3,14 \cdot 2,3^2 \cdot 0,8} = 494 \text{ кг/см}^2 < [\tau] = 1\,400 \text{ кг/см}^2.$$

**Каток.** Сопротивление сил трения в одном колесе [по формуле (14) главы XII и по данным табл. 35]:

$$T = \frac{P_k (f r_0 + f_k)}{r_k} = \frac{105\,000 (0,20 \cdot 10 + 0,1)}{37,5} = 5\,560 \text{ кг.}$$

Момент сил трения двух колес относительно оси катков (фиг. 168):

$$M = 2 \cdot 5\,560 \cdot 69,5 = 78\,000 \text{ кгсм.}$$



Фиг. 173. Расчетные схемы плит:  
а—у тележки; б—у стойки.

Дополнительная нагрузка на каток:

$$D'_k = \frac{78\,000}{260} = 3\,000 \text{ кг.}$$

Полное давление на каток:

$$D''_k = 105\,000 + 3\,000 = 108\,000 \text{ кг.}$$

Требуемая рабочая длина катка диаметром 25 см из литой стали марки Ст.Л55-6012 при допуске напряжении на диаметральной сжатие  $[\sigma_{д.с.}] = 70$  кг/см<sup>2</sup> из формулы (10) главы XII:

$$l_k = \frac{108\,000}{25 \cdot 70} = 61,8 \text{ см.}$$

Принято  $l_k = 64$  см.

**Плиты у катка.** Момент, изгибающий плиту у тележки (фиг. 173, а и 168).

$$M = \frac{107\,370 \cdot 43}{4} = 1\,260\,000 \text{ кгсм.}$$

Расчетное сечение плиты  $10 \times 70$  см.

Момент сопротивления:

$$W'' = \frac{70 \cdot 10^3}{6} = 1\,166 \text{ см}^3.$$

Напряжение:

$$\sigma = \frac{1\,260\,000}{1\,166} = 1\,080 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1\,200 \text{ кг/см}^2.$$

Момент, изгибающий плиту у стойки (фиг. 173, б и 168):

$$M = \frac{107\,370 \cdot 55}{2 \cdot 4} = 736\,000 \text{ кгсм.}$$

Расчетное сечение плиты  $8 \times 72$  см.

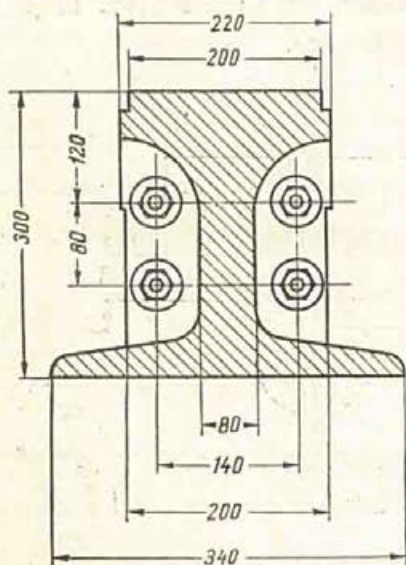
Момент сопротивления:

$$W = \frac{72 \cdot 8^3}{6} = 768 \text{ см}^3.$$

Напряжения:

$$\sigma = \frac{736\,000}{768} = 958 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1\,200 \text{ кг/см}^2.$$

**Давление на бетон быка.** Рельсы принимаем литые по фигуре 174: ширина головки — 200 мм, ширина подошвы — 340, толщина шейки — 80 и высота рельса — 300 мм.



Фиг. 174. Поперечное сечение литого рельса.

Давление на бетон от отдельного колеса определяем в условном предположении, что оно равномерно распределено по всей ширине подошвы и вдоль рельса на участке длиной, равной трехкратной высоте рельса.

Марка бетона — 170;  $[\sigma]_{сж} = 55 \text{ кг/см}^2$ .

Напряжения:

$$\sigma_6 = \frac{107\,370}{34 \cdot 3 \cdot 30} = 35 \text{ кг/см}^2 < [\sigma]_{сж} = 55 \text{ кг/см}^2.$$

**Водило.** Вес тележки с колесами и катками принимаем предварительно равным 3 т.

Давление на шпильку, соединяющую водило с рамой тележки, 3 т.

Диаметральное сжатие шпильки диаметром 60 мм в пределах рамы тележки:

$$\sigma_{д.с} = \frac{3\,000}{6 \cdot 2(3+1)} = 62,5 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{д.с}] = 70 \text{ кг/см}^2.$$

Смятие и срез шпильки в водиле не проверяем (сечение избыточно). Момент от веса тележки в основании водила приближенно:

$$M \approx 3\,000 \cdot 77 = 231\,000 \text{ кгсм.}$$

Момент сопротивления поперечного сечения водила:

$$W = \frac{2 \cdot 1 \cdot 60^3}{6} = 1\,200 \text{ см}^3; W_H = 974 \text{ см}^3.$$

Напряжения в водиле:

$$\sigma = \frac{231\,000}{974} = 237 \text{ кг/см}^2.$$

Водило крепится к опорно-концевой стойке болтами.

Обратные колеса диаметром 250 и шириной 60 мм в количестве 4 штук на затвор поставлены в составе буферной тележки (фиг. 168). В каждой тележке по два резиновых буфера размером  $100 \times 150 \times 70$  мм.

Четыре боковых колеса на кронштейнах вынесены вперед на обшивку (фиг. 168). Диаметр колеса 300, ширина 60 мм.

Уплотнения из профильной резины. Боковые уплотнения поставлены на обшивку и расположены в пазах между обратными и боковыми колесами.



## 11. ПОДЪЕМ И ОПУСКАНИЕ ЗАТВОРА

Силы, препятствующие подъему затвора.

Собственный вес  $G$  затвора с опорно-ходовыми и другими устройствами и штангами составляет около 45 т. Горизонтальное давление воды  $P = 360$  т. Силы трения в колесах по формуле (14) главы XII:

$$T_x = \frac{360(0,2 \cdot 10 + 0,1)}{37,5} = 20,2 \text{ т.}$$

Силы трения в двух боковых уплотнениях при нагруженной длине каждого 6 м, нагруженной ширине 0,06 м, среднем гидростатическом давлении 3 т/м<sup>2</sup> и коэффициенте трения  $f = 0,5$  (табл. 32):

$$T_{уп} = 2 \cdot 6 \cdot 0,06 \cdot 3 \cdot 0,5 = 1,08 \text{ т.}$$

Требуемое подъемное усилие [формула (1) главы XVI]:

$$N_n = 1,1G + 1,2(T_x + T_{уп}) = 1,1 \cdot 45 + 1,2(20,2 + 1,08) = 75 \text{ т.}$$

Силы, препятствующие посадке затвора [формула (3) той же главы]:

$$N_{оп} = 1,2(T_x + T_{уп}) = 1,2(20,2 + 1,08) = 25,5 \text{ т,}$$

менее сил, способствующих посадке  $G = 45$  т.

Коэффициент запаса на посадку:

$$K = \frac{45}{21,28} = 2,12.$$

## Глава XVIII

### ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО ГЛУБИННОГО ЗАТВОРА С ПРОКАТНЫМИ РИГЕЛЯМИ

#### 1. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ

Ширина отверстия в свету	$l_0 = 2$	м
Высота » » »	$h_0 = 2$	»
Расчетный пролет	$l = 2,3$	»
Нагруженный »	$l_r = 2,1$	»
Нагруженная высота	$h_r = 2,12$	»
Отметка порога	0,00	»
» расчетного горизонта верхнего бьефа	8,00	»
Расчетный напор	$H = 8,00$	»
Затвор колесный, сварной конструкции, сталь марки Ст. 3, электроды марки Э42.		
Подъем и опускание затвора производится под напором.		
Коэффициент, учитывающий опрокидывающий момент мотора 2,0.		

#### 2. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Затвор предназначен для перекрытия донных отверстий плотины.

Основными несущими конструкциями служат три ригеля из прокатных профилей. Верхний и нижний ригели одновременно являются и обвязками.

Обшивка стальная, расположена с напорной стороны. Все уплотнения резиновые; боковые и верхние — из специального *P*-образного профиля (типа *II*), а донное — из полосовой резины толщиной 10 мм.

Для перемещения затвора служат ходовые колеса, установленные на консольных осях. Эти же колеса используются и в качестве обратных. Для устранения возможности заклинки затвора поставлены боковые колеса.

Подъем затвора происходит посредством одной жесткой штанги. Путем перецепов и подхватов обеспечен подъем затвора для осмотра и ремонта. Конструкция штанги дает возможность подвеса затвора на требуемых отметках.

#### 3. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НОРМАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

Материал проката — сталь мартовская успокоенной плавки, марки Ст. 3 по ГОСТ 380 — 50.

Стальное литье марки Ст. Л35-5015.

Соединения сварные, ручной сваркой, электродами марки Э42.

Бетон под закладными частями марки 170;  $[\sigma]_{сж} = 55$  кг/см<sup>2</sup>.

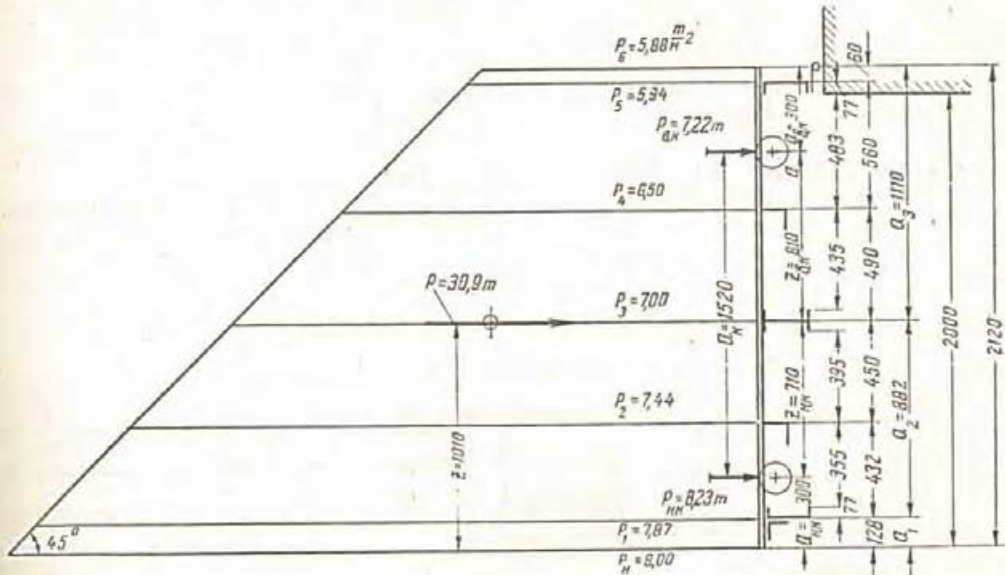
Допускаемые напряжения при основных нагрузках в стальном прокате на растяжение, сжатие и изгиб:

$$[\sigma] = 1400 \text{ кг/см}^2.$$

#### 4. НАГРУЗКИ

Расчетными нагрузками для элементов затвора являются: гидростатическое давление горизонтальное и вертикальное, собственный вес затвора и опрокидывающий момент мотора (для деталей, связанных с тяговыми элементами подъемного механизма).

Последняя нагрузка относится к особым сочетаниям; при учете ее допускаемые напряжения могут быть повышены до  $0,9\sigma_T$ .



Фиг. 175. Схема расположения элементов затвора и гидростатическое давление.

**Гидростатическое давление.** Горизонтальное гидростатическое давление (фиг. 175).

Погонная нагрузка на затвор:

$$p = \frac{p_n + p_v}{2} h_T = \frac{8,00 + 5,88}{2} \cdot 2,12 = 14,71 \text{ т/м.}$$

Полная:  $P = p l_T = 14,71 \cdot 2,1 = 30,9 \text{ т.}$

Нагрузка на колеса. Расстояние от порога до центра тяжести давления:

$$z = \frac{p_n + 2p_v}{p_n + p_v} \cdot \frac{h_T}{3} = \frac{8,00 + 2 \cdot 5,88}{8,00 + 5,88} \cdot \frac{2,12}{3} = 1,01 \text{ м.}$$

Расстояние от оси нижнего колеса до центра тяжести давления:

$$z_{н.к} = z - a_{н.к} = 1,01 - 0,3 = 0,71 \text{ м.}$$

То же, от оси верхнего колеса:

$$z_{в.к} = h_T - a_{в.к} - z = 2,12 - 0,3 - 1,01 = 0,81 \text{ м.}$$

Давление на нижнее колесо:

$$P_{н.к} = \frac{P \cdot z_{в.к}}{2a_{к}} = \frac{30,9 \cdot 0,81}{2 \cdot 1,52} = 8,23 \text{ т.}$$

Давление на верхнее колесо:

$$P_{в.к} = \frac{P \cdot z_{н.к}}{2a_{к}} = \frac{30,9 \cdot 0,71}{2 \cdot 1,52} = 7,22 \text{ т.}$$

Проверка правильности полученных результатов:

$$2(P_{н.к} + P_{в.к}) = 2(8,23 + 7,22) = 30,9 = P.$$

Нагрузка на ригели.

Погонная нагрузка, расположенная ниже нижнего ригеля:

$$p_I = \frac{p_{II} + p_1}{2} a_1 = \frac{8,00 + 7,87}{2} 0,128 = 1,02 \text{ т/м.}$$

То же, между нижним и средним ригелями:

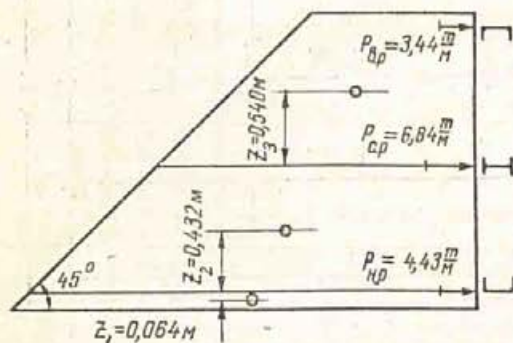
$$p_{II} = \frac{p_1 + p_3}{2} a_2 = \frac{7,87 + 7,00}{2} 0,882 = 6,48 \text{ т/м.}$$

То же, между средним и верхним ригелями:

$$p_{III} = \frac{p_3 + p_{II}}{2} a_3 = \frac{7,00 + 5,88}{2} 1,11 = 7,21 \text{ т/м.}$$

Проверка:  $1,02 + 6,48 + 7,21 = 14,71 \text{ т/м} = p$ .

Расстояние от нижнего ригеля до центра тяжести гидростатического давления, расположенного ниже его (фиг. 176):



$$z_1 \approx \frac{a_1}{2} = \frac{0,128}{2} = 0,064 \text{ м.}$$

Расстояние от нижнего ригеля до центра тяжести гидростатического давления, расположенного между нижним и средним ригелями:

$$z_2 = \frac{p_1 + 2p_3}{p_1 + p_3} \cdot \frac{a_2}{3} = \frac{7,87 + 2 \cdot 7,00}{7,87 + 7,00} 0,294 = 0,432 \text{ м.}$$

Фиг. 176. К определению давления на ригели.

Расстояние от среднего ригеля до центра тяжести гидростатического давления, расположенного выше его:

$$z_3 = \frac{p_3 + 2p_{II}}{p_3 + p_{II}} \cdot \frac{a_3}{3} = \frac{7 + 2 \cdot 5,88}{7 + 5,88} \cdot \frac{1,11}{3} = 0,540 \text{ м.}$$

Погонное давление на нижний ригель:

$$p_{н.р} = p_I \frac{a_2 + z_1}{a_2} + p_{II} \frac{a_2 - z_2}{a_2} = 1,02 \frac{0,882 + 0,064}{0,882} + 6,48 \frac{0,882 - 0,432}{0,882} = 4,43 \text{ т/м.}$$

Погонное давление на средний ригель:

$$p_{с.р} = p_{III} \frac{a_3 - z_3}{a_3} + p_{II} \frac{z_2}{a_2} - p_I \frac{z_1}{a_2} = 7,21 \frac{1,12 - 0,540}{1,11} + 6,48 \frac{0,432}{0,882} - 1,02 \frac{0,064}{0,882} = 6,84 \text{ т/м.}$$

Погонное давление на верхний ригель:

$$p_{в.р} = p_{III} \frac{z_3}{a_3} = 7,21 \frac{0,540}{1,11} = 3,44 \text{ т/м.}$$

Проверка:  $4,43 + 6,84 + 3,44 = 14,71 = p$ .

Вертикальное гидростатическое давление. Вертикальное гидростатическое давление на верхнюю часть затвора определяем, принимая ширину последней ориентировочно  $b = 0,30 \text{ м}$ .

$$p^* = p^b \cdot b = 5,88 \cdot 0,3 = 1,764 \text{ т/м.}$$

Обшивку считаем как пластинку, защемленную по двум сторонам. За расчетный пролет принимаем расстояние между сварными швами, прикрепляющими обшивку к ригелям и вспомогательным балкам. Размеры расчетных пролетов обшивки показаны на фигуре 175. Они вычислены в предположении, что средний ригель осуществлен из двутавра № 22а, а крайние — из швеллеров того же номера (ширина полок соответственно 110 и 77 мм).

Давление по середине пролетов обшивки:  
на первом участке снизу:

$$p' = 8,00 - 0,128 - 0,77 - \frac{0,355}{2} = 7,62 \text{ т/м}^2 = 0,762 \text{ кг/см}^2;$$

на втором участке снизу:

$$p'' = 8,00 - 0,205 - 0,355 - \frac{0,395}{2} = 7,243 \text{ т/м}^2 = 0,724 \text{ кг/см}^2;$$

на третьем участке снизу;

$$p''' = 8,00 - 0,560 - 0,395 - 0,110 - \frac{0,435}{2} = 6,73 \text{ т/м}^2 = 0,673 \text{ кг/см}^2;$$

на четвертом участке снизу:

$$p^{IV} = 8,00 - 1,065 - 0,435 - \frac{0,483}{2} = 6,259 \text{ т/м}^2 = 0,6259 \text{ кг/см}^2.$$

$$\text{Проверка: } 6,259 - \frac{0,483}{2} - 0,077 - 0,060 = 5,88 = p_n.$$

Требуемую толщину обшивки определяем по формуле (4а) главы VII:

$$\delta = 0,0189 l \sqrt{p} \text{ см.}$$

На первом участке:

$$\delta_1 = 0,0189 \cdot 35,5 \sqrt{0,762} = 0,585 \text{ см.}$$

На втором участке:

$$\delta_2 = 0,0189 \cdot 39,5 \sqrt{0,724} = 0,635 \text{ »}$$

На третьем участке:

$$\delta_3 = 0,0189 \cdot 43,5 \sqrt{0,673} = 0,674 \text{ »}$$

На четвертом участке:

$$\delta_4 = 0,0189 \cdot 48,3 \sqrt{0,626} = 0,722 \text{ »}$$

Принимаем обшивку толщиной 8 мм.

## 6. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ БАЛКИ

Расчетным пролетом для вспомогательных балок является расстояние между внутренними стенками опорно-концевых стоек. Ширина последних принята 350 мм. Длина консоли оси колеса — 80 мм.

Пролет вспомогательной балки  $l = 230 - 2(35 + 8) = 144$  см.

Нагрузка на нижнюю балку:

$$p'_6 = \frac{0,762 + 0,724}{2} \cdot \frac{35,5 + 39,5}{2} = 27,9 \text{ кг/см.}$$

То же, на верхнюю балку:

$$p''_6 = \frac{0,673 + 0,6259}{2} \cdot \frac{43,5 + 48,3}{2} = 29,8 \text{ кг/см.}$$

Изгибающие моменты в нижней  $M'$  и в верхней  $M''$  балках:

$$M' = \frac{p'_6 l^2}{8} = \frac{27,9 \cdot 144^2}{8} = 72 \text{ 200 кгсм;}$$

$$M'' = \frac{p''_6 l^2}{8} = \frac{29,8 \cdot 144^2}{8} = 77 \text{ 200 кгсм.}$$

Расчетное сечение вспомогательных балок показано на фигуре 177. Его геометрические характеристики:

$$S = 24 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 11,5 (9,8 - 2,96) = 85,7 \text{ см}^2;$$

$$y = \frac{85,7}{19,2 + 11,5} = 2,8 \text{ см};$$

$$I_x = 19,2 (2,8 - 0,4)^2 + 93,2 + 11,5 (9,8 - 2,8 - 2,96)^2 = 390,7 \text{ см}^4;$$

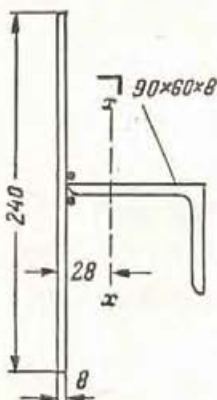
$$W_x^{\text{мин}} = \frac{390,7}{9,8 - 2,8} = 56 \text{ см}^3;$$

$$W_x^{\text{макс}} = \frac{390,7}{2,8} = 139 \text{ см}^3.$$

Напряжения в верхней балке:

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{M''}{W_x^{\text{мин}}} = \frac{77\,200}{56} = 1\,380 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1\,400 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{M''}{W_x^{\text{макс}}} = \frac{77\,200}{139} = 556 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 177. Расчетное сечение вспомогательных балок.

## 7. РИГЕЛИ

Расчет ригелей на воздействие горизонтальной гидростатической нагрузки.

Расчетная схема представлена на фигуре 178.

Наибольшие изгибающие моменты определяем по формуле:

$$M = \frac{\rho l_r \left( l - \frac{l_r}{2} \right)}{4}.$$

В нижнем ригеле:  $M_{н.р} = \frac{4,43 \cdot 2,1 (2,3 - 1,05)}{4} = 2,80 \text{ тм}.$

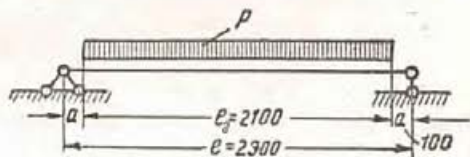
» среднем »  $M_{с.р} = \frac{6,84 \cdot 2,1 (2,3 - 1,05)}{4} = 4,32 \text{ тм}.$

» верхнем »  $M_{в.р} = \frac{3,44 \cdot 2,1 (2,3 - 1,05)}{4} = 2,195 \text{ тм}.$

Требуемый момент сопротивления:

нижнего ригеля  $W_{н.р}^{\text{тп}} =$   
 $= \frac{M_{н.р}}{[\sigma]} = \frac{280\,000}{1\,400} = 200 \text{ см}^3;$

среднего ригеля  $W_{с.р}^{\text{тп}} =$   
 $= \frac{M_{с.р}}{[\sigma]} = \frac{432\,000}{1\,400} = 309 \text{ см}^3.$



Фиг. 178. Расчетная схема ригеля.

Принимаем для среднего ригеля двутавр № 22а и для обоих крайних — швеллер № 22а.

Расчетные сечения ригелей показаны на фигуре 179.

Проверка напряжений в среднем ригеле (фиг. 179, б). Геометрические характеристики:

$$S = 35 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 42 (11 + 0,8) = 505,2 \text{ см}^2;$$

$$y = \frac{505,2}{28 + 42} = 7,21 \text{ см};$$

$$I_x = 28 (7,21 - 0,4)^2 + 3\,400 + 42 (11,8 - 7,21)^2 = 5\,580 \text{ см}^4;$$

$$W_x^{\text{мин}} = \frac{5580}{22,8 - 7,21} = 358 \text{ см}^3;$$

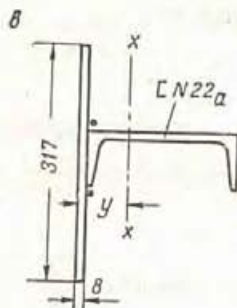
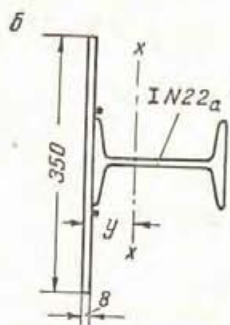
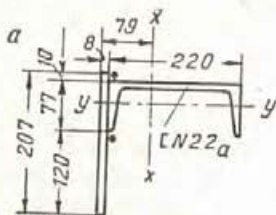
$$W_x^{\text{макс}} = \frac{5580}{7,21} = 772 \text{ см}^3.$$

Напряжения:

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{432000}{358} = 1202 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1400 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{432000}{770} = 560 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка напряжений в нижнем ригеле (фиг. 179, в). Геометрические характеристики:



Фиг. 179. Расчетные сечения ригелей:  
а — верхнего; б — среднего;  
в — нижнего.

$$S = 32 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 31,84(11 + 0,8) = 385,2 \text{ см}^3;$$

$$y = \frac{385}{25,6 + 31,8} = 6,71 \text{ см};$$

$$I_x = 25,6(6,71 - 0,4)^2 + 2394 + 31,84(11,8 - 6,71)^2 = 4234 \text{ см}^4;$$

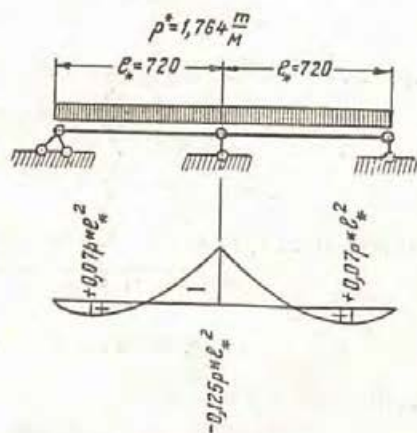
$$W_x^{\text{мин}} = \frac{4234}{22,8 - 6,71} = 264 \text{ см}^3;$$

$$W_x^{\text{макс}} = \frac{4234}{6,71} = 627 \text{ см}^3.$$

Напряжения:

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{280000}{264} = 1060 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{280000}{627} = 456 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 180. Расчетная схема верхнего ригеля при вертикальном давлении воды.

Проверку напряжений в верхнем ригеле производим с учетом изгиба его в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Изгибающий момент от вертикальной гидростатической нагрузки определяем по схеме фигуры 180; промежуточной опорой являются раскосы подъемной фермы, крайними — внутренние листы опорно-концевой стойки.

Изгибающий момент в горизонтальной плоскости по середине длины ригеля:

$$M_{в.р} = +2,195 \text{ тм.}$$

Изгибающий момент в вертикальной плоскости по середине длины ригеля:

$$M^* = -0,125p^*l^{*2} = -0,125 \cdot 1,764 \cdot 0,72^2 = -0,144 \text{ тм.}$$

Геометрические характеристики относительно вертикальной оси (фиг. 179, а):

$$S = 20,7 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 31,84 (11 + 0,8) = 382,6 \text{ см}^2;$$

$$y = \frac{382,6}{16,6 + 31,84} = 7,90 \text{ см};$$

$$I_x = 20,7 \cdot 0,8 (7,9 - 0,4)^2 + 2 \cdot 394 + 31,84 (11,8 - 7,9)^2 = 3810 \text{ см}^4;$$

$$W_x^{\text{мин}} = \frac{3810}{22,8 - 7,9} = 256 \text{ см}^3;$$

$$W_x^{\text{макс}} = \frac{3810}{7,9} = 482 \text{ см}^3.$$

Одна полка швеллера на всем протяжении оперта на обшивку, что значительно облегчает его работу в вертикальной плоскости.

Другая полка швеллера через резиновое уплотнение оперта на забральную стенку, что облегчает условия работы его на горизонтальную нагрузку.

С другой стороны, нагрузка к швеллеру приложена со значительным эксцентриситетом, что ухудшает его работу. Приблизительно считаем, что изгиб в вертикальной плоскости воспринимается только самим швеллером.

$$W_y^{\text{мин}} = 28,17 \text{ см}^3; \quad W_y^{\text{макс}} = \frac{157,8}{2,1} = 75 \text{ см}^3.$$

Напряжения от изгибающего момента в горизонтальной плоскости:

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{219\,500}{256} = 859 \text{ кг/см}^2 \text{ (растяжение);}$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{219\,500}{482} = 456 \text{ кг/см}^2 \text{ (сжатие).}$$

Напряжения от изгибающего момента в вертикальной плоскости:

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{11\,400}{28,17} = 405 \text{ кг/см}^2 \text{ (сжатие);}$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{11\,400}{75} = 152 \text{ кг/см}^2 \text{ (растяжение).}$$

Суммарные напряжения растяжения у верха свободной полки швеллера:

$$\sigma = 859 + 152 = 1\,011 \text{ кг/см}^2 < [\sigma].$$

## 8. ОПОРНО-КОНЦЕВЫЕ СТОЙКИ

Опорные давления нижнего, среднего и верхнего ригелей:

$$A_{\text{н.р}} = \frac{4,43 \cdot 2,1}{2} = 4,65 \text{ т};$$

$$A_{\text{с.р}} = \frac{6,84 \cdot 2,1}{2} = 7,18 \text{ т};$$

$$A_{\text{в.р}} = \frac{3,44 \cdot 2,1}{2} = 3,61 \text{ т}.$$

Реакция колес:  $P_{\text{н.к}} = 8,23 \text{ т}$  и  $P_{\text{в.к}} = 7,22 \text{ т}$ .

Расчетная схема стойки представлена на фигуре 181. В действительности опорно-концевая стойка находится в несколько более благоприятных условиях, так как часть гидростатического давления передается вспомогательными балками, расположенными ближе к колесам, чем ригели, а часть — непосредственно обшивкой на всем протяжении стойки.



Изгибающие моменты у нижнего колеса:

$$M_n = -4,65 \cdot 0,182 = -0,846 \text{ тм};$$

под средним ригелем:

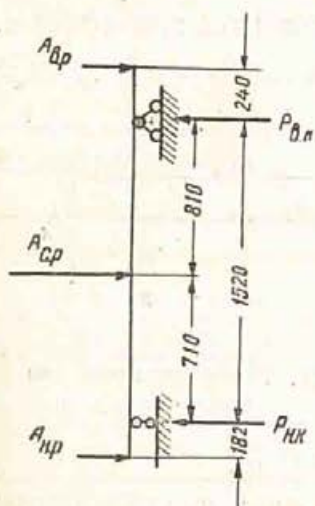
$$M_c = -4,65 \cdot 0,892 + 8,23 \cdot 0,71 = +1,71 \text{ тм};$$

у верхнего колеса

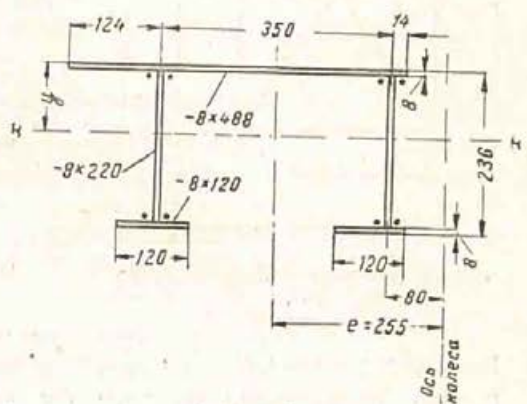
$$M_v = -3,61 \cdot 0,240 = -0,866 \text{ тм}.$$

Крутящий момент:

$$M_{кр} = (P_{п.к} + P_{в.к}) e = 15,45 \left( \frac{0,35}{2} + 0,08 \right) = 3,94 \text{ тм}.$$



Фиг. 181. Расчетная схема стойки.



Фиг. 182. Поперечное расчетное сечение опорно-концевой стойки.

Расчетное сечение опорно-концевой стойки показано на фигуре 182. Геометрические характеристики:

$$F_n = 39,0 \text{ см}^2;$$

$$F'_{ст} = 17,6 \text{ см}^2; \quad 2F'_{ст} = 35,2 \text{ см}^2;$$

$$2F'_n = 2 \cdot 0,8 \cdot 12 = 19,2 \text{ см}^2;$$

$$\Sigma F = 93,4 \text{ см}^2;$$

$$S = 39 \cdot 0,4 + 2 \cdot 17,6 (11 + 0,8) + 19,2 (0,8 + 22 + 0,4) = 875,2 \text{ см}^3;$$

$$y = \frac{875,2}{39 + 35,2 + 19,2} = 9,37 \text{ см};$$

$$I_x = 39 \cdot 8,97^2 + 2 \frac{0,8 \cdot 22^3}{12} + 2 \cdot 17,6 (11,8 - 9,37)^2 + 19,2 (23,6 - 0,4 - 9,37)^2 = 8438 \text{ см}^4;$$

$$W_x^{\text{мин}} = \frac{8438}{23,6 - 9,37} = 593 \text{ см}^3;$$

$$W_x^{\text{макс}} = \frac{8438}{9,37} = 900 \text{ см}^3.$$

Напряжения от изгиба:

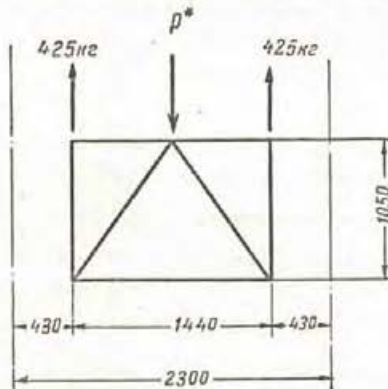
$$\sigma'_n = \frac{M}{W_x^{\text{мин}}} = \frac{171000}{593} = 288 \text{ кг/см}^2.$$

Вследствие столь малых напряжений дальнейший расчет стойки (определение напряжений от крутящего момента и от местного изгиба в наружном листе стенки) не производим.

### 9. ПОДЪЕМНАЯ ФЕРМА

Вес подвижной части затвора для предварительных расчетов принят по аналогии с ранее запроектированными, равным 2,5 т. Считаем, что на подъемную ферму в соответствии с размещением центра тяжести передается  $\frac{1}{3}$  веса затвора, т. е. около 850 кг.

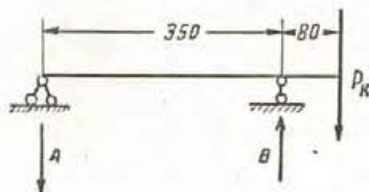
Схема подъемной фермы представлена на фигуре 183. Вертикальное гидростатическое давление в среднем узле\*:



Фиг. 183. Схема подъемной фермы.

$$P^* = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 1,764 \cdot 0,72 = 0,794 \text{ т.}$$

$$\text{Длина раскосов } s = \sqrt{72^2 + 102,5^2} = 125 \text{ см.}$$



Фиг. 184. Расчетная схема оси колеса.

$$\text{Усилие в раскосе } S = \frac{P^*}{2} \cdot \frac{125}{102,5} = \frac{794}{2} \cdot \frac{125}{102,5} = 483 \text{ кг.}$$

Раскос осуществлен из того же уголка, что и вспомогательные балки —  $90 \times 60 \times 8$ .

$$\text{Гибкость } \lambda = \frac{s}{r} = \frac{125}{1,29} = 97; \quad \varphi = 0,63;$$

$$\sigma = \frac{S}{F_{\varphi 0,75}} = \frac{483}{11,5 \cdot 0,63 \cdot 0,75} = 89 \text{ кг/см}^2.$$

### 10. КОЛЕСА

Требуемый диаметр колеса при длине линии касания с рельсом  $l_k = 60$  мм:

$$d_k = \frac{P_k}{l_k [\sigma_{д.с}]} = \frac{8230}{6 \cdot 50} = 27,1 \text{ см.}$$

Для удобства размещения уплотнений принимаем  $l_k = 6$  см и  $d_k = 40$  см. Напряжение на диаметрально сжатие:

$$\sigma_{д.с} = \frac{8230}{6 \cdot 40} = 34,3 \text{ кг/см}^2.$$

Удельное давление во втулке колеса из древопластика (ДСП-Б):

$$\sigma = \frac{P_k}{d_{в} l_{в}} = \frac{8230}{10 \cdot 8} = 103 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{д.с}] = 170 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения в колесной оси.

Материал оси сталь литая марки Ст. Л35-5015. Диаметр оси колеса у шейки  $d_0 = 100$  мм; схема загрузки оси показана на фигуре 184.

\* Считая, что одна половина всего давления передается на обшивку, а вторая — на узел подъемной фермы.

Опорные давления:

$$A = \frac{8230 \cdot 8}{35} = 1880 \text{ кг};$$

$$B = \frac{8230 \cdot 43}{35} = 10110 \text{ кг};$$

(направлены противоположно).

Изгибающий момент:

$$M = 8230 \cdot 8 = 65840 \text{ кгсм.}$$

Момент сопротивления оси:

$$W = 0,098d^3 = 0,098 \cdot 10^3 = 98 \text{ см}^3.$$

Напряжения от изгиба:

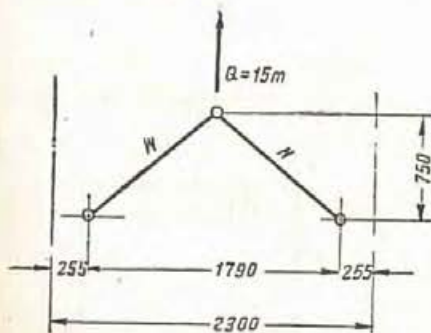
$$\sigma = \frac{65840}{98} = 672 \text{ кг/см}^2.$$

Смятие между осью и накладками  $\delta = 8$  мм, прикрепленными к стенке опорно-концевой стойки:

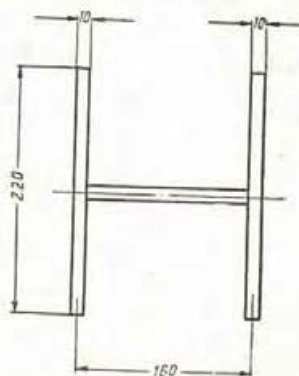
$$\sigma_{\text{см}} = \frac{B}{d \Sigma \delta} = \frac{10110}{12 \cdot 2 \cdot 0,8} = 526 \text{ кг/см}^2.$$

## 11. ПОДВЕС И ШТАНГИ

Нижнее треугольное звено штанги схематично представлено на фигуре 185. Поперечное сечение ее на фигуре 186. Подвесы расположены



Фиг. 185. Расчетная схема нижнего звена штанги.



Фиг. 186. Поперечное сечение штанги.

по оси опорно-концевой стойки. Расстояние между ними:

$$l = 230 - 2 \left( 8 + \frac{35}{2} \right) = 179 \text{ см.}$$

Усилие в звене штанги:

$$N = \frac{15}{2} \frac{\sqrt{89,5^2 + 75^2}}{75} = 11,65 \text{ т.}$$

Смятие у оси  $d = 80$  мм при толщине листов  $\delta = 10$  мм:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{N}{2d\delta} = \frac{11650}{2 \cdot 8 \cdot 1} = 727 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение на разрыв проушины по формуле Ляме (фиг. 187):

$$\sigma_{\text{л}} = \sigma_{\text{см}} \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} = 727 \frac{11^2 + 4^2}{11^2 - 4^2} = 948 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1200 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения при учете опрокидывающего момента мотора:

$$\sigma'_{см} = 2 \sigma_{см} = 2 \cdot 727 = 1454 \text{ кг/см}^2 < 0,9\sigma_T;$$

$$\sigma'_л = 2\sigma_л = 2 \cdot 948 = 1896 \text{ кг/см}^2 < 0,9\sigma_T;$$

$$0,9\sigma_T = 0,9 \cdot 2400 = 2160 \text{ кг/см}^2.$$

Ось подвеса. Расчетная схема показана на фигуре 188. Материал — Ст. 5. Диаметр оси  $d = 80$  мм.

Ось рассчитываем на подъемное усилие — 15 т.

Изгибающий момент:

$$M = 7500 \cdot 3 = 22500 \text{ кгсм.}$$

Момент сопротивления:

$$W = 0,098d^3 = 0,098 \cdot 8^3 = 50,3 \text{ см}^3.$$

Напряжения от изгиба:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{22500}{50,3} = 447 \text{ кг/см}^2.$$

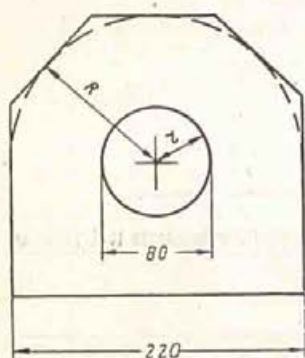
Напряжения от смятия под осью в листах:

$$\sigma_{см} = \frac{7500}{8 \cdot 0,8} = 1170 \text{ кг/см}^2.$$

С учетом опрокидывающего момента мотора:

$$\sigma' = 2 \cdot 447 = 894 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma'_{см} = 2 \cdot 1170 = 2340 \text{ кг/см}^2.$$

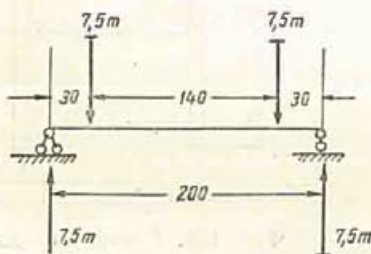


Фиг. 187. К расчету проушины.

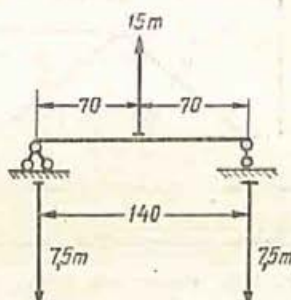
Верхняя ось штанги захватывается крюком крана. Расчетная схема показана на фигуре 189. Диаметр  $d = 80$  мм. Материал Ст. 5.

Изгибающий момент  $M = \frac{15000 \cdot 14}{4} = 52500$  кгсм.

Момент сопротивления  $W = 50,3$  см<sup>3</sup>.



Фиг. 188. Расчетная схема подвеса.



Фиг. 189. Расчетная схема оси штанги.

Напряжения:  $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{52500}{50,3} = 1044 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 1200 \text{ кг/см}^2.$

С учетом опрокидывающего момента мотора:

$$\sigma' = 2 \cdot 1044 = 2088 \text{ кг/см}^2 < 0,9\sigma_T.$$

## 12. ПОДЪЕМ И ОПУСКАНИЕ ЗАТВОРА

Трение в ходовых колесах [формула (14) главы XII].

$$T_x = \frac{P(fr_0 + I_k)}{r_k} = 30,9 \frac{0,2 \cdot 5 + 0,1}{20} = 1,7 \text{ т.}$$

Трение между уплотнениями и закладными частями, считая ширину нагруженной полосы уплотнения 6 см:

$$T_{уп} = \left( 2 \cdot 0,06 \cdot 2,12 \frac{8,0 + 5,88}{2} + 0,06 \cdot 2,10 \cdot 5,88 \right) 0,5 = 1,25 \text{ т.}$$

Вертикальное давление воды:

$$V_{в} = 5,88 \cdot 0,33 \cdot 2,13 = 4,15 \text{ т.}$$

Собственный вес затвора:  $G = 2,5 \text{ т.}$

Подсос не учитываем, так как угол  $\varphi < 30^\circ$ .

Выпор:

$$V_{п} = 2,1 \cdot 0,018 \cdot 8 = 0,3 \text{ т.}$$

Расчетная сила, препятствующая подъему затвора [формула (1) главы XVI]:

$$N_{п} = 1,1G + 1,2(T_{х} + T_{уп} + V_{в}) = 1,1 \cdot 2,5 + 1,2(1,7 + 1,25 + 4,15) = 11,25 \text{ т.}$$

Принято усилие подъемного механизма  $Q = 15 \text{ т.}$

Расчетная сила, препятствующая опусканию затвора весом менее 5 т. [формула (2) главы XVI]:

$$N'_{оп} = 2(T_{х} + T_{уп} + V_{п}) = 2(1,7 + 1,25 + 0,3) = 6,5 \text{ т.}$$

Суммарная сила, способствующая опусканию затвора:

$$N''_{оп} = G + V_{в} = 2,5 + 4,15 = 6,65 \text{ т.}$$

Коэффициент запаса на посадку 2.

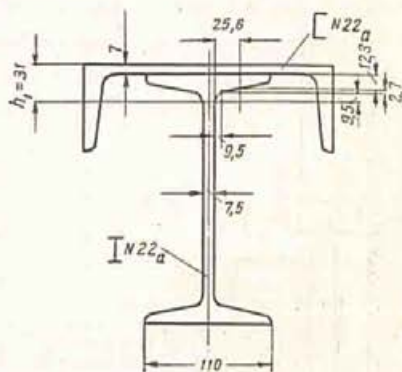
Если по спецификации с рабочих чертежей полный вес подвижной части затвора окажется менее принятого для предварительных расчетов, то понадобится добавить балласт в виде чугунных или бетонных брусьев.

### 13. ЗАКЛАДНЫЕ ХОДОВЫЕ ЧАСТИ

Местное напряжение в стенке двутавра у полки (фиг. 190):

$$h_1 = 7 + 12,3 + 9,5 + \frac{(110 - 7,5 - 9,5)}{4} \frac{1}{6} = 31 \text{ мм;}$$

$$\sigma = \frac{P_k}{3h_1\delta} = \frac{8230}{3 \cdot 31 \cdot 0,75} = 1180 \text{ кг/см}^2 < 2100 \text{ кг/см}^2$$



Фиг. 190. Ходовой путь.

Сжатие бетона под подошвой рельса:

$$\sigma'_b = \frac{P_k}{3hb} = \frac{8230}{3 \cdot 22 \cdot 7,11} = 11 \text{ кг/см}^2 < [\sigma'_b]_{сж}$$

(см. таблицу 36).

### 14. ПОДХВАТ

Пролет подхвата  $l = 0,9 \text{ м.}$

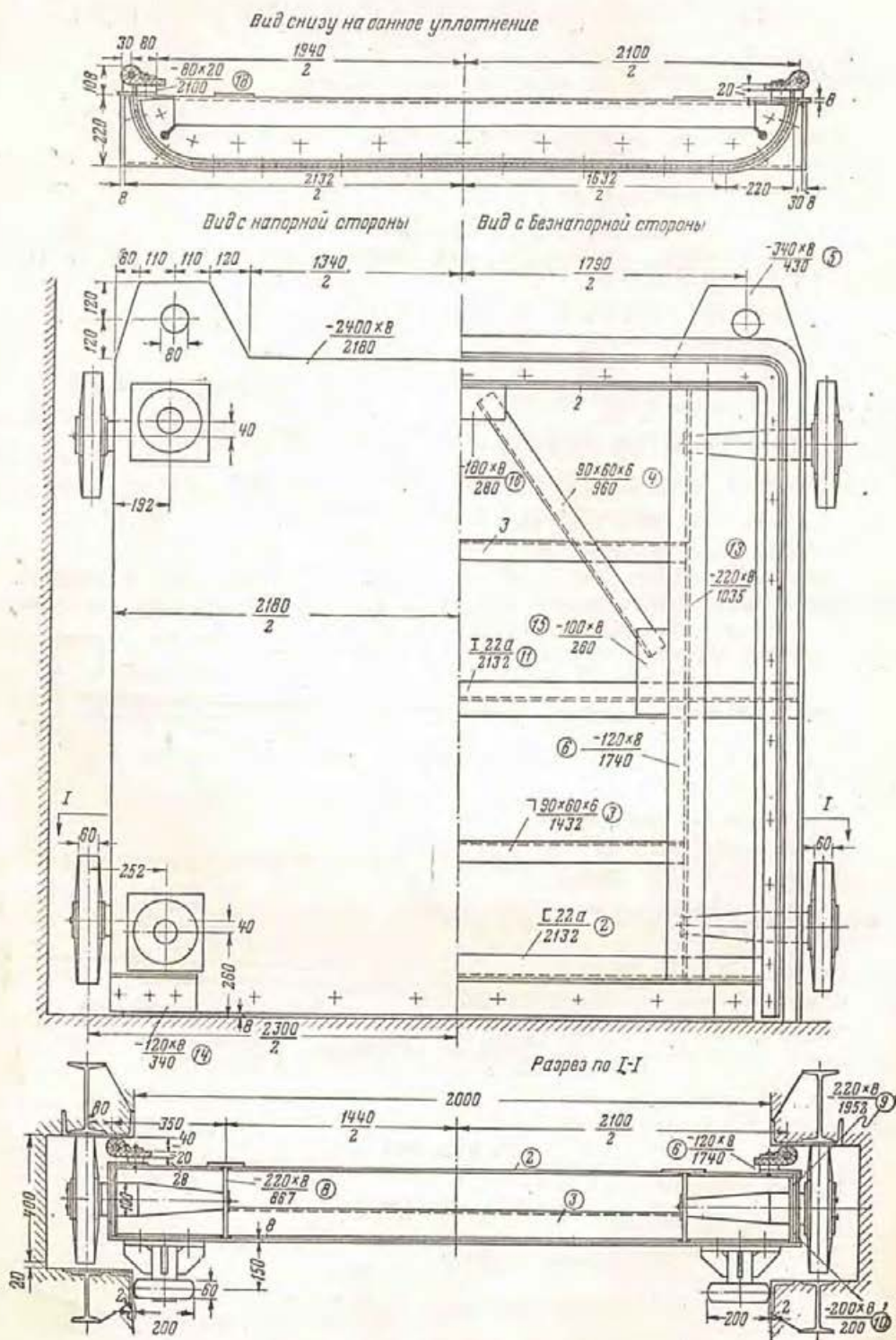
Изгибающий момент  $M = \frac{Gl}{4} = \frac{2,5 \cdot 0,9}{4} = 0,562 \text{ тм.}$

Требуемый момент сопротивления:

$$W_{тр} = \frac{M}{[\sigma]} = \frac{56200}{1400} = 40,2 \text{ см}^3.$$

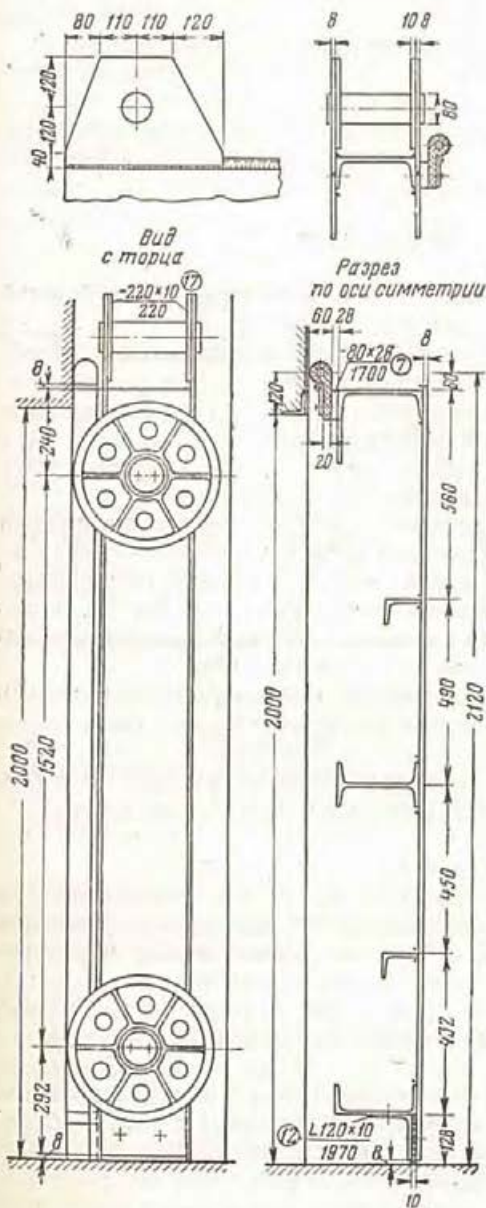
Принят двутавр № 12 с  $W_x = 72,7 \text{ см}^3$  и  $\delta_{ст} = 5 \text{ мм.}$

Общий вид затвора и его конструктивные детали показаны на фигуре 191.



Фиг. 191. Общий вид затвора и его детали.

Вариант устройства подвеса без выреза обшивки



Спецификация прокатного металла марки Ст. 3

		Вес наплавленного металла 1.5%		11,5	
18	-80x20	2 100	2	26,9	53,8
17	-220x8	220	4	2,8	11,2
16	-180x8	280	1	3,2	3,2
15	-100x8	260	2	1,7	3,4
14	-120x8	340	2	2,6	5,2
13	-220x8	1 035	2	14,6	29,2
12	∠120x10	1 970	1	36,0	36,0
11	1 22a	2 132	1	70,3	70,3
10	-200x8	200	8	2,1	16,8
9	-220x8	1 952	2	26,5	53,0
8	-220x8	867	2	12,2	24,4
7	-80x28	1 700	1	21,8	21,8
6	-120x8	1 740	4	13,4	53,6
5	-340x8	430	2	9,4	18,8
4	∠90x60x6	960	2	6,6	13,2
3	∠90x60x6	1 432	2	9,9	19,8
2	1 22a	2 132	2	53,3	106,6
1	-2 400x8	2 180	1	305	305

Щ-1

Марка	№ позиции	Сечение (мм)	Длина (мм)	Количество (шт.)	Вес (кг)		
					детали	общий	марки

Примечания:  
 Марки прокатной стали Ст. 3 и Ст. 5  
 Марка литой стали Ст. Л35-5015  
 Сварка электродами марки Э42  
 Марка бетона 170

Фиг. 191 (продолжение).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Часть I</b>	
<b>ПЛОСКИЕ ЗАТВОРЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ</b>	
Глава I. Разновидности затворов. Материалы. Отверстия . . . . .	5
Глава II. Общие конструктивные указания . . . . .	19
Глава III. Силы и нагрузки, действующие на затворы . . . . .	25
1. Общие сведения . . . . .	25
2. Собственный вес затвора . . . . .	25
3. Давление воды . . . . .	30
а) Гидростатическое давление . . . . .	30
б) Гидродинамическое давление . . . . .	35
в) Давление волн . . . . .	36
4. Давление наносов . . . . .	36
5. Давление ветра . . . . .	37
6. Давление льда . . . . .	37
7. Сейсмические силы . . . . .	37
8. Силы, препятствующие подъему (опусканию) затвора . . . . .	37
Глава IV. Допускаемые напряжения, прогибы и гибкости . . . . .	38
Глава V. Элементы плоского затвора . . . . .	47
Глава VI. Типы плоских затворов и области применения их . . . . .	52
1. Безригельные затворы . . . . .	52
2. Многоригельные затворы . . . . .	55
3. Двухригельные затворы . . . . .	56
4. Затворы с клапаном, сдвоенные и секционные . . . . .	56
5. Характеристика и области применения плоских затворов . . . . .	62
Глава VII. Обшивка и балочная клетка . . . . .	65
Глава VIII. Стойки и поперечные связи . . . . .	79
Глава IX. Ригели . . . . .	82
1. Общие сведения . . . . .	82
2. Ригели из прокатных профилей . . . . .	86
3. Ригели из составных балок . . . . .	89
4. Ригели из ферм . . . . .	97
Глава X. Продольные связевые фермы . . . . .	109
Глава XI. Опорно-концевые стойки . . . . .	111
Глава XII. Опорно-ходовые части . . . . .	114
1. Общие сведения . . . . .	114
2. Конструирование и расчет скользящих опор . . . . .	117
3. Конструирование и расчет колесных опорно-ходовых частей . . . . .	121
Глава XIII. Направляющие устройства . . . . .	133
1. Обратные колеса . . . . .	133
2. Боковые направляющие устройства . . . . .	138
Глава XIV. Уплотнения . . . . .	142
Глава XV. Закладные части . . . . .	156



1. Общие сведения . . . . .	156
2. Ходовые закладные части . . . . .	158
3. Закладные части под уплотнения . . . . .	160
4. Обогрев затворов . . . . .	161
<b>Глава XVI. Подъемные устройства . . . . .</b>	<b>163</b>
1. Подъемные механизмы . . . . .	163
2. Тяги и подвесы . . . . .	164
3. Подхваты . . . . .	169
4. Подъемное и опускное усилия . . . . .	172
<b>Глава XVII. Пример проектирования плоского поверхностного затвора со сквозными ригелями . . . . .</b>	<b>173</b>
1. Основные данные, выбор схемы затвора и назначение основных геометрических размеров его . . . . .	173
2. Обшивка и вспомогательные балки . . . . .	174
3. Фермы поперечных связей . . . . .	177
4. Опорные давления и узловые нагрузки ферм ригелей . . . . .	181
5. Усилия в стержнях фермы ригеля . . . . .	182
6. Подбор сечений стержней фермы ригеля . . . . .	183
7. Крепления в узлах . . . . .	187
8. Ферма продольных связей . . . . .	193
9. Опорно-концевая стойка . . . . .	195
10. Опорно-ходовые устройства . . . . .	196
11. Подъем и опускание затвора . . . . .	199
<b>Глава XVIII. Пример проектирования плоского глубинного затвора с прокатными ригелями . . . . .</b>	<b>200</b>
1. Основные данные . . . . .	200
2. Описание конструкции . . . . .	200
3. Применяемые материалы и нормативные данные . . . . .	200
4. Нагрузки . . . . .	201
5. Обшивка . . . . .	203
6. Вспомогательные балки . . . . .	203
7. Ригели . . . . .	204
8. Опорно-концевые стойки . . . . .	206
9. Подъемная ферма . . . . .	208
10. Колеса . . . . .	208
11. Подвес и штанги . . . . .	209
12. Подъем и опускание затвора . . . . .	210
13. Закладные ходовые части . . . . .	211
14. Подхват . . . . .	211

## Часть II

### РЕЗЕРВУАРЫ И ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

<b>Глава I. Резервуары . . . . .</b>	<b>214</b>
1. Разновидности резервуаров . . . . .	214
2. Стальные резервуары . . . . .	216
3. Деревянные резервуары . . . . .	217
4. Железобетонные резервуары . . . . .	218
5. Каменные резервуары . . . . .	223
6. Особенности конструкций резервуаров, возводимых на лессовидных просадочных грунтах и в сейсмических районах . . . . .	224
<b>Глава II. Водонапорные башни и колонны . . . . .</b>	<b>229</b>
1. Водонапорные башни . . . . .	229
2. Водонапорные колонны . . . . .	235
<b>Глава III. Особенности расчета резервуаров . . . . .</b>	<b>237</b>
1. Принципы расчета оболочки резервуара . . . . .	237
2. Уравнение изогнутой оси балки . . . . .	238
3. Изгиб балки на упругом основании . . . . .	243
а) Длинная балка постоянного сечения на однородном упругом основании (или длинный замкнутый круговой цилиндр постоянной толщины) . . . . .	248
б) Жесткая балка на упругом основании . . . . .	261
4. Плиты, опертые по контуру . . . . .	263
5. Основы безмоментной теории осесимметричных оболочек . . . . .	264
а) Общие уравнения безмоментной теории . . . . .	264
б) Цилиндрическая оболочка . . . . .	267
в) Коническая оболочка . . . . .	267
г) Сферическая оболочка . . . . .	271

6. Основы теории изгиба осесимметричных оболочек . . . . .	272
а) Общее дифференциальное уравнение осесимметричных оболочек . . . . .	273
б) Оболочки постоянной толщины . . . . .	278
в) Цилиндрическая оболочка постоянной толщины . . . . .	279
г) Круговое кольцо . . . . .	281
д) Цилиндрическая оболочка линейно меняющейся толщины . . . . .	286
е) Коническая оболочка постоянной толщины . . . . .	291
ж) Сферическая оболочка постоянной толщины . . . . .	295
з) Пологие оболочки . . . . .	299
и) Круглая плита (пластинка) как частный случай оболочки . . . . .	299
к) Круглая плита постоянной толщины . . . . .	300
л) Круглая плита (пластинка) линейно меняющейся толщины по закону $\rho = \frac{r}{\delta} \text{const}$ . . . . .	301
м) Круглая плита постоянной толщины на упругом основании . . . . .	313
<b>Глава IV. Статика железобетонных резервуаров . . . . .</b>	<b>316</b>
1. Системы уравнений . . . . .	316
2. Решение симметричной системы трехчленных линейных алгебраических уравнений . . . . .	318
3. О выборе основной системы . . . . .	321
<b>Глава V. О выборе основных геометрических размеров наземных и подземных резервуаров . . . . .</b>	<b>323</b>
1. Наземные резервуары . . . . .	323
а) Открытые прямоугольные и квадратные в плане резервуары малой емкости . . . . .	323
б) Открытый цилиндрический резервуар малой емкости с плоским дном . . . . .	324
в) Открытый цилиндрический резервуар малой емкости с коническим дном . . . . .	325
г) Открытый цилиндрический железобетонный резервуар с плоским дном . . . . .	326
2. Подземные железобетонные резервуары . . . . .	329
а) Прямоугольный резервуар с безбалочными покрытием и дном . . . . .	329
б) Цилиндрический резервуар с безбалочными покрытием и дном при расположении колонн по сторонам квадрата . . . . .	332
в) Цилиндрический резервуар с одной колонной в центре . . . . .	333
<b>Глава VI. Краткие сведения о методах возведения и испытания резервуаров и водонапорных башен . . . . .</b>	<b>335</b>
1. О методах возведения резервуаров . . . . .	335
2. О методах возведения водонапорных башен . . . . .	336
3. Испытание резервуаров и водонапорных башен перед сдачей их в эксплуатацию . . . . .	338
<b>Глава VII. Примеры расчета резервуаров и башен . . . . .</b>	<b>339</b>
1. Выбор основных геометрических размеров и расчет прочности открытого цилиндрического железобетонного резервуара для сухих грунтов . . . . .	339
а) Выбор основных геометрических размеров резервуара . . . . .	339
б) Определение меридиональных изгибающих моментов . . . . .	341
в) Расчет усилий в стенке и дне резервуара . . . . .	341
г) Подбор сечений арматуры . . . . .	344
2. Расчет подземного цилиндрического резервуара емкостью 100 м <sup>3</sup> . . . . .	344
а) Выбор основных геометрических размеров резервуара . . . . .	345
б) Определение меридиональных изгибающих моментов в узлах . . . . .	346
в) Расчет усилий в стенке и дне резервуара . . . . .	347
3. Расчет подземного железобетонного резервуара емкостью 200 м <sup>3</sup> с одной колонной в центре при плоском покрытии и дне . . . . .	350
а) Выбор основных геометрических размеров резервуара . . . . .	350
б) Первый случай загрузки (резервуар засыпан и опорожнен) . . . . .	351
в) Второй случай загрузки (резервуар наполнен водой, не засыпан) . . . . .	358
4. Расчет цилиндрической железобетонной водонапорной башни с резервуаром емкостью 400 м <sup>3</sup> . . . . .	360
а) Шатер башни . . . . .	360
б) Резервуар . . . . .	364
в) Расчет опорного узла резервуара . . . . .	367
г) Подбор сечений арматуры в стенке резервуара . . . . .	371
д) Подбор сечений арматуры в дне . . . . .	373
е) Подбор сечений арматуры в опорном кольце . . . . .	374
ж) Корпус башни . . . . .	375
з) Фундамент башни . . . . .	379
5. Статический расчет подземного железобетонного резервуара емкостью 300 м <sup>3</sup> для района, подверженного сейсмическим колебаниям . . . . .	380
а) Условия работы резервуара . . . . .	380
б) Выбор материала конструкций и обоснование конструктивной схемы . . . . .	381

в) Основные данные для расчета . . . . .	382
г) Подсчет нагрузок и предварительный подбор сечений элементов резервуара . . . . .	385
д) Статический расчет резервуара на симметричную нагрузку в период между землетрясениями . . . . .	386
е) Влияние сейсмического толчка . . . . .	396
6. Расчет подземного резервуара с каменной стенкой, усиленной безопалубочным железобетоном . . . . .	398
а) Конструкция и материал резервуара . . . . .	398
б) Геометрические размеры резервуара . . . . .	399
в) Характеристика принятых грунтов, действующие силы и нагрузки . . . . .	399
г) Расчет покрытия . . . . .	400
д) Проверка плиты покрытия на продавливание . . . . .	402
е) Расчет колонны . . . . .	404
ж) Расчет стенки . . . . .	404
з) Подбор сечений стенки и арматуры . . . . .	409
и) Расчет днища . . . . .	412
к) Проверка давления на грунт . . . . .	415
л) Проверка на всплывание . . . . .	418

### Часть III

#### ПОДПОРНЫЕ СТЕНКИ

Глава I. Конструкция подпорных стенок . . . . .	420
1. Общие сведения . . . . .	420
2. Материалы для подпорных стенок . . . . .	424
3. Типы подпорных стенок . . . . .	425
а) Каменные подпорные стенки из сухой бутовой кладки . . . . .	425
б) Подпорные стенки бетонные и из каменной кладки на растворе . . . . .	426
в) Железобетонные подпорные стенки . . . . .	429
Глава II. Определение сил, действующих на подпорную стенку . . . . .	439
1. Общие сведения . . . . .	439
2. Практические способы определения давления грунта на подпорные стенки . . . . .	440
а) Основные положения теории предельного равновесия сыпучих тел . . . . .	440
б) Графическое определение давления земли на стенку . . . . .	441
в) Аналитическое определение величины силы давления земли на стенку и плеча ее приложения . . . . .	442
г) Определение величины силы давления грунта на стенку и плеча ее приложения при помощи таблиц . . . . .	447
д) Диаграмма полных давлений и диаграмма интенсивности давления . . . . .	464
е) Применение графического способа определения давления земли при наличии на призме обрушения равномерно распределенной временной нагрузки . . . . .	465
ж) Применение графического способа определения давления земли при ломаной поверхности стенки . . . . .	465
з) Пассивное давление (отпор) сыпучего тела . . . . .	465
и) Влияние воды на величину давления грунта . . . . .	468
3. Особенности расчета подпорных стенок в сейсмических районах . . . . .	470
Глава III. Расчет подпорных стенок . . . . .	472
1. Проверка подпорной стенки на устойчивость . . . . .	472
а) Проверка на устойчивость против опрокидывания . . . . .	472
б) Проверка на устойчивость против скольжения . . . . .	472
2. Проверка давления на грунт под подошвой фундамента . . . . .	473
3. Расчет стенок на прочность . . . . .	474
4. Аналитическое определение размеров фундаментов подпорных стенок . . . . .	479
Глава IV. Шпунтовые стенки . . . . .	483
1. Общие сведения . . . . .	483
2. Конструкция шпунтовых стенок . . . . .	483
а) Деревянные шпунтовые стенки . . . . .	483
б) Стальные шпунтовые стенки . . . . .	485
в) Железобетонные шпунтовые стенки . . . . .	486
3. Расчет шпунтовых стенок . . . . .	487
а) Устойчивость и прочность свободной шпунтовой стенки при действии сосредоточенной горизонтальной силы . . . . .	487
б) Устойчивость и прочность свободной шпунтовой стенки при действии на нее давления земли . . . . .	488
в) Расчет анкерных шпунтовых стенок . . . . .	492

Глава V. Примеры расчета и конструирования подпорных стенок . . . . .	497
1. Бетонная подпорная стенка . . . . .	497
2. Железобетонная угловая подпорная стенка без ребер . . . . .	501
3. Железобетонная угловая подпорная стенка с ребрами . . . . .	508
4. Ряжевая подпорная стенка . . . . .	525
5. Свободная стальная шпунтовая стенка . . . . .	529
6. Незащемленная анкерная шпунтовая стенка . . . . .	530
7. Защемленная анкерная шпунтовая стенка . . . . .	534
Приложение I. Графики для подбора сечений сжатых элементов, составленных из двух равнобоких уголков, по гибкости относительно оси $x-x$ . . . . .	538
Приложение II. Основные сведения, необходимые при проектировании бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений . . . . .	540
I. Материалы . . . . .	540
II. Бетонные конструкции . . . . .	542
III. Железобетонные конструкции . . . . .	543
IV. Малоармированные конструкции . . . . .	544
V. Указания по конструированию . . . . .	544
Литература к I части . . . . .	546
Литература ко II части . . . . .	546
Литература к III части . . . . .	547

Стрешко Анатолий Иванович и др. Инженерные конструкции в гидромелиоративном строительстве.

Спец. редактор В. М. Алексеев. Редактор Л. М. Кобыляков. Художник М. З. Шлосберг. Художественный редактор Н. М. Хохрина.

Технические редакторы Э. Д. Пересыпкина и А. Н. Баллод. Корректор А. В. Гришина

• • •

Сдано в набор 11/VIII 1955 г. Подписано к печати 22 XI 1955 г. Т10005. Бумага 70×1081/16.  
Печ. л. 34,5 (47,26) + 3 вкл. Уч.-изд. л. 41,43. Тираж 10 000 экз. Заказ № 1138.  
Цена 12 руб.

• • •

Сельхозгиз, Москва, Б-66, 1-й Египетский пер., д. 3.

16-я типография Главполиграфпрома Министерства культуры СССР, Москва, Трехпрудный пер., 9.

# ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
27	9 снизу	$H_{ц} l^2 > 30$	$H_{ц} l_0^2 < 30$
225	Подпись под фиг. 210	$\beta$ — шлак 1,2 м	$\beta$ — шлак 0,1—0,2 м
384	фиг. 294	$q_x \sin \beta - \tau \cos \beta$	$q_x \sin \beta - \tau \sin \beta$
389	4 и 5 сверху	из условия угла поворота реального сечения	из условия отсутствия поворота радиального сечения
		$= \frac{(P-2Q)\lambda_d^4}{k_r F}$	$= \frac{(P-2Q)\lambda_d^4}{4F}$
418	18 сверху	$k_r = 4; Q = (F + 2\lambda_d) = P\lambda_d$	$Q \cdot (F + 2\lambda_d) = P\lambda_d$
418	20 сверху	$\sigma_h = \frac{(bmh^2 - 2P)^2}{b[bmh^3 - 6P(H+h)]} - mh$	$\sigma_h = \frac{(bmh^2 - 2P)^2}{b[bmh^3 - 6P(H+h)]} - mh$
487	7 снизу	таблице 18	таблице 21
527	5 снизу		