

М. М. ГРИШИН

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Часть
II



МОСКВА 1955

М. М. ГРИШИН
проф. д-р техн. наук

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

ЧАСТЬ II

Издание второе,
исправленное и дополненное

Д о п у щ е н о
Министерством высшего образования СССР
в качестве учебника для гидротехнических вузов
и факультетов

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ
Москва — 1955

Рецензенты: проф. д-р техн. наук *К. А. Михайлов*
кафедра гидротехнических сооружений
Одесского гидротехнического института
(зав. кафедрой проф. д-р техн. наук
В. В. Аристовский)

Научный редактор — проф. д-р техн. наук
А. Р. Березинский

Книга является второй частью учебника по курсу гидротехнических сооружений для гидротехнических вузов и факультетов.

В ней рассматриваются затворы, специальные сооружения речных гидроузлов (транспортные, энергетические, рыбопропускные, водозаборные), пропуск речных вод и перемычки при строительстве гидроузлов, узлы гидротехнических сооружений, водопроводящие сооружения (каналы и сооружения на них, гидротехнические туннели), методы регулирования рек и регуляционные сооружения, а также вопросы технической эксплуатации, восстановления, реконструкции и исследований гидросооружений.

При этом излагаются новейшие методы расчета и проектирования сооружений; в учебнике отражены достижения советских ученых, проектировщиков и строителей.

Книга может служить также пособием для инженеров—проектировщиков и производственников.

Михаил Михайлович Гришин

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ, ЧАСТЬ II

*Государственное издательство литературы
по строительству и архитектуре,
Москва, Третьяковский проезд, д. 1*

Редактор *Н. В. Сафонов*
Переплет художника *Б. А. Белова*
Технический редактор *М. В. Смольякова*

Сдано в набор 30 VI — 1954 г. Подписано к печати 17 II — 1955 г. Т—01630
Бумага 70×108^{1/16} = 14,25 бум. л.—38,36 условн. печ. л. + 4 вкл. (0,63 усл. печ. л.), (32,73 уч.-изд. л.)
Тираж 25 000 экз. Изд. № 1-937(1) 2. Зак. 1074. Цена 11 р. 45 к. Переплет 1 р. 50 к

Типография № 1 Государственного издательства литературы
по строительству и архитектуре. г. Владимир

ОГЛАВЛЕНИЕ

VI. ЗАТВОРЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Глава шестнадцатая. Общие сведения о затворах

| | |
|---|----|
| § 101. Классификация затворов | 7 |
| § 102. Общие условия работы затворов | 11 |
| § 103. Силовые воздействия на затворы | 13 |

Глава семнадцатая. Затворы поверхностных отверстий, передающие давление воды на быки и устои

А. Плоские затворы и шандоры

| | |
|--|----|
| § 104. Общие понятия. Схема затвора | 16 |
| § 105. Расчет и конструкция затвора | 18 |
| § 106. Опорные и закладные части затворов. Усилия для передвижения затвора в пазах | 24 |
| § 107. Плоские затворы сдвоенные и с клапанами. Проектирование плоских затворов | 32 |
| § 108. Шандоры | 38 |

Б. Сегментные затворы

| | |
|---|----|
| § 109. Схема затвора и действующие на него усилия | 42 |
| § 110. Конструкция затвора | 45 |
| § 111. Опорные части и уплотнения. Подъемное усилие | 51 |
| § 112. Некоторые особые конструкции сегментных затворов. Проектирование сегментных затворов | 54 |

В. Вальцовые затворы

| | |
|---|----|
| § 113. Схема затвора и условия его работы | 58 |
| § 114. Конструкция затвора и расчеты | 62 |
| § 115. Опорные части, уплотнения и подъемное усилие | 65 |
| § 116. Некоторые особые конструкции вальцовых затворов. Проектирование вальцовых затворов | 67 |

Глава восемнадцатая. Затворы поверхностных отверстий, передающие давление воды на порог отверстия

| | |
|---|----|
| § 117. Секторные затворы | 70 |
| § 118. Крышевидные затворы | 78 |
| § 119. Клапанные затворы | 83 |
| § 120. Затворы с поворотными фермами и рамами | 88 |

Глава девятнадцатая. Прочие затворы поверхностных отверстий

А. Затворы, передающие давление воды на порог и быки (устои)

| | |
|---|-----|
| § 121. Стоечно-плоские (мостовые) затворы | 96 |
| § 122. Клапанные и пловучие затворы | 102 |

Б. Ремонтные и строительные затворы поверхностных отверстий

| | |
|---------------------------------------|-----|
| § 123. Ремонтные затворы | 105 |
| § 124. Строительные затворы | 107 |

Глава двадцатая. Подъемные устройства, монтаж и эксплуатация поверхностных затворов

| | |
|--|-----|
| § 125. Подъемные устройства затворов | 109 |
| § 126. Служебные мосты | 112 |
| § 127. Монтаж затворов | 115 |
| § 128. Эксплуатация затворов | 117 |

Глава двадцать первая. Затворы глубинных отверстий

| | |
|--|-----|
| § 129. Особенности работы затворов глубинных отверстий | 120 |
| § 130. Плоские и сегментные затворы | 121 |
| § 131. Цилиндрические затворы | 128 |
| § 132. Дисковые (дроссельные), игольчатые и прочие затворы | 131 |

VII. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ**Глава двадцать вторая. Транспортные и энергетические сооружения****А. Судходные и лесопропускные сооружения**

| | |
|--|-----|
| § 133. Краткие сведения о судходных шлюзах и судоподъемниках | 135 |
| § 134. Расположение шлюзов и подходов к ним в гидроузлах | 139 |
| § 135. Лесопропускные устройства | 141 |

Б. Энергетические сооружения

| | |
|---|-----|
| § 136. Здания гидроэлектростанций | 144 |
|---|-----|

Глава двадцать третья. Рыбопропускные сооружения

| | |
|---|-----|
| § 137. Влияние гидростроительства на рыбное хозяйство и мероприятия в связи с этим | 150 |
| § 138. Рыбоходы | 153 |
| § 139. Рыбоходные шлюзы и рыбоподъемники. Прочие способы пропуска рыбы в напорных гидроузлах | 157 |
| § 140. Расположение рыбопропускных устройств в гидроузлах и обеспечение эффективности их работы | 162 |

Глава двадцать четвертая. Водозаборные устройства**А. Бесплотинный водозабор**

| | |
|---|-----|
| § 141. Гидравлические условия открытого водозабора из свободных рек | 166 |
| § 142. Конструкции водозаборов из свободных рек | 169 |

Б. Плотинный водозабор

| | |
|--|-----|
| § 143. Открытый (поверхностный) водозабор (при плотинах небольшого напора) | 174 |
| § 144. Конструкции открытого (поверхностного) водозабора | 183 |
| § 145. Глубинный водозабор | 191 |

VIII. ПРОПУСК РЕЧНЫХ ВОД И ВРЕМЕННЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОУЗЛОВ**Глава двадцать пятая. Пропуск речных вод, судов, плотов и пр. в период постройки гидроузлов****А. Схема возведения сооружений без отвода реки в сторону**

| | |
|--|-----|
| § 146. Перемычный метод | 195 |
| § 147. Бесперемычный метод | 199 |
| § 148. Пропуск воды через отверстия в строящихся сооружениях | 201 |

Б. Схемы возведения речных сооружений с отводом реки в сторону от ее русла

| | |
|--|-----|
| § 149. Схемы возведения напорных сооружений с отводом реки из ее русла | 207 |
|--|-----|

В. Выбор схемы пропуска воды и плавающих тел в период постройки гидроузлов

| | |
|--|-----|
| § 150. Выбор схемы пропуска воды, льда и плавающих тел в период постройки гидроузлов различного типа | 211 |
|--|-----|

Глава двадцать шестая. Перемычки при строительстве речных гидроузлов

| | |
|---|-----|
| § 151. Классификация и общие условия работы перемычек | 215 |
| § 152. Перемычки земляные, каменно-набросные и из других подручных материалов | 216 |
| § 153. Шпунтовые, ячеистые и ряжевые перемычки | 218 |
| § 154. Прочие виды перемычек. Эксплуатация перемычек | 227 |

IX. РЕЧНЫЕ ГИДРОУЗЛЫ

Глава двадцать седьмая. Проектирование речных гидроузлов

| | |
|--|-----|
| § 155. Общие принципы проектирования | 232 |
| § 156. Исходные данные и общий ход проектирования гидроузлов | 235 |
| § 157. Технико-экономическое сопоставление вариантов сооружений и гидроузлов | 238 |
| § 158. Компоновка сооружений и выбор типа плотины в низконапорных гидроузлах | 242 |
| § 159. Компоновка сооружений и выбор типа плотины в гидроузлах среднего напора | 247 |
| § 160. Компоновка сооружений и выбор типа плотины в высоконапорных гидроузлах | 254 |

X. ВОДОПРОВОДЯЩИЕ СООРУЖЕНИЯ

Глава двадцать восьмая. Каналы и лотки

| | |
|---|-----|
| § 161. Типы каналов и лотков, формы и размеры их поперечных сечений | 260 |
| § 162. Допускаемые скорости течения в каналах и лотках | 262 |
| § 163. Потери воды (фильтрация) из каналов и борьба с ними | 267 |
| § 164. Облицовки (одежды) каналов | 272 |
| § 165. Трасса, продольный и поперечный профили каналов | 280 |
| § 166. Лотки | 289 |

Глава двадцать девятая. Сооружения на каналах

| | |
|---|-----|
| § 167. Виды и назначение сооружений на каналах | 294 |
| § 168. Сопрягающие сооружения в местах перелома и изменения продольного и поперечного профилей канала | 296 |
| § 169. Сооружения при пересечениях канала с водотоками и путями сообщения | 302 |
| § 170. Сооружения, регулирующие водный режим канала | 311 |

Глава тридцатая. Гидротехнические туннели

| | |
|---|-----|
| § 171. Типы и характер работы гидротехнических туннелей | 317 |
| § 172. Горное давление в туннелях | 319 |
| § 173. Безнапорные гидротехнические туннели | 323 |
| § 174. Расчеты безнапорных гидротехнических туннелей | 329 |
| § 175. Напорные туннели | 336 |
| § 176. Расчеты напорных туннелей | 340 |
| § 177. Способы проходки туннелей | 346 |

XI. РЕГУЛЯЦИОННЫЕ (ВЫПРАВИТЕЛЬНЫЕ) СООРУЖЕНИЯ

Глава тридцать первая. Методы регулирования (выправления) рек и речных русел

| | |
|--|-----|
| § 178. Общие принципы регулирования эрозивной деятельности потоков | 354 |
| § 179. Борьба с эрозией склонов бассейна реки | 358 |
| § 180. Методы борьбы с глубинной эрозией (регулирование горных потоков, суходолов и оврагов) | 360 |
| § 181. Методы борьбы с отложениями наносов и повышением дна русел | 365 |
| § 182. Методы борьбы с местной эрозией | 368 |
| § 183. Общее регулирование русла и частные случаи | 373 |
| § 184. Защита прибрежных земель от затоплений | 377 |

Глава тридцать вторая. Регуляционные (выправительные) сооружения и работы

| | |
|--|-----|
| § 185. Особенности конструкций выправительных сооружений и материалы для них | 379 |
| § 186. Берегоукрепительные одежды | 383 |
| § 187. Поперечные и продольные выправительные сооружения тяжелого типа | 389 |
| § 188. Выправительные сооружения легкого типа (сквозные) | 394 |
| § 189. Подпорные, спрямляющие и заграждающие регуляционные сооружения | 398 |

**ХII. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ****Глава тридцать третья. Техническая эксплуатация гидротехнических
сооружений**

| | |
|--|-----|
| § 190. Основные задачи и состав эксплуатационных мероприятий | 403 |
| § 191. Предупредительные мероприятия при эксплуатации сооружений | 405 |
| § 192. Ремонт гидротехнических сооружений | 408 |
| § 193. Восстановление гидротехнических сооружений после аварий или повреждений | 412 |
| § 194. Реконструкция гидротехнических сооружений (повышение их напора) | 418 |

**Глава тридцать четвертая. Исследования гидротехнических
сооружений**

| | |
|--|-------|
| § 195. Задачи и виды исследований сооружений | 424 |
| <i>А. Лабораторные исследования</i> | |
| § 196. Гидравлические исследования сооружений | 425 |
| § 197. Исследования напряжений и деформаций в сооружениях | 432 |
| <i>Б. Исследования сооружений в натуре (строящихся и эксплуатируемых)</i> | |
| § 198. Гидравлические и фильтрационные исследования и наблюдения | 435 |
| § 199. Исследования напряжений и деформаций сооружений | 439 |
| Основная литература | : 446 |

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАТВОРАХ

§ 101. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАТВОРОВ

1. Механическое оборудование гидротехнических сооружений

Под механическим оборудованием гидротехнических сооружений понимаются устройства для закрытия и открытия водолпускных отверстий, позволяющие регулировать горизонты верхнего бьефа и расходы воды, а также пропускать плавающие тела.

Эти устройства состоят из затворов, решеток и служебных мостов.

а) Затворы представляют собой подвижные конструкции, которые могут закрывать и частично или полностью открывать отверстия сооружения.

Затворы имеют закладные части — неподвижные конструкции, заделанные в тело сооружения и обеспечивающие правильное функционирование затворов, например: опорные рельсы, устройства для обеспечения водонепроницаемости в местах контакта затвора с быками и порогами, для обогрева этих контактов и др.

Для приведения затворов в движение (подъема, поворота, опускания, вкатывания, перевозки), а также для подъема и установки решеток, очистки их служат механизмы с подвесными тросами, цепями, штангами и т. п. В затворах гидравлического действия механизмы заменяются аппаратом управления затвора, состоящим из водоводов, задвижек, поплавков и пр.

б) Решетки служат для защиты отверстий от попадания в них нежелательных плавающих или перекатываемых водой по дну водотока тел (деревьес, сплавляемого леса, мусора и пр.); применяются преимущественно в глубинных отверстиях водоприемников.

в) Служебные мосты через пролеты отверстий должны обеспечить размещение на них стационарных механизмов и затворов, пропуск передвижных подъемников (кранов) и передвижение различных предметов оборудования, материалов, а также служебного персонала; в некоторых случаях мосты воспринимают на себя часть давления от затворов.

Отдельные элементы оборудования должны быть взаимно увязаны между собой и с конструкцией сооружения так, чтобы была обеспечена надежность и бесперебойность работы отверстий сооружения.

2. Классификация затворов по видам отверстий

В зависимости от рода перекрываемого отверстия затворы делятся на:

а) поверхностные, служащие для закрытия водосливных отверстий; гребень затворов в закрытом положении их выше уровня воды верхнего бьефа;

б) глубинные, служащие для закрытия глубинных отверстий (водоспусков, водозаборов и др.), которые (а следовательно, и верх которых в закрытом их положении) находятся ниже уровня воды верхнего бьефа.

3. Классификация затворов поверхностных (водосливных) отверстий

По характеру работы конструкции и способу передачи давления воды на сооружение затворы делятся на три главные группы:

1) затворы, передающие давление воды на быки и устои и работающие в основном на изгиб, как балки на двух опорах;

2) затворы, передающие давление воды на порог плотины и работающие в основном, как консольные или подкосные конструкции;

3) затворы, передающие давление воды и на порог, и на быки (устои) сооружения.

В каждой группе затворы различаются еще по способу их движения на: 1) поступательно движущиеся; 2) вращающиеся; 3) перекатываемые; 4) свободно плавающие и 5) смешанного движения.

Главнейшие типы затворов показаны на фиг. 16—1 и перечислены ниже.

I. Затворы, передающие давление воды на быки и устои:

1) плоские затворы и шандоры (фиг. 16—1, а, б); движение поступательное;

2) сегментные затворы (фиг. 16—1, в); движение вращательное;

3) вальцовые затворы (фиг. 16—1, з); перекатываемые.

II. Затворы, передающие давление воды на порог сооружения:

4) секторные затворы, вращающиеся на оси, помещенной на пороге со стороны нижнего или верхнего бьефа (фиг. 16—1, д, е);

5) крышевидные затворы (фиг. 16—1, ж), состоящие из двух полотнищ, вращающихся на горизонтальных осях;

6) клапанные затворы, состоящие из одного полотнища, вращающегося на горизонтальной оси (фиг. 16—1, з, и);

7) затворы с поворотными фермами или с поворотными рамами: а) служащими опорами для щитков, слиц, штор (поворотные фермы, фиг. 16—1, к и др.); смешанное движение; б) непосредственно закрывающими отверстие (поворотные рамы, фиг. 16—1, л); вращающиеся;

8) подкосные затворы разборчатые и плавающие (фиг. 16—1, м).

III. Затворы, передающие давление и на порог, и на быки (устои) сооружения:

9) стоечно-плоские (мостовые) затворы с заграждениями спицевыми или щитовыми (фиг. 16—1, н); смешанного движения;

10) клапанные затворы вращающиеся (фиг. 16—1, п);

11) плувчие затворы (фиг. 16—1, р).

Из перечисленных типов затворов наиболее распространены затворы I группы, затем типы 4, 5, 6, 7 и отчасти 9 остальных групп.

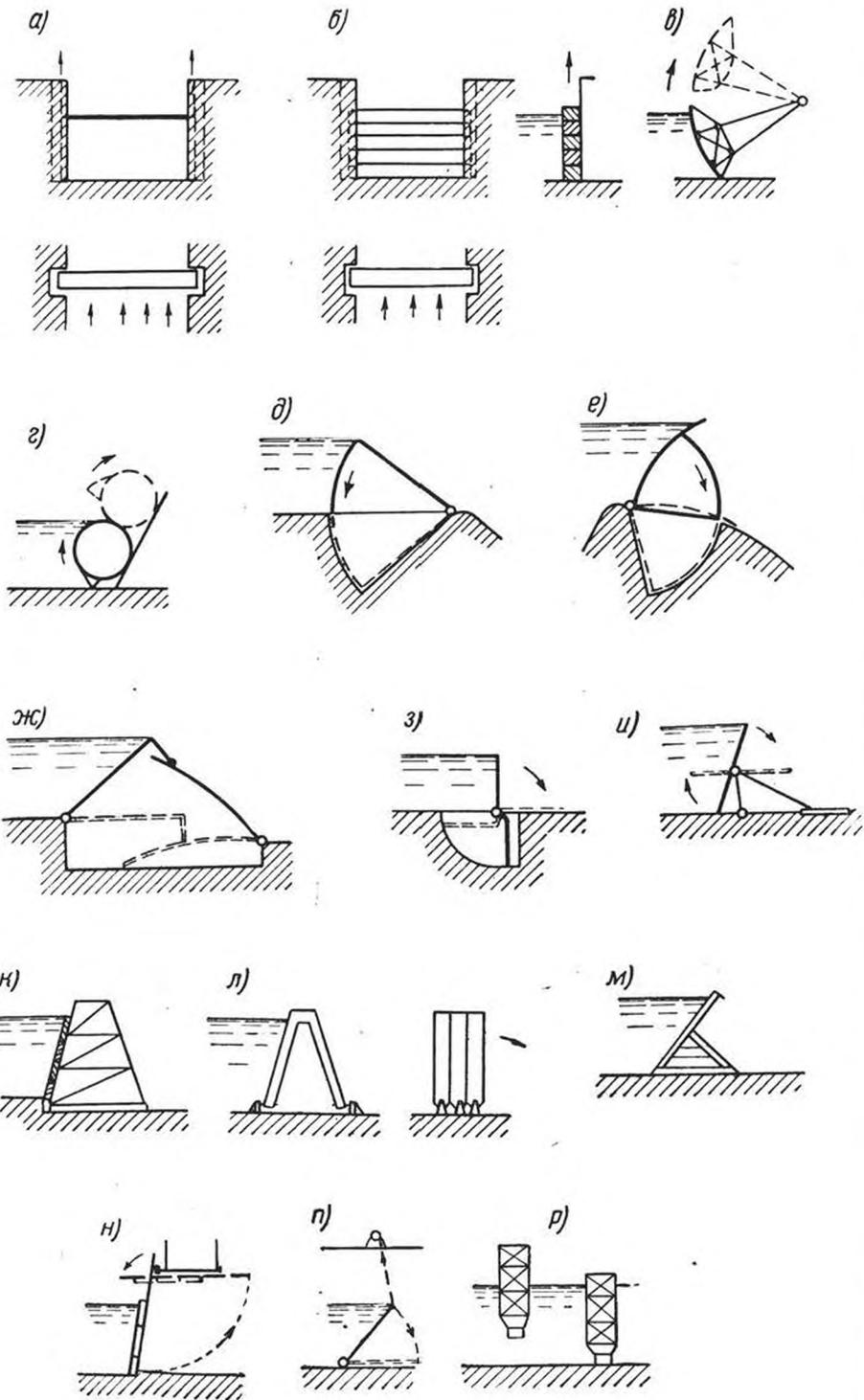
В приведенную классификацию включены лишь главнейшие виды поверхностных затворов, всего же их насчитывается до 90 различных типов.

4. Классификация затворов глубинных отверстий (водоспусков и др.)

Главнейшие типы глубинных затворов следующие:

1) плоские затворы, аналогичные таким же поверхностным затворам (фиг. 16—2, а), и так называемые задвижки (фиг. 16—2, б), располагаемые в трубах и галереях водоспусков; движение поступательное;

2) сегментные затворы (фиг. 16—2, в), аналогичные таким же поверхностным;

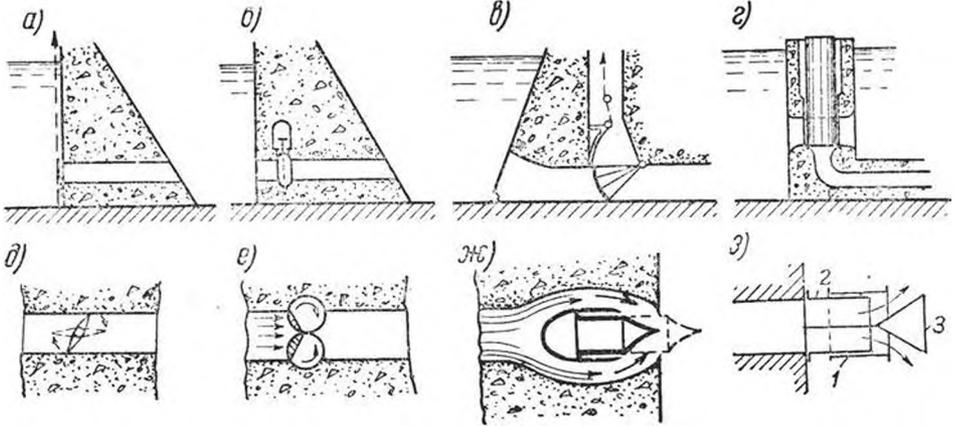


Фиг. 16—1. Типы затворов водосливных отверстий

3) цилиндрические затворы (фиг. 16—2,а), закрывающие отверстия боковой поверхностью или дном цилиндра; движение поступательное;

4) дисковые (дроссельные) затворы (фиг. 16—2,б) в виде диска, вращающегося на вертикальной или горизонтальной оси;

5) шаровые затворы (фиг. 16—2,в) вращающиеся;



Фиг. 16—2. Типы затворов глубоких отверстий

6) игольчатые затворы (фиг. 16—2,ж) с поршнем, выдвигаемым поступательно для закрытия отверстия;

7) телескопические затворы (фиг. 16—2,з) в виде поступательнодвигающегося цилиндра 1, закрывающего отверстие между неподвижными цилиндром 2 и конусом 3.

5. Классификация затворов по применяемым в них материалам

а) Наиболее распространены стальные затворы ввиду высокой прочности материала и возможности перекрывать отверстия значительных размеров; в этих затворах применяется в основном сталь марки Ст. 3 (ОСТ ВКС 7447); применение других сортов стали, а также чугуна имеет место лишь в отдельных частях затворов или в особых случаях вообще; в последнее время начинает внедряться низколегированная сталь.

б) Деревянные затворы применяются для перекрытия отверстий с напорами до 4—5 м и пролетами до 3—4 м, а в последнее время проектируются даже пролетами до 8—10 м. В качестве материала используется главным образом сосна и частично дуб марки 0 и 1. Иногда дерево применяется лишь в качестве обшивки стального остова затвора.

в) Железобетонные затворы имеют очень ограниченное распространение ввиду значительного их веса.

6. Классификация затворов по их назначению

Затворы могут быть использованы в гидротехнических сооружениях в различных условиях. В этом отношении различают:

а) основные (рабочие, эксплуатационные) затворы, используемые при эксплуатации сооружения;

б) ремонтные затворы, используемые для временного закрытия отверстия в случае ремонта основных затворов или для ограждения части сооружения от воды в период ремонта;

в) аварийные затворы, применяемые в случае аварии основного затвора и участка сооружения за ним; отличие этих затворов от ремонтных — необходимость закрытия отверстия при пропуске последним воды; нередко затворы типа «б» и «в» объединяются в один тип — аварийно-ремонтный;

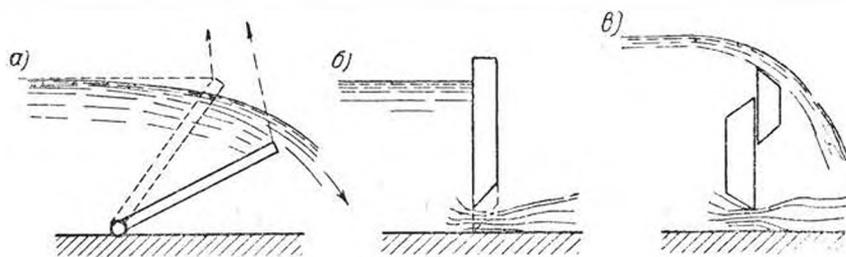
г) строительные затворы, служащие для закрытия отверстий сооружений лишь в период строительства гидроузла или отдельного сооружения.

§ 102. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЗАТВОРОВ

Условия работы затворов плотин определяются: 1) задачами, которые затворы должны выполнять, как-то: пропуск воды, льда, наносов, плавающих тел, 2) воздействиями, оказываемыми на затворы водой, льдом, наносами, 3) конструктивными особенностями самих затворов и сооружения.

1. Пропуск воды

В целях пропуска различных расходов воды через отверстие в соответствии с гидрологическими и водохозяйственными условиями затвор, как правило, должен работать при различной степени его открытия



Фиг. 16—3. Способы пропуска воды при маневрировании затворами

Последнее достигается или опусканием затвора (фиг. 16—3,а), и тогда вода переливается через затвор, или подъемом затвора (фиг. 16—3,б), и тогда вода вытекает через щель из-под затвора.

Затворы первого типа называются *опускными* (например, типы 4, 5, 6 из числа поверхностных), второго — *подъемными* (например, типы 1, 2, 3, 9 из числа поверхностных и типы 1, 2, 3 из числа глубинных затворов).

Подъемные затворы водосливов (типа 1, 2, 3) могут иногда и несколько опускаться, но это усложняет конструкцию.

В целях обеспечения сброса воды и плавающих тел поверху затворов и облегчения маневрирования ими затворы нередко делаются составными, т. е. состоящими из нескольких элементов, самостоятельно приводимых в движение.

Так, например, распространены *сдвоенные затворы* (плоские, сегментные). В этих типах затворов возможен пропуск воды и поверх затвора, и под ним, и одновременно сверху и снизу (фиг. 16—3,в). Имеют также распространение так называемые *клапаны* на подъемных затворах, позволяющие при их открытии пропускать воду и лед поверх затвора (фиг. 17—21).

Регулирование уровня воды верхнего бьефа легче и точнее достигается при переливе воды поверху затворов, т. е. затворами опускными или подъемными, но с клапаном, или сдвоенными; менее точно можно

это сделать подъемными затворами — одиночными и без клапана. Это явствует из того, что при подъеме затвора с напором H на величину h через щель проходит удельный расход, примерно в $\sqrt{H} : \sqrt{h}$ раз больший, чем при переливе воды через опущенный на ту же величину h затвор.

2. Пропуск льда и плавающих тел

Для пропуска льда и отдельных плавающих предметов наиболее приспособлены опускные затворы, толщину перелива воды через которые можно довести по расчету до необходимой величины [формула (8—7)]. Для той же цели могут служить подъемные затворы с клапаном или сдвоенные.

Пропуск льда через водосливные отверстия, перекрываемые подъемными затворами (типы 1—3) или затворами с поворотными фермами, подкосами и стойками (типы 7, 8, 9), может быть произведен только при полном открытии затвора, т. е. связан с выпуском из верхнего бьефа значительных расходов воды, что не всегда допустимо.

Следует, однако, отметить, что отдельные льдины могут проскакивать и под частично поднятым подъемным затвором. Наблюдения показывают, что при некоторой величине открытия отверстия, большей (0,15—0,25) H , льдины могут увлекаться токами воды в отверстие под затвор. Это «подныривание» льдин небезопасно для затвора вследствие возможных ударов и повреждения его, поэтому при эксплуатации подъемных плоских и сегментных затворов приходится ограничивать их работу (§ 46).

Для пропуска судов приспособлены главным образом затворы типов 7 и 9, которые могут перекрывать отверстия значительной ширины, необходимые для прохода судов (80 м и более), обеспечивают необходимые свободные надводные габариты и работают в условиях низких порогов. В связи с этим перечисленные затворы называются иногда еще судоходными. Для пропуска плотов пригодны также затворы типов 4, 5, 6.

3. Пропуск наносов

Для пропуска наносов, влекаемых потоком по дну, лучше приспособлены подъемные затворы, не требующие никаких ниш или углублений в пороге плотины. Опускные затворы могут страдать от попадания наносов в щели между ними и быками и в ниши порога и поэтому вообще предпочтительны для использования их на повышенных порогах плотин, куда влекаемые наносы не попадают.

Наносы, отложившиеся перед затвором, оказывают на него давление, увеличивающее усилие, необходимое для передвижения затвора. В этих случаях предпочтительны затворы, при открытии которых тело затвора отходит от наносных отложений, как это имеет место в вальцовых и в некоторых сегментных затворах.

4. Водонепроницаемость затворов

Во избежание утечки воды из верхнего бьефа затворы должны плотно закрывать отверстия. Неизбежные по условиям работы зазоры в месте прикасания затвора к телу плотины или к смежному затвору должны быть надежно закрыты специальными устройствами, называемыми уплотнениями.

5. Эксплуатационные требования

Основное требование ко всякому затвору — это его готовность к действию в любую минуту, безотказность в работе. Этому могут препятствовать: а) неисправность затвора или его механизма; б) отсутствие энергии для приведения затвора в действие; в) обмерзание затвора зимой; г) завал наносами; д) попадание в отверстие утонувших предметов, не позволяющих закрыть его.

В некоторых случаях важна быстрота движения затвора и автоматичность его действия.

Для обеспечения упомянутого выше основного требования должны быть приняты соответствующие меры при конструировании затворов и в процессе эксплуатации.

а) Затвор следует периодически осматривать и контролировать и при необходимости не откладывая производить нужный ремонт. На период ремонта и осмотра затвора отверстие сооружения надлежит закрывать ремонтными затворами, устанавливаемыми со стороны верхнего и нижнего бьефов или только со стороны верхнего бьефа, если горизонт воды нижнего бьефа ниже порога. В случае такого повреждения затвора, которое не допускает закрытия отверстия, необходимо иметь возможность закрывать отверстие аварийным затвором.

б) На случай отсутствия энергии, приводящей затворы в действие, последние обычно имеют ручной привод, чтобы можно было их открывать и закрывать вручную, хотя и с меньшей скоростью.

В последнее время на крупных сооружениях начинают отказываться от ручного привода, который сильно усложняет конструкцию подъемного механизма, а на практике не используется, поскольку отсутствие энергии на более или менее крупном сооружении может иметь место теперь в исключительных случаях.

в) Против обмерзания затвора и особенно зазоров между ним и плотиной необходимо принимать специальные меры (околку льда, обогрев и пр., см. в § 128). Чем больше зазоров в конструкции затвора, тем менее пригоден он для работы в зимних условиях. Особенно неблагоприятны в этом отношении затворы, состоящие из нескольких или многих подвижных элементов, как, например, типов 7, 9.

г) Там, где есть опасность попадания под затворы утонувших предметов, т. е. главным образом у глубинных затворов, необходимо устраивать решетки перед отверстием для задержания влекомых потоком предметов.

д) Быстрота действия затвора зависит от его конструкции и типа привода; наиболее в этом отношении эффективными являются поверхностные затворы гидравлического действия (типы 4, 5), далее затворы типов 1, 2, 3, 6; медленнее всего открывают и закрывают отверстие затворы типов 7 и 9.

В случае возможности быстрого и внезапного наступления паводков и расположения плотины вдали от населенных мест желательны затворы, быстро действующие и не требующие для обслуживания персонала. Это обеспечивают затворы автоматического действия. Многие из приведенных типов затворов могут быть сделаны автоматическими и прежде всего типы 4, 5, 10, 2, затем 1, 3, 6.

§ 103. СИЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАТВОРЫ

Основные силовые воздействия на затворы создаются теми же факторами, что и аналогичные воздействия на плотины (гл. 5 части I), за некоторыми исключениями и коррективами.

1. Статические нагрузки

Гидростатическое давление воды на затвор является основной и важнейшей нагрузкой и определяется известными способами. Давление наносов, если отложения временно образуются у затвора, определяется аналогично тому, как указано в § 27 части I.

Статическое давление льда на затвор не учитывается, так как в обязательном порядке принимаются меры по поддержанию незамерзающей полосы воды у затвора («майны»), например, околка льда и пр. Учет статического давления льда привел бы к резкому утяжелению затворов.

Вес затворов определяется предварительно по эмпирическим формулам, приводимым ниже в соответствующих местах, а окончательно — по данным спецификации элементов конструкции на основе выполненного проекта.

Роль температурных воздействий освещается ниже при характеристике тех затворов, где эти воздействия имеют существенное значение.

2. Динамические нагрузки

Волновое давление воды пока определяется согласно § 27 части I. Однако последние исследования Московского инженерно-строительного института имени В. В. Куйбышева показывают, что в подходе к затворам происходит преобразование волны водохранилища, изменяющее величину давления, подсчитанную по ГОСТ 3255-46.

Сейсмическое давление воды в соответствующих случаях можно определять по § 28 части I.

Гидродинамическое давление воды, обтекающей затвор, охарактеризовано ниже (см. п. 3).

Динамическое давление льда на затворы не учитывается по тем же соображениям, что и статическое.

Давление ветра имеет место в некоторых случаях, именно когда затвор поднят над водой. Величину удельного давления ветра, направленного нормально поверхности затвора, учитывают по формуле:

$$p_w = kq, \quad (16-1)$$

где q — скоростной напор ветра в кг/м^2 ;

$$q = \frac{v^2}{16} \quad (16-2)$$

(в этой формуле скорость ветра v берется в м/сек , на практике величина q достигает 100 кг/м^2);

k — аэродинамический коэффициент, зависящий от формы затвора и принимаемый для плоских, сегментных и вальцовых с передним козырьком затворов, равным $k = 2$, для вальцовых — без козырьков $k = 1,5$.

3. Гидродинамическое давление и вибрация затворов

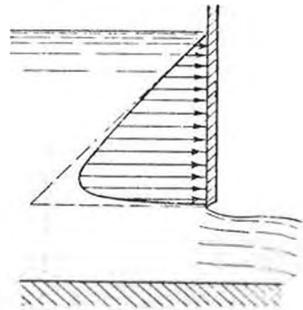
Это давление развивается при частично открытом затворе, обтекаемом водой, и проявляется следующим образом.

а) Давление воды на приоткрытый затвор со стороны верхнего бьефа несколько уменьшается (см. заштрихованную часть эпюры на фиг. 16—4) по сравнению с гидростатическим за счет потерь напора на обтекание затвора. Величина понижения давления для плоских затворов, по опытам проф. Н. К. Гириного, не превосходит 13% при открытии

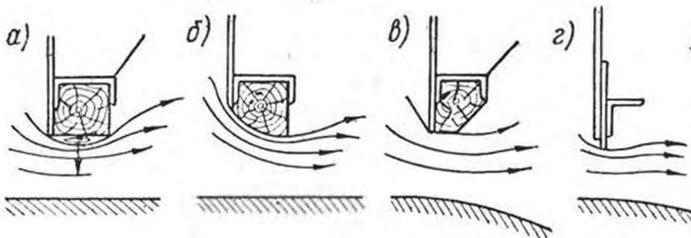
затвора наполовину, а при меньшем открытии она еще меньше. Практически в расчетах можно ориентироваться на гидростатическое давление и динамический эффект в данном случае не учитывать.

б) При протекании воды поверх затвора может образоваться вакуум под струей, что зависит от очертания обтекаемой части затвора. Во избежание вакуума водосливной поверхности затвора или его клапана придается плавное, хорошо обтекаемое очертание. Перелив воды через затвор в ряде случаев вызывает вибрации затвора, процесс образования которой очень сложен и неполностью раскрыт¹.

в) При истечении воды из-под затвора гидродинамические явления наиболее сильны ввиду наличия больших скоростей, особенно в затворах глубинных отверстий, находящихся под значительным напором. Они проявляются: 1) в образовании вакуумов под затвором, а в затворах галерей или труб — за затвором, и 2) в пульсации скоростей и давлений струи и срыве струи, что вызывает вибрацию затворов, более значительную, чем при переливе воды через затвор.



Фиг. 16—4. Давление воды на затвор при истечении воды из-под него



Фиг. 16—5. Характер обтекания потоком нижней кромки затвора при различных типах донного уплотнения

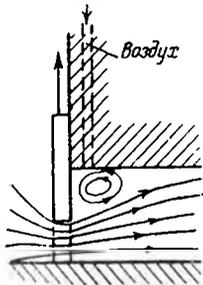
Вакуумы образуются у нижней поверхности затвора, если последняя имеет значительную толщину и необтекаемую форму (фиг. 16—5,а).

Вакуум под затвором создает усилие, как бы присасывающее затвор и увеличивающее сопротивление его подъему. Придание обтекаемой формы нижнему (уплотняющему) брусу затвора (фиг. 16—5,б) уменьшает опасность вакуума, но не ликвидирует ее полностью, так как условия образования вакуума и срыва струи при разной величине открытия затвора различны и невозможно подобрать обтекаемую форму, пригодную для всех режимов работы затвора. Относительно лучшие результаты дает очертание с узкой опорной площадью и скошенной нижней гранью (фиг. 16—5,в), обеспечивающее скорейший отрыв струи от бруса и тем самым уменьшение опасности вакуума. Наиболее тонкой, заостренной нижней кромкой обладает уплотнение в виде стального ножа (фиг. 16—5,г). Порог водослива непосредственно за кромкой затвора должен иметь уклон в сторону нижнего бьефа (фиг. 16—5, в, г), чтобы струя свободно оттекала от затвора.

¹ Л. Ф. Линев и З. Ф. Ничипуренко, Вибрация затворов водосливных отверстий плотин и меры борьбы с ней, «Известия Научно-исследовательского института гидротехники», вып. 31, Л. 1946.

В затворах водоспусков в зону вакуума за затвором (фиг. 16—6) впускается воздух, восстанавливающий там атмосферное давление. При больших напорах затворам придают обтекаемую форму, например, в игольчатых затворах (фиг. 16—2,ж).

Пульсация давления струи под затвором, являющаяся результатом смены давлений при срывах струй и вакуумах, вызывает вынужденные колебания конструктивных элементов затвора или их вибрацию, весьма опасную для некоторых конструкций затворов. При совпадении периодов пульсаций и периодов собственных колебаний конструкций может возникнуть явление резонанса, при котором деформации конструкций получают опасные и разрушающие величины. Частота пульсации зависит от напора и, по некоторым наблюдениям, колеблется в пределах от 3 до 11 гц, т. е. период пульсации равен 0,9—0,33 сек. Наблюдавшиеся амплитуды колебаний частей затворов составляют от 0,01 до 5 мм. Вибрация ощущается и в опорных частях, и в бычках плотины, и даже на расстоянии до 300 м от вибрирующего затвора (при основаниях, легко распространяющих колебания). Мероприятия против вибрации затворов описаны в последующих главах, однако вопрос о вибрации затворов еще недостаточно изучен, и потому к выбору конструкции затвора при больших напорах



Фиг. 16—6. Образование вакуума за затвором глубинного отверстия

надлежит подходить с осторожностью, по возможности проверяя результаты расчетов соответствующими испытаниями.

Гидродинамические нагрузки от воды определяются пока опытным путем — испытанием модели затвора в гидроработории или по аналогии с проведенными испытаниями. Эти нагрузки нельзя оценить каким-либо коэффициентом к гидростатической нагрузке.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ

ЗАТВОРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТВЕРСТИЙ, ПЕРЕДАЮЩИЕ ДАВЛЕНИЕ ВОДЫ НА БЫКИ И УСТОИ

А. ПЛОСКИЕ ЗАТВОРЫ И ШАНДОРЫ

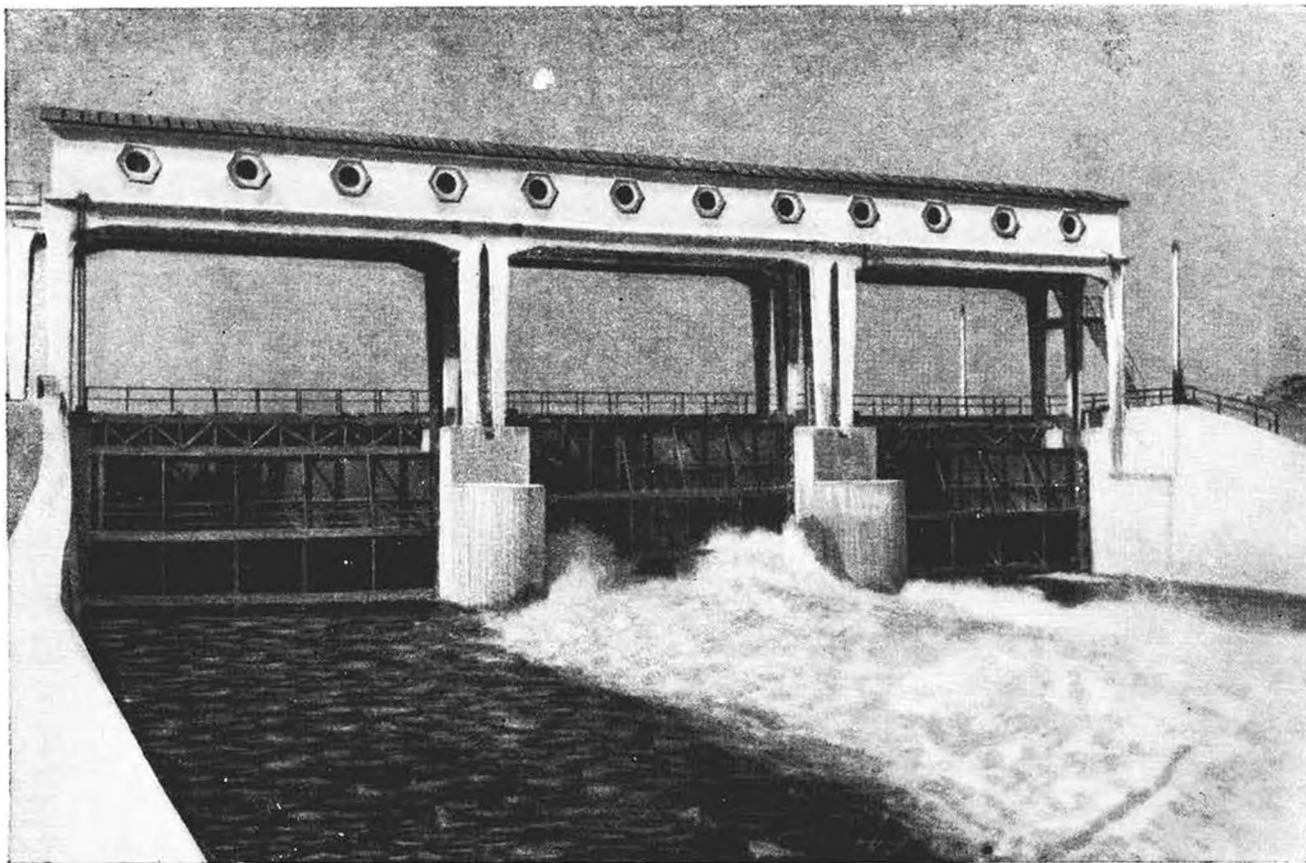
§ 104. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ. СХЕМА ЗАТВОРА

Плоский затвор представляет собой перекрытие водосливного отверстия с плоской (редко лотковой) обшивкой, помещаемое и передвигаемое в вертикальном направлении в пазах быков или устоев, которым передается давление воды, воспринимаемое затвором.

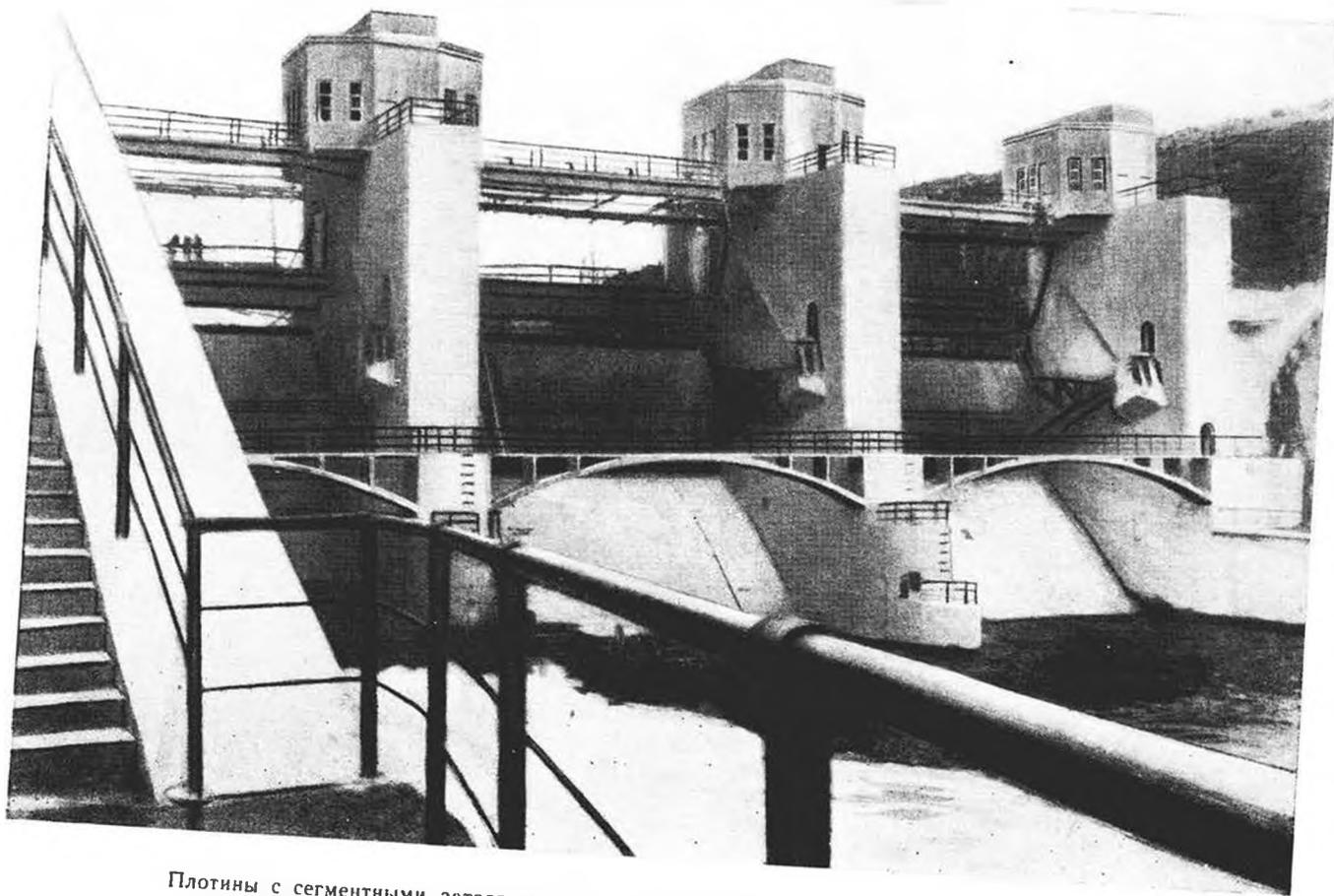
1. Схема затвора

Плоские затворы выполняются из дерева и стали, они являются древнейшей конструкцией затворов.

Стальные затворы представляют собой конструкцию, состоящую обычно из каркаса в виде системы балок, перекрытого обшивкой из листовой стали. Иногда при стальном каркасе применяется деревянная обшивка, но она недостаточно водонепроницаема и нуждается в частом ремонте и замене. Недавно появилась и в виде опыта осуществлена обшивка из «арктилита», представляющего собой прессованную древесину, армированную стальной сеткой.



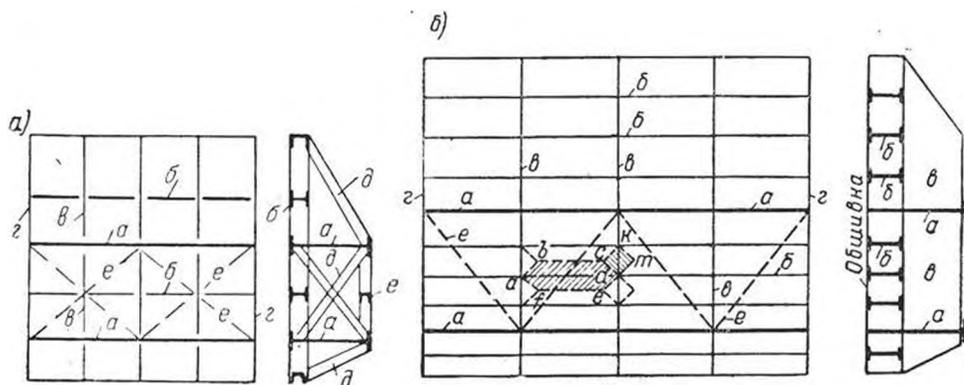
Плотина с плоскими затворами — вид со стороны нижнего бьефа (к стр. 17)



Плотины с сегментными затворами — вид со стороны нижнего бьефа (к стр 48)

Система балок состоит из: 1) горизонтальных балок — главных (несущих), называемых ригелями, *a* (фиг. 17—1), и вспомогательных, или обрешетки, *б*; 2) вертикальных стоек, или диафрагм *в*, из которых крайние носят название опорных стоек *г*.

Различают две системы балок: 1) поперечную (фиг. 17—1,а), когда обрешетки разрезаны у стоек, которым они передают нагрузку; стойки передают свою нагрузку ригелям, от которых давление передается опорным стойкам и опорам; 2) продольную (фиг. 17—1,б), когда обшивка прикрепляется к обрешеткам *б*, которые идут непрерывно от одной опорной стойки до другой, опираясь в пролете на



Фиг. 17—1. Конструктивные схемы плоских затворов

стойки-диафрагмы *в*. Продольная система начинает внедряться в затворостроение лишь в последнее время; ее преимущества перед поперечной системой заключаются в том, что в общем изгибе затвора от гидростатической нагрузки принимает участие обшивка, как несущая часть конструкции, и тем достигается экономия металла.

По числу главных балок — ригелей — затворы бывают многоригельными и двухригельными; схема двухригельного затвора, являющегося в большинстве случаев наиболее экономичным, представлена на фиг. 17—1,а.

2. Опорно-ходовые части

Опорно-ходовые части затвора бывают следующих типов:

а) опорные стойки, передающие давление непосредственно на закладные части — опорные полосы, укрепляемые в пазах быка (устоя); в этом случае при подъеме или опускании затвора в опорных частях возникает трение первого рода, или трение скольжения, почему такие затворы называются скользящими;

б) опорные стойки, передающие давление на колеса, оси которых прикреплены к стойкам или непосредственно к ригелям; при передвижении затвора он катится своими колесами по рельсам, укрепленным в пазах быка; затворы этого типа называются колесными;

в) опорные стойки, передающие давление на катки, соединенные в особую тележку, независимую от затвора; при подъеме или опускании затвора он катится опорными стойками по каткам, а последние — по рельсам в пазах быков (устоев); такие затворы называются катковыми, или затворами с катковыми рамами; ранее они были известны под именем затворов Стоinea — их изобретателя;

г) опорные стойки, передающие давление на ролики, которые могут двигаться по бесконечной «гусеничной» цепи; затворы с такими опорно-ходовыми частями носят название гусеничных; применяются они редко (главным образом в США).

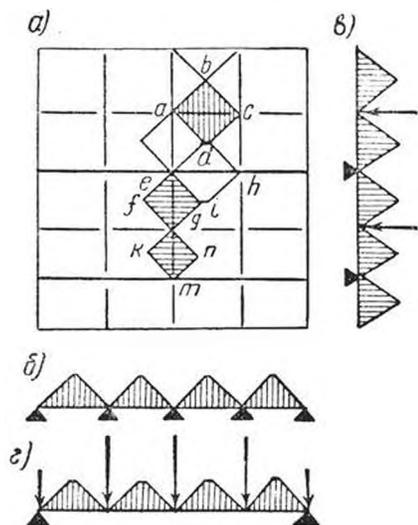
3. Связи

Для придания конструкции затвора необходимой жесткости, если таковая недостаточно обеспечивается обшивкой, устраивают связи—поперечные и продольные. Первые соединяют главные балки (ригели) в вертикальной плоскости, нормальной к обшивке (d на фиг. 17—1,а), ими могут служить и стойки-диафрагмы; вторые располагаются в плоскости, параллельной обшивке, например, e на фиг. 17—1,а, б.

§ 105. РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ ЗАТВОРА

1. Распределение нагрузки на элементы каркаса

Гидростатическое давление на плоский затвор распределяется по горизонтали равномерно, а в вертикальном направлении — по закону треугольника.



Фиг. 17—2. Схема распределения и передачи гидростатической нагрузки на элементы плоского затвора

В пределах одной клетки балочной сети с достаточной для практики точностью нагрузку, передаваемую обшивкой на горизонтальные балки и стойки, можно распределять по закону биссектрисы в предположении равномерного давления по всей площади обшивки в пределах клетки (фиг. 17—2,а). Тогда при поперечной системе обрешетки воспринимают нагрузку с площадок $abcd$ (фиг. 17—2,а) с эпюрой в виде треугольников (или трапеций), имеющих вершину по середине пролета (фиг. 17—2,б).

Стойки между ригелями и стойки консольные (верхняя, нижняя) будут нагружены давлением воды от обшивки соседних полупролетов $efgi$, $gkln$ (фиг. 17—2,а) и реакциями обрешетин. Нагрузка может быть представлена эпюрами фиг. 17—2,в, состоящими из треугольников (или трапеций) давлений от обшивки и

сосредоточенных сил — реакций обрешетин.

Наконец, ригели будут нагружены (фиг. 17—2,г) сосредоточенными силами — реакциями стоек, прикрепляемых к ригелям, и распределенной по треугольнику (или трапеции) нагрузкой от обшивки в пролетах между стойками, например, $edhi$ на фиг. 17—2,а.

В продольной системе (фиг. 17—1,б) обрешетки собирают нагрузку с площади $abcdef$ и передают ее стойкам-диафрагмам, которые нагружаются реакциями обрешетки и небольшой собственной гидростатической нагрузкой в пролетах между обрешетинами $ckmd$. Ригели нагружаются сосредоточенными давлениями от диафрагм и собственной нагрузкой в пролетах между диафрагмами, аналогичной $abcdef$.

По данным А. Р. Березинского [1], эпюры нагрузок, согласно фиг. 17—2,б, г, могут быть заменены для расчета максимальных изгибающих моментов и прогибов эквивалентной им эпюрой равномерно рас-

пределенной нагрузки, причем расхождение в величинах максимальных моментов для четного числа панелей равно нулю, а для нечетного числа панелей не превышает 2%. Обычно элементы балочной сети рассчитываются, как разрезные или консольные балки, но при некоторых конструкциях стойки рассчитываются, как многопролетные неразрезные балки (если, например, стойки лежат на ригелях). При продольной системе обрешетины рассчитываются при общем изгибе затвора совместно с обшивкой и ригелями, входя в расчетные сечения ригелей, но, кроме того, они испытывают поперечный изгиб, как неразрезные многопролетные балки.

В настоящее время в СССР разрабатываются уточненные методы расчета плоских затворов как пространственных систем¹, что должно привести к облегчению затворов и экономии металла при соответственно рациональном конструировании.

2. Расположение ригелей

Расстояние между ригелями водосливных затворов назначается обычно из условия равнонагруженности ригелей; последние в этом случае получают одинаковое сечение.

Положение ригелей по высоте затвора легче всего определять графически путем деления треугольной или трапециoidalной эпюры гидростатической нагрузки на равновеликие площади и расположения осей ригелей в центрах тяжести этих площадей.

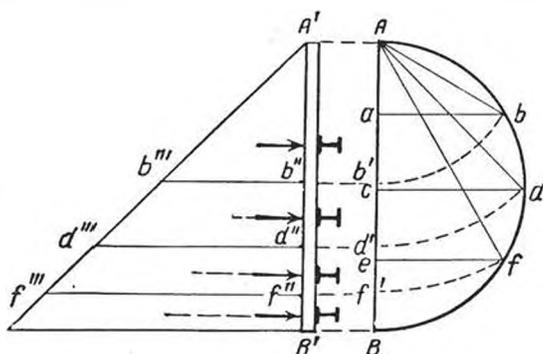
При треугольной нагрузке всю высоту затвора H делят на n равных частей (фиг. 17—3): $Aa=ac=ce=eB=\frac{H}{n}$. Затем из точек a, c, e восстанавливаются нормали к линии AB до пересечения с полуокружностью, очерченной на линии AB как на диаметре. Тогда кривые радиусов $Ab=Ab', Ad=Ad', Af=Af'$ отсекут на линии AB точки b', d', f' ; нормали к линии AB в этих точках разделят треугольную эпюру давления воды на равновеликие площади.

Если ригели расположить на линии центров тяжести равновеликих площадей $A'b''b'''$, $b''b'''d''d'''$ и т. д., то каждый из ригелей будет равно нагружен давлением воды:

$$P = \frac{1}{2} \gamma \frac{H^2}{n} m / \text{пог. м.} \quad (17-1)$$

Размещение ригелей в двухригельном затворе делается аналогичным же образом; но можно делать и проще: найти равнодействующую давления W (как известно, она проходит на $1/3$ высоты треугольника, считая от основания) и затем ригели расположить на равных расстояниях выше и ниже точки приложения равнодействующей.

В теоретически определенное положение ригелей вносят коррективы по соображениям: 1) чтобы нижний ригель располагался от нижнего



Фиг. 17—3. Графический способ размещения ригелей плоских затворов

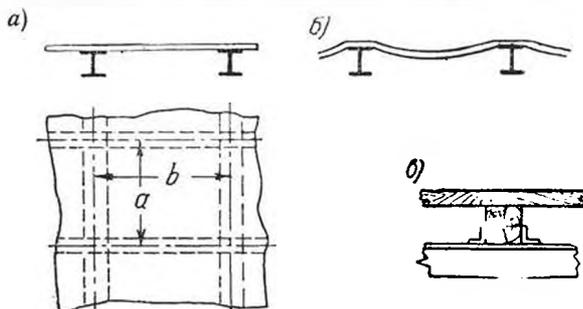
¹ В. И. Петрашень, Гидротехнические затворы с плоской несущей обшивкой, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952; Е. И. Залькиндсон, Е. Е. Нефедов, А. Р. Березинский, Плоские стальные затворы гидротехнических сооружений, Стройиздат, 1951.

края затвора не ближе чем на величину $(0,12-0,18) H$, где H — высота затвора, так как в противном случае более вероятно образование вакуума под затвором; 2) чтобы верхняя консольная часть стойки не превышала по длине величины примерно $0,45 H$, так как иначе консоль может оказаться недостаточно жесткой.

3. Обшивка

В стальных затворах и обшивка чаще всего делается стальной, редко — деревянной.

а) Стальная обшивка выполняется из листовой стали и обычно бывает плоской (фиг. 17—4,а), а иногда цилиндрической (фиг. 17—4,б).



Фиг. 17—4. Типы обшивки плоских затворов

Применение цилиндрической обшивки теоретически дает экономию в металле, так как обшивка получается более тонкой, чем плоская. Но более толстая плоская обшивка придает затвору известную жесткость, которую в случае применения цилиндрической обшивки придется обеспечивать устройством специальных связей. Кроме того, обшивка затворов независимо от расчета вообще не делается тоньше 6—8 мм, хотя по расчету это и допустимо (см. ниже).

Таким образом, в целом по затвору экономии металла от применения цилиндрической обшивки по сравнению с плоской почти не получается, а усложнения конструкции удорожают затвор.

Расчет толщины обшивки производится обычно по формуле¹:

$$\delta = a \sqrt{\frac{\varphi p}{2(1+n^2)[\sigma]}} \quad (17-2)$$

где δ — расчетная толщина обшивки в см;

a — длина короткой стороны балочной клетки;

b — длина длинной стороны балочной клетки (фиг. 17—4, а);

$n = a : b$;

φ — коэффициент, характеризующий заделку обшивки по контуру: для свободно лежащей плиты $\varphi = 1,13$, для плиты, закрепленной по двум сторонам, что может быть характерно для затворов с продольным набором, $\varphi = 1,00$ и для плиты, закрепленной по всему ее контуру, $\varphi = 0,75$ (на практике это делается чаще всего);

p — удельное давление воды в центре балочной клетки в кг/см²;

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение на изгиб для листовой стали в кг/см², определяемое нормами.

¹ Расчеты стальных затворов производят, исходя из метода допускаемых напряжений. Переход на новый расчетный метод — метод предельных состояний — может быть осуществлен только после специальной разработки условий применения его к затворам, имеющим ряд отличий от стальных конструкций промышленных и других сооружений.

Соотношения сторон клеток 1:1—1:2 наиболее целесообразны; в случае же, если соотношение это более 1:3, надо переходить к закреплению обшивки по двум сторонам. При применении продольной системы балок соотношения клеток (панелей) получаются большими, доходя даже до 1:7 и даже 1:10.

Толщина обшивки δ , определенная по формуле (17—2), увеличивается затем на 1 мм в запас на ржавление и округляется до ближайшей толщины листов по ГОСТ. Минимальная толщина обшивки независимо от расчета принимается равной 6—8 мм в целях придания жесткости всей конструкции и во избежание вмятий и других неупругих деформаций при случайных ударах по обшивке.

При изгибе обшивки под действием нагрузки в местах прикрепления ее к балкам появляются силы распора, которые приближенно можно определить по формуле:

$$q = 0,07 \sigma_{\max} \delta \text{ кг/пог. см,} \quad (17-3)$$

где σ_{\max} — наибольшее напряжение изгиба в обшивке толщиной δ .

На распор q рассчитывается прикрепление обшивки к балкам (сварка, заклепки).

б) Деревянная обшивка выполняется из горизонтальных досок или брусьев, прикрепляемых к деревянным стойкам, прибалчиваемым к горизонтальным балкам затвора (фиг. 17—4,в). Стыки между досками (брусьями) конопатят и поверхность обшивки осмаливают для обеспечения ее водонепроницаемости. Несмотря на указанные меры, деревянная обшивка нередко дает течь, и это является ее главным недостатком; другим недостатком является меньшая долговечность обшивки.

4. Конструкции балочной сети

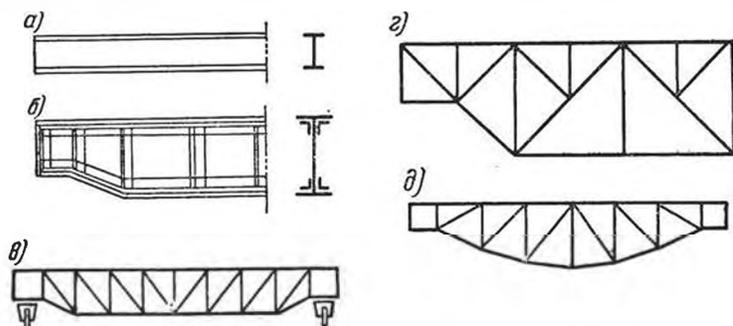
а) Ригели, или главные балки, в зависимости от пролета и нагрузки делаются в виде сплошных балок при небольших напорах и пролетах до 12—15 м или в виде сквозных ферм. В последнее время в связи с применением продольной системы балок и сварки затворов сплошные ригели применяются и для значительных напоров и пролетов (до 30—40 м). Применение сплошных конструкций снижает трудоемкость изготовления и монтажа затворов, повышает долговечность их и пр.

Сплошные балки-ригели при малых пролетах делаются из прокатных швеллеров и двутавров (фиг. 17—5,а), а при больших — составными с приданием обычно двутаврового сечения (фиг. 17—5,б). Наиболее выгоднейшая высота ригеля находится обычно в пределах $1/6—1/9$ пролета для отверстий 6—10 м и в пределах $1/8—1/12$ пролета для отверстий 15—20 м. При этом жесткость EI сечения должна быть такой, чтобы относительный наибольший прогиб балки не превышал $1/750$ пролета для постоянных затворов и $1/500$ для временных затворов.

Сквозные ригели выполняются в виде статически определимых ферм (фиг. 17—5,в, г, д). Высота ферм в середине пролета выбирается в пределах $1/7—1/10$ пролета для ферм с параллельными поясами и $1/6—1/8$ пролета для ферм параболических и полигональных. Делуственный относительный прогиб сквозных ригелей выражается величиной $1/1000$ пролета для постоянно действующих затворов и $1/750$ — для временных.

б) Горизонтальные балки-обрешетки и стойки-диафрагмы конструируются обычно из швеллеров, уголков, а при сварке и из полосовой стали.

в) Связи выполняются или в виде сплошных конструкций — диафрагм, или в виде сквозных ферм из уголков и швеллеров, связывающих стойки затвора и нижние пояса ригелей. Связи рассчитываются в основном на вес затвора и его элементов, в некоторых случаях — на вертикальное давление воды, сопротивление при подъеме и др.

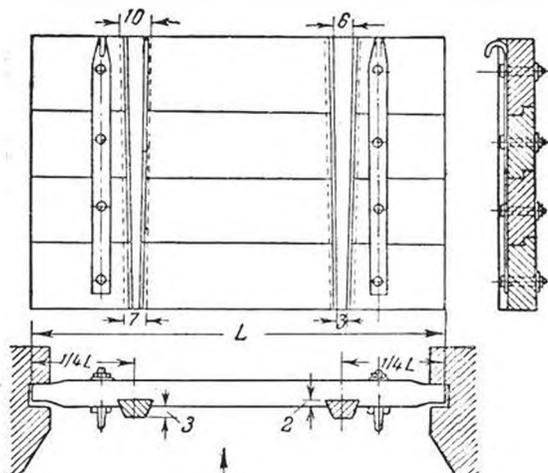


Фиг. 17—5. Типы ригелей плоских затворов

г) Соединения частей затворов в стальных конструкциях ранее делали при помощи заклепок, в новейших затворах перешли на сварку. Сварные затворы, бесспорно, экономичнее клепаных, при этом облегчается их вес, изготовление и монтаж.

5. Деревянные плоские затворы

Деревянные плоские затворы перекрывают обычно отверстия шириной до 1—1,6 м, чаще всего 1—1,2 м, при высоте 0,6—1,2 м и напорах 2—3 м, а иногда и более.



Фиг. 17—6. Деревянный плоский затвор

Доски рассчитываются, как однопролетные балки, свободно лежащие на олорах.

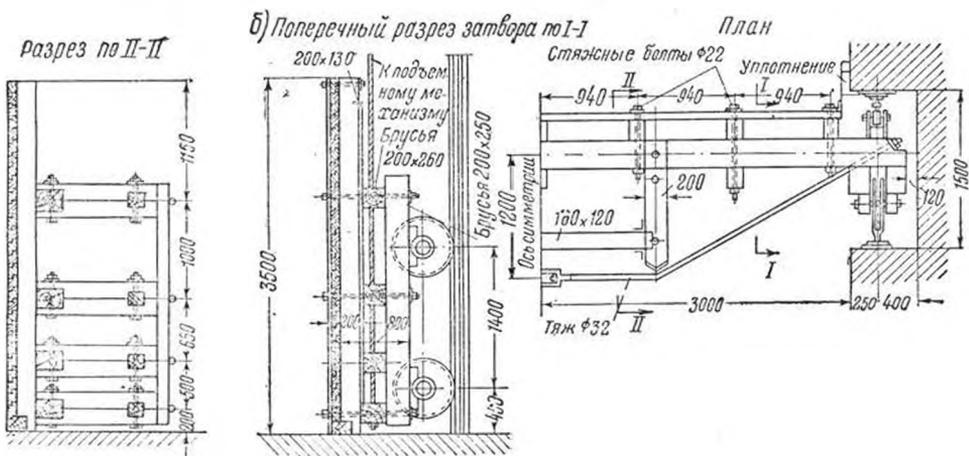
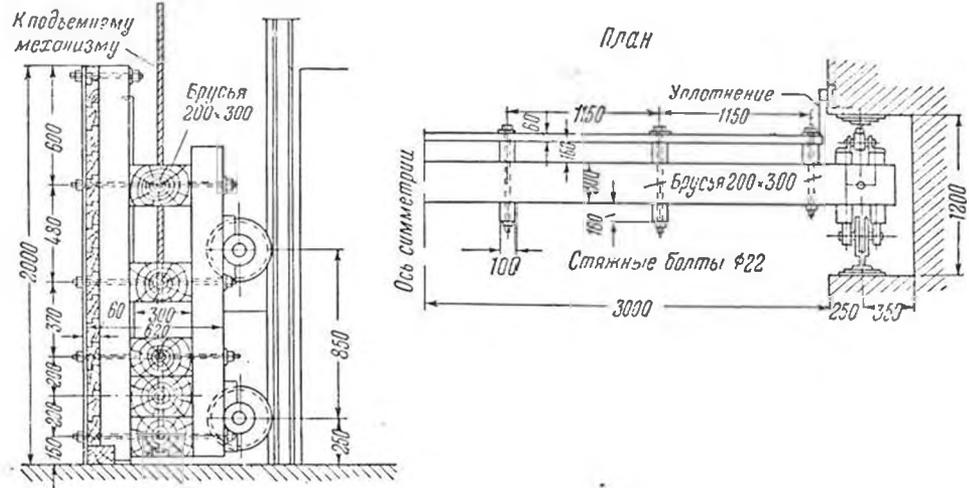
Деревянные плоские затворы могут перекрывать и большие пролеты. На фиг. 17—7 представлены конструкции затвора пролетом 6 м при напоре 2 м (рис. 17—7, а) и 3,5 м (рис. 17—7, б). Несущими частями первого затвора являются брусья 20×30 см, к которым приболчены стойки, а на стойках закреплена обшивка $\delta = 6$ см. Во втором

Такой затвор состоит из досок толщиной 6—10 см, иногда и толще, соединенных между собой вчетверть или вшпунт (фиг. 17—6). Связь между досками осуществляется шпонками из 5-сантиметровых досок или горбылей, врубаемыми с напорной стороны затвора.

Для подъема затвора служат крючья из полосовой стали (обычно 8×50 мм), приболченной к доскам затвора. При повышенных напорах концы затвора оковывают также полосовой сталью или уголком.

затворе несущие брусья 20×26 см усилены четырьмя стальными тяжами, образующими с брусчатыми парными упорами шпренгельную систему и воспринимающими растягивающие усилия.

а) Поперечный разрез затвора



Фиг. 17—7. Деревянные плоские затворы пролетом 6 м
а — при напоре 2 м; б — при напоре 3,5 м

6. Вес затворов

Собственный вес плоских металлических затворов можно предварительно определять лишь по эмпирическим формулам, базирующимся на опыте проектирования и изготовления затворов. Такой формулой является, например, формула А. Р. Березинского, по которой

$$G = 0,055 F \sqrt{F} \text{ т,} \quad (17-4)$$

где F — площадь перекрываемого затвором отверстия в свету в м².

Формула Березинского была предложена в 1936 г.

В 1952 г. инж. А. П. Цветковым¹ предложена новая формула для расчета веса одиночных плоских сварных затворов со сплошными ригелями (при $[\sigma] = 1400 \text{ кг/см}^2$ и напоре над порогом $H < 25 \text{ м}$):

$$g = Al \sqrt[3]{H_0 l^2} \text{ кг/м}^2, \quad (17-5)$$

где H_0 — напор над центром отверстия;

l — пролет отверстия в свету;

A — коэффициент, учитывающий конструктивные условия затвора и изменяющийся в зависимости от значения $H_0 l^2$.

В дальнейшем эта формула в соответствии с предложением д-ра техн. наук П. П. Лаупмана² заменена для диапазона $100 < H_0 l^2 < 2500$ более простой:

для поверхностных колесных затворов

$$g = 64 \left(\sqrt[3]{H_0 l^2} - 1 \right), \quad (17-5')$$

но не менее 240 и не более 800 кг/м²;

для поверхностных скользящих

$$g = 60 \left(\sqrt[3]{H_0 l^2} - 1,4 \right), \quad (17-5'')$$

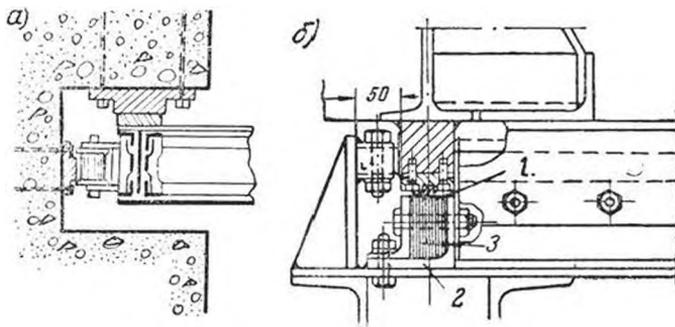
но не менее 190 и не более 700 кг/м².

Точный вес затвора, как стального, так и деревянного, определяется лишь по проекту согласно спецификации.

§ 106. ОПОРНЫЕ И ЗАКЛАДНЫЕ ЧАСТИ ЗАТВОРОВ. УСИЛИЯ ДЛЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ЗАТВОРА В ПАЗАХ

1. Скользящие затворы

В стальных затворах давление воды передается ригелями опорным стойкам, которые через прикрепленные к ним стальные или бронзовые полосы передают давление закладным частям — таким же полосам



Фиг. 17—8. Схема пазовых устройств скользящего затвора

a — скольжение металла по металлу; *b* — скольжение лигнофенолового полза 3 в кассете 2 по стальной полосе 1

или рельсам, укрепленным в пазах быка или устоя (фиг. 17—8, *a*). В деревянных затворах опорные поверхности по краям затвора или ничем не обделываются, или обшиваются полосой стали.

¹ А. П. Цветков, Формула для предварительного определения веса плоских затворов, журнал «Гидротехническое строительство» № 1, 1952.

² См. журнал «Гидротехническое строительство» № 8, 1952 и № 9, 1953.

При движении затвора, находящегося под давлением воды W , возникает сила трения, сопротивляющаяся движению затвора:

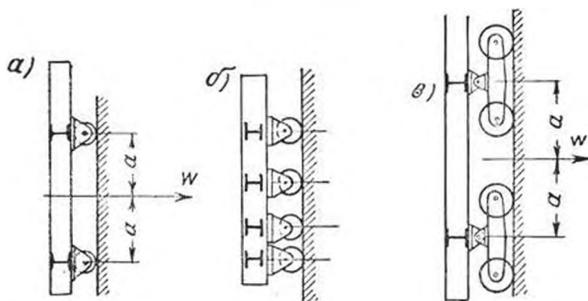
$$T = fW, \quad (17-6)$$

где f — коэффициент трения первого рода (скольжения), значение которого колеблется от 0,30 для стали по бронзе до 0,70 для дерева по дереву поперек волокон в присутствии воды.

В 1951 г. в порядке опытной проверки на одном из шлюзов канала имени Москвы было применено новое ходовое устройство для скользящих затворов в виде сплошного полоза на опорных диафрагмах затвора из ламинарированной древесины (лигнофоль) 3 (фиг. 17—8,б) шириной 4 см, зажатой в особой кассете 2. Лигнофольевый полоз скользит по полосе 1 шириной 1 см, укрепленной на рельсе в пазу затвора. При передаче давления примерно 110 кг/см^2 коэффициент трения между лигнофолем и сталью оказался всего 0,09. Это открывает большие возможности для расширения области применения скользящих затворов.

2. Колесные затворы

В колесных затворах давление воды от ригелей передается обычно колесам, укрепленным на концах ригелей. В двухригельном затворе, таким образом, необходимы четыре колеса (фиг. 17—9,а), в многори-



Фиг. 17—9. Схемы расположения колес плоских затворов

гельном затворе число колес равно удвоенному числу ригелей (фиг. 17—9,б). В затворах больших пролетов в целях уменьшения нагрузок на колесо (предельное давление на колесо в практике 100—120 т) число колес удваивается, причем передача давления от ригеля на каждой опоре происходит при помощи шарнира, укрепляемого на тележке из двух колес (фиг. 17—9,в).

Размеры колеса определяют, исходя из усилия, передаваемого на него $P = \frac{W}{n}$, где W — полное давление воды на затвор, n — число колес. Расчет диаметра колеса при ширине диска b ведется обычно по допустимому напряжению при сжатии (раздроблении) по диаметральному сечению колеса $[\sigma_1]$; величина $[\sigma_2]$ в зависимости от сорта стали колеблется от 55 до 75 кг/см^2 .

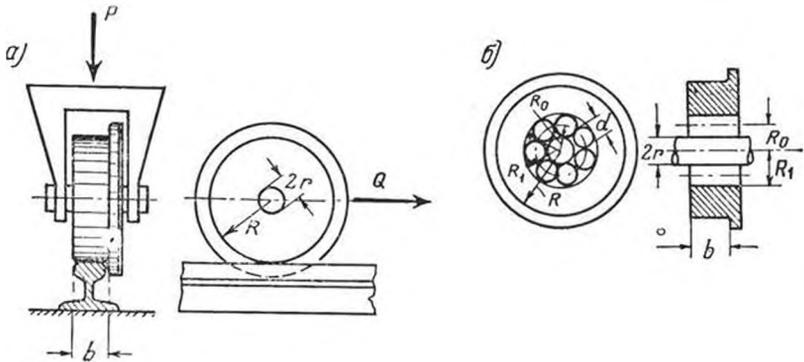
Исходя из сказанного:

$$P = 2Rb [\tau_p]$$

или

$$R = \frac{P}{2b [\tau_p]} \quad (17-7)$$

Ширина диска колеса b (фиг. 17—10,а) обычно находится в пределах 8—15 см, а диаметры колес — в пределах 0,3—1 м.



Фиг. 17—10. Схема к расчету
а — колесных опор; б — роликовых колес

Спротивление движению колесного затвора складывается из трения скольжения между осью диаметром $2r$ и втулкой колеса и трения качения колеса по рельсу. Усилие Q , сдвигающее колесо и равное полному сопротивлению трения T_0 , определяется из уравнения моментов:

$$QR = T_0 R = fPr + f_1 P$$

или

$$T_0 = \frac{P}{R} (fr + f_1), \quad (17-8)$$

где f_1 — коэффициент (плечо) трения качения, равный 0,05—0,1.

Для всего затвора, имеющего n колес, полное усилие для преодоления трения будет равно:

$$T = nT_0 = \frac{W}{R} (fr + f_1), \quad (17-8')$$

где W — полное давление воды на затвор.

Сравнивая величину T по формуле (17—8') с величиной T для скользящего затвора [формула (17—6)], видим, что в колесном затворе сопротивление движению от трения меньше в $f: \frac{fr + f_1}{R} = \frac{R}{\left(r + \frac{f_1}{f}\right)}$

раз, практически в 5—7 раз и более. В этом основное преимущество колесного затвора, так как трение в опорных частях является главным сопротивлением (кроме веса затвора), которое приходится преодолевать при подъеме и опускании затворов.

Однако при устройстве лигнофолевых полозьев сопротивление трения скользящих затворов будет мало отличаться от того же сопротивления обычных колесных затворов.

Применение древесных пластинок (лигностона) для подшипников колесных затворов, как это сделано на канале имени Москвы¹, снижает сопротивление трения у таких колесных затворов против сопротивления трения у обычных колесных примерно в 3 раза, а у скользящих—в 15—20 раз.

Сопротивление трения может быть еще снижено применением роликовых колес, в которых совершенно исключено трение скольжения (фиг. 17—10,б). Если d — диаметр роликов, R_1 — радиус внутреннего обода колеса, то уравнение моментов для вращения колеса будет:

$$T_0 R = P \frac{R_1}{d} f_1 + P f_1,$$

где первый член правой части равенства выражает момент трения качения роликов, а второй— собственно колеса. Из этого уравнения следует, что

$$T_0 = \frac{P}{R} \left(\frac{R_1}{d} f_1 + f_1 \right) = f_1 \frac{P}{R} \left(\frac{R_1}{d} + 1 \right), \quad (17-9)$$

а для всего затвора

$$T = f_1 \frac{W}{R} \left(\frac{R_1}{d} + 1 \right). \quad (17-9')$$

По сравнению с величиной T для обычного скользящего затвора [формула (17—6)] T уменьшается примерно в 20—50 раз. Однако роликовые колеса не получили большого распространения из-за большой сложности конструкции и возможности засорения поверхностей роликов наносами и ржавления их, в результате чего трение в колесах существенно возрастает.

3. Катковые затворы

В этой системе давление от затвора передается через опорные стойки на катки (ролики), соединенные в особую раму (фиг. 17—11).

Размеры катков определяются по формуле (17—7). При этом диаметр их (фиг. 17—11) выбирается в пределах $2R=20-30$ см, а ширина b — от 20 до 50 см; нагрузка на отдельный каток может достигать 15—25 т. В соответствии с последними цифрами выбирают число катков, распределяемых в раме по принципу равнонагруженности (§ 105, п. 2).

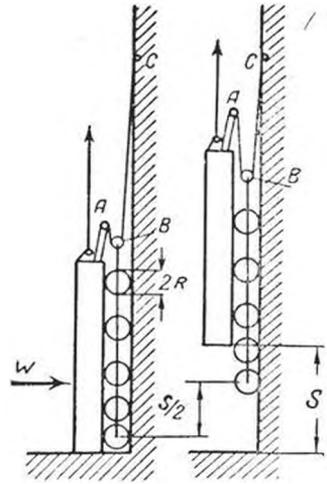
Сопротивление движению катков сводится к трению качения опорных стоек по каткам и катков по опорным рельсам в пазах быков. В соответствии с этим момент усилия, которое надо преодолеть при подвижке затвора, будет равен:

$$T_0 \cdot 2R = P \cdot 2f_1 \quad \text{или} \quad T \cdot 2R = W \cdot 2f_1,$$

откуда

$$T = f_1 \frac{W}{R}. \quad (17-10)$$

По сравнению с трением в скользящем затворе здесь величина T теоретически в $f: \frac{f_1}{R}$ раз меньше, т. е. примерно в 50—100 раз. Но



Фиг. 17—11. Схема каткового затвора

¹ Опыт эксплуатации канала Москва-Волга, вып. 1, Энергоиздат, 1945.

практически величина T всегда больше расчетной ввиду перенапряжения катков и смятия их, потери ими в связи с этим точной круговой формы сечения, ржавления и пр. В американской практике определяют величину T по простой формуле:

$$T = 0,1 W, \quad (17-11)$$

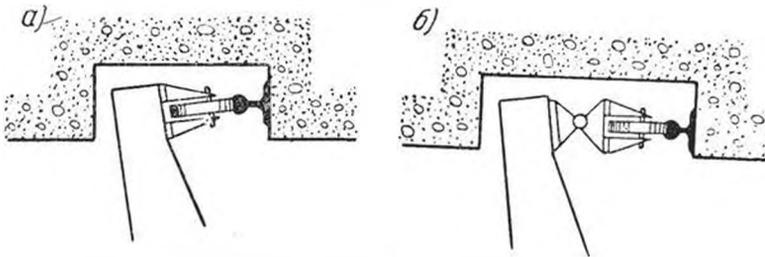
в этом случае катковые затворы мало отличаются от колесных в отношении сопротивления их подъему.

Следует еще отметить, что при подъеме катковый затвор проходит путь, в 2 раза больший, чем катковая рама (фиг. 17—11), которая подвешена к затвору в точке A на цепи или тросе, огибающем ролик B , а к быку (устою) в точке C . В связи с этим при открытии затвора часть катковой рамы остается в пазах отверстия не прижатой затвором и подвергается засорению влекомыми потоком наносами, мусором и пр. и зимой обмерзает.

В силу указанных выше причин в последнее время катковые затворы вытесняются колесными, которые конструктивно проще и надежнее.

4. Детали опорных устройств

Соединение ригеля или опорной стойки с колесами производится обычно посредством шарниров, предотвращающих перенапряжения на краях колеса или катков, получающиеся в результате изгиба ригеля и



Фиг. 17—12. Шарнирная передача давления на колеса

поворота опорной стойки (фиг. 17—12,а). Применение шарнира (фиг. 17—12,б) исключает указанные перенапряжения. Диаметр шарнира d при длине его l рассчитывается по формуле, аналогичной формуле (17—6):

$$d = \frac{2\alpha P}{l[\sigma_0]}, \quad (17-12)$$

где α — коэффициент, зависящий от угла ψ охвата шарнира;

при $\psi = 120^\circ$

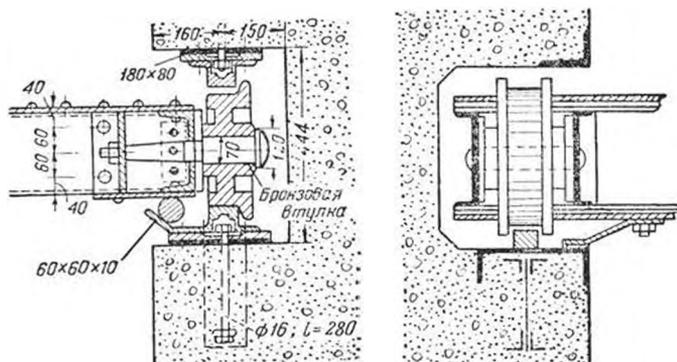
$$\alpha = 0,676,$$

при $\psi = 180^\circ$

$$\alpha = 0,637,$$

В малых затворах колеса укрепляются иногда так, что оси их размещаются внутри опорной балки, иногда на консолях (фиг. 17—13), и тем самым уменьшается размер паза.

Рельсы для колес и катков, в зависимости от ширины последних, имеют сечения либо железнодорожных профилей, либо специальные литые или сварные. Рельсы укрепляются непосредственно на бетоне пазов, если напряжения под ними (считая длину рельса, на которую распространяется давление от колеса, равной двойной высоте рельса) не



Фиг. 17—13. Устройство колес малых затворов

превосходят допускаемого при сжатии бетона. В противном случае рельс ставят на специальную плиту или балку, распределяющую давление от колеса на большую площадь.

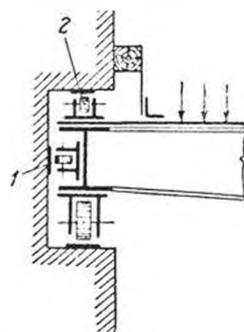
5. Направляющие ролики, или обратные и боковые колеса

Эти ролики (фиг. 17—14) ставятся: 1) на торцах затвора 1 по крайней мере по два с каждой стороны для воспрепятствования его «заеданию» при перекосах, иногда случающихся во время его движения, или сходу колес с рельсов; 2) на напорной стороне опорных стоек 2 — тоже по два во избежание отхода колес затвора от рельсов, например, в верхнем положении, от ветра. Для движения роликов в пазах закладываются рельсы или металлические полосы.

При устройстве скользящих затворов с ползьями из лигнофоля направляющие ролики могут быть заменены боковыми короткими брусками из лигнофоля, укрепленными на особых кронштейнах затвора по боковым граням ходового рельса.

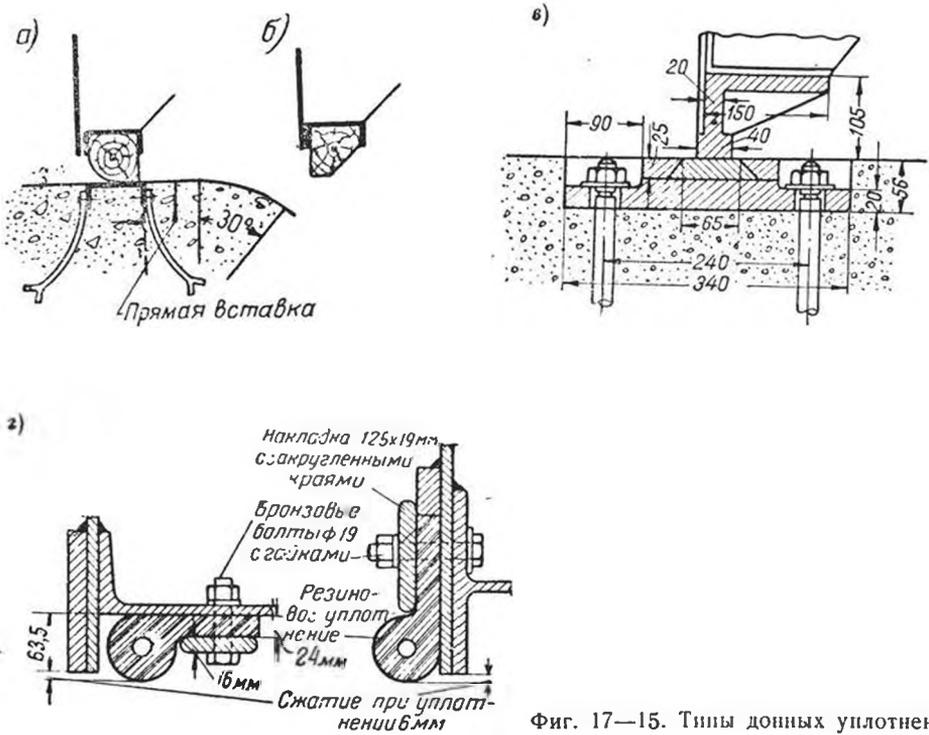
6. Уплотняющие устройства

а) Донное уплотнение устраивается чаще всего в виде деревянного бруса обтекаемой формы (фиг. 17—15,а) или заостренной, скошенной (фиг. 17—15,б). Из условий избежания вибраций затвора (§ 103, п. 3) тип бруса а применяется, когда затвору приходится работать главным образом с малой степенью открытия, тип б — когда затвор работает при всяких степенях открытия. На пороге для выравнивания его укладывается стальная полоса — плоская или в виде швеллера (фиг. 17—15,а), укрепляемая в бетоне при помощи анкеров.



Фиг. 17—14. Направляющие ролики в пазах

Во избежание вибрации затвора порог за уплотнением следует понижать; при типе «а» понижение надо делать после небольшой прямой вставки (фиг. 17—15,а), а при типе «б» — без такой вставки. Деревянный брус — один из лучших типов уплотнения, недостаток его —



Фиг. 17—15. Типы донных уплотнений

возможность местных вакуумов и присасывания, увеличивающего подъемное усилие, и истирание наносами. Впрочем, замена бруса новым при повреждении его не представляет трудностей; иногда к деревянному брусу присоединяют резиновый жгут.

Применяют еще «ножевое» уплотнение в виде стальной отливки или листа (фиг. 17—15,в), упирающегося в полосу мягкого металла, заделанную в отливку, заанкерованную в бетоне порога. В отношении образования вакуума под затвором и вибраций последнего этот тип уплотнения один из лучших, но плотность прижатия и водонепроницаемость со временем уменьшаются.

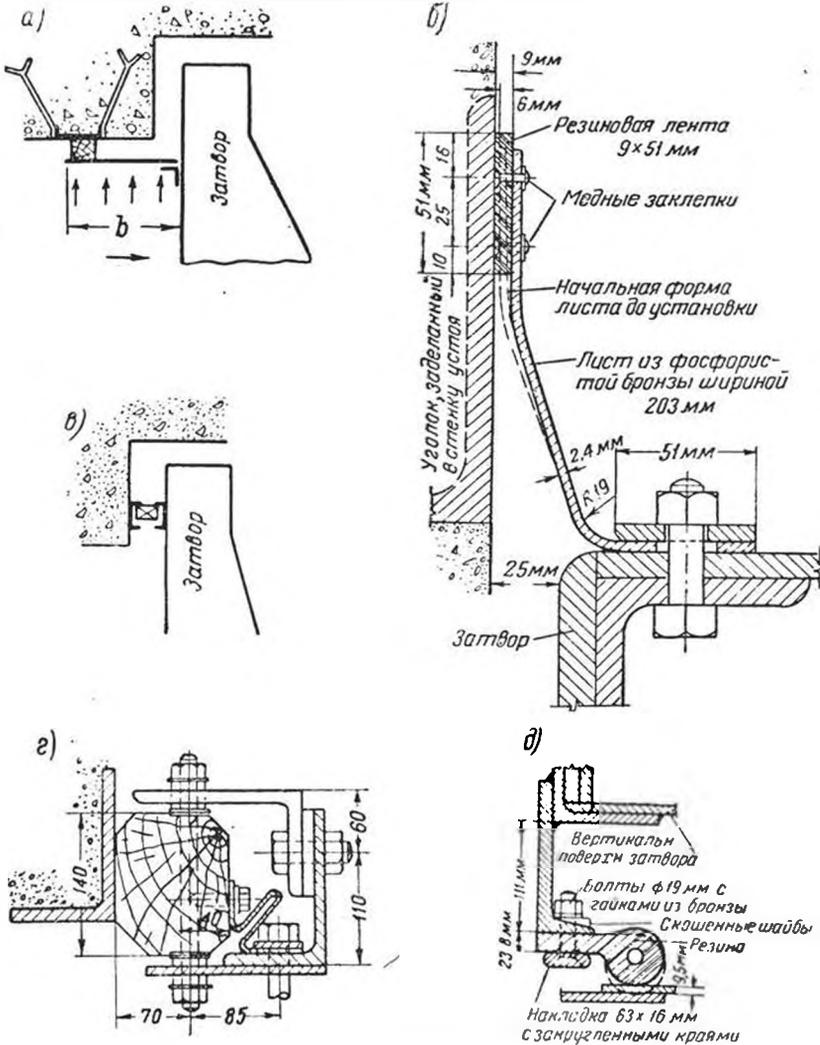
В последнее время с успехом начинает применяться уплотнение в виде листа специальной резины, зажатого в нижнем крае затвора (фиг. 17—15, г) бронзовыми болтами, позволяющими сменить резину в случае ее износа.

б) Боковые уплотнения. Весьма распространено так называемое листовое уплотнение (фиг. 17—16,а), состоящее из гибкого стального листа толщиной 2—5 мм, укрепленного на напорной грани затвора и имеющего на конце деревянный брус; последний давлением воды верхнего бьефа прижимается к поверхности быка (устоя), в который заанкерывается стальная полоса. Деревянный брус может быть снабжен резиновым жгутом или вообще заменен резиновым уплотнением (фиг. 17—16,б).

Боковое уплотнение создает дополнительное сопротивление движению затвора вследствие трения между бруском (резиной) и быком. Величина этого сопротивления для всего затвора равна:

$$T_y = fW_y b = 0,5 f \gamma H^2 b, \quad (17-13)$$

где b — ширина листа уплотнения (фиг. 17—16,а).



Фиг. 17—16. Типы боковых уплотнений

Из других типов уплотнений надо отметить уплотнение в виде деревянного бруса (фиг. 17—16,а), заключенного между швеллерами, прикрепленными к затвору и стенке паза; это уплотнение заменяет одновременно направляющие ролики с напорной стороны затвора. Аналогичное уплотнение, но не в пазу, а с лицевой стороны быка, может быть выполнено в виде деревянного бруса, прижимаемого пружиной (фиг. 17—16,г, применено на Перервинской плотине). Деревянный брус в последнее время начинает вытесняться хорошо зарекомендовавшей себя в эксплуатации резиной, по типу, аналогичному донному

резиновому уплотнению (фиг. 17—16,з). В небольших затворах уплотнение делается листами кожи, плотного брезента, закрепленными на затворе и прижимаемыми водой к быку (устою).

Скользящие затворы не требуют особых боковых уплотнений, так как прижатие ходовых полос опорных частей обеспечивает необходимую водонепроницаемость.

7. Усилие для подъема и опускания затворов

Для подъема затвора необходимо преодолеть: 1) вес затвора G , 2) силу трения в опорных частях T и в уплотненных T_y и 3) прочие сопротивления движению затвора, проявляющиеся в результате гидродинамических явлений, примерзания затвора к быкам и порогу, намерзания льда на обшивку, давления наносов, отложившихся у затвора, и т. п.

Вес затвора определяется по формулам (17—4), (17—5) или по спецификации, трение T и T_y — по формулам, приведенным выше, в зависимости от конструкции затвора, а прочие сопротивления учитываются коэффициентом запаса $K = 1,25$ — $1,50$.

Если учесть облегчающее действие давления воды снизу на затвор (выпор) W_n и вес $G_{пр}$ противовеса, который иногда применяется, то усилие для подъема затвора будет равно:

$$S = K(G + T + T_y - W_n - G_{пр}). \quad (17-14)$$

Величину W_n следует считать, как давление столба воды на донное уплотнение (величина W_n , правда, недостаточно определенная и ее можно в запас не учитывать). Противовесы в настоящее время применяются редко ввиду неэкономичности их, усложнения конструкции затвора и пр.; в этих случаях сила $G_{пр}$ не учитывается.

Усилие для опускания (посадки) затвора должно быть равно

$$S' = K'(T + T_y + W_n + G_{пр} - G), \quad (17-15)$$

где K' — коэффициент запаса.

Если $G > T + T_y + W_n + G_{пр}$, усилие S' отрицательно, т. е. затвор опускается сам. В противном случае требуется принудительная посадка его; чаще всего это бывает необходимо в деревянных затворах и вообще в скользящих затворах.

Максимальные значения S и S' получаются для самого нижнего положения затвора, когда он почти достиг порога.

§ 107. ПЛОСКИЕ ЗАТВОРЫ СДВОЕННЫЕ И С КЛАПАНАМИ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ЗАТВОРОВ

1. Недостатки обычных плоских затворов

Плоские подъемные одиночные затворы обладают серьезными недостатками:

1) они не позволяют сбрасывать лед и другие плавающие тела иначе, как только после полного поднятия затвора, что связано с излишним расходом воды;

2) не допускают сброса воды поверх затвора, что уменьшает точность регулирования уровня верхнего бьефа;

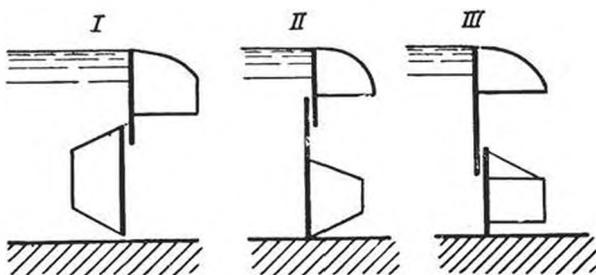
3) при значительных высоте и пролете затвора подъемное усилие оказывается весьма большим, что утяжеляет и усложняет механизмы и осложняет маневрирование затвором;

4) требуется большая высота быков (не менее $2,2H$, где H — высота затвора) или специальных колонн для возможности полного подъема затвора стационарными механизмами, установленными на быках.

Указанные недостатки могут быть избегнуты или смягчены устройством затворов опускающих, сдвоенных и с клапанами. Наибольшее распространение получили последние два типа затворов, опускающие же не привились. Это объясняется трудностью устройства в низком пороге плотины ниши для опускания затвора, неудовлетворительностью уплотнения по порогу, особенно при наличии большого количества наносов в реке, и ухудшением гидравлических качеств водосливного порога с нишей.

2. Сдвоенные затворы

Эти затворы состоят из двух частей: верхней водосливной, которая может опускаться ниже горизонта верхнего бьефа, и нижней, способ-



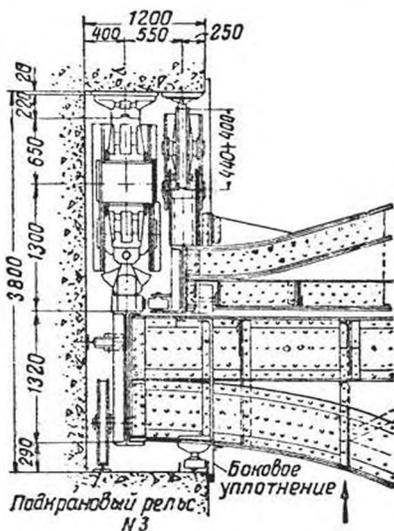
Фиг. 17—17. Типы сдвоенных плоских затворов

ной подниматься независимо от верхней. Современные сдвоенные затворы бывают следующих трех типов (фиг. 17—17):

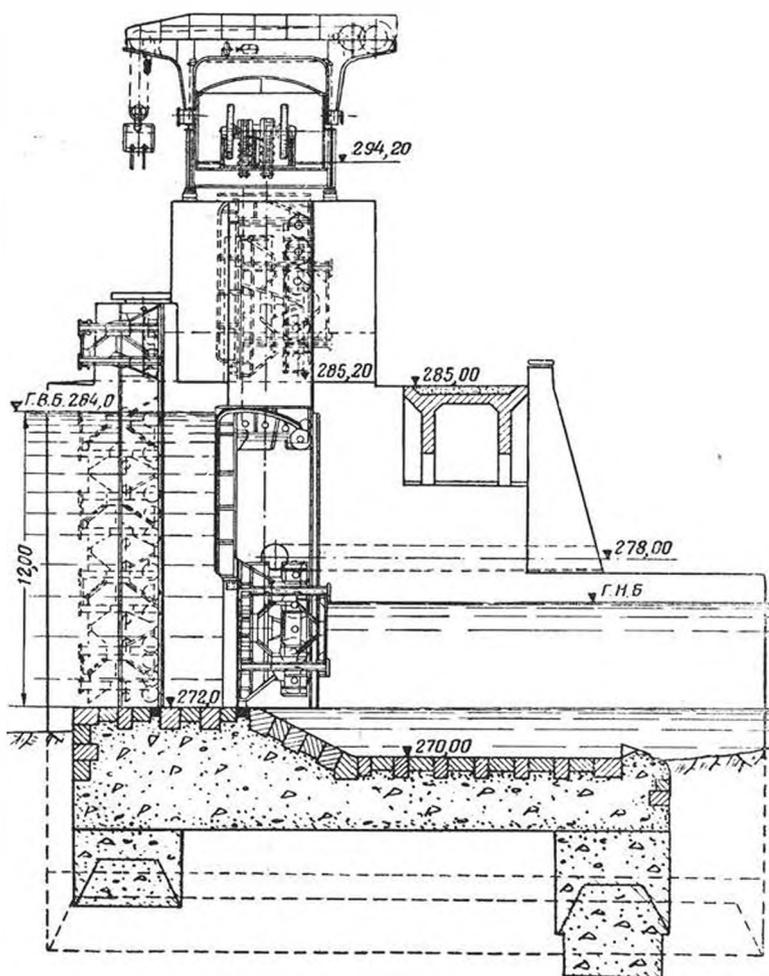
I — обе части затвора могут перемещаться совершенно независимо одна от другой, по разным рельсам (фиг. 17—18); расположение обшивки нижней части — со стороны нижнего бьефа; затруднения в подъеме нижней части затвора при забивке ее балочной сети льдом, карчами и пр. и вибрации его составляют основные недостатки данного типа сдвоенного затвора;

II — нижняя часть затвора этого типа устраивается консольной, и диапазон движения обеих частей по отношению друг к другу ограничен высотой этой консоли, поэтому они поднимаются этапами друг за другом, рельсовый путь — один для обеих частей;

III — этот тип отличается от предыдущего тем, что консоль устраивается у верхней части, причем в новейших конструкциях низ консоли опирается при помощи роликов на нижнюю часть (фиг. 17—19). Это дает возможность увеличить диапазон опускания верхней части затвора до 0,4 общей высоты затвора, поэтому тип III совершеннее типа II.



Фиг. 17—18. Опорные части сдвоенного плоского затвора



Фиг. 17—19. Сдвоенный крючкообразный затвор плотины Рибург-Швёрштадт (тип III)

Глубина опускания верхней части затвора должна быть не менее 1,5—2 м для возможности сброса льда. Форма водосливной поверхности этой части делается обтекаемой, безвакуумной, что уменьшает опасность вибрации затвора.

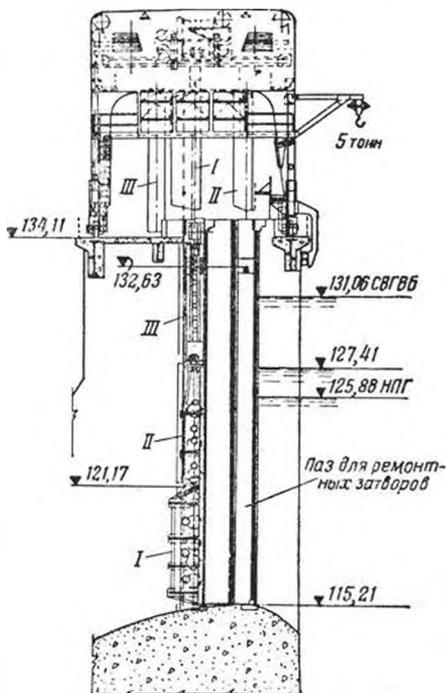
Недостатками сдвоенных затворов по сравнению с одиночными является некоторое удорожание (на 10—20%), увеличение веса металла (на 15—20%), большая сложность подъемных механизмов и затруднения зимой вследствие обмерзания затвора с напорной стороны, с чем, однако, можно вести борьбу.

Сдвоенные затворы обычно целесообразны при значительной высоте перекрываемого отверстия, во всяком случае большей чем 5—6 м.

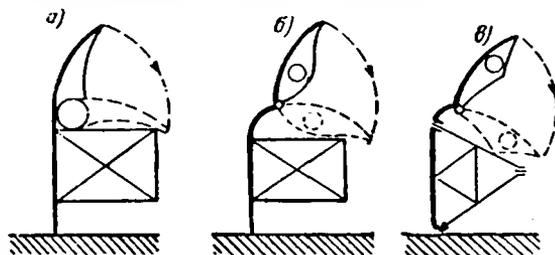
В последнее время появились секционные затворы, состоящие при большой высоте перекрываемого отверстия из секций высотой не более 6 м (фиг. 17—20). Секционирование облегчает транспортировку и монтаж затворов и условия их эксплуатации, в некоторых случаях могут быть уменьшены вес подъемных механизмов и высота быков.

3. Затворы с водо- и ледосбросными клапанами

Клапаны представляют собой плотнища, шарнирно соединенные с верхом затвора и регулирующие уровни и расходы воды путем вращения вокруг горизонтальной оси (фиг. 17—21). Клапаны устраивают обычно на двухригельных затворах, они должны иметь высоту не менее 1,5—2 м для возможности сброса льда поверх затвора.



Фиг. 17—20. Секционный плоский затвор высотой 18 м (плотина на р. Тенесси)

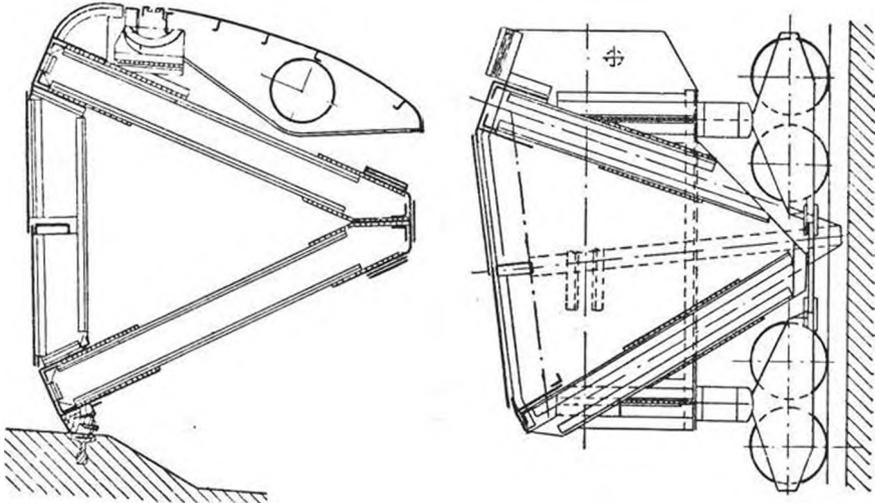


Фиг. 17—21. Типы плоских затворов с клапанами

Водосливной грани клапанов придается обтекаемая форма, по способу же устройства оси вращения они бывают двух типов:

II — ось клапана представляет собой жесткую трубу, укрепленную в подшипниках, установленных на верхнем ригеле затвора (фиг. 17—21, а) и имеющих зазоры, предохраняющие трубу от защемления при прогибе ригеля;

II — ось клапана представляет собой шарнир, уплотняемый полосой резины. На фиг. 17—21, б представлена схема коробчатого двухригельного затвора, а на фиг. 17—21, в схема затвора с остовом в виде трехпоясной балки. Трехпоясная балка обладает большой жесткостью, экономична, удобна для расположения на ней клапана и более безопасна

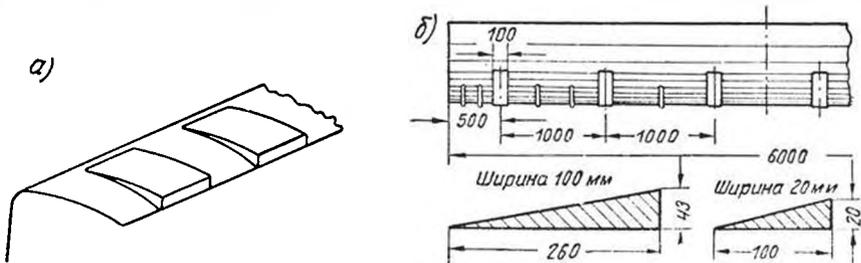


Фиг. 17—22. Плоский затвор по типу трехпоясной балки

в отношении возможных вакуумов и вибраций при истечении воды из-под затвора. На фиг. 17—22 последний затвор показан конструктивно для пролета в свету 40 м при общей высоте 6 м.

4. Меры против вибрации затворов при переливе воды через них

При переливе воды через опускаемые, сдвоенные затворы или клапаны на основных затворах наблюдается обычно вибрация, то усиливающаяся, то уменьшающаяся, то снова возникающая при постепенном



Фиг. 17—23. Типы струеразделителей на гребне опускаемых затворов или клапанов

увеличении напора на гребне затвора или клапана. Природа этой вибрации недостаточно выяснена, однако установлено, что это явление связано с условиями встречи водосливной струи с водой нижнего бьефа и с поведением воздуха в пространстве между затвором и струей.

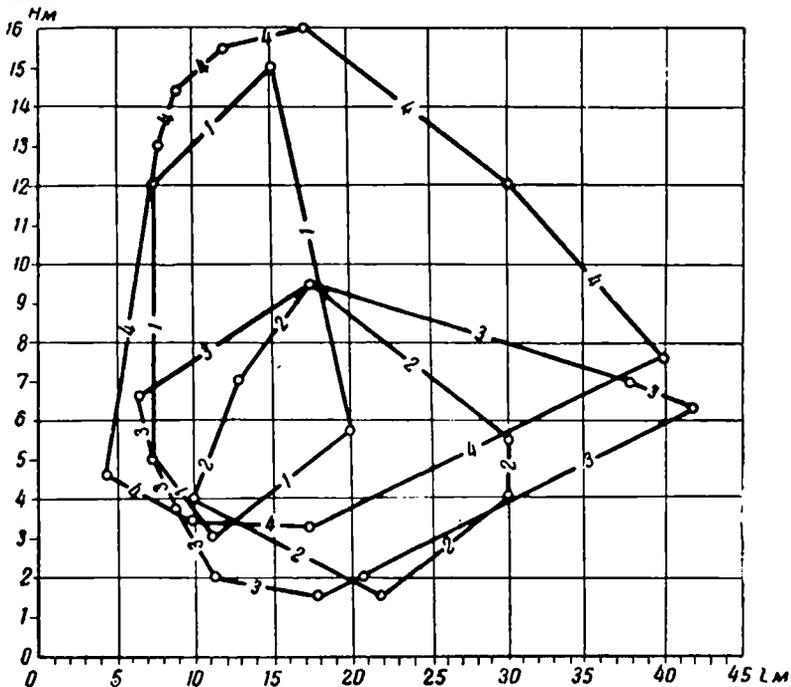
Довольно радикальной мерой борьбы является: 1) придание безвакуумного очертания водосливной поверхности затвора или клапана и 2) устройство на его гребне так называемых струеразделителей

по типу, показанному, например, на фиг. 17—23, а или б. Струеразделители делят сплошную струю, текущую через затвор, на ряд отдельных струй, падающих в разные места нижнего бьефа, с разными амплитудами и числом колебаний, что уменьшает опасность вибраций.

Размеры струеразделителя можно подбирать на модели в лаборатории, а кроме того можно отрегулировать их действие на самом затворе, если предусмотреть у зубцов струеразделителя установочные винты.

5. Замечания по проектированию плоских затворов

Плоские затворы водосливных отверстий являются самыми распространенными, ввиду простоты конструкции, доступности осмотра и ремонта, небольшой стоимости их эксплуатации. Современные затворы



Фиг. 17—24. График максимальных размеров отверстий, перекрываемых стальными плоскими затворами

1 — затворы одиночные многоригельные; 2 — затворы одиночные двухригельные; 3 — затворы с клапаном (многоригельные в левой части, двухригельные — в средней части, трехрешетчатые и одноригельные — в правой части графика); 4 — сдвоенные затворы

применяются в отверстиях пролетом до 40—45 м при общей перекрываемой площади отверстия до 300 м²; высота затворов может достигать 12—18 м, отношение $l:H$ — от 1 до 7—9 (фиг. 17—24), и это, конечно, еще не предел.

Наиболее распространены колесные затворы; скользящие применяются для пролетов 2—10 м при напорах соответственно 8—2 м.

Скользятые затворы при удаче опыта применения лигнофоля (§ 106, п. 1) получают, несомненно, распространение и при больших напорах и пролетах, поскольку они более водонепроницаемы, нуждаются в менее глубоких пазах быков (толщина быка уменьшается), проще в эксплуатации ввиду отсутствия вращающихся частей, требующих смазки.

Катковые затворы почти вытеснены из практики.

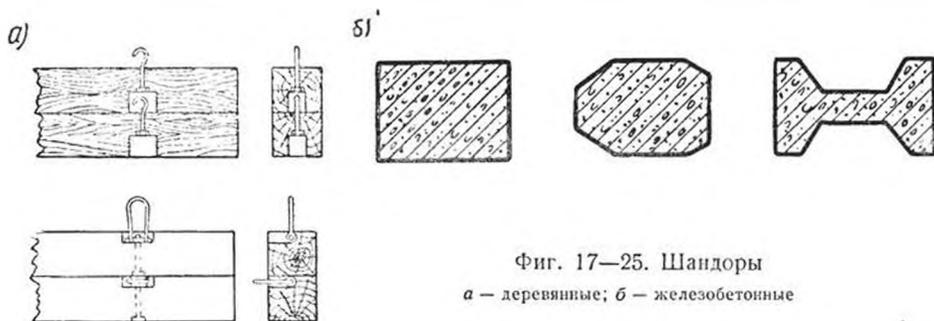
Расчетный пролет затвора, т. е. расстояние между осями колес или полозьев, обычно на 5—12% больше величины отверстия в свету, причем первая цифра относится к затворам пролетом более 10 м, вторая — к пролетам до 3 м. Глубина паза составляет соответственно от $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{8}$ ширины отверстия в свету, причем для скользящих она меньше. Ширина паза в скользящих затворах наименьшая — несколько больше высоты ригеля, в двухригельных колесных она достигает 3,5 м, а в сдвоенных затворах больших пролетов — 5 м.

§ 108. ШАНДОРЫ

1. Конструкции шандоров

Шандоры представляют собой конструкции обычно балочного, иногда арочного типа, укладываемые в пазах быков или устоев одна на другую и образующие, таким образом, шандорную стенку, закрывающую отверстие плотины или другого гидротехнического сооружения.

а) Деревянные шандоры. Простейшим типом шандоров являются деревянные брусья прямоугольного сечения, снабженные приспособлениями для захвата их, для подъема или опускания (фиг. 17—25, а). По существу шандорная деревянная стенка не отличается от де-

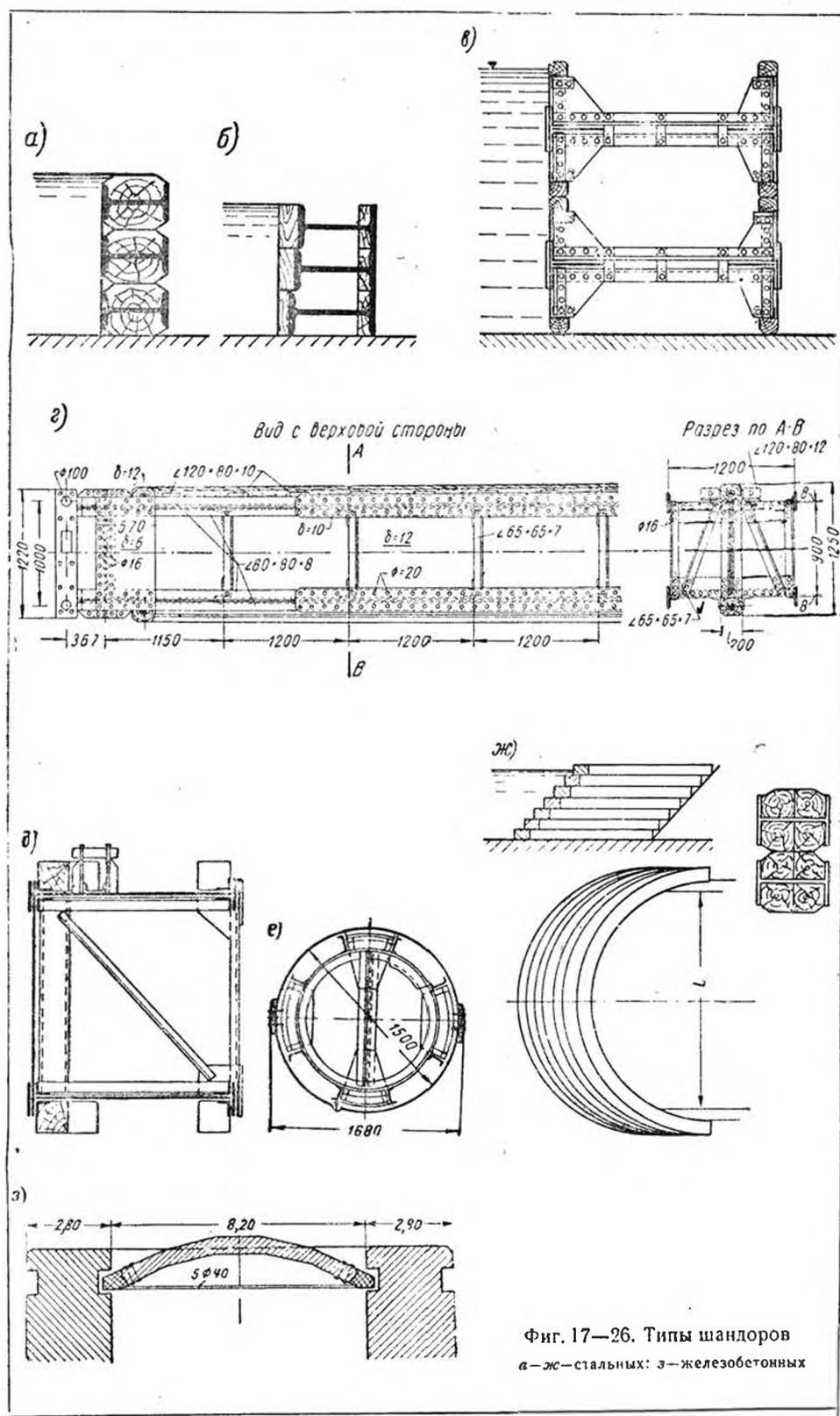


Фиг. 17—25. Шандоры
а — деревянные; б — железобетонные

ревянного брусчатого плоского затвора, только в шандорной стенке брусья между собой не связаны ни шпонками, ни поковками, и шандор может считаться элементарным плоским деревянным затвором. Сечения шандоров зависят от глубины их погружения, т. е. от величины гидростатического давления; обычно в отверстия шандоры устанавливаются или одного размера, или нескольких. Опорные устройства в пазах представляют собой выровненную стенку паза, иногда с укладкой заанкерванной стальной плиты.

Пролеты, перекрываемые деревянными шандорами, невелики — обычно до 4—5 м, иногда и более; напоры достигают 4—5 м.

б) Стальные шандоры могут быть балочного или арочного типа. Эти шандоры могут перекрывать пролеты значительно большие — до 20 и даже до 30 м, выдерживать напоры до 10—12 м. Существует много конструкций шандоров балочного типа, начиная от прокатных двутавровых балок (фиг. 17—26а, и б), составных балок (фиг. 17—26, в) до коробчатых балок с металлической обшивкой в середине шандора (фиг. 17—26, г — тип, примененный на Волховской плотине, высота сграждения — 15 м при пролете 9 м) или с напорной стороны его (фиг. 17—26, д — тип, примененный на Рпонской плотине при высоте стенки 11,8 м и пролете 10,2 м). Имеется пример шандоров из цилиндрических



Фиг. 17—26. Типы шандоров
 а—ж—стальных; з—железобетонных

балок-труб (фиг. 17—26, *е* — тип, примененный на Днепровском шлюзе при пролете 18 м).

Стальные шандоры арочного типа (фиг. 17—26, *ж*), представляющие собой криволинейные стальные балки, экономичны и могут перекрывать большие пролеты.

Усиление профиля шандоров происходит в соответствии с увеличением пролета и напора. В шандорной стенке шандоры группируются по 3—4 шт. одного типа и размера.

Опорно-ходовые части шандоров небольших пролетов и напоров выполняются скользящего типа; при увеличении пролетов и напоров — колесными.

Вообще, с увеличением размеров шандоров они начинают по конструкции приближаться к плоским затворам; шандорная стенка иногда просто образует ряд небольших плоских затворов.

Уплотнение между металлическими шандорами осуществляется при помощи деревянных брусьев, прикрепленных к шандорам (фиг. 17—26, *в*, *г*, *д*, *ж*).

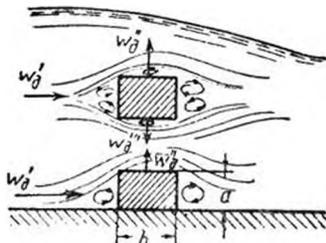
в) Железобетонные шандоры. Этот тип шандоров изготавливается на месте постройки и может заменить стальные шандоры, поэтому следует его рекомендовать в целях экономии металла. Типы сечений железобетонных шандоров приведены на фиг. 17—25, *б*; из условий опускания в текущую воду предпочтительны обтекаемые формы шандоров. Для облегчения значительного веса, что составляет главный недостаток железобетонных шандоров, они делаются иногда пустотелыми.

При восстановлении Днепрогэса в 1946 г. для закрытия отверстий щитовой стенки и всасывающих труб были с успехом применены экономичные железобетонные шандоры арочного типа (фиг. 17—26, *з*) без затяжек при опирании на криволинейные оголовки быков или с затяжками при опирании на стенки пазов. Толщина шандоров — 0,5 м — завышена (достаточно было 0,2 м) вследствие изготовления их при температурах от -10 до -15° ; высота каждого шандора — 2 м, вес — 20 т (при армировании 0,25%). Очертание шандоров в плане не круговое, а полигональное, с целью использования имевшейся щитовой опалубки. Уплотнение в пятах и между шандорами — прокладка толя с обмазкой битумом.

2. Расчеты шандоров

Расчет шандоров не отличается принципиально от расчета плоских затворов.

Обычные условия создаются для шандора при маневрировании в текущей воде, что нередко имеет место. В этом случае шандор подвергается горизонтальному гидродинамическому давлению воды W'_x (фиг. 17—27), движущейся со скоростью v :



Фиг. 17—27. Схема гидродинамических воздействий на шандоры

$$W'_x \approx k \gamma \frac{v^2}{2g} al, \quad (17-16)$$

где l — расчетная длина (пролет) шандора;

a — высота его;

k — коэффициент обтекания, который для прямоугольного шандора можно принимать равным 2,0.

Кроме горизонтального, шандор подвергается и вертикальному гидродинамическому воздействию, являющемуся результатом плохо обтекаемого очертания шандора и выражаемому аналогично (фиг. 17—27):

$$(W'_a, W''_a) \approx k_1 \gamma \frac{v^2}{2g} bl, \quad (17-17)$$

где b — ширина шандора;

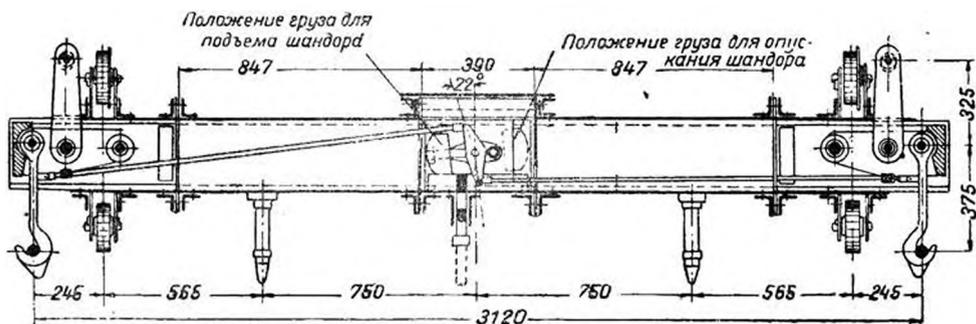
k_1 — коэффициент, имеющий значение от 0,7 для случая, когда $a \approx b$, до 1,0 — для случая, когда a значительно больше b .

Когда шандор лежит на пороге или близко к нему или на ранее уложенном шандоре, действует сила W'_a , поднимающая его вверх (дополнительно к гидростатической силе взвешивания); в других положениях на шандор действуют обе силы W'_a и W''_a , причем иногда $W'_a > W''_a$, а иногда $W'_a < W''_a$ и даже $W'_a \approx 0$, тогда затвор «присасывается» и этим как бы увеличивается вес затвора в воде на силу $W'_a - W''_a$.

Точные значения сил W'_a , W''_a и W'''_a не могут быть определены аналитически; значения, приведенные в формулах (17-16), (17-17), весьма приближенные, поэтому в соответствующих случаях следует определять силовые воздействия на шандор в разных его положениях путем лабораторных опытов на моделях.

3. Маневрирование шандорами

Деревянные шандоры небольших размеров поднимаются и опускаются вручную при помощи багров, захватывающих шандоры за крючья или кольца (фиг. 17—25,а). Деревянные шандоры более крупных размеров, стальные и железобетонные шандоры поднимаются и опускаются при помощи лебедок и кранов. Захват шандоров производят или



Фиг. 17—28. Захватная балка для шандоров Рионской ГЭС

при помощи вспомогательной балки подъемника, к которой прикрепляются концы тросов, идущие на площадку бычка от каждого шандора, или при помощи захватной балки. Последняя движется в пазах, как и шандоры, и при опускании под действием собственного веса на шандор автоматически сцепляется с ним крючками или, наоборот, отцепляется (на фиг. 17—28 показана захватная балка для шандоров Рионской ГЭС).

В последние годы начал распространяться способ маневрирования целиком всей шандорной стенкой, что хотя утяжеляет подъемник, но зато избавляет от неблагоприятных гидродинамических воздействий и неудобств маневрирования отдельными шандорами.

4. Область применения шандоров

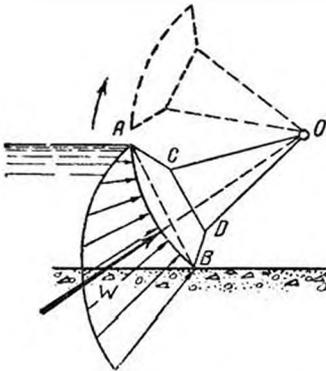
Шандоры применяются в настоящее время лишь для временного закрытия отверстий, главным образом на период ремонта основных затворов или в период строительства сооружения.

Б. СЕГМЕНТНЫЕ ЗАТВОРЫ

§ 109. СХЕМА ЗАТВОРА И ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА НЕГО УСИЛИЯ

1. Схема затвора

Один из основных недостатков плоского затвора — необходимость в применении значительного подъемного усилия, обычно превышающего вес затвора в 1,5, а иногда даже в 2 раза, — избегается в сегментном затворе. Последний представляет собой по существу несколько изогнутый плоский затвор $ACDB$ (фиг. 17—29), могущий вращаться вокруг некоторой оси O , на которой насажены ноги CDO , поддерживающие плотнище затвора.



Напорная поверхность затвора выполняется круговой цилиндрической; равнодействующая давления воды обычно проходит через ось вращения затвора, для чего последняя должна совпадать с геометрической осью поверхности затвора.

2. Действующие силы

На сегментный затвор действуют те же силы, что и на плоский, но величины их и точки приложения иные.

а) Давление воды со стороны верхнего бьефа W может быть представлено, как геометрическая сумма составляющих горизонтальной W_1 и вертикальной W_2 (фиг. 17—30).

Величина силы W_1 равна, как известно:

$$W_1 = 0,5 \gamma H_1^2 l. \quad (17-18)$$

Фиг. 17—29. Схема сегментного затвора

Величина силы W_2 изображается эпюрой $ACBDA$, представляющей сумму площадей сегмента $ACBA$ и треугольника ABD . При обозначениях, принятых на фиг. 17—30, a , сила W_2 будет равна:

$$W_2 = 0,5 \gamma R^2 \left[\frac{\pi \alpha^2}{180^\circ} + 2 \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - 0,5 (\sin 2\alpha_1 + \sin 2\alpha_2) \right] l. \quad (17-19)$$

Равнодействующая

$$W = \sqrt{W_1 + W_2} \quad (17-20)$$

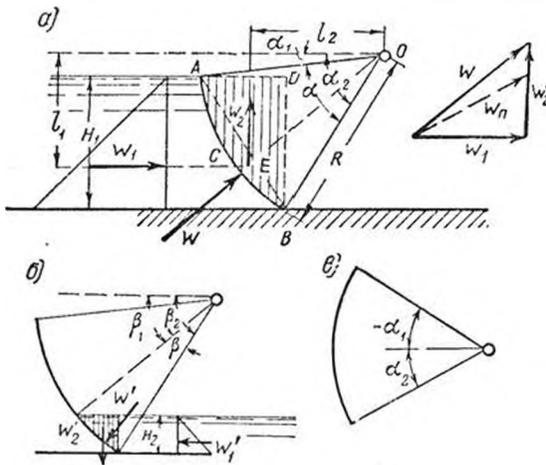
проходит через точку O и точку E пересечения горизонтально направленной силы W_1 , проходящей на высоте $1/3 H_1$ от порога и на расстоянии l_1 от центра O , и вертикально направленной силы W_2 , проходящей:

на расстоянии l_2 , от O (по нормали). Величина l_2 определяется из уравнения:

$$W_1 l_1 - W_2 l_2 = 0. \quad (17-21)$$

Аналогичным образом определяется давление воды со стороны нижнего бьефа (фиг. 17—30,б), следует только в формулах (17—18) и (17—19) заменить угол α на β , H_1 на H_2 и изменить направления сил.

Если центр O лежит на уровне горизонта воды верхнего бьефа, то в формуле (17—19) надо положить $\alpha_1 = 0$; если он ниже горизонта воды верхнего бьефа (фиг. 17—30,в), то в членах формулы (17—19), содержащих α_1 , нужно изменить знак на обратный.



Фиг. 17—30. Схема к определению гидростатического давления на сегментный затвор

б) Собственный вес сегментного затвора на предварительной стадии проектирования стальных затворов определяется по эмпирическим формулам, например, А. Р. Березинского:

$$G = 0,15 F \sqrt[4]{F \tau}, \quad (17-22)$$

где F — площадь перекрываемого затвором отверстия в m^2 .

Более точно вес определяется по спецификации элементов; то же надо сказать и о весе деревянных затворов.

3. Усилия, необходимые для маневрирования затвором

Для подъема сегментного затвора — поворота его вокруг оси вращения O (фиг. 17—31,а) — необходимо приложить некоторый момент, преодолевающий моменты веса и трения в опорных шарнирах радиусом r (пренебрегаем пока трением в уплотнениях и реакцией от веса затвора в шарнирах). Это условие можно записать так:

$$S_1 R \cos \alpha - G R_G \cos \beta - f W r = 0$$

и

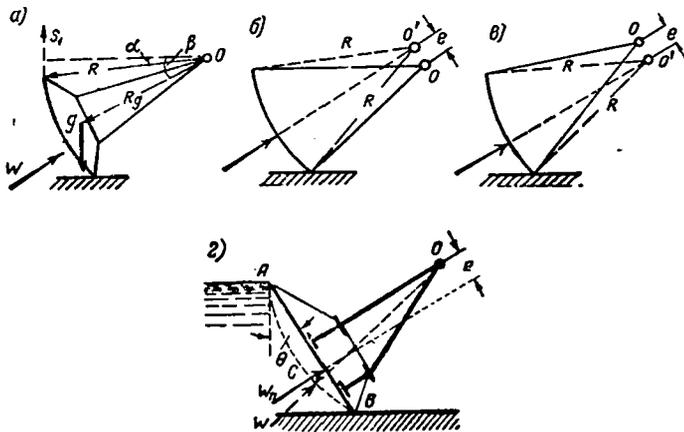
$$S_1 = G \frac{R_G}{R} \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} + f \frac{W}{\cos \alpha} \frac{r}{R}. \quad (17-23)$$

Так как отношение $\frac{r}{R}$ очень мало, то вторым членом формулы (17—23) можно пренебречь. Тогда

$$S_1 = G \frac{R_G \cos \beta}{R \cos \alpha}. \quad (17-24)$$

Поскольку $\frac{R_G}{R} \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} < 1$, то всегда $S_1 < G$.

В этом заключается одно из основных преимуществ сегментного затвора перед плоским, подъемное усилие для которого всегда больше веса затвора.



Фиг. 17—31. Схемы

а, б, в — к определению подъемного усилия для сегментного затвора;
 з — сегментного затвора с плоской напорной поверхностью

Усилие S_1 можно еще уменьшить, если расположить шарнир O ниже центра O' окружности, радиусом которой описана поверхность затвора (фиг. 17—31,в). Тогда в формулах (17—23) и (17—24) момент подъемного усилия увеличивается на величину We и

$$S_1 = G \frac{R_G}{R} \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} - W \frac{e}{R \cos \beta}. \quad (17-25)$$

И, наоборот, при помещении точки O' ниже O (фиг. 17—31,в) затвор получает дополнительный, прижимающий его к порогу, момент We .

Иногда применяют сегментный затвор с плоской напорной поверхностью (фиг. 17—31,з); в этом случае вертикальная составляющая давления воды W_2 уменьшается за счет исчезающей площади сегмента ACB (фиг. 17—30,а и 17—31,з); равнодействующая W_n пройдет под меньшим углом к горизонту, и подъему затвора будет препятствовать момент $W_n e$. Избежать этого можно, только увеличив угол θ наклона напорной грани AB к вертикали, но это влечет за собой ее удлинение и удорожание затвора. Однако если и удастся добиться прохождения равнодействующей давления воды через ось шарнира O , то только для одного положения затвора, при всех других появляется нежелательный эксцентриситет.

§ 110. КОНСТРУКЦИЯ ЗАТВОРА

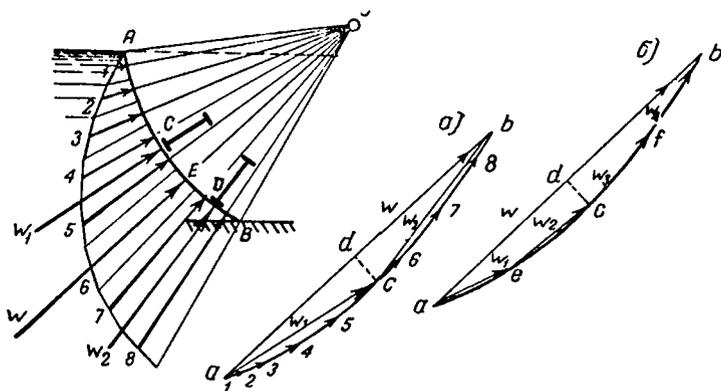
Конструктивными элементами тела стального сегментного затвора являются: балочная сеть, обшивка и опорные ноги; в конструкции балочной сети и обшивки имеется полная аналогия с конструкцией плоского затвора, который в данном случае лишь наклонен к вертикали и как бы изогнут.

1. Ригели

Как и плоские затворы, сегментные бывают многоригельными и двухригельными; первые применяются для перекрытия небольших поверхностных или глубинных отверстий, вторые наиболее распространены при закрытии поверхностных отверстий.

Ригели располагают по тому же закону, что и в плоских затворах, чаще всего они делаются равнонагруженными. Графически положение ригелей определяется следующим построением (фиг. 17—32).

Разбив кривую поверхности затвора AB на равные части, строят на ней положение отдельных сил, действующих на площадки обшивки



Фиг. 17—32. Графический способ размещения ригелей сегментного затвора

и направленных по их радиусам; одновременно строят многоугольник этих сил acb (фиг. 17—32,а). Замыкающая последнего $ab = W$ есть равнодействующая, величину и направление которой легко определить и аналитически по формулам (17—18) — (17—20). На ab как основании строят равнобедренный треугольник acb , равные стороны которого $ac = cb = W_1 = W_2$ представляют составляющие равнодействующей W . Проведя радиусы $OC \parallel ac$ и $OD \parallel bc$, тем самым определим положение и направление двух ригелей, нагруженных равными силами $W_1 = W_2$.

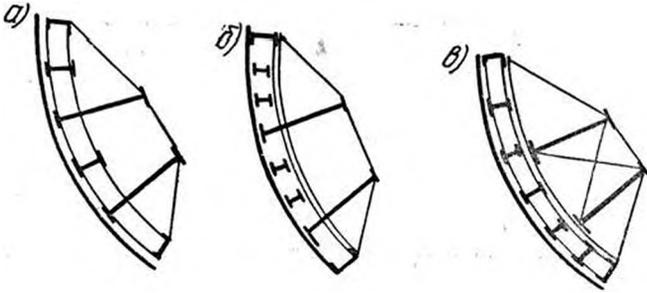
Можно определить положение ригелей и другим путем: найдя положение равнодействующей W , располагают ригели на равных расстояниях от точки E , считая по кривой.

Графически можно также построить расположение ригелей и в многоригельном затворе. Так, на фиг. 17—32,б показаны величины и направления сил давления воды для четырех равнонагруженных ригелей, как отрезки хорд кривой сил $aecfb$, равные между собой: $ae = ec = cf = fb$. Направления этих отрезков определяют направление радиусов, на пересечении которых с кривой обшивки расположатся равнонагруженные ригели.

2. Вспомогательные балки и обшивка

Балочная сеть конструируется по тем же принципам, что и в плоских затворах. При этом наиболее целесообразны следующие схемы.

а) Стойки (в данном типе затвора криволинейные) прикреплены к ригелям, как двухпорные или консольные балки, а горизонтальные балки-обрешетины прикреплены аналогично к стойкам, за исключением крайних балок — верхней и нижней, перекрывающих весь пролет (фиг. 17—33,а), это поперечная система. Возможно здесь осуществление



Фиг. 17—33. Типы балочной сети сегментных затворов

и продольной системы аналогично плоским затворам (фиг. 17—33,б), когда все обрешетины перекрывают пролет, как неразрезные балки, опираясь на диафрагмы.

б) Стойки лежат поверх ригелей, как неразрезные балки, и образуют вместе с разрезными обрешетинами балочную сеть, на которой располагается обшивка (фиг. 17—33,в). Преимущество этой схемы (тоже поперечной системы) перед первой состоит в том, что при ней можно свободнее маневрировать длиной листов обшивки при конструировании затвора, а также вести монтаж и ремонт обшивки, не затрагивая ригелей. Но в этой схеме высота сечения стоек должна быть выдержана постоянной, поэтому схема на фиг. 17—33,а несколько экономичнее.

Обшивка, как и в плоских затворах, обычно стальная плоская. Деревянная обшивка, как показал опыт, недостаточно плотна и фильтрует.

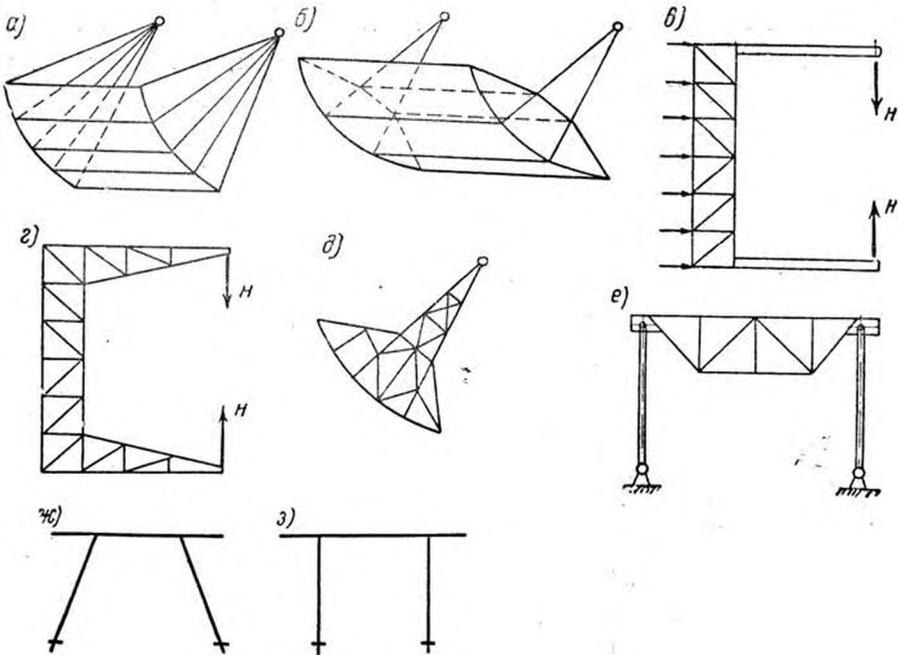
3. Опорные рамы (ноги)

Ноги затвора, через которые давление воды передается на опорные шарниры и на которых держится затвор, выполняются по двум схемам: а) нагрузки от ригелей (в многоригельных затворах) передаются на две опорные, в виде секторов, фермы (фиг. 17—34,а и б), ригели составляют вместе с опорными ногами опорные рамы или порталы (фиг. 17—34,в, г), на которые и передается нагрузка всей конструкции. Последний тип получил преимущественное распространение.

Опорные рамы выполняются плоскими (фиг. 17—34,в) или пространственными (фиг. 17—34,г). Жесткость пространственных рам больше, чем плоских, поэтому при значительных пролетах они предпочтительнее. Вследствие закрепления концов опорных ног в шарнирах при изгибе ригелей изгибаются и ноги, в результате чего в шарнирах появляются горизонтальные силы распора H , которые в пространственной раме (фиг. 17—34,г) будут больше, чем в плоской.

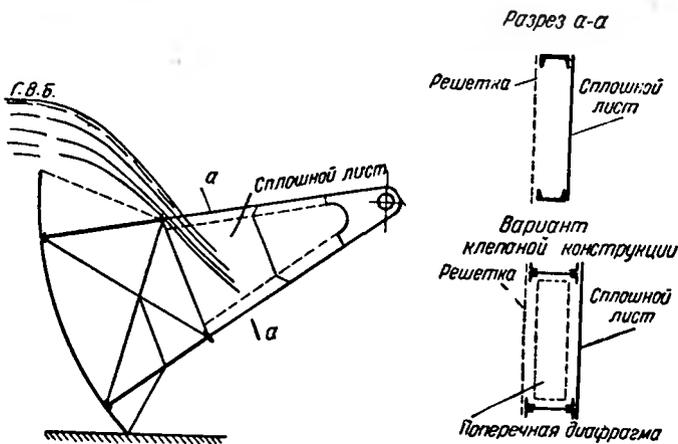
Наличие распора в шарнирах дает некоторую экономию в металле затвора, но она почти снимается необходимостью армировать быки и сильно крепить шарниры в них. Вместе с тем в таких затворах разви-

ваются нежелательные деформации в связи с кручением ног затвора при подъеме его. Этот недостаток избегается в затворах нового типа, как, например, на Угличской плотине, где затвор статически определим



Фиг. 17—34. Схемы опорных ног сегментных затворов

относительно опорных реакций, что достигается шарнирным опиранием полотнища затвора на опорные ноги (фиг. 17—34, e)¹. Эта конструкция облегчает работу подъемных механизмов и монтаж затвора.



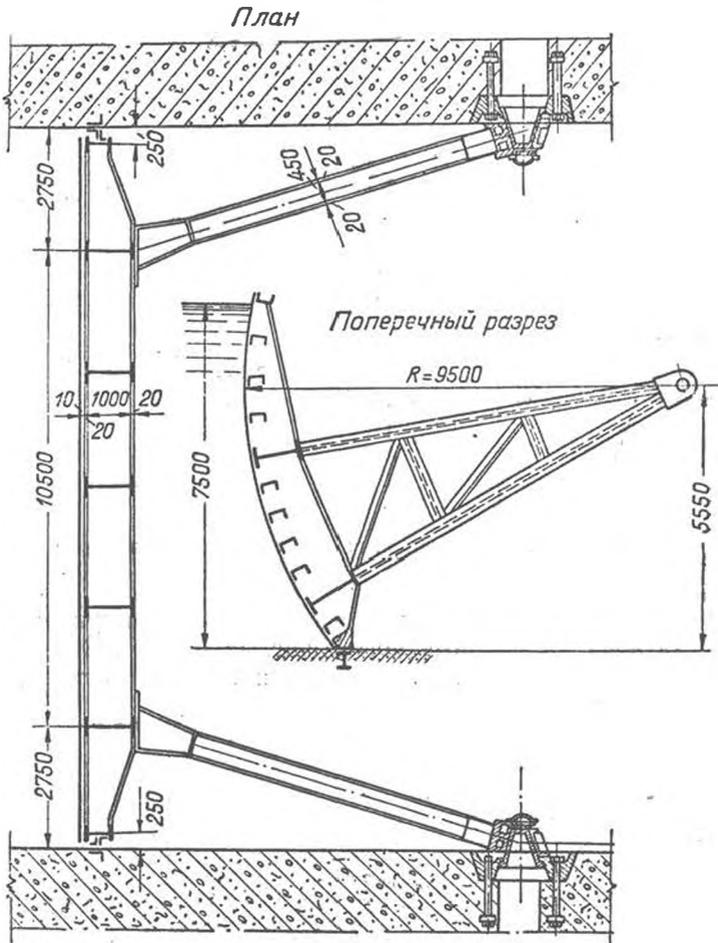
Фиг. 17—35. Плоские ноги сегментного затвора

Плоские опорные рамы (фиг. 17—35) образуются швеллерами или составными профилями, покрытыми иногда со стороны, обращенной к

¹ Е. И. Залькиндсон, Шарнирный сегментный затвор, журнал «Гидротехническое строительство» № 12, 1946.

отверстия, плоской обшивкой во избежание застревания в них ветвей, мусора и пр., несомых переливающейся водой.

Пространственные опорные рамы (фиг. 17—34,г) при расчете разбираются на плоские порталы соответственно числу ригелей затвора. Плоские рамы рассчитываются затем по методам, излагаемым в строительной механике, как системы с одной статически неопределимой величиной — распором в опорах.



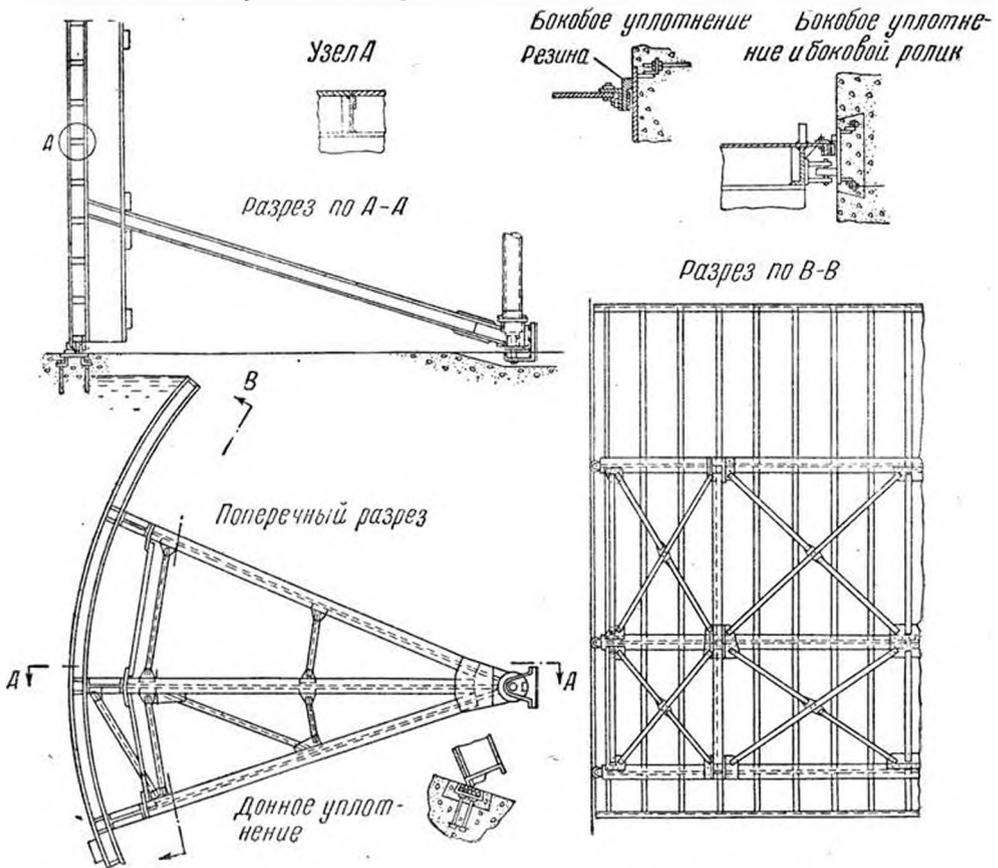
Фиг. 17—36. Сегментный консольный затвор с наклонными ногами

При значительных колебаниях температуры воздуха следует подсчитывать еще температурный распор и вызываемые им напряжения в стержнях.

Кроме порталов, показанных на фиг. 17—34, а—е, применяют с успехом консольные порталы с наклонными (фиг. 17—34,ж) и нормальными (фиг. 17—34,з) ногами. Консольные порталы с наклонными ногами дают экономию в материале ригелей, снижая максимальный изгибающий момент их. Однако при этом увеличивается распор в опорных шарнирах. На фиг. 17—36 изображена схема сегментного консольного затвора с наклонными ногами, пролетом 16 м и высотой

7,5 м, примененного в последние годы на одной из наших крупных плотин.

На фиг. 17—37 приведена упрощенная конструкция сегментного консольного затвора с наклонными ногами, вес которого для



Фиг. 17—37. Сегментный консольный затвор с наклонными ногами (упрощенный тип)

размеров от 8×12 до 9×19 м примерно на 30% меньше веса обычного сегментного затвора тех же размеров; кроме того, этот затвор проще в сборке и монтаже.

4. Проверка общей жесткости затвора

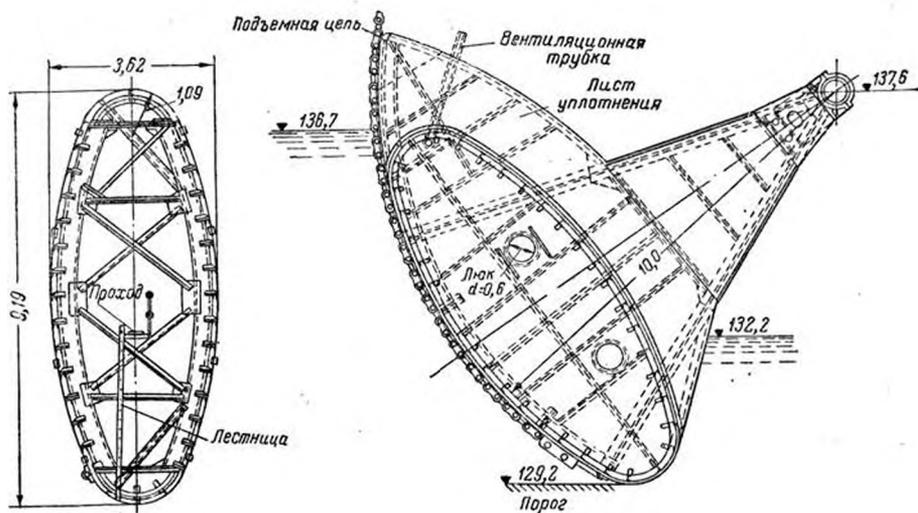
Помимо основных напряжений, в некоторых случаях получают значение напряжения, возникающие от скручивания затвора. Последнее происходит в результате несовпадения центров тяжести всего затвора (с ногами) и его несущей части.

Скручивание возникает также при несовпадении оси вращения затвора с центром, из которого описана напорная поверхность (равнодействующая давления воды не проходит через ось опорных шарниров). Может возникнуть скручивание и при переливе воды через затвор. Возникающие в этом случае напряжения невелики и могут не учитываться.

Наиболее значительные усилия от скручивания возникают при системе подъема затвора за один конец, в этом случае проверка напряжений от скручивания обязательна.

5. Затворы с жесткой несущей конструкцией

В целях создания конструкции, хорошо сопротивляющейся ударам и навалу льда, и упрощения подъемных устройств путем подъема затвора за один конец в последнее время появились затворы, у которых

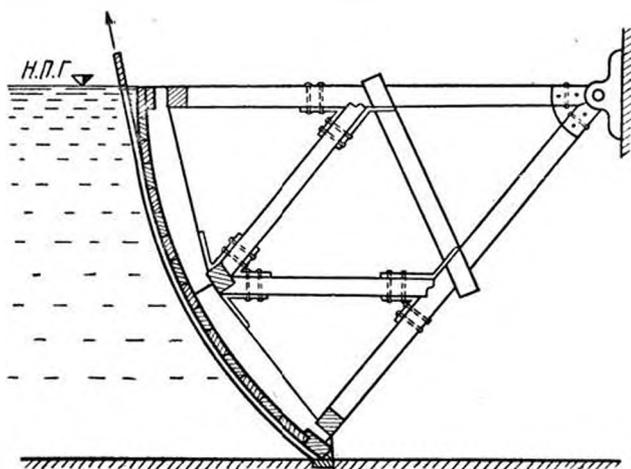


Фиг. 17—38. Сегментный затвор с несущей частью в виде трубообразной балки

несущая часть выполнена в виде трубы круглого, овального и эллиптического сечений. Такой тип затвора был разработан и предложен у нас проф. В. Г. Гебель. На фиг. 17—38 представлен затвор высотой 9,2 м при пролете в свету 24,4 м из зарубежной практики.

6. Конструкции деревянных сегментных затворов

Эти конструкции выполняются для напоров до 3 м и пролетов до 7 м. Опорные ноги делают из брусьев, ригели брусчатые с подкосами, идущими от опорных ног к середине ригеля. Пример деревянного затвора пролетом 6 м и напором 3,5 м, осуществленного на одной из колхозных гидростанций, показан на фиг. 17—39.



Фиг. 17—39. Деревянный сегментный затвор

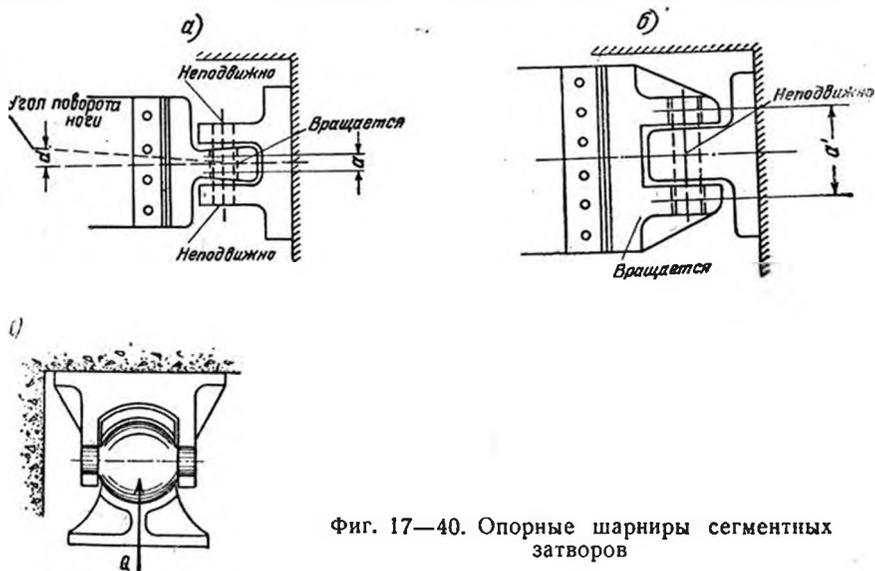
В последнее время запроектированы деревянные сегментные затворы для напоров 4—5 м при пролетах 8—9 м, т. е., по видимому, максимальных размеров для таких конструкций.

§ 111. ОПОРНЫЕ ЧАСТИ И УПЛОТНЕНИЯ. ПОДЪЕМНОЕ УСИЛИЕ

1. Опорные шарниры

Давление от опорных ног затвора передается шарнирам, заделанным в кладку быков или устоев. Шарниры применяются цилиндрические или шаровые.

а) Цилиндрический шарнир устраивается двух типов: в шарнирах первого типа неподвижная ось закреплена на двух опорах, а подвижная часть — втулка или проушина, укрепленная на опорной ноге, вращается вокруг оси (фиг. 17—40,а); в шарнирах второго типа



Фиг. 17—40. Опорные шарниры сегментных затворов

ось вращения представляет собой двухконсольный стержень, а втулка ноги имеет по внешнему виду форму вилки (фиг. 17—40,б). Шарнир второго типа имеет то преимущество, что оминающее шарнир усилие, появляющееся в результате поворота ноги и возникающего при этом момента заделки, меньше, чем в первом типе ($a' > a$).

Диаметр шарнира d поверяется: 1) на раздробление по диаметральной плоскости и 2) на изгиб.

Первую поверку делают по формуле (17—12), вводя в нее значение $\alpha = 0,637$ (угол охвата 180°):

$$d \approx \frac{1,3Q}{b[\sigma_p]}, \quad (17-26)$$

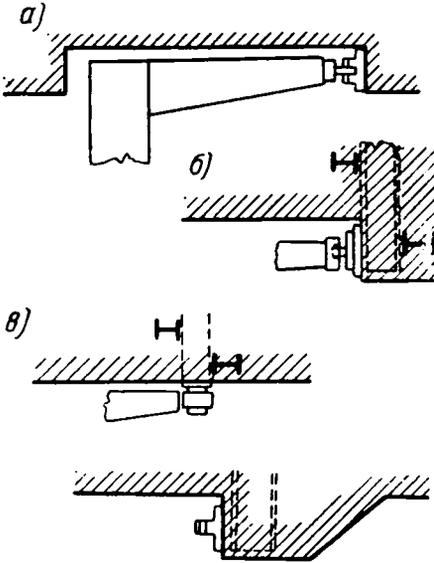
где Q — реакция ноги;
 b — ширина втулки или проушины.

Вторая поверка делается на равномерную нагрузку $\frac{Q}{b}$ по известным формулам изгиба балки на двух опорах в первом типе и консольной балки во втором.

б) Шаровые шарниры (фиг. 17—40,в) допускают поворот ноги затвора при изгибе портала, без местных напряжений смятия. Для

этого втулка отливки подвижной части шарнира имеет соответствующий вкладыш.

Шаровые шарниры особенно ценны в затворах значительных пролетов с жесткими порталными ногами и значительным распором. В последнее время они получают все большее распространение.



в) Заделка шарниров в кладку выполняется обычно с устройством ниш (пазов) в стене быка или устоя, тогда неподвижная часть шарнира помещается на выступе паза (фиг. 17—41,а).

В зависимости от передаваемого усилия (оно может быть до 300 т в современных затворах) плита шарнира располагается или непосредственно на бетоне, или на особой распределительной плите; при этом прочность бетона повышается путем заделки в него металлических балок и швеллеров (фиг. 17—41,б).

Фиг. 17—41. Расположение и заделка в быках опорных шарниров сегментных затворов

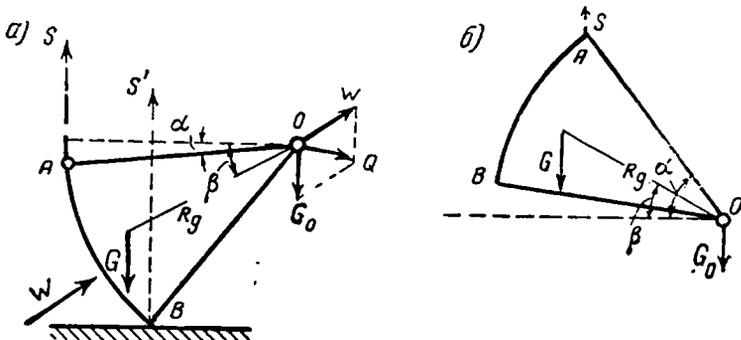
Затворы небольших пролетов и напоров могут опираться на шарниры в виде консолей, заделанных в кладку быков (фиг. 17—41,в); в этом случае устройство ниш не обязательно, что благоприятно в гидравлическом отношении.

2. Усилия в шарнирах

Усилия, действующие на шарнир, определяются для разных положений поднимаемого затвора.

I — затвор чуть приподнят над порогом (фиг. 17—42,а); на шарниры передается давление воды W и часть веса затвора

$$G_0 = G \frac{(R \cos \alpha - R_G \cos \beta)}{R \cos \alpha} = G \left(1 - \frac{R_G \cos \beta}{R \cos \alpha} \right). \quad (17-27)$$



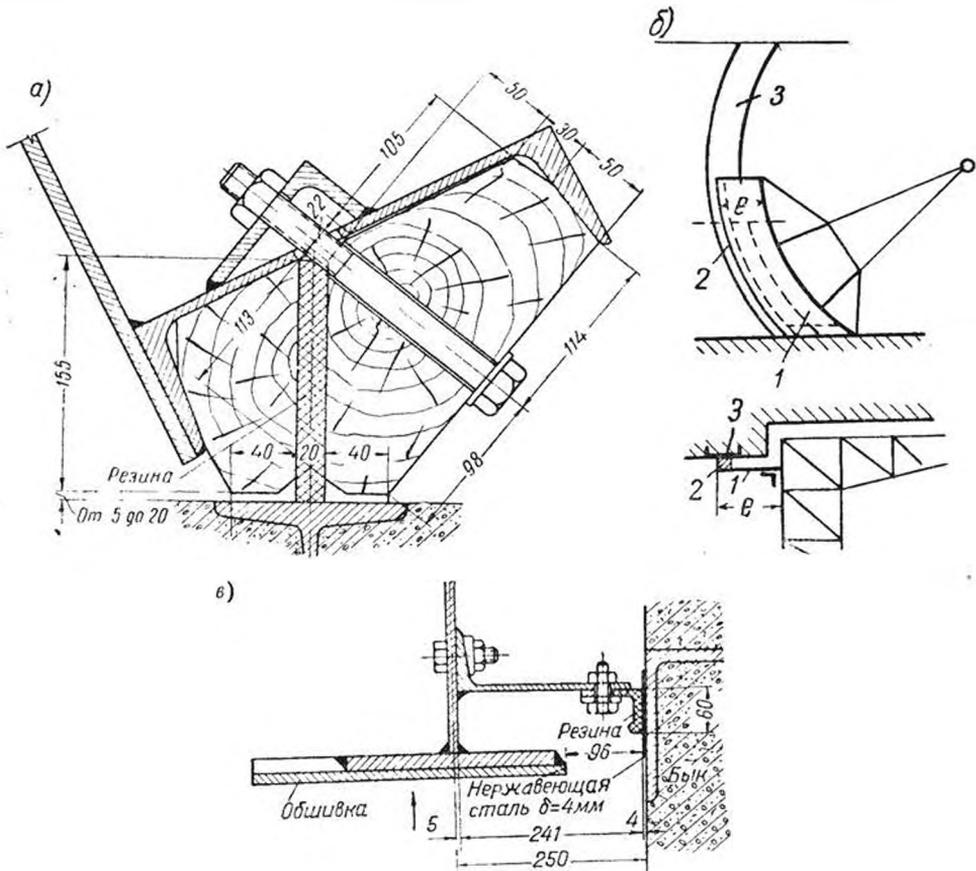
Фиг. 17—42. Схема к определению усилий в шарнире сегментного затвора

Расчетное усилие для двух шарниров Q получается в результате суммирования сил W и G_0 (фиг. 17—42); для одного шарнира усилие равно $0,5Q$.

II — затвор поднят из воды, давления воды нет (фиг. 17—42,б). На шарниры действует лишь вертикальное усилие G_0 , определяемое по формуле (17—27), в которой значения углов α и β , конечно, иные; половина этого усилия будет расчетной для шарнира. В этом случае может иногда добавляться давление ветра B на затвор, находящийся над водой, и тогда шарнир будет подвержен действию половины равнодействующей сил G_0 и B . Из перечисленных случаев в основу расчета кладется тот, в котором усилие в шарнире получается наибольшим.

3. Уплотнения

Донное уплотнение выполняется таким же, как и в плоском затворе, причем начинают внедряться уплотнения из резины и дерева (фиг. 17—43,а). Боковые уплотнения делают листового типа, причем



Фиг. 17—43. Уплотнения сегментного затвора

а — донное; б и в — боковые

лист 1 имеет ломаное очертание в соответствии с формой обшивки, ограниченное деревянным брусом 2 (фиг. 17—43,б). В стене быка или устоя заанкерывается стальная полоса 3, по которой скользит брус 2.

В последнее время начали широко применять резиновые уплотнения (фиг. 17—43,в).

4. Подъемное усилие

Часть усилия для подъема сегментного затвора S_1 , зависящая от веса последнего, определяется по формуле (17—24). Усилие, необходимое для преодоления трения в шарнирах, как явствует из формулы (17—23) и п. 2 настоящего параграфа:

$$T_0 = f \frac{Q}{\cos \alpha} \frac{r}{R}, \quad (17-28)$$

где Q — суммарное давление в шарнирах радиусом r от воды и собственного веса затвора.

Усилие для преодоления трения в уплотнениях при ширине листа e (фиг. 17—43,б) равно (пренебрегая неточностью из-за кривизны листа):

$$T_y = f \frac{\gamma H^2 e}{\cos \beta} \cdot \frac{R+e}{R}. \quad (17-29)$$

Полное подъемное усилие, если ось вращения совпадает с геометрическим центром обшивки затвора, равно:

$$S = K(S_1 + T_0 + T_y), \quad (17-30)$$

где K — коэффициент запаса на неучитываемые сопротивления, равный 1,2—1,4.

Эти формулы выведены в предположении закрепления подъемных тросов (целей) за верхний конец затвора и вертикального направления троса.

При закреплении троса за нижний конец затвора B угол α должен считаться между направлением радиусов OB (фиг. 17—42,а) и горизонтом. При неvertикальном направлении троса S' угол α должен отсчитываться от радиуса точки закрепления до нормали из точки O к направлению троса.

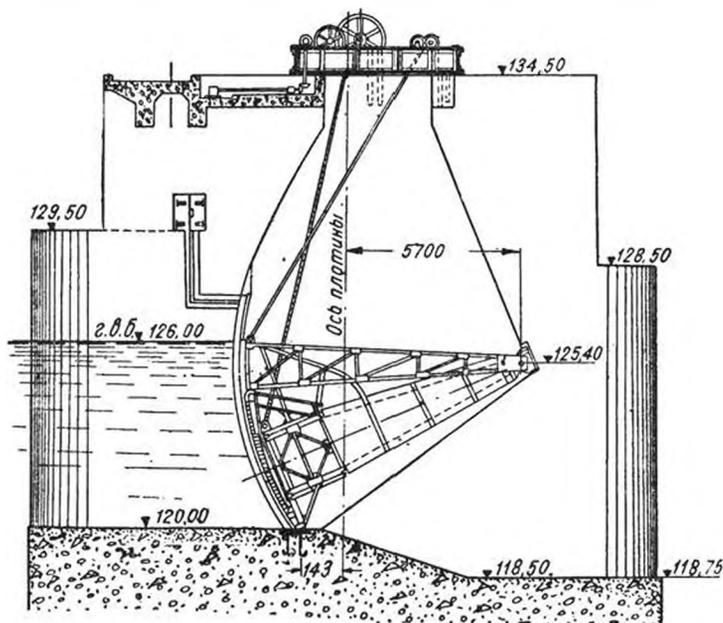
§ 112. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЫЕ КОНСТРУКЦИИ СЕГМЕНТНЫХ ЗАТВОРОВ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕГМЕНТНЫХ ЗАТВОРОВ

1. Затворы, допускающие перелив воды через них

а) Опускные затворы, применявшиеся в 900-х годах, впоследствии были оставлены; в 30-х годах нашего столетия их снова стали применять, но широкого распространения они не получили, так как более рациональными оказались конструкции сдвоенных затворов и затворов с клапанами.

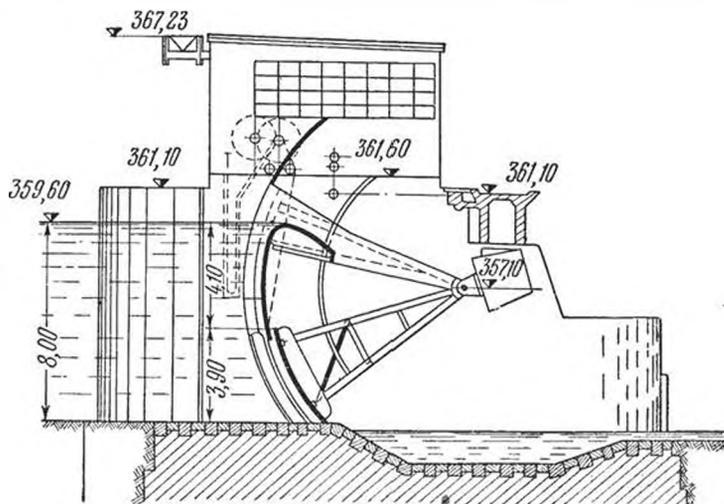
б) Сдвоенные затворы допускают перелив воды через нижнюю часть при подъеме верхней, имеющей высоту 1,5—2 м. На фиг. 17—44 представлен затвор Карамышевской плотины на Москве-реке, пролетом 20 м; верхняя часть вращается на общей с нижней осью, для защиты нижней части от ударов сбрасываемого льда водосливная

грань ее обшита деревянным настилом, ноги помещены в пазах быков и обшиты металлическим листом. В последние годы появился двоянный



Фиг. 17—44. Сегментный двоянный затвор

крючкообразный сегментный затвор (фиг. 17—45), аналогичный плоскому (см. фиг. 17—19). Крючкообразная верхняя часть вращается при опускании ее вокруг той же оси, что и нижняя часть, причем низ

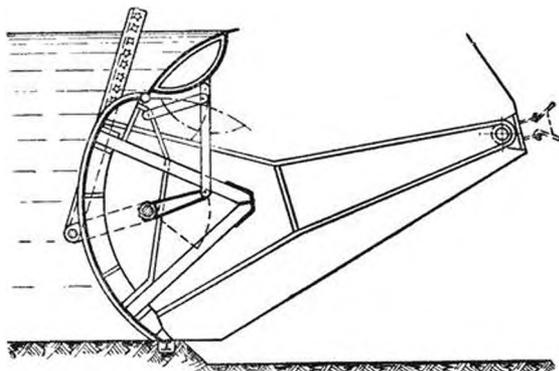


Фиг. 17—45. Сегментный двоянный крючкообразный затвор

верхней части скользит на роликах по обшивке нижней части. Ценное преимущество этого затвора перед другими заключается в возможности весьма значительного опускания верхней части.

Сдвоенные затворы несколько дороже и сложнее затворов с клапанами.

в) Затворы с клапанами, вращающимися на оси, укрепляемой на затворе, и аналогичными клапанами плоских затворов, более распространены, чем сдвоенные затворы. Из новейших затворов этого типа надо отметить сегментный затвор с жесткой несущей частью и хорошо обтекаемым «рыбовидным» клапаном (фиг. 17—46), аналогичный такому же плоскому затвору (см. фиг. 17—22).



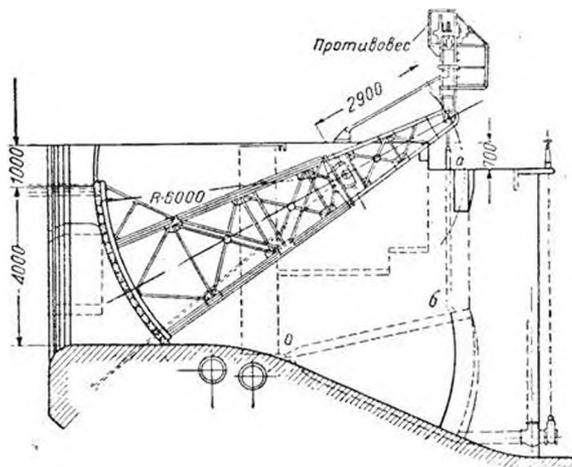
Фиг. 17—46. Сегментный затвор с рыбовидным клапаном

2. Затворы, полностью поднимаемые в паводок

В низконапорных плотинах на реках с высокими паводками стали применять сегментные затворы, которые, будучи повернуты в верхнее положение, поднимаются далее вертикально выше паводкового горизонта, освобождая таким образом отверстие плотины полностью [12].

3. Автоматически действующие затворы

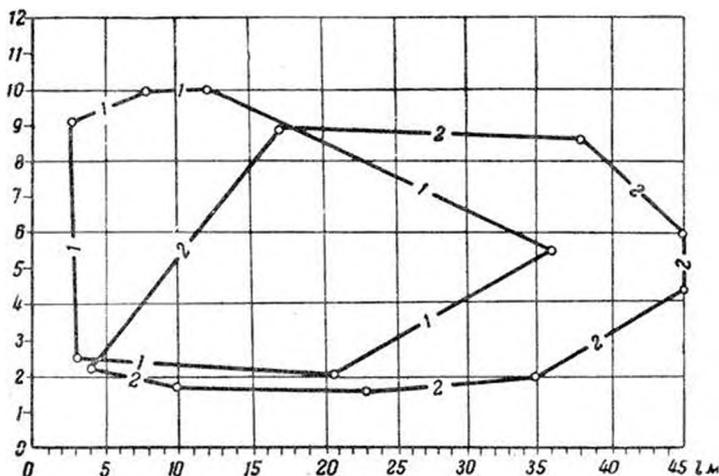
Сегментные затворы могут приводиться в действие не только при помощи механизмов, но и автоматически — действием воды. Для последней цели затвор снабжается противовесом, располагаемым на продолжении опорных ног за шарниром, в виде груза, чем до минимума снижается требуемое подъемное усилие. Последнее реализуется при помощи давления воды на особые клапаны или поплавки. Так, в системе, показанной на фиг. 17—47, противовес затвора связан тягами *аб* с клапаном *Об*, вращающимся вокруг оси *О* в особых шахтах быков; при повышении горизонта воды верхнего бьефа сверх НПГ вода из верхнего бьефа поступает по трубам на клапан *Об* и заставляет его опускаться, а затвор открываться; по установлении нормального подпорного горизонта поступление воды прекращается, вода из шахты уходит в нижний бьеф, что заставляет затвор опускаться и закрывать отверстие.



Фиг. 17—47. Автоматический сегментный затвор

4. Некоторые замечания по проектированию сегментных затворов

Область применения сегментных затворов в современной практике показана на графике фиг. 17—48¹. Пролеты перекрываемых этими затворами отверстий достигают 36 м при высоте 5—7 м, наибольшая высота осуществленного затвора — 10 м при пролете 12 м; в общем



Фиг. 17—48. График максимальных размеров отверстий, перекрываемых затворами

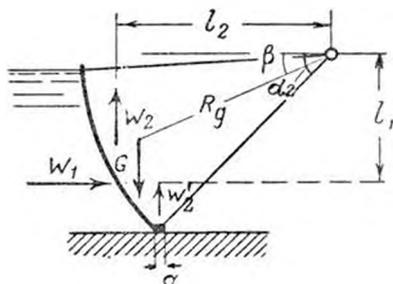
1 — сегментными; 2 — вальцовыми

перекрываемая сегментным затвором площадь отверстия достигает примерно 240 м², т. е. меньше, чем у плоских затворов, однако это не предел.

При определении основных размеров затвора большую роль играет положение оси вращения затвора и величина радиуса его обшивки. Ось вращения рекомендуется располагать так, чтобы она не затоплялась водой при открытом затворе, т. е. выше самого высокого горизонта воды; это избавляет шарниры от засорения наносами, от обмерзания и повреждения ледоходом.

Величина радиуса обшивки затвора выбирается в пределах $(1,2 \div 1,5) h_3$, (где h_3 — высота затвора), при повышении оси шарниров радиус может увеличиваться до $(2 \div 2,5) h_3$.

Известную роль играет здесь и так называемая устойчивость затвора на пороге в закрытом состоянии, определяемая отношением суммы



Фиг. 17—49. Схема к расчету устойчивости сегментного затвора на пороге

¹ З. Ф. Ничипуренко, К вопросу о выборе типа затворов, временных преграждений и служебных мостов для водосливных отверстий плотин, «Известия НИИГ», вып. 30, 1941; см. также [25].

моментов (относительно оси вращения) сил, стремящихся закрыть затвор, к сумме моментов сил, стремящихся его открыть. Коэффициент устойчивости затвора на пороге равен (фиг. 17—49):

$$k_y = \frac{GR_G \cos \beta + W_1 l_1}{W_2 l_2 + W_2' R \cos \alpha_2}, \quad (17--31)$$

где G — вес затвора;
 W_1 и W_2 — горизонтальная и вертикальная составляющие давления воды на обшивку;
 W_2' — взвешивающее давление воды на брус уплотнения снизу;
 R — радиус обшивки затвора.

По ТУиН требуется, чтобы $k_y \geq 1,25$.

Для обеспечения достаточного против фильтрации прижатия бруса уплотнения к порогу плотины требуется, чтобы момент всех сил, действующих на затвор, был больше момента гидростатического давления W_2' на тот же брус примерно в 1,25 раза, т. е.

$$\frac{GR_G \cos \beta + W_1 l_1 - W_2' l_2 - W_2' R \cos \alpha_2}{W_2' R \cos \alpha_2} \geq 1,25. \quad (17-32)$$

5. Сравнение сегментного затвора с плоским

Перекрывая почти одинаковые по площади отверстия и имея примерно одинаковый вес, сегментный затвор обладает следующими преимуществами перед плоским:

- 1) значительно меньшее подъемное усилие и простота маневрирования;
- 2) возможность автоматического действия;
- 3) лучшая работа в зимних условиях (отсутствие обмерзающих колес, катков и пр., большая жесткость) и в условиях обильных наносов в реке;
- 4) меньшая толщина быков благодаря возможности обойтись без пазов или с пазами меньшей глубины и меньшая высота быков в случае подвеса затвора за нижний конец;
- 5) большая быстрота подъема.

Недостатки сегментного затвора по сравнению с плоским заключаются в следующем:

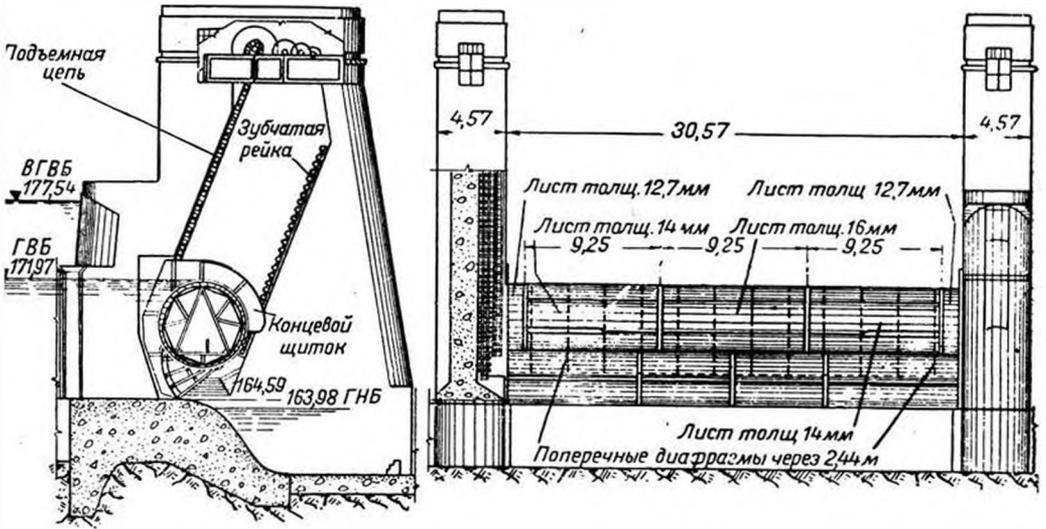
- 1) невозможность перестановки во время эксплуатации сегментных затворов из одного отверстия в другое, что иногда требуется (например, при использовании затворов в период строительства, при ремонте);
- 2) необходимость большей длины быков;
- 3) наличие распора в шарнирах, сказывающееся иногда на боковой устойчивости быков;
- 4) невозможность использования затворов как ремонтных или строительных.

В. ВАЛЬЦОВЫЕ ЗАТВОРЫ

§ 113. СХЕМА ЗАТВОРА И УСЛОВИЯ ЕГО РАБОТЫ

Вальцовым затвором называется подвижная полая трубчатая конструкция, перекрывающая водосливное отверстие, как двухпорная бал-

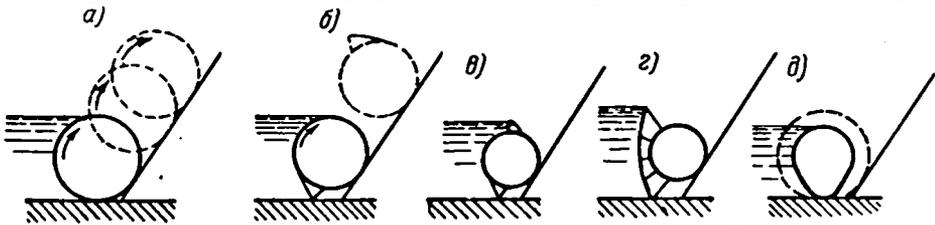
ка, и поднимаемая вверх путем перекачивания ее по наклонным путям на быках или устоях (фиг. 17—50 и 17—51).



Фиг. 17—50. Вальцовый затвор плотины

1. Типы вальцовых затворов

Первоначально вальцовые затворы представляли собой полые круглые цилиндры (фиг. 17—51,а), воспринимавшие давление воды непосредственно своей оболочкой. Ввиду неблагоприятных условий обтекания цилиндра при движении воды под ним и появления вакуума, а также для уменьшения вертикальной составляющей давления воды ци-



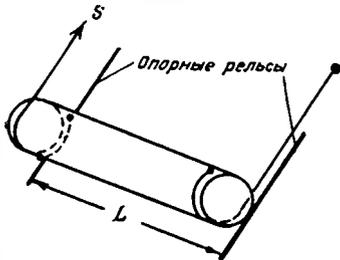
Фиг. 17—51. Типы вальцовых затворов

линдр стали снабжать нижним щитком (фиг. 17—51,б); для увеличения высоты затвора без увеличения его диаметра — верхним гребешком (фиг. 17—51,в). При дальнейшем росте высоты затвора появились конструкции затворов с передним козырьком (фиг. 17—51,г), в которых собственно цилиндр играет роль несущей балки, не воспринимая непосредственно на себя давления воды.

В последнее время несущая балка в виде кругового цилиндра стала иногда заменяться другими типами балок, более жесткими: оvoidальными цилиндрами (фиг. 17—51,д), коробчатыми или трехпоясными балками и т. п., которые сохранили от первоначального типа затвора лишь принцип движения — перекачивание. Для этого концы балок конструируются в виде круговых барабанов, которые могут перекачиваться по специальным путям на быках (устоях).

2. Способы движения затвора

Вальцовый затвор лежит на наклонных рельсах в пазах быков, причем он связан с опорой зубчатым зацеплением банджа затвора и зубчатой рейки на опоре. В любом положении затвор удерживается рабочей цепью S , закрепленной на одном (рабочем) конце вальца (фиг. 17—52).



Фиг. 17—52. Схема подъемных цепей вальцового затвора

К другому концу прикреплена вторая цепь, холостая, идущая в обратном направлении к площадке быка, где она закреплена. Вкатывание затвора производится при помощи одной рабочей цепи S , которая сматывается с затвора, в то время как холостая наматывается.

3. Анализ работы затвора

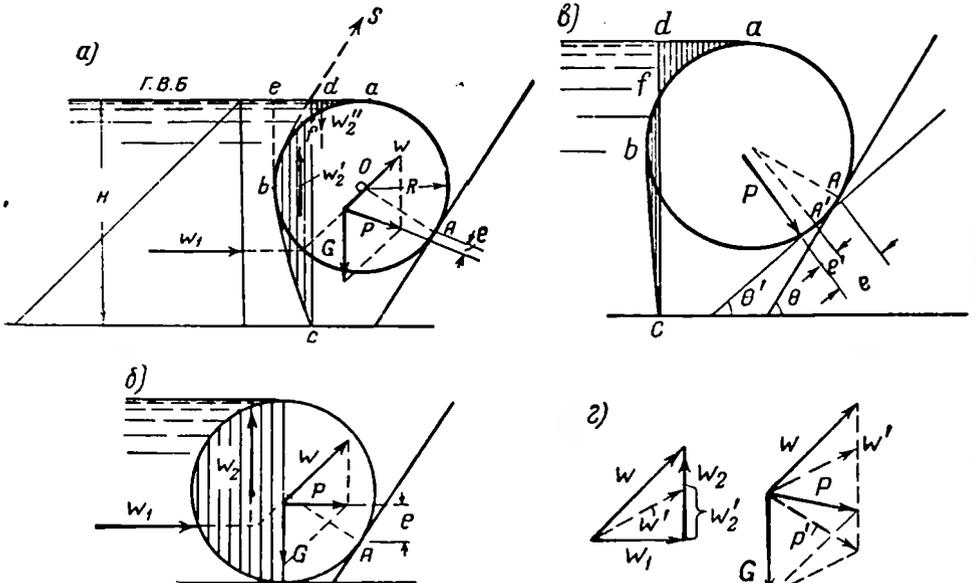
Основными силами, действующими на затвор, являются давление воды и собственный вес конструкции.

Давление воды W может быть представлено суммой двух составляющих (фиг. 17—53, а): горизонтальной W_1 и вертикальной W_2 , т. е.

$$W = \sqrt{W_1^2 + W_2^2}. \quad (17-33)$$

Горизонтальная составляющая

$$W_1 = 0,5 \gamma H^2 l. \quad (17-34)$$



Фиг. 17—53. Схемы к расчету силовых воздействий на вальцовый затвор в опущенном положении

Вертикальная составляющая определяется в общем случае путем построения эпюры давления воды на цилиндр сверху $adcbfa$ (фиг. 17—53, а), и снизу — $debcfd$; результирующее давление выражается разностью сил $W_2 = W_2' - W_2''$, где W_2' определяется площадью $b'c$, W_2'' — площадью adf . Для случая цилиндра без щитка (фиг. 17—53, б).

$$W_2 = \frac{1}{8} \gamma \pi H^2 l. \quad (17-34')$$

При наличии давления воды со стороны нижнего бьефа последнее определяется аналогичным же путем.

Полное давление воды на затвор W , будучи сложено с собственным весом затвора G , дает равнодействующую P (фиг. 17—53), направление которой пересечет путь вкатывания затвора ниже или выше точки A касания затвором рельса.

Усилие S для вкатывания затвора можно определить из уравнения моментов, пренебрегая трением качения и предполагая направление S параллельным пути вкатывания (фиг. 17—53,а):

$$S \cdot 2R = Pe \text{ и } S = P \frac{e}{2R}. \quad (17-35)$$

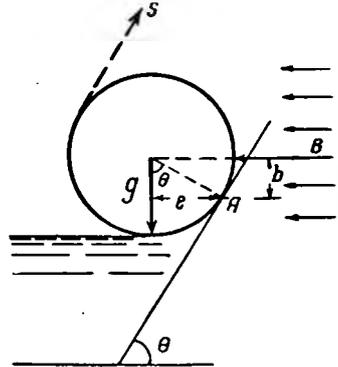
Из формулы (17—35) видно, что усилие S всегда меньше веса затвора G . В этом отношении вальцовый затвор имеет преимущество перед сегментным и тем более плоским.

При известных соотношениях сил G и W плечо e силы P может быть равно нулю и даже стать отрицательным (например, на фиг. 17—53,б), т. е. затвор будет сам вкатываться.

На это влияют направление и величина силы W , зависящие для данной высоты затвора от вертикальной составляющей W_2 : при уменьшении последней, например, при изменении формы щитка (фиг. 17—53,в), равнодействующая P' пройдет ниже P (фиг. 17—53,г), следовательно, дальше от точки касания A , плечо e возрастет.

Влияет также и положение точки A , которое зависит от угла θ наклона к горизонту пути вкатывания (фиг. 17—53,в): при уменьшении угла θ до θ' точка A передвигается вниз в положение A' . Следовательно, если равнодействующая P давала момент, сопротивляющийся вкатыванию Pe , то последний изменится в Pe' , т. е. станет меньше, так как $e' < e$.

При разных положениях затвора во время подъема меняется величина W и ее направление, в соответствии с чем будет изменяться и сила P , на которую рассчитывается прочность затвора как балки, и подъемное усилие S , на которое рассчитывают подъемные устройства. Поэтому анализ, подобный приведенному выше, делается для разных положений затвора и расчетным принимается наиболее невыгодный случай. В частности необходимо проверить случай, когда затвор выйдет из воды (фиг. 17—54); в этом положении



Фиг. 17—54. Схема к расчету силовых воздействий на вальцовый затвор в поднятом выше воды положении

$$S \cdot 2R = Ge = GR \sin \theta$$

$$S = G \frac{\sin \theta}{2}. \quad (17-36)$$

В случае сильного ветра, действующего на затвор, когда он поднят выше горизонта воды верхнего бьефа (фиг. 17—54), условие равновесия затвора будет:

$$S \cdot 2R = GR \sin \theta + Bb \text{ и } S = G \frac{\sin \theta}{2} + B \frac{b}{2R}, \quad (17-37)$$

т. е. тяговое усилие увеличивается. При этом, если $B \sin \theta > G \cos \theta$, затвор может отделиться от рельсов и при порывах ветра будет бить по ним, что недопустимо. Во избежание этого надо уменьшить угол θ и установить в пазах ограничители — роликки.

4. Вес вальцового затвора

Для предварительных расчетов вес вальцового затвора можно определять по формуле А. Р. Березинского:

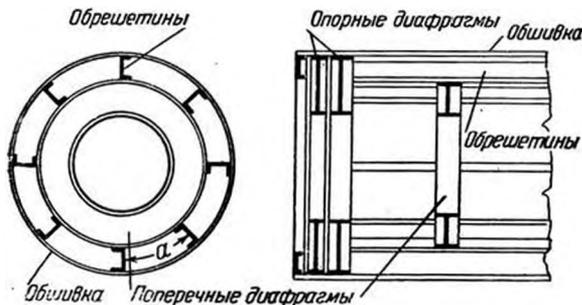
$$G = 0,5F + 0,02F\sqrt{F}\tau, \quad (17-38)$$

где F — площадь перекрываемого затвором отверстия в m^2 .

§ 114. КОНСТРУКЦИЯ ЗАТВОРА И РАСЧЕТЫ

1. Конструктивная схема вальца

Вальцовые затворы выполняются из стали; имевшиеся предложения о конструировании их из дерева и железобетона не нашли осуществления. Цилиндр стального вальцового затвора состоит из обшивки толщиной 10—16 мм, прикрепленной к продольным обрешетинам в виде швеллеров № 12—20. Число последних бывает 8—12 и более при расстоянии друг от друга $a = 0,6 \div 1$ м (фиг. 17—55). Жесткость и неизменяемость конструкции обеспечивается поперечными диафрагмами, представляющими собой жесткие кольца из швеллеров или двутавров либо плоские решетки на расстоянии 1,5—1,8 м друг от друга. На опорах вальца диафрагмы усиливаются для восприятия перерезывающей силы.



Фиг. 17—55. Конструктивная схема вальцового затвора

Цилиндр затвора работает, как балка, свободно лежащая на двух опорах. Напряжения от изгиба этой балки воспринимаются обшивкой и обрешетинами; обшивка получает еще дополнительные напряжения от местного изгиба ее давлением воды, как пластинки на обрешетинах. Эти напряжения отсутствуют в части цилиндра, не соприкасающейся с водой, т. е. находящейся за щитком, и в цилиндрах с передним козырьком (за исключением случая высокого стояния уровня нижнего бьефа — выше порога водослива).

Цилиндр затвора работает, как балка, свободно лежащая на двух

опорах. Напряжения от изгиба этой балки воспринимаются обшивкой и обрешетинами; обшивка получает еще дополнительные напряжения от местного изгиба ее давлением воды, как пластинки на обрешетинах. Эти напряжения отсутствуют в части цилиндра, не соприкасающейся с водой, т. е. находящейся за щитком, и в цилиндрах с передним козырьком (за исключением случая высокого стояния уровня нижнего бьефа — выше порога водослива).

2. Расчет обшивки и обрешетин

а) Общий изгиб вальца. Обшивка и обрешетины подвержены равномерно распределенному давлению $\frac{P}{l}$ (см. § 113, п. 3).

Наибольшее напряжение изгиба цилиндра радиусом R , как балки:

$$\sigma = \frac{M_{\max} R}{I}, \quad (17-39)$$

где $M_{\max} = \frac{Pl}{8}$;

I — момент инерции, равный

$$I = \frac{1}{2} I_{\text{пол}} = \pi \delta R^3.$$

В последнем выражении δ — расчетная толщина обшивки, учитывающая как действительную толщину листов обшивки δ_0 , так и приведенную толщину швеллеров обрешетин $\delta_{\text{ш}}$ и запас на ржавление $\delta_{\text{р}}$ (не менее 1 мм):

$$\delta = \delta_0 + \delta_{\text{ш}} - \delta_{\text{р}}. \quad (17-40)$$

Величина $\delta_{\text{ш}}$ определяется из следующих соотношений. Полярный момент инерции I швеллеров относительно центра O равен (фиг. 17—56)

$$I_{\text{пол}} = n \omega_{\text{ш}} R_{\text{ш}}^2.$$

Тогда

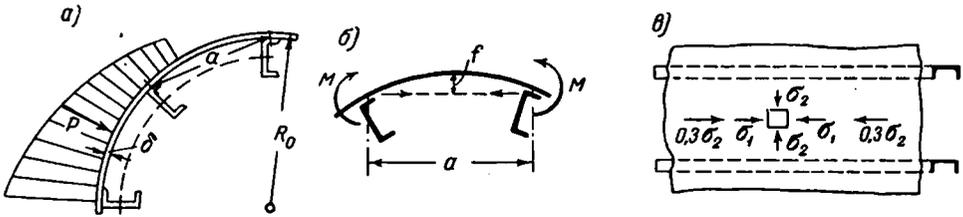
$$I = \frac{1}{2} I_{\text{пол}} = \frac{1}{2} n \omega_{\text{ш}} R_{\text{ш}}^2 = \pi \delta_{\text{ш}} R^3,$$

где $\delta_{\text{ш}}$ — толщина обшивки, эквивалентной швеллерам;
 $\pi \delta_{\text{ш}} R^3$ — ее момент инерции.

Отсюда

$$\delta_{\text{ш}} = \frac{n \omega_{\text{ш}} R_{\text{ш}}^2}{2 \pi R^3} = \frac{\omega_{\text{ш}} R_{\text{ш}}^2}{a R^2}, \quad (17-41)$$

где a — шаг швеллеров, $a = \frac{2 \pi R}{n}$.



Фиг. 17-56. Схемы к расчету обшивки вальцового затвора

Таким образом, наибольшее напряжение будет равно:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\text{макс}} R}{I} = \frac{M_{\text{макс}}}{\pi (\delta_0 + \delta_{\text{ш}} - \delta_p) R^2}. \quad (17-42)$$

Отсюда, зная $\delta_{\text{ш}}$ и беря запас на ржавление $\delta_p = 1 \div 2$ мм, можно вычислить толщину обшивки δ_0 . Толщина эта — наибольшая в середине пролета, к опорам она убывает в соответствии с уменьшением изгибающего момента M ; независимо от расчета толщина обшивки принимается не меньше 8—10 мм.

Наибольшее скалывающее напряжение определяется общезвестными способами:

$$\tau_{1\text{макс}} = \frac{QS}{lb}.$$

В этой формуле $Q = \frac{P}{2}$ наибольшая перерезывающая сила на опоре, равная опорной реакции от нагрузки вальца P .

б) Местный изгиб. Обшивка, подвергаясь непосредственному давлению воды, испытывает местный изгиб, как пластинка, лежащая на обрешетках, от нагрузки, которую можно принимать равномерно распределенной с интенсивностью p (фиг. 17-56, а).

Если стрела подъема обшивки f (фиг. 17-56, б) невелика, расчет обшивки можно вести, как плоской пластинки. Если же $f : a > 0,05$, что имеет место при числе обрешетин $n < 16$, то обшивку рассчитывают приближенно, как пологую параболическую арку с заделанными пятнами.

в) Суммарные напряжения в обшивке. Напряжения местного изгиба σ_2 действуют по площадкам (фиг. 17-56, в), нормальным к тем, на которые действуют напряжения общего изгиба σ_1 . Но на последних площадках возникают нормальные напряжения, сопряженные с σ_2 того же знака и равные $\eta \sigma_2$, где η — коэффициент Пуассона, равный для стали 0,3. Таким образом, суммарные нормальные напряжения в обшивке будут равны:

$$\sigma = \sigma_1 \pm \eta \sigma_2 = \sigma_1 \pm 0,3 \sigma_2. \quad (17-43)$$

Главные касательные напряжения будут:

$$\tau = 0,5 [(\sigma_1 \pm 0,3 \sigma_2) \mp \sigma_2]. \quad (17-44)$$

г) Напряжения от скручивания вальца имеют значение ввиду того, что подъем затвора производится за один конец.

Наибольший крутящий момент (на рабочем конце вальца)

$$M_{кр} = SR_1 + TR_2, \quad (17-45)$$

где S — усилие для подъема затвора;
 T — касательная составляющая реакции опоры (см. ниже);
 R_1 и R_2 — соответственно радиусы точки прикрепления тяговой цепи и поверхности катания цилиндра.

Касательные напряжения от скручивания равны:

$$\tau_2 = \frac{M_{кр} R}{I_{пол}}. \quad (17-46)$$

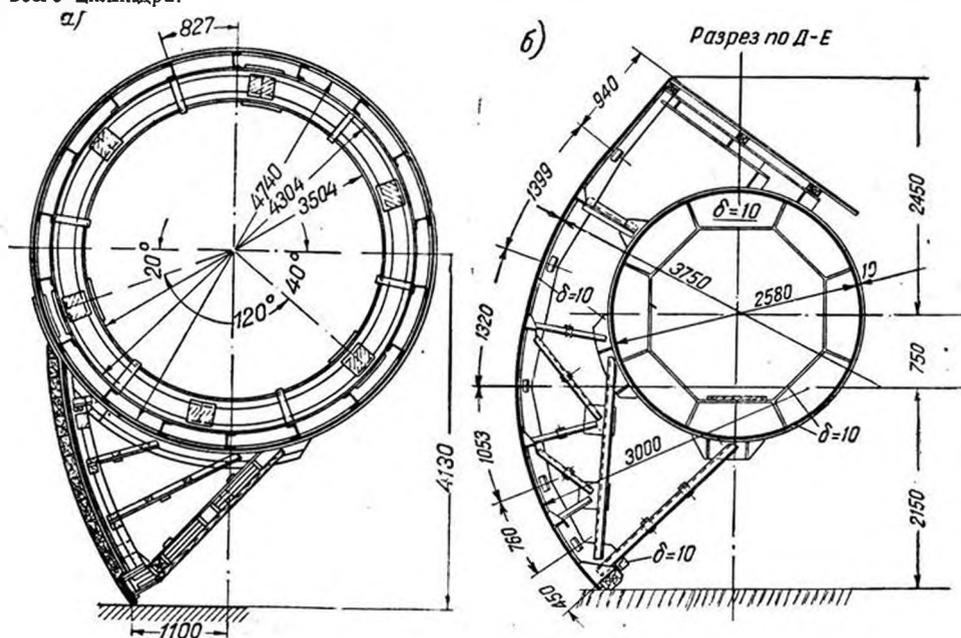
Напряжения τ_2 составляют не более 6% от основных нормальных напряжений σ , и поэтому обычно в расчетах могут не учитываться.

д) Обрешетки рассчитываются на общий изгиб вместе с обшивкой и на местный изгиб под непосредственным давлением воды, как балки, опирающиеся на диафрагмы; при последнем расчете в расчетное сечение вводится не только поперечное сечение швеллера, но и часть обшивки на длину $4\delta_0$ с каждой стороны швеллера, где δ_0 — толщина обшивки.

е) Расчет обшивки щитка или козырька производится аналогично расчету обшивки сегментного затвора.

3. Расчет диафрагм

Решетчатые диафрагмы (см. фиг. 17—50) рассчитываются, как сквозные фермы, на сжатие от гидростатической нагрузки, передаваемой обрешетинами. Кольцевые диафрагмы (фиг. 17—57) можно приближенно считать как бы подверженными действию двух равных и противоположно направленных радиальных сил P_d , представляющих гидростатическую нагрузку на цилиндр в пределах одного пролета между диафрагмами, а для опорных диафрагм — нормальную составляющую реакции опоры для всего цилиндра.



Фиг. 17—57. Конструкции вальцов с кольцевыми диафрагмами

4. Замечания по конструкциям

В дополнение к сказанному в п. 1 необходимо отметить следующее.

Обшивка выполняется из листовой стали стандартных размеров, поэтому в ней неизбежны швы поперечные и продольные.

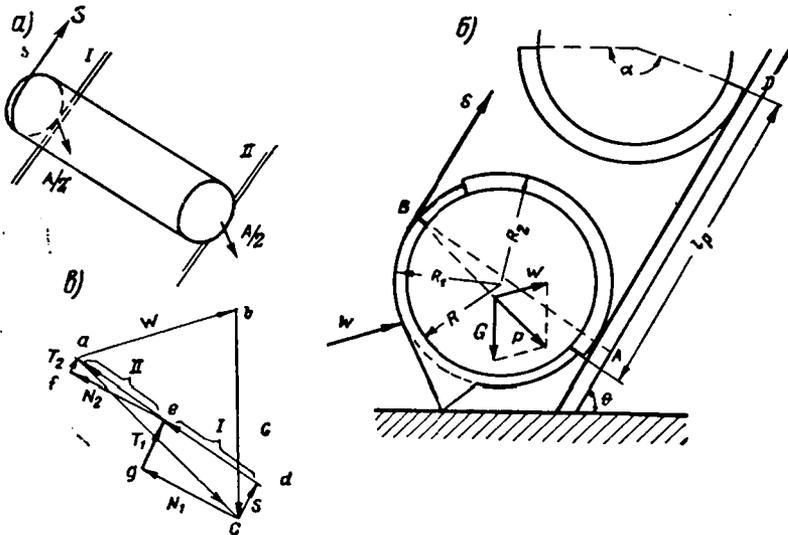
Обшивка прикрепляется к обрешетинам, которые обычно лежат на диафрагмах (фиг. 17—57,а), в сварных затворах обрешетины разрезаны в местах прикрепления к кольцевым диафрагмам (фиг. 17—57.б), так что обшивка может привариваться и к обрешетинам, и к кольцам диафрагм.

§ 115. ОПОРНЫЕ ЧАСТИ, УПЛОТНЕНИЯ И ПОДЪЕМНОЕ УСИЛИЕ

1. Опорные реакции

Проще всего и нагляднее величину реакций определять графически (фиг. 17—58).

Пусть вальцовый затвор опирается на две опоры I и II, причем на опоре I действует тяговое усилие S, направление которого показано на чертеже.



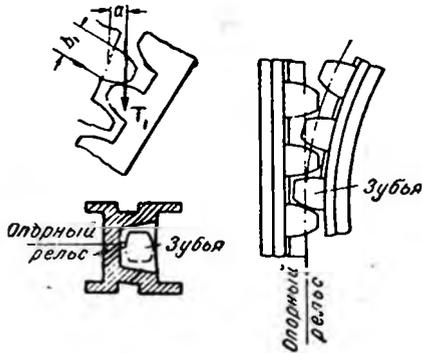
Фиг. 17—58. Схема к определению опорных реакций вальцового затвора

Полное давление воды W и вес затвора G в сумме дают равнодействующую $P = \overline{ac}$ (фиг. 17—58,б, в), которая должна уравновеситься в момент покоя тяговым усилием S и реакцией A двух опор затвора. Для определения величин S и A продолжаем направление силы P до встречи с направлением S в точке B (фиг. 17—58,б); реакция A должна из условия равновесия пройти через точку B и через точку опоры A (линия BA). Зная направления A и S , проводим на многоугольнике сил (фиг. 17—58,в) $cd \parallel BS$ и $ad \parallel BA$ и получаем величины сил $S = \overline{cd}$ и $A = \overline{ad}$.

Реакция A возникает на обеих опорах и на каждой опоре равна $0,5 A = \overline{ed} = \overline{ea}$. На холостой опоре реакция $\frac{A}{2}$ может быть представлена нормальной составляющей N_2 и касательной T_2 , величины которых определяются из фиг. 17—58,в путем проведения af параллельно пути вкатывания AD и $ef \perp af$; таким образом, $N_2 = \overline{ef}$ и $T_2 = \overline{af}$. На рабочей опоре полная реакция равна геометрической сумме сил $\frac{A}{2}$ и S , поэтому составляющие полной реакции получаются построением (фиг. 17—58,в) $eg \perp AD$ и $cg \perp eg$; тогда $N_1 = \overline{cg}$ и $T_1 = \overline{eg}$.

2. Опорные части затвора

Реакции опор реализуются следующим образом: нормальная составляющая воспринимается стальным рельсом быка, по которому перекатывается стальной бандаж затвора; касательная составляющая воспринимается зубцами рейки, уложенной на опоре, и зубцами зубчатой дуги затвора (фиг. 17—59). И рельс, и зубцы составляют одно целое, как и стальной бандаж с зубцами на опорном конце затвора.

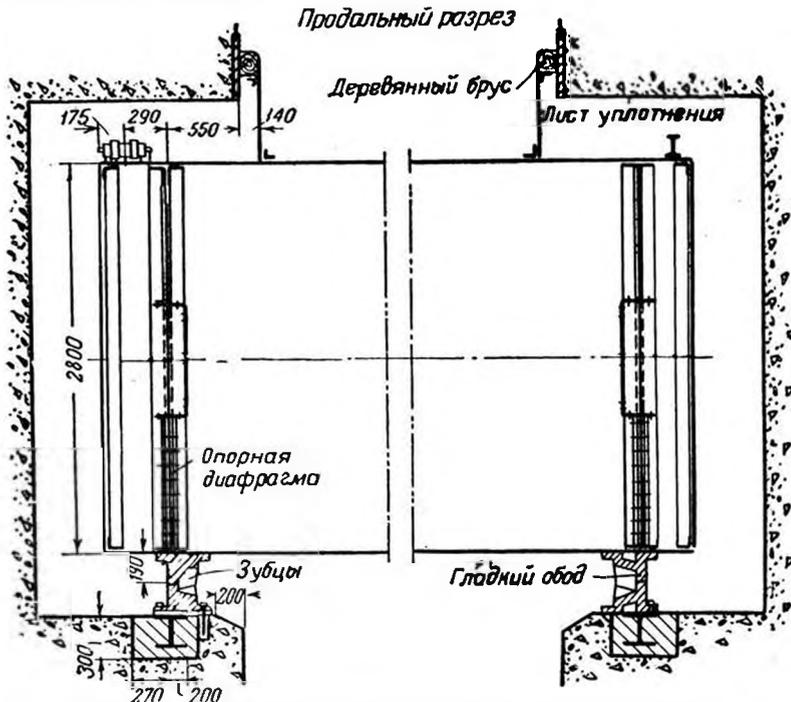


Фиг. 17—59. Опорные части вальцового затвора

Размеры зубца рейки или дуги определяются по работе его на изгиб наибольшим усилием T_{\max} на опоре (T_1):

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6T_{\max} a}{cb_1^2}, \quad (17-48)$$

где a — плечо силы T_{\max} ;
 b_1 — ширина зуба по основанию его (фиг. 17—59);
 c — толщина зуба там же.



Фиг. 17—60. Опорные части и уплотнения вальцовых затворов

Общий вид концевой части затвора с бандажем и диафрагмой, служащими для передачи давления от затвора на опору, приведен на фиг. 17—55 и 17—60. Опорная диафрагма имеет более мощную конструкцию, чем диафрагмы в пролете.

Угол наклона рейки θ берется около 70° , как наиболее целесообразный по минимальному подъемному усилию и устойчивости затвора в нижнем его положении.

3. Подъемное усилие

Подъемное усилие составляется из силы S_1 , необходимой для преодоления момента, создаваемого равнодействующей P давления воды и веса затвора, и моментов, вызываемых трением в уплотнениях, трением качения цилиндра и трением в зубцах опорных реек.

При уточнении формулы (17—35) необходимо учесть, что радиус точки прикрепления тяговой цепи R_1 больше радиуса затвора, как и радиус поверхности качения R_2 (фиг. 17—58,б). Поэтому усилие S_1 будет иметь такое выражение:

$$S_1 = P \frac{e}{R_1 + R_2}. \quad (17-49)$$

Усилие для преодоления трения в уплотнениях (того же типа, что и в сегментах) при ширине листа уплотнения b равно:

$$T_y \approx f_1 H^2 b \frac{b + R + R_2}{R_1 + R_2}. \quad (17-50)$$

Усилие для преодоления трения качения

$$T_k \approx \frac{f_1 (N_1 + N_2)}{R_1 + R_2}. \quad (17-51)$$

Усилие от трения в зубцах реек

$$T_3 = \frac{f(T_1 + T_2)z}{R_1 + R_2}. \quad (17-52)$$

где $N_1 + N_2$ и $T_1 + T_2$ — составляющие полных реакций опор (фиг. 17—58,б);

z — плечо силы трения скольжения относительно мгновенного центра вращения A .

Таким образом, полная величина подъемного усилия равна:

$$S = K(S_1 + T_y + T_k + T_3), \quad (17-53)$$

где K — коэффициент запаса на неучитываемые сопротивления, равный 1,2—1,4.

Подъемное усилие определяется для различных положений затвора, и максимальное его значение принимается за расчетное.

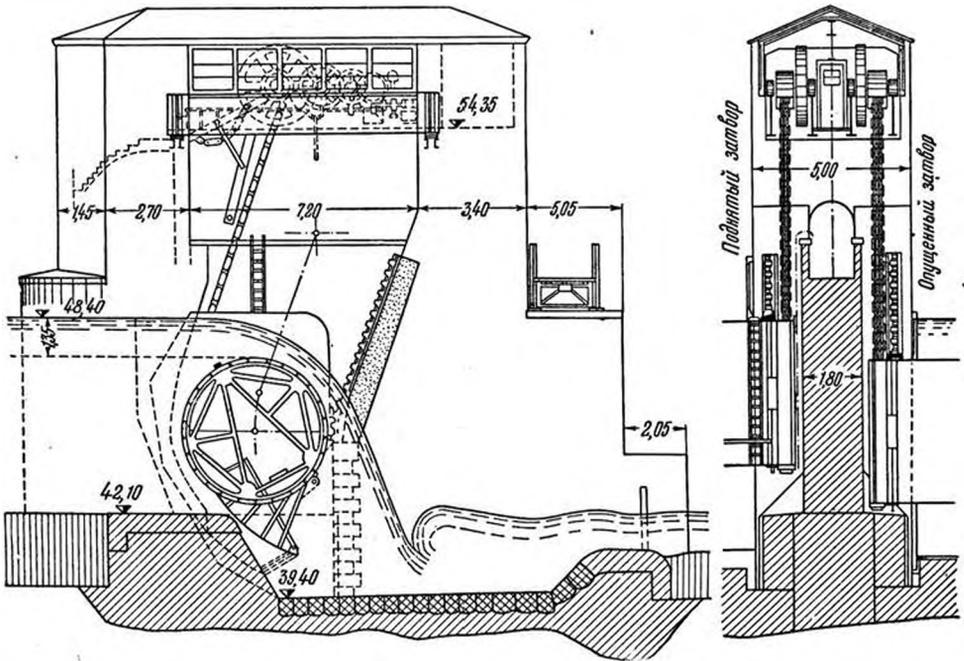
Следует отметить, что усилия T_k и T_3 весьма невелики и ими можно пренебрегать.

§ 116. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВАЛЬЦОВЫХ ЗАТВОРОВ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАЛЬЦОВЫХ ЗАТВОРОВ

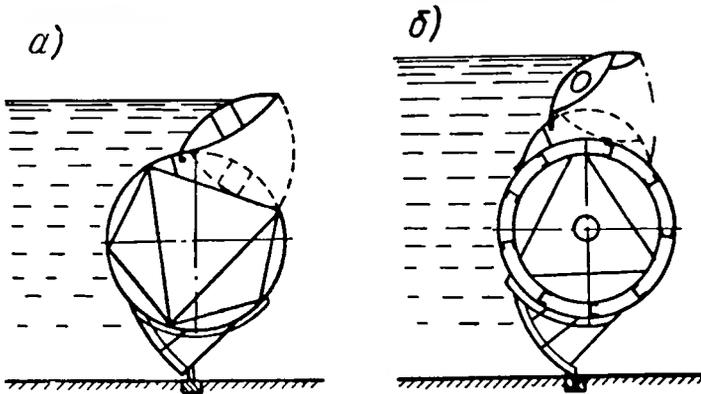
1. Особые конструкции вальцовых затворов

а) Частично опускаемые затворы дают возможность сброса льда и плавающих тел поверх затвора без излишнего расходования воды из верхнего бьефа. Устраиваются они по типу затворов с нижним щитком; опорная рейка на быках делается в нижней части криволинейной (фиг. 17—61), предел опускания обычно 1—1,5 м.

В таких затворах сложным является устройство водонепроницаемого донного уплотнения. Существует ряд конструкций этого уплотнения: гидравлического типа, где брус уплотнения прижимается к флютбету давлением воды верхнего бьефа, или механического типа, где брус уплотнения прижимается особой пружиной, усилие в которой можно регулировать изнутри затвора. Но все же уплотнения эти являются слабым местом таких затворов.



Фиг. 17—61. Частично опускаемый вальцовый затвор



Фиг. 17—62. Типы вальцовых затворов с клапанами

а — клапан кругового очертания; б — клапан безвакуумного очертания

б) Затворы с клапанами более конструктивны, чем опускаемые затворы. Наилучшими являются клапаны обтекаемой формы, как, например, показанные на фиг. 17—62. В гидравлическом отношении клапан по фиг. 17—62, б предпочтительнее, но конструктивно он тяжелее. Клапаны удорожают затвор на 20—30%, и такие затворы менее распространены, чем другие типы.

в) Автоматически вкатывающиеся вальцовые затворы впервые получили распространение в СССР, где на Дзюрагетской гидроустановке осуществлен оригинальный затвор по проекту проф. В. Г. Гебель. Формы затвора и криволинейного пути вкатывания так подобраны, что при увеличении расхода воды и повы-

шении горизонта воды верхнего бьефа, а следовательно, и давления воды на затвор, он начинает вкатываться, открывая отверстие для пропуска паводка (фиг. 17—63). Опорные рельсы имеют вогнутое очертание внизу, с малым углом наклона θ к горизонту для облегчения самовкатывания затвора.

2. Указания по проектированию вальцовых затворов

Основные размеры вальца, в частности диаметр цилиндра, назначают предварительно, исходя из конструктивных соотношений $D:l \approx 1:8$ (для пролетов до 40 м) и $D \approx 2 \sqrt{h_3}$ (для $h_3 > 6$ м), где h_3 — высота затвора. Эти данные выведены из практики и являются первым приближением при проектировании.

Уточнение величины D делается путем сопоставления ряда вариантов, из которых выбирается наиболее экономичный.

Практика показывает, что обычно диаметр вальца находится в пределах 4—4,5 м, иногда увеличиваясь до 5—6 м.

Высота щитка назначается обычно в пределах 0,5—1,5 м, форма его подбирается так, чтобы получить наиболее благоприятную величину вертикальной составляющей давления воды (§ 113) в отношении подъемного усилия и вместе с тем обеспечения достаточной устойчивости затвора в нижнем положении его на пороге. Последняя определяется коэффициентом

$$k_y = \frac{W_1 b_1 + G b_1}{W_2 b_2 + W_y b_3} > 1,25, \quad (17-54)$$

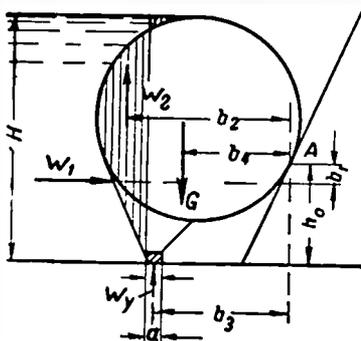
где все обозначения ясны из фиг. 17—64 и предыдущего, а W_y — гидростатическое давление на брус уплотнения снизу, равное

$$W_y = \gamma H a l.$$

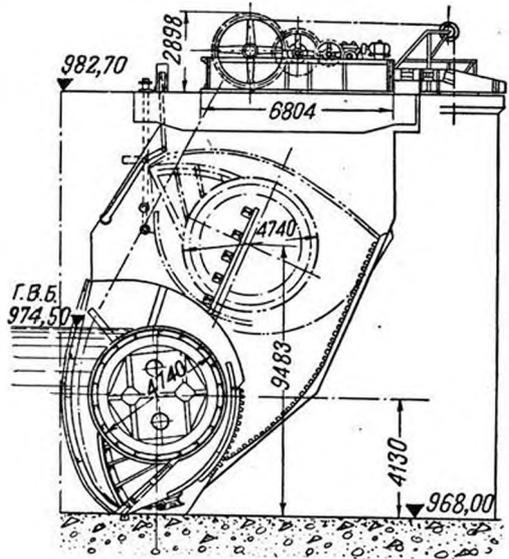
Достаточность прижатия бруса уплотнения к порогу определяется требованием, чтобы

$$k_1 = \frac{W_1 b_1 + G b_1 - W_2 b_2 - W_y b_3}{W_y b_3} > 1,25. \quad (17-55)$$

Влияющая на устойчивость затвора высота h_0 точки касания цилиндра A (фиг. 17—64) над порогом задается по возможности больше $\frac{1}{3}H$.



Фиг. 17—64. Схема к расчету устойчивости вальцового затвора



Фиг. 17—63. Автоматически вкатывающийся вальцовый затвор

Ниши в быках или устоях для помещения опорных частей должны иметь значительную глубину в зависимости от пролета, а именно, 1,5—2 м. Расчетный пролет вальца на изгиб обычно примерно на 1 м больше пролета в свету, а общая длина затвора больше пролета в свету на 2—2,5 м. В связи с этим быки должны иметь толщину не менее 4—5 м.

3. Сравнение вальцового затвора с плоским и сегментным

Область применения вальцовых затворов характеризуется графиком на фиг. 17—48 (кривая 2), составленным по данным об осуществленных затворах.

Пролеты отверстий, перекрываемых вальцами, достигают 45—50 м, но они могут быть и больше — до 50—60 м, высота затворов доходит до 9 м и при малых пролетах до 13 м, а общая перекрываемая площадь отверстия достигает 300—440 м², т. е. больше площади, перекрываемой плоскими и сегментными затворами.

Вальцовые затворы отличаются большой жесткостью и относительно небольшим подъемным усилием, поэтому они могут с успехом применяться в условиях весьма суровой зимы и на реках, влекущих значительное количество наносов; затворы эти без особого вреда для себя воспринимают удары плавающих тел.

Зато вес вальцовых затворов и стоимость их значительно выше, чем плоских и сегментных; изготовление этих затворов сопряжено с серьезными техническими трудностями, равно как и монтаж их на плотине.

Быки для вальцовых затворов превосходят по своим размерам (толщине, длине, высоте) и по стоимости быки сегментных и плоских затворов.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

ЗАТВОРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТВЕРСТИЙ, ПЕРЕДАЮЩИЕ ДАВЛЕНИЕ ВОДЫ НА ПОРОГ ОТВЕРСТИЯ

Для затворов, передающих давление воды на порог, характерны следующие свойства:

1) они не подвергаются изгибу от собственного веса и давления воды, как балки, лежащие на быках, вследствие чего они конструктивно получаются легче;

2) они могут перекрывать значительные пролеты; вес затворов зависит главным образом от их высоты, но не от пролета;

3) затворы открывают отверстие, опускаясь на порог или в особую нишу в нем.

Все затворы, передающие давление на порог, могут быть разделены на две характерные группы:

1) затворы, вращающиеся на одной или двух горизонтальных осях, направленных параллельно оси плотины и нормально потоку (секторные, крышевидные, клапанные затворы); большую часть этих затворов можно приводить в действие гидравлически, т. е. давлением воды, и они могут работать автоматически;

2) затворы, вращающиеся на горизонтальных осях, нормальных оси плотины и параллельных движению потока в отверстии (затворы с поворотными фермами и рамами).

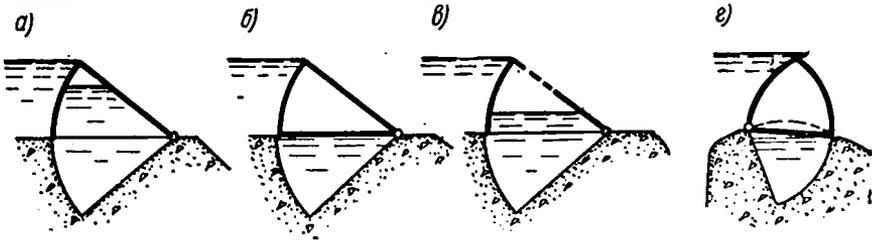
§ 117. СЕКТОРНЫЕ ЗАТВОРЫ

1. Общая схема и типы затворов

Секторными называются затворы, имеющие поперечное сечение в виде сектора с обшивкой или по двум сторонам, или по всем трем его граням и закрепляемые на пороге плотины на горизонтальной оси, вращаясь вокруг которой они могут частично и полностью опускаться в специальную нишу.

Ось вращения затвора находится или с нижней стороны его (фиг. 18—1,а, б, в), или с верхней (фиг. 18—1,г). И в том, и другом случае (за исключением типа, изображенного на фиг. 18—1,в) затвор

находится в равновесии или может быть выведен из него в новое положение благодаря давлению воды, заполняющей нишу в пороге плотины, называемую камерой давления. Давление воды в этой камере может изменяться от величины, соответствующей уровню верхнего бьефа, до соответствующей уровню нижнего бьефа или до нуля, что позволяет устанавливать затвор в желательном положении.

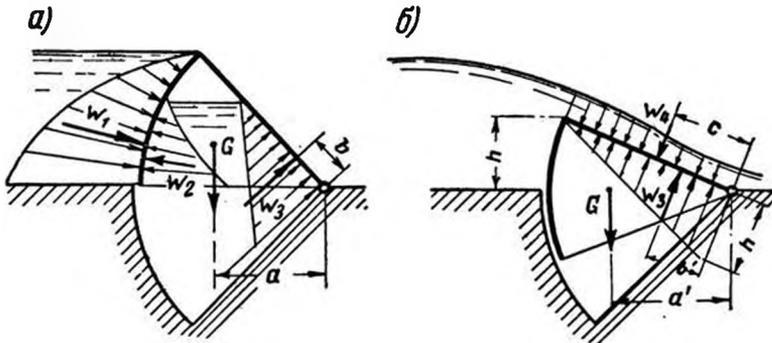


Фиг. 18—1. Схемы секторных затворов

Затворы, имеющие обшивку со всех сторон (фиг. 18—1, б, г), называются поплавковыми, так как находящийся внутри их воздух сообщает им пловучесть. Затворы, имеющие обшивку лишь по двум их краям, называются тонущими (фиг. 18—1, а, в). Затвор типа, изображенного на фиг. 18—1, в, имеет полную обшивку с напорной стороны, а по низовой грани—лишь частичную, т. е. проникаем для переливающейся через него воды. Этот затвор является затвором полугидравлического действия, требующим наличия механизмов для маневрирования им.

2. Затворы с низовой осью вращения

Картина силовых воздействий на такие затворы представляется в следующем виде.



Фиг. 18—2. Схемы силовых воздействий на секторный тонущий затвор

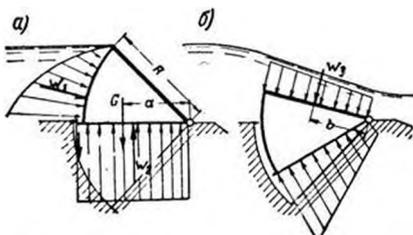
а) На тонущий затвор (фиг. 18—2, а) в верхнем положении действуют силы: давление воды на напорную грань со стороны верхнего бьефа W_1 , давление воды на напорную грань изнутри затвора в зависимости от положения горизонта воды внутри затвора W_2 , давление воды на низовую грань изнутри затвора W_3 , собственный вес затвора G и сила трения f ($W_1 - W_2$) в шарнирах оси радиусом r .

Условие предельного равновесия, за которым начинается опускание затвора, заключается в том, чтобы

$$Ga - f(W_1 - W_2)r = W_3b. \quad (18-1)$$

Снижение горизонта воды в камере давления и под затвором уменьшает W_3 , и равенство (18-1) нарушается, затвор опустится. Переливающаяся через затвор вода будет оказывать давление W_4 на низовую грань затвора (фиг. 18-2,б); при этом давления W_1 и W_2 (на фиг. 18-2,б не показаны) изменятся, уменьшатся до значений W'_1 и W'_2 , а величина W_3 станет равной W'_3 , удовлетворяющей уравнению:

$$Ga' + W_4c - f(W'_1 - W'_2)r = W'_3b'. \quad (18-2)$$



Фиг. 18—3. Схема силовых воздействий на секторный поплачковый затвор

Таким образом, впуская в камеру давления воду из верхнего бьефа и выпуская ее, можно регулировать положение затвора и пропускать тот или иной расход воды поверх него. При этом регулирование может вестись с пуском воздуха внутрь затвора или без этого с созданием там некоторого вакуума.

Подъем затвора из низшего положения требует наличия некоторого перепада на водосливе; если этого недостаточно, применяют впуск в камеру сжатого воздуха или нагнетание воды.

б) Поплачковый затвор находится в нескольких иных условиях равновесия; в верхнем положении его (фиг. 18-3,а) необходимо соблюдение равенства:

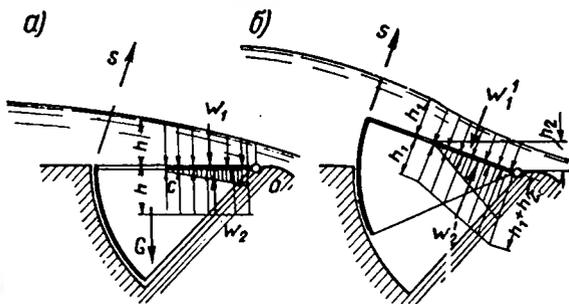
$$Ga - fW_1r = W_2 \frac{R}{2}, \quad (18-3)$$

что всегда имеет место, затвор плавает, и даже требуется удержание его в верхнем положении особым устройством. Это же обстоятельство создает благоприятные условия для применения тяжелых железобетонных секторных затворов данного типа, осуществленных на некоторых плотинах (Камараса, Кулидж и др.).

В случае перелива воды через затвор часть воды из камеры давления выпускается, соотношение сил несколько меняется, как показано на фиг. 18-3,б.

Подъем затвора из низшего положения осуществляется пуском воды из верхнего бьефа в камеру давления.

в) Полугидравлический затвор (фиг. 18-1,в), который поднимается, вообще говоря, механическим путем, имеет лишь то положительное свойство, что усилие для подъема несколько уменьшается



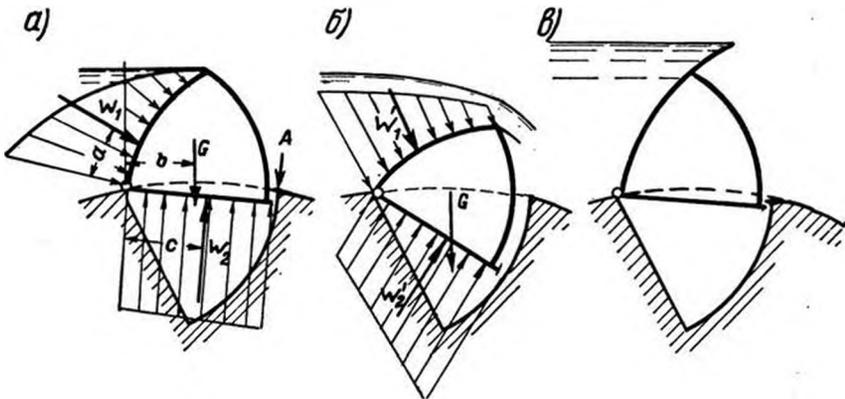
Фиг. 18—4. Схема силовых воздействий на секторный полугидравлический затвор

за счет некоторого гидравлического действия. Так, в нижнем положении затвора при переливе воды через водослив возникает давление воды снизу на обшивку, которая закрывает часть низовой грани CO (фиг. 18—4,а) в виде разности давлений, выражаемой разностью эпюр W_2 и W_1 (разностная эпюра заштрихована); давление $W_2—W_1$ уменьшает тяговое усилие подъемного механизма. При дальнейшем подъеме эта разгрузка становится еще ощутительнее (фиг. 18—4,б), будучи выражена силой $W_2'—W_1'$.

При опускании затвора указанное гидравлическое действие создает как бы торможение затвора.

3. Затворы с верховой осью вращения

Такие затворы (фиг. 18—1,з), весьма распространенные в США и известные там под названием «драм-гейт», т. е. барабанных затворов, являются поплавковыми затворами; напорная грань их очерчивается по



Фиг. 18—5. Схема силовых воздействий на секторный поплавокый затвор с верховой осью вращения

кривой, образующей при нижнем положении затвора и открытом отверстии отбегаемую безвакуумную грань водослива.

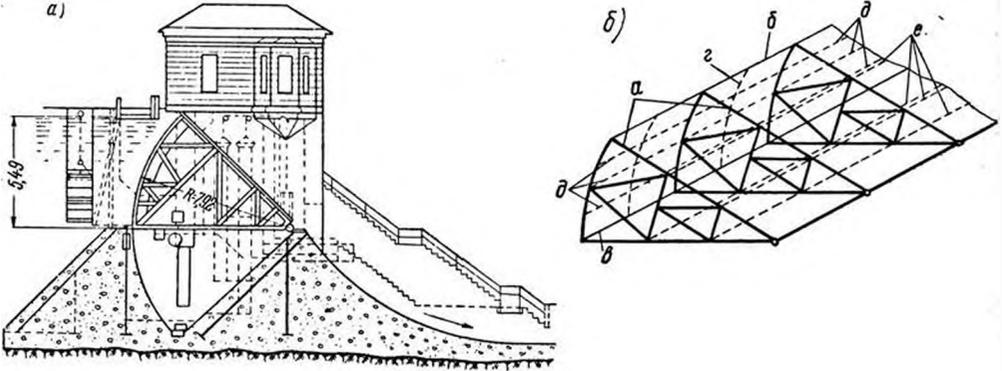
Условия равновесия этого затвора аналогичны условиям равновесия поплавкового затвора с низовой осью вращения; отличие состоит в том, что давление воды верхнего бьефа W_1 создает момент, стремящийся закрыть затвор (фиг. 18—5,а); но давление на затвор снизу настолько велико, что затвор приходится удерживать от выпирания реакцией A . Для уменьшения этой реакции в последнее время применяют затвор с козырьком (фиг. 18—5,в), увеличивающим момент усилия W_1 при том же моменте силы W_2 . Характер действия сил в промежуточном положении показан на фиг. 18—5,б.

4. Конструкция затворов с низовой осью вращения

Секторные затворы устраиваются стальными и железобетонными; последние — обычно поплавкового типа.

Остов стального затвора состоит из поперечных вертикальных ферм-диафрагм a (фиг. 18—6,б), шарнирно закрепленных на пороге и соединенных между собой продольными балками обвязки b и $в$; расстояние между диафрагмами 1,3—3 м. Для уменьшения размера клеток обшивки напорная грань заполняется еще промежуточными стойками $г$

(фиг. 18—6,б) и горизонтальными балками *д*, а остальные грани — обрешетинами *е*. Связи располагаются в плоскостях радиальных граней и в плоскостях, нормальных поперечным фермам и биссектрисам секторов. Обшивка делается из листовой стали, причем по радиальной водосливной грани защищается обычно деревянным настилом от ударов льда и плавающих тел.



Фиг. 18—6. Конструкция затворов с низкой осью вращения

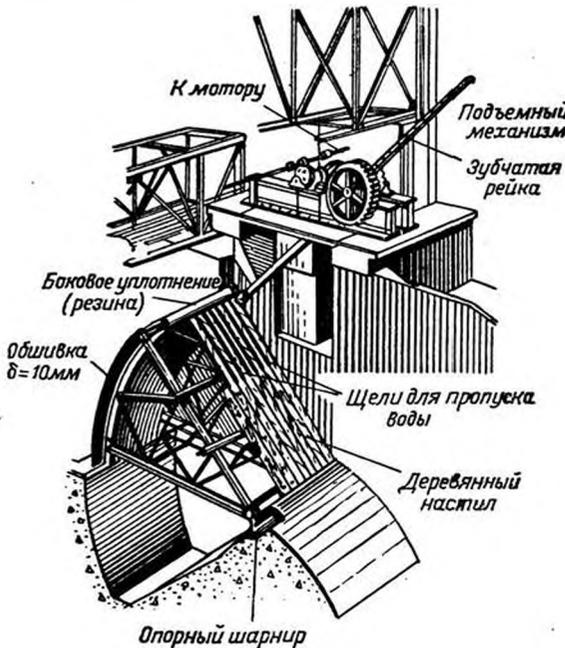
В затворах полугидравлического действия, называемых иногда «шведскими», обшивка радиальной грани делается деревянной с устройством щелей в верхней части ее (фиг. 18—7).

Затворы с плоской водосливной поверхностью неблагоприятны в гидравлическом отношении: коэффициент расхода через гребень водослива m , при опущенном затворе равный 0,35—0,36, по мере подъема увеличивается; при достаточном подъеме затвора под струей

появляются небольшие вакуумы.

Проф. С. В. Тарановский [65] предложил изменение формы секторного затвора (фиг. 18—8) с криволинейной водосливной гранью, что повышает коэффициент расхода до $m=0,39 \div 0,41$ при полностью опущенном затворе.

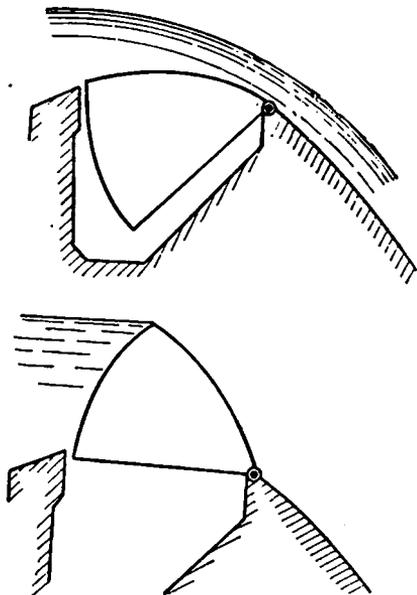
Соотношение между высотой затвора и радиусом напорной грани обычно выражается зависимостью $R \approx (1,4 \div 1,6)H$, хотя иногда радиус бывает и больше, что несколько облегчает подъем затвора из низшего положения его. В затворах типа фиг. 18—5 и 18—8 радиус напорной грани может быть меньше $1,4H$.



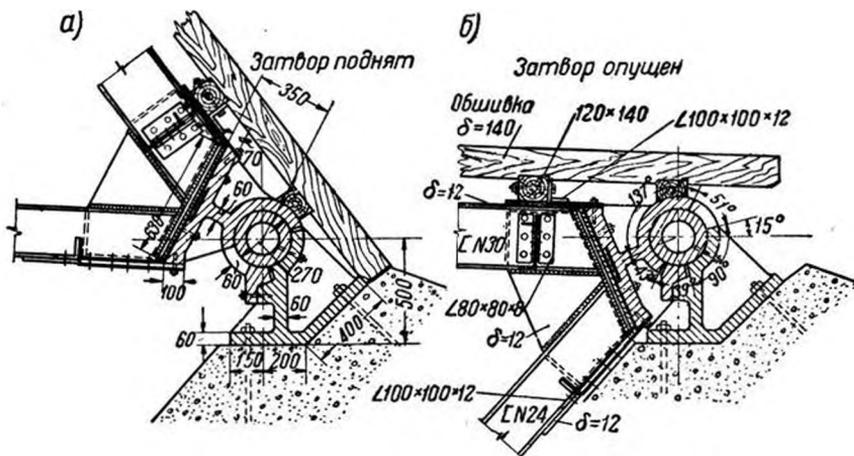
Фиг. 18—7. Конструкция полугидравлического затвора

Опорные шарниры секторных затворов закладываются ниже порога плотины на $(0,1-0,2)H$ и устраиваются или сплошными вдоль всего затвора, или отдельными под каждой поперечной фермой. Первые представляют собой полые круглые стержни, которые лежат в стальных отливках, заанкерированных в бетон. На них вращаются отливки, прикрепленные к фермам (фиг. 18—9,а, б). Отдельные шарниры устраиваются аналогично шарнирам сегментных затворов.

Уплотнения затворов несут в данном случае особо серьезную службу, так как должны предохранять камеру давления от занесения наносами и обеспечивать гидравлическое действие затвора, поддерживая в ней нужное давление. Боковые уплотнения на напорной грани делают в виде листа кожи или резины (фиг. 18—10,а), по водосливной грани—также в виде листов кожи и резины (фиг. 18—10,б) или из металлических листов с деревянными уплотняющими брусками (фиг. 18—10,в). Донное уплотнение с напорной стороны осуществляется в виде металлического или кожного изогнутого листа (фиг. 18—11,а и б), или металлической трубы, заложеной в отливке, или латунных листов

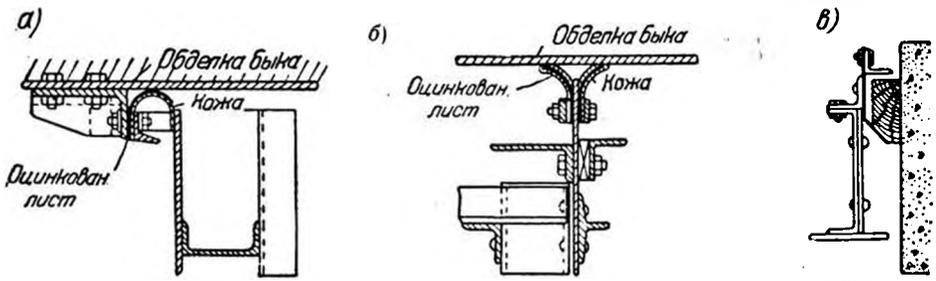


Фиг. 18—8. Схема поплавкового затвора с низкой осью вращения, по предложению С. В. Тарановского

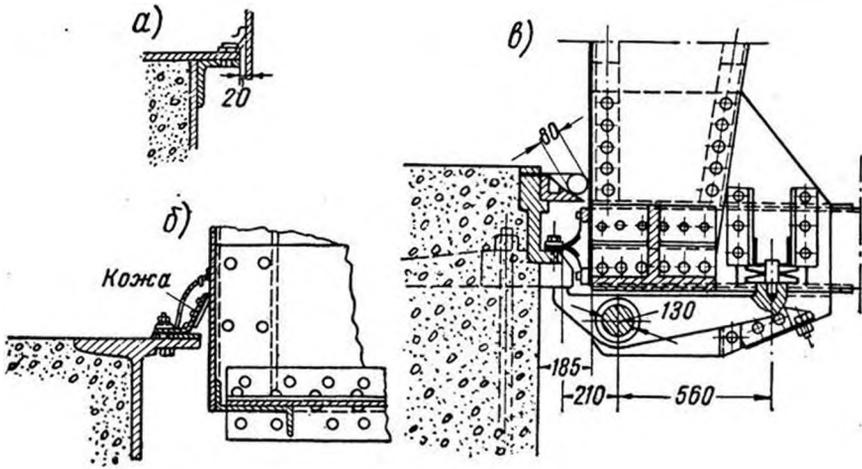


Фиг. 18—9. Шарниры секторных затворов

(фиг. 18—11,в). По оси вращения уплотнение достигается наличием сплошной оси, а если таковой нет, то гибким металлическим листом.



Фиг. 18—10. Боковые уплотнения секторных затворов



Фиг. 18—11. Донные уплотнения секторных затворов

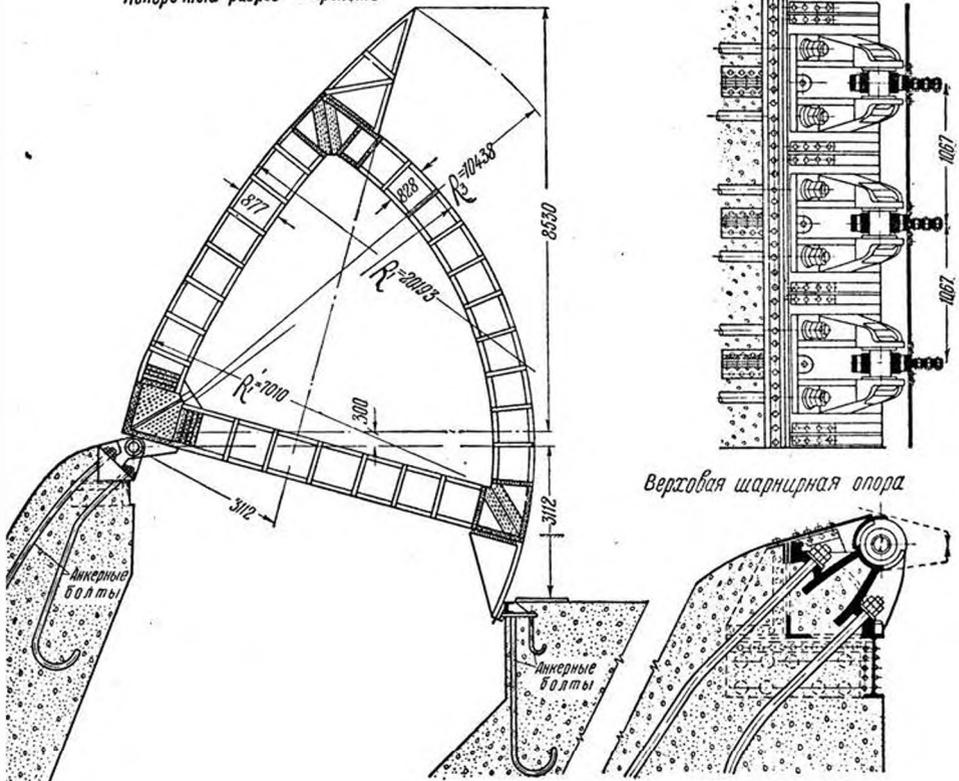
5. Конструкции затворов с верхней осью вращения

Современная конструкция этих затворов представлена на фиг. 18—12. Остов затвора состоит из поперечных криволинейных треугольных рам, расположенных на расстоянии $1,07 \text{ м}$ друг от друга, соединенных довольно жесткой обшивкой. Торцовые концевые рамы также обшиваются плоской или лотковой обшивкой. Соотношение радиуса и высоты затвора здесь $R \approx H$, козырек напорной грани имеет высоту $h \approx (0,25 \div 0,30) H$.

Коэффициент расхода водослива при опущенном полностью затворе $m = 0,44 \div 0,45$, т. е. значительно выше, чем в затворах с нижней осью вращения.

Опоры затвора в виде отдельных шарниров закладываются при помощи анкеров примерно на $0,25 H$ выше порога, на который опирается козырек в нижнем положении затвора.

Поперечный разрез в пролете



Фиг. 18—12. Секторный затвор с верхней осью вращения плотины Шаста

6. Особенности порогов плотины и быков

Затворы с нижней осью вращения устанавливаются на плотинах распластанного профиля; форма гребня их нередко близка к профилю водослива с широким порогом.

Затворы с верхней осью вращения, будучи более компактными, устанавливаются на высоких порогах, где выдерживается форма водослива практического профиля (фиг. 18—5).

В быках плотины располагается управление затворами — водопроводные галереи с задвижками, позволяющими управлять водой в камере давления. В большинстве случаев описываемые затворы являются автоматическими, что достигается разнообразными системами из поплавков, меняющих свое положение вслед за колебанием уровня верхнего бьефа и связанных с задвижками, впускающими или выпускающими воду из камеры давления. В связи с этим быки получают довольно значительную ширину — от 3 до 5 м, а иногда и 6 м.

7. Замечания по проектированию секторных затворов

Секторные затворы могут перекрывать отверстия значительных пролетов: так, затворы с нижней осью вращения построены для пролетов до 51 м при высоте затвора до 4,9 м, затворы с верхней осью вращения выполнены для пролета примерно 41 м при высоте 8,5 м, и это, конечно, не является пределом для данного типа затворов. Пролеты этих затворов могут достигать 60—65 м.

При описанных ранее положительных их качествах (точное регулирование, возможность сброса льда и плавающих тел, автоматичность действия¹, быстрота маневрирования, жесткость конструкции, минимальная высота быков), секторные затворы имеют следующие недостатки:

1) значительный вес подвижной части; так, для затворов с верхней осью вращения вес ее на 1 м^2 отверстия равен, по С. В. Тарановскому (для стали Ст. 3 [σ] = $1\,400 \text{ кг/см}^2$):

$$g = 255 + 217 \sqrt{H} + (50 + 80) H \text{ кг/м}^2,$$

где H — высота гребня затвора над порогом плотины; для затворов с нижней осью вращения.

$$g = 135 + 129 \sqrt{H} + 54 H \text{ кг/м}^2;$$

2) сложность монтажа стальных затворов этого типа, затягивающая иногда пуск сооружения в эксплуатацию (железобетонные затворы в этом отношении лучше);

3) относительно более сложная эксплуатация (обогрев зимой, очистка камер от наносов, ремонт уплотнений, принудительные меры для подъема);

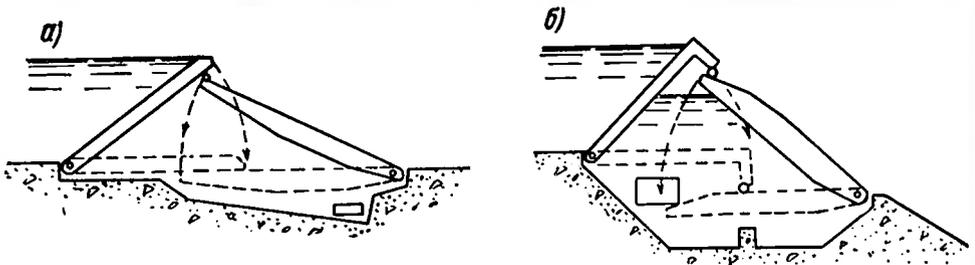
4) дороговизна затворов.

Применение секторных затворов гидравлического действия целесообразно в случаях, когда необходим сброс льда при значительных пролетах отверстий, когда требуется точное регулирование уровня верхнего бьефа, когда плотина имеет повышенный водосливный порог и отложения наносов не достигают порога. При этом, если плотина имеет распластанную форму (по условиям основания), целесообразны затворы с нижней осью вращения, а в плотинах, имеющих водослив обжатого практического профиля, — затворы с верхней осью вращения.

§ 118. КРЫШЕВИДНЫЕ ЗАТВОРЫ

1. Общая схема и типы затворов

Эти затворы состоят из двух плоских полотнищ (клапанов), вращающихся на горизонтальных осях и образующих в приподнятом состоянии как бы крышу (отсюда название «крышевидные»), а в опущенном



Фиг. 18—13. Схемы крышевидных затворов

положении помещающихся в нише порога плотины (фиг. 18—13). Пространство, образуемое «крышей» затвора, как и в секторных затворах, заполняется водой из верхнего бьефа, производящей давление на клапаны изнутри. Уровень воды в камере давления может устанавливаться

¹ За исключением полугидравлических затворов.

таким, какой необходим для удержания затвора в любом положении. Для этого необходимо маневрировать задвижками в галереях или каналах, расположенных в устоях или быках плотины и соединяющих камеру с верхним и нижним бьефами. Операции по управлению задвижками обычно автоматизируются путем создания связи задвижки при помощи системы тяг, рычагов и блоков с поплавками, следующими за уровнем верхнего бьефа.

Таким образом, крышевидные затворы действуют гидравлически и могут быть автоматическими.

Существуют два основных типа таких затворов: старый (фиг. 18—13,а), именуемый бертреп, предложенный в США еще в начале XIX в., и современный, европейский (фиг. 18—13,б и 18—16), называемый дахвер. Основное различие между этими двумя типами заключается в том, что верхнее полотнище дахвера имеет на своем конце короткую надставку, нормальную к плоскости полотнища, а низовое имеет криволинейное очертание водосливной грани, что ведет к ряду благоприятных последствий (см. ниже).

2. Условия подъема и опускания затворов

Из рассмотрения силовых воздействий на затворы в разных их положениях можно уяснить основные свойства и условия управления затворами. Для примера рассмотрим затвор дахвер; аналогичный анализ может быть применен и к бертрепу.

На фиг. 18—14 показаны три рабочих положения дахвера.

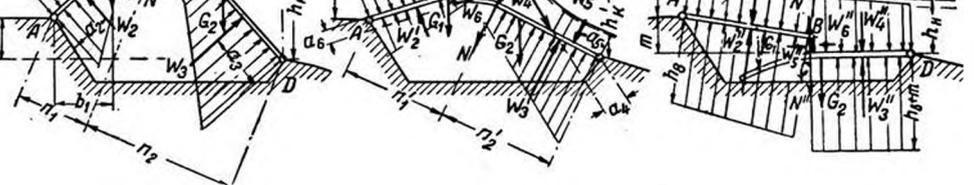
а) В верхнем положении затвора действуют следующие силы и моменты (фиг. 18—14,а): давление воды на верхнее и низовое полотнище W_1 , W_2 и W_3 и веса этих полотнищ G_1 и G_2 ; реактивные силы—реакция N в контакте полотнищ C , передаваемая роликами, реакции в опорных шарнирах A и D и трение в шарнирах A , C и D . Пренебрегая этим трением, для упрощения анализа найдем условия равновесия одного и другого полотнища по уравнению моментов:

1) верхнее полотнище

$$W_1 a_1 - W_2 a_2 + G_1 b_1 - N n_1 = 0; \quad (18-3)$$

2) низовое полотнище

$$W_3 a_3 - G_2 b_2 - N n_2 = 0. \quad (18-4)$$



Фиг. 18—14. Схемы силовых воздействий на затвор дахвер

нище W_1 , W_2 и W_3 и веса этих полотнищ G_1 и G_2 ; реактивные силы—реакция N в контакте полотнищ C , передаваемая роликами, реакции в опорных шарнирах A и D и трение в шарнирах A , C и D . Пренебрегая этим трением, для упрощения анализа найдем условия равновесия одного и другого полотнища по уравнению моментов:

1) верхнее полотнище

$$W_1 a_1 - W_2 a_2 + G_1 b_1 - N n_1 = 0; \quad (18-3)$$

2) низовое полотнище

$$W_3 a_3 - G_2 b_2 - N n_2 = 0. \quad (18-4)$$

Из уравнения (18—4) можно определить реакцию N , выраженную через h_k , поскольку G_2 должно быть известно, а W_3 выражается через h_k , если предварительно принять приближенно поверхность нижнего

полотнища плоской ($W_3 = 0,5\gamma h_k \overline{CD}$). Подставив затем значение N в уравнение (18—3), где известны W_1 и G_1 , а W_2 выражается также через h_k , можно определить необходимую для равновесия затвора высоту стояния горизонта воды в камере h_k .

б) В промежуточном положении затвора (фиг. 18—14, б) величины сил W_1 , W_2 , W_3 изменяются, изменяются плечи всех сил, в том числе и весов G_1 и G_2 , появляются новые силы:

W_4 — удар струи, падающей на низовое полотнище;

W_5 — давление на низовое полотнище сливающейся по нему воды;

W_6 — давление воды в камере на надставку верхового полотнища.

Силы W_4 и W_5 аналитически определить можно лишь весьма приближенно, поэтому пользуются обычно для этого лабораторными опытами.

Условия равновесия затвора в данном положении характеризуются уравнениями:

1) верховое полотнище

$$W_1' a_1' - W_2' a_2' - W_6' a_6 + G_1 b_1' - N' n_1' = 0; \quad (18-5)$$

2) низовое полотнище

$$W_3' a_3' - W_4' a_4 - W_5' a_5 - G_2 b_2' - N' n_2' = 0. \quad (18-6)$$

Аналогично предыдущему случаю, решая эти два уравнения, находят необходимую для равновесия величину h_k .

в) Наконец, в самом нижнем положении затвора (фиг. 18—14, в) действующие силы снова изменяются, причем приближенно можно принять:

$$W_1'' = \gamma(h_B - 0,5\Delta h) \overline{AB}; \quad W_2'' = \gamma h_B \overline{AB}; \quad W_3'' = \gamma(h_B + m) \overline{CD}; \quad W_4'' = \gamma h_n \overline{CD};$$

$$W_5'' = 0,5\gamma(2h_B + 2m - \overline{BC}) \overline{BC} \text{ и } W_6'' = 0,5\gamma(h_B - \Delta h + h_n) \overline{BC}.$$

Из уравнений

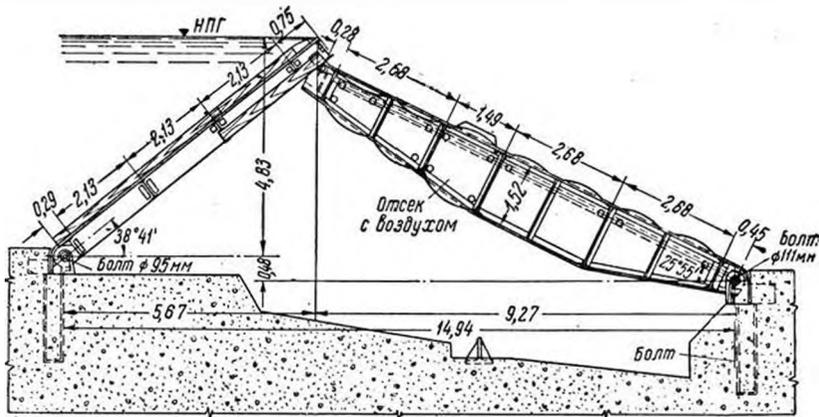
$$1) W_1'' a_1'' + G_1 b_1 - W_2'' a_2'' - W_5'' a_5'' + W_6'' a_6 - N'' n_1'' = 0, \quad (18-7)$$

$$2) W_3'' a_3'' - W_4'' a_4'' - G_2 b_2'' - N'' n_2'' = 0 \quad (18-8)$$

определяется величина Δh — перепад на пороге плотины, необходимый для подъема затвора из наименьшего его положения. Следует отметить, что характер давления воды на затвор сверху тоже должен быть установлен лабораторными опытами.

3. Затворы бертреп

Современная конструкция затвора бертреп приводится на фиг. 18—15. Полотнища выполняются обычно металлическими (при меньших размерах они могли бы быть



Фиг. 18—15. Затвор бертреп (плотина № 30 на р. Огайо)

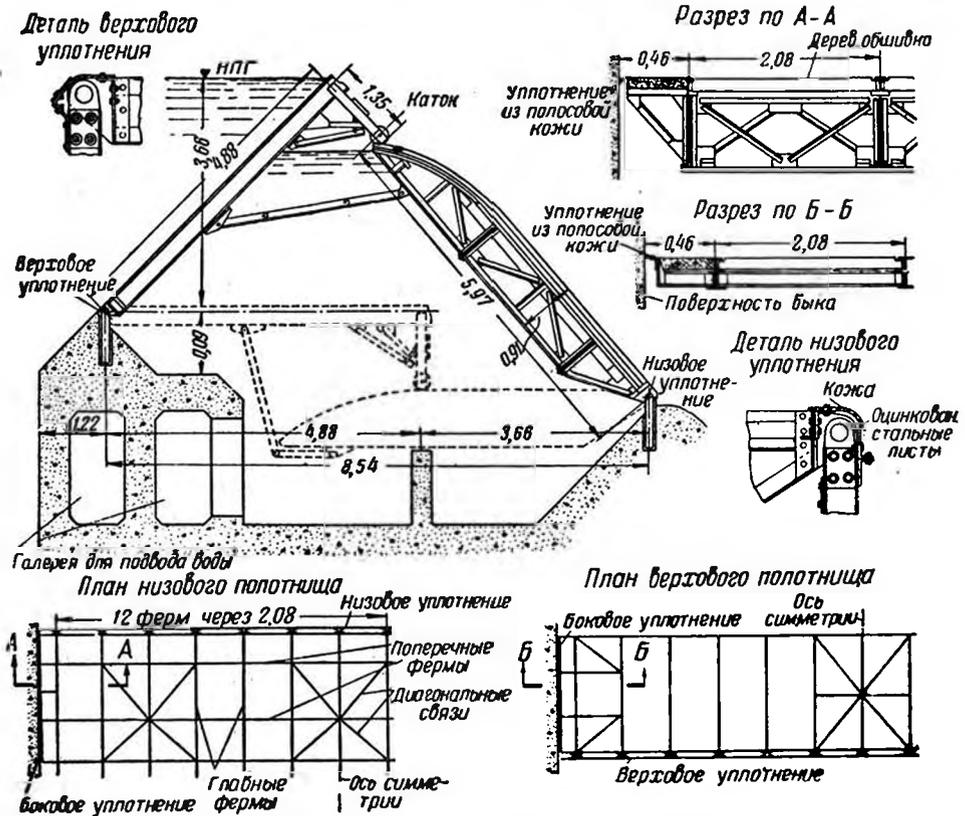
и деревянными), причем поверхность верхового полотнища покрывается деревянным настилом для защиты от навалов льда и т. п.; низовое делается иногда с воздушными полостями для создания пловучести.

Затворы бертреп осуществлены для пролетов до 50 м с высотой затвора до 5 м. Угол створа полотнищ делается около 110° . В связи с этим расстояние между опорными шарнирами получается до $(3 \div 3,5) H$, где H — высота затвора над порогом плотины.

Камера давления в верхнем положении затвора наполняется обычно доверху, что вызывает обмерзание контакта полотнищ затвора, через который фильтруется вода. Для подъема затвора из нижнего положения требуется перепад на плотине иногда до 0,4—0,5 м (в старых конструкциях), почему в этих случаях нужен пуск сжатого воздуха в камеру давления.

4. Затворы дахвер

Этот тип затвора более совершенен, чем бертреп. Благодаря надставке к верхнему полотнищу угол створа полотнищ снижен до 90° , а расстояние между опорными шарнирами — до $2,3H$, т. е. примерно на 30% менее, чем в плотинах бертреп. Вместе с тем дахвер оказывается более чувствительным в регулировании, может подниматься из нижнего положения при меньших перепадах на плотине. Форма профиля затвора

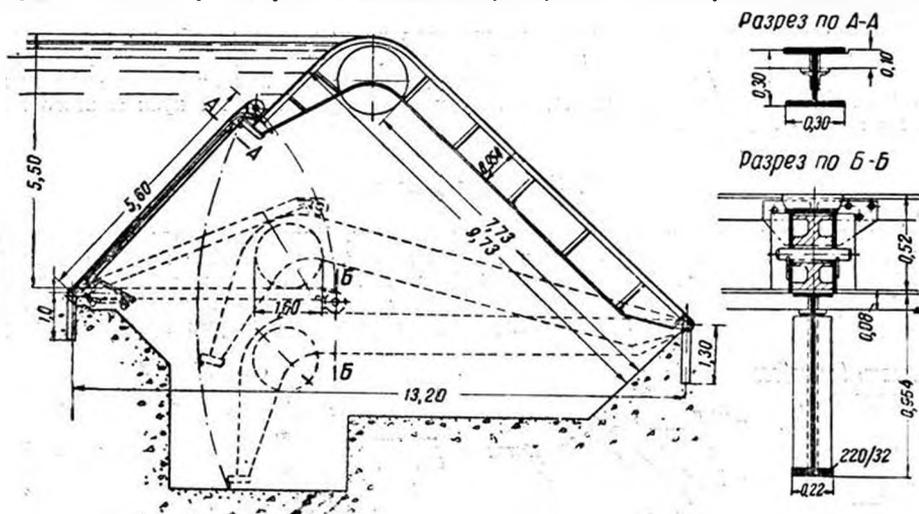


Фиг. 18—16. Затвор дахвер (системы Губер-Люц)

в верхних его положениях (фиг. 18—16) уменьшает вредные воздействия переливающейся воды и плавающих тел на низовое полотнище, в особенности же это эффективно в новейшем типе затвора с контактом между полотнищами с верхней стороны (фиг. 18—17). В последнем более обтекаемая гидравлическая форма поверхности сохраняется во всех его положениях.

Балочная сеть затворов дахвер — металлическая, обшивка иногда полностью деревянная или металлическая, защищенная деревянным настилом; стойки полотнищ располагаются на расстоянии 1,8—2 м друг от друга, к ним прикреплены вспомогательные горизонтальные балки, во избежание перекосов поставлены связи. Уплотнения в опорных шарнирах выполняются из тонких листов гальванизированной стали или меди с кожаными или резиновыми подкладками, боковые уплотнения — из кожи или резины. Устройства по управлению затвором размещаются в быках плотины и

состоит из водопроводных галерей, затворов (плоских, сегментных) и связей последних с поплавками и другими указателями колебания горизонта воды верхнего бьефа. Перекрываемые дахверами пролеты достигают примерно 40—45 м при высоте до 6—7 м



Фиг. 18—17. Затвор дахвер плотины Дай (Индо-Китай)

б. Замечания по проектированию крышевидных затворов

Затворы бертреп распространены только в США на шлюзованных судоходных или сплавных реках в качестве водосбросных устройств; они применимы при достаточно низком флютбете.

Область применения дахвера широка: на реках различного типа, в условиях быстро наступающих паводков, при наличии в воде наносов, если в конструкции камеры обеспечена промывка ее от наносов, и в зимних условиях при устройстве обогрева. Ценными качествами этих затворов являются возможность перекрытия больших пролетов, жесткость конструкции, точное регулирование уровня верхнего бьефа, автоматичность и быстрота действия (подъем требует от 2 до 10 мин.), беспрепятственный сброс льда и плавающих тел, отсутствие необходимости в мостах через отверстия плотины, простота механизмов управления, относительная дешевизна.

Недостатки затворов, помимо ранее указанных, заключаются: 1) в необходимости относительно широкого порога плотины, особенно у бертрепа; 2) в сложности конструкции регулирующего аппарата затвора, его эксплуатации, а также монтажа его; 3) в необходимости тщательного надзора, зимой — борьбы с обмерзанием затвора, летом — борьбы с наносами.

Вес затвора дахвер близок к весу плоских затворов и может определяться по формуле С. В. Тарановского:

$$g = AH \sqrt[3]{\frac{H^2}{\sigma^2}} \text{ кг на } 1 \text{ м}^2 \text{ отверстия.} \quad (18-9)$$

где H — высота затвора в м;

σ — принятое напряжение в металле;

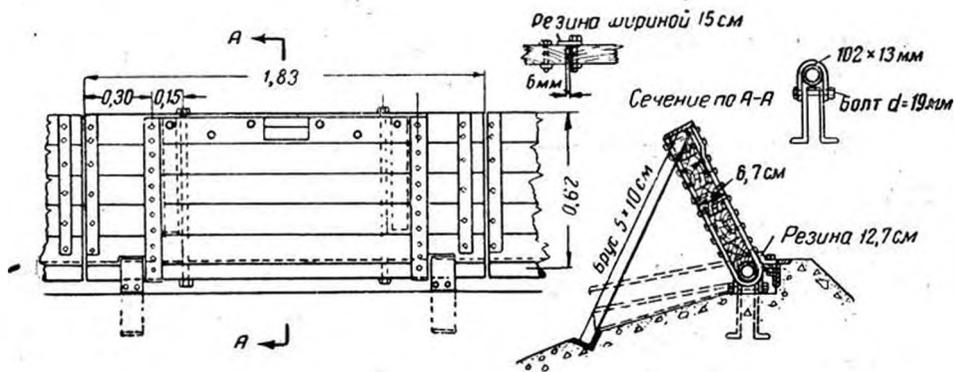
A — коэффициент, равный 4360 для клепаных затворов с контактом между полотнощами с нижней стороны и 3455 для затворов с контактом с верхней стороны (фиг. 18—17); в случае сварных затворов величина A снижается на 15—20%.

§ 119. КЛАПАННЫЕ ЗАТВОРЫ

Клапанный затвор представляет собой плоский щит, вращающийся вокруг горизонтальной оси, укрепленной на пороге плотины, и удерживаемый в поднятом состоянии или подкосом, или давлением воды на уравновешивающие затвор части его. Во всех случаях затворы этого типа передают давление только на порог плотины.

1. Клапанные подкосные затворы

Затворы эти, как показывает название, опираются на подкосы, устанавливаемые на пороге. Простейший затвор — деревянный ($0,62 \times 1,83$ м) — показан на фиг. 18—18. Щит вращается на шарнирах и



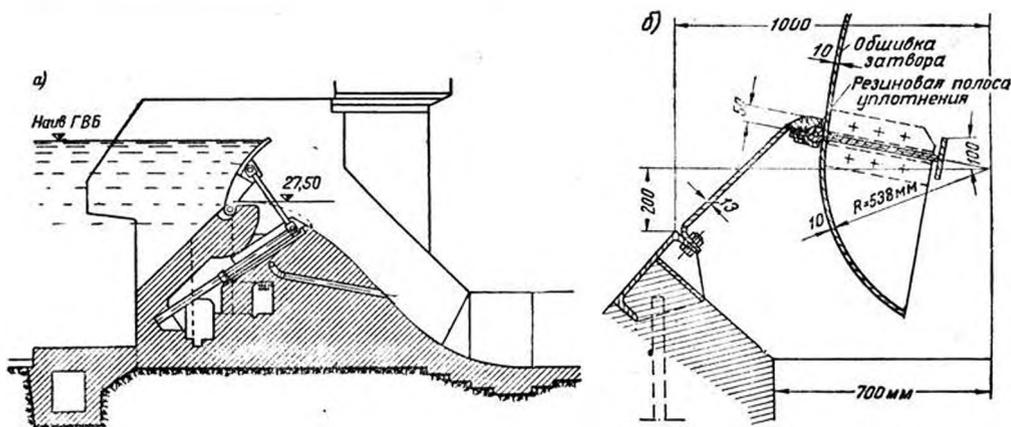
Фиг. 18—18. Простейший клапанный подкосный затвор

упирается в подкос в виде бруса 5×10 см; при удалении подкоса щит падает на особые деревянные подушки.

Для закрытия отверстия устанавливается ряд таких щитов, просветы между ними ($0,5—0,7$ см) перекрываются резиновой лентой. Операции с затвором при больших пролетах (например, $60—70$ м) производятся при помощи простейшего кабель-крана с тележкой для рабочего.

Подкосные затворы большой высоты ($2—2,2$ м) устраиваются металлическими. Чаще всего такие затворы применяются как временные или ремонтные заграждения.

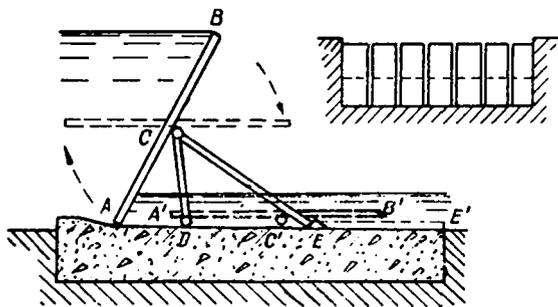
В современных затворах операции с подкосами механизированы и самые затворы имеют значительные размеры и более совершенную форму. На фиг. 18—19 показан клапанный затвор плотины Кегумс на р. Западная Двина, приводимый в действие гидравлическим подъемником. Затвор состоит из четырех секций длиной 20 м и высотой $5,35$ м каждая. Полотнище секции имеет обтекаемую поверхность из обшивки толщиной 10 мм, приклепанной к 41 стойке; эти стойки соединены двумя ригелями двутаврового сечения. Каждая секция, укрепленная шарнирно на пороге плотины, имеет две подъемные штанги, соединенные шарнирно с поршнями цилиндров масляных насосов и с затвором. Подъем затвора производится за $12—15$ мин. Затвор успешно пропускает довольно тяжелый ледоход, чему благоприятствуют значительные пролеты плотины (80 м). Между щитами имеются резиновые уплотнения.



Фиг. 18—19. Клапанный подкосный затвор с гидравлическим подъемником
 а — схема затвора и подъемника; б — уплотнение на пороге

2. Клапанные подкосные затворы с шарнирной рамой

Эти затворы представляют собой деревянные или металлические щиты, которые могут вращаться вокруг оси, расположенной около точки приложения равнодействующей давления воды на щит (фиг. 18—20). Ось укреплена на раме CD , соединенной шарнирно со щитом в C и порогом в D и опирающейся на подкос CE , имеющий упор в особой коробке E .



Фиг. 18—20. Клапанный подкосный затвор с шарнирной рамой (тип Шаноана)

При подъеме горизонта воды в верхнем бьефе вследствие увеличения расходов воды в реке точка приложения равнодействующей давления воды повышается; как только она станет выше оси шарнира C , щит опрокидывается, освобождая отверстие для прохода воды. Для укладки щита на порог необходимо затем его потянуть багром за конец A (с лодки, моста и т. п.) в сторону верхнего бьефа, вследствие чего подкос CE выйдет из гнезда в коробке E и будет скользить по боковому ходу коробки (фиг. 18—21), пока не ляжет на порог плотины, а с ним вместе и рама CD и щит AB .

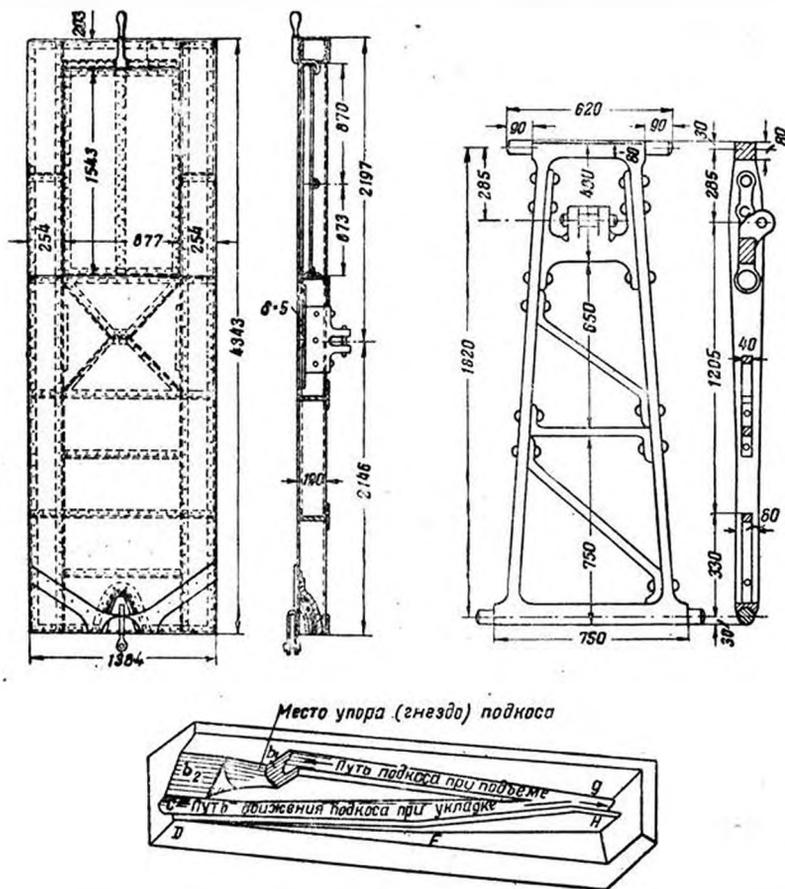
Для установки затвора снова в рабочее положение щит тянут за конец A в сторону верхнего бьефа, пока подкос CE снова не войдет в гнездо и вместе с рамой займет положение CDE (фиг. 18—20). После этого достаточно толкнуть нижнюю часть щита вниз, и он силой течения будет поставлен в рабочее положение.

Конструкция затвора видна на фиг. 18—21. Упорная коробка устроена следующим образом: подкос упирается в гнездо b_1 и при движении его вверх по течению спускается на дно коробки, далее при толкании его вниз по течению скользит по дну коробки вдоль борта b_2b_1 , направляемый другим бортом DFH снова в желобок HG в конце коробки. При новом подъеме подкоса он движется по этому желобу, пока не опустится в гнездо b_1 ; в этот момент движение прекращается—подкос встал на место.

Ширина щита — примерно 1—1,5 м, высота — до 4—7 м. В отверстие плотины

обычно ставится по порогу ряд щитов, закрывающих весь пролет; зазоры между отдельными щитами в целях свободы маневрирования составляют 5—10 см, в новейших стальных конструкциях щиты ставятся почти вплотную друг к другу.

Достоинствами затвора являются: 1) возможность перекрытия значительных пролетов плотин (до 360 м); 2) незначительное возвышение порога над дном реки; 3) отсутствие мостов; 4) быстрая и автоматиче-



Фиг. 18—21. Конструкции клапанного подкосного затвора с шарнирной рамой

ская укладка щитов, что особенно ценно на реках с быстро наступающими паводками.

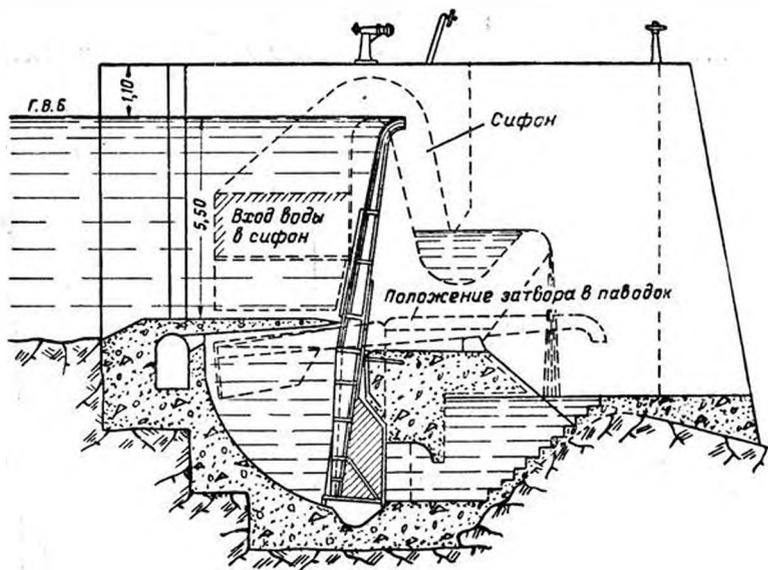
Недостатками данной системы, известной в литературе под названием системы Шаноана, являются: 1) невозможность эксплуатации в зимних условиях; 2) затруднения в работе на реках с обильными наносами; 3) большие потери воды через щели между щитами; 4) затруднения в ремонте.

В СССР клапанные подкосные затворы с шарнирной рамой почти не применяются.

3. Клапанные уравновешенные затворы (автоматически действующие)

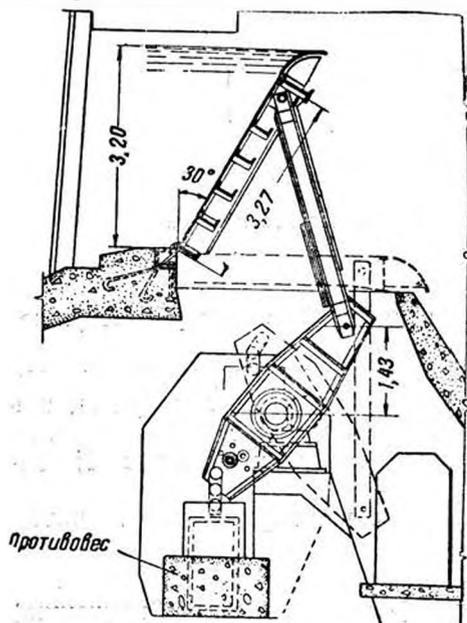
а) Затворы, уравновешенные гидравлически. В этих затворах, представляющих клапаны, вращающиеся на горизонтальной оси, помещенной примерно в середине затвора, напор поддерживается

верхней частью затвора, нижняя же находится в особой нише порога плотины (камера давления), отделенной от воды верхнего и нижнего бьефов плитой (фиг. 18—22). При подъеме горизонта воды верхнего



Фиг. 18—22. Клапанный гидравлически уравновешенный затвор

бьефа вода поступает в сифон (в устье), откуда через особую галерею — в камеру давления позади бетонного противовеса нижней части затвора, вследствие чего последний разгружается, и затвор наклоняется



Фиг. 18—23. Клапанный затвор, уравновешенный (снизу) противовесом (р. Чиппева)

для пропускa увеличившегося в реке расхода воды. При уменьшении расхода и установлении нормального горизонта воды в верхнем бьефе истечение через сифон прекращается, и затвор становится полностью в положение закрытия.

Эти затворы и другие аналогичного типа имеют пролеты до 7—10 м при высоте до 5—6 м, они пригодны для автоматического пропускa паводков на небольших южных незамерзающих реках с малым количеством наносов.

б) Затворы, уравновешенные снизу противовесами, имеют шарнир в нижней своей части, укрепленный на пороге плотины; верхняя часть затвора шарнирно соединена со штангами, которые также шарнирно связаны с коромыслом противовеса (фиг. 18—23).

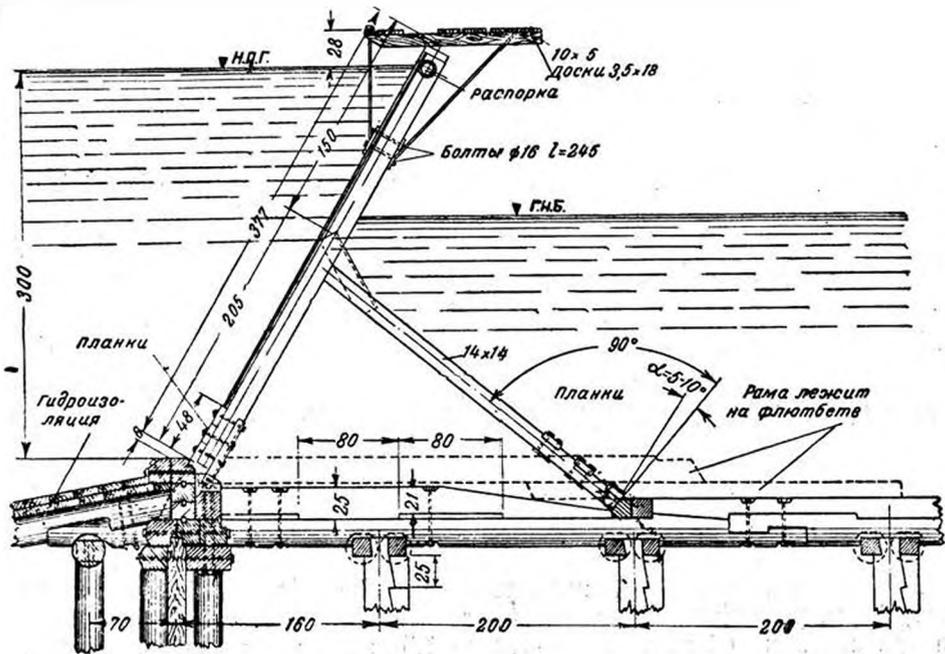
Ось коромысла помещается в нише порога под затворами — на особых опорах.

Плечи коромысла и противовес подбираются так, чтобы затвор мог быть уравновешен в любом его положении, для чего целесообразно проводить лабораторные опыты над моделями затворов.

Описанные затворы автоматического действия могут перекрывать пролеты до 20 м при высоте до 3,5 м. Они целесообразны на повышенных порогах плотин, когда вода нижнего бьефа не влияет на работу затвора.

4. Разборчатые подкосные затворы

В этих затворах напор воды удерживается плоскими щитами, чаще всего деревянными, укладываемыми на наклонные стойки или рамы, опирающиеся нижним концом на флютбет и подпираемые у другого конца подкосом—одиночным или в виде рамы (фиг. 18—24). Поверху стойки соединяются легким служебным мостиком, с которого произво-



Фиг. 18—24. Подкосный разборчатый затвор системы А. С. Воеводского

дится маневрирование щитами. Соединение рамы и подкоса делается шарнирным или жестким.

Подкосные затворы выполняются из металла и дерева. Одна из конструкций деревянного затвора, разработанная инж. А. С. Воеводским, показана на фиг. 18—24: рама закреплена на пороге плотины шарнирно, как и подкос на раме; подкос упирается в поперечный брус, поддерживаемый продольными упорными брусками. После удаления деревянных щитов с рамы подкос снимается с упора и вместе с рамой, вращающейся вокруг нижнего шарнира, укладывается на порог (пунктир на фиг. 18—24). Этого типа затворы могут применяться в низконапорных плотинах на равнинных реках или в качестве временных заграждений.

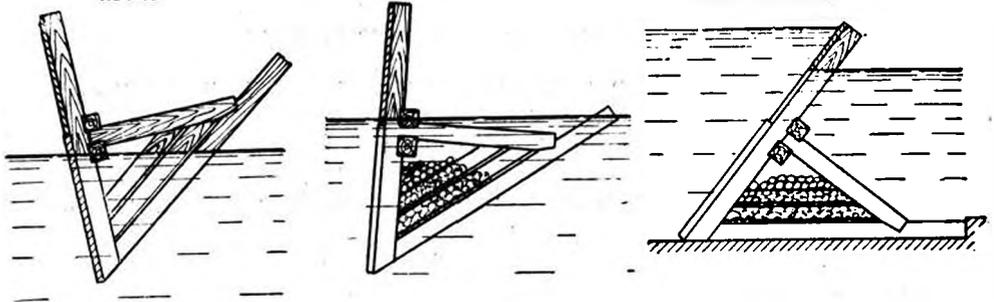
5. Пловучие и передвижные подкосные затворы

Пловучие подкосные затворы изготавливаются из дерева; для небольших напоров каждая секция затвора представляет собой две наклонные подкосные деревянные рамы на расстоянии 1,5—1,8 м одна от другой, соединенные в систему брусками и обшивкой (4—6 см) с напорной стороны и по дну (фиг. 18—25); между стойками рамы и под-

1. Повводка к месту установки

II. Загрузка камнем с дна

III. Установка на место и откачка воды



Фиг. 18—25. Пловучий подкосный затвор (проект А. Прозорова)

косами делается боковая обшивка (может быть неплотной) для образования ящика, загружаемого камнем при установке затвора на место.

Передвижные подкосные затворы делаются металлическими по типу описанных пловучих, но устанавливаются на бетонный порог краями или передвижкой их по порогу лебедками.

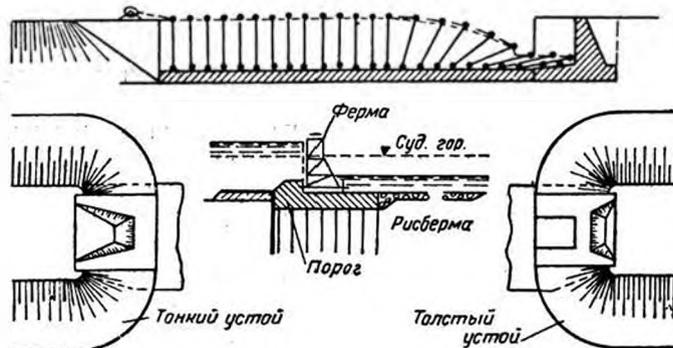
Устойчивость подкосных затворов обеспечивается трением по порогу под нагрузкой воды и собственного веса и упором на пороге.

Описанные подкосные затворы с успехом могут применяться в качестве временных (ремонтных) заграждений (см. гл. 19).

§ 120. ЗАТВОРЫ С ПОВОРОТНЫМИ ФЕРМАМИ И РАМАМИ

1. Общая схема затворов с поворотными фермами

Этот затвор состоит из ряда металлических (статически определенных) ферм, устанавливаемых на пороге отверстий плотины (фиг. 18—26) на расстоянии обычно от 1—1,2 до 1,5 м друг от друга, нормаль-

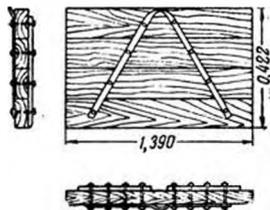


Фиг. 18—26. Схема плотины с поворотными фермами

но к оси плотины; пролеты между фермами перекрываются щитами, спицами или, очень редко, шторами. При необходимости пропуска тех или иных расходов воды через отверстие часть щитов или спиц вынимается, а для полного открытия всего отверстия удаляются все щиты; фермы же поворачиваются в опорных шарнирах и укладываются при помощи лебедки и цепи, соединяющей их, на порог плотины. Для закрытия отверстия фермы поднимаются при помощи той же лебедки и цепи, верх их соединяется легкими элементами служебного мостика, с которого производится закрытие пролетов между фермами щитами, спицами и т. п.

2. Щиты

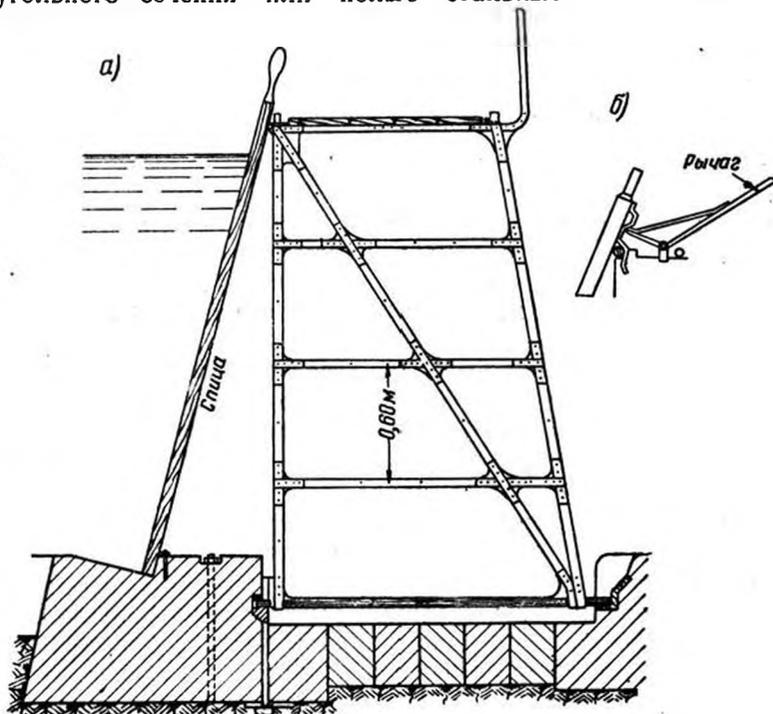
Щиты чаще всего выполняются деревянными¹ из досок или пластин (фиг. 18—27); ширина щитов соответствует пролету между фермами (1—1,5 м), высота составляет 0,7—1 м. Для закрытия отверстия, имеющего обычно высоту в несколько метров, щиты устанавливаются друг на друга. Подъем щитов и их установка производятся обычно при помощи легкого крана,двигающегося по служебному мостику и имеющего лебедку со штангой — цевочной рейкой, которой захватывают щит и вытаскивают его или сажают на место.



Фиг. 18—27. Деревянный щит поворотных ферм

3. Спицы

Другой вид закрытия пролетов между фермами представляют спицы — деревянные брусья прямоугольного сечения или полые стальные



Фиг. 18—28. Спицы поворотных ферм

¹ Имеются случаи применения и металлических щитов пролетом 4 м

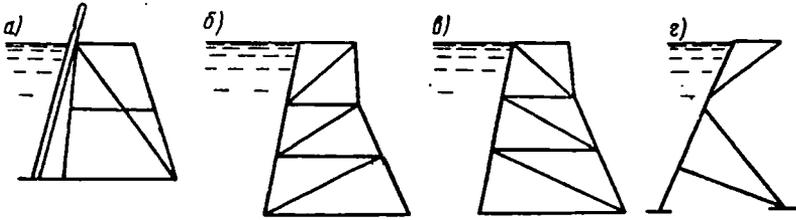
щтанги, устанавливаемые нижним концом на порог плотины и верхним опирающиеся на балку служебного мостика (фиг. 18—28,а).

Спицы устанавливаются вплотную друг к другу; при необходимости пропуски того или иного расхода часть спиц вынимают, для чего спицу толкают за рукоятку в сторону верхнего бьефа и приподнимают над порогом, после чего она всплывает. Для ускорения операций со спицами пользуются приспособлением в виде крюка у рукоятки спицы, которым спица насаживается на круглую поперечину мостика (фиг. 18—28,б).

Спицевое закрытие конструктивно просто, но недостаточно плотно и дает значительную фильтрацию.

4. Поворотные фермы

Поворотные фермы имеют обычную статически определимую треугольную решетку, типы их приведены на фиг. 18—29: а — простейший тип при спицевых заграждениях; б — с растянутыми раскосами и сжатыми стойками низового пояса; в — со сжатыми раскосами, фермы более жесткие и тяжелые, применяемые при большой высоте, наличии наносов и прочих обстоятельствах, вызывающих значительный изгиб ферм при подъеме; г — облегченный тип, предложенный проф. Н. П. Пузыревским. Наиболее распространены типы а и б, конст-



Фиг. 18—29 Типы поворотных ферм

рукция которых предложена инж. Поаре (более 100 лет назад) и известна под его именем. Следует, однако, отметить, что аналогичное предложение, по имеющимся данным, за 10 лет до него было сделано русским инженером И. Н. Корицким, но как многие ценные предложения в царской России, не нашло распространения.

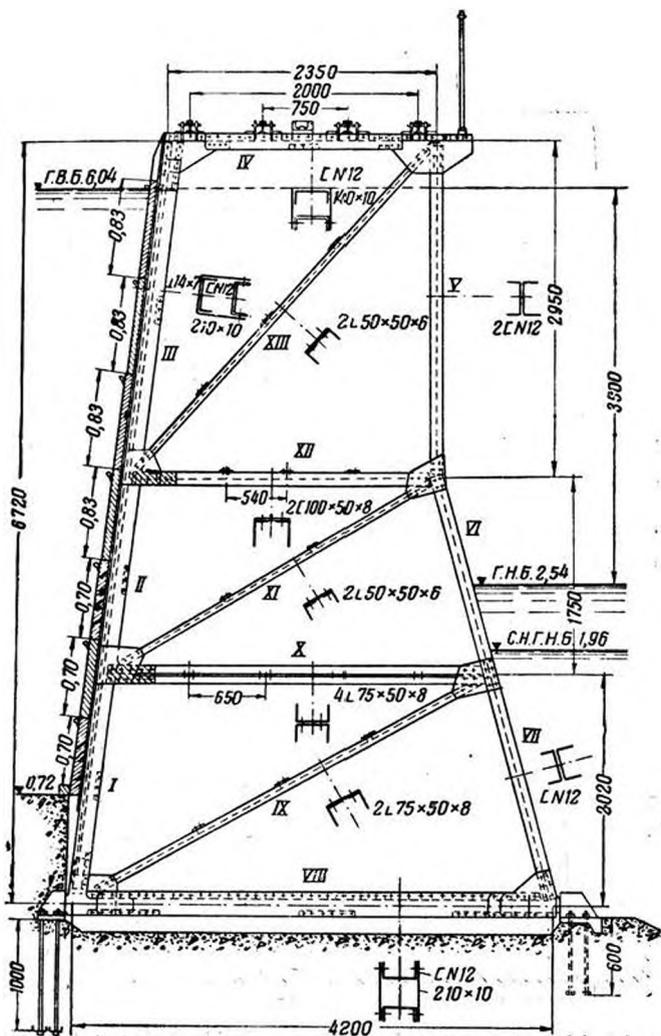
Конструкции поворотных ферм приведены на фиг. 18—30 и 18—31.

Ферма, предложенная проф. Н. П. Пузыревским более 40 лет назад (фиг. 18—31), легче фермы Поаре, так как состоит всего из передней ноги и двух подкосов, причем элементы ее жестче, они более пригодны для работы в зимних условиях.

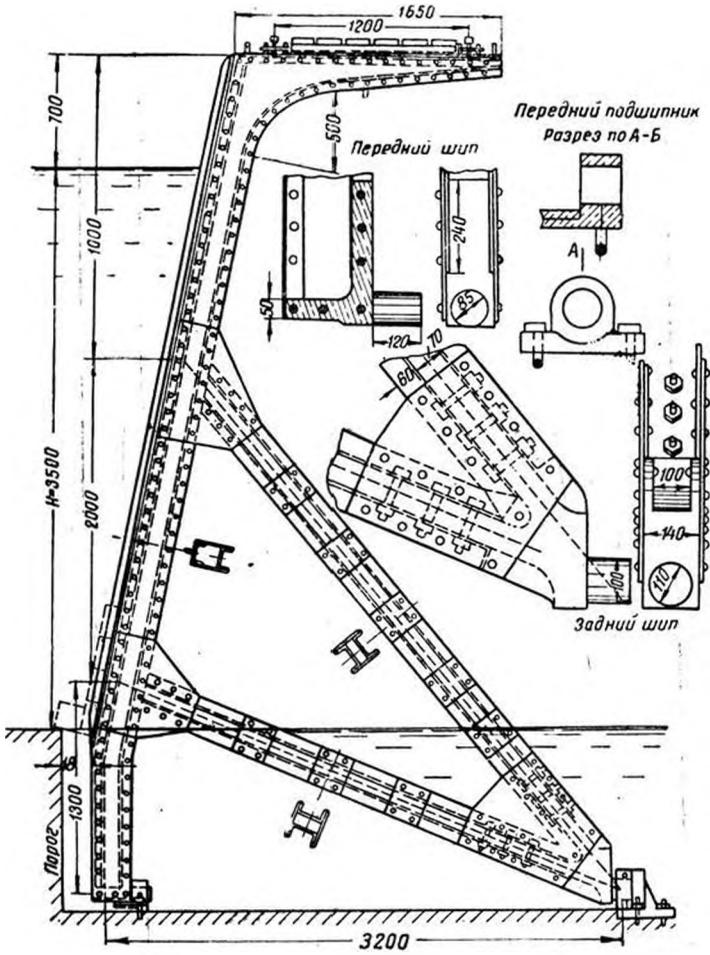
Расчет поворотных ферм не представляет затруднений, нагрузка от воды и собственного веса считается приложенной в узлах.

Опорные реакции определяют, исходя из того, что передняя опора делается в виде подшипника (реакция имеет только вертикальную составляющую), а задняя — в виде подшипника с упором для восприятия и горизонтальной составляющей реакции.

Если напор на ферму передается щитами, передняя нога подвергается еще местному изгибу. Сечения фермы подбираются обычно из швеллеров; на передней ноге укрепляется тавр, ограничивающий пролеты между фермами и направляющий щиты при их передвижении.



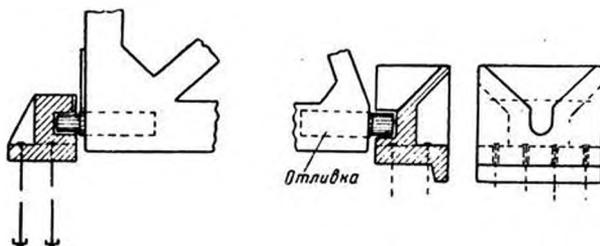
Фиг. 18—30. Поворотная ферма



Фиг. 18—31. Поворотная ферма системы Н. П. Пузыревского

Конструкции переднего и заднего подшипников показаны на фиг. 18—32. Передний подшипник работает на вырывание из порога плотины, почему соответственно заанкерывается; задний подшипник работает на сжатие и сдвиг.

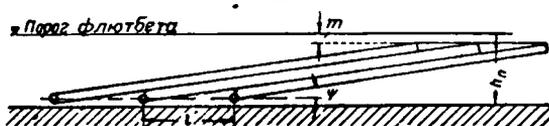
Служебный мостик по фермам состоит из пары рельсов для передви-



Фиг. 18—32. Подшипники поворотных ферм

жения крана, пары рельсов для тележки, на которой перевозят щиты, и настила деревянного или металлического (из рифленой стали), укладываемых в пролетах между фермами.

Основные размеры ферм Поаре назначаются предварительно следующим образом. Высота фермы определяется, как сумма глубины воды на пороге плотины при нормальном подпорном горизонте воды, возвышения верхней кромки фермы над этим горизонтом воды (0,3—0,6 м) и высоты порога над пониженной частью его, на которую укладывают фермы. Эту высоту h_n определяют, исходя из того, что-



Фиг. 18—33. Схема укладки на порог поворотных ферм

бы фермы, уложенные на пороге (фиг. 18—33), не доходили до площадки порога на величину $m \approx 0,05 \div 0,08$ м.

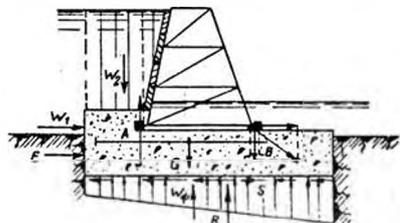
Ширина фермы понизу принимается около $0,7 h$, а поверху — в зависимости от размеров служебного мостика, но не более 2 м. Передней ногой фермы дают наклон к вертикали $1/7—1/10$, задняя делается или прямолинейной или ломаной так, чтобы в пределах верхней панели она была вертикальной.

5. Порог и устой плотины с поворотными фермами

Водобойная часть, или порог плотины, делается бетонной или деревянной. Бетонный порог схематически представлен на фиг. 18—34, где показаны и все нагрузки на него: давление воды W_1 и W_2 , земли E , фильтрационное давление W_ϕ , давления в опорах фермы A и B и реактивные силы — вертикальная R , равная сумме нормальных напряжений на основание (эпюра — трапеция), и горизонтальная S , осуществляемая трением по основанию, а если последнее недостаточно, то сопротивлением свай, забитых в грунт основания. Исходя из схемы

действия сил, обычными приемами строительной механики определяют напряжения в бетоне.

Один из устоев плотины (иногда называемый тонким) делается обычного типа, с обратными стенками, другой (иногда называемый толстым) — с нишей, в которую могут укладываться крайние фермы при опускании их на порог (фиг. 18—26).

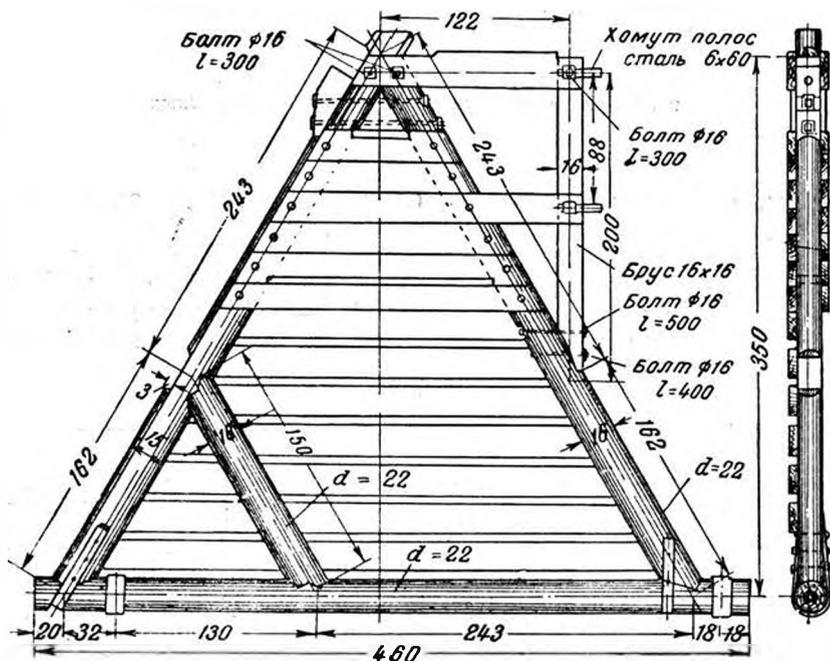


Фиг. 18—34. Схема флютбета (порога) поворотных ферм

При этом для ускорения операции одновременно поднимают 4—5 ферм (фиг. 18—26). По мере установки ферм в вертикальное положение их закрепляют в этом положении при помощи звеньев настилаемого мостика. При опускании ферм операции совершаются в обратном порядке. При подъеме ферм приходится иногда преодолевать сопротивление веса наносов, отложившихся на пороге, поэтому фермы следует поверять на изгиб в начальном положении подъема под действием собственного веса их и веса возможного слоя наносов.

7. Деревянные поворотные фермы

В целях замены металла деревом в последнее время осуществлено несколько плотин с деревянными фермами треугольного типа (фиг. 18—35), высотой до 3,5 м. Расстояния между фермами таковы.



Фиг. 18—35. Деревянная поворотная ферма

что фермы укладываются на порог, не опираясь одна на другую. Перекрытие между фермами делают из деревянных щитов, опирающихся на промежуточные стойки, которые устанавливаются в пролетах между фермами на пороге. Во избежание всплывания фермы обшивают досками, между которыми укладывают камни.

8. Область применения затворов с поворотными фермами

Плотины с этими затворами в подавляющем большинстве случаев распространены на судоходных реках, так как они допускают пропуск судов в паводок через открытые отверстия плотины; поэтому такие плотины и затворы называются еще судоходными. Этому благоприятствуют: а) возможность перекрытия значительных (до 200 м) пролетов; б) весьма низкий порог и малое стеснение русла при открытии плотины; в) простота и дешевизна затвора, вес которого на 1 м² отверстия составляет 200—300 кг. В СССР затворы этой системы применены на шлюзованных участках рек Шексны, Москвы, Оки, Северного Донца и др.

В последнее время затворы с поворотными фермами стали применяться в качестве временных и ремонтных заграждений в плотинах других систем (см. ниже).

Недостатками затворов с поворотными фермами являются: а) невозможность маневрирования ими зимой, фермы обычно на зиму укладывают на порог, если же их оставляют на зиму, то они должны быть заблаговременно, перед ледоходом, опущены; б) медленность разборки плотины значительного пролета (1—2 суток), что приемлемо только при медленно наступающих паводках; в) значительные потери воды через неплотности многочисленных щитов и тем более спиц; г) затруднения в подъеме ферм при наличии отложившихся на пороге наносов и др.

Напор, поддерживаемый поворотными фермами, обычно не превышает 4—5 м, высота ферм достигает 7—9 м.

9. Затворы с поворотными рамами

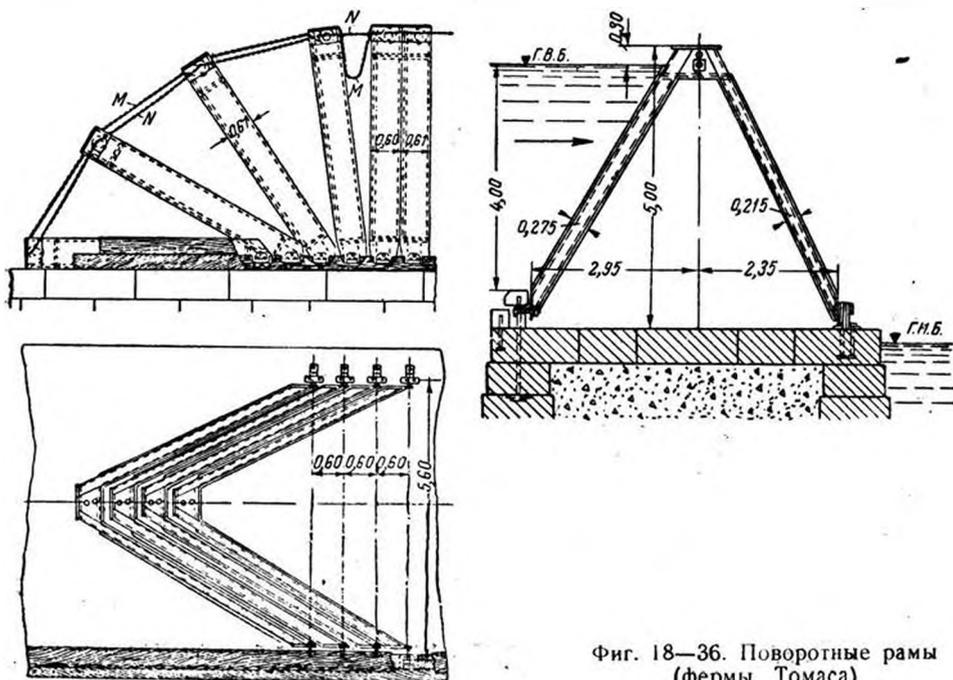
Эти затворы выполняются из металла и из дерева и представляют собой две наклонные ноги, соединенные вверху короткой балкой, по которой прокладывается узкий пешеходный мостик, а внизу шарнирно закрепленные на пороге без распорки (фиг. 18—36). Последнее обстоятельство позволяет укладывать фермы на флютбет как бы одна в другую. В статическом смысле эти фермы представляют собой рамы с одной статически неопределимой величиной — распором.

Сечение ног металлических ферм делается коробчатым с широкой стороной (50—60 см) по фронту (фасаду) плотины, а деревянных — по 3—4 бруса при толщине по фасаду до 0,9—1 м.

Маневрирование поворотными рамами (раньше носивших название ферм Томаса) аналогично подъему и опусканию поворотных ферм. Благодаря значительной толщине рам закрытие отверстия плотины осуществляется только ими самими без каких-либо щитов. Для уменьшения фильтрации через щели между рамами передние их ноги в поднятом состоянии несколько заходят одна в другую.

Благодаря описанной простой и жесткой конструкции поворотные рамы могут довольно быстро и относительно плотно перекрывать значительные отверстия при высоте их до 6—8 м. Но расход металла здесь намного больше, чем в поворотных фермах, и затвор этот не может регулировать горизонты воды верхнего бьефа, так как его нельзя

оставлять в промежуточном положении: рамы должны быть или все подняты, или все уложены: В условиях сурового зимнего режима работа этого затвора неудовлетворительна (маневрирование затруднено, происходит обмерзание).



Фиг. 18—36. Поворотные рамы (фермы Томаса)

Поворотные рамы применяются в последнее время главным образом как ремонтные заграждения шлюзов и каналов.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

ПРОЧИЕ ЗАТВОРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТВЕРСТИЙ

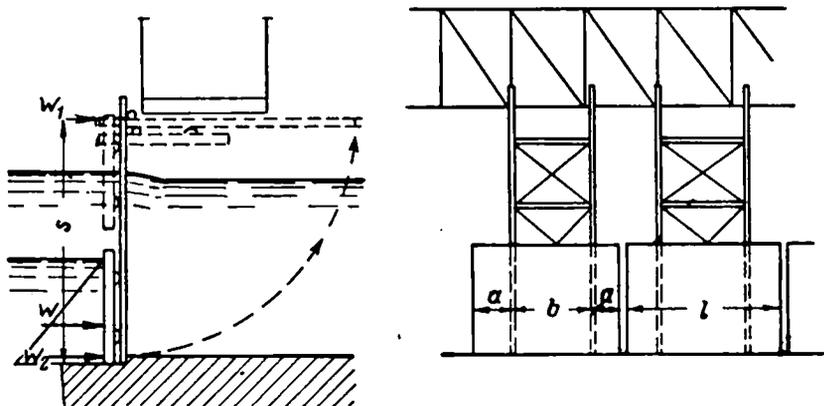
А. ЗАТВОРЫ, ПЕРЕДАЮЩИЕ ДАВЛЕНИЕ ВОДЫ НА ПОРОГ И БЫКИ (УСТОИ)

§ 121. СТОЕЧНО-ПЛОСКИЕ (МОСТОВЫЕ) ЗАТВОРЫ

1. Схема затвора

Современные стоечно-плоские затворы выполняются в виде плоских щитов, перекрывающих пролеты между стойками, шарнирно закрепленными на нижнем поясе фермы моста, перекрывающего отверстие плотины (фиг. 19—1); нижним концом стойки упираются в выступ порога плотины. Давление воды от щитов W передается стойками на порог плотины (большая часть нагрузки) — W_2 и на мост — W_1 , а от последнего на быки или устои (меньшая часть нагрузки).

Регулирование горизонта воды верхнего бьефа производится путем подъема щитов по стойкам, а полное открытие отверстия для пропуска паводка, ледохода, судов и пр. производится путем: а) подъема всех щитов вверх и б) поворота стоек вокруг шарнира моста в горизонтальное положение вместе со щитами (фиг. 19—1). Поворот стоек в старых конструкциях делался в сторону верхнего бьефа, но в современ-



Фиг. 19—1. Схема стоечно-плоского затвора

ных — в направлении нижнего бьефа, для чего стойки предварительно несколько приподнимают над порогом, чтобы освободить их нижние концы.

В деревянных плотинах небольших напоров (2—3 м) стойки не соединяются с деревянным мостом шарнирно, а упираются в его передний прогон и закрепляются съемными болтами или крючьями; при открытии отверстия щиты и стойки убираются на мост. Этот тип плотины описан в гл. 11 части I (фиг. 11—1).

2. Щиты

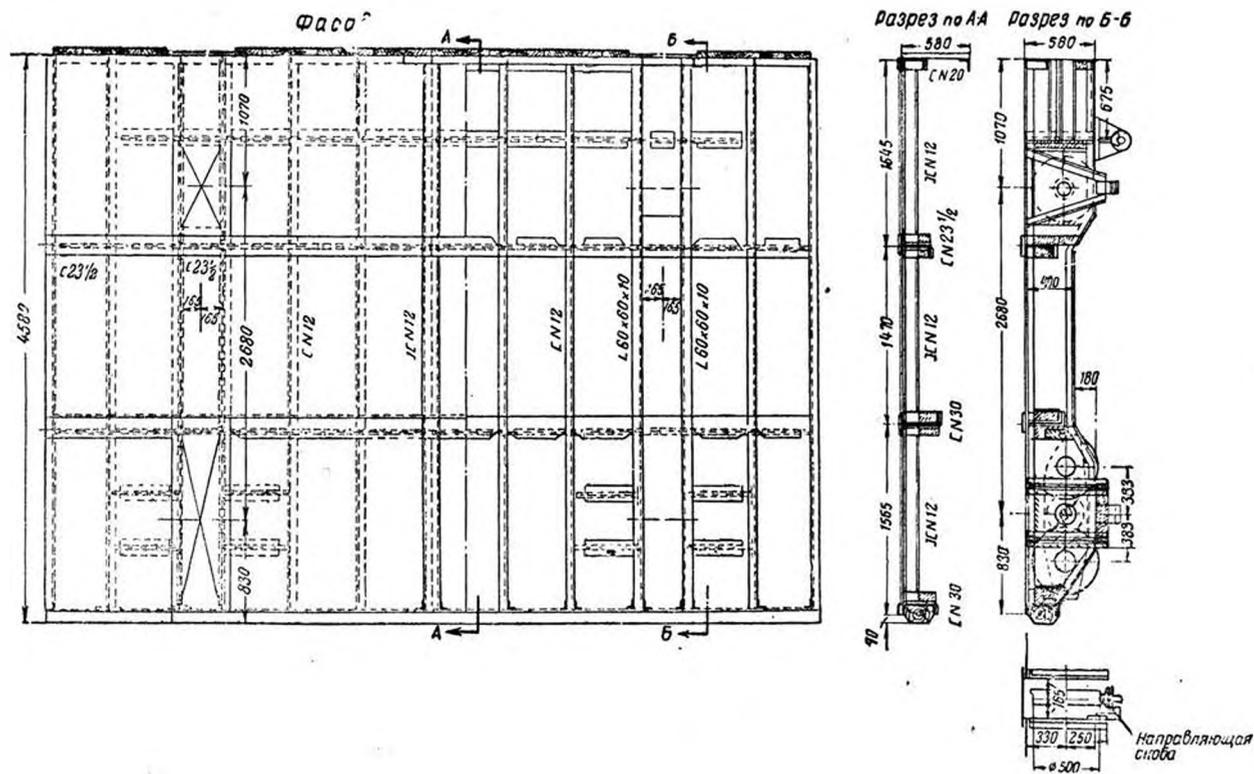
При небольших напорах щиты выполняются деревянными, конструкция не требует особых пояснений, при напорах более 3 м обычно стальными, что позволяет увеличить и пролеты между стойками. Стальные щиты делают или шандорного типа, устанавливаемыми друг на друга, или одиночными, обычно колесными и многоригельными, что уменьшает толщину щита.

В последнее время щиты эти стали делать двухконсольными (фиг. 19—1) с расчетом равенства изгибающих моментов консолей a и среднего пролета b ; это условие выполняется, если принять $a=0,2l$ и $b=0,6l$, где l — длина щита. Колеса укрепляются, таким образом, не на концах щита, а на расстоянии $0,2l$ от концов между специальными диафрагмами; это усложняет конструкции ходовых частей (фиг. 19—2), требуя усиления элементов балочной сети в местах расположения колес. Щиты снабжаются также приспособлениями (скобами) для удержания их при повороте стоек в горизонтальное положение. Зазор между щитами для свободы маневрирования оставляется около 3 см.

3. Стойки

В прежних конструкциях применялись стойки одиночные, в современных же — спаренные в своего рода рамы, воспринимающие на себя полностью давление от отдельных щитов (фиг. 19—1).

В судоходных плотинах, разбирающихся в паводок для прохода судов через них, низ ферм моста должен располагаться так, чтобы суда в паводок могли свободно проходить под мостом и поднятыми в верхнее положение стойками со щитами. Длина стоек в таком случае достигает 12—18 м.

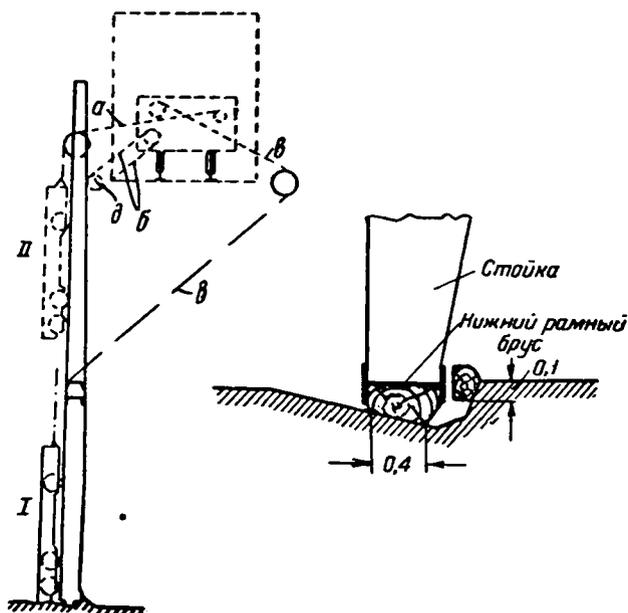


Фиг. 19—2. Плоский щит стоечно-плоского затвора

Пролеты между стойками колеблются от 1,5 до 3,5 м, а между осями стоечных рам — от 4 до 7 м, и обычно равны двум длинам панелей моста.

Стойки рассчитываются на давления, передаваемые им колесами, как двухпорные свободно лежащие балки. Иногда они выполняются в форме бруса равного сопротивления (фиг. 19—3). Связи стоечных рам делаются в виде распорок или распорок и крестов.

Для маневрирования щитами и стойками служат: 1) гибкие тяги *a* (фиг. 19—3) — для подъема или опускания щитов через блоки, укреп-



Фиг. 19—3. Схема подъема стоечно-плоского затвора

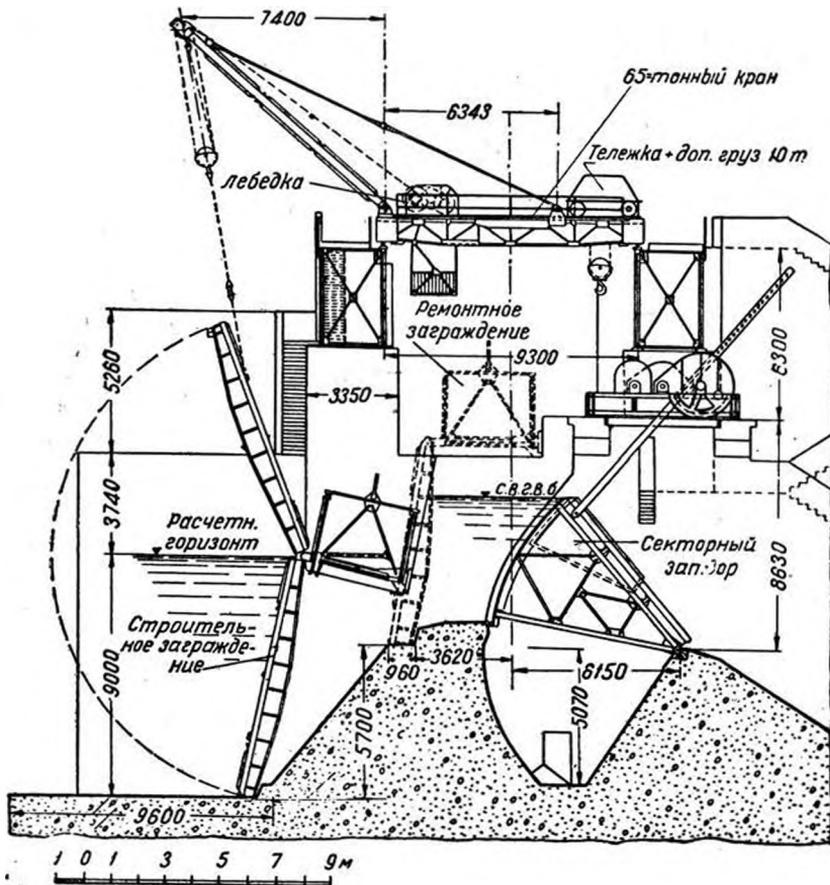
ленные на рамах, 2) эксцентричные валы-шарниры *d*, поворачиваемые тягами *b* и позволяющие приподнять раму над порогом, и 3) гибкие тяги *в* для поворота рамы со щитом в горизонтальное положение, где она закрепляется особыми крюками. Все тяги идут к передвижной лебедке на мосту.

4. Мост

Мост является наиболее дорогой частью затвора, требуя металла в 3—4 раза более, чем щиты и стойки. Поэтому стоечно-плоский затвор целесообразен, если для него используется мост, оправдываемый другими целями (транспортом и т. п.).

В тех случаях, когда для затвора устраивается специальный мост, размеры его делаются минимальными, в частности ширина (между фермами) 4—4,5 м.

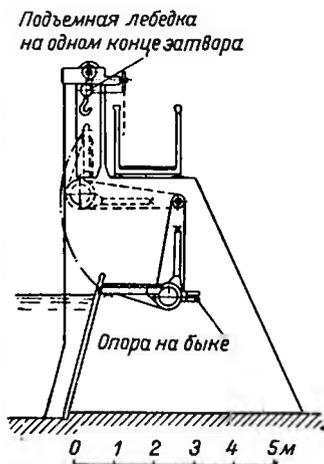
В некоторых случаях мост делается в виде коробчатой или трубчатой балки, служащей опорой для верхних шарниров стоек. На плотине, приведенной на фиг. 19—4, стоечно-плоский затвор служит только для временного (ремонтного) заграждения: в нем стойки шарнирно укреплены на подвижной балке, которая вместе со стойками может быть поставлена или удалена из отверстия плотины (пролетом 30,9 м) краном,двигающимся по плотинному мосту. Пролеты между стойками перекрываются деревянными щитами.



Фиг. 19—4. Ремонтный стоечно-плоский затвор плотины

5. Другие виды мостовых затворов

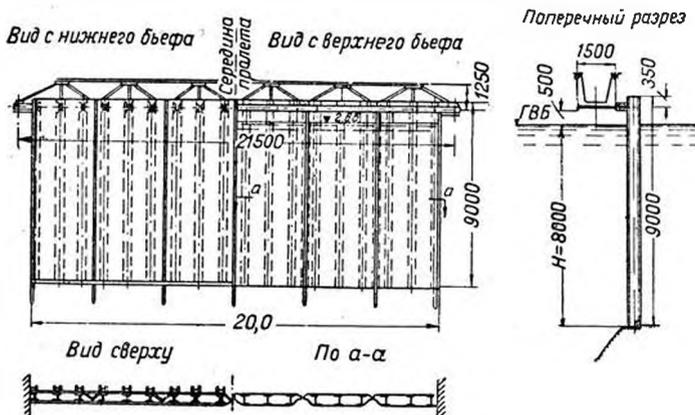
Разновидностью мостовых затворов являются спицевые затворы. Примером может быть относительно легкий затвор в виде трубчатой балки с мостиком (фиг. 19—5), с которого спускаются спицы. Применяется такой затвор для ремонтных целей (пролет 19,8 м), почему трубчатая балка по миновании надобности поднимается вверх (фиг. 19—5). Другой разновидностью мостовых затворов может быть предложенный инж. Н. В. Клингертом и А. А. Бровкиным ремонтный затвор из плывучих плоских щитов, подвешиваемых к мосту (фиг. 19—6). Мост весом 20 т при пролете 20 м транспортируется понтонами на плаву и устанавливается кранами; щиты с двусторонней обшивкой доставляются на плаву и подвешиваются при помощи крана серьгами к шарниру на мосту, внизу они опираются на порог плотины.



Фиг. 19—5. Ремонтный спицевой затвор с трубчатой мостовой балкой

6. Общая характеристика стоечно-плоских (мостовых) затворов

Эти затворы могут перекрывать значительные пролеты отверстий — до 70—80 м при напорах до 4—7 м. Это обстоятельство, а также доступность осмотра и ремонта всех частей затвора, благоприятные условия для пропуска льда и наносов являются достоинствами данного затвора.



Фиг. 19—6. Ремонтный мостовой затвор с подвесными щитами

Однако он имеет и существенные недостатки. Вес собственно затвора на 1 м² перекрываемой площади находится в пределах весов плоских затворов соответствующих пролетов (0,4—0,7 т), но вместе с мостом превосходит вес всех других затворов и доходит до 2,5—3 т/м². Необходимость устройства высоких быков в случае пропуска судов, многочисленность подвижных элементов, затруднительность маневрирования затвором зимой и дороговизна всего устройства вообще являются отрицательными сторонами затвора данного типа.

В настоящее время стоечно-плоские затворы применяются в деревянных плотинах малых напоров, где они просты и дешевы, затем на судоходных реках, если используется для затворов существующий мост, и, наконец, в качестве временного заграждения (ремонтного) в тех случаях, когда не требуется специального для него моста или удается обойтись передвижной мостовой балкой.

§ 122. КЛАПАННЫЕ И ПЛОВУЧИЕ ЗАТВОРЫ

1. Клапанные неуравновешенные затворы

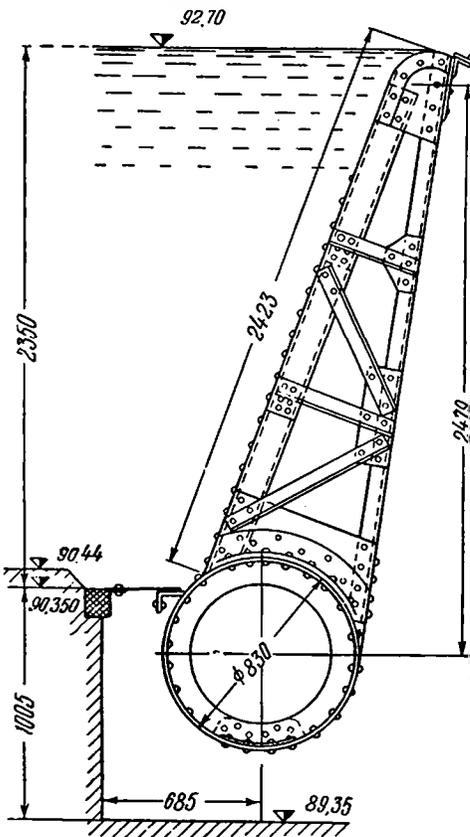
Затворы эти по конструкции полотнища их аналогичны клапанам, описанным в § 119. Они вращаются на горизонтальной оси, укрепленной на пороге плотины, которому передается $\frac{2}{3}$ всего давления воды на затвор. Клапан с

плоской напорной поверхностью (фиг. 19—7) подвешен обычно на двух тягах к подъемному механизму, установленному на быках или устоях; подъемное усилие, как это явствует из распределения сил, невелико.

В верхнем положении затвор обычно наклонен к вертикали под углом $20-30^\circ$, в нижнем—лежит горизонтально на пороге плотины. Однако такие клапаны обуславливают в нижнем их положении (фиг. 19—10,а) малый коэффициент расхода (плоский порог) и обладают малой жесткостью.

Поэтому такие клапаны вытесняются более жесткими, с криволинейной обтекаемой поверхностью (фиг. 19—8) или в форме чечевицы, называемыми иногда рыбовидными клапанами (фиг. 19—9).

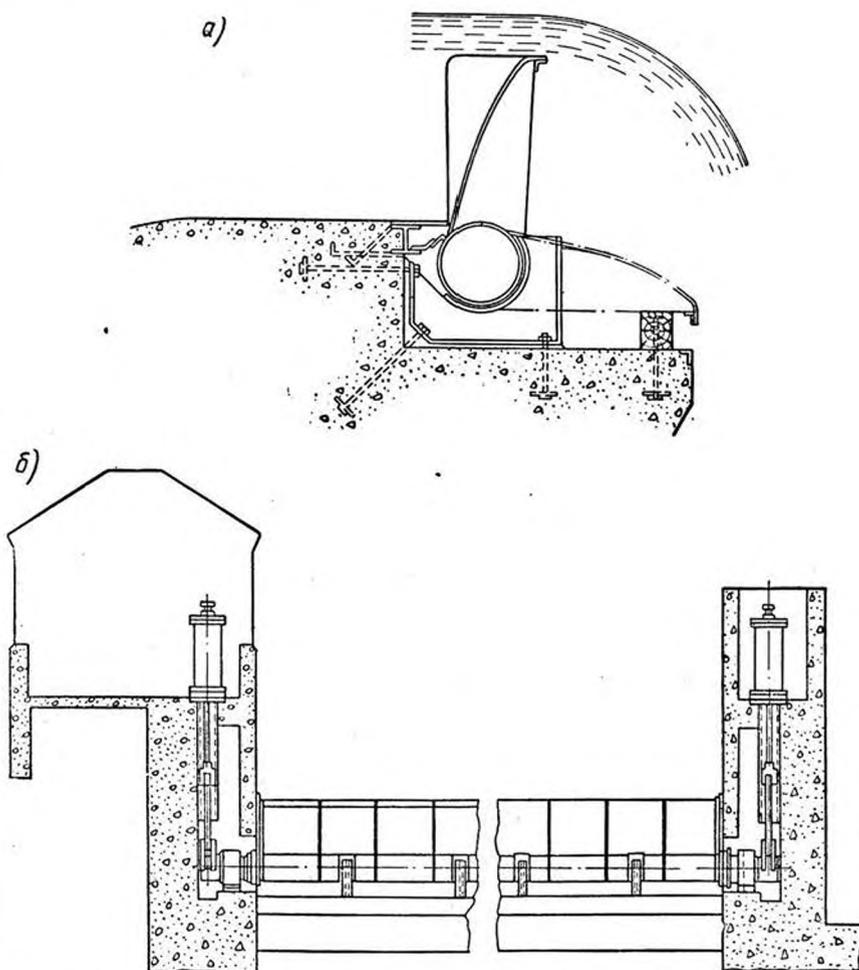
Затвор типа, показанного на фиг. 19—8, управляется гидравлическим механизмом на бычках, причем ему может быть сообщена автоматичность действия, почему он может сбрасывать паводки, плавающие тела, наносы и даже лед (в трубчатой оси вращения устроен электрообогрев).



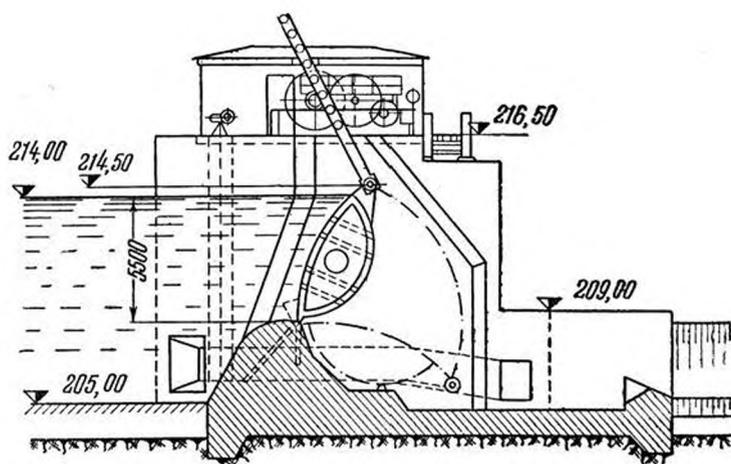
Фиг. 19—7. Клапанный затвор с плоской напорной поверхностью

Рыбовидный затвор благодаря большой жесткости управляется односторонним приводом (тяговой рейкой), что позволяет иметь в отверстии плотины два таких затвора, прилегающих друг к другу своими холостыми (без приводов) концами. Таким путем может быть перекрыт пролет до 40 м без промежуточного быка.

Клапанные неуравновешенные затворы пригодны вообще для отверстий до 15—20 (и даже до 30 м) и напоров до 3—5 м. Они просты



Фиг. 19—8. Клапанный затвор с криволинейной напорной поверхностью



Фиг. 19—9. Клапанный рыбовидный затвор с односторонним приводом

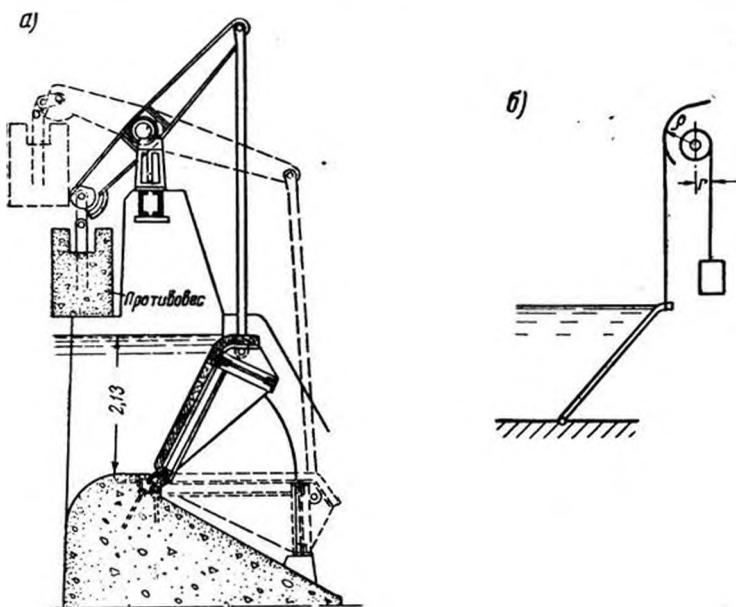
по конструкции, не требуют тяжелых механизмов, хорошо регулируют уровень верхнего бьефа.

Обычно эти затворы располагаются на повышенных и высоких порогах плотин, но последние их конструкции с искусственным промывом наносов позволяют применять клапанные затворы на низких порогах (осуществлен затвор при высоте порога над дном реки всего 0,4 м).

Затворы эти можно устанавливать и на действующих плотинах и водосбросах, на которых не было предусмотрено затворов, как это сделано на одной из ГЭС Узбекэнерго¹.

2. Клапанные уравновешенные сверху затворы

Затворы этого типа работают по той же схеме, что и затворы с нижними противовесами (§ 119); отличие заключается только в том, что в данном случае противовесы подвешены над уровнем воды на



Фиг. 19—10. Клапанный уравновешенный сверху затвор

быках или устоях (фиг. 19—10), на которые передается часть давления, производимого водой на затвор. При этом уравновешение затвора может производиться при помощи коромысла (фиг. 19—10,а) или без него (фиг. 19—10,б).

Затворы с коромыслом действуют аналогично затворам с противовесами внизу (фиг. 18—23).

Затвор типа, показанного на фиг. 19—10,б, характерен тем, что радиусы-плечи моментов противовеса различны в разных положениях затвора в соответствии с изменением моментов вращения. Это достигается устройством барабана для тяги противовеса специального криволинейного очертания.

¹ А. Альтерман, Опыт расчета и наладки клапанного затвора на автоматизированной гидроэлектростанции, журнал «Гидротехническое строительство» № 11, 1948.

В отличие от клапанных затворов с противовесами внизу (фиг. 18—23) данные затворы не требуют высокого порога плотины и могут быть применены при пороге любого вида. Недостаток их, однако, в том, что противовесы находятся на открытом воздухе, и это (действие мороза, пыли и пр.) несколько отражается на точности работы затвора.

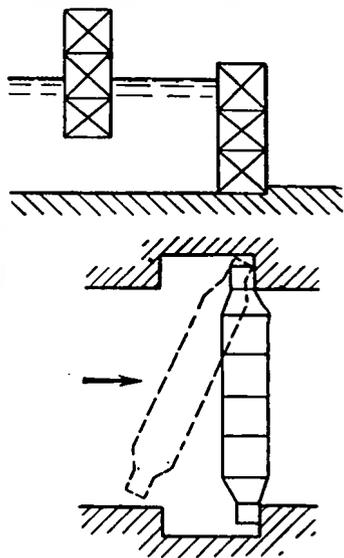
3. Пловучие затворы

Пловучий затвор, называемый также батопортом (фиг. 19—11), представляет собой полулю конструкцию, обшитую со всех сторон водонепроницаемой обшивкой и потому обладающую пловучестью. Затвор этот может быть установлен в отверстии плотины или другого гидротехнического сооружения при наличии лишь очень небольших скоростей течения или в спокойной воде; для этого он заводится в пазы на плаву, затем наполняется водой настолько, чтобы опуститься на дно; при откачке воды из ограждаемого пространства батопорт прижимается напором к пазам и порогу, создавая водонепроницаемое ограждение.

Для удаления затвора из отверстия вода из него откачивается, он всплывает и буксируется на место обычной стоянки.

Конструктивно пловучие затворы делаются или стальными, или железобетонными по типу судов.

В качестве постоянных затворов плотин они вообще не применяются и используются лишь в качестве ремонтных ограждений и то сравнительно редко. Чаще их используют в сухих доках, иногда в судоходных шлюзах.



Фиг. 19—11. Пловучий затвор

Б. РЕМОНТНЫЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТВЕРСТИЙ

§ 123. РЕМОНТНЫЕ ЗАТВОРЫ

1. Область применения ремонтных затворов

Ремонтные затворы отверстий плотин необходимы в период эксплуатации для осмотра, ремонта и смены основных затворов, для осмотра и ремонта порога плотины и закладных частей в нем и в быках (устоях), а также в случае аварии основного затвора (ремонтно-аварийные затворы).

Ремонтные затворы устраиваются со стороны как верхнего, так и нижнего бьефа, но в ряде случаев — только со стороны верхнего бьефа, а именно: если горизонт воды в нижнем бьефе стоит ниже порога плотины или если порог затапливается со стороны нижнего бьефа лишь на короткое время.

Ремонтные затворы можно вообще не устраивать, если в период эксплуатации плотины уровень верхнего бьефа (и, конечно, нижнего бьефа) периодически, во всяком случае ежегодно, опускается на достаточное время ниже порога плотины.

Ремонтные затворы можно не устраивать также в тех случаях, когда затвор полностью поднимается из воды, а закладные части просты по конструкции и порог по условиям режима работы отверстия не может подвергаться повреждениям, так что необходимый осмотр и ремонт этих частей быков и порога может быть произведен либо водолазами, либо при помощи местных ограждений в виде опускаемых ящиков-присосов. Это относится, например, к затворам сегментным, вальцовым, стоечно-плоским.

Вопрос об отказе от ремонтных затворов должен быть обстоятельно обсужден в каждом отдельном случае с учетом всех условий работы затвора и его конструкции, а также ответственности сооружений.

2. Требования к ремонтным затворам

Ремонтные затворы должны удовлетворять следующим требованиям: а) быть водонепроницаемыми; б) простыми по конструкции; в) по возможности меньше ухудшать гидравлические условия работы отверстия (не снижать коэффициента расхода и пр.); г) быть экономичными. Последнее зависит от типа и сложности конструкции, возможности обслуживания ограждением не одного, а многих отверстий, а также от возможности размещения ограждений перед затвором без дополнительного уширения порога, удлинения быков и т. п. В некоторых случаях важна еще быстрота сборки или установки ограждения в стоячей воде или в текущей, а именно, в случае аварии, угрожающей значительной потерей воды из верхнего бьефа или другими нежелательными последствиями.

3. Типы ремонтных затворов

В качестве ремонтных применяются следующие затворы.

а) Шандоры — один из наиболее распространенных видов ограждений, занимающий мало места на флютбете, относительно экономичный, если на плотине имеется много пролетов и 1—2 комплекта шандоров могут обслужить все сооружение; шандоры можно устанавливать и в стоячей, и в текущей воде. Перекрываемые пролеты для шандоров деревянных — до 10—12 м, для стальных и железобетонных — до 25—30 м.

б) Плоские затворы — одиночные или секционные — являются также удобными для целей ремонтного ограждения, особенно если основным затвором на плотине является такой же затвор; запасный комплект (1—2) основного затвора может служить в качестве ремонтного затвора, обслуживаемого тем же краном, что и основные затворы. Это выгодно при большом количестве отверстий в плотине. В других случаях ремонтными являются специальные затворы, притом скользящего трения, если опускание их производится в спокойную воду (например, со стороны нижнего бьефа) при наличии верхового ограждения.

Данный вид ремонтного ограждения отличается хорошей водонепроницаемостью, быстротой закрытия отверстия, почему может применяться в аварийных случаях, но является дорогим и выгоден только в случаях, указанных выше.

в) Поворотные фермы с закрытием щитками или спицами являются очень экономичным и простым ремонтным ограждением в тех случаях, когда плотина имеет достаточно широкий порог перед основным затвором, а число отверстий в плотине невелико. Этот тип ограждения целесообразен при больших пролетах отверстий, отсутствии моста на плотине и мощных кранов для основных затворов.

Недостатком данного типа заграждений является необходимость ниши в бычке или устое, что, впрочем, может быть избегнуто устройством крайней фермы складной на шарнире; иногда в связи с последним недостатком дают значительные расстояния между фермами и применяют спицевое закрытие. Эти заграждения устанавливаются медленно, особенно в текущей воде.

г) Поворотные рамы можно применять в тех же случаях, что и поворотные фермы, но они имеют преимущество более быстрой сборки, почему могут, как и плоские затворы, применяться в качестве аварийных затворов. В остальном они не имеют преимуществ перед поворотными фермами и, кроме того, являются весьма дорогим ремонтным заграждением.

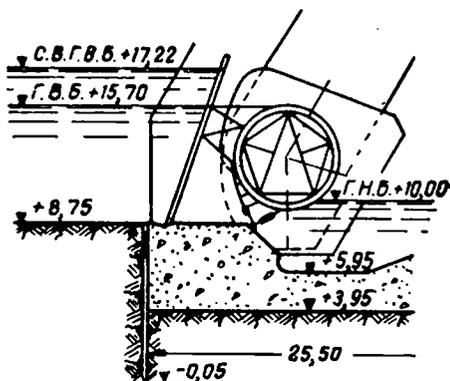
д) Подкосные затворы применяются в условиях, аналогичных условиям для поворотных ферм и рам. Возможность устройства подкосных затворов из дерева является их преимуществом при дефиците металла. Установка затворов сложна, возможна только в спокойной воде и требует много времени; требуются дорогое оборудование для транспортировки и установки затворов и наличие широкого порога.

е) Стоечно-плоские затворы используются в качестве ремонтных заграждений при наличии мостов постоянных или легких временных (фиг. 19—4, 19—5, 19—6). Если не требуется удаления из пролета основного затвора, например, вальцового, плоского и др., стоечно-плоское заграждение может быть выполнено из спиц, опирающихся на порог и на основной затвор (фиг. 19—12).

Стоечно-плоские затворы не требуют много места на пороге (они наиболее экономичны в этом отношении) и просты по конструкции.

По скорости закрытия (и в стоячей, и в текущей воде) они превосходят шандорные заграждения, заграждения с поворотными фермами и др. и уступают лишь плоским затворам и поворотным рамам. Требуют мощного кранового оборудования для передвижения мостов, балок и щитов; при использовании в качестве опоры основного затвора установка, наоборот, проста.

ж) Пловучие затворы (батопорты) — самый дорогой и сложный по выполнению тип ремонтного заграждения, применяется в плотинах весьма редко, только при наличии широкого порога и в условиях спокойной воды.



фиг. 19—12. Спицевое ремонтное заграждение с использованием основного затвора

§ 124. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ

1. Условия применения строительных затворов

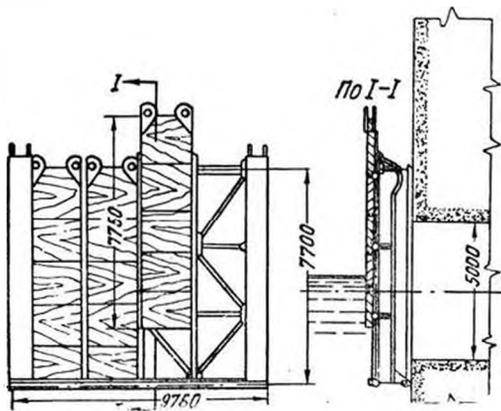
Заграждение отверстий в период строительно-монтажных работ необходимо: 1) при возведении плотины методом донных отверстий или методом «гребенки» (см. гл. 25), т. е. методом постепенного бетонирования тела плотины между быками в пролетах, ограждаемых от

воды, с пропуском воды через другие, открытые пролеты; 2) в случае монтажа основных затворов в отверстиях при поднятом уже горизонте воды в верхнем бьефе; 3) при восстановлении поврежденных сооружений.

Во время постройки плотины приходится закрывать отверстия ее при наличии в них, как правило, текущей воды, и только заграждения со стороны нижнего бьефа можно ставить в стоячей воде. Поэтому в верхнем бьефе непригодны заграждения, не удовлетворяющие этому условию, как, например, пловучие затворы, подкосные затворы и др. С другой стороны, крайне желательно в период постройки использовать то же оборудование (затворы, краны, мосты), что и при эксплуатации.

2. Типы строительных затворов

а) Плоские затворы применяются или типа, принятого для основного затвора, или специальные, так называемые каркасные и секционные. Применение основных эксплуатационных затворов в качестве строительных заграждений иногда неудобно из-за требуемых широких пазов.



Фиг. 19—13. Плоский каркасный затвор для закрытия строительных донных отверстий

Поэтому если необходимы переделки основных затворов для использования их в качестве строительных, то может оказаться более выгодным применять специальные каркасные затворы, например, типа, использованного на Днепрострое и затем при восстановлении Днепровской плотины. Этот затвор состоит из стального каркаса, который легко может быть опущен в текущую воду и который служит опорой для щитков, закрывающих пролеты между

его стойками. На фиг. 19—13 показан каркасный затвор, использованный для закрытия донных отверстий при восстановлении Днепрорэса.

Секционные затворы состоят обычно из нескольких плоских колесных затворов компактной конструкции.

б) Шандоры скользящего типа могут применяться для закрытия со стороны нижнего бьефа при наличии закрытия со стороны верхнего бьефа, произведенного в текущей воде шандорами же, но на колесах, или другими типами затворов. Тяжелые железобетонные шандоры могут иногда применяться и в текущей воде, что необходимо проверить расчетом. Можно железобетонные шандоры по миновании надобности не поднимать, а оставлять на месте, включая их в состав бетонного тела плотины.

При вертикальных и наклонных гранях быков или тела плотины, выполняемого методом гребенки, и значительных пролетах можно применять заграждения из шандоров арочного типа.

в) Подкосные затворы применяются в некоторых случаях, когда имеется достаточная площадка на сооружении для их установки

в спокойной воде как со стороны верхнего, так и нижнего бьефов. Эти затворы удобны для перекрытия значительных пролетов.

г) Стоечно-плоские затворы могут быть применены в аналогичных же случаях, в частности тип с передвижной опорной верхней балкой (фиг. 19—4 и 19—5). Но этот затвор требует мощного крана для переноса балки.

ГЛАВА ДВАДЦАТАЯ

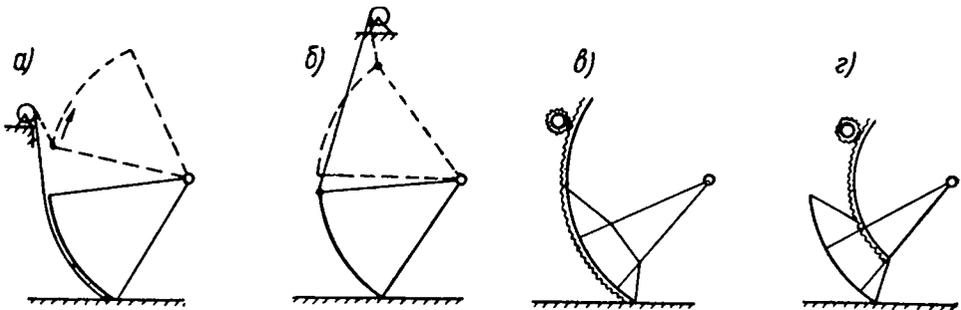
ПОДЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЗАТВОРОВ

§ 125. ПОДЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАТВОРОВ

Подъемные устройства затворов включают в себя подъемные тяги (цепи, тросы, штанги), подъемные механизмы и моторы, приводящие механизмы в движение. Подъемные механизмы могут быть стационарными, неподвижными, в этом случае каждый затвор имеет собственный подъемник, и передвижными, могущими быть установленными на служебном мосту над любым отверстием плотины, в этом случае подъемник (кран) обслуживает несколько затворов.

1. Подъемные тяги

Подъемные тяги бывают гибкими и жесткими: первые применяются в тех случаях, когда затвор не требует принудительного усилия для его опускания; жесткие тяги применяются для осуществления принудительной посадки затвора на порог или для обеспечения большей надежности маневрирования затвором вообще.



Фиг. 20—1. Тяги сегментных затворов

Гибкие тяги применяются для плоских затворов за исключением затворов скользящего трения, для большей части сегментных затворов и для вальцовых затворов. Тяги эти представляют собой стальные тросы (для небольших затворов) или цепи Галля, прикрепляемые шарнирно к затворам: в плоских — к концам опорных стоек, в сегментных — с напорной стороны у нижнего края или у верхнего ригеля (фиг. 20—1, а, б), в вальцовых — за особую отливку на ободе опорного конца цилиндра. Узел конструкции затвора, в котором происходит присоединение тяг к затвору, носит название подвеса. Подвес может быть простым, с одной осью или с несколькими блоками, или балансирным для нескольких тросов или звездочек цепи Галля. Другой

конец тяги навивается на барабан или звездочку (цепи Галля) подъемного механизма.

Жесткие тяги в плоских и клапанных затворах представляют собой рейки — зубчатые или цевочные, шарнирно закрепляемые на опорных стойках затвора и соединяемые с подъемным механизмом. В небольших затворах применяют еще шпindelные тяги, состоящие из штока, прикрепленного к затвору и имеющего на верхнем конце винтовую нарезку. При помощи гайки, насаженной на эту нарезку и вращаемой от привода, производится подъем и опускание штока, а с ним и затвора.

В сегментных затворах жесткие тяги состоят из зубчатых или цевочных криволинейных (по дуге круга), концентричных с напорной поверхностью литых реек или сегментов, прикрепленных или к напорной грани на опорной стойке (по схеме фиг. 20—1,а), или к опорной ноге (по схеме фиг. 20—1,б) и соединенных с зубчатым колесом механизма. В первой схеме усилие, передаваемое зубцами, меньше, но рейки длиннее, чем во второй, в которой зато подъем затвора может быть совершен на полную высоту при несколько более низком положении подъемного механизма, а следовательно, при несколько меньшей высоте быка.

Разновидностью жестких тяг являются штанги, состоящие из соединенных шарнирно звеньев и применяемые при подъеме затворов передвижными механизмами (см. ниже).

2. Подъемные механизмы и приводы

Стационарные механизмы применяются в тех случаях, когда число затворов на плотине невелико или когда по характеру затвора и условиям быстрого открытия ряда затворов передвижной подъемник непригоден; например, в вальцовых затворах применяются только стационарные механизмы, в сегментных и клапанных — чаще тоже стационарные.

Передвижные подъемники-краны особенно рекомендуются, когда плотина имеет большое число затворов и когда кран используется в строительный период для строительно-монтажных работ, а в период эксплуатации для ремонтных целей, для перевозки затворов, а также для обслуживания гидроэлектростанции, если таковая имеется при плотине.

Лебедка подъемного механизма имеет моторный и ручной приводы. При моторном приводе скорость подъема затвора может быть от 0,2 до 1—2 м/мин, причем сегментные затворы обычно допускают большую скорость подъема, чем плоские и вальцовые. При ручном приводе скорость подъема падает до 0,01—0,03 м/мин. В соответствии с этим назначается передаточное число механизма. Передачи обычно зубчатые за исключением первой от мотора, делаемой червячной.

Мощность мотора подъемного механизма можно определять по формуле:

$$N = \frac{Sv}{75 \cdot 60\eta} \text{ л. с.}, \quad (20-1)$$

где S — подъемное усилие в кг;

v — скорость подъема в м/мин;

η — к. п. д. механизма, для предварительных подсчетов принимаемый равным 0,6.

Вес подъемных механизмов одиночного затвора, включая лебедки, станины, передачи, тяги и пр., в предварительных подсчетах может быть определен по эмпирической формуле А. Р. Березинского:

$$G_{п.м} = 0,1 S(a + v) - 0,0005 S^2 \tau, \quad (20-2)$$

где S — расчетное подъемное усилие в т;
 v — скорость подъема затвора в м/мин;
 a — коэффициент, принимаемый равным для сегментных затворов 2,5, для плоских — 3,5 и вальцовых — 4,5.

В затворах с клапаном или двойных подъемный механизм сложнее и тяжелее примерно на 15—20%.

3. Расположение стационарных механизмов

Механизмы вальцовых затворов располагаются только на быках в особых надстройках, защищающих их от дождя, снега и пр.

Механизмы плоских и сегментных затворов обычно устанавливаются на быках, но иногда и на служебном мосту. Так как подъем затвора производится за оба конца¹, то применяют следующие способы соединения моторов и подъемных механизмов:

1) мотор M устанавливается на одном из быков, передача на другой бык пролета производится при помощи длинного вала (фиг. 20—2,а); это допустимо только для небольших пролетов и малых мощностей механизмов;

2) мотор M устанавливается на служебном мосту, откуда при помощи общего вала приводятся в движение подъемники на быках (фиг. 20—2,б); это применимо и для значительных пролетов, но требует жестких мостов;

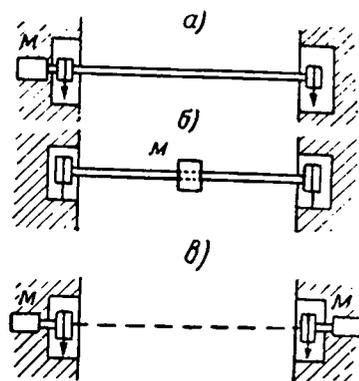
3) моторы устанавливаются на каждом быке у подъемных механизмов (фиг. 20—2,в), синхронность их работы достигается при помощи так называемого «электрического вала».

Во всех случаях механизмы и моторы помещают в закрытые помещения; при расположении механизмов на мостах иногда устраивают сплошные крытые галереи через плотину. Небольшие механизмы могут прикрываться просто металлическими кожухами.

На современных плотинах затворы приводятся в движение электричеством, которое применяется широко и для автоматизации подъема, остановки, для централизации управления затворами, для блокировки, гарантирующей определенный порядок подъема затвора, и пр.

4. Передвижные подъемные устройства

Эти устройства состоят из передвижного крана и лебедки на нем. Подъемные краны применяются двух типов: порталные (фиг. 20—3,а) и мостовые (фиг. 20—3,б). Первые, более тяжелые, требуют много металла (для ног и порталов вообще) и более тяжелых мостов на плотине для своего передвижения. Вторые легче, изготавливаются у нас серийно и быстрее, чем индивидуальные порталные краны, и обходят-



Фиг. 20—2. Схемы подъемных механизмов

¹ Как указывалось ранее, сегментные и клапанные затворы иногда поднимают за один конек.

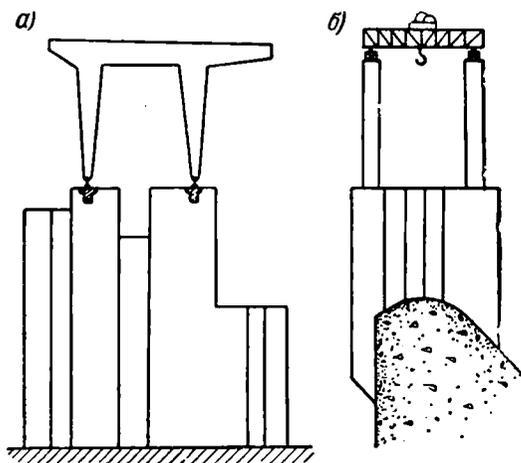
ся вообще дешевле, но требуют зато устройства колонн на быках и площадках устоев для расположения на них ходовых путей крана. Эти пути и мостовые перекрытия для каких-либо других целей не могут быть использованы.

Портальные краны зато более универсальны в том смысле, что легче могут быть использованы не только на плотине, но и на гидростанции в узле, а также в период строительства для различных монтажных работ.

Применение передвижных механизмов-кранов требует, чтобы затворы могли быть освобождены от подъемника в промежуточных их положениях в отверстии или полностью извлечены из воды и установлены на временных опорах. Для этого служат устройства — подхватывающие мостики или подхватывающие крюки, — позволяющие подвешивать затвор в различных положениях его подъема с интервалом 0,5 м и более.

Как указывалось выше, в этом случае применяются тяги в виде штанг, звенья которых отсоединяются по мере подъема затвора ступенями длиной, кратной длине звена.

Подхваты-мостики представляют собой откидные конструкции, перекрывающие пазы затвора или работающие,



Фиг. 20—3. Типы кранов на плотинах

как консоли (в последнем случае нагрузка на мостик ограничивается 90—100 т, т. е. это пригодно для затворов среднего веса); штанги проходят через мостик и закрепляются на нем.

Подхваты-крюки представляют собой откидные конструкции, закрепленные на торцах опорных стоек затворов и зацепляющиеся за гнезда особых реек, располагаемых в пазах.

Передвижные механизмы применяются главным образом для плоских затворов, менее удобно применять их для сегментных. Передвижные подъемники применяются и для стоечно-плоских затворов, клапанных, подкосных, для щитков поворотных ферм.

Для щитов деревянных плотин (гл. 11 части I) применяют обычно ворота, передвигающиеся по служебному мостику. В последнее время стали применять и здесь более мощные подъемники по типу передвижного копра с лебедкой, снабженной электромотором мощностью 8 кВт; эти подъемники могут вытаскивать щиты высотой до 2—2,5 м и осаживать их на место с помощью копровой бабы.

§ 126. СЛУЖЕБНЫЕ МОСТЫ

1. Назначение и виды мостов

Служебные мосты на плотинах предназначаются:

1) для размещения на них стационарных подъемных механизмов затворов;

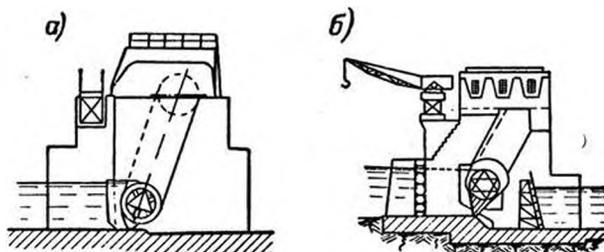
2) для передвижения подъемных кранов, обслуживающих основные и временные (ремонтные, строительные) затворы или обслуживающих

только временные затворы при наличии стационарных подъемников для основных затворов;

3) для пешеходного служебного движения через плотину;

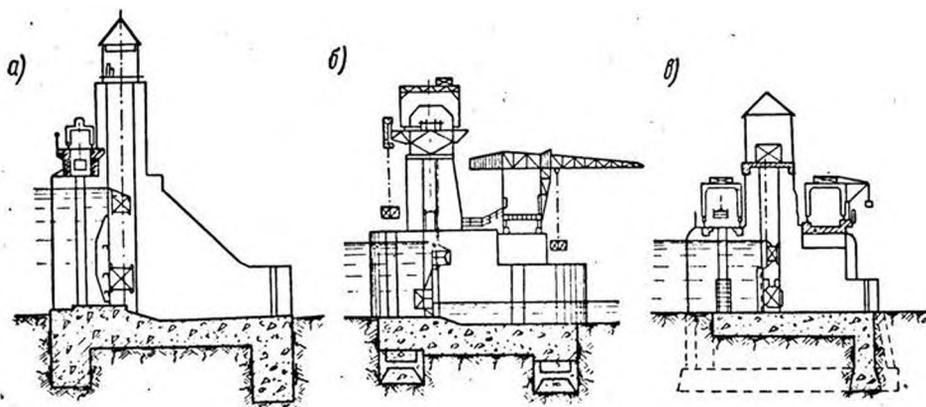
4) для нескольких целей, указанных в пп. 1—3, комбинированные.

Мосты для автогужевого и железнодорожного транспорта не относятся к служебным, хотя иногда совмещаются со служебными; иногда



Фиг. 20—4. Схемы мостов пешеходных и для ремонтных затворов

такие мосты располагаются ниже плотины по реке, что с точки зрения эксплуатации плотины и гидроузла предпочтительнее, но экономически менее выгодно.



Фиг. 20—5. Схемы плотинных мостов

Количество мостов на плотине стараются сократить до минимума путем совмещения нескольких функций одним мостом. В частности отдельный пешеходный мост устраивается в том случае, если не требуется других служебных мостов, например, при вальцовых затворах, в остальных случаях он совмещается обычно с каким-либо служебным мостом. Иногда пешеходный мост заменяется проходом по галерее в теле плотины или по затвору (поворотные рамы, вальцовые и др.) или внутри его (вальцовые, секторные, крышевидные); часто пешеходный мост совмещается с дорожным мостом ниже плотины.

Если плотина обслуживается передвижными механизмами, то в большинстве случаев можно обойтись одним служебным мостом или подкрановыми балками, по которым передвигаются краны для обслуживания основных затворов, с консолями для обслуживания ремонтных заграждений, если последние имеются на плотине (фиг. 20—3,а). По этому же мосту может осуществляться и пешеходное движение.

Если все механизмы затворов расположены на быках и устоях, то мосты могут понадобиться лишь для пешеходного движения (фиг. 20—4,а) или для временных затворов (фиг. 20—4,б), поэтому желательно выбрать такой тип последних, чтобы они не требовали мостов. Это, однако, не всегда удается.

Если же на мосту располагаются стационарные механизмы для подъема основных затворов, то при наличии и временных затворов потребуется для них второй мост (фиг. 20—5,а), или можно обойтись устройством небольшого крана, движущегося по мосту стационарных механизмов (фиг. 20—5,б); иногда даже требуется и третий мост — при большом расстоянии между верховым и низовым ремонтными заграждениями (фиг. 20—5,в).

2. Расположение мостов

В зависимости от назначения мосты располагаются различно в плане и по высоте.

Мосты для стационарных механизмов и кранов устраиваются обычно на высоте, необходимой для полного подъема затворов, и в плане — как раз над линией пазов плоских затворов, а для сегментных иногда ближе к верхнему бьефу.

Мосты для временных затворов размещаются на быках со стороны верхнего или нижнего бьефа над соответствующим затвором или центрально, если оба затвора обслуживаются одним механизмом.

Пешеходные мосты, если они делаются отдельно от других мостов, располагаются на уровне площадок устоя со стороны верхнего или нижнего бьефа, смотря по местным условиям и удобству размещения. Размещение мостов должно быть увязано с их расположением на смежных сооружениях гидроузла (например, здании ГЭС), а также с проезжей частью глухих частей плотин узла для осуществления сквозного транспорта.

3. Конструкции мостов

В современных плотинах мосты делаются или стальными, или железобетонными; в деревянных плотинах применяют деревянные же мосты.

а) Стальные мосты наиболее предпочтительны с учетом их относительно малого веса, быстроты сборки и наводки, возможности использования их в период строительства с неоднократным иногда перемещением в этот период на разные уровни быков; особенно выгодны они при значительных пролетах отверстий.

По типу стальные мосты чаще всего делаются балочными, с параллельными поясами, сплошными или сквозными, так как они проще конструктивно и универсальнее с точки зрения использования их в строительный период. Мосты под краны состоят обычно из отдельных подкрановых балок без устройства сплошного полотна под всем пролетом крана (фиг. 20—3).

б) Железобетонные мосты иногда оказываются экономичнее стальных, например, арочные мосты, тем более, что последние могут перекрывать большие пролеты, чем балочные железобетонные мосты.

Однако арочные мосты требуют более тяжелых быков с учетом распора арок и, кроме того, надежных геологических условий, так как неравномерные осадки опор недопустимы.

Железобетонные мосты труднее использовать в строительный период, осуществление их требует сложных приспособлений (подмостей, опалубки и пр.) и значительного времени, особенно учитывая необходимость выдержки забетонированных мостов перед распалубкой. Во многих случаях при пролетах до 15—20 м с успехом могут быть применены сборные железобетонные мосты из предварительно-напряженного материала.

В конечном счете выбор типа моста делается после сопоставления вариантов, сделанных для данных местных условий, с экономической и производственно-строительной точки зрения. Известную роль могут сыграть иногда архитектурные соображения.

§ 127. МОНТАЖ ЗАТВОРОВ

1. Изготовление затворов

В большинстве случаев практики металлические затворы изготавливаются на заводах, где имеется соответствующее оборудование, и лишь иногда — в мастерских на строительной площадке (небольшие затворы). Деревянные и железобетонные затворы, наоборот, изготавливаются, как правило, на месте работ.

Затворы, по габаритным размерам допускающие перевозку их по железным дорогам, после изготовления их на заводе перевозятся к месту постройки собранными полностью, если в таком виде они могут быть непосредственно установлены на плотину. В тех случаях, когда затвор может быть перевезен к месту постройки водой, изготовленные и собранные на заводе затворы или их части могут по своим размерам превышать железнодорожные габариты.

При невозможности доставить затвор в собранном виде он доставляется в виде «монтажных единиц», т. е. целых частей, которые относительно легко соединяются уже на месте работ, где выполняются и такие детали, как простейшие уплотнения, деревянная обшивка и т. п.

2. Закладные части и их установка

До установки затвора на месте должна быть закончена бетонировка закладных частей затвора. Закладные части (рельсовые пути — рабочие, обратные и боковые, зубчатые рейки, шарниры и пр.) служат для передачи давления от затвора на бетон быков, для создания гладких поверхностей под уплотнениями (стальные полосы), для защиты бетона угловых частей пазов от разрушения (армирование углов) и пр.

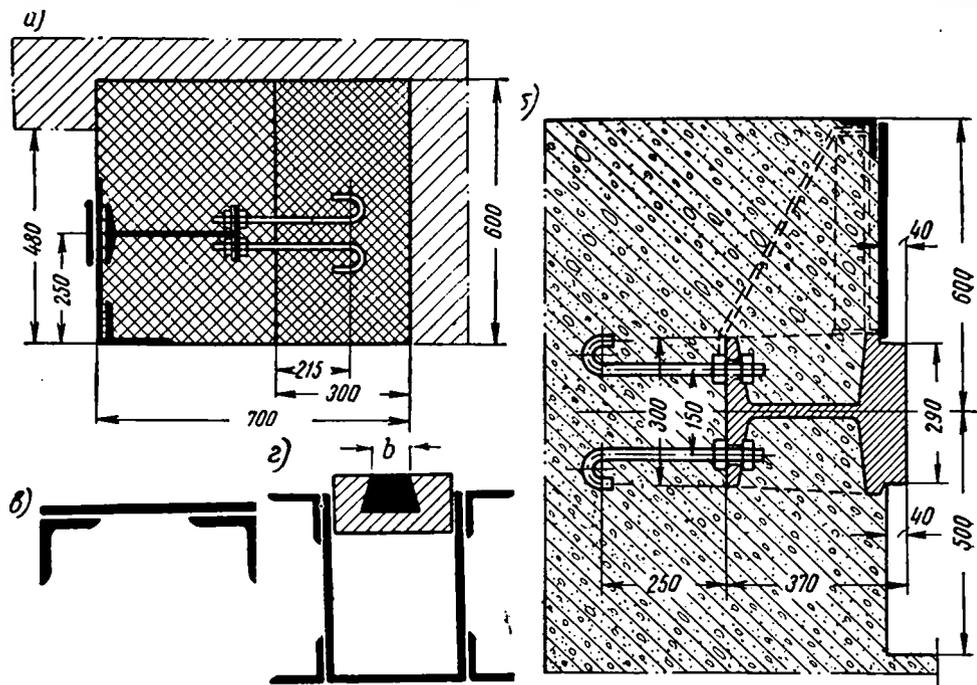
К закладным частям относятся также утепляющие устройства в пазах и уплотнениях.

На фиг. 20—6 представлены некоторые виды закладных частей: *a* — рабочий путь с одновременным обязательным армированием углов паза — для малых нагрузок от колес, *б* — литой путь для более тяжелых колес, *в* — армирование порога под донное уплотнение типа деревянного бруса, *г* — то же, под донное уплотнение «ножевого» типа при затворах больших напоров.

При бетонировке порога, быков и устоев в тех местах, где должны быть заложены закладные части, обычно оставляются в бетоне так называемые штрабы, т. е. выемки в бетоне с выпусками заложеной в бетон арматуры. Эти штрабы бетонируются впоследствии с одновременной установкой закладных частей (на фиг. 20—6, *a* штрабный бетон показан перекрестной штриховкой). Установку последних параллельно с ходом основных бетонных работ, особенно вертикальных частей, например, рельсов для плоских затворов, трудно произвести с большой точностью.

При наличии штраб раскрепление достигается приваркой закладных частей к выпускам арматуры из выполненного уже основного бетона сооружения.

Однако в последнее время имеется растущая тенденция к установке закладных частей без штраб, одновременно с бетонированием соответствующих частей плотины, так как это сокращает сроки строительно-



Фиг. 20—6. Типы закладных частей
а и б—в пазу; в и г—на пороге

монтажных работ по всему сооружению и обеспечивает лучшее качество бетона в зоне закладных частей. Бесштрабная установка закладных частей зато требует большей жесткости этих частей и жестких раскреплений их в пазах, т. е. увеличения расхода стали, причем надзор за точностью установки частей должен быть особенно тщательным и строгим.

Работа по установке закладных частей должна тщательно контролироваться путем точных измерений, нивелировок и т. п., так как от точности закладки этих частей зависит хорошая работа затворов.

3. Монтаж затворов

В состав монтажных работ, помимо описанной установки закладных частей, входят следующие операции: а) доставка прибывших на строительную площадку монтажных единиц или готовых затворов и их механизмов; б) сборка затворов, включая подбор элементов, выверку их взаимного расположения, сварку или склепку; в) установка механизмов и конструкций затвора на место их в плотине с устройством уплотнений и пр.; г) испытания и приемка затвора.

Сборку затворов лучше всего производить вблизи места их установки на особых площадках и затем затворы в готовом виде устанавли-

вать в пролет отверстия при помощи кранов, лебедок, домкратов и пр., в частности кранов, предназначенных для обслуживания затворов в эксплуатации. Так собираются плоские затворы, иногда вальцовые, поворотные фермы, клапаны, в значительной мере сегментные затворы (без ног). Но некоторые затворы собираются непосредственно в отверстии, как, например, секторные, крышевидные, иногда вальцовые и др. Первый способ сборки имеет то преимущество, что работы по монтажу собственно на плотине требуют немного времени, а во втором способе значительно больше, что удлиняет срок пуска плотины в эксплуатацию после окончания бетонных работ. Это имеет значение иногда при выборе типа затвора для плотины.

Вообще следует стремиться максимум работ по сборке затвора выполнить на заводе, включая опорно-ходовые части и уплотнения, тщательно притянутые в заводских условиях.

Для монтажных работ целесообразно использовать краны, которые предназначены для эксплуатации и должны быть собраны на строительной площадке в первую очередь, задолго до окончания бетонных работ (если для производства последних они не были собраны ранее).

§ 128. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАТВОРОВ

1. Общие условия работы оборудования

Механическое оборудование плотины, включающее затворы, ремонтные заграждения, подъемные механизмы их, краны, мосты и пр., в процессе работы подвергается неблагоприятному воздействию со стороны воды, наносов, льда, ветра, пыли, колебаний температуры и пр. Металлические части подвергаются ржавлению, разъеданию в результате вакуумов и кавитационных явлений, истиранию наносами и льдом; соединения металлических элементов расстраиваются в результате динамических воздействий воды (вибрации), льда и плавающих тел (удары).

Подшипники в колесах, шарниры и прочие элементы, связанные с вращением затворов и их частей, засоряются, смазка вымывается, трение увеличивается, что ведет к увеличению подъемных усилий. Расстраиваются и уплотнения, особенно в результате обмерзания.

Зимой работа затворов становится особенно затрудненной вследствие намерзания льда на обшивку и балочную сеть затвора, обмерзания контактов затворов, уплотнений и ходовых частей (колес, катков, шарниров и т. п.), происходящего часто в результате даже незначительной фильтрации в уплотнениях.

2. Мероприятия по обеспечению надежной работы затворов

Для обеспечения бесперебойной работы затворов необходимы следующие мероприятия:

а) периодический осмотр и опробование (проверка действия) затворов и их механизмов и немедленное исправление всех замеченных дефектов;

б) плано-предупредительный ремонт, по крайней мере 1 раз в 1—2 года, как-то: возобновление окраски подводных частей, смена износившихся элементов уплотнений, цепей, роликов и т. п., исправление мелких повреждений — вмятин, погнутий и пр.;

в) периодическая чистка и смазка вращающихся частей затвора и механизмов;

г) специальные мероприятия для зимнего времени.

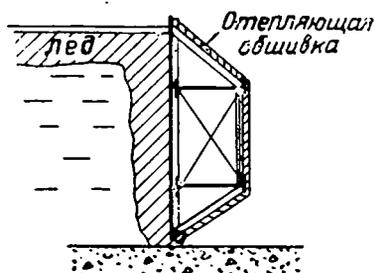
Обслуживающий персонал должен быть хорошо обучен управлению затворами, механизмами и кранами, должны быть разработаны специальные инструкции для обращения с механизмами и прочим оборудованием, и в них должны быть указаны меры по технике безопасности, обычные для механических установок.

Ремонтные и особенно аварийные затворы должны быть постоянно готовы к действию, поэтому их также надо периодически опробовать.

3. Обеспечение работы затворов в зимнее время

Мероприятия по поддержанию затворов в рабочем состоянии зимой сводятся к следующему:

а) недопущение примерзания ледяного покрова к обшивке затворов с напорной стороны и намерзания льда к обшивке на глубине (фиг. 20—7);



Фиг. 20—7. Обмерзание затвора и отепляющая обшивка

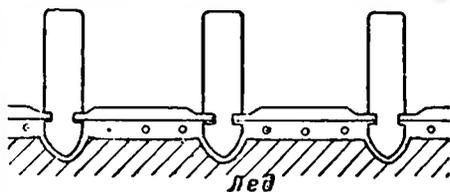
б) недопущение обмерзания уплотняющих устройств — боковых и донного, в) недопущение обмерзания опорно-ходовых частей, а также тяговых цепей и тросов, которое является результатом фильтрации воды через уплотнения;

г) недопущение замерзания воды в камерах давления и системе гидравлического управления автоматическими затворами.

Для выполнения перечисленных выше требований проводится борьба с образованием льда и обмерзанием частей затвора, описываемая ниже.

а) Недопущение образования льда на напорной поверхности затвора и примерзания к ней ледяного покрова верхнего бьефа обеспечивается разрушением ледяного покрова у затвора, теплоизоляцией и общим обогревом затвора.

Ледяной покров у затворов небольших гидросооружений разрушается путем ручной или механической околки льда и устройства перед затвором майны (проруби) шириной 0,5—2 м (фиг. 20—8) с прикрытием ее ветвями, соломой и пр., на которые укладывается слой снега толщиной 0,5 м.



Фиг. 20—8. Схема образования майн у затворов

Более совершенный способ поддержания майны перед затвором (в крупных сооружениях) заключается в периодическом выпуске в воду струй сжатого воздуха. Для этого в воде перед затвором на глубине устанавливаются трубы, из которых выходит сжатый воздух, нагнетаемый в них компрессорной установкой. Сжатый воздух создает токи теплой воды вверх к ледяному покрову и мешает образованию последнего. Такая система осуществлена, например, на Днепровской плотине. Мощность компрессорной установки для разрушения ледяного покрова грубо можно определить, полагая 0,05—0,1 квт на 1 пог. м длины майны.

Теплоизоляция затвора (плоского или сегментного) может быть достигнута, например, обшивкой его с низовой стороны двумя рядами досок с прокладкой толя, войлока и т. п. (фиг. 20—7), что может в умеренном климате предохранить затвор от охлаждения и намерзания льда на нем.

В более суровых зимних условиях внутреннюю часть затворов еще иногда обогревают примитивно — угольными печами, более совершенно — горячим паром или воздухом, если есть соответствующая установка, но лучше всего, совершеннее и экономичнее производить обогрев электрическими печами.

При этом желательно установить в обогреваемых зонах затвора вентиляторы для лучшей циркуляции воздуха и равномерности обогрева, а также экономии тепла. Расход энергии при электрообогреве составляет от 0,1 до 1 квт и более на 1 м² напорной поверхности затвора, в среднем около 0,4—0,6 квт/м².

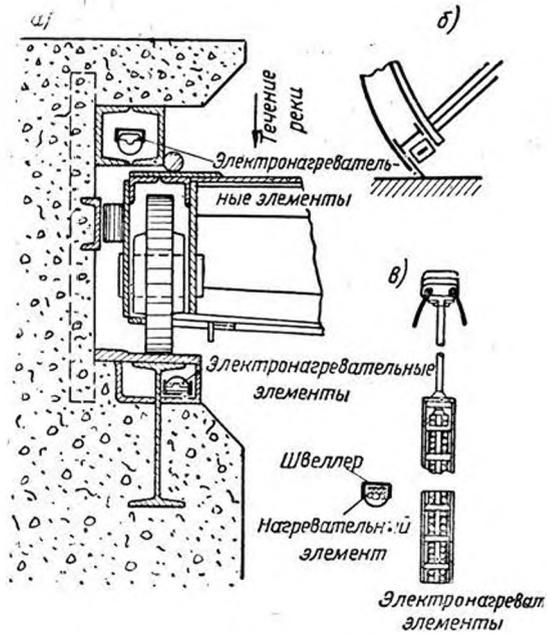
Описанный обогрев полости затворов (плоских, сегментных и вальцовых) производится вообще редко, только если обмерзание мешает маневрированию (например, сдвоенных затворов) или значительно увеличивает подъемное усилие.

б) Борьба с обмерзанием уплотнений и опорно-ходовых частей ведется главным образом путем обогрева их (а также обеспечением максимальной водонепроницаемости уплотнений).

Поэтому основное прогревание делается в полостях под закладными частями (фиг. 20—9,а) в быках, устоях и в пороге плотины, иногда же и на самом затворе (фиг. 20—9,б). Обогрев производится путем пропуска горячей воды или масла по трубам, заложенным в полостях, либо электрическим током. Первый способ не всегда доступен, сложен, требует добавочных установок, электрообогрев же более совершенный способ и распространен теперь широко.

Осуществляется он нагревательными элементами в виде спиралей, например, из нихромовой проволоки, намотанной на фарфоровые изоляторы длиной до 3 м, прикрепленные для жесткости к швеллерам, помещаемым внутри закладных частей (фиг. 20—9,в). Расход энергии на подобный обогрев, отнесенный к 1 м² затвора, составляет от 1/2 до 2/3 энергии, затрачиваемой на внутренний обогрев затвора. Напряжение тока выбирается около 50 в, почему требуются трансформаторные установки, иногда довольно большой мощности.

Недостатком электрообогрева является требование тщательной изоляции обогревающих шин от арматуры и металлических частей пазов, а иногда — значительный расход цветных металлов.



Фиг. 20—9. Обогрев уплотнений

При обогреве нагретым маслом последнее из специального бойлера на быке насосом прогоняется по закладным частям (полым) или по трубам внутри них.

Обогрев, независимо от системы, бывает периодическим и постоянным. В первом случае интенсивный обогрев производится перед маневрированием затвором для растопления части примыкающего к уплотнениям льда (это требует установок большой мощности), а во втором он предотвращает вообще образование льда (это требует большого количества энергии).

в) Отопление гидравлической системы автоматических затворов, как-то: каналов, труб, задвижек и пр., делается путем пропуска по водоводам горячей воды или масла под напором и обогрева электropеками регулирующих камер с устройством теплоизоляции их.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ

ЗАТВОРЫ ГЛУБИННЫХ ОТВЕРСТИЙ

§ 129. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЗАТВОРОВ ГЛУБИННЫХ ОТВЕРСТИЙ

В гл. 8, 15 и 16 были рассмотрены общие условия работы глубинных отверстий — водоспускных и водоприемных — и их затворов, а также приведена классификация последних. В основном специфика работы таких затворов заключается в следующем.

1. Затворы находятся под большим гидростатическим давлением, создающим значительные напряжения в материале их, почему необходимо стремиться к возможному уменьшению размеров глубинных отверстий. Условия осмотра и ремонта затворов, находящихся на значительной глубине под водой, весьма неблагоприятны, поэтому, а также во избежание аварий, конструкции затворов должны иметь повышенную прочность.

2. Истечение воды через донное отверстие происходит тем с большими скоростями, чем выше напор. В этих условиях всякие резкие изменения формы отверстия и водовода, по которому движется вода, вызывают резкие изменения давлений потока, образование сильных завихрений и вакуумов. Давление в потоке местами достигает иногда предела кавитации, равного, как известно, $p_{\text{кав}} = -(p_a - p_n)$, где p_a — атмосферное давление, p_n — давление водяного пара при данной температуре воды.

Явление кавитации вредно отзывается на материале водоводов и затворов, так как образующиеся при кавитации пузырьки водяного пара, двигаясь с огромными скоростями в зоне вакуума и попадая в область большего давления, где они конденсируются, производят сильные удары и разрушают материал. Происходящие при этом сотрясения расстраивают соединения частей затвора, закладных его частей и даже приводы механизмов. При частичных открытиях затворы в зависимости от конструкции подвергаются вибрациям, также иногда ведущим к расстройству и даже к аварии затвора, например, в результате усталости металла.

Различные типы затворов, описываемые ниже, находятся в разных условиях в отношении вакуумов и кавитации; это зависит от конструктивной формы их, способов движения и пропуска воды, в частности и от того, какие сопротивления в водоспуске создаются при полностью открытом затворе и какой формы получается отверстие при частичном открытии затвора.

С вакуумами, образующимися за затворами в трубе или галерее, борются подводом воздуха или вентиляцией. Последняя необходима также при длинных водоспускных трубах и на случай быстрого закрытия затвора, чтобы обеспечить вытекание оставшейся в трубе воды.

Если затвор располагается на низовом конце трубы водоспуска и истечение воды происходит непосредственно в атмосферу, то в зоне затвора имеет место естественный приток воздуха и явления вакуума поэтому погашаются или отсутствуют.

В водоприемных отверстиях, где скорости течения обычно ограничены величиной 2—4 м/сек и самые отверстия располагаются не очень глубоко, описанные явления вакуума не имеют места (хотя небольшой по величине вакуум возможен).

3. Существенное значение для глубинных отверстий имеет водонепроницаемость и плотность закрытия их затворами ввиду потерь воды, возможного иногда замерзания фильтрационной воды и образования льда. Обеспечить водонепроницаемость в данном случае трудно, учитывая значительность напоров и давлений.

4. Случайные попадания в пазы и щели затворного устройства различных тел, увлекаемых потоком, могут мешать плотному закрытию затвора. Поэтому при входе в водоспуск необходимо устраивать решетки для борьбы с попаданием грубых предметов, а в конструкциях закладных частей и уплотнений должна быть обеспечена невозможность задержки в них мелких плавущих тел, наносов и пр.

5. Для возможности осмотра и ремонта донных затворов необходимо, как и в затворах водосливных отверстий, иметь ремонтные ограждения, позволяющие изолировать затвор от воды верхнего и нижнего бьефов.

§ 130. ПЛОСКИЕ И СЕГМЕНТНЫЕ ЗАТВОРЫ

Плоские затворы глубинных отверстий устраиваются или скользящими, или колесными, реже жатковыми, аналогичными плоским затворами водосливных отверстий; но, кроме того, они выполняются в виде задвижек, располагаемых в особом кожухе в теле водоспуска. Шандоры глубинных отверстий почти ничем не отличаются от описанных в § 108, нередко они представляют собой плоские затворы небольшой высоты.

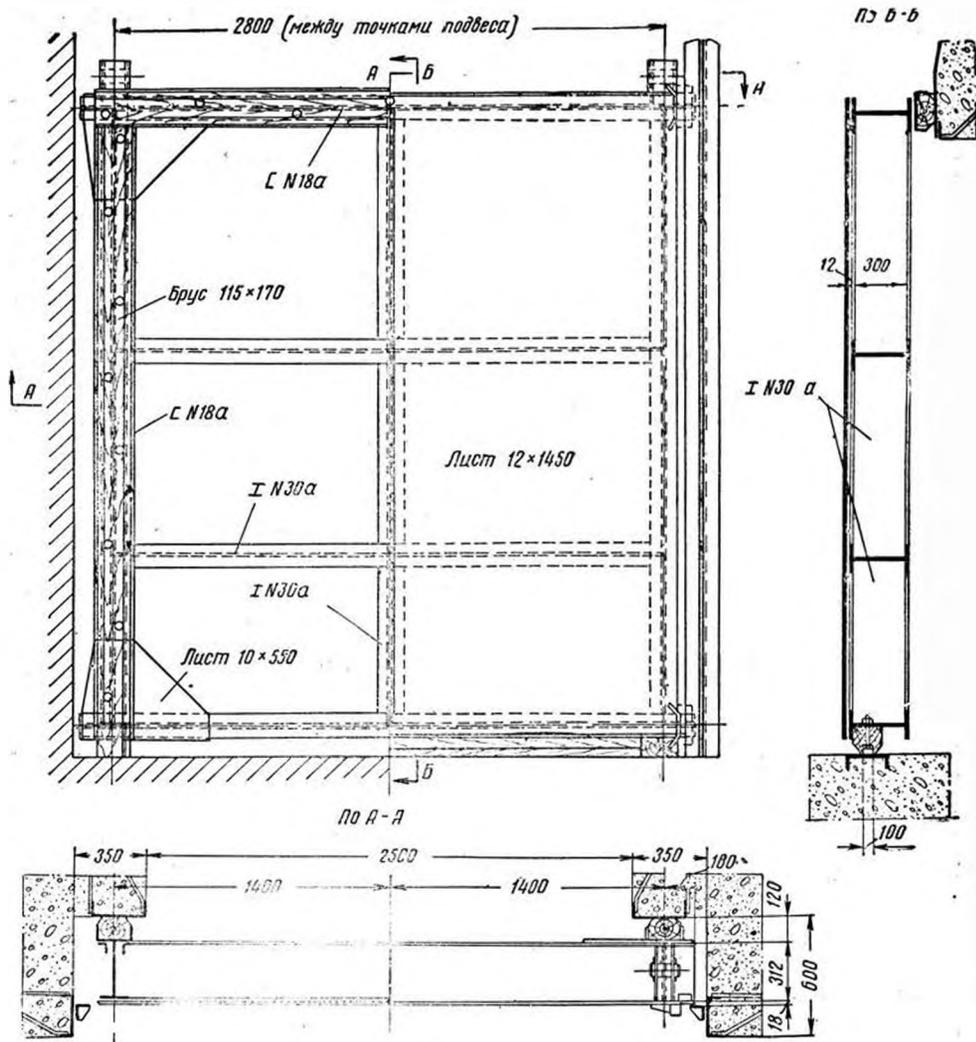
1. Плоские скользящие затворы

а) Общие условия работы этих затворов характеризуются отличной водонепроницаемостью закрытия, но значительной величиной подъемного усилия. Поэтому затворы эти применяются для относительно небольших отверстий (до 2—3 м) и при ограниченных напорах; в случае значительных напоров они также могут применяться, но маневрирование ими возможно только при предварительном создании с низовой стороны такого же давления, как и с верховой, при помощи другого, вспомогательного, затвора, легко закрываемого под напором. Заполнение галереи водоспуска для выравнивания давления на закрытый плоский затвор со стороны нижнего бьефа делается при помощи или небольших щитков в этом же затворе, или при помощи обводных труб (байпасов) с задвижками.

Регулирование расходов воды плоскими затворами путем частичного их открытия связано с образованием вакуума за ними, поэтому может осуществляться лишь при относительно небольших напорах

(до 20—25 м), при малых размерах затвора (до 1,5—2 м) и с подводом воздуха в зону вакуума за затвором.

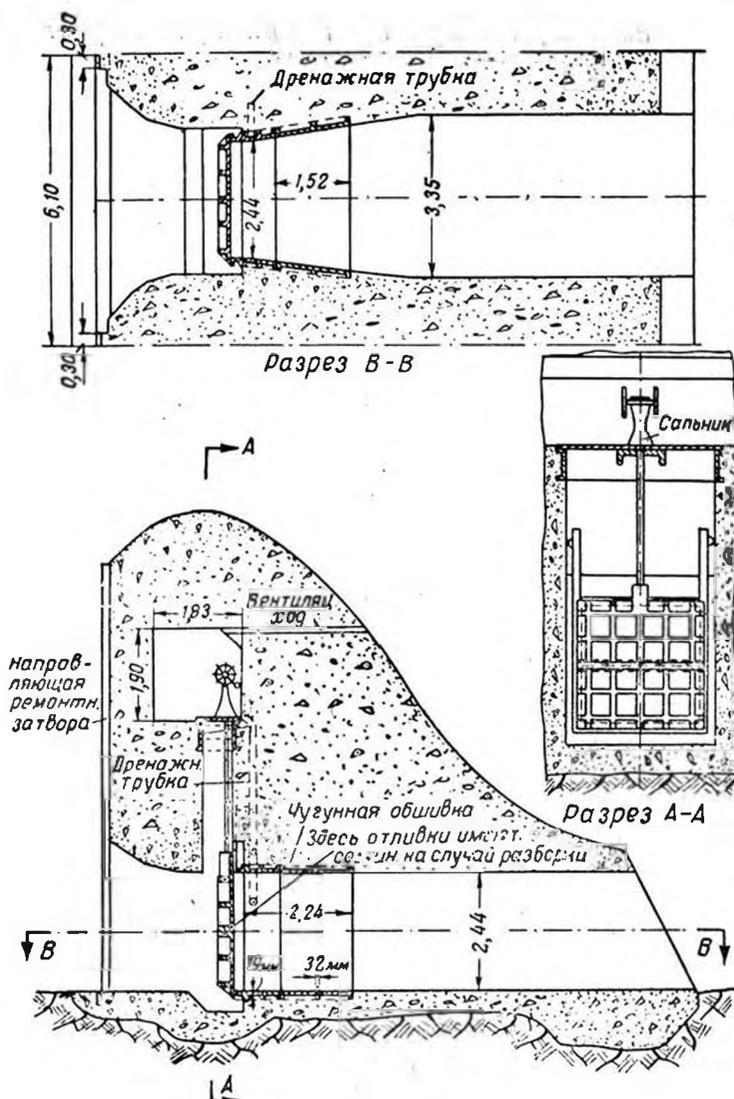
б) С конструктивной стороны плоские затворы делают обычно стальными клепаными, сварными или литыми. Клепаные и сварные затворы по конструкции аналогичны соответствующим затворам поверхностных отверстий и обычно бывают многоригельного ти-



Фиг. 21—1. Глубинный плоский скользящий затвор

па (фиг. 21—1). Литые затворы применяются для относительно небольших напоров и представляют собой стальную плиту с ребрами горизонтальными и вертикальными, образующими как бы балочную сеть затворов (фиг. 21—2).

Опорные части плоских скользящих затворов выполняются в виде плоских бронзовых и стальных полос (нержавеющей стали), тщательно пригнанных и даже отшлифованных. В опытном порядке применяются полозья из лигнофоля (см. фиг. 17—8,б). Подъемные тяги затворов делают жесткими в виде штанг, шарнирно укрепленных на затворе и направляемых по высоте особыми втулками.

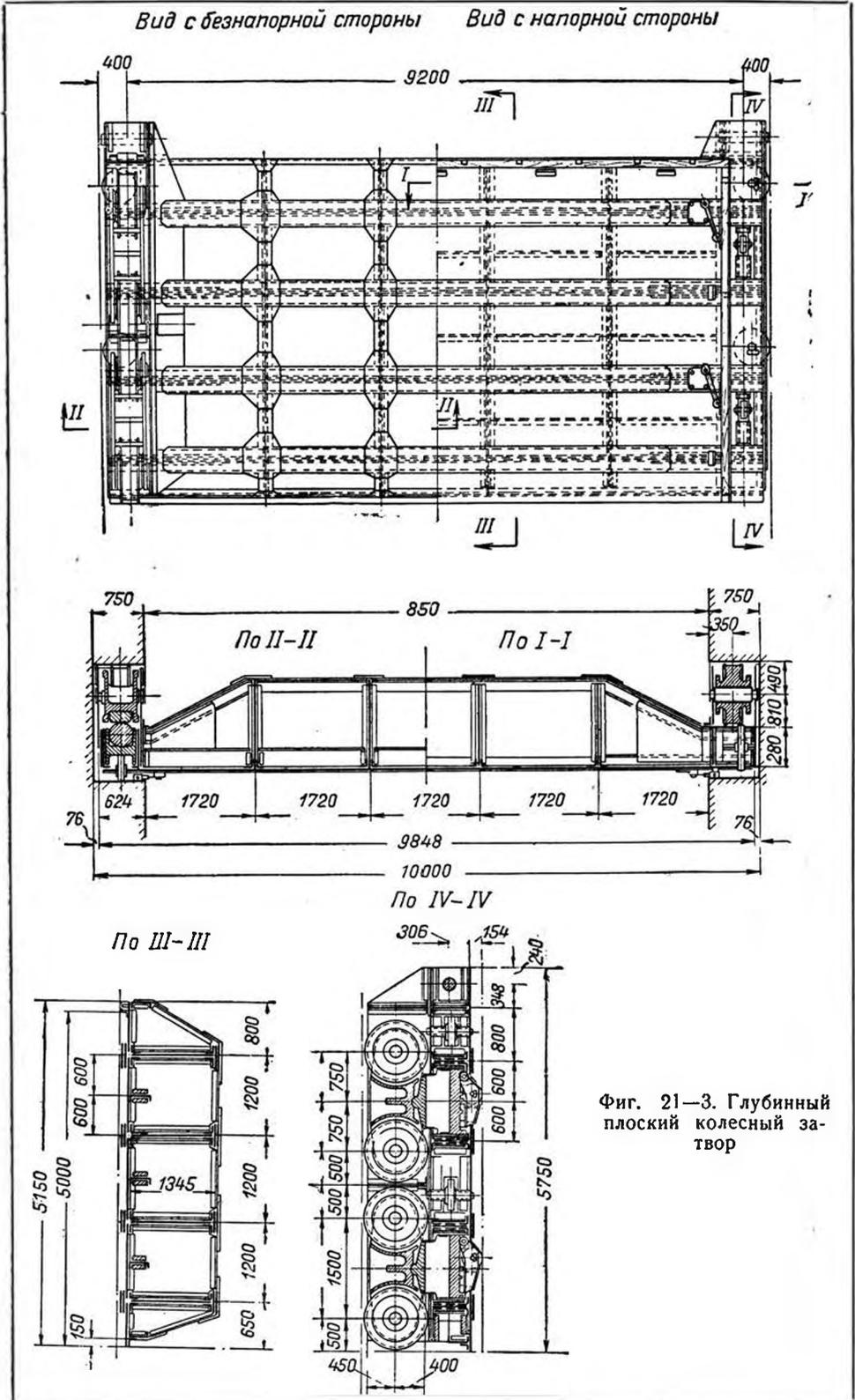


Фиг. 21—2. Глубинный плоский литой затвор

2. Плоские колесные затворы

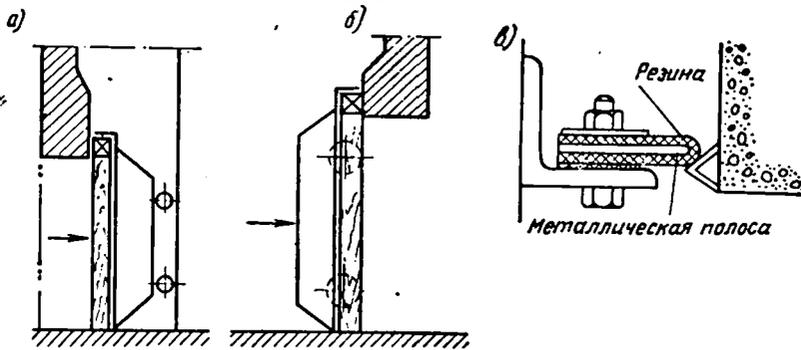
а) Условия работы этих затворов в гидравлическом отношении аналогичны затворам скользящим; более того, вибрации колесного затвора при достаточном открытии наступают даже при меньших напорах, чем у скользящего, так как часть затвора ниже осей нижних колес работает, как консоль. Но подъемное усилие у колесных затворов резко снижается, поэтому маневрирование этими затворами возможно без создания противодавления в трубе водоспуска.

б) Конструктивно колесные затворы делаются многоригельными — стальными, клепаными или литыми. На фиг. 21—3 изображен затвор, работающий под напором 27,5 м; четыре ригеля затвора передают давление четырем балансирным двухколесным тележкам. Подъем затвора (усилие до 300 т при весе затвора 79 т) осуществляется при помощи звеньевых штанг. Эти затворы обычно делаются со сплошными



Фиг. 21—3. Глубинный плоский колесный затвор

ригелями и стойками, облегченными с помощью вырезов; для нижнего ригеля вырезы имеют и гидравлическое значение (избежание подсоса).



Фиг. 21—4. Схемы расположения верхних уплотнений по отношению к забральной балке отверстия

Донное уплотнение делается по типу уплотнений поверхностных затворов, чаще во избежание вакуума в виде ножа с применением резины (фиг. 17—15,г) или без нее (фиг. 17—15,в). Порог отверстия обычно делается гладким.

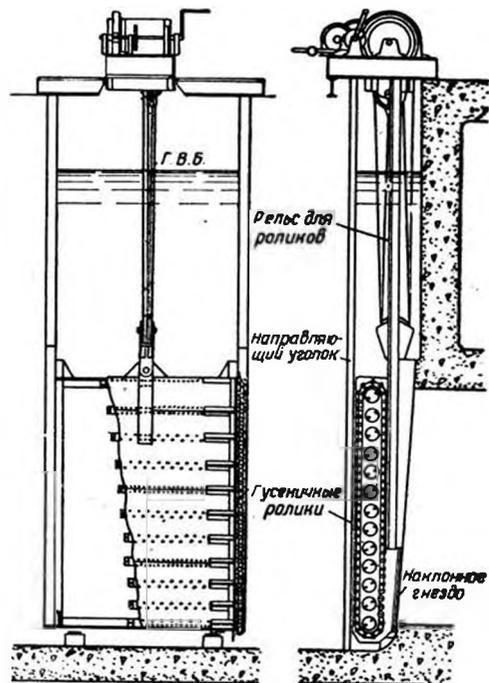
Боковые уплотнения делают всегда в пазах, так как иному их расположению мешает верхняя кромка отверстия (забральная балка).

Верхнее уплотнение при подъеме должно отходить от кромки отверстия, для чего забральной балке придается форма выступа (фиг. 21—4), а расположение уплотнения зависит от того, с какой стороны по отношению к верхнему бьефу находится балка (фиг. 21—4,а и б). Конструкция уплотнения — деревянные брусья или резиновое уплотнение (фиг. 21—4,в).

3. Катковые и гусеничные плоские затворы

Катковые затворы применяются редко и только при небольших напорах, так как в условиях глубинных отверстий и значительных давлений они работают еще хуже, чем в всдосливных отверстиях, где они вытеснены колесными затворами.

Гусеничные затворы распространены у нас мало, хотя в эксплуатации они лучше катковых. На фиг. 21—5 приведен чертеж гусеничного



Фиг. 21—5. Плоский гусеничный затвор

затвора, в котором уплотнение достигается клиновидностью его опорных стоек и пазов с соответствующим наклоном уплотняющих полос отверстия. Затворы эти применимы для напоров до 60 м.

4. Задвижки

Задвижки представляют собой литые диски прямоугольной, а чаще круглой формы, закрывающие галереи или трубопроводы и при откры-

тии их вдвигаемые внутрь особого кожуха; кожух имеет патрубки, соединяемые с трубой водопуска.

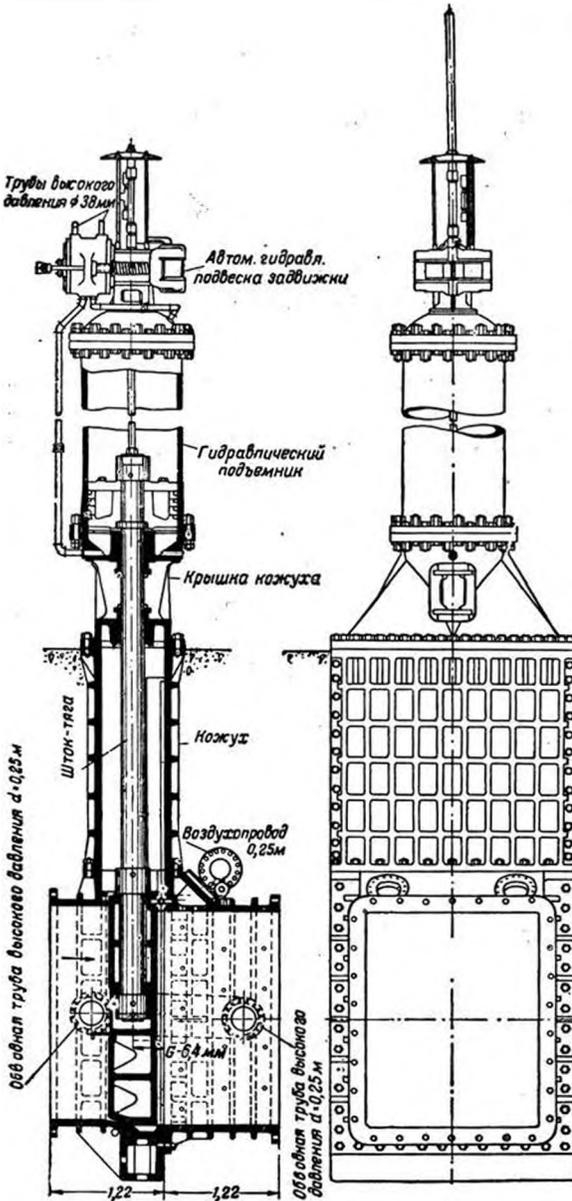
а) Задвижка прямоугольной формы показана на фиг. 21—6. Участки стальной трубы с обеих сторон и кожух задвижки заделываются в бетон плотины так, что патрубки задвижки плавно соединяются с примыкающими участками галереи водопуска. Собственно диск задвижки делается полым с диафрагмами, плотно сидит в пазах и передвигается при помощи штока, который присоединен к гидравлическому подъемнику, помещаемому или в шахте, или в особой камере в теле плотины.

При движении задвижки приходится преодолевать трение скольжения, для уменьшения которого края задвижки и пазы кожуха особо точно и тщательно пригоняются заводским путем.

б) Задвижки круглой формы (фиг. 21—7) более распространены, как и самые водопуски такого же сечения; принципиально они устроены так же, как и прямоугольные задвижки.

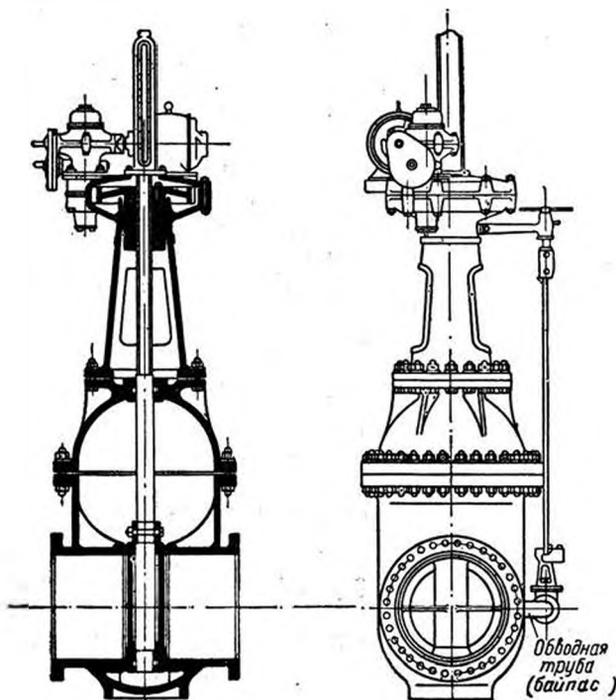
В целях облегчения маневрирования задвижками в последнее время

появились задвижки одностороннего напора с роликами в пазах, уменьшающими трение при движении, но это усложнение конструкции, по видимому, несколько ухудшает гидравлические качества задвижки.



Фиг. 21—6. Прямоугольная задвижка

в) Условия работы задвижек. Задвижки обеспечивают полную водонепроницаемость закрытия (фильтрация выражается только каплями воды), работают надежно. Но регулирование расходов возможно, как и в других плоских затворах, только при небольших напорах (до 20 м) с подводом воздуха с нижней стороны. Маневрирование задвижками скользящего трения производится при создании противодействия с помощью обводной трубы (байпаса), показанной на фиг. 21—6 и 21—7. В этих условиях круглые задвижки могут работать под напорами до 100 м и более при диаметрах до 1,5 м, а при меньших диаметрах — при напорах 250 м и более. Прямоугольные задвижки применяются для напоров до 100 м, наибольшие осуществленные их размеры 1,7×3 м.



Фиг. 21—7. Круглая задвижка

Задвижки располагаются на некотором расстоянии от входа в водоспуск, что дает возможность придать входу гидравлически оптимальное очертание (фиг. 8—5 и 8—6) без увеличения размеров затвора.

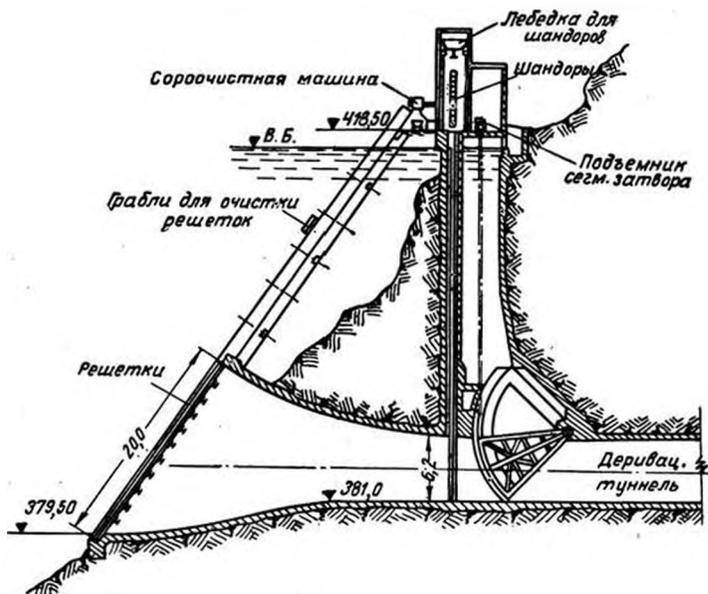
5. Сегментные затворы

Эти затворы располагаются обычно в головных частях водоспусков (фиг. 21—8), но можно их устанавливать и на выходе из водоспуска (фиг. 8—26).

По типу эти затворы не отличаются от соответствующих затворов водосливов, но работают они под большими напорами и должны иметь, помимо боковых и донных, еще верхнее уплотнение (аналогично плоским затворам).

Конструктивно затвор выполняется большей частью многоригельным и размещается в шахте в теле плотины или туннельного водоспуска. Иногда ось вращения затвора располагается с напорной стороны и ноги его работают на растяжение, это облегчает ноги и затвор, но усложняет устройство и заделку опорных шарниров.

Сегментные затворы глубинных отверстий применяются для напоров до 30—40 м и перекрывают отверстия до 25—30 м², создавая надежное закрытие при небольшом подъемном усилии и с применением гибких тяг. Уплотнения при значительных напорах бывают недостаточно удовлетворительными (как и уплотнения плоских колесных затворов).



Фиг. 21—8. Глубинный сегментный затвор

§ 131. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЗАТВОРЫ

Цилиндрические глубинные затворы закрывают отверстия водоспусков на вертикальных участках их труб или башен управления водоспусков.

Различают цилиндрические затворы незатопляемые (высокие), у которых верхний край вертикального цилиндра всегда выше нормального подпорного горизонта, и затопляемые (низкие), которые всегда находятся под уровнем НПГ.

1. Незатопляемые цилиндрические затворы

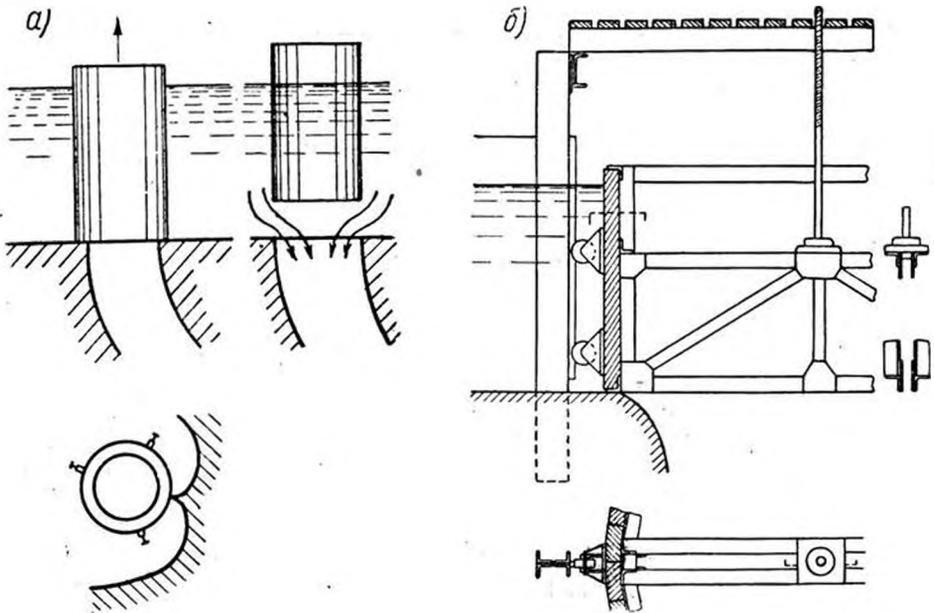
Незатопляемые цилиндрические затворы устанавливаются над отверстием водоспуска (фиг. 21—9,а) в особой шахте или перед плотиной. При поднятии цилиндра, подвешенного выше центра тяжести на гибких тросах, вода входит в кольцевое отверстие, образующееся под цилиндром, и направляется в водоспуск.

Ввиду закручивания потока, поступающего под цилиндр, и возможного в связи с этим перекашивания и раскачивания затвора последний направляется роликами по трем вертикальным рельсам.

Цилиндры можно выполнять стальными и деревянными; последним необходимо обеспечить должный вес, чтобы преодолеть их пловучесть. Деревянные затворы, называемые иногда бочарными, выполняются из клепок наподобие бочек или клепочных деревянных труб с металлическими внутренними кольцами для жесткости, образующими со стойками жесткий остов, препятствующий перекосам и облегчающий закрепление подъемной тяги, направляющих роликов и пр. (фиг. 21—9,б).

Цилиндры подвергаются всестороннему гидростатическому давлению, почему оболочка их получается тонкой. Подъемное усилие должно преодолеть в основном лишь вес затвора и потому невелико.

Незатопляемые цилиндрические затворы применяются в водоприемных отверстиях, трубчатых перепадах, на верхних головах судоходных шлюзов и т. п., притом в случае небольшой амплитуды колебания горизонта воды верхнего бьефа.



Фиг. 21—9. Незатопляемый цилиндрический затвор

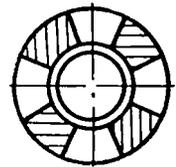
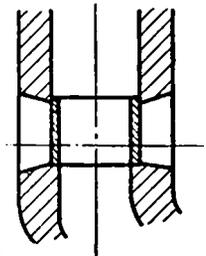
2. Затопленные цилиндрические затворы

Эти затворы закрывают кольцевые отверстия в вертикальных частях водоспусков, водоприемных башнях и т. п. и бывают двух типов: открытые и закрытые.

а) Открытые кольцевые цилиндры не имеют дна и устанавливаются в кольцевом отверстии башни всдоспуска с внутренней ее стороны, причем верхняя грань цилиндра при закрытии отверстия плотно примыкает по контуру к круговому выступу башни (или специальному уплотняющему кольцу), а нижняя опирается на кольцевой порог отверстий (фиг. 21—10). Входное отверстие башни состоит из ряда окон в стене.

Для впуска воды в водоспуск затвор поднимается на ту или другую высоту.

Цилиндр выполняется клепаным, сварным или литым, причем во всех случаях он представляет собой оболочку, усиленную кольцами и стойками жесткости. Нижний край цилиндра скошен под углом 25—30° так же, как и вход в отверстие; уплотнение здесь достигается нажатием под действием веса края цилиндра на закладное кольцо в отверстии, соответственно пригнанное. Ниже затвора в трубу водоспуска целесообразно подводить воздух во избежание вакуума. Верхнее уплотнение осуществляется нажатием стального кольца цилиндра на кольцо облицовки башни или трубы.

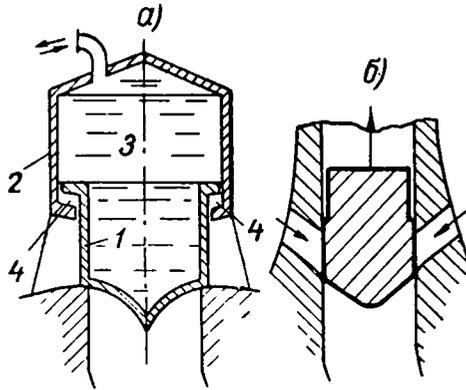


Фиг. 21—10. Затопленный цилиндрический открытый затвор

Затвор подвешивается на трех штангах, идущих к трем подъемникам наверху, синхронно работающим.

Данный тип затвора получил наибольшее распространение в водоспусках и водоприемниках башенного типа вследствие простоты его, незначительности подъемного усилия и небольшого веса. Затвор работает при практически любых напорах; так, в практике имеются затворы диаметром до 10 м при высоте около 3 м, установленные на глубине 100 м.

б) Закрытые цилиндрические затворы бывают двух типов: легкие — гидравлического действия — и тяжелые, опускающиеся под действием своего веса.



Фиг. 21—11. Затопленные цилиндрические закрытые затворы

Схема гидравлического цилиндрического затвора заключается в следующем: полый цилиндр 1 (фиг. 21—11,а), заканчивающийся внизу криволинейной конической поверхностью, движется как поршень внутри другого неподвижного цилиндра 2, закрытого сверху. При этом образуются две камеры: верхняя 3 и боковая 4 между боковыми поверхностями обоих цилиндров, в которой вода всегда находится под давлением верхнего бьефа. Впуская в верхнюю камеру 3 воду из верхнего бьефа, можно заставить цилиндр 1 опуститься и закрыть отверстие водоспуска, так как давление воды на цилиндр 1 больше, чем в камере 4 на крышку того же цилиндра снизу. Соединяя камеру 3 с нижним бьефом, можно под давлением воды в камере 4, имеющей давление верхнего бьефа, заставить цилиндр 1 подняться и открыть отверстие.

В других схемах таких затворов неподвижным является внутренний цилиндр, а верхний, как колокол, может двигаться, открывая и закрывая отверстие.

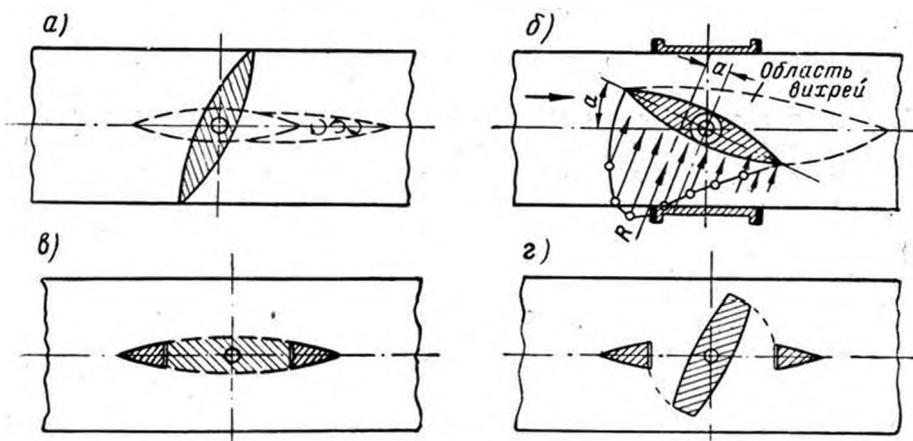
Тяжелые цилиндрические затворы представляют собой цилиндры, обладающие достаточным весом (например, металлический цилиндр, заполненный бетоном), чтобы под его действием опускаться внутри башни как поршень и закрывать, таким образом, отверстие (фиг. 21—11,б). Подъем и опускание затвора производят при помощи подъемного механизма.

§ 132. ДИСКОВЫЕ (ДРОССЕЛЬНЫЕ), ИГОЛЬЧАТЫЕ И ПРОЧИЕ ЗАТВОРЫ

Наиболее распространенными для закрытия и открытия водоспусков больших напоров являются дискосые (дроссельные) затворы; для регулирования расходов наилучшими являются игольчатые затворы, на втором месте — телескопические.

1. Дискосые (дроссельные) затворы

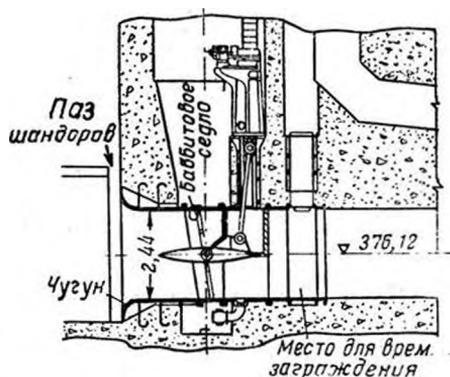
Дискосый затвор представляет собой плоский диск, вращающийся на вертикальной или горизонтальной оси, помещенной примерно в середине его (фиг. 21—12,а) таким образом, чтобы давления воды на обе части диска были примерно равны. Необходима лишь небольшая разница в моментах этих давлений относительно оси вращения для достаточного прижатия затвора в закрытом положении, при котором диск располагается обычно под углом около 80° к продольной оси водовода (фиг. 21—12,а).



Фиг. 21—12. Дискосый (дроссельный) затвор

Уплотнение затвора осуществляется при помощи резиновых колец, прижимаемых к отшлифованной поверхности кожуха. Вращение диска производится при помощи привода механического или гидравлического от оси затвора, пропущенной через его кожух (фиг. 21—13).

Главными недостатками дискосых затворов являются: 1) недостаточная плотность (водонепроницаемость) закрытия (например, на дресселях $d = 0,9$ м при напоре 50 м наблюдалась фильтрация около 0,3 л/сек) и 2) вакуумы и вибрации во всех положениях частичного открытия (фиг. 21—12,б); при этом потери напора в полностью открытом затворе (фиг. 21—12,а) выражаются величиной около $0,26 \frac{v^2}{2g}$, а в промежуточных положениях —



Фиг. 21—13. Дискосый (дроссельный) затвор

до $0,85 \frac{v^2}{2g}$. Это обстоятельство делает затвор непригодным в качестве основного закрытия водоспуска и для регулирования расходов воды за исключением небольших напоров (до 20—30 м) и случая расположения затвора на выходном конце водоспуска, где кавитация невозможна.

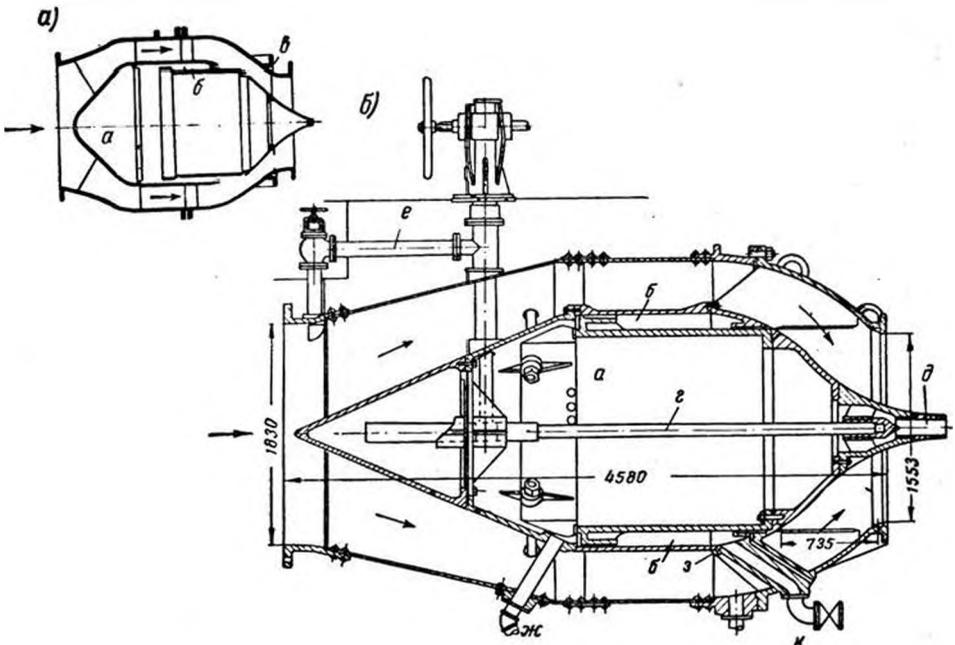
Некоторое улучшение в работе дисковых затворов дает применение направляющих стенок в трубе (фиг. 21—12,з), сообщающих затвору в открытом положении более обтекаемую форму (фиг. 21—12,е).

Вместе с тем ничтожное поворотное усилие и легкость маневрирования дросселем делает его чрезвычайно ценным вспомогательным затвором, в частности для создания противодавления у плоских затворов, в качестве запасного затвора и т. п. Благодаря быстрой реакции дисковый затвор незаменим на случай аварий, требующих быстрого закрытия или открытия.

Дисковые затворы имеют широкое распространение и применяются для напоров до 800 м (при диаметре 0,7 м) и более; наибольший достигнутый диаметр дросселя 8,2 м при напоре 25 м.

2. Игольчатые затворы

Игольчатые затворы — наиболее совершенные затворы для регулирования расходов через глубинные отверстия при самых больших напорах, они допускают любое частичное открытие без всякой вибрации частей затвора.



Фиг. 21—14. Игольчатый затвор

Идея игольчатого затвора, известного в литературе под названием затвора Ларнер—Джонсона, заключается в следующем (фиг. 21—14,а): к трубе водоспуска присоединяется кожух, внутри которого помещен собственно затвор так, что вода из трубы движется по кольцевому пространству вокруг затвора и вытекает затем обычно в атмосферу, или в дальнейший участок водовода. Собственно затвор состоит из неподвиж-

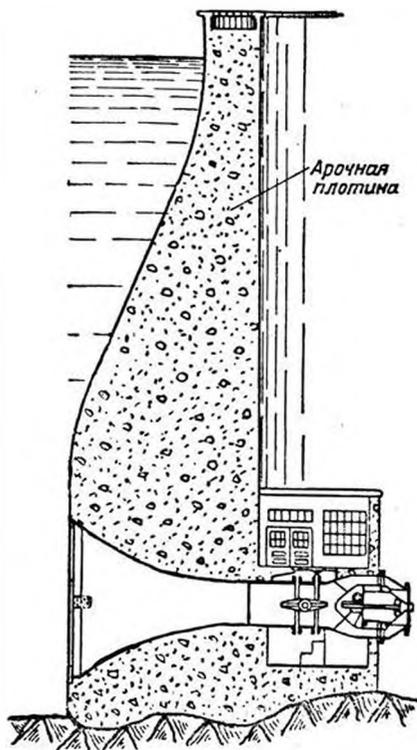
ной части с полостью *a*, внутри которой движется как поршень подвижной цилиндр без дна, заканчивающийся криволинейной конической частью. Полость *b* между подвижной и неподвижной частями затвора может сообщаться с верхним или нижним бьефом путем открытия соответствующих кранов.

Для закрытия отверстия полость *a* сообщается с верхним бьефом, а *b* — с нижним бьефом или атмосферой, тогда под давлением воды на коническую часть подвижного цилиндра изнутри последний выдвигается вперед, пока не упрется в уплотняющее кольцо кожуха *v*. Для открытия затвора необходимо выпустить воду из полости *a* и впустить из верхнего бьефа воду в полость *b*; тогда под давлением воды верхнего бьефа подвижная часть затвора пойдет в обратном направлении, открывая кольцевое отверстие.

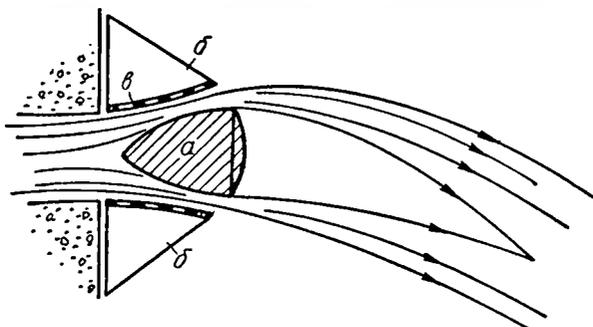
Для остановки затвора в любом промежуточном положении можно применить или механический привод, или регулируемую иглу, в зависимости от чего затворы называются неуровнешенными или уравновешенными. В последнем случае (фиг. 21—14,б) регулирующая игла *г* при помощи механизма может закрывать или приоткрывать отверстие *д* в конической части поршня, через которое дается ток воды из верхнего бьефа, и тем самым создавать любое давление внутри затвора, необходимое для того или иного промежуточного его положения (диаметр отверстия *д* больше диаметра подающей воду трубы *e*).

На том же чертеже (фиг. 21—14,б) показаны трубка *ж* для выпуска воды из полости *a* и трубки *з* и *к* для впуска в полость *b* и выпуска из нее воды.

Внешние формы затвора и внутренние формы кожуха выполняются максимально плавными, обтекаемыми, исключаящими вакуум и кави-



Фиг. 21—15. Игольчатый затвор арочной плотины



Фиг. 21—16. Видоизмененный игольчатый затвор

тацию; тем не менее в открытом положении потеря напора на затворе составляет около $0,2 \frac{v^2}{2g}$.

Игольчатые затворы применяются для напоров до 800 м, диаметр их достигает 6,5 м; устраиваются они большей частью с низовой стороны водоспуска, на низовой грани плотины (фиг. 21—15), и выбрасывают струю воды в воздух; для гашения энергии на выпуске из затвора ставят еще специальные распылители струи. Реже затворы эти устанавливаются с напорной стороны водоспуска.

При всех достоинствах игольчатых затворов недостатком их является дороговизна; это самый дорогой затвор, но и самый совершенный для значительных напоров, обеспечивающий точное регулирование расходов воды. Кроме того, следует отметить, что при наличии в воде обильных наносов работа игольчатых затворов ухудшается.

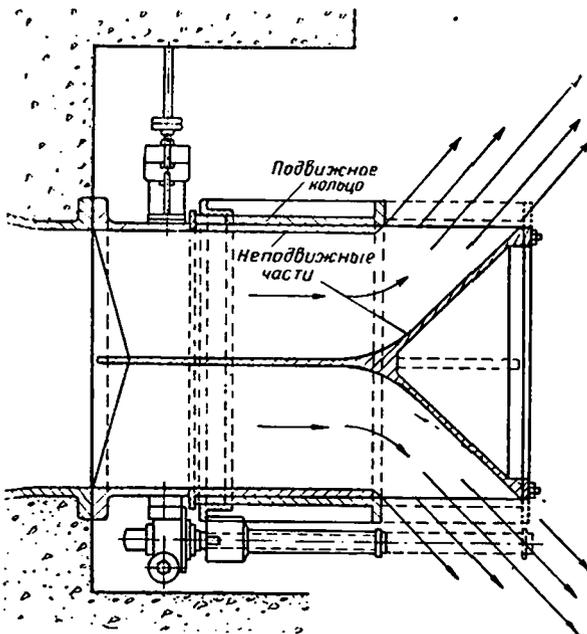
Видоизменением игольчатого затвора является затвор, представленный схематически на фиг. 21—16. Сердечник *a* движется внутри расширенной части трубы водоспуска *b*, регулируя величину кольцевого отверстия. В полый сердечник подводится вода верхнего бьефа, вследствие чего давление потока на него уравнивается и движение его происходит при небольших усилиях механизма. Струя выходит из затвора всегда в виде кольца, причем сильно аэрируется, чему содействуют отверстия *в* в выходной трубе; аэрация струи способствует рассеянию энергии струи.

3. Телескопические затворы

Такие затворы устанавливаются на низовом конце трубчатого водоспуска и представляют собой цилиндрические насадки трубы водоспуска с коническим экраном, укрепленным так, что образуется кольцевое

отверстие, через которое поток, расщепляясь в кольцевую струю, выбрасывается свободно в нижний бьеф (фиг. 21—17). Вдоль этой насадки может при помощи механизма двигаться наружное стальное кольцо, сужающее выходное кольцевое отверстие до требуемых по пропускаемому расходу воды размеров или совершенно его закрывающее.

Струя всегда имеет выгодную кольцевую форму. Коэффициент расхода довольно высок — 0,87 — 0,90. По простоте и дешевизне телескопический затвор имеет преимущества перед более сложными и дорогими игольчатыми затворами, но применялся он пока в опыт-



Фиг. 21—17. Телескопический затвор

ном порядке и длительного опыта его эксплуатации еще нет.

VII. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

Непосредственное выполнение отдельных водохозяйственных функций в речных напорных гидроузлах осуществляется специальными сооружениями.

К таким сооружениям относятся:

- 1) транспортные (судоходные и лесопропускные) сооружения, обеспечивающие проход судов через напорные гидроузлы и пропуск леса, сплаваемого в плотках или россыпью из верхнего бьефа реки в нижний;
- 2) энергетические сооружения, служащие для получения электрической энергии (здания гидроэлектрических станций, распределительные подстанции и пр.);
- 3) рыбопропускные сооружения, предназначенные для пропуска рыбы в узлах или предотвращения попадания рыбы в нежелательные зоны;
- 4) водозаборные устройства, обеспечивающие забор воды из реки или водоема в канал, туннель, трубопровод и т. п. в различных водохозяйственных целях.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ

ТРАНСПОРТНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ¹

А. СУДОХОДНЫЕ И ЛЕСОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

§ 133. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗАХ И СУДОПОДЪЕМНИКАХ

1. Общие понятия

Для пропуска судов через напорные гидроузлы строятся судоходные шлюзы и сравнительно редко судоподъемники. Судоходный шлюз представляет собой подпорное гидротехническое сооружение, пропуска-

¹ Эти сооружения подробно описываются в специальных курсах, см. Джунковский Н. Н. и Березинский А. Р., Внутренние водные пути, Стройиздат, 1948; Калинович Б. Ю., Шлюзование водных путей, Речиздат, 1948; Губин Ф. Ф., Гидроэлектрические станции, Энергоиздат, 1949; Морозов А. А., Использование водной энергии, Энергоиздат, 1948. Здесь о них даются лишь краткие сведения, позволяющие правильно расположить эти сооружения в комплексе с другими сооружениями гидроузлов.

ющее суда и плоты на плаву из верхнего бьефа в нижний и обратно при помощи неподвижной камеры, в которой находится судно и горизонты воды могут занимать любое положение в пределах от уровня верхнего и до уровня нижнего бьефов.

Конструктивно судоходный шлюз представляет собой камеру (фиг. 21—1), образованную двумя продольными неподвижными стенами и двумя шлюзовыми воротами, заменяющими поперечные стены и могущими открываться и закрываться для пропуска судов из камеры или в камеру. Чаще всего они делаются в виде плоских, клапанных или двустворчатых конструкций; последняя состоит из двух полотен, вращающихся на вертикальных осях и образующих в закрытом состоянии угол между полотнищами около 135—140°.

Входные части шлюза, где располагаются ворота, носят название голов шлюза: верхней — со стороны верхнего бьефа и нижней — со стороны нижнего бьефа.

Днище камеры должно обладать достаточной водонепроницаемостью и неразрываемостью, а в месте расположения ворот обеспечивать плотное закрытие последних; в пределах собственно камеры при водонепроницаемом грунте основания специальное днище не обязательно. Днище в пределах голов носит название флут бета, а порог его, к которому примыкают ворота, называется королем шлюза.

Процесс пропуска судов или плотов через шлюз называется шлюзованием, оно происходит следующим образом. Пусть требуется перевести судно из нижнего бьефа в верхний (фиг. 22—1, а, положение I). Если в камере шлюза вода стояла выше, чем в нижнем бьефе, то ее выпускают в нижний бьеф при помощи так называемых водопроводных отверстий в воротах или водопроводных галерей в стенах шлюза или в днище. После выравнивания горизонта воды в камере и нижнем бьефе открывают ворота нижней головы и судно входит в камеру (фиг. 22—1, а, положение II). Затем закрывают водопроводы и ворота нижней головы и начинают поднимать горизонт воды в камере до уровня верхнего бьефа, что делается при закрытых верхних и нижних воротах путем впуска в камеру воды из верхнего бьефа через водопроводы верхней головы («наполнение камеры»). С подъемом горизонта воды в камере поднимается и судно, пока оно не займет положения III, при котором горизонты воды в верхнем бьефе и в камере выравнялись. После этого открываются ворота верхней головы и судно может выйти из камеры в верхний бьеф (положение IV).

При шлюзовании судов в обратном направлении, т. е. сверху вниз (из верхнего бьефа в нижний бьеф), операции по пропуску судов совершаются в обратном порядке.

2. Типы шлюзов

Типы современных шлюзов довольно разнообразны в зависимости от конструктивных условий и предъявляемых к шлюзам эксплуатационных требований.

По числу камер различают шлюзы:

а) однокамерные (фиг. 22—1).
б) однокамерные с промежуточными воротами (головами), в которых, кроме двух, имеются еще третьи промежуточные ворота, позволяющие при пропуске судов малых размеров пользоваться частью камеры, ограниченной средними и одними из крайних воротами; это снижает расход воды на шлюзование малых судов;

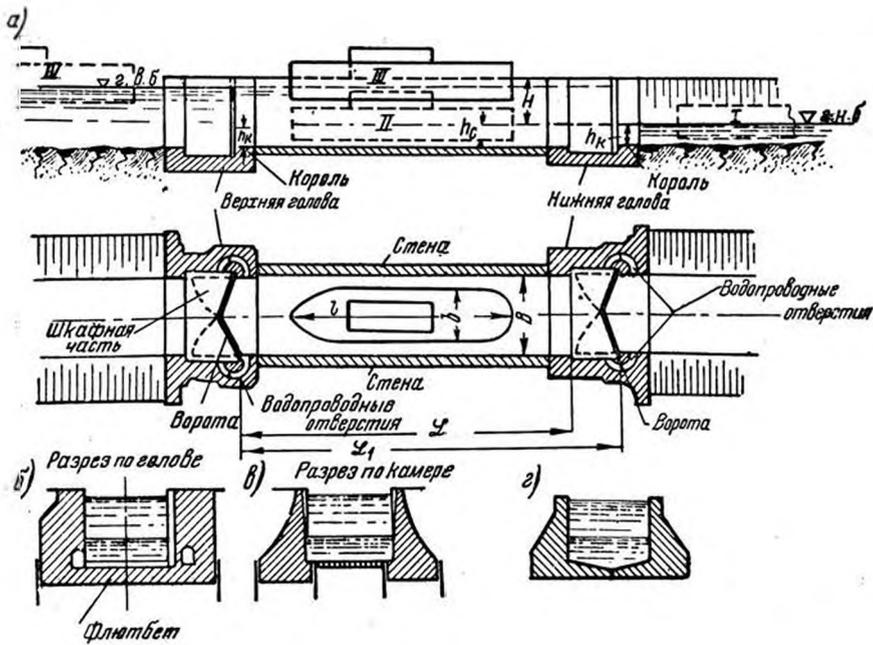
в) многокамерные (или многоступенчатые), состоящие из нескольких последовательно располагаемых одна за другой камер (фиг. 22—2, а); при этом общий напор на сооружение распределяется обычно равными частями на отдельные камеры; число камер в таких шлюзах обычно 2—3 (шлюз Днепровского гидроузла — трехкамерный). но бывает и больше;

г) параллельные в две или более «нитки», или линии, когда сооружение состоит из нескольких камер одинакового напора, расположенных непосредственно рядом или параллельно (фиг. 22—2, б) в целях увеличения судопропускной способности гидроузла; при наличии двух ниток шлюзов, непосредственно примыкающих друг к другу и имеющих общую стенку, они носят название парных (например, шлюзы Угличского и Щербаковского гидроузлов на Волге).

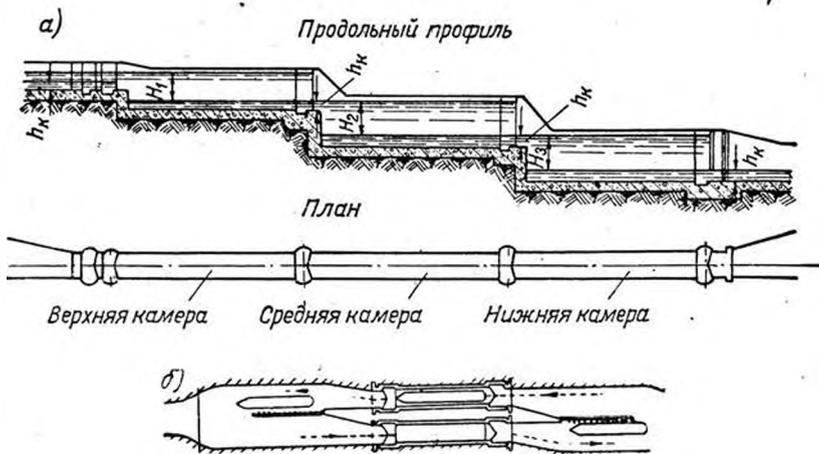
По материалу, из которого шлюзы выполнены, они бывают деревянными, бетонными, железобетонными и смешанного типа.

По конструктивным особенностям следует отметить:

а) шахтные шлюзы (фиг. 22—3), устраиваемые при больших напорах, когда для уменьшения высоты нижних ворот устраивают над ними жесткую поперечную «забральную» стенку камеры; самые же ворота в таком случае делаются в виде плоского подъемного затвора;

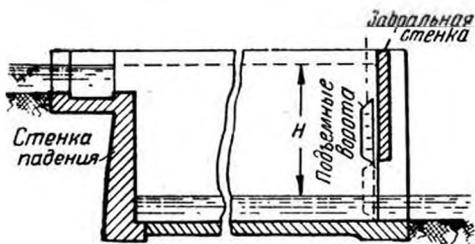


Фиг. 22—1. Схема судоводного шлюза



Фиг. 22—2. Судоводные шлюзы
а — многокамерный; б — параллельный (парный)

б) шлюзы со сберегательными бассейнами, имеющие рядом с камерой особые бассейны, в которые сливается часть воды из камеры при опорожнении последней и из которых эта вода выливается в камеру при наполнении ее для шлюзования следующего судна; благодаря таким бассейнам снижается расход воды на шлюзование (см. ниже п. 3).



Фиг. 22—3. Шахтный шлюз

В случае, если суда шлюзуются в таком порядке, что после пропуска судна в нижний бьеф совершается подъем следующего судна в верхний бьеф, затем опять спуск в нижний бьеф и т. д., затрата воды уменьшается вдвое против указанного выше.

Средний секундный расход, который должен подаваться из верхнего бьефа в период навигации, может быть определен по формуле:

$$Q_{\text{шл}} = \frac{Wn}{86400} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (22-1)$$

где n — среднее число шлюзований в сутки.

Современные крупные шлюзы СССР требуют $Q_{\text{шл}}$ до 30 м³/сек и более.

4. Способы наполнения водой и опорожнения шлюзных камер

Существуют разные системы устройств для наполнения и опорожнения шлюзных камер:

а) отверстия в шлюзных воротах, или так называемые клинкеты — при напорах до 2—3 м, либо отверстия, создаваемые путем подъема и опускания самих ворот, выполняемых в виде сегментных (канал имени Москвы) или плоских затворов — при напорах до 8—10 м;

б) водопроводные галереи в головах или головные водопроводы (фиг. 22—1) в обход ворот — при напорах до 10—12 м;

в) продольные водопроводы в стенах шлюза или в днище его (последние особенно удобны, если шлюз устроен на скальном основании) в виде галерей с большим количеством выходных отверстий, распределяющих выпускаемый расход более или менее равномерно по длине камеры; этот тип применяется преимущественно при средних и высоких напорах;

г) продольные водопроводы с забором воды не из подходного канала к верхней голове, а непосредственно из верхнего бьефа и с выпуском воды из камеры шлюза или в нижний подходный канал к шлюзу, или непосредственно в нижний бьеф; это особенно существенно в больших шлюзах, где приходится пропускать значительные расходы воды, которые создают большие скорости течения на подходах к шлюзу.

5. Судходные шлюзы, выполняющие и функции водосброса

В последнее время появились предложения (например, инж. Руденко) использовать шлюз как водосброс при паводках редкой повторяемости, которые длятся обычно лишь несколько дней. На это время судходство через шлюз предлагается прекращать (что возможно, так как при очень высоких паводках судходство иногда затруднено по другим причинам). Использование шлюза в качестве водосброса требует, однако, некоторых конструктивных изменений в шлюзе (гашение энергии сбрасываемой воды), удорожающих шлюз, но это может окупиться экономией на водосбросном фронте. Эта идея осуществляется на одном из гидроузлов СССР.

6. Судоподъемники

Судоподъемник является устройством, позволяющим переводить суда из нижнего бьефа в верхний и обратно при помощи подвижной камеры, в которой размещается судно.

Основным отличием судоподъемника от судоходного шлюза является подвижность камеры в нем, в то время как в шлюзе камера неподвижна. Камера судоподъемника обычно заполнена водой, и судно находится в ней на плаву, как и в шлюзовой камере, хотя предлагались конструкции, где судно находится в судоподъемнике без воды.

За рубежом построен ряд судоподъемников для судов грузоподъемностью до 1000 т, показавших удовлетворительную работу и высокую пропускную способность. Судоподъемники почти не требуют затраты воды из верхнего бьефа, чем выгодно отличаются от шлюзов. Сравнивая судоподъемники с судоходными шлюзами надо отметить, что однокамерные судоходные шлюзы наиболее целесообразны при напорах низких и средних (на камеру — до 8—10 м, реже при более высоких напорах — до 18—20 м); при напорах более 10—12 м шлюзы бывает выгоднее устраивать многокамерными, однако это снижает пропускную способность шлюзов и усложняет иногда компоновку сооружений в узлах и пропуск судов в период строительства гидроузла.

В этих условиях судоподъемники могут конкурировать со шлюзами, так как их можно устраивать при больших напорах (осуществлены до 36 м) и они являются компактными сооружениями; главное их преимущество, однако, в экономии воды и в том, что время подъема судна (15—20 мин.) значительно меньше времени шлюзования (обычно 35—50 мин. и более).

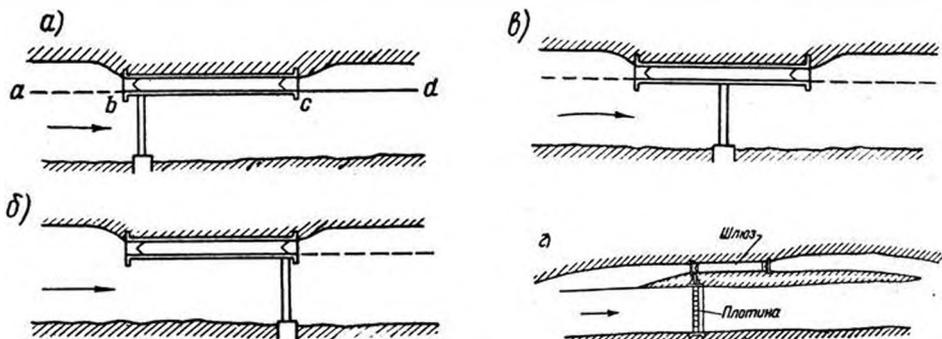
Но конструктивно судоподъемники значительно сложнее и осуществлены они пока лишь для судов грузоподъемностью не более 1000 т. В СССР, где грузоподъемность судов значительно больше (2000—5000 т и более) судоподъемники не применялись, но проекты их разрабатывались. В частности оригинальный первый проект судоподъемника еще в 1904 г. был представлен выдающимся русским инженером проф. Н. П. Пузыревским, впоследствии давшим ряд других более совершенных решений этого вопроса. Вопрос о судоподъемниках становится актуальным и у нас.

§ 134. РАСПОЛОЖЕНИЕ ШЛЮЗОВ И ПОДХОДОВ К НИМ В ГИДРОУЗЛАХ

1. Расположение шлюзов в гидроузлах

В зависимости от местных природных условий и схемы всего гидроузла, его напора судоходные шлюзы могут располагаться в узле различным образом.

а) Шлюз в речном русле. Эта схема наиболее распространена при небольших напорах узлов, если ширина русла достаточна для размещения водослива и шлюза (фиг. 22—4). Обычно шлюз располагается у одного из берегов, причем в створе плотины может находиться



Фиг. 22—4. Схемы расположения шлюзов в реке и на берегу

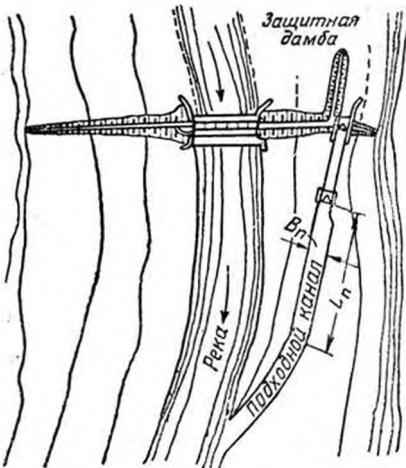
или верхняя голова шлюза («шлюз в нижнем бьефе», фиг. 22—4,а), или нижняя («шлюз в верхнем бьефе», фиг. 22—4,б), реже имеет место промежуточное положение (фиг. 22—4,в). При любом расположении шлюза вход в него и выход судов должны быть защищены от влияния речного потока: в верхнем бьефе — от увлечения судов к во-

досливу плотины, в нижнем бьефе от воздействия неуспокоенного потока, движущегося с большими скоростями за плотиной (волнение, прижим судов к берегу, ледоход).

Защита судов осуществляется особыми защитными дамбами *ab* и *cd* (фиг. 22—4,а).

Лучшим расположением шлюза можно считать то, когда камера его находится в нижнем бьефе, так как в этом случае сечение речной стенки камеры получается более экономичным, чем в случае расположения этой стенки в верхнем бьефе, условия ремонта камеры ввиду меньшей фильтрации в нее воды более благоприятны; кроме того, вход в шлюз в нижнем бьефе в этом случае находится дальше от плотины. Однако необходимость проезда через плотину и через шлюз заставляет нередко располагать камеры в верхнем бьефе, так как мост с нужными под ним высотными судоходными габаритами удобнее размещать на нижней голове шлюза, где судно проходит под мостом при нижнем положении уровня воды в камере. При расположении шлюза в верхнем бьефе целесообразно вдоль речной стены его устроить земляную отсыпь для уменьшения фильтрации при ремонте камеры и снижения давления воды верхнего бьефа на стену путем дренирования отсыпи.

б) Шлюз на пойме (или на берегу). При средних и повышенных напорах, когда пойма затапливается подпором воды гидроузла, часто применяется расположение шлюза на пойме. При этом верхняя голова располагается по фронту пойменной (обычно земляной) части плотины, а камеры (в этих случаях нередко устраивают многокамерные шлюзы) находятся в пойме со стороны нижнего бьефа, располагаясь частично в насыпях, а в большинстве случаев — в выемках. Соединение с нижним бьефом осуществляется в виде подходного канала (фиг. 22—5). В верхнем бьефе необходимо ограждать голову защитной дамбой, причем в случае водохранилища значительных размеров дамба эта (пирс) должна защищать вход в шлюз и от развивающегося в бьефе волнения. В тех случаях, когда по условиям производства работ шлюз должен пропускать суда еще при неполном напоре или даже почти без напора, подходный канал к шлюзу приходится делать и в верхнем бьефе.



Фиг. 22—5. Расположение шлюза на пойме

Расположение шлюза вне речного русла делается и при низких напорах, если ширина русла недостаточна для размещения шлюзов в реке (фиг. 22—4,б) или если это целесообразно для спрямления и сокращения судового хода. При расположении шлюза на берегу или на пойме он защищен от воздействия речного потока: вход и выход из него находятся достаточно далеко от плотины и достаточно безопасны для судов; производство работ по шлюзу не связано с трудностями, свойственными расположению шлюза в реке.

2. Подходы к шлюзам

Для возможности удобного входа (выхода) судна или каравана судов в шлюз необходимо иметь прямолинейный участок акватории (канал) по продолжению оси шлюза на длину, позволяющую разме-

ститься всему каравану. Обычно длина эта принимается не менее $L_n \approx (1,5-2)L$, где L — длина камеры шлюза.

Участок этот должен иметь ширину, позволяющую выходящим из шлюза судам свободно и безопасно разминоваться с судами, ожидающими входа в шлюз у причальной линии. Эта ширина (на глубине осадки судна) может быть выражена формулой:

$$B_n = nb + (n + 1)a, \quad (22-2)$$

где b — ширина судна;

a — минимальный промежуток между встречными судами при разминовании, а также между крайним судном и откосом берега или дамбы, принимаемый обычно $a \approx 3-5$ м;

n — число судов (караванов), могущих одновременно находиться в поперечном сечении канала. Обычно n равно 2 или 3, т. е. при одном стоящем у причала караване проходит другой или реже — два в разных направлениях.

Глубина подходных к шлюзу участков (каналов) должна соответствовать глубине воды на королях шлюза, обеспечивая транзит судов.

Подходные участки, если они находятся в открытой воде верхнего или нижнего бьефа, должны быть ограждены дамбой со стороны, откуда ожидается воздействие волнения, течений, ледохода, ветра. В некоторых случаях широких бьефов дамбы устраиваются с двух сторон подхода.

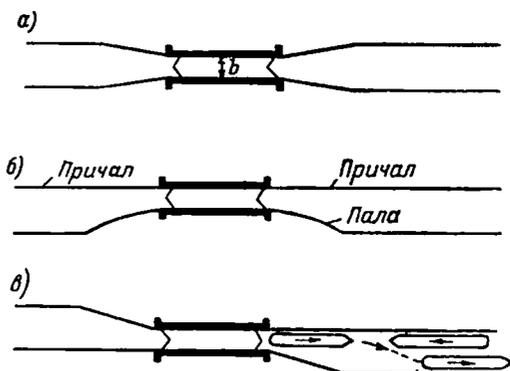
Направлением защитных дамб или береговых линий подходных каналов можно образовывать формы подхода симметричные (фиг. 22—6,а) и несимметричные (фиг. 22—6,б и в); в последних подход судов к шлюзу более удобен, так как совершается вдоль прямолинейных участков дамб (берегов).

Во избежание ударов судов о входные углы голов шлюза при входе в него устраиваются входные палы, представляющие собой стенки, эстакады или пловучие конструкции криволинейного в плане очертания, направляющие суда в шлюз и воспринимающие удары судов и несколько смягчающие их благодаря своей упругости. Длина пал бывает от $0,5l_c$ до $1,0l_c$, где l_c — длина судна. Обычно на одном берегу палы заменяются прямолинейным причалом (фиг. 22—6), около которого судно пришвартовывается в ожидании входа в шлюз. Длина причала должна быть равна примерно полуторной-двойной длине камеры.

Наиболее дешевы и целесообразны деревянные и железобетонные палы по типу эстакад; при значительных глубинах подходов, например, в верхнем бьефе, удобны палы в виде отдельных опор с пловучими упругими конструкциями между ними.

§ 135. ЛЕСОПРОПУСКНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для пропуска через напорные гидроузлы сплаваемого леса могут быть использованы судоходные шлюзы, если лес сплавляется в плотях



Фиг. 22—6. Схемы подходов к шлюзам

Однако шлюзование плотов не всегда целесообразно, так как оно снижает пропускную способность шлюзов, осложняет их работу вообще и вызывает относительно большую затрату воды. Поэтому иногда для плотов и во всех случаях для леса, сплаваемого россыпью (молем), применяют особые устройства: плотоходы, бревноспуски (лесоспускные лотки) и лесотаски.

1. Плотоходы

Плотоходы представляют собой наклонные лотки деревянные, бетонные или железобетонные, прямоугольного сечения, по которым плоты или другие соединения бревен (пучки, пакеты) сплавляют из верхнего в нижний бьеф со скоростью, не превышающей 3—4 м/сек. В головной части плотохода, располагаемой в створе плотины, имеется быстро действующий затвор, обычно сегментного типа, прекращающий сброс воды из верхнего бьефа, когда сплав не производится. В нижней части лотка в нижнем бьефе делается пловучий пол, обеспечивающий безопасный спуск плота в нижний бьеф.

В СССР построен оригинальной конструкции плотоход, имеющий кроме головного, еще второй затвор, при помощи которого образуется как бы шлюзовая камера (фиг. 22—7), в которой размещается плот. После закрытия головного затвора и открытия второго плот спускается вниз вместе с водой камеры. Такое устройство дает существенную экономию в воде, затрачиваемой на пропуск плотов, что важно в энергетических узлах.

Размеры сечения плотохода принимаются в зависимости от размеров спускаемых плотов. Так, ширина плотохода в случае неуправляемых плотов, могущих поворачиваться в плане:

$$B_{\text{п}} = l_{\text{д}} + 2(0,3 - 0,5) \text{ м}, \quad (22-3)$$

где $l_{\text{д}}$ — длина диагонали наибольшего возможного плота.

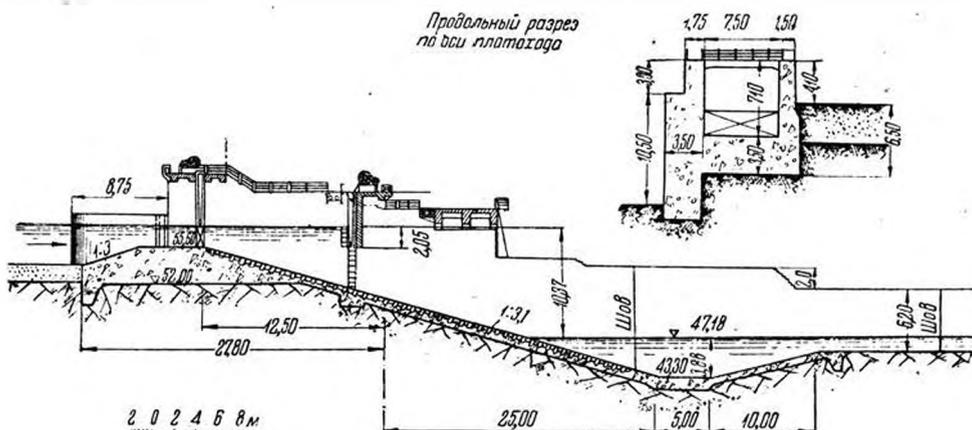
Для плотов управляемых (буксируемых)

$$B_{\text{п}} = b_{\text{пл}} + 2(0,5 - 1,0) \text{ м}, \quad (22-4)$$

где $b_{\text{пл}}$ — наибольшая ширина плота.

Практически ширина плотоходов колеблется в пределах 5—20 м. Продольный уклон плотоходов обычно $i \approx 0,01 - 0,02$, но при применении повышенной шероховатости дна и стенок лотка уклон может быть увеличен примерно до 0,30.

Плотоход располагается в таком месте речного гидроузла, чтобы дальнейший путь плотов в нижний бьеф был наиболее удобным: прямолинейным, достаточной

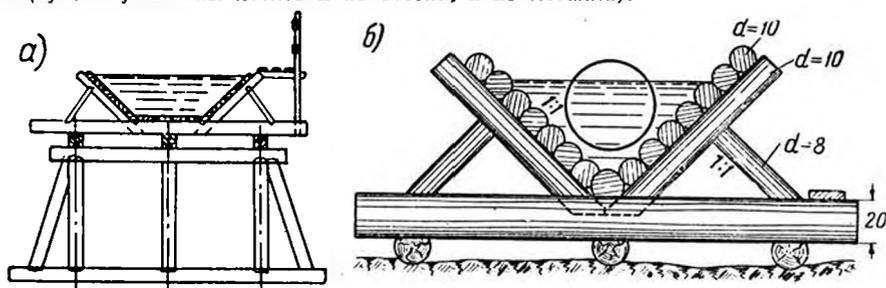


Фиг. 22—7. Плотоход с камерой для плота

длины и глубины. Желательно располагать плотоход вблизи берега, у которого плоты в верхнем бьефе могут останавливаться, причем крупные плоты могут переформировываться в более мелкие в ожидании пропуска через плотоход, размеры которого, как сказано выше, вообще ограничены.

2. Лесоспускные лотки (лесоспуски или бревноспуски)

Пропуск леса, пlyingшего в виде отдельных не связанных друг с другом бревен (россыпью, модем), производится обычно при помощи лесоспускных лотков (лесоспусков или бревноспусков), выполняемых чаще всего из дерева, что весьма их удешевляет (существуют типы лотков и из бетона, и из металла).



Фиг. 22—8. Лесосплавные лотки

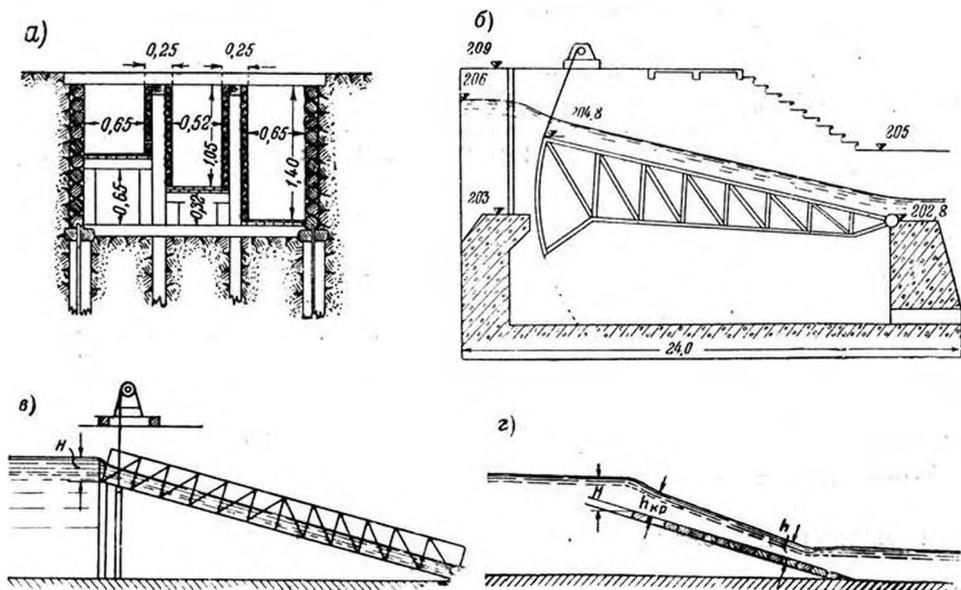
Лесоспуски в зависимости от количества подаваемой в них воды могут быть сплавными, полусплавными, мокрыми и смачиваемыми¹.

а) Сплавные лесоспуски транспортируют лес на плаву, что позволяет доставлять лес во вполне сохранном виде. Поперечное сечение сплавного лесоспуска обычно трапециoidalное или полигональное, но бывает и треугольным, полукруглым, прямоугольным (фиг. 22—8).

Уклоны сплавных лесоспусков обычно около 0,001—0,01, а при применении усиленной шероховатости — до 0,15. Скорости движения бревен по лотку допускаются от 2,5 до 5—6 м/сек в зависимости от прочности и характера крепления лотков.

Лотки в плане делают обычно прямолинейными, но местные условия могут заставить делать лотки, искривленные в плане.

В гидроузлах со значительным колебанием подпорного горизонта воды усложняется устройство головы лотка, в которой желательно поддерживать примерно постоянную глубину во избежание значительных потерь воды при высоких горизонтах воды. Это достигается разными путями: а) устройством головы из нескольких секций с порогами на разных уровнях (фиг. 22—9, а); б) устройством сегментного опускающего



Фиг. 22—9. Устройство голов лесосплавных лотков при колебаниях уровня верхнего бьефа

¹ П. Н. Кораблинов, Деревянные лесоспуски, 1938.

затвора (фиг. 22—9,б); в) устройством лотка подвижным, в виде фермы, один конец которой подвешен, а другой скользит по дну (фиг. 22—9,в); г) устройством разборного порога из брусьев (фиг. 22—9,г).

б) Полусплавные лесоспуски отличаются от сплавных тем, что глубина воды в них составляет от 0,10—0,15 до 0,6—0,7 диаметра бревна, так что бревно скользит по дну лотка в полувзвешенном состоянии. Это позволяет применить здесь более крутые уклоны лотков — от 0,04 до 0,20 — и существенно уменьшить расход воды. Однако спускаемый в таких лотках лес может несколько повреждаться, особенно при отсутствии хорошего надзора.

в) Мокрые и смачиваемые лотки требуют еще меньшего расхода воды, чем полусплавные, так как вода здесь даже не взвешивает бревен, а служит лишь смазкой при скольжении бревна по лотку (коэффициент трения около 0,20); в мокрых лотках вода создает небольшое толкающее усилие, преодолевающее часть сопротивления движению бревна. Глубина воды в мокрых лотках обычно равна 0,10—0,15 диаметра бревна, а в смачиваемых лотках только поверхность дна лотка держится во влажном состоянии. Уклоны мокрых лотков — от 0,10 до 0,50, в среднем около 0,20—0,25.

Движение бревен в мокрых и смачиваемых лотках происходит со значительными скоростями — от 10 до 30 м/сек и более, поэтому неизбежны некоторые повреждения лесоматериала, в особенности при плохой эксплуатации.

г) Расположение лесоспусков в нижнем бьефе должно удовлетворять тем же условиям, что и плотоходов: важно, чтобы выход из лотка был за пределами действия гасительных устройств нижнего бьефа плотины.

В верхнем бьефе вход в лесоспуск должен быть огражден пловучими запанями (бонами), причем запанями же ограждается и значительная акватория — лесной рейд, где производятся все операции по подготовке леса к спуску: сортировка, расчалка, роспуск плотов и т. п.

3. Лесотаски

При глухих плотинах значительных напоров иногда бывает выгодно устраивать вообще механическую перевалку леса из верхнего в нижний бьеф через гребень плотины при помощи обычных механических лесотасок.

Б. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

§ 136. ЗДАНИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Здания гидроэлектростанций, входящие в состав речных напорных гидроузлов, могут быть следующих типов:

1) напорные здания, которые занимают самостоятельный участок напорного фронта узла и воспринимают непосредственно на себя напор воды;

2) здания, совмещенные с водосливными частями плотин, размещенные внутри последних или, как говорят, «встроенные» в плотины и не занимающие поэтому отдельного участка напорного фронта;

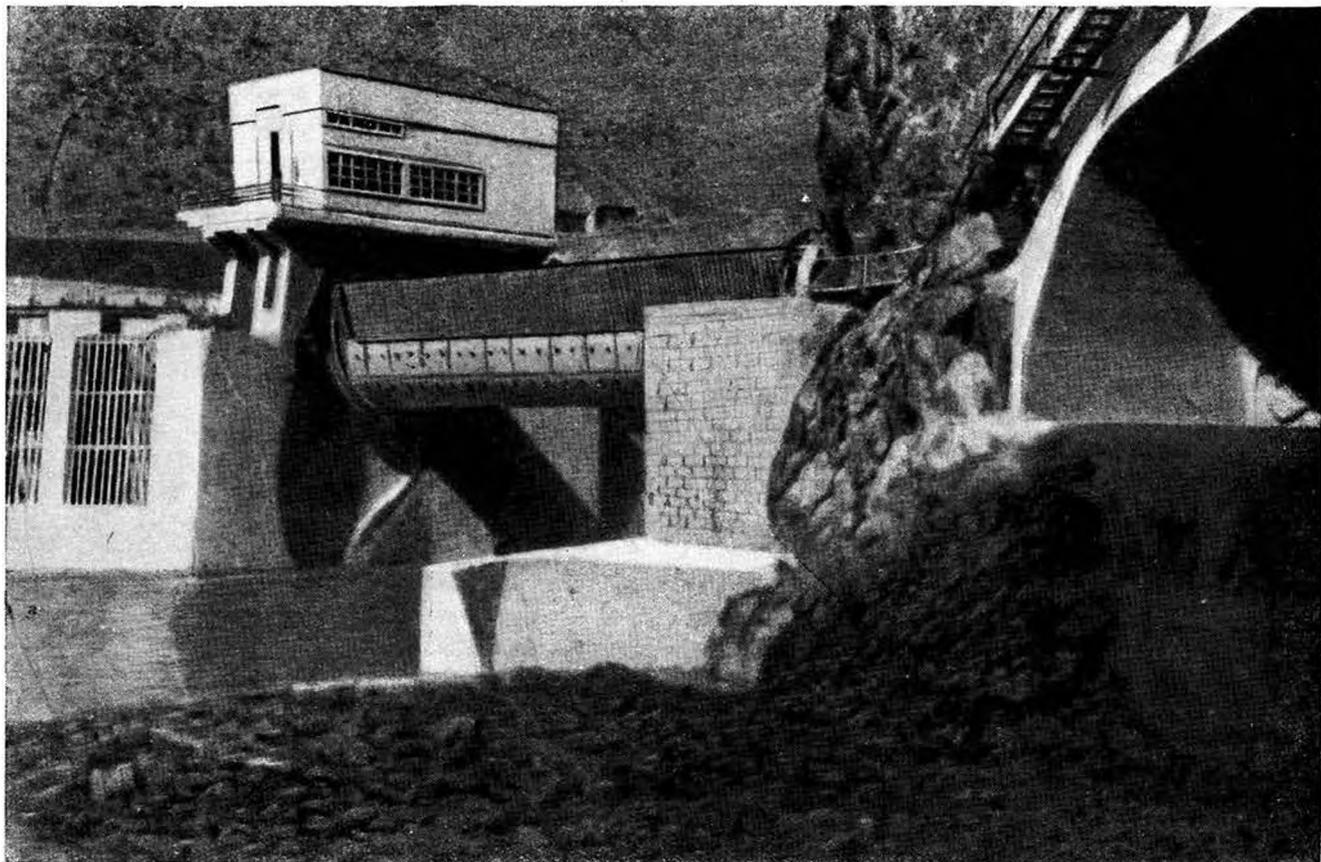
3) здания, совмещенные с глухими частями плотин, располагаемые внутри плотин или непосредственно за ними, с подводом воды короткими напорными трубопроводами и также не занимающие практически отдельного участка напорного фронта;

4) здания, расположенные независимо от плотины в конце короткой напорной деривации, с забором воды особым сооружением в гидроузлах среднего и высокого напоров.

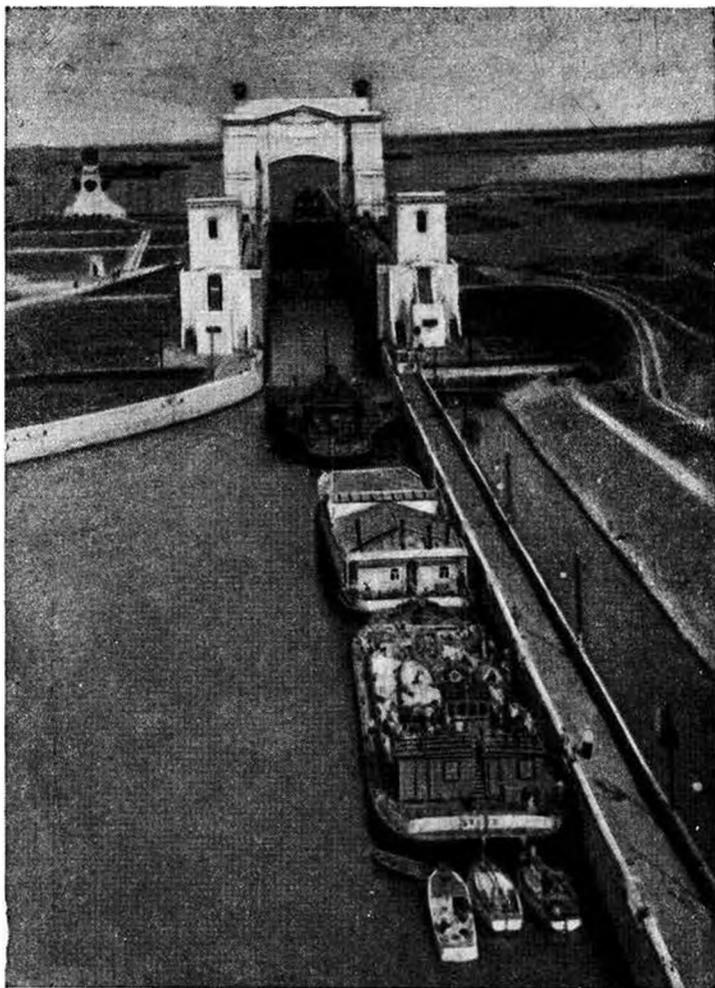
1. Здания гидроэлектростанций, непосредственно воспринимающие напор гидроузла

Этот тип наиболее распространен в гидроузлах низкого и среднего напоров (до 20—25 м).

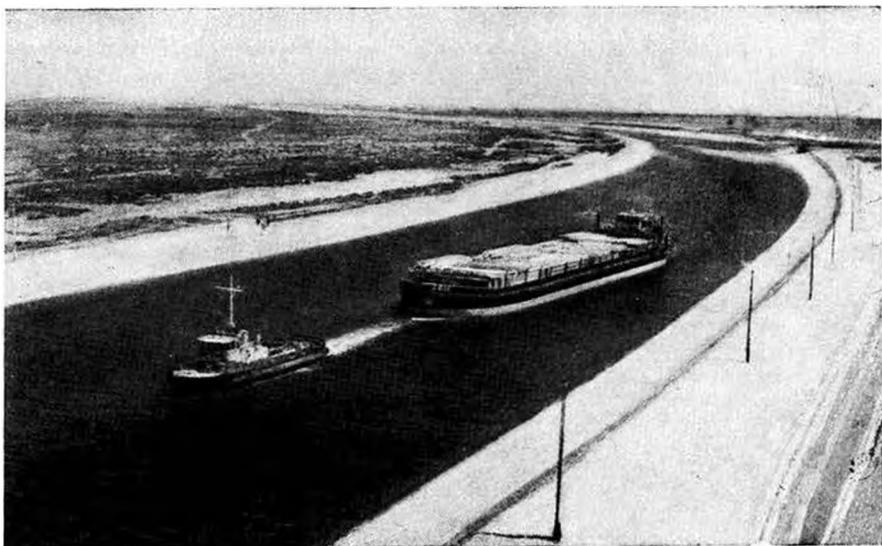
а) Основной массив здания — подводная часть, ее — заключает в себе оборудование (турбины, затворы и пр.) и является опорой для генераторов, подъемного крана и другого оборудования.



Плотины с вальцовым затвором (к стр. 69)



Судоходный шлюз Волго-Донского канала имени В. И. Ленина с караваном судов на входе (к стр. 141)



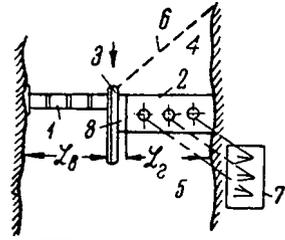
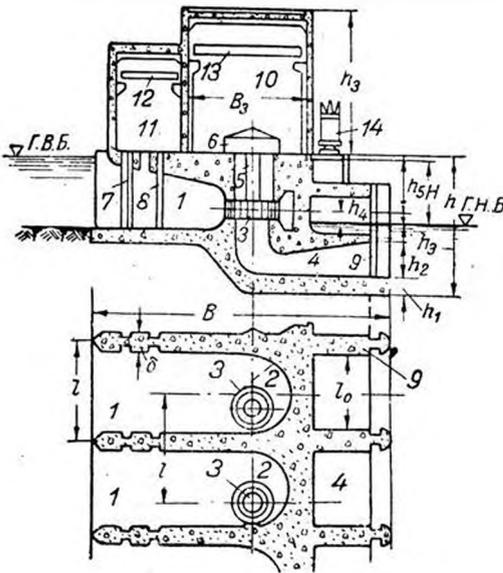
Волго-Донской судоходный канал имени В. И. Ленина (к стр. 261)

На фиг. 22—10 показан поперечный схематический разрез здания ГЭС, воспринимающего напор H . Вода подводится к турбине 3 с вертикальной осью вращения по напорной галерее 1, затем по спиральной камере (улитке) 2 и сбрасывается по прохождении колеса турбины по всасывающей трубе 4 в нижний бьеф. Турбина 3 соединена на одном валу 5 с генератором 6, находящимся в машинном зале 10. Вход в турбинную камеру закрывается затвором 8, перед которым располагаются решетки 7; маневрирование затворами и решетками производится из помещения 11 при помощи крана 12; выход из всасывающей трубы может быть закрыт на случай ремонта шандорами или плоским затвором 9; машинный зал обслуживается краном 13; иногда машинный зал делается «открытым», т. е. не имеет стен и перекрытия, которые делаются лишь собственно над генераторами, обслуживаемыми порталным краном.

Все прочее оборудование (компрессоры, маслonaпорное хозяйство, электрооборудование и т. д.) размещается как в машинном зале, так и внутри подводного массива.

Трансформаторы 14 обычно располагаются на массиве ГЭС (иногда на крыше машинного зала) и соединяются проводами высокого напряжения с распределительной подстанцией, размещаемой на берегу на особой спланированной площадке (фиг. 22—11,7).

б) Обычно ГЭС имеет несколько агрегатов (турбина, генератор)



Фиг. 22—10. Схематические поперечный разрез и план здания ГЭС

Фиг. 22—11. Схема расположения здания и прочих устройств русловой ГЭС

одинакового типа и размера. Часть здания ГЭС, соответствующая длиной по фронту одному агрегату, называется блоком агрегата или блоком турбины.

Основные размеры блока связаны с размерами агрегата, что зависит от мощности его (напора и расхода воды). Для приближенного определения основных размеров блока можно пользоваться аналогами и некоторыми эмпирическими формулами¹. Статистика построенных и запроектированных в СССР ГЭС показывает, что расход бетона на здания средних и крупных ГЭС колеблется примерно в пределах 0,8—1,5 м³ на 1 кВт установленной мощности.

в) Здание ГЭС располагается чаще всего по продолжению плотины 1 (фиг. 22—11). Если ширина русла недостаточна, чтобы разместить водослив необходимой длины L_v и здание ГЭС 2 длиной L_r , здание вдвигается частично в берег, причем для уменьшения выемки здание может ставиться под углом к оси плотины. Зданию необходимо обеспечить хорошую транспортную связь с берегом, причем в крупных ГЭС — при помощи железнодорожных путей, заходящих непосредственно на монтажную площадку ГЭС.

г) Кроме здания ГЭС, в узле необходимы следующие сооружения (фиг. 22—11):

1) раздельный бык или пирс 3, отделяющий здание ГЭС от плотины, ограничивающий в нижнем бьефе гасительные устройства и рисберму от более глубокой выемки на выходе из ГЭС;

2) ледозащитная стенка 6 — для недопущения льда из реки в период ледохода к зданию ГЭС — в аванкамеру 4 — и направления его к плотине; в настоящее время ледозащитные стенки применяются редко, так как опыт показывает возможность нормальной работы ГЭС и без этих стенок;

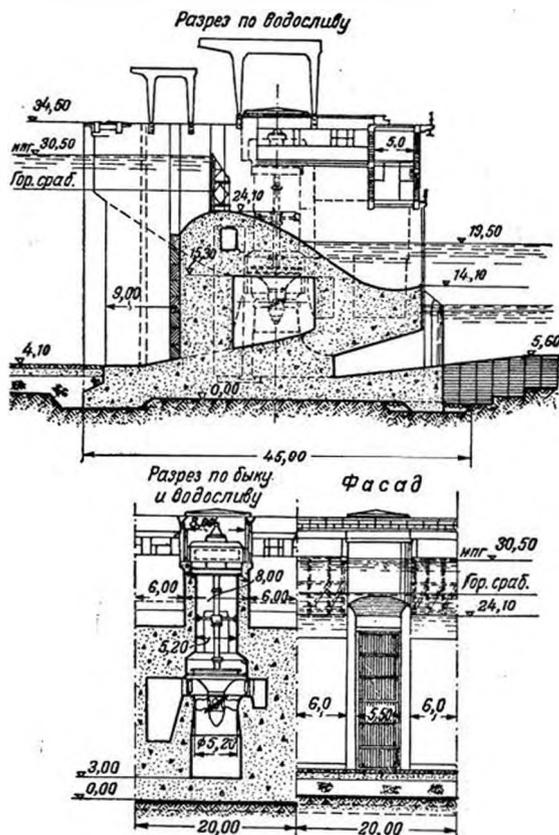
¹ См., например, Н. М. Щапов, Оборудование гидростанций, Энергоиздат, 1941.

3) аванкамера 4 — участок верхнего бьефа, организующий подход потока к зданию ГЭС и служащий иногда для отстоя влекомых рекой наносов; в последнем случае в конце здания устраивается промывное отверстие δ или грязеспуск;

4) отводящий канал 5, сопрягающий поток, выходящий из ГЭС, с рекой. Условия компоновки всех этих сооружений в комплексе ГЭС излагаются подробно в специальных курсах.

2. Здания ГЭС, совмещаемые с водосбросами

При ограниченной ширине русла и в целях экономии бетона можно применять типы зданий ГЭС, встроенных внутрь тела плотины или располагаемых непосредственно за ним в едином комплексе.



Фиг. 22—12. Здание ГЭС с турбинами внутри быков и водослива

нать большое число мелких агрегатов на горизонтальной оси и 2) в случае недостаточности строительной высоты для машинного зала или в целях возможности применения меньшего числа более крупных агрегатов делать водосбросы сифонными (фиг. 22—15,а). Идея эта осуществляется в настоящее время на одном объекте в СССР. Другое предложение (зарубежное) для таких случаев заключается в устройстве сифонного водосброса за турбинами (фиг. 22—15,б). Представляет интерес также решение здания ГЭС, совмещенного с водосбросом при применении так называемых прямоточных турбин, поток воды в которые направляется вдоль оси турбины. На фиг. 22—16,а приведены разрезы блока ГЭС, на фиг. 22—16,б — разрезы двухъярусного водосброса. Установка оказалась весьма экономичной.

В последнее время в СССР разработаны конструкции зданий ГЭС, совмещенных с глубинными трубчатыми водосбросами (фиг. 22—17), которые более компактны, чем водосливы, при той же пропускной способности. Эти конструкции осуществляются в СССР на крупных гидроузлах.

В последнее время советская техническая мысль в соответствии с директивами XIX съезда КПСС занята проблемой таких ГЭС, служащих удешевлению строительства и вырабатываемой энергии.

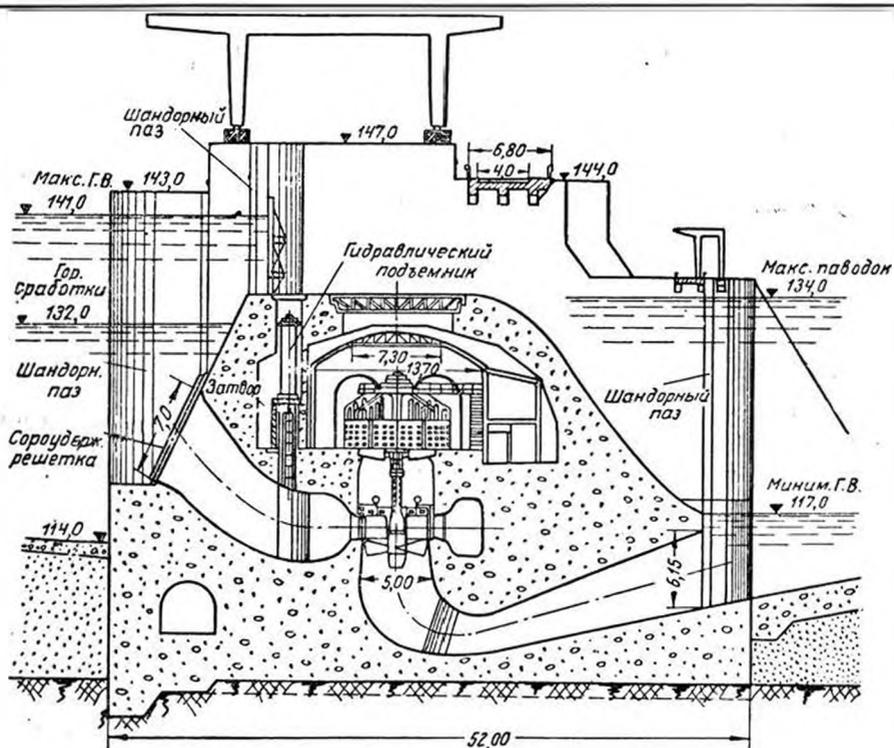
Тип здания, совмещенного с водосливом, показан на фиг. 22—12 (проект). Турбина размещается в массивном бетонном теле бычка и водослива, вал генератора проходит через бычок, наверху которого располагается генератор. Машинный зал частично располагается на быках (помещения генераторов) и частично в мостовой конструкции, перекрывающей водосливы со стороны нижнего бьефа.

В настоящее время принято к осуществлению решение, которое заключается в расположении здания ГЭС только в быках, разделяющих водосливные отверстия с низким порогом (при напоре около 4 м).

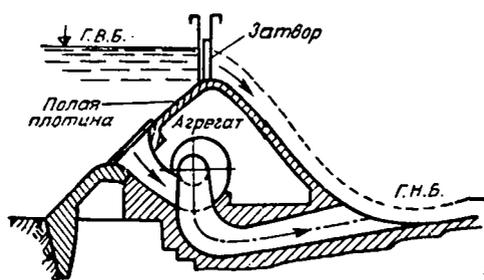
При напоре станции, большем 20—25 м, оказывается возможным разместить не только турбины, но и генераторы и вообще весь машинный зал внутри водослива (фиг. 22—13). При малых напорах разместить все оборудование в теле плотины возможно лишь в контрфорсной железобетонной плотине и при ограниченных габаритах оборудования (фиг. 22—14).

Решением такой задачи является предложение П. П. Лаупмана, заключающееся в том, что:

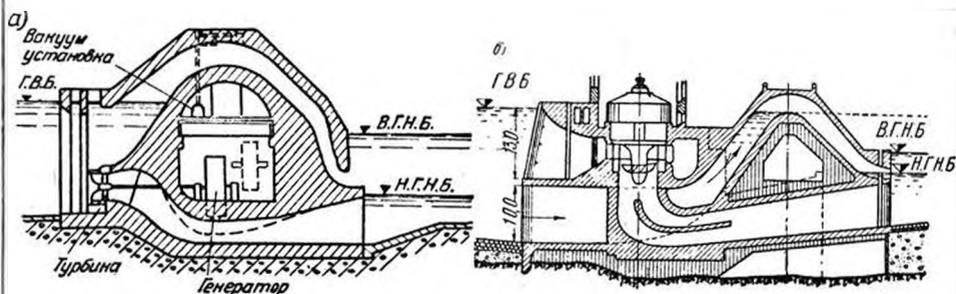
бы: 1) на гидростанции применять



Фиг. 22—13. Здание ГЭС внутри массивного водослива



Фиг. 22—14. Здание ГЭС внутри железобетонного водослива



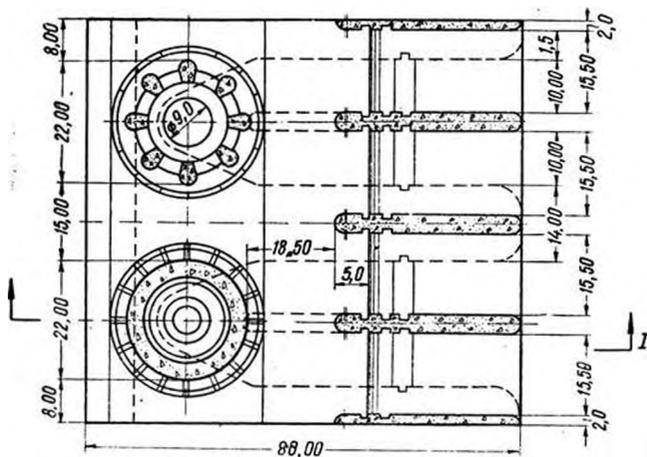
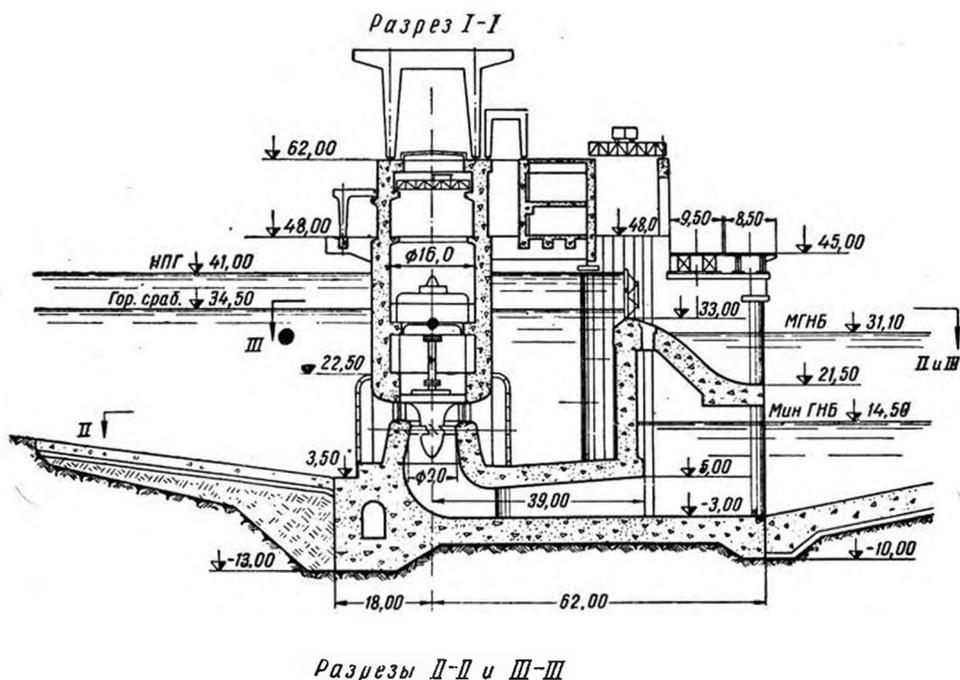
Фиг. 22—15. Здание ГЭС, совмещенное с сифонным водосбросом

а — по предложению П. П. Лаупмана; б — с турбиной на вертикальной осм

3. Здания ГЭС, располагаемые перед плотиной, через которую проходят лишь всасывающие трубы

Трудность размещения гидроагрегатов в теле плотины при малых напорах привела проф. Б. К. Александра к мысли расположить их в верхнем бьефе в особой подводной железобетонной конструкции машинного зала, размещаемого на одной плите с водосливом, через который проходит лишь всасывающая труба. Один из таких вариантов осуществлен на крупной реке в СССР.

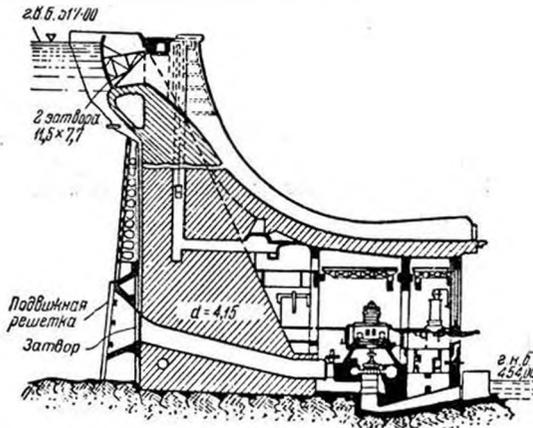
В предложении лауреата Сталинской премии инж. Н. М. Иванцова аналогичная задача решена путем размещения турбин и генераторов на вертикальном валу в отдельных башнях перед водосливом в верхнем бьефе с пропуском всасывающих труб через тело водослива (фиг. 22—18). Эта же идея реализована Н. М. Иванцовым на одном сооружении, осуществленном в СССР, представляющем водосброс, совмещенный с насосной станцией.



Фиг. 22—18. ГЭС с размещением агрегатов в башнях перед водосливом (по предложению Н. М. Иванцова)

4. Здания ГЭС за водосливной плотиной в нижнем бьефе

В последние годы осуществлены конструкции зданий ГЭС, расположенных непосредственно за плотиной сравнительно высокого напора с водозабором трубами в теле плотины, причем вода верхнего бьефа в паводки сбрасывается по массивной железобетонной крыше здания ГЭС и далее — свободно падающей струей. Пример — на фиг. 22—19, где показаны плотина и ГЭС Сент-Этьен де Канталь на притоке р. Дордонь во Франции. Аналогичная установка еще большего напора (около 90 м) построена на самой р. Дордонь — установка Эгль.



Фиг. 22—19. Плотина Сент-Этьен де Канталь с водосбросом над зданием ГЭС

5. Здания ГЭС, размещенные внутри и за глухими плотинами

Этот тип зданий ГЭС нашел применение на практике в массивных и контрфорсных плотинах. В теле массивной гравитационной плотины здание ГЭС размещается еще легче, чем в водосливной. В контрфорсных плотинах эконо-

мия по ГЭС получается на устройствах, подводящих к ГЭС воду, и на части стен и перекрытий машинного зала, которыми служат перекрытия и контрфорсы плотины. Главный недостаток конструкции в этом случае заключается в разобщении секций машинного зала и необходимости в связи с этим делать широкие прорезы в контрфорсах.

Расположение здания ГЭС непосредственно за глухой плотиной широко распространено. В этом случае плотина используется в качестве водоприемника с размещением в ней водовода.

6. Распределительная (повысительная) подстанция ГЭС

Все коммутационные устройства ГЭС для распределения энергии по различным линиям электропередач располагаются на распределительной подстанции (фиг. 22—11, 7), которая размещается обычно вблизи здания ГЭС на берегу, на спланированной или искусственно насыпанной площадке.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ

РЫБОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

§ 137. ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТРОИТЕЛЬСТВА НА РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО И МЕРОПРИЯТИЯ В СВЯЗИ С ЭТИМ

1. Рыбное хозяйство СССР и виды промысловых рыб

Рыбное хозяйство СССР составляет важную отрасль народного хозяйства, давая ценные продукты питания и сырье для промышленности.

Уловы рыбы перед Великой Отечественной войной были в пределах 13—16 млн. ц, составляя около 12% мирового улова рыбы, сейчас они продолжают расти. При этом морские уловы составляют 30—40%, а уловы рыбы в реках и озерах — 70—60% всей добычи в отличие от зарубежных стран, где соотношение обратное.

В зависимости от образа жизни рыбы делятся на морские, проходные, полупроходные и пресноводные (местные, туводные).

Морские рыбы проводят всю свою жизнь только в море, например, треска, большинство сельдей, камбала и др. Пресноводные рыбы, как показывает название, живут исключительно в пресной воде рек и озер, например, форель, жерех, подуст, карась и др. Проходные же и полупроходные рыбы часть жизни проводят в пресной воде, часть — в соленой морской. Так, проходные живут вообще в море, а для размножения (нереста) поднимаются в реки, или, как говорят, мигрируют, часто на значительные расстояния (до 2—3 тыс. км); сюда относятся породы осетровые (осетр, белуга, севрюга), лососевые (лосось, семга, белорыбица, нельма), некоторые сельдевые, миноги и др.

Полупроходные рыбы живут вообще в устьевых частях рек и в опресненных морских заливах, а для зимовки и размножения уходят в реки; к ним относятся лещ, судак, сазан и др.

2. Влияние гидростроительства на рыбное хозяйство

Главнейшая задача рыбного хозяйства заключается в обеспечении воспроизводства рыбных запасов, компенсации уловов и обеспечении роста последних. Это воспроизводство совершается в природе вообще естественно, но всякое искусственное изменение биологической обстановки существования рыб сказывается на воспроизводстве запасов, и чем значительнее эти изменения, тем сильнее сказывается их влияние.

Как известно, гидротехническое строительство может существенно изменять природные условия водоемов. Водоподпорные сооружения (плотины и гидроузлы) вызывают следующие изменения в рыбном хозяйстве.

а) Преграждаются пути миграции, или периодических передвижений рыб, вследствие чего отсекаются от моря места нереста рыб, расположенные в верхнем бьефе, и соответственно сокращается воспроизводство рыбного стада; это сказывается главным образом на проходных рыбах и в некоторой мере на пресноводных.

б) Уничтожаются места нереста в верхнем бьефе в местах бывших проточных участков рек и пойм, которые превращаются практически в стоячие водоемы, где размножение рыб, проводящих икрометание в текучей воде, становится невозможным; это скажется на проходных рыбах, если они и пройдут через плотину.

в) Ухудшаются условия обратного ската молоди в море вследствие возможности гибели их у решеток гидроэлектростанций, попадания в ирригационные каналы, берущие начало в верхнем бьефе, и затем на орошаемые поля и пр.

г) Сокращаются площади нереста и жорма рыбы ниже плотин, в частности в устьевых участках рек, если плотина регулирует сток, задерживает паводки и снижает их пики, если часть воды изымается на орошение и пр.; уменьшение затоплений поймы, являющейся часто местом нереста полупроходных рыб (например, в устьях Волги), также ведет к снижению воспроизводства запасов рыбы.

д) Изменяются гидрологические и гидробиологические условия реки в верхнем и нижнем бьефах в случае образования на реке регулирующего водохранилища: меняются сроки паводков, температура воды, скорости течения, солевой состав, перенос органогенных элементов и пр.; это сказывается на условиях жизни полупроходных рыб в устьях реки и пресноводных заливах (например, в заливах Каспия).

Вместе с тем в водохранилище создаются специфические условия для жизни рыб, присущие озерам и водоемам с полустоячей водой; это может содействовать развитию самостоятельного рыбного хозяйства в новых местах (верхний бьеф). Например, Магнитогорское водохранилище на р. Урал дало через 3 года 1 000 ц рыбы, в то время как до постройки плотины рыболовство там почти отсутствовало; очень эффективным оказалось Веселовское водохранилище на р. Маныч и др.

Таким образом, постройка плотин и водохранилищ вредно сказывается на проходных и полупроходных рыбах, мало на пресноводных (туводных) и совсем не сказывается практически на морских.

Поскольку проходные и полупроходные рыбы составляют наиболее ценную и питательную часть рыбной продукции, а в СССР — большую ее часть, для предупреждения вредных последствий от строительства подпорных сооружений необходимо проведение специальных мероприятий.

3. Мероприятия по рыбному хозяйству в связи с устройством плотин и гидроузлов

Основные мероприятия для компенсации ущерба, приносимого рыбному хозяйству плотинами, сводятся к следующему:

а) обеспечение прохода рыбы из нижнего в верхний бьеф и обратно, т. е. устройство рыбопропускных сооружений;

б) искусственное рыборазведение путем вылова у преграждающего движение рыбы гидроузла производителей, сбора икры и ее оплодотворения, выращивания молоди и выпуска ее в реку;

в) рыбохозяйственное использование водохранилищ, как новых водоемов, путем заселения их соответствующими породами рыб (озерного типа) и освоение новых мест нереста в верхнем бьефе путем акклиматизации рыб;

г) мелиорация рыбных угодий, ухудшившихся в результате устройства водохранилища, как например, искусственное опреснение соленых морских заливов (лиманов), создание нерестилищ взамен отпавших из-за снижения паводков в устьях рек и др.;

д) регулирование рыбного промысла с целью обеспечения естественного воспроизводства рыбных запасов: создание запретных зон лова (например, у плотин), различные охранные мероприятия и пр.

Рыбопропускные сооружения являются основными инженерными мероприятиями по сохранению запасов рыб при устройстве водоподпорных гидроузлов на реках, если выше по течению сохраняются нерестилища. В тех случаях, когда большой напор гидроузла или другие обстоятельства не позволяют обеспечить ход рыбы к местам икрометания или на естественных нерестилищах резко изменяется гидробиологический режим, применяют искусственное рыборазведение, устраивая рыбозаводы. Так, например, намечено поступить в связи со строительством Сталинградского и Куйбышевского гидроузлов на Волге, поскольку Волга превратится выше Сталинграда в ряд озеровидных бьефов.

Рыбохозяйственное освоение водохранилищ и регулирование рыбного промысла являются обязательными мероприятиями при строительстве гидроузлов вообще. На Цимлянском водохранилище, где создается нерестовое хозяйство в 1 000 га и осетровый рыборазводный завод, ожидается увеличение уловов рыбы до 120—150 тыс. ц в год.

Рыбохозяйственная мелиорация производится в устьях рек в тех случаях, когда устройство водохранилищ существенно меняет режим реки в устьевой части и угрожает рыбному хозяйству.

Из всех описанных мероприятий в настоящем курсе рассматривается лишь первая группа — рыбопропускные сооружения.

§ 138. РЫБОХОДЫ

1. Основные принципы устройства рыбоходов

Рыбоходы являются основным и самым распространенным видом рыбопропускных сооружений. Они представляют собой лотки или каналы, по которым вода движется из верхнего бьефа в нижний с некоторой скоростью, и рыба может подниматься в них из нижнего бьефа в верхний против течения.

Для возможности движения рыбы по рыбоходу поперечное сечение последнего должно быть достаточным по ширине и глубине, иногда с учетом возможности прохода нескольких рыб сразу; стенки и дно рыбохода должны исключать возможность ранения или повреждения рыбы и не должны ее отпугивать; обстановка для рыбы в рыбоходе должна быть возможно ближе отвечать естественным условиям, в частности в отношении освещенности. Скорость течения воды в рыбоходном лотке должна быть такой, чтобы рыба при движении своим вверх по течению могла ее преодолеть.

Скорости течения, преодолеваемые рыбой, различны для разных пород рыб. В табл. 23—1 приведены некоторые примерные данные об этих скоростях, полученные из наблюдений и специальных опытов.

В той же табл. 23—1 приведены примерные допускаемые в рыбоходах лестничного типа скорости течения.

Таблица 23—1

| Порода рыбы | Скорости течения в м/сек | |
|---|--------------------------|-------------------------|
| | преодолеваемые рыбой | допускаемые в рыбоходах |
| Лосось (семга) | 2,5—4 (8,5)* | 2,3—3,5 |
| Форель | 2,3—4 | — |
| Усач, подуст | 1,5—2,5 | — |
| Сиг | 1,5 | — |
| Белорыбица, осетр, севрюга, судак | — | 1,65—2,3 |
| Лещ, плотва, голавль | 1,2—1,6 | — |

* Исключительные экземпляры.

Таблица 23—2

| Порода рыбы | Размеры суженных сечений и отверстий в м | | | Размеры бассейнов лестничных рыбоходов в м | |
|--------------------------------------|--|---------|--------------|--|---------|
| | ширина | высота | глубина воды | ширина | длина |
| Мелкие пресноводные породы | 0,3 | 0,2 | 0,6 | 1,5 | 1,5 |
| Сиг, лещ, голавль | 0,5 | 0,4 | 0,6—0,8 | 1,5—2,0 | 2,2—2,8 |
| Лосось, белорыбица, усач | 0,8 | 0,6—0,7 | 0,8—1,0 | 3,0 | 5,0 6,0 |
| Осетр, севрюга | 1,0—1,5 | 1,0 | 2,0 | 5,0 | 6,0—7,0 |

Габариты живого сечения рыбоходов также зависят от породы пропускаемых рыб. Минимальные размеры в самых суженных местах рыбоходов (в так называемых вливыных отверстиях, у перегородок и т. п.) приводятся в табл. 23—2.

2. Типы рыбоходов

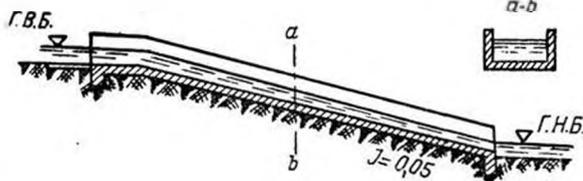
Определяющим фактором для конструкции рыбохода является способ достижения допускаемых скоростей в нем, так как в обычном лотке постоянного уклона и сечения такие скорости могут быть обеспечены лишь при очень малых уклонах (порядка 0,001—0,003) и длина лотка получалась бы весьма значительной (например, уже при напоре плотины 3—5 м потребовалась бы длина лотка более 1 км).

В связи с этим, а также с другими факторами рыбоходы делятся на лотковые, прудковые и лестничные; в первых допускаемая скорость течения поддерживается на всей длине рыбохода, во вторых и в третьих — короткие участки более значительных скоростей и падений чередуются с удлиненными участками меньших скоростей и уклонов, позволяющими рыбе несколько отдохнуть от напряжения, требовавшегося для прохода тяжелых участков.

3. Лотковые рыбоходы

Лотковые рыбоходы делятся на: а) свободные лотковые (лотки, желоба, каналы) с малыми уклонами дна, б) лотки повышенной шероховатости с большими уклонами и в) лотки с неполными перегородками.

а) Свободные лотковые рыбоходы представляют собой деревянные, каменные или бетонные лотки прямоугольного сечения



Фиг. 23—1. Схема свободного лоткового рыбохода (без перегородок)

(фиг. 23—1) с уклонами обычно не более 0,05. Они пригодны только при малых напорах плотин и для сильных рыб, так как скорости течения в конце лотков, являющихся по существу быстротоками, доходят уже при малых напорах до 4—5 м/сек.

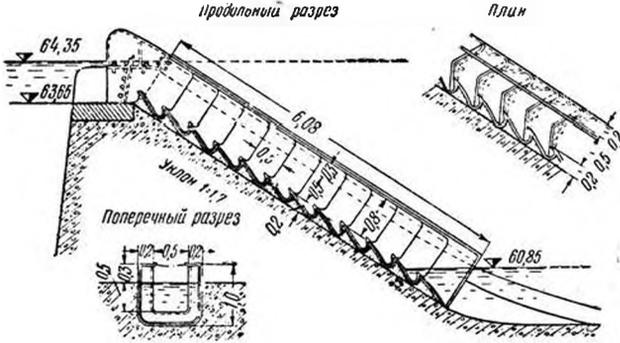
б) Применение повышенной шероховатости в виде планок, гребешков, порогов на дне и по стенкам лотка (фиг. 29—9) позволяет получить невысокую среднюю скорость течения в лотке (порядка 2—2,5 м/сек) при значительном его уклоне — от 1:10 до 1:1,7—1:4 и напорах до 5—7 м и более.

На фиг. 23—2 представлен рыбоход с повышенной шероховатостью, системы Дэниля. Опыт применения рыбоходов этой системы на ряде плотин был неудачным, рыбы (например, сиги на Волховской плотине) ими не пользовались. Отдельные случаи удачного использования рыбоходов Дэниля были при небольших напорах (2—5 м) и уклонах лотков 1:4; ими пользовались сильные рыбы — лососи, форели. Причина неудач лотков Дэниля — наличие интенсивных беспорядочных вихревых течений в лотке и значительных местных скоростей (при допустимой средней), что дезориентирует рыбу при ее движении по лотку и чрезмерно утомляет ее в поисках прохода вверх.

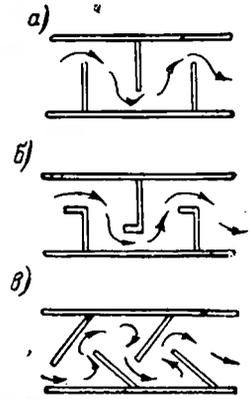
Из других типов рыбоходов этой группы можно отметить лотки с зигзагообразными порогами (фиг. 29—9,2).

Вообще, видимо, рыбоходы с большой шероховатостью могут быть использованы лишь сильными породами рыб (лососевыми).

в) Третья группа лотковых рыбоходов представляет собой лотки с неполными перегородками, располагаемыми в шахматном порядке с различным наклоном в плане к стенкам



Фиг. 23—2. Рыбоход повышенной шероховатости (Даниля)

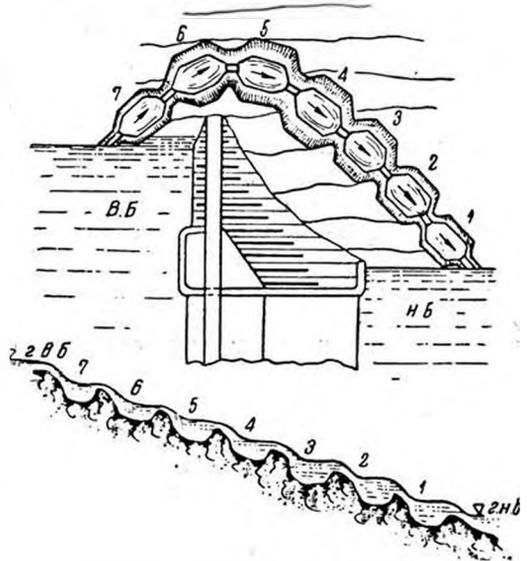


Фиг. 23—3. Схемы лотковых рыбоходов с неполными перегородками

лотка (фиг. 23—3). Благодаря перегородкам удлиняется путь движения воды по сравнению с длиной лотка, создаются дополнительные сопротивления из-за изгиба струй и образования водоворотных движений. Такие рыбоходы получили распространение еще в XIX в. и с успехом применялись для пропуска лосося, а иногда мелкой пресноводной рыбы.

Лотки с неполными перегородками применялись для различных напоров, даже значительных, как, например, для напора 27,2 м. Ширина лотков — от 1,6 до 3 м, иногда до 6 м; ширина суженных отверстий — 0,35—0,6 м; глубина воды — 0,4—1,5 м и уклоны — от 1:7 до 1:13 и более пологие; скорости течения 0,8—2,0 м/сек.

Для уменьшения влияния резких изгибов струй у концов перегородок и силы водоворотных течений, дезориентирующих рыбу, применяют направляющие щитки (фиг. 23—3,б).



Фиг. 23—4. Прудовый рыбоход

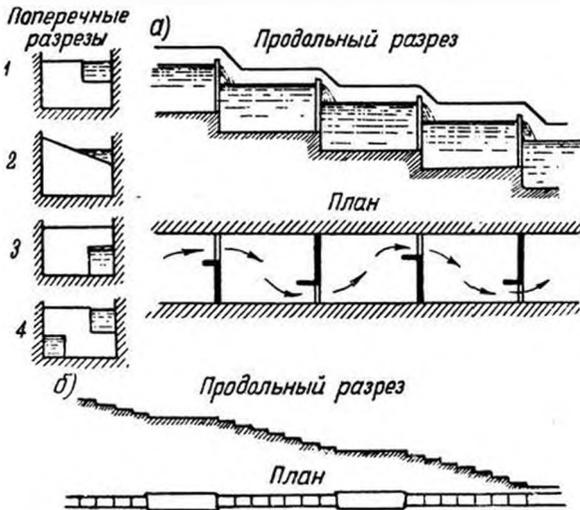
4. Прудковые рыбоходы

Эти рыбоходы представляют собой ряд бассейнов, прудков, соединенных короткими каналами, имеющими повышенные скорости и уклоны (фиг. 23—4).

Эти рыбоходы выполняются обычно в естественном грунте берега в обход плотины или по откосу земляной плотины, например, в суглинке, гравелистом и другом грунте, причем каналы в соответствующем случае приходится крепить:

иногда для сокращения длины делают эти каналы в виде лотков повышенной шероховатости.

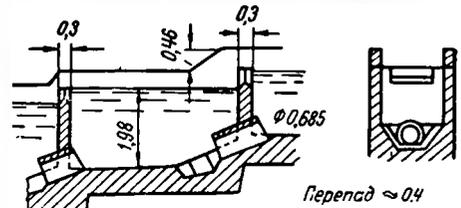
Прудковые рыбоходы могут устраиваться при плотинах с напорами до 12—25 м; уровни отдельных прудков при этом разнятся на величину 0,5—1,5 м. Рыба охотно пользуется ими, так как в них в известной мере сохраняются природные условия (грунт дна и берегов); рыба имеет возможность отдыхать, почему возможен подъем ее вообще на значительную высоту. Но эти рыбоходы экономичны лишь при известных благоприятных условиях берега (рельеф, грунт), когда объем земляных работ не слишком велик.



Фиг. 23—5. Лестничный рыбоход

жений), будучи пригодными для самых разнообразных пород рыб.

Лестничный рыбоход представляет собой лоток со ступенчатым дном, разделенный на ряд бьефов поперечными перегородками (фиг. 23—5), в которых для прохода рыбы устроены отверстия, называемые впускными. В зависимости от условий хода рыбы впускные отверстия, располагаемые в шахматном порядке, делаются или поверхностными (фиг. 23—5, поперечные разрезы 1 и 2), например, для сельдей, или донными (разрез 3), например, для осетровых рыб, поэтому и пропуск воды через перегородки происходит или по принципу водослива, или как через глубинное отверстие в стенке. Размеры впускных отверстий указаны в табл. 23—2.



Фиг. 23—6. Лестничный рыбоход Питлохри

Перепады между бьефами задаются в зависимости от допускаемой скорости для проходящей через отверстия рыбы (табл. 23—1): от 0,15 до 0,3 м для пресноводных пород рыб, полупроходных, осетровых и до 0,4—0,8 м для более сильных пород — лососей, форелей.

Размеры бассейнов между перегородками приведены в табл. 23—2; длина бассейна имеет связь с перепадом на перегородке и с размерами рыб, обычно отношение перепада к длине составляет около 1 : 7—1 : 12, чаще всего около 1 : 10. В целях уменьшения влияния водоворотов на ход рыбы у впускных отверстий устраивают направляющие щитки (фиг. 23—5, а, план).

Лестничные рыбоходы можно устраивать при значительных напо-

рах, например, до 20—30 м и более. В этих случаях рекомендуется рыбоход выполнять участками (маршами) с подъемом 2,5—4 м, разделенными длинными «бассейнами отдыха» (фиг. 23—5,б), которые устраивают также и на всех поворотах рыбохода. Туломский рыбоход удовлетворительно работает уже более 10 лет. Новейший рыбоход этого типа на гидростанции Питглохри состоит из 33 ступеней (камер) 9,6×4,3 м, глубиной около 2 м и с перепадами 0,4 м (фиг. 23—6).

6. Сопоставление различных типов рыбоходов

Лучшими следует считать рыбоходы, в которых: 1) движущийся поток наименее возмущен водоворотными течениями, дезориентирующими рыбу; 2) количество «возмущающих» устройств (перегородок, порогов) минимально; 3) рыба получает возможность отдыха по пути; 4) обстановка возможно меньше отличается от природной, привычной для рыбы; 5) стоимость устройств минимальна; 6) расход воды возможно более мал (это условие существенно, если в гидроузле вода используется для целей гидроэнергетики).

Лотковые рыбоходы типа каналов, желобов удовлетворяют при малых уклонах первым четырем условиям, но в таком случае они чрезвычайно дороги и потери воды из верхнего бьефа в них значительны. Поэтому они применяются теперь очень редко, только для местных пресноводных рыб и при напорах сооружений 2—3 м.

Лотковые рыбоходы с неполными перегородками и повышенной шероховатостью экономичнее лотков без перегородок, но количество водоворотов в них, беспорядочность течения в шероховатых лотках велики, а возможности отдыха в последних нет совсем, в лотках же с перегородками — они очень ограничены; наконец, условия движения рыбы в этих рыбоходах также далеки от природных.

Прудковые рыбоходы целесообразны при наличии подходящих топографических и геологических условий.

Таким образом, лучшими оказываются лестничные рыбоходы, обладающие универсальностью и гибкостью и в основном удовлетворяющие всем поставленным выше условиям. Этим объясняются широкое распространение их в современной практике и вытеснение ими остальных типов. Рыбоходы эти могут выполняться из дерева (непропитанного, неокрашенного, неосмоленного), камня, бетона и железобетона, причем в лотках полезно имитировать природные условия реки, создавая гравелистое, каменистое дно и пр.

§ 139. РЫБОХОДНЫЕ ШЛЮЗЫ И РЫБОПОДЪЕМНИКИ. ПРОЧИЕ СПОСОБЫ ПРОПУСКА РЫБЫ В НАПОРНЫХ ГИДРОУЗЛАХ

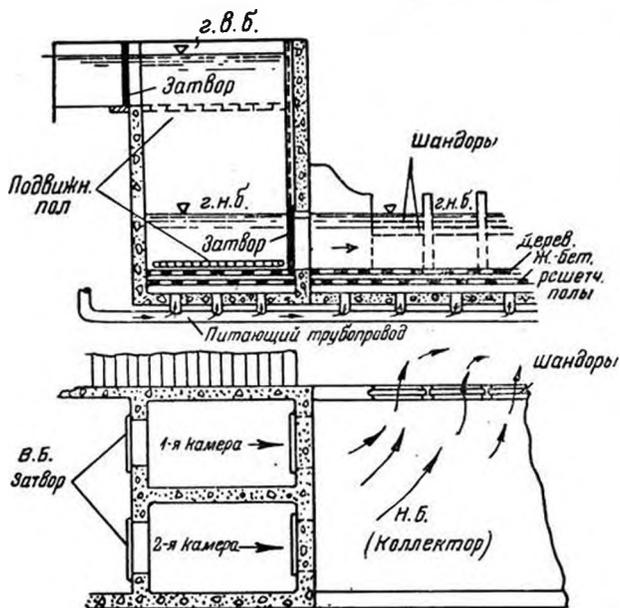
Рыбоходы даже наиболее экономичного типа представляются при значительных напорах гидроузла все же громоздкими и дорогими сооружениями, в особенности для нелососевых пород рыб, требующих пониженных скоростей в лотках. В целях удешевления пропуска рыбы через узлы вместо лестничных рыбоходов применяют иногда более дешевые устройства — рыбоходные шлюзы и рыбоподъемники.

1. Рыбоходные шлюзы

Принцип работы рыбоходных шлюзов тот же, что и судоходных (§ 133), но в силу специфичности шлюзуемого объекта имеются, конечно, конструктивные отличия.

Наиболее удачной конструкцией рыбоходного шлюза следует считать конструкцию, схематически изображенную на фиг. 23—7. В 1937 г. было построено три таких шлюза, хорошо показавших себя в работе. Все предлагавшиеся до того конструкции оказались непрактичными и рыбой не были использованы.

Шлюз имеет две параллельные камеры, причем в то время как одна из них открыта для входа рыбы, в другой происходит шлюзование



Фиг. 23—7. Схема рыбоходного шлюза

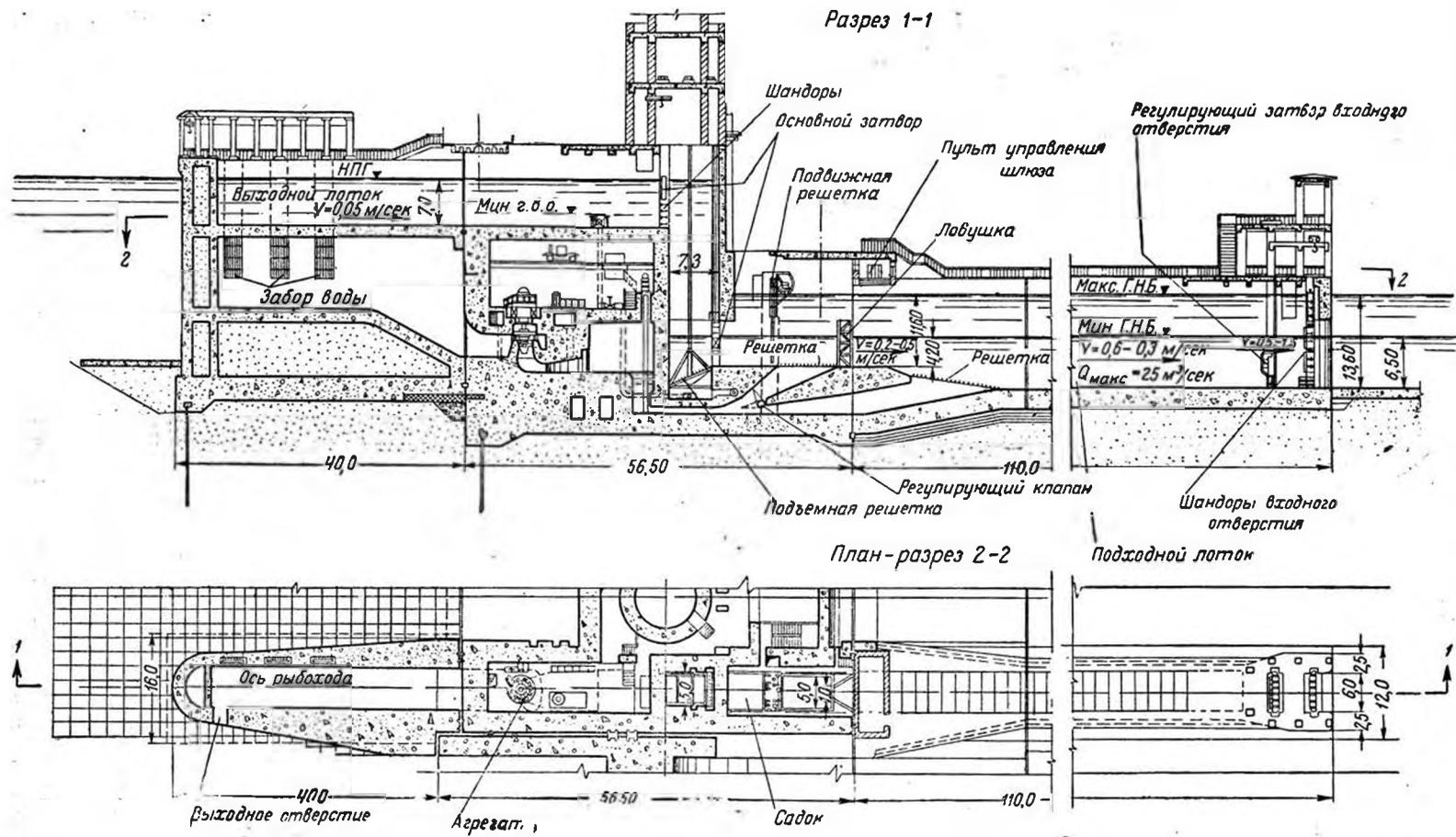
рыбной в верхний бьеф. Последний процесс происходит таким образом: затвор нижнего отверстия закрывается и камера наполняется через специальные трубы и отверстия в железобетонном полу водой из верхнего бьефа. Для побуждения зашедшей в шлюз из нижнего бьефа рыбы к подъему в камеру и выходу в верхний бьеф применяется деревянный решетчатый пол, который постепенно поднимается к порогу отверстия верхнего бьефа. По выходе рыбы в верхний бьеф затвор верхнего бьефа закрывается и камера опорожняется через особый трубопровод в нижнем бьефе. После этого начинается шлюзование рыбы через вторую камеру, а в первой происходит накопление рыбы.

Для привлечения рыбы в шлюзную камеру в подходный канал (коллектор) к шлюзу все время подается через отверстия в полу вода, которая выходит через ряд отверстий в стенке коллектора, закрываемых шандорами. Рыба может входить в коллектор на значительном фронте через эти отверстия, что обеспечивает успех действия шлюза.

Описанные рыбоходные шлюзы успешно работают под напором 10,5—18 м при размерах камер 6×9 м; средний расход воды на парный шлюз 27 м³/сек.

В 1952 г. закончен строительством рыбоходный однокамерный шлюз на крупной равнинной реке в СССР (фиг. 23—8)¹. Шлюз устроен в раздельном быке между зданием ГЭС и водосливной плотиной. Характерным для этого шлюза является: 1) устройство в подходном канале перед самым входом в шлюз «садка» со специальной ловушкой, через которую рыба в садок может войти, но не может выйти, и, более того, особой «побуждающей» подвижной решеткой направляется к входу в шлюзную камеру; 2) вода, необходимая для привлечения рыбы к входу в шлюз, предварительно проходит через турбинный агрегат, от-

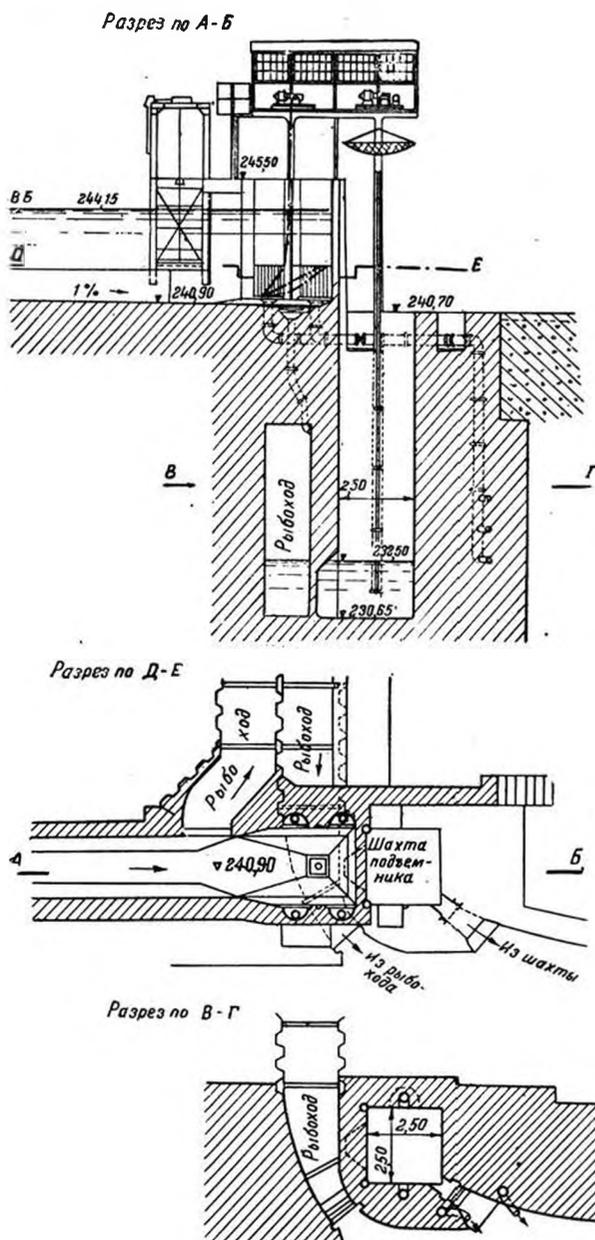
¹ Н. В. Клигерт и Д. С. Рахмилевич, Гидромеханическое оборудование рыбоподъемника, журнал «Гидротехническое строительство», № 12, 1952.



Фиг. 23—8. Рыбоходный шлюз

давая ему свою энергию (более 4000 квт), и затем направляется частью в садок, частью в подходной лоток, выходя в них через распределительные решетки (расход воды регулируется клапанами).

Процесс одного шлюзования при размерах камеры в плане 6×7,3 м и напоре до 26 м продолжается 35—40 мин.



Фиг. 23—9. Рыбоподъемник установки Кембс

2. Рыбоподъемники

Принцип работы рыбоподъемников аналогичен принципу работы судоподъемников (§ 133), по конструкции же рыбоподъемники значительно проще, так как поднимаемый ими груз меньше. Подъем рыбы может производиться в особых камерах, наполненных водой, или в сетях насухо; подъем может совершаться вертикально и по наклонной плоскости. Из различных предлагавшихся конструкций более простой и эффективной оказалась схема вертикального «сухого» рыбоподъемника — «лифта».

Здесь (фиг. 23—9) в устье плотины устроена шахта с выходом в нижний бьеф, в которую опускается металлическая сеть на квадратной раме (2,5×2,5 м). В шахту системой труб из верхнего бьефа подается вода, выходящая из шахты в нижний бьеф по подводящему каналу, что привлекает рыбу к сети. По накоплению достаточного количества рыбы в шахте (через 15 мин.) сеть поднимается краном вверх, передвигается затем горизонтально по эстакаде и опускается в лоток, соединенный с верхним бьефом, куда рыба и уходит;

затем начинается новый цикл накопления рыбы в шахте нижнего бьефа, новый подъем и т. д.

Пропускная способность описанного рыбоподъемника ограничена: за один цикл набиралось в сеть около 70 кг всякой рыбы, в целом за год рыбоподъемник пропускал в 6 раз меньше рыбы, чем рядом расположенный лестничный рыбоход с вливными отверстиями $0,4 \times 0,6$ м и бассейнами $1,9 \times 1,9$ м при перепадах 0,17 м.

3. Прочие виды подъема рыбы

Опыт показывает, что некоторое количество рыбы шлюзуется в верхний бьеф через судоходные шлюзы, если только вход в шлюз расположен вблизи потока, идущего по реке из верхнего бьефа в нижний бьеф, а не в зоне очень малых скоростей. Если последнее условие не выполнено, рыба в шлюз не заходит.

Как временная мера иногда применялась перевозка рыбы, выловленной в нижнем бьефе, в верхний бьеф для пересадки (главным образом производителей).

Через невысокие плотины (2—3 м) сильные рыбы (форель) способны подниматься просто в струе водослива.

Следует отметить еще, что для угрей, встречающихся у нас в Финском заливе, живущих обычно в пресной воде и скатывающихся в море для нереста, применяют особые угреходы, представляющие собой лотки с уклонами около 1:6, сечением 15×30 см, заполненные крупным гравием (мелкой галькой) диаметром 2—2,5 см, смачиваемым водой; применяется также заполнение фашинами и камнем. По этим лоткам молодые угри поднимаются ползком, частью вплавь; в нижний бьеф угри скатываются или через донные отверстия плотины, трубы, или через особые угреходы, имеющие две ветви: одну, поднимающуюся со дна верхнего бьефа до его уровня, и вторую, спускающуюся с этого уровня в нижний бьеф.

4. Способы спуска (ската) рыбы в нижний бьеф

Спуск рыбы, поднявшейся в верхний бьеф, а также молоди, выведшейся и выросшей в нем после нереста, может происходить разными путями:

1) через водосливы плотины; при напорах до нескольких десятков метров этот путь, видимо, безопасен (был случай сброса молоди лосося через водослив даже с высоты 70 м);

2) через обычные рыбоходы, но в обратном рыбоподъему направлении;

3) через турбины поворотного-лопастные и пропеллерные, а через турбины радиально-осевые лишь при большом диаметре и малом числе оборотов, с большим зазором между лопастями рабочего колеса и направляющего аппарата; безопасный спуск рыбы наблюдался в некоторых случаях при напорах до 30—40 м;

4) через особые рыбоспуски, конструктивно аналогичные лестничным рыбоходам, но с меньшими расходами воды и с большими перепадами между бассейнами; рыбоспуски устраиваются в практике очень редко, лишь в тех случаях, когда отсутствуют другие возможности для ската рыб.

Проход рыбы через радиально-осевые турбины малых диаметров, с большим числом оборотов и вообще через турбины высоких напоров, а также попадание ее в оросительные каналы связано с гибелью рыбы, поэтому соответствующие места следует ограждать решетками, сетями и пр. (см. ниже).

5. Сопоставление различных типов рыбопропускных устройств

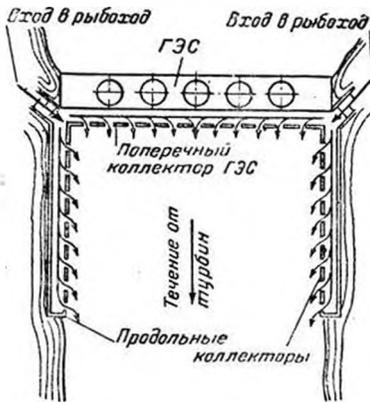
Для подъема рыбы в верхний бьеф лучшим средством является лестничный рыбоход или близкий к нему по качеству прудковый. Однако при значительных напорах (более 30 м) рыбоход становится дорогим сооружением, иногда он требует вообще значительных расходов воды. Поэтому при значительных напорах целесообразно применять рыбоходные шлюзы или рыбоподъемники; последние ценны с точки зрения экономии воды. Но проблема рыбоходных шлюзов и рыбоподъемников для значительных напоров конструктивно еще не решена, опыт применения имеется лишь для напоров 15—26 м. Опыт этот, кстати, показывает, что пропускная способность рыбоподъемников и шлюзов много меньше, чем рыбоходов.

§ 140. РАСПОЛОЖЕНИЕ РЫБОПРОПУСКНЫХ УСТРОЙСТВ В ГИДРОУЗЛАХ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ

Самый совершенный рыбоход может оказаться неэффективным, если рыба не найдет пути к нему, не сможет войти в него или же если он при известных условиях не сможет пропустить необходимый расход воды. Поэтому эффективность работы всякого рыбопропускного устройства зависит от условий устройства входа и выхода из него и места расположения его во всем комплексе сооружений гидроузла.

1. Входы в рыбопропускные устройства

Известно, что рыба движется вверх против течения, ориентируясь на направление этого течения и выбирая зону скоростей, доступных ее силам. Поэтому первым условием хорошего входа в рыбоход является наличие заметной свежей струи из него, имеющей скорость, преодоле-



Фиг. 23—10. Схема коллекторов у здания ГЭС

ваемую рыбой, и несколько большую, чем скорость речного потока в этом месте. В связи с этим приходится на выходе в нижний бьеф давать в рыбоход увеличенный расход воды, иногда значительно превышающий необходимый собственно для рыбохода расход. Так, на Питлохри дополнительный расход понадобился в $0,5 \text{ м}^3/\text{сек}$; он вводился в последнее звено рыбохода после того, как вода отдала свою энергию специальной турбине.

Далее очевидно, что рыба сможет подойти к плотинному водосбросу только до зоны, где скорости течения уже значительно погашены и не превосходят доступных для рыбы, т. е. не ближе конца водобоя или водобойного колодца, а чаще даже конца рисбермы,

так как еще на рисберме бывают значительные местные скорости и водоворотные течения. Следовательно, ниже указанной границы, в зоне до 10—20 м от нее, и необходимо располагать вход в рыбоход.

У здания гидростанции зона расположения входа в рыбоход может быть значительно ближе, что будет зависеть от величины скоростей выхода воды из всасывающих труб. При обычной величине их около $2 \text{ м}/\text{сек}$ вход в рыбоход во многих случаях может располагаться непосредственно вблизи здания ГЭС.

Возможность входа в рыбоход должна быть обеспечена при всех горизонтах воды, при которых идет массовое передвижение рыбы. Для рыб, предпочитающих двигаться у поверхности воды, должно быть устроено несколько входов в рыбоход на разных уровнях. Однако не рекомендуется располагать отверстия «на весу», высоко над дном, необходимо в таком случае устраивать направляющие к ним плоскости со дна.

В последнее время применяется устройство входных коллекторов, т. е. галерей или лотков, с большим количеством отверстий в них, ведущих к устью рыбохода (фиг. 23—10 представляет случай устройства коллекторов у здания ГЭС; см. также фиг. 23—7). Так как наличие ряда отверстий требует значительного расхода воды, превышающего расход, потребный собственно для рыбохода, то коллекторы также подпитываются дополнительной водой по трубам из верхнего бьефа или перекачиваемой из нижнего бьефа. Дополнительно подаваемая вода должна при помощи гасителей и решеток равномерно распределяться по коллектору.

Направление течения потока у входа в рыбоход тоже имеет значение, которое, правда, недостаточно еще выяснено. Во всяком случае предпочтительно такое положение входа, при котором не происходит резкого изгиба струй (фиг. 23—11,а), так как при таком изгибе (фиг. 23—11,б) затрудняется вход рыбы в рыбоход (рыбу «сносит»). Нельзя располагать вход в зоне водоворотных течений, завихрений, которые дезориентируют рыбу, а также в зоне стоянки судов и выходов сточных вод.

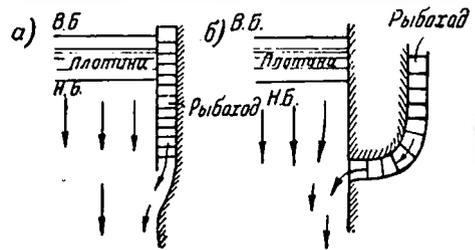
Вход в рыбоход, как и самый лоток, следует делать открытым сверху и хорошо освещенным, чтобы условия среды в рыбоходе возможно меньше отличались от условий реки.

2. Расположение рыбопропускных устройств в гидроузле

Из сказанного выше следует, что устье рыбохода или рыбоходного шлюза надо располагать у сооружений, сбрасывающих воду в период массового хода рыбы вверх по течению, и притом в зоне, где скорости становятся доступными для рыбы. Следовательно, нецелесообразно располагать рыбоходы в местах устройства глухих плотин, перекрывающих рукава, пойму, а также у берегов, к которым примыкают части глухих плотин значительной длины. При расположении рыбоходов у водосливных частей плотин устье рыбохода целесообразно располагать в береговых и отдельных устоях, если последние достаточно длинны, чтобы вход разместился в зоне доступных для рыбы скоростей. Иногда возможно использовать для рыбохода насыпь земляной сопрягающей дамбы.

При расположении рыбоходов и рыбоходных шлюзов у зданий ГЭС также целесообразно использовать для них устои и отдельные быки (фиг. 23—8), иногда же входной коллектор располагают по фронту ГЭС (фиг. 23—10).

В целях большей надежности пропуска рыбы, а также для увеличения пропускной способности в гидроузлах применяют обычно несколько рыбопропускных устройств: рыбоходов или рыбоходов и рыбоподъ-

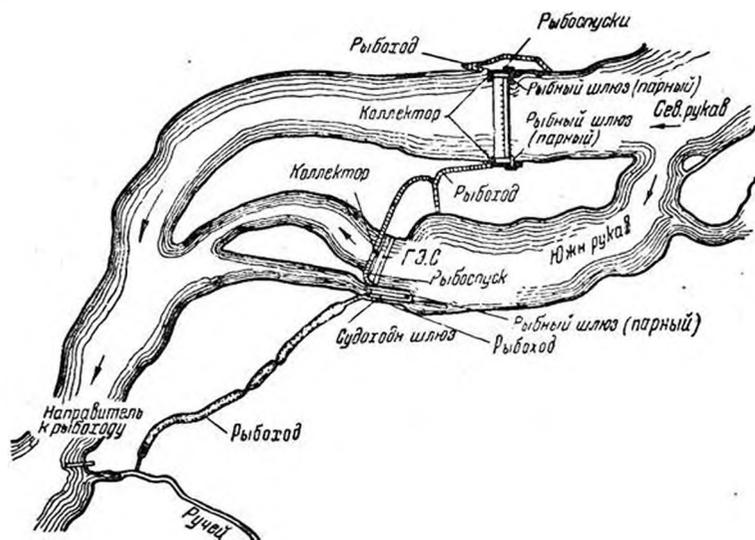


Фиг. 23—11. Схемы расположения входов в рыбоход

емников (или рыбоходных шлюзов), по возможности в разных местах гидроузла.

Так, при расположении ГЭС в деривационном канале рыбоходы устраиваются и в плотинном узле, и на деривации. Если плотина не работает в период массового хода рыбы, можно ограничиться рыбоходом только у ГЭС.

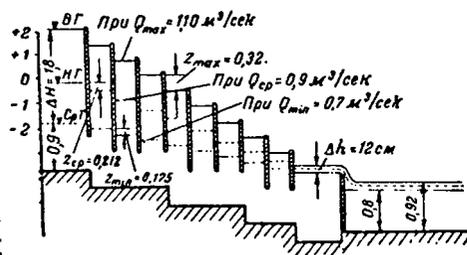
Для массового прохода рыбы на Бонневильском гидроузле (фиг. 23—12) устроено четыре лестничных рыбохода: два в северном прото-



Фиг. 23—12. План расположения рыбопропускных устройств в Бонневильском гидроузле

ке в примыканиях плотины к берегам (там же и два парных рыбоходных шлюза), третий рыбоход идет в южном рукаве у здания ГЭС и четвертый — от ручья к судоходному шлюзу; у судоходного шлюза устроен третий рыбоходный шлюз.

Для правильного размещения рыбоходов во всяком гидроузле целесообразно изучить ход течений в узле на модели и провести наблюдения над бытовыми условиями хода рыбы в реке.



Фиг. 23—13. Схема регулятора в верхней голове Туломского рыбохода

тание рыбоходов водой при любых уровнях. Это достигается устройством нескольких выходов (на разных отметках). При относительно малых колебаниях уровня верхнего бьефа (1,5—2 м) регулирование расхода воды в рыбоходе достигается специальным автоматическим

3. Условия выхода из рыбопропускных устройств в верхний бьеф

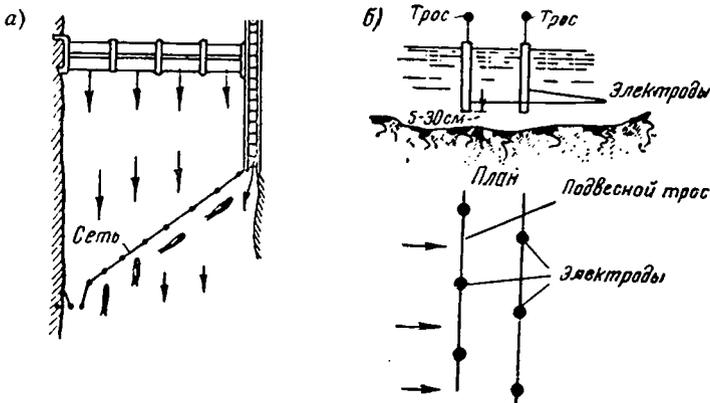
Место выхода должно быть удалено от водосливов плотины и здания ГЭС, чтобы сильное течение не могло увлечь рыбу к этим сооружениям.

В случае значительных колебаний уровня воды в верхнем бьефе необходимо обеспечить питание рыбоходов водой при любых уровнях. Это достигается устройством нескольких выходов (на разных отметках). При относительно малых колебаниях уровня верхнего бьефа (1,5—2 м) регулирование расхода воды в рыбоходе достигается специальным автоматическим

устройством в виде щитов у ряда отверстий, расположенных на разных отметках, или в виде дополнительных бассейнов в пределах колебания горизонта воды верхнего бьефа, разбивающих всю амплитуду колебаний на перепады, меньшие, чем в самом рыбоходе. Последнее устройство применено в Туломском рыбоходе (фиг. 23—13): в пределах амплитуды колебания уровня верхнего бьефа 1,8 м устроено девять перегородок с донными вплывными отверстиями с перепадами 0,17—0,21 м, перепады же на ступени рыбохода — 0,3 м.

4. Направляющие и оградительные сооружения

Для направления рыбы к входу в рыбоход рыбный шлюз или рыбоподъемник применяют специальные направляющие, а для предотвращения доступа к опасным местам — ограждающие сооружения. В конст-



Фиг. 23—14. Направляющая сеть
а—схема расположения; б—электрозаградитель

руктивном отношении эти сооружения мало различаются. К ним относятся сети и решетки. Пример расположения направляющей сети приведен на фиг. 23—14,а: сеть ставится косо по отношению к течению, причем верхней конец сети располагается у входа в рыбоход; у низового конца устраивается коническое ограждение, через которое рыба не пройдет, а скатывающаяся по течению рыба проходит через него свободно. Сеть обычно устраивается металлической из медной или оцинкованной проволоки диаметром 1,6—2 мм и подвешивается на поплавках.

В последнее время стали применять «электрические сети» или электрозаградители, состоящие из двух цепей электродов в виде труб, подвешенных на тросах, поддерживаемых поплавками (фиг. 23—17,б). Электрическое поле, создаваемое вокруг электродов, отпугивает рыбу и пройти его она не может, как и через металлическую сеть или решетку.

Для ограждения входов в турбинные камеры, в оросительные каналы и прочие ответвления из реки применяют описанные заградители, а в головах каналов иногда механические заградители в виде вращающихся сетчатых барабанов или лопастей, от которых рыбы особым каналом отводятся в реку.

Решетки для ограждения от рыбы входов в турбинные камеры в настоящее время не применяются, так как они создают потери напора и вызывают гибель рыбы, прижимаемой течением к сравнительно густой решетке.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ВОДОЗАБОРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Забор воды из рек может производиться для разных водохозяйственных целей, и забираемые расходы воды могут быть также различными. Режим водозабора во времени может быть непрерывным и с малыми изменениями расхода по времени, например, для водоснабжения, гидроэнергетики, или прерывающимся в течение года, например, в случае орошения или водного транспорта.

Забираемая вода транспортируется далее или безнапорным водоводом (канал, лоток, туннель), или напорным водоводом (трубопровод, туннель, трубчатое отверстие в плотине).

Подача воды в водовод может совершаться самотеком или с механической перекачкой в зависимости от относительного положения водовода и уровня воды в реке. При этом забор воды может происходить при бытовых уровнях воды в реке — без подпора их плотиной (бесплотинный водозабор) или из подпертого бьефа плотины (плотинный водозабор).

Всякое водозаборное устройство должно удовлетворять следующим требованиям:

1) подавать бесперебойно заданный расход воды в водовод в указанное по условиям потребления время или совсем иногда прекращать подачу;

2) не допускать в водовод наносов, донных и взвешенных, сверх установленного количества, не допускать туда же льда, шуги и различных плавающих тел.

А. БЕСПЛОТИННЫЙ ВОДОЗАБОР

§ 141. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОТКРЫТОГО ВОДОЗАБОРА ИЗ СВОБОДНЫХ РЕК

1. Условия работы водозабора

Самый простой вид водозабора из реки — это отвод нужного количества воды каналом, отходящим от реки под некоторым углом к ее оси. Однако такой простой тип водозабора имеет ряд недостатков:

1) при колебаниях уровня воды в реке в канал будут поступать различные расходы воды; для регулирования их и прекращения подачи воды из реки необходимо поэтому регулирующее сооружение с затворами, называемое собственно водозабором или водоприемником¹.

2) входная часть канала может заноситься наносами реки, в особенности донными; для борьбы с ними необходимо выбирать целесообразное место для отвода воды из реки и принимать меры к недопущению или к ограничению количества наносов, идущих в канал.

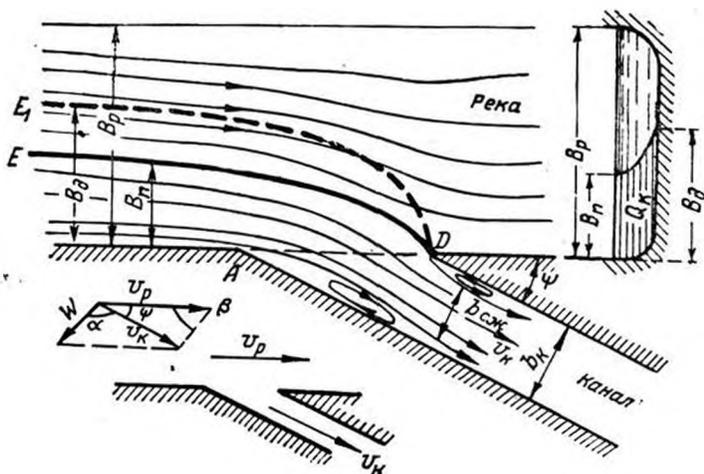
3) в канал может попадать лед; если с поверхностным льдом, как и с плавающими телами, борьба несложна, то глубинный лед (шуга, донный лед) требует более сложных мероприятий;

4) если русло реки неустойчиво, склонно к деформациям, перемещениям, блужданиям, то оно может отойти от места забора воды, и подача воды, таким образом, прекратится; поэтому необходимы меры по закреплению русла в районе водозабора.

¹ По проекту Академии наук СССР термин «водоприемник», рекомендованный ГОСТ 5815-50, исключен, однако в литературе он распространен.

2. Угол отвода потока в канал

При отборе из реки с расходом Q_p некоторого расхода воды Q_k граничные линии токов, направляющихся в канал, характеризуются для поверхностных струй линией ED (фиг. 24—1) и для донных — E_1D (пунктир на той же фигуре). Поток на ширине B_n (по поверхности) и B_d (по дну) с расходом Q_k направляется в канал, а за пределами граничных линий или линий отбора воды продолжает течь по руслу реки.



Фиг. 24—1. Схема к расчету отвода воды из реки каналом

Ширина полосы отбора определяется забираемым в канал расходом воды Q_k , а последний при заданном его уклоне J и средней скорости течения v_k определяет размеры поперечного сечения канала. При изгибе потока, идущего из реки в канал, и изменении его поперечного сечения теряется часть энергии потока, вызывающая сжатие потока и перепад уровней Δh . Величина Δh зависит от указанных выше величин и в известной мере от угла отвода воды в канал ψ (фиг. 24—1).

Экспериментальными, а также теоретическими исследованиями Д. Я. Соколова, В. М. Мажкавеева, А. Я. Миловича и др. установлено, что наивыгоднейший в отношении потерь энергии Δh угол отвода характеризуется следующим выражением:

$$\cos \psi = \epsilon \frac{v_p}{v_k}, \quad (24-1)$$

где v_p — средняя скорость течения реки в зоне отбора;

v_k — средняя скорость течения в канале;

ϵ — коэффициент сжатия потока в канале, равный $\epsilon = \frac{b_{сж}}{b_k}$ (фиг.

24—1) при одинаковых глубинах реки и канала.

Формулу (24—1) можно еще записать, вводя значения удельных расходов q_p и q_k и средних глубин h_p и h_k в зоне отбора и в канале:

$$\cos \psi = \epsilon \frac{q_p}{q_k} \cdot \frac{h_k}{h_p}. \quad (24-2)$$

Формулы (24—1) и (24—2) могут служить для примерного определения угла отвода потока ψ . Если, например, имеем стоячий водо-

ем, где $v_p = 0$ и $q_p = 0$, то $\psi = 90^\circ$; чем больше v_p и q_p по сравнению с τ_k и q_k , тем меньше должен быть угол ψ .

При входе в канал образуются две вихревые зоны — водовороты с вертикальной осью у обоих берегов канала, уменьшающих рабочие сечения канала с b_k до $b_{сж}$.

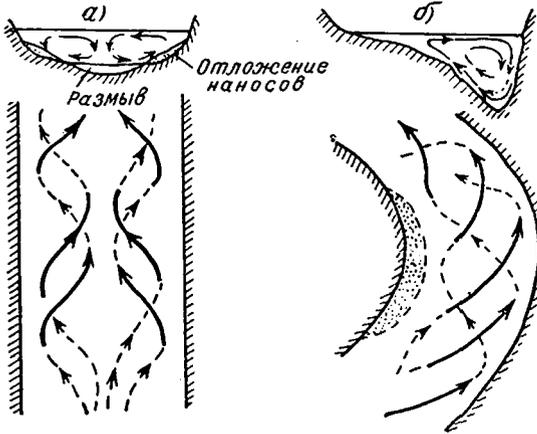
Величина вихревых зон зависит от угла отвода: чем больше угол ψ , тем больше сжатие и шире вихревые зоны, но тем они короче и общая площадь вихревых зон меньше.

На режиме наносов угол отвода сказывается сравнительно мало.

3. Поперечная циркуляция в потоке при отводе части его в канал

В связи с изгибом потока при отводе в нем возникает так называемая поперечная циркуляция струй.

Поперечная циркуляция в потоках наиболее полно изучена отечественными учеными (Н. С. Лелявским, А. Я. Миловичем, М. В. Потаповым, А. И. Лосиевским и др.). Н. С. Лелявский первый обратил на нее внимание и описал ее механизм. В работах проф. М. В. Потапова проведен глубокий анализ ее и даны методы использования этого явления для управления потоком.



Фиг. 24—2. Схема поперечных циркуляций в потоке

а—на прямом участке; б—на изгибе

приводящие частицы воды в винтовое движение, при котором эти частицы близ поверхности воды движутся под некоторым углом к середине русла (фиг. 24—2,а — сплошные линии), а у дна направлены от середины русла к берегам (пунктирные линии). В результате в середине русла дно размывается, а продукты размыва переносятся придонными струями к берегам, где значительная часть наносов выпадает. Так формируется обычное мутьеобразное сечение русла.

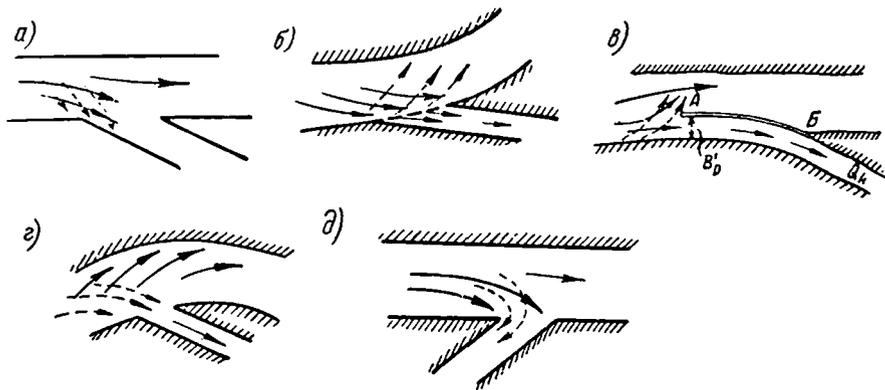
На изгибе русла и потока под воздействием центробежных сил возникает циркуляция (фиг. 24—2,б), при которой поверхностные струи отклоняются к вогнутому берегу, производя размыв его и разрушение, если грунт размываем, а донные струи, которые, поднимаясь к выпуклому берегу, теряют часть своей живой силы, относят продукты разрушения к этому берегу. Частицы воды совершают таким образом винтовые движения, а не движутся параллельно струйно.

4. Движение наносов и льда в зоне водозабора

При повороте потока из реки в канал поперечная циркуляция образуется такого же характера, как и при изгибе русла. При этом вход в канал оказывается (фиг. 24—3,а) как бы на выпуклом берегу, почему

донные наносы откладываются на входе в канал, и особенно у правого берега входа.

Уменьшение количества поступающих в канал наносов и даже прекращение поступления их может иметь место в случаях, когда в русле реки уже есть поперечная циркуляция, но противоположного знака, или же при отводе создается такая циркуляция. Первый случай имеет место при расположении отвода на вогнутом берегу реки (фиг. 24—3,б), где донные струи направлены от вогнутого берега. Второй случай можно осуществить, забирая воду из реки при помощи про-



Фиг. 24—3. Схемы поперечной циркуляции потока на входе в канал

дольной дамбы (АВ на фиг. 24—3,в), выдвинутой в реку, если расход водозабора $Q_k < Q'_p$, где Q'_p — расход воды, идущий в реку на ширине B'_p , равной ширине водозабора; вследствие неравенства $Q_k < Q'_p$ часть струй речного потока должна отклониться от берега в реку, что создает благоприятную обстановку для отклонения донных наносов от входа в канал.

Наоборот, расположение входа в канал на выпуклом берегу (фиг. 24—3,г) обрекает устье канала на быстрый и безусловный завал донными наносами; вход в канал по типу фиг. 24—3,д также интенсивно заносится.

Условия поступления в канал льда и шуги, которая движется в верхних слоях потока, противоположны условиям поступления донных наносов: в случаях б и в (фиг. 24—3) шуга и лед свободно направляются в отвод вместе с верхними слоями воды, а в случаях г и д вход в канал почти не забивается поверхностной ледяной взвесью.

§ 142. КОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРОВ ИЗ СВОБОДНЫХ РЕК

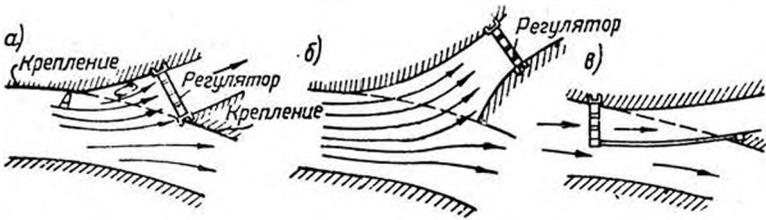
1. Открытый или поверхностный береговой водозабор

Как следует из § 141, место для отвода канала надо выбирать на вогнутом берегу реки (несколько ниже вершины кривой берега), если река влечет много донных наносов. Учитывая, что такие берега реки подвержены подмыву, следует место это укрепить от размывов одеждами (§ 183).

На входе в канал следует располагать регулирующее устройство водозабора (регулятор, водоприемник), представляющее собой водослив с низким широким порогом, оборудованный затворами (см. § 144).

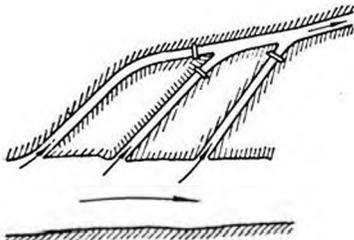
Расположение водоприемника должно быть вообще таким, чтобы фронт его был по возможности нормальным к направлениям всех

струй, подходящих к нему вообще под разными углами (фиг. 24—4,а). Чтобы избежать водоворотов, образующихся в зоне угла А и снижающих пропускную способность водоприемника, последний заглубляют в канал (фиг. 24—4,б); подход струй к нему в этом случае нормален, но



Фиг. 24—4. Схемы бесплотинного открытого водозабора

в подходе зато будут откладываться наносы, которые приходится удалять механически. В схеме фиг. 24—4,в регулятор выдвинут в реку и забор воды в него благоприятен, но все устройство удорожается необходимостью вести работы в реке за перемычками; конструкция устоя, сопрягающего регулятор с дамбой, и самой дамбы также увеличивает объем работ по сооружению. В эксплуатации неблагоприятен навал льда на такое сооружение, особенно при расположении отвода на вогнутом берегу, поэтому данная схема применяется редко.



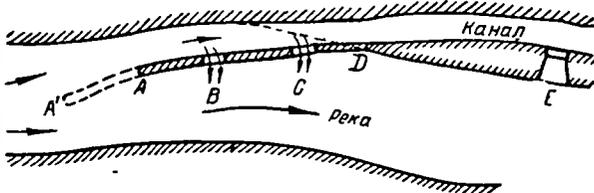
Фиг. 24—5. Схема многоголового водозабора

Описанный открытый водозабор устраивается чаще всего для целей орошения, следовательно, он зимой не работает; он применяется на реках с небольшими колебаниями горизонта воды, с относительно устойчивым руслом. В случае неустойчивого русла применяют иногда так называемый многоголовый водозабор (фиг. 24—5), смысл которого заключается в обеспечении бесперебойности поступления воды в канал в случае, если одна голова перестанет подавать воду вследствие завала наносами, обрушения берега, отхода реки от данного места и пр.

Этот водозабор представляет разновидность открытого водозабора для рек с неустойчивым руслом, в частности, горных, и при значитель-

2. Шпорный водозабор

Этот водозабор представляет разновидность открытого водозабора для рек с неустойчивым руслом, в частности, горных, и при значитель-



Фиг. 24—6. Схема шпорного водозабора

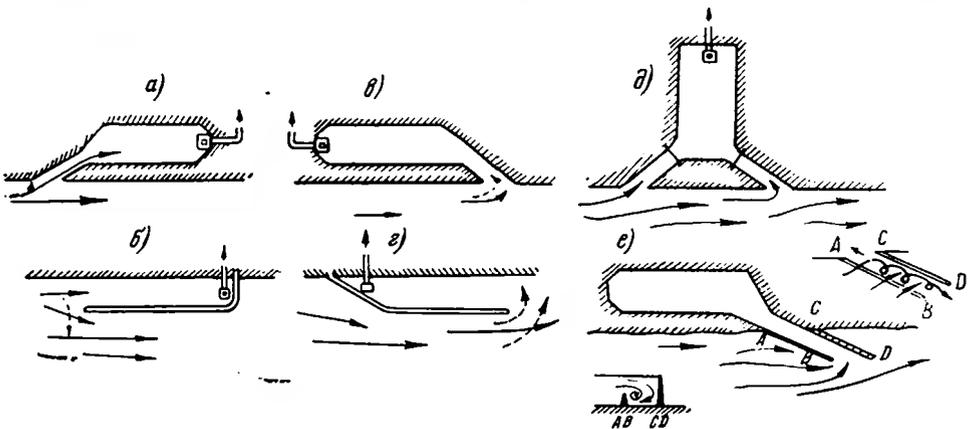
ной величине забираемого в канал расхода воды. В схему его входят (фиг. 24—6): 1) захватная дамба или шпора ABCD, выдвигаемая в речное русло, чтобы обеспечить забор нужного расхода, 2) водосливы

без затворов *B, C* для сброса излишне захваченной воды и 3) водослив *E* с затворами (на некотором расстоянии от головы) для более точного регулирования подаваемого в канал расхода. В случае деформации русла реки и уменьшения вследствие этого поступающего в канал расхода воды головная часть дамбы *AB* может наращиваться, изменять свое направление так, чтобы обеспечить забор необходимого расхода (см. *AA'*).

Конструкции захватной дамбы обычно примитивны: это хворостяно-каменное, каменно-набросное, сипайное или габионное сооружение (§ 187), возводимое без перемычек; водосливы в ней также примитивны, сбросной водослив в береге *E* делается более фундаментальным.

3. Ковшовый водозабор для целей водоснабжения

Характерным отличием этого типа водозабора, обеспечивающего подачу воды круглый год, является устройство в голове его широкого бассейна-ковша, в котором вода движется с малыми скоростями тече-



Фиг. 24—7. Схемы ковшового водозабора

а, б — с верховым питанием; в, г — с низовым питанием; д — с двумя входами; е — с затопляемой верхней и незатопляемой нижней дамбами

ния, вследствие чего взвешенные речные наносы в значительной мере оседают на дно. Дальнейший транспорт воды совершается обычно по трубам под напором, создаваемым насосной станцией.

Наибольшие трудности в работе ковшового водозабора создают завалы входа в него донными наносами и забивка льдом, главным образом шугой, движущейся в период, когда ледовый покров еще не установился на реке. Применяют три типа ковшей: 1) с верховым питанием (фиг. 24—7, а и б), 2) с низовым питанием (фиг. 24—7, в и г) и 3) комбинированный с двумя входами — верховым и низовым (фиг. 24—7, д).

Ковши с верховым питанием не заносятся донными наносами, так как циркуляция на входе создает донное течение в сторону реки, но шуга может заходить в них интенсивно, поэтому применение таких ковшей на шугоносных реках нецелесообразно. Ковши с низовым питанием лучше справляются с шугой, так как поверхностные слои воды в ковш почти не заходят, но ковши эти заносятся донными наносами и их целесообразно применять на реках с малым количеством наносов, но с тяжелыми явлениями шугохода. Наконец, комбинированные ковши (фиг. 24—

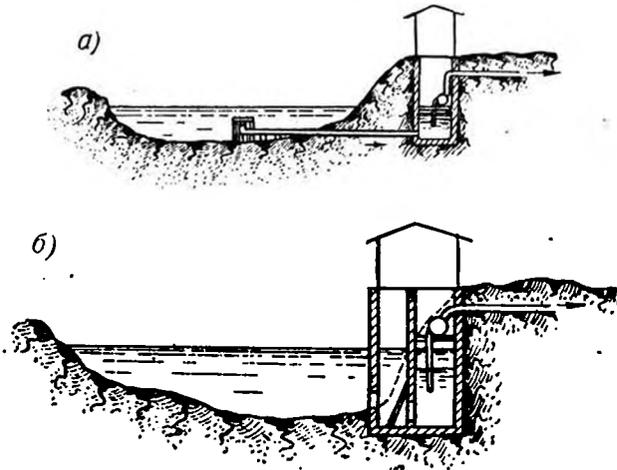
7,д) дают выход из положения для случаев, когда река и шугоносна, и влечет много наносов.

Канд. техн. наук А. С. Образовский предложил для шугоносных рек ковш особого типа — с низовым питанием, как в типе, показанном на фиг. 24—7,в, но с дамбами: верховой *AB* (фиг. 24—7,е), затопляемой в паводок, и низовой *CD* — незатопляемой. Такой ковш успешно борется с шугой, в период хода которой горизонты воды невысоки, и с наносами, обильными в паводок, когда вступает в работу система дамб.

При переливе потока через затопляемую дамбу усиливается винтовое течение во входной части ковша *ABCD*, выносящее из этой части ковша отложившиеся донные наносы.

4. Закрытый (глубинный) водозабор

Водозабор этого типа применяется главным образом в водоснабжении и иногда в ирригации — в тех случаях, когда забираемый расход воды невелик вообще или по сравнению с расходом реки, а берег имеет значительную высоту, которая потребовала бы больших земляных работ для устройства канала.

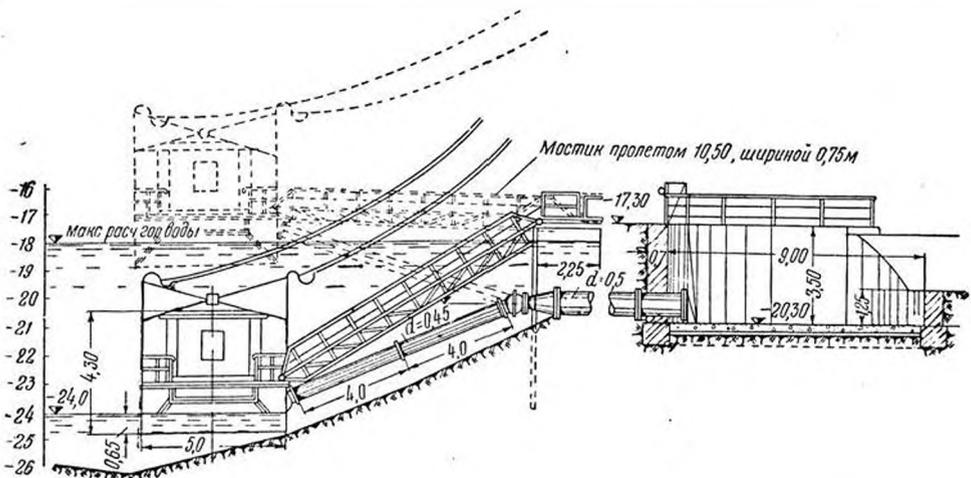


Фиг. 24—8. Схемы закрытого (глубинного) водозабора
а—трубчатого самотечного; б—берегового

Существует несколько схем глубинного водозабора. По первой из них забор воды производится по самотечным трубам или галереям, уложенным на дне реки с выходом устья их на достаточные глубины (2—2,5 м), где заборное отверстие не будет вмерзать в лед и будет расположено на достаточной высоте над дном (фиг. 24—8,а) и тем защищено от прямого попадания в него донных наносов.

По второй схеме, применяемой в тех случаях, когда достаточные глубины в реке находятся вблизи берега, забор воды совершается через глубинные отверстия (окна) берегового водоприемника (фиг. 24—8,б), представляющего собой сооружение на глубоком фундаменте, выдвинутое в реку; из этого здания вода самотеком или насосами подается в систему; иногда в береговом водоприемнике размещается и насосная станция.

По третьей схеме, применяемой в ирригации, забор воды совершается пловучей насосной станцией, которая подает воду далее в водовод и в систему потребления. Этот тип водозабора целе-



Фиг. 24—9. Пловучий насосный водозабор

сообразен при больших колебаниях горизонта воды в реке и высоких и неустойчивых берегах реки. На фиг. 24—9 показана тилговая пловучая насосная станция, применяемая на Кура-Араксинской оросительной системе производительностью $0,75 \text{ м}^3/\text{сек}$ при напоре 10 м.

5. Общие замечания

Бесплотинный водозабор является обычно самым дешевым способом отбора небольших расходов воды из реки, поэтому в водоснабжении и ирригации он применяется по преимуществу. Для энергетики, а во многих случаях и для ирригации, такой вид водозабора не всегда возможен и целесообразен вследствие: 1) затруднительности отвода требуемых расходов воды, превышающих иногда 30% паводкового или представляющих собой весь меженный расход; 2) больших объемов земляных работ в случае высоких берегов реки; 3) недостаточности «командования» реки над местностью; 4) возможности перебоев в работе водозабора на реках с неустойчивыми руслами.

Весьма важными являются мероприятия по обеспечению устойчивости русла реки в районе водозабора, выполняемые при помощи берегоукрепления, направляющих дамб и прочих регуляционных сооружений¹.

Неурегулированное русло может блуждать в районе входа в канал, образующиеся отмели могут быть смыты в канал, поэтому в подходах к водозабору русло следует закрепить.

На шугоносных реках следует иногда опасаться образования шуговых зажоров вдоль всего берега, на котором расположен водозабор, и принимать особые меры по предупреждению этого явления и обеспечению безостановочного движения шуги (расчистки русла и регуляционные работы).

¹ Вопросы, связанные с регулированием русла реки в районе водозабора, излагаются в § 183.

Б. ПЛОТИННЫЙ ВОДОЗАБОР

Водозаборные устройства в напорных гидроузлах различаются в зависимости от того, для каких целей и какого напора устраивается гидроузел. При плотинах небольшого напора устраиваются обычно открытые водозаборы, аналогичные таким же водозаборам на свободных реках. В гидроузлах среднего и большого напора, предназначенных для регулирования стока, при котором происходит сработка водохранилища, т. е. периодическое снижение в нем горизонта воды, приходится устраивать закрытый или глубинный (напорный) водозабор, входное отверстие которого постоянно затоплено и находится под напором.

Иногда глубинный водозабор можно устраивать и при плотинах небольшого напора, именно при заборе для водоснабжения, как это имеет место и в свободных реках (§ 142, п. 4).

§ 143. ОТКРЫТЫЙ (ПОВЕРХНОСТНЫЙ) ВОДОЗАБОР (ПРИ ПЛОТИНАХ НЕБОЛЬШОГО НАПОРА)

1. Общие условия забора воды

Отличие данного типа водозабора от бесплотинного заключается в том, что:

1) наличие порога плотины надежно фиксирует отметку и место водозабора против возможного смещения, повышения или понижения русла, если последнее неустойчиво;

2) уменьшаются скорости течения в реке, вследствие чего происходит оседание части донных наносов в верхнем бьефе;

3) появляется благодаря напору возможность смыва или промыва в нижний бьеф наносов, отложившихся перед входным отверстием водозабора, и этим облегчается борьба с попаданием наносов в канал;

В условиях горных рек с обильными наносами и интенсивным шугообразованием при устройстве низконапорных плотин (напором 3—8 м) возникают осложнения с водозабором. Верхний бьеф очень быстро (за несколько лет) заносится, вал наносов приближается к самому водозабору и интенсивность и характер движения наносов в реке, ее уклоны приближаются к тем, что были до устройства плотины. Шуга, образовавшаяся в верхнем течении реки, задерживается в подпертом бьефе, смерзаясь в сплошные массы, которые в случае нередко наблюдающегося по температурным условиям повторного шугохода сверху являются причиной зажоров, иногда ведущих к затоплениям и даже обходу рекой плотины. Оторвавшиеся смерзшиеся массы шуги подходят к плотине, и сброс их в нижний бьеф связан с большими потерями воды из верхнего бьефа.

2. Состав водозаборных устройств

В каждом плотинном водозаборе обычно имеются, кроме плотины, следующие элементы:

1) входной порог отвода, возвышающийся на 1—2 и до 4 м (вообще же примерно на $0,5H$, где H —напор плотины) над дном реки и служащий для защиты входа в отвод от попадания в него донных наносов;

2) быки и устои, образующие отверстия, которые перекрываются затворами, регулирующими впускаемые в отвод (канал) расходы воды;

3) забральная стенка, располагаемая под порогом и опущен-

ная на глубину от поверхности воды на 0,7—1 м, для защиты канала от попадания в него плавающих в верхних слоях воды тел (деревьев сора, льда, шуги и пр.);

4) решетки на входе в водозабор для защиты канала от внутренней взвеси (устраиваются не всегда);

5) промывные устройства для удаления от порога отложившихся донных наносов (промывные шлюзы или промывники);

6) отстойники для задержания взвешенных наносов и тех донных, которые не будут задержаны входным порогом, с приспособлениями для удаления осевших наносов;

7) шугобросы и сбросы для удаления прочей взвеси (также не всегда применяются).

3. Классификация водозаборных устройств (водоприемников)

Основное деление водозаборных устройств делается по способам борьбы с донными наносами и с зимними затруднениями (лед, шуга) или с теми и другими.

Ниже рассматриваются в основном водозаборы, имеющие устройства для борьбы с донными наносами и зимними затруднениями как наиболее сложные; остальные типы водозаборов проще и легко могут быть поняты после рассмотрения данного типа. Водозаборы с устройствами для борьбы с наносами и зимними затруднениями можно разбить на следующие группы:

а) водозаборы береговые с промывными отверстиями в берегу или в плотине;

б) водозаборы береговые или русловые с донными промывными галереями в их пороге;

в) водозаборы, в которые вода поступает через отверстие в пороге или теле плотины;

г) водозаборы с отверстиями в быках плотины.

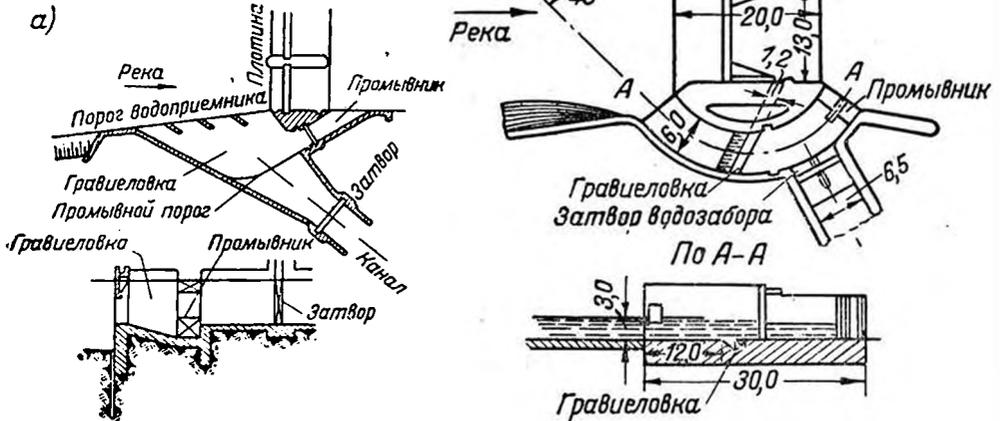
4. Водозаборы береговые с промывными устройствами в берегу или в плотине

Этот тип водозабора применяется в случае относительно небольших забираемых в канал расходов воды (чаще в ирригации) и при умеренном количестве донных наносов.

а) На фиг. 24—10,а, приведен пример водозабора с береговым промывным шлюзом (промывником), расположенным в конце аванкамеры (гравиеловки), в которой оседают донные наносы, не задержанные входным порогом. Промыв отложившихся в аванкамере наносов обеспечивается благодаря перепаду на плотине и значительным вследствие этого скоростям течения в промывном канале. Наносы же у входного порога смываются периодически при открытии затворов плотины или непрерывно в случае водосливной плотины без затворов. Взвесь удаляется также через плотину, а попавшая в аванкамеру — через промывное устройство, в котором предусматривается клапан на гребне затвора или стенки.

Недостатком данной схемы является то, что на реках с обильными наносами верхний бьеф низконапорной плотины заносится ими довольно быстро почти до гребня плотины, вследствие чего аванкамера также забивается ими так, что промывное устройство уже не справляется с ними. Достоинство схемы — в простоте конструкции плотины: она может быть простейшего типа деревянной, ряжевой, набросной и пр.

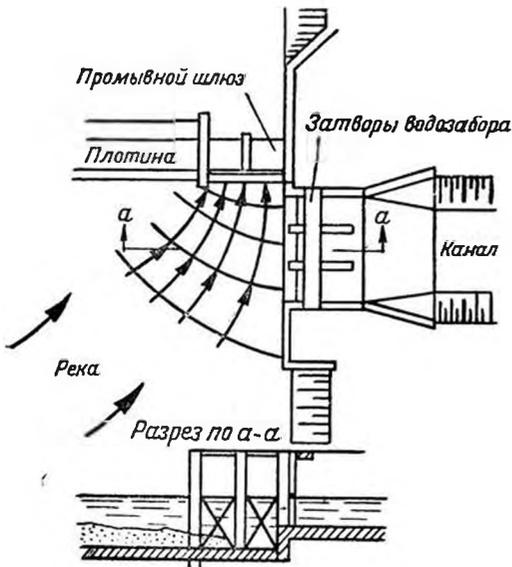
Существенное улучшение данной схемы, предложенное В. С. Баумгартом, В. М. Кравцовым и А. И. Шварцем, заключается в устройстве криволинейного подводящего канала (фиг. 24—10,б), на вогнутой стороне которого располагается вход в канал, а в конце промывник с затворами. Часть наносов, попавших в канал, отводится поперечную канаву, а остальные удаляются через промывник. Вход в канал не



Фиг. 24—10. Водозабор с промывными устройствами в берегу

заносится донными наносами, так как в криволинейном канале циркуляция потока отводит их к противоположному выпуклому берегу.

б) При устройстве в плотине глубинного промывного отверстия из схемы фиг. 24—10 выпадают специальная аванкамера (гравиеловка) и промывной канал. Схема получается проще (фиг. 24—11), конструкция плотины несколько сложнее.



Фиг. 24—11. Береговой водозабор с промывным отверстием в плотине

Недостатком этого типа водозабора с промывным отверстием или шлюзом в плотине является неудовлетворительный промыв наносов в верхнем конце длинного порога: как показывает сетка течений на фиг. 24—11, наибольшие скорости течения при промыве будут близ промывного отверстия в плотине, а вверх от него вдоль порога водозабора они быстро убывают и оказываются недостаточными для смыва наносов, которых здесь откладывается больше всего при изгибе потока, идущего в водоприемник.

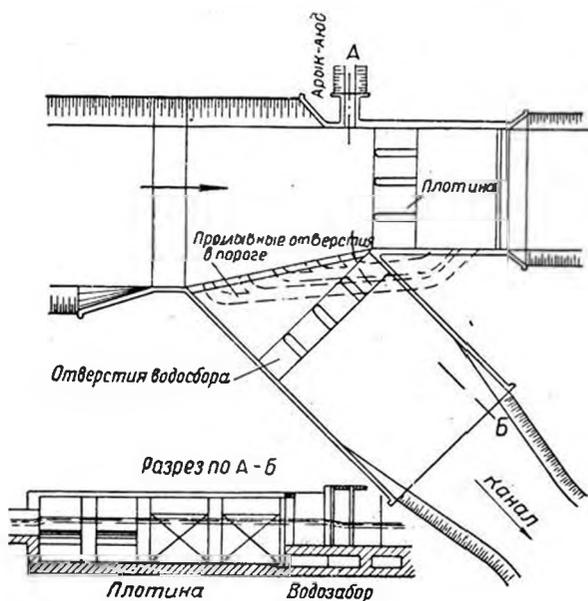
в) Улучшение условий промыва получается при устройстве в верхнем бьефе отдельной направляющей стенки (фиг. 24—12), образующей как бы коридор вдоль входного порога регулятора, называемый «карманом».

В водозаборе с карманом удаление наносов, отложившихся перед порогом регулятора, происходит более интенсивно и совершенно. Зато несколько ухудшаются условия входа воды в канал из коридора, образуемого стенкой кармана, так как отверстия регулятора будут работать очень неравномерно; кроме того, при промыве происходит сильное взмучивание воды в кармане, почему в канал попадает большое количество наносов.

5. Водозаборы береговые с донными промывными галереями

Описанные в п. 4 береговые водозаборы обладают одним основным недостатком: отбираемый из реки поток воды изгибается в сторону водоприемника и образующаяся циркуляция потока вызывает усиленное поступление наносов к отверстиям водозабора, с чем промыв вдоль порога не справляется.

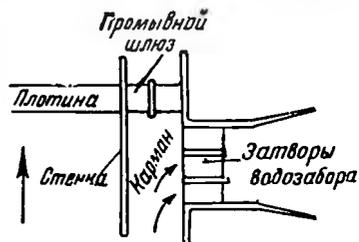
Устройство промыва в пороге через особые галереи значительно улучшает водозабор.



Фиг. 24—13. Береговой водозабор с донными промывными галереями (арык Боз-Су)

Промыв наносов может быть и периодическим, и непрерывным, если нет необходимости экономить воду. Вместо нескольких галерей в пороге может быть устроена одна общая. Водозаборы с донными промывными галереями эффективнее и экономичнее в смысле затраты воды на промыв, чем водозаборы с береговым или карманным промывом.

Однако и донные галереи работают неравномерно: наиболее эффективны верховые по течению, которые иногда при обильных наносах не



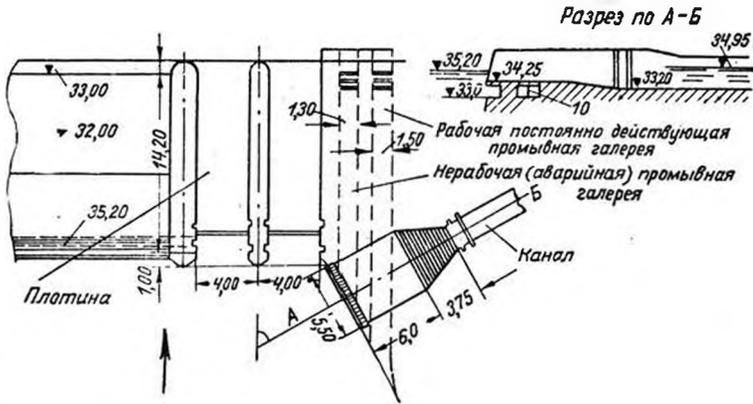
Фиг. 24—12. Береговой водозабор с «карманом»

поступление наносов к отверстию водозабора, с чем промыв вдоль порога не справляется.

а) В основном распространенном типе такого берегового водоприемника (фиг. 24—13) промывные галереи располагаются под входным порогом и промывной поток со смываемыми донными наносами направляется в нижний бьеф в обход плотины галереями, имеющими затворы по фронту порога. В этом типе водозабора подход воды к отверстиям его не стеснен стенкой кармана, промыв и удаление наносов, отложившихся у входного порога, более удовлетворительны, чем через промывные устройства в плотине.

справляются с работой, менее эффективны низовые, которые иногда отводят почти чистую воду.

б) Кандидаты техн. наук Н. Ф. Данелия и А. Ф. Биркая¹ предложили улучшение данного типа водозабора путем перехвата наносов в основной (рабочей) промывной галерее, располагаемой выше по

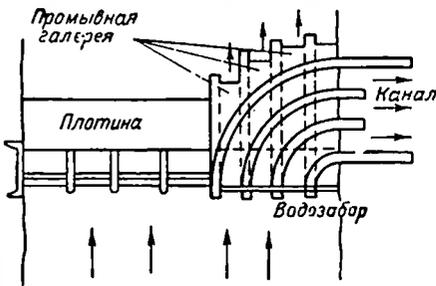


Фиг. 24—14. Береговой водозабор с промывными галереями в пороге его и выше по течению

течению входа в водозабор (фиг. 24—14). Галерея под порогом водозабора остается как дополнительная, занимающая лишь около $1/2$ длины порога и действующая лишь иногда в помощь основной, например, в случае аварии или завала ее обильными наносами.

Это предложение является целесообразным и уже осуществлено на некоторых узлах на кавказских реках.

в) Идея перехвата слоев потока, отягощенных донными наносами, непосредственно выше водозабора и отвода их в нижний бьеф реализована несколько иначе в предложении канд. с.-х. наук К. Г. Липатова²: при водозаборе из кармана вдоль фронта берегового водозабора, выше его отверстий по течению располагаются входы криволинейных сбросных каналов, по которым донные наносы перехватываются и отводятся в нижний бьеф. Вода, направляемая в отвод потребителям, проходит под этими сбросными каналами по трубам.



Фиг. 24—15. Схема фронтального водозабора с донными промывными галереями в теле плотины

6. Водозаборы в теле плотины

а) Первым представителем данного типа является водозабор, в котором входной порог расположен по фронту плотины (фронтальный или лобовой водозабор).

Поток, ответвляющийся в канал, идет туда через верхние отверстия плотины по криволинейным лоткам, донные же промывные галереи

¹ Н. Ф. Данелия и А. Ф. Биркая, Новая конструкция водозабора для горных рек с обильными донными наносами, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 5, 1950.

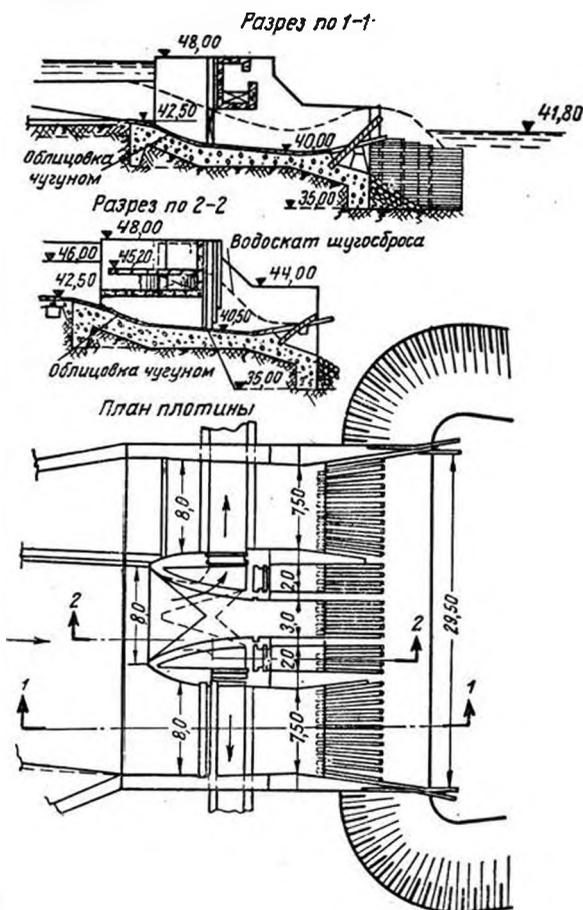
² К. Г. Липатов, Новый тип водозаборного сооружения с автоматической очисткой воды, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 1, 1950.

под входным порогом отводят наносы прямыми путями в нижний бьеф (фиг. 24—15). Преимущества этого типа водозабора состоят в том, что поток входит в отверстия водозабора по прямой без отжимов и образования мертвых зон, с минимальными потерями напора; промывные каналы при этом имеют минимальную длину и, следовательно, наибольшие скорости, что обеспечивает эффективное удаление наносов.

Недостатком этого типа является трудность полного освобождения канала от донных наносов, так как имеющиеся в потоке циркуляции иногда заносят наносы в отверстие водоприемника. Кроме того, недостатками данного типа водозабора являются сложность и дороговизна конструкции двухъярусного железобетонного сооружения, потребность в больших расходах воды для промыва наносов под регулятором и в некоторых случаях нежелательность уменьшения водосбросного фронта плотины, вызываемого устройством водозабора.

б) Улучшение лобового водозабора предложено Н. В. Лаптуревым¹ путем создания циркуляции потока перед входом, который располагается посередине плотины (фиг. 24—16) между двумя быками. В этом месте плотина делится двумя горизонтальными полами на три яруса: нижний — промывное отверстие, отводящее донные наносы, средний — глубинные отверстия водозабора, из которых вода направляется на оба берега лотками, верхний — водосливное (шугосбросное) отверстие небольшой глубины для сброса шуги и плавника.

Идея работы этого «трехъярусного» водоприемника в том, что поверхностные струи тормозятся плотиной (для них имеется небольшой выход только в шугосбросе); создающееся здесь повышенное давление при пониженном давлении в работающих донных отверстиях заставляет струи изгибаться перед фронтом водоприемника вниз, так что

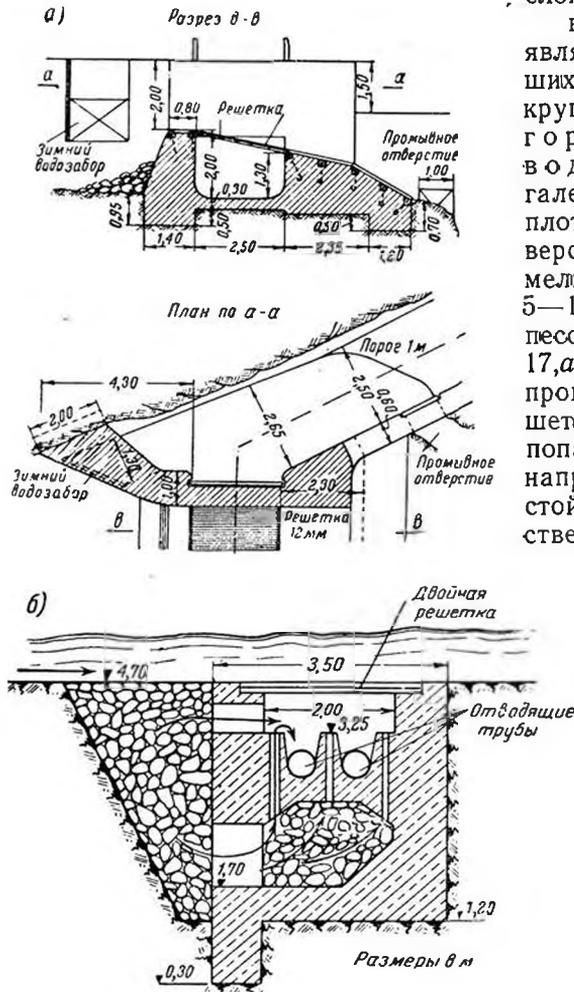


Фиг. 24—16. Водозабор по предложению Н. В. Лаптурева

¹ Н. В. Лаптурев, Новый тип водозаборного узла и результаты его лабораторной проверки, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1950.

вход в водозабор находится на вогнутой части изгибающегося потока и потому свободен от наносов, которые возникшей при изгибе циркулирующей направляются к донным отверстиям.

Лабораторные исследования этого водозабора дали хорошие результаты, однако конструктивно он представляется пока весьма сложным.



Фиг. 24—17. Галерейный горный водозабор

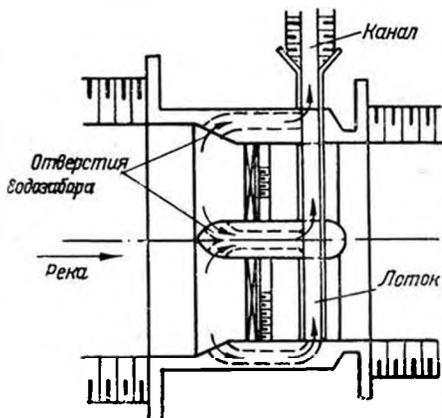
а—тирольского типа; б—кавказский

в) Совершенно своеобразным является водозабор на небольших горных реках, влекущих крупные галечные наносы. В этом горном, или галерейном, водозаборе вода забирается галереей, выполненной в теле плотины вдоль ее оси, через отверстие в пороге, перекрытое мелкой решеткой с просветами 5—10 мм, пропускающей лишь песок и мелкий гравий (фиг. 24—17,а). Крупные наносы свободно проносятся над плотиной по решетке, песчаные же фракции попадают в галерею, из которой направляются в специальный отстойник на берегу или непосредственно промываются током воды в нижний бьеф. Некоторыми недостатками этого типа водозабора, называемого иногда тирольским, являются ограниченная пропускная способность, частичная забивка решетки галькой и затруднительность удаления песка из галерей.

На Кавказе осуществлен оригинальный тип такого водозабора (фиг. 24—17,б), в котором галерея в поперечном ее сечении разделена на две части: верхнюю — обычную для галерейного типа водозабора, и нижнюю — заполненную крупным камнем и сообщающуюся с верхней вертикальными трубами. Перед плотиной делается отсыпь из камня, через которую происходит питание водой как верхней, так и нижней галерей, причем вода фильтруется каменной отсыпью и освобождается от значительной части наносов. Решетка галереи двойная, причем верхняя, подвижная ее часть позволяет полностью закрыть вход в галерею для поверхностных вод в период паводка, когда водоприем переводится полностью на фильтрационную воду. Применение затворов на плотине позволяет повысить захватную способность водоприемника зимой, когда переливающийся слой воды вообще невелик, а количество наносов невелико.

7. Водозабор в быках плотины (бычковый)

В целях экономии материалов при небольших расходах воды (до 25—30 м³/сек), отводимых в канал, забор воды может быть организован в теле быков и устоев плотины. По предложению проф. В. Г. Айвазяна, входные поверхностные отверстия (фиг. 24—18) устраиваются в оголовках быков и устоев, откуда вода попадает в сборный железобетонный лоток и из него в канал. Вода забирается из верхних слоев, т. е. она относительно чистая, донные же наносы направляются в отверстия плотины. Недостатком этого водозабора является ограниченность отбираемых расходов воды, возможность обмерзания решеток водоприемника зимой и возможность частичного попадания донных наносов в отвод (канал) в результате циркуляции потока.

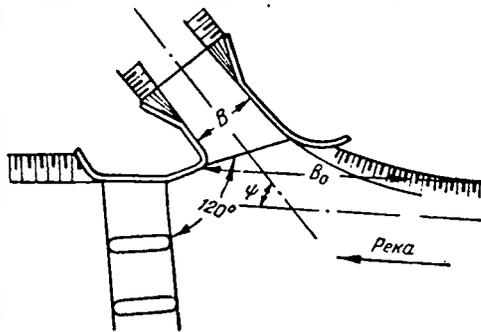


Фиг. 24—18. Бычковый водозабор (предложение В. Г. Айвазяна)

Другое предложение (канд. техн. наук И. Я. Андрейчука)¹ устраняет часть недостатков описанного выше типа водозабора, так как в нем водоприемные отверстия заглублены на 0,7—1,5 м от уровня верхнего бьефа, что изменяет циркуляцию потока в лучшую сторону (как, например, и в водозаборе по предложению Н. В. Лаптурева).

8. Расположение водозаборного фронта в реке

В целях уменьшения количества донных наносов, влекомых к порогу водозабора, следует последний располагать так, чтобы образовать в потоке выгодную для этой цели поперечную циркуляцию, т. е. порог располагать на вогнутой стороне подхода потока к водосбросу. Подход должен быть плавным, чтобы избежать водоворотных зон. В данном случае можно использовать соображения, которые приведены были в § 141 для бесплотинного водозабора², и назначать угол отвода ψ , исходя из формулы (24—1). Плавность подхода обеспечивается, если ширина подхода B_0 (фиг. 24—19) находится в определенном отношении к ширине входа B и указанному выше углу отвода ψ .



Фиг. 24—19. Схема расположения водозабора по отношению к оси потока и плотине

Это отношение ТУиН [28] рекомендуют брать из таблицы 24—1. В ней v_k — скорость течения воды в водозаборе, принимаемая около 1,5—2,5 м/сек. При направлении поро-

¹ И. Я. Андрейчук, Новый тип водоприемника для горных рек, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 3, 1951.

² Это можно делать, так как при малонапорных плотинах верхний бьеф заносится наносами быстро, и к этому бьефу применимы соображения об условиях отвода, данные для бесплотинных водозаборов.

га водозабора по касательной к оси потока угол ψ берется около 15° — 30° , а v_k близко к v_p , тогда ось водозабора образует с осью плотины угол около 120° .

Таблица 24—1

| | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| $\frac{v_p}{v_k}$ | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| ψ° | 84 | 72,5 | 66,5 | 60 | 45,5 |
| $\frac{B}{B_0}$ | 0,57 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,29 |

Во всяком случае следует проверить запроектированное положение водозабора на модели в лаборатории, чтобы учесть реальные условия потока.

В целях обеспечения устойчивости русла в подходе к водозаборному узлу оно должно быть обязательно зарегулировано при помощи выправительных сооружений (см. гл. 31). Это особенно важно в случае «блуждающих» рек.

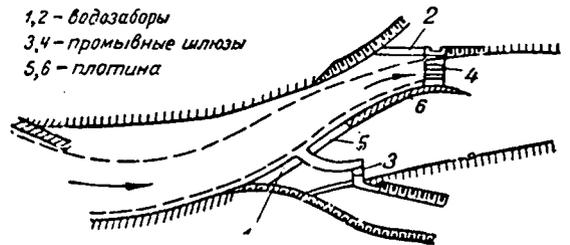
При более высоких плотинах и медленном поэтому заилении верхнего бьефа, а также на реках устойчивых с малым количеством наносов борьба с ними облегчается и значение расположения водозаборного фронта снижается.

9. Двусторонний водозабор

При проведении орошения земель приходится иногда делать отводы каналами по обоим берегам реки. В таком случае осуществляют двусторонний водозабор при одном подпорном сооружении. Это обычно осуществляется одним водозабором, береговым или в плотине, с передачей в первом случае расхода воды на противоположный берег при помощи дюкера (трубопровода) или моста-водовода (см. гл. 29), а во втором случае разводкой воды в теле плотины (см., например, фиг. 24—16 или 24—18).

Иногда вопрос решается устройством двух береговых водозаборов по концам плотины, например, с «карманным» промывом и др., но это решение обычно неудовлетворительно, так как трудно провести регулирование потока, благоприятное для обоих водозаборов. Несколько более удовлетворительно решается задача устройством двух фронтальных водозаборов (фиг. 24—15).

Наиболее удачное решение может быть получено по схеме, изображенной на фиг. 24—20, когда водозаборы на двух берегах смещены один относительно другого так, что можно осуществить одинаковые условия подхода речного потока к каждому из них.



Фиг. 24—20. Схема двустороннего водозабора береговыми водоприемниками

1 и 2—право- и левобережный водозаборы; 3 и 4—соответствующие промывники; 5—водослив; 6—струенаправляющая дамба

10. Мероприятия по борьбе с зимними затруднениями и плавником

Если в верхнем бьефе образуется ледяной покров, то водозаборное сооружение может подвергаться статическому давлению льда (зимой) и динамическому воздействию ледохода (осенью и весной). Борьба с этим ведется путем устройства забральных балок по фронту водозабора, опущенных на глубину, предотвращающую попадание льда в канал, околкой льда вдоль балки и вообще стен сооружения и другими способами.

Если ледяной покров в верхнем бьефе не образуется (при больших скоростях течения или при небольших отрицательных температурах), то главным затруднением в работе водозабора будет движение шуги. Различают два метода преодоления шуговых затруднений: 1) недопущение шуги в водозабор и канал и 2) пропуск шуги по каналу с тем, чтобы сбросить ее в конце последнего. Выбор метода зависит от схемы использования воды канала — для энергетики, водоснабжения или других целей и решается в указанной схеме.

Чаще применяется первый метод — недопущение шуги в канал. Этому иногда помогает естественное аккумуляирование шуги в верхнем бьефе с последующим сбросом ее через отверстия плотины. Последнее возможно, если имеются излишки воды в бьефе для пропуска шуги (необходимо создание скоростей более 1 м/сек). Шуга может сбрасываться и через специальные шуго сбросы.

Если не удается сбрасывать шугу в нижний бьеф, то иногда сбрасывают ее через водозабор и отстойник, если последний имеется в узле.

Компоновка водозабора в случае допущения сброса шуги в него требует малого угла отвода из реки и отсутствия забральных балок, а при недопущении сброса, наоборот, — большего угла отвода. Плавник, под которым разумеют плавающие тела (деревья, карчи, крупный мусор и пр.), не допускается в водозабор, почему его компоновка должна быть аналогичной случаю недопущения в него шуги. Кроме забральных балок, применяют для отвода сора пловучие запаны, а на пороге водозабора — решетки.

11. Развитие методов водозабора в СССР

Вопросы водозабора из рек, несущих большое количество наносов, получили в СССР большое развитие. Этому содействовало глубокое изучение структуры речных потоков и циркуляций течений, нашедшие отражение в трудах отечественных ученых Н. С. Лелявского, Н. Е. Жуковского, А. Я. Миловича, М. В. Потапова, Д. Я. Соколова, И. И. Леви, Е. А. Замарина и многих других.

Использование законов, управляющих структурой потоков, в целях эффективного удаления донных наносов является характерной и важнейшей чертой советских решений водозабора.

Помимо описанных выше, в пп. 4—7 и 9, главнейших типов водозаборов, имеется еще ряд других, улучшающих отдельные стороны работы основных типов этих устройств.

§ 144. КОНСТРУКЦИИ ОТКРЫТОГО (ПОВЕРХНОСТНОГО) ВОДОЗАБОРА

1. Входной порог водозабора

Помимо выполнения обычных функций флютбета плотины, входной порог должен защищать отверстие регулятора от завала наносами, а

в некоторых типах водозаборов, например, с донными промывными галереями, обеспечивать и промыв наносов.

При бесплотинном водозаборе высота порога делается 0,5—0,8 м, если русло устойчиво и наносов мало, 1—2 м — при галечных наносах, 2 м и более — при песчаных наносах и больших глубинах.

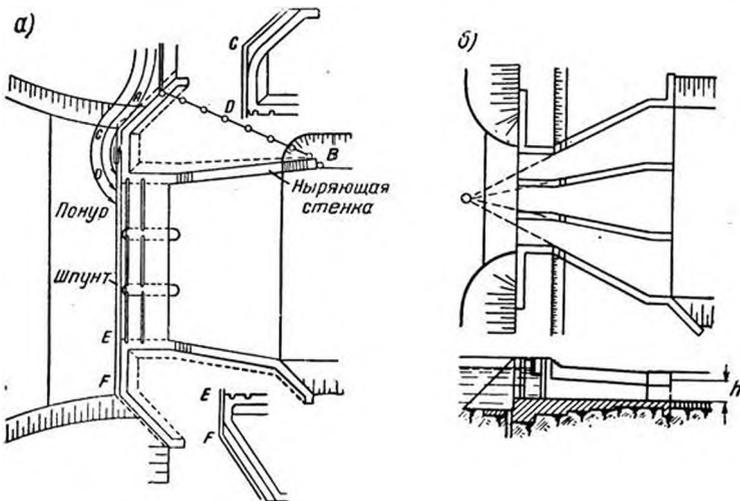
При плотинном водозаборе высота порога делается от $0,5H$ до $1H$, где H — напор плотины, причем меньшие величины берутся, если плотина имеет затворы и низкий порог или близ водозабора расположено промывное отверстие плотины, а также в случаях, когда требуется большая гибкость в работе водозабора. При устройстве донных промывных галерей в пороге высота последнего зависит от размеров галерей; обычно высота их не менее 0,5—0,7 м для возможности осмотра их. Вообще сама по себе высота порога мало влияет на попадание на него наносов, большее значение имеет глубина воды на пороге и расположение порога в зоне промыва.

2. Отверстия водозабора

Расчетным расходом отверстий водозабора является максимальный пропускаемый в канал расход воды Q_k .

Площадь отверстий берется в зависимости от принятой скорости входа воды — обычно 1—2,5 м/сек, что зависит от обилия и размеров наносов, допускаемых в канал. В энергетических водозаборах скорость эта может ограничиваться экономической нецелесообразностью излишних потерь энергии в системе гидроэлектростанции в случае принятия повышенной скорости.

Отверстия водозабора устраивают обычно сравнительно небольших размеров (5—10 м и менее при ручном управлении), чтобы облег-



Фиг. 24—21. Схема входных устройств водозабора

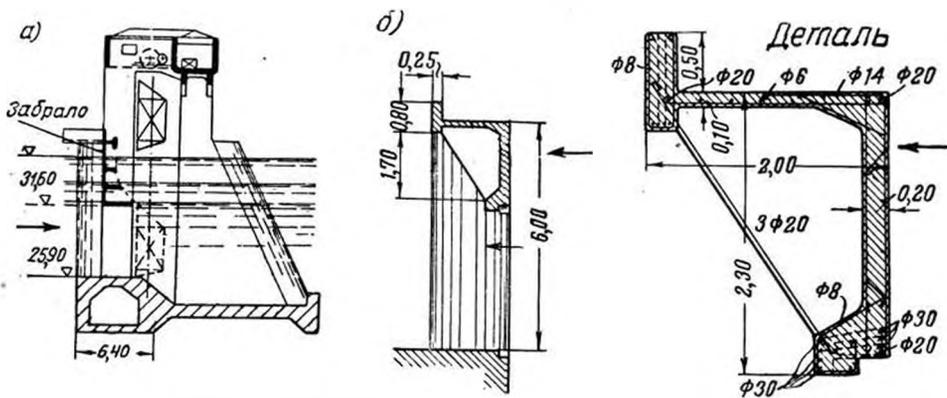
чить управление затворами. Быки при этом имеют часто полуциркульное очертание оголовков и толщину 1—1,5 м, если они бетонные, и 0,5—0,8 м, если они железобетонные. Желательно применение в этих случаях сегментных затворов, которые могут обходиться без пазов в быках, но довольно часто применяются и плоские затворы.

Устои водозаборных отверстий несколько отличаются от устоев

плотин своей формой: низовой по течению реки устоя водозабора обычно составляет одно целое с устоем плотины, и потому форма его более сложна. Сопряжение с каналом, который чаще всего шире, чем отверстие водозабора, делается расходящимися ныряющими стенками (фиг. 24—21) или косыми плоскостями. Если угол раствора стен устоя превышает 10° — 12° и возможен отрыв струй в регуляторе от стен устоя, полезно бывает удлинить быки в виде невысоких стенок (0,8—1,0 глубины воды), так же расходящихся — в целях более равномерного распределения струй потока при входе в широкий канал (фиг. 24—21,б).

3. Забральная балка и решетка

Высота забральной балки (или стенки) делается такой, чтобы перекрыть те уровни верхнего бьефа, при которых нельзя допускать «подныривания» плавающих тел под забрало; обычно последнее долж-



Фиг. 24—22. Конструкции забральных балок

но быть опущено на 0,5—1 м ниже низкого горизонта ледохода. При такой конструкции забрала уменьшается и высота затворов. В случае легкого ледохода забрала могут устраиваться пловучими.

Конструктивно забральная балка делается чаще всего железобетонной, ребристой, причем располагается на быках (фиг. 24—22,а), а если забрало делается впереди регулятора, то на специальных опорах (фиг. 24—22,б). Нижней кромке забрала следует давать округленную форму.

Пловучие забрала представляют собой деревянные плотки или ряжи, соединенные между собой шарнирно или на цепях. Пловучая запань выносится иногда в сторону от решетки в зону малых скоростей верхнего бьефа, и задерживаемая ею взвесь баграми подводится к сбросному отверстию.

Забральная балка служит опорой для решетки, если таковая необходима для защиты от попадания в канал мусора, плавающих деревьев и пр. Обычно у водозабора устраивается так называемая грубая решетка, выполняемая из рельсов, уголков, стальных полос, труб и т. п. с просветом между ними 0,12—0,3 м. Она ставится обычно с наклоном к горизонту под углом 70° — 80° для удобства ее чистки. Поддерживающие решетку промежуточные балки могут быть стальными, железобетонными; в небольших сооружениях решетка может быть устроена деревянной.

Очистка решеток производится механически специальными сороочистительными машинами, лишь на малых сооружениях это делается вручную. Иногда в забральной балке устраивается жолоб, по которому спускают в водосбросное отверстие мусор, убираемый с решетки.

4. Промывные устройства

В состав этих устройств входят промывные каналы или галереи, или донные отверстия и их затворы. Размеры промывных каналов и галерей определяются, исходя из промывного расхода и промывной скорости, которые нужно создать для удаления отложившихся наносов.

а) Расчет промыва довольно груб и условен, так как явление движения наносов и, в особенности, вопрос о наносовлекущей способности потока (расходе наносов) очень сложен и не поддается пока вполне надежному математическому анализу.

Если обозначить через Q_p , Q_n и $Q_{н.п}$ расходы воды соответственно в реке, водозаборе и через промывные галереи, а через $Q_{н.р}$ — весовой расход донных наносов (в кг/сек) в реке, то расход наносов, который необходимо пропустить через промывные галереи, можно определить по формуле:

$$Q_{н.п} = \frac{Q_{н.р}}{Q_p} (Q_v + Q_n). \quad (24-3)$$

Наносопропускную способность 1 м ширины галереи q_n можно определить по формуле влечения данных наносов:

$$q_n = 5 \left[\left(\frac{u}{gd} \right)^2 - 3 \frac{u}{Vgd} \right] ud \text{ кг/сек м}, \quad (24-4)$$

где u — средняя скорость течения воды в галерее в м/сек, равная $u = \varphi V \sqrt{2gZ_0}$ для напорных галерей, где φ — коэффициент скорости;

Z_0 — напор в галерее с учетом скорости подхода;

d — средний расчетный диаметр наносов в м;

g — укорение силы тяжести.

Зная q_n , можно определить пропускаемый галереями расход наносов:

$$Q_{н.п} = Bq_n, \quad (24-5)$$

где B — суммарная ширина галерей.

При высоте сечения галерей h расход воды на промыв

$$Q_p = \mu Bh \sqrt{2gZ_0}, \quad (24-6)$$

где μ — коэффициент расхода.

Пользуясь этими формулами, можно определить промывной расход $Q_{н.п}$, достаточный для продвижения наносов.

Необходимо, однако, учесть, что скорость u должна быть достаточной для сдвига наносов расчетного диаметра:

$$u \geq 3 \sqrt{gd_{расч}}. \quad (24-7)$$

За $d_{расч}$ принимают обычно d_{60} или d_{70} (диаметр частицы, меньше которой в составе наносов содержится 60 или 70%).

Размеры сечения отдельных галерей b и h должны приниматься не менее двойного диаметра наиболее крупных камней, которые могут попасть в галерею.

При расчете безнапорных промывных каналов необходимый уклон J по заданной из (24—7) скорости u определяется формулой:

$$J = \frac{\lambda_R}{R} \cdot \frac{u^2}{2g} = \frac{\lambda_R}{R} \cdot \frac{Q_{\Pi}^2}{2gB^2h^2}, \quad (24-8)$$

где

$$\lambda_R = 0,002 + \frac{1}{8 \left(2 \ln \frac{2R}{d} + 1,74 \right)^2}. \quad (24-9)$$

Здесь R — гидравлический радиус канала.

Донные промывные галереи во входном пороге делаются обычно из железобетона или армированного бетона, форма их прямоугольная, в плане они должны быть по возможности прямолинейными, с плавными закруглениями; дно и стенки (на высоту не менее 0,5 м) желательна облицовывать трудно истираемыми материалами.

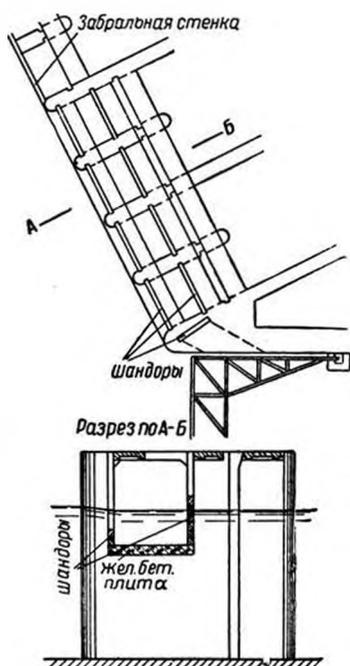
Карманы осуществляются устройством продольных стенок параллельно порогу водозабора; стенки делают из бетона, железобетона, реже — из каменной кладки. Ширину кармана и длину его определяют постепенным подбором, исходя из условий хорошего промыва наносов (желательна малая ширина), удобного подхода потока к регулятору (желательна большая ширина) и допустимого стеснения русла при сбросе паводка плотиной.

б) Для увеличения скоростей потока перед плотиной в период промыва допускают иногда временное снижение подпорного горизонта воды, если по условиям эксплуатации канала это возможно.

Необходимо также учесть, что вымытые из верхнего бьефа наносы обычно оседают вблизи плотины в нижнем бьефе, так как транспортирующая (наносы) способность реки после отъема известного расхода в канал снижается. Эти накопления наносов могут вызвать повышение горизонта воды в нижнем бьефе плотины и со временем ухудшить промыв, почему следует с ними бороться путем регуляционных работ (гл. 31).

5. Удаление шуги

Сброс шуги из верхнего бьефа может производиться или через отверстия плотины, что связано с большими потерями воды, но неизбежно иногда в аварийных случаях, т. е. при значительных шугонакоплениях в верхнем бьефе, или через откидные клапаны специальных затворов, ближайших к водозабору, снабженному забралом, или через специальные отверстия в промывных шлюзах (промывниках). Однако перед забралами нередко образуются шуговые зажоры, поэтому в



Фиг. 24—23. Схема шуго сброса

последнее время переходят к устройству специальных шугосбросов по фронту водозабора или отстойника.

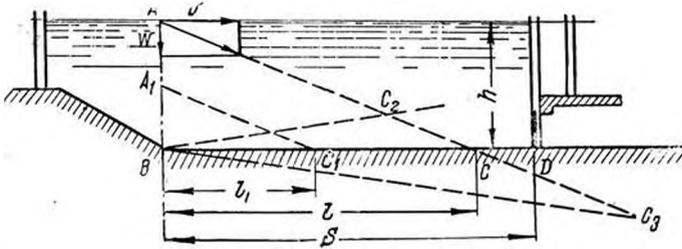
Такой шугосброс может представить собой, например, лоток (фиг. 24—23), прорезающий быки водозабора, имеющий дно железобетонное и стенки из шандоров, которые разбираются в летний период (или иногда оставляются, образуя сбросной лоток для разной взвеси). Шуга по лотку сбрасывается в нижний бьеф.

Имеется ряд примеров успешного использования камер отстойников для накопления шуги в них и сброса затем через отверстия в конце камеры (обычно используется одна камера).

При многократном и интенсивном шугоходе необходимо следить за тем, чтобы в нижнем бьефе, в местах сброса шуги, не образовались шуговые зажоры, и принимать меры для их разрушения.

6. Отстойники¹

Специальные отстойные бассейны предназначаются для осаждения в них наносов определенной крупности, например, для гидроэнергетических установок — наносов крупнее 0,25—0,50 мм, для ирригации — наносов крупнее 0,01—0,05 мм. Это



Фиг. 24—24. Схема отстоя (выпадения) наносов в отстойнике

достигается пропуском воды непосредственно из водозабора или из канала в отстойную камеру большого живого сечения, в которой скорости малы, а длина такова, что фракции наносов крупнее расчетных успевают осесть в нем.

в) В отстойной камере постоянной ширины и глубины h частицы наносов, движущиеся со средней скоростью v , будут осаждаться с некоторой скоростью w (фиг. 24—24) и фактически будут двигаться по траектории AC_2C или A_1C_1 , пока не встретят дно отстойника BCD . При наклонном дне (с обратным уклоном) частицы выпадут на более коротком расстоянии BC_2 от входа в отстойник, при прямом наклоне дна — на более длинном BC_3 . Фактически в последних двух случаях горизонтальная скорость будет переменной вследствие переменности глубины h , поэтому траектория AC_2 будет вогнутой книзу, а AC_3 — вогнутой кверху, и в первом случае частица наноса A упадет дальше точки C_2 , а во втором — ближе C_3 .

В основном случае расстояние l , на котором выпадает частица из верхнего слоя, в предположении равномерного распределения скорости v по вертикали, будет равно

$$l = h \frac{v}{w}, \quad (24-10)$$

а длина отстойной камеры s должна быть больше l .

Величина скорости поступательного движения воды в отстойнике v задается обычно в пределах 0,2—0,4 м/сек. Величина скорости падения частиц наносов w в отстойнике принимается равной скорости падения частиц в стоячей воде, иначе называемой гидравлической крупностью частиц. Последнюю можно принять

¹ Вопрос об отстойниках, этих важных устройствах, излагается весьма кратко, так как более детально они рассматриваются в специальных курсах использования водной энергии или ирригации. Подробное изложение можно найти в книге проф. Д. Я. Соколова «Отстойные бассейны для ирригации и гидростанций», Стройиздат, 1945, а также в «Технических условиях и нормах проектирования гидротехнических сооружений. Отстойники гидроэлектростанций», Энергоиздат, 1949.

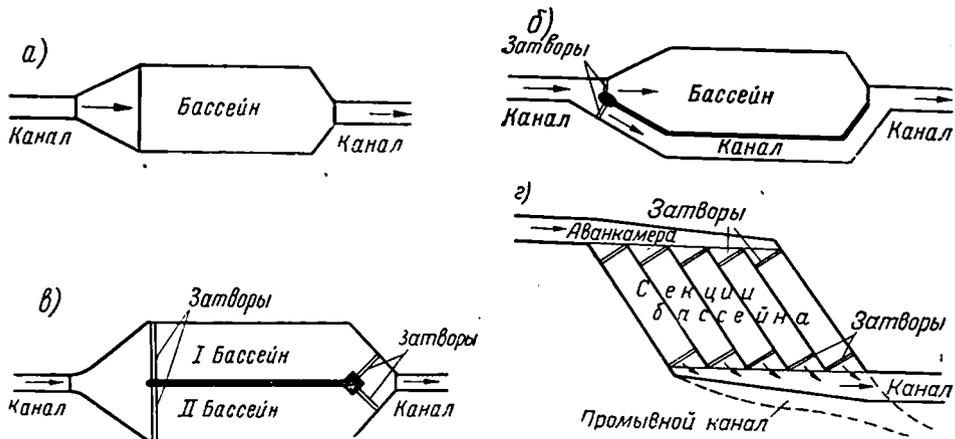
равной (при температуре воды 10°) для частиц диаметром 1 мм—10,6 см/сек, 0,5 мм—5,3 см/сек, 0,2 мм—1,5 см/сек, 0,05 мм—0,12 см/сек и 0,01 мм—0,005 см/сек.

Однако вследствие турбулентности потока в отстойнике частицы наносов будут вовлечены в турбулентное движение и падение их будет замедляться. Среднее уменьшение скорости падения различные авторы считают различно—от 0,2 v до 0,04 v . При этом формула (24—10) преобразуется:

$$l = h \frac{v}{w - \alpha v}, \quad (24-11)$$

где $\alpha = 0,04 \div 0,20$.

Этот расчет должен считаться приближенным. В настоящее время советскими учеными (М. А. Великановым, А. П. Зегжда, И. И. Леви, Д. Я. Соколовым и др.) разработан новый способ расчета отстойников на обеспеченность осаждения частиц заданной крупности, учитывающий гранулометрический состав наносов.



Фиг. 24—25. Схемы отстойников

б) По конструкции отстойники бывают однокамерные, присоединенные к каналу последовательно (фиг. 24—25,а) или параллельно (фиг. 24—25,б), двухкамерные (фиг. 24—25,в) и многокамерные (фиг. 24—25,г); способ присоединения к каналу и число камер влияют на условия очистки отстойника от наносов. При очистке, совершаемой промывом наносов в реку, канал по первой схеме а должен прекращать работу на время промыва; по второй б будет работать, но без отстоя наносов; в двухкамерном отстойнике в при промыве одной камеры будет работать вторая, а в многокамерном г одновременно работают $(n-1)$ камер, а одна промывается.

Выбор типа отстойника делается в зависимости от режима подачи воды в канал (колебания расходов, допустимость перерывов), количества поступающих наносов и из экономических соображений.

в) По способу удаления наносов (промыву) отстойники бывают гидравлического действия или с механической очисткой. Первые делятся в свою очередь на отстойники с периодическим промывом и с непрерывным промывом. В первом случае выпуск воды и удаление наносов через местные или размещенные по всей площади дна отстойника отверстия производится после того, как будет накоплено достаточное количество наносов; во втором—промыв происходит все время, для чего камере отстойника придается такая форма в вертикальном сечении (например, треугольная), чтобы наносы сами скатывались к промывным отверстиям и при относительно небольших затратах воды непрерывно удалялись. К числу таких отстойников относится отстойник инж. И. Ф. Ярошена, проф. Д. Я. Соколова, Дюфура и др.

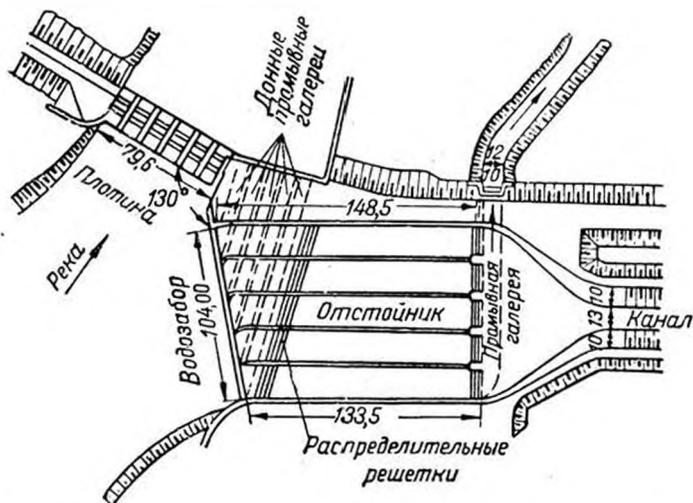
Для промыва наносов в отстойниках гидравлического действия создается скорость течения 3—5 м/сек, при которой приходят в движение фракции, передвигаемые и по дну, и во взвешенном состоянии.

Величина промывного расхода воды в камерах отстойника бывает от 0,5 до 1,25 рабочего расхода и связана с длительностью промывки и периодами времени между промывками.

Механический способ удаления наносов из отстойника (землечерпание, гидромеханизация) применяется в случаях, когда промыв наносов из отстойника по местным условиям затруднен (например, в безнапорных водозаборах).

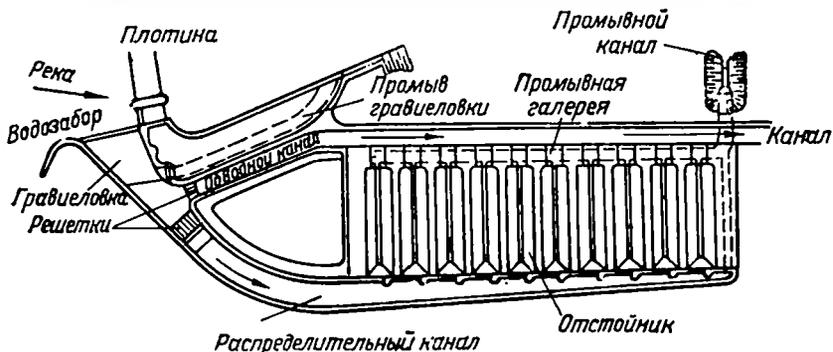
7. Расположение отстойников в схеме водозаборных сооружений

В большинстве случаев поток, направляемый в канал, освобождается от донных и взвешенных наносов в голове последнего, поэтому отстойники включаются обычно в комплекс водозаборных сооружений. При этом отстойник располагается или непосредственно за порогом



Фиг. 24—26. Совмещение расположения отстойника с водозабором

водозабора и совмещается с последним (фиг. 24—26), или же размещается на берегу, на некотором расстоянии от водоприемника (фиг. 24—27). Первый тип расположения создает большую компактность и



Фиг. 24—27. Расположение отстойника за пределами водозабора

более короткие пути промыва, но зато требует уширения отверстия водозабора, что ухудшает промыв донных наносов, отложившихся у его порога, и создает известную неравномерность поступления воды в отстойник.

Во втором типе размеры водозабора не связаны с размерами отстойника, и удаление донных наносов может быть организовано более совершенно, но компоновка всего узла менее компактна. Кроме того, в

случае многокамерного отстойника, как на фиг. 24—27, изгиб канала и поворот струй в камеры отстойника ухудшает условия отстоя наносов.

В некоторых случаях отстойник отдалается от водозабора вдоль реки для того, чтобы выиграть напор для улучшения промыва отстойника.

§ 145. ГЛУБИННЫЙ ВОДОЗАБОР

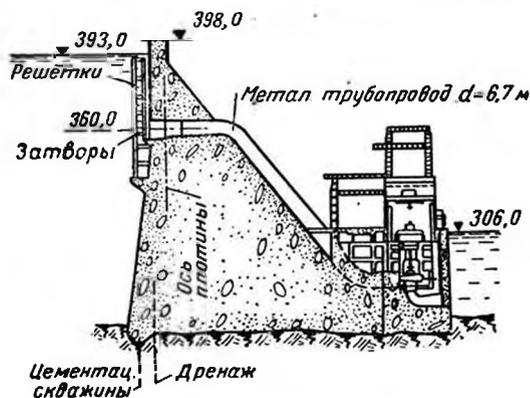
1. Типы водозаборных устройств

Глубинный водозабор применяется при отводе воды из глубоких подпертых бьефов или водохранилищ, образованных плотинами среднего (15—30 м) и высокого напора, при значительных колебаниях уровня воды в бьефе. В этом случае проблема наносов (как и ледохода, шуги) не имеет значения, так как глубокое водохранилище представляет собой прекрасный отстойник; исключением являются случаи не очень глубоких, сравнительно быстро заносимых бьефов.

Водозабор осуществляется напорными водоводами — трубами или туннелями, причем водозаборное устройство может располагаться в теле плотины, и тогда водозабор называется *плотинным*, или же в берегу, и тогда водозабор называется *береговым*.

2. Плотинный водозабор

Этот водозабор осуществляется трубчатыми отверстиями в теле бетонной плотины (гравитационной или арочной) или трубопроводами, прорезающими железобетонные, земляные, каменно-набросные плотины. Трубы имеют со стороны напорной грани плотины плавное расширение — входную воронку — для улучшения гидравлических условий входа, решетку и затворы. Если решетка, затворы и управление ими находятся в теле плотины, то водозабор называется *трубчатым*; если же они размещены в отдельно стоящей башне в начале трубы в верхнем бьефе, то водозабор называется *башенным*.



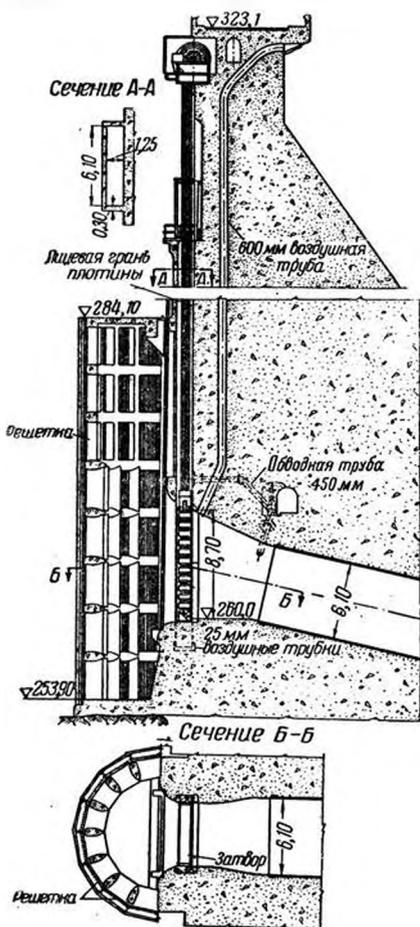
Фиг. 24—28. Трубчатый водозабор в гравитационной бетонной плотине

Конструкции плотинных водозаборов почти идентичны плотинным водоспускам (см. часть I). Разница заключается лишь в том, что порог водозаборного отверстия располагается не у дна, а на отметке несколько ниже уровня сработки верхнего бьефа. Если устраивается башня, то она имеет иногда несколько водозаборных окон на разной высоте для облегчения работы затворов; чаще всего это делается при заборе воды в систему водоснабжения.

а) На фиг. 24—28 приведен пример трубчатого водозабора для гидростанции при гравитационной плотине; на фиг. 24—29 даны детали аналогичного водозабора: входная грубая железобетонная решетка значительных размеров (во избежание излишних потерь напора на ней), гусеничный плоский затвор и пазы для ремонтного затвора впереди, обводная труба для выравнивания давления

за затвором при маневрировании последним, труба диаметром 600 мм для подвода воздуха в зону вакуума.

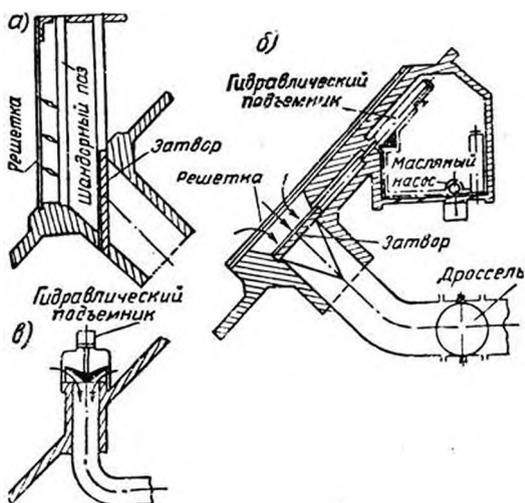
Входная воронка делается обтекаемой формы, водовод на входе имеет прямоугольное сечение, а далее круглое, образуемое стальной трубой, забетонированной в массив плотины.



Фиг. 24—29. Детали трубчатого водозабора в бетонной плотине Норрис

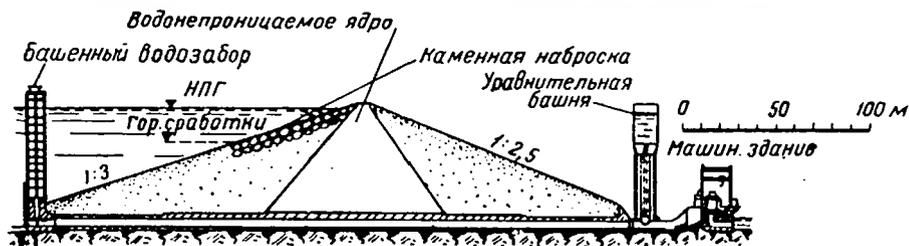
Аналогичная конструкция приведена на фиг. 22—19.

б) В железобетонных плотинах водозабор осуществляется в виде труб стальных или железобетонных, прокладываемых между контрфорсами. Входная часть водозабора устраивается различно: или по типу фиг. 24—30,а с применением вертикального плоского затвора, или по типу фиг. 24—30,б с применением наклонного плоского затвора с гидравлическим механизмом, или по типу фиг. 24—30,в с применением за-



Фиг. 24—30. Типы водозаборов в железобетонных ребристых плотинах

крытого цилиндрического затвора. Типы а и б предпочтительнее по доступности решеток и затворов для ремонта и обслуживания.



Фиг. 24—31. Башенный водозабор в земляной плотине

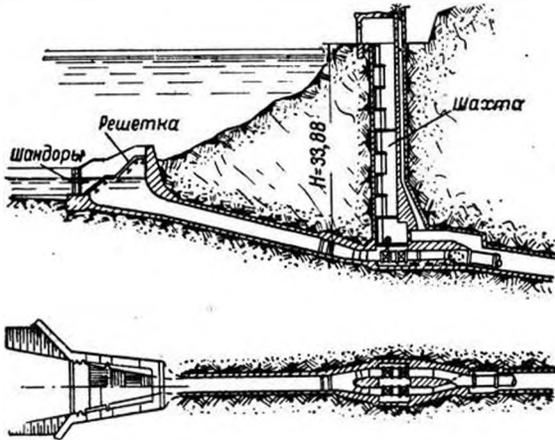
в) Пример башенного водозабора в земляной плотине приведен на фиг. 24—31. Башня водозабора аналогична описанным уже башням водоспусков (ч. I, фиг. 15—19, 15—20). Такое устройство водозабора встречается не часто, так как заложение трубы под высокой земляной насыпью требует серьезных мероприятий против фильтрации вдоль трубы. Однако эта схема себя оправдывает, особенно в тех случаях, когда такие трубы водозабора используются в строительный период как временные водоспуски.

3. Береговой водозабор

Береговой водозабор применяется в тех случаях, когда нельзя или нецелесообразно устраивать трубы в теле плотины.

В таких случаях водозабор осуществляется в открытой выемке берега, если она не очень глубока, или при помощи туннеля. В последнем случае водозабор носит название туннельного.

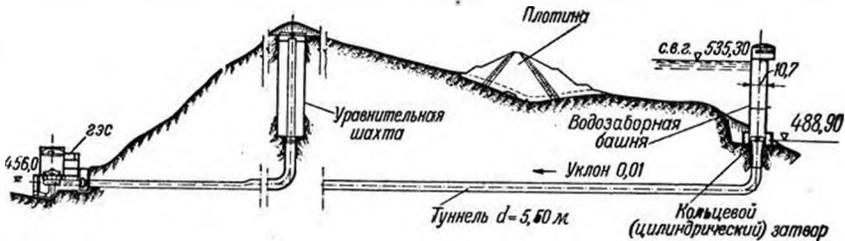
Если водозаборные отверстия устраивают в особой башне, аналогичной описанным выше башням плотинного водозабора, водозабор называется башенным. Если же отверстие водозабора (иногда несколько,



Фиг. 24—32. Шахтный туннельный водозабор

ко, на разной высоте) оформляется порталом в берегу, а затворы размещаются в шахте, то водозабор называется шахтным.

а) Пример шахтного туннельного водозабора приведен на фиг.



Фиг. 24—33. Башенный туннельный водозабор

24—32. Водовод в зоне шахты иногда раздваивается для уменьшения размеров затворов и облегчения управления ими. Шахта оборудуется подъемниками, лестницей и пр.; особой трубой с низовой стороны затво-

ров, которых обычно два (основной и ремонтный), для подвода воздуха.

Другой пример шахты приведен на фиг. 15—24, часть I (шахта водопуска).

б) Пример башенного туннельного водоприемника дан на фиг. 24—33, где показан разрез по туннелю гидростанции, план узла которой приведен на фиг. 1—6 (часть I).

4. Прочие типы водозаборов

Кроме описанных, может быть применен и насосный водозабор, если это необходимо, и пловучий, аналогично бесплотинным водозаборам, если отметка водовода должна быть выше рабочих горизонтов водохранилища.

VIII. ПРОПУСК РЕЧНЫХ ВОД И ВРЕМЕННЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОУЗЛОВ

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЯТАЯ

ПРОПУСК РЕЧНЫХ ВОД, СУДОВ, ПЛОТОВ И ПР. В ПЕРИОД ПОСТРОЙКИ ГИДРОУЗЛОВ

При строительстве речных напорных гидроузлов, продолжающемся обычно несколько лет, необходимо пропускать через створ гидроузла речные воды (так называемые строительные расходы воды), лед, суда, сплавляемый лес и давать возможность прохода рыбе вверх и вниз по течению. Вместе с тем необходимо ограждать от реки и от действия грунтовых вод котлованы сооружений гидроузла и проводить строительные работы по определенному плану, который должен быть увязан с гидрологическими и водохозяйственными условиями реки в данном месте.

Решение этой сложной, но кардинальной для строительства задачи достигается разработкой определенного способа пропуска речных вод в период постройки гидроузла, увязанного с конструкциями сооружений и планом их возведения.

Гидротехнические сооружения речных узлов могут возводиться по двум основным схемам: 1) без отвода реки в сторону и 2) с отводом ее в сторону от места постройки (лотком, каналом, туннелем и т. п.).

А. СХЕМА ВОЗВЕДЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ БЕЗ ОТВОДА РЕКИ В СТОРОНУ

Возводить гидротехнические сооружения в речном русле без отвода реки в сторону возможно следующими способами: 1) ограждать по частям котлован в русле временными сооружениями — перемычками — и после откачки воды из этих частных котлованов вести строительные работы в них насухо, 2) возводить подводные части сооружения методами подводной кладки, а именно, при помощи опускных рам, колодцев и кессонов, а также отсыпки материала в воду. Надводные части сооружения можно возводить, пропуская воду через уже возведенные части самого сооружения или через вспомогательные временные устройства.

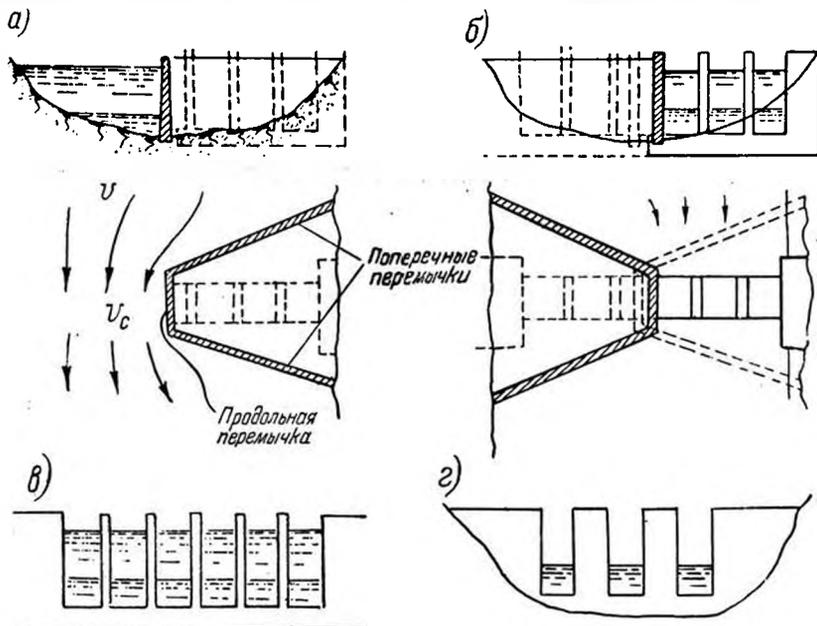
Первый способ обычно называется перемычным, или точнее, методом секционных перемычек, второй — бесперемычным методом, методом опускных опор (кессонным) и подводной кладки.

§ 146. ПЕРЕМЫЧНЫЙ МЕТОД

Данный метод является наиболее распространенным при постройке низко- и средненапорных гидроузлов.

1. Общая схема

Общая идея данного метода заключается в постройке сооружения в несколько очередей, этапами, с ограждением котлованов в русле перемычками и пропуском воды в это время через другие неогражденные части русла. Так, например, при возведении сооружений в две очереди

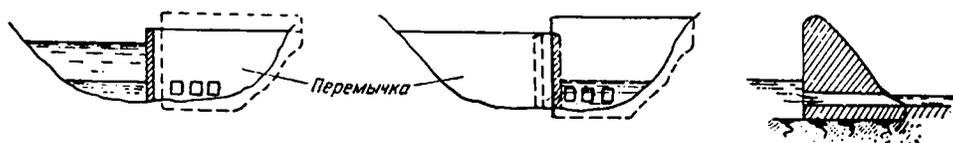


Фиг. 25—1. Схема пропуска воды при методе секционных перемычек с достройкой сооружений по способу гребенки

вначале около половины русла у одного из берегов (фиг. 25—1,а) ограждается перемычками, река же пропускается через вторую половину русла. За перемычками после откачки воды из котлована возводится часть напорного сооружения с оставлением незаделанными пролетов между быками (фиг. 25—1,а), или оставлением незаделанными отдельных секций глухой плотины, возведенных на сплошной фундаментной плите (на фиг. 25—1, в и е представлено положение сооружения после разборки перемычек первой и второй очереди), или оставлением в кладке донных отверстий, труб (фиг. 25—2). Это является первой очередью работ.

На следующем этапе, т. е. во вторую очередь, перемычки первой очереди разбираются и ими ограждается вторая половина русла (фиг. 25—1,б и 25—2), а расходы реки пропускаются через отверстия, оставленные в кладке первой очереди.

По окончании второй очереди перемычки вновь разбираются (фиг. 25—1,в, г), и далее сооружение достраивается до проектных отметок с пропуском воды через оставленные отверстия. Если были оставлены донные отверстия, то вода пропускается через них в течение всего периода достройки сооружения, а затем они перекрываются затворами, если наличие таковых при эксплуатации сооружения предусмотрено проектом, или заделываются наглухо. Если вода пропускается через незастроенные пролеты или секции плотины, то последние заканчиваются возведением при постепенном подъеме уровня верхнего бьефа так называемым методом гребенки (§ 148).



Фиг. 25—2. Схема постройки плотины с пропуском воды донными отверстиями

При трех очередях строительства (фиг. 25—13) русло делится на три секции, причем когда одна из них ограждена перемычками, вода пропускается через две остальные.

2. Стеснение русла перемычками

При устройстве частичного ограждения русла перемычками создается стеснение русла, вызывающее подпор выше перемычки, а в пределах стесненного участка — увеличение скоростей течения и в зависимости от рода грунта — возможность размыва его.

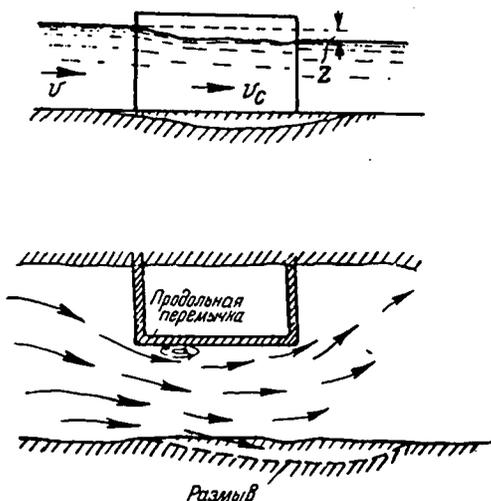
Величину указанного подпора Z можно определить приближенно¹, зная среднюю скорость течения v в русле в бытовых условиях и площадь живого сечения ω при некотором расчетном расходе воды Q и те же величины v_c и ω_c в стесненном русле (фиг. 25—3):

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_c^2 - v^2}{2g}, \quad (25-1)$$

где φ — коэффициент скорости, зависящий от условий стеснения русла (формы перемычки в плане, шероховатости стенок и пр.); для перемычек прямоугольных в плане (фиг. 25—3) можно принимать $\varphi = 0,75 \div 0,80$, для трапециевидных (фиг. 25—1) $\varphi = 0,80 \div 0,85$, а при тупых трапециях (с углами $150^\circ - 160^\circ$) $\varphi = 0,85 \div 0,90$; при наличии направляющих дамб (фиг. 25—4, б) $\varphi = 0,85 \div 0,90$.

Величины ω , v , ω_c и v_c берут в начале, исходя из бытового горизонта воды в зоне перемычки а после определения Z по формуле (25—1) пересчитывают с поправкой на подпор, после чего вновь по той же формуле уточняют величину подпора Z .

Допустимая степень стеснения русла определяется следующими соображениями.



Фиг. 25—3. Схемы обтекания перемычек и размыва стесненного русла

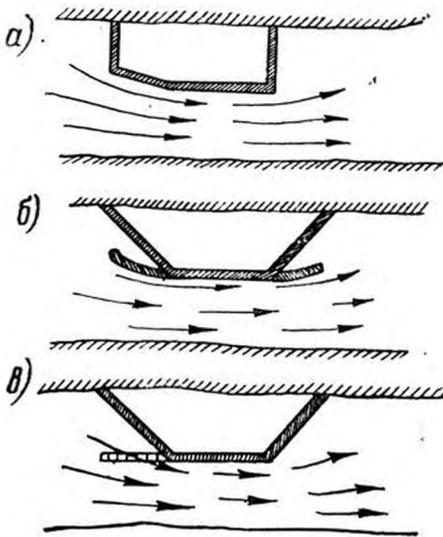
¹ Более точный расчет разработан П. А. Войновичем и А. И. Шварцем, см. «Известия ВНИИГ» № 34. 1947.

а) Скорость течения v_c не должна вызывать значительного размыва русла или же вообще размыв не допускается; практически допускают размыв в глубину в несколько метров и делают поверку его, сопоставляя полученные средние скорости течения с допустимыми по размыву для данного грунта, точнее, для более крупных его частиц; последнее делается на том основании, что в речном грунте имеются обычно более крупные частицы, образующие при вымыве мелких так называемую «отмостку» (см. гл. 8).

б) Если стесненное русло должно пропускать суда, то по условиям их движения в стесненной части русла необходимо, чтобы $v_c \leq 1,8 \div 2$ м/сек; в отдельных случаях по согласованию с Министерством речного флота может быть допущено превышение этой скорости до 2,5—2,8 м/сек, если период с такими скоростями короток и возможно на это время организовать двойную тягу судов буксирами. Ширина стесненного русла должна быть достаточной для пропуска судов (ГОСТ 3035-45).

в) По условиям лесосплава можно принимать v_c до 2,5 ÷ 3 м/сек или даже несколько выше.

г) Ширина стесненной части русла должна обеспечивать беспрепятственный пропуск ледохода (гл. 8).



Фиг. 25—4. Способы улучшения условий движения потока в стесненном пере-
мычке русла

При расчете стеснения русла перемычками надо учитывать влияние поперечной циркуляции в потоке на распределение скоростей по сечению. При ограждении русла у выпуклого берега, где скорости и удельные (на 1 пог. м ширины) расходы меньше, увеличение скоростей в стесненном русле будет несущественным. Наоборот, то же ограждение русла у вогнутого берега вызовет значительные размывы противоположного выпуклого берега.

При стеснении русла могут вследствие изгиба потока возникнуть местные размывы берега и дна русла (фиг. 25—3). Во избежание значительных местных размывов полезно: 1) давать перемычке в плане более обтекаемую форму, как например, на фиг. 25—4,а; 2) для лучшего обтекания придавать перемычке направляющие дамбы (фиг. 25—4,б); 3) полезно также у верхнего угла перемычки дамбу, пронизываемую для воды, в этом случае последняя может быть и прямолинейной (фиг. 25—4,в); эффект пронизываемой дамбы¹, предложенной проф. С. В. Избашем и названной им «глушителем», сказывается в значительном выравнивании донных скоростей в стесненном участке и особенно на входе в него.

Для борьбы с местными подмывами можно применять различные крепления русла у перемычки. Для крупных гидроузлов следует проводить лабораторные исследования на модели формы перемычек в

¹ Дамба эта может быть выполнена из сквозных ряжей, заполненных камнем лишь в нижней части для обеспечения устойчивости ряжа на сдвиг.

плане и условий деформаций русла, а также методов смягчения размывов.

Степень стеснения, т. е. величину $\omega_c : \omega$, и этим самым количество очередей по закрытию русла перемычками или количество секций перемычек следует устанавливать с таким расчетом, чтобы средняя скорость в стесненном сечении не превысила установленного предела. На практике процент стеснения русла реки бывает от 30 до 65, число очередей 2—3, чаще 2, но иногда до 5 и более.

3. Размеры и формы перемычек и котлована

Перемычки, представляющие собой временные подпорные дамбы или стенки (земляные, ряжевые, шпунтовые и др.), должны ограждать контуры сооружения в плане; при этом конструктивные части перемычки должны отстоять от конструктивных элементов фундамента сооружения, точнее, бровок котлована, не менее чем на 10 м, а лучше на 15—20 м. Очертание перемычек в плане должно позволить удобно разместить на них пути транспорта и обеспечить примыкание последних к береговым путям. С этой точки зрения перемычки, представленные на фиг. 25—1 и 25—4,б и в, лучше, чем на фиг. 25—3 и 25—4,а. Размеры котлована в плане также должны позволить разместить на огражденной территории необходимое строительное оборудование и дороги.

По высоте гребня перемычки делятся на затопляемые и незатопляемые. Незатопляемые перемычки не покрываются водой при проходе в реке расчетных паводков¹, за каковые обычно принимаются паводки обеспеченностью 5—10%, и, таким образом, позволяют вести работу в котлованах круглый год. Но такие перемычки оказываются высокими, дорогими, а стеснение русла, создаваемое ими, часто вызывает недопустимые размывы.

Высоту затопляемых перемычек рассчитывают, исходя из незатопления их меженными расходами и летне-осенними паводками, а в горных районах — иногда зимними паводками (также обеспеченностью 5—10%); в период же весенних паводков работы за этими перемычками прерываются, оборудование вывозится из котлована, он затопляется предварительно через отверстия в перемычках, и паводок пропускается через стесненную часть русла и поверх перемычек.

Выбор типа перемычек — затопляемых или незатопляемых, а также расчетного строительного расхода делается в каждом конкретном случае с учетом всех местных условий строительства и после технико-экономического сопоставления вариантов, для каждого из которых определяется стоимость работ и возможный ущерб от затоплений при различных паводках. Чаще применяются незатопляемые перемычки.

§ 147. БЕСПЕРЕМЫЧНЫЙ МЕТОД

1. Общая идея метода

Подводные части бетонных и железобетонных плотин устраиваются при данном методе способом опускных колодцев и кессонов, а в деревянных плотинах путем опускания в воду ряжей. Земляные и каменно-набросные плотины строятся при этом методе путем наброски в

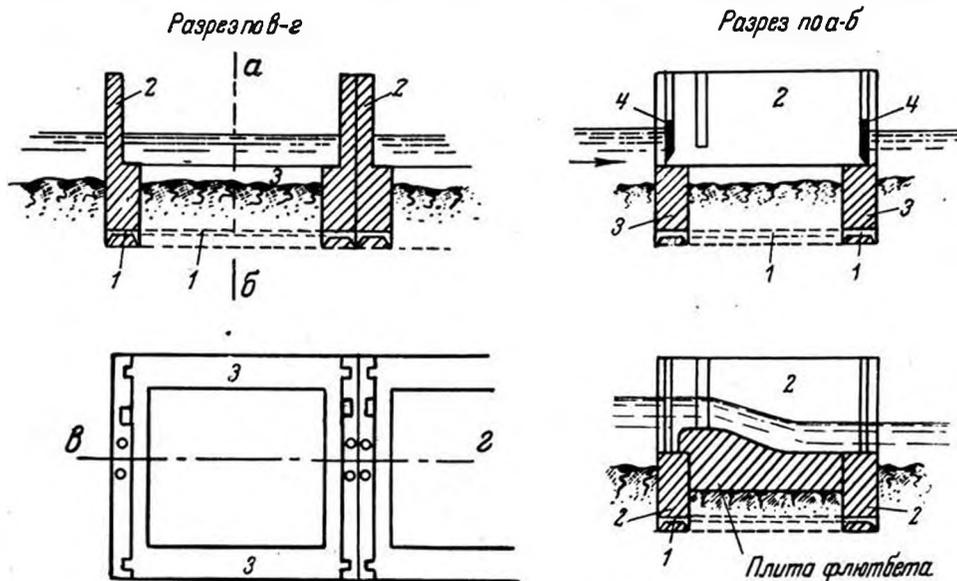
¹ Расчетная обеспеченность назначается по ГОСТ 3999-48, как для временных сооружений IV и V классов.

воду каменного банкета, а затем отсыпки или намыва грунта в воду либо наброски камня.

2. Схема возведения бетонной водосливной плотины без перемычек

При бесперемычечном способе быки плотины в подводной их части устраиваются в виде отдельных кессонов¹ или опускаемых колодцев и возводятся затем на полную или во всяком случае на достаточную высоту над горизонтом воды в реке в период строительства. Плита флютбета между быками укладывается на грунт основания под защитой простейших заграждений между быками.

Если глубина воды значительна и устройство простейших заграждений затруднено и нежелательно, кессоны необходимо устраивать цельными (кольцевыми) на весь пролет каждого отверстия с двумя полу-быками (фиг. 25—5). Камеры таких кессонов 1 представляют собой



Фиг. 25—5. Способ кольцевых кессонов при постройке плотин

как бы галереи по контуру блока водослива. После установки всех кессонов по фронту плотины верхние площадки быков 2 окажутся выше горизонта воды, а поперечные стенки 3 ниже горизонта воды, так что через отверстия между быками будет свободно проходить расход реки. После этого из огражденного кольцом кессона основания делается выемка грунта и под защитой затворов 4, опирающихся на поперечные кессонные стенки, выполняется бетонная кладка водослива методом гребенки, как и в способе секционных перемычек.

Кессоны заготавливаются на берегу и на плаву доставляются к створу плотины, где при помощи буксиров устанавливаются на месте сначала через один пролет, а затем в оставшиеся свободными пролеты.

3. Способ постройки ряжевой плотины без перемычек

Водосливная ряжевая плотина может быть выполнена без перемычек лишь на плотном скальном или полускальном основании и при от-

¹ Пример плотины на кессонном основании описан в статье П. С. Ломая «Плотина на кессонном основании», журнал «Гидротехническое строительство» № 11, 1949.

носителю небольших глубинах реки. Для этого опускают ряжевые секции плотины длиной 4—6—8 м в воду, оставляя между ними по фронту плотины промежутки в 2—2,5 м, в которые и проходит расход реки. Закрытие пролетов делается путем опускания в них деревянных щитов с верховой и низовой сторон ряжей и последующей загрузки пролетов камнем с параллельной наружкой по ряжам сплошного порога водослива. При закрытии последних проемов, производимом при самых малых расходах воды в реке, вода пропускается через отверстия в других сооружениях узла, если таковые есть, или через отверстия в береговых глухих секциях, заранее подготовленных и снабженных затворами.

4. Схема постройки земляных и каменно-набросных плотин без перемычек

При этом способе материал плотины отсыпается или намывается непосредственно в воду после предварительного преграждения русла фильтрующим каменным банкетом. Этот способ описан в части I (гл. 12, § 80 и гл. 13, § 87)¹. Там же описан и другой метод отсыпки плотины в текущую воду при помощи направленных массовых взрывов.

5. Условия применения бесперемычечных способов

Опускной способ, в особенности кессонный, сложнее, чем перемычечный, но он меньше стесняет русло, вызывает меньшие размывы его и позволяет ускорить работы, в чем и заключается его существенное преимущество. Применение его оправдано в узких руслах, где стеснение перемычками недопустимо.

Метод кессонов или опускных колодцев оправдывает себя также при необходимости глубокого заложения зубьев и быков. Способ опускных колодцев дешевле кессонного, но его можно применять лишь в грунтах, доступных к разработке подводным способом. В настоящее время при распространении гидромеханизации для разработки грунта в кессонах способ этот может оказаться в ряде случаев не дороже метода секционных перемычек.

Опускной способ применяется и в комбинации со способом секционных перемычек, что может оказаться выгодным по местным условиям.

Способ постройки земляных плотин отсыпкой в воду без перемычек широко распространен в СССР, где он впервые и был применен для закрытия русел.

Взрывной метод пока применяется в опытным порядке и на небольших сооружениях.

§ 148. ПРОПУСК ВОДЫ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ В СТРОЯЩИХСЯ СООРУЖЕНИЯХ

Когда возведена часть того или иного сооружения или нескольких сооружений методами, описанными в § 146 и 147, дальнейшие строительные работы могут вестись при пропуске воды через отверстия в сооружениях, предназначенных для эксплуатационных целей, и через временные отверстия, оставляемые на период строительства и затем заделываемые.

1. Метод гребенки

Метод гребенки² заключается в том, что отверстия (пролеты) в плотине, оставленные незастроенными в период работы за перемыч-

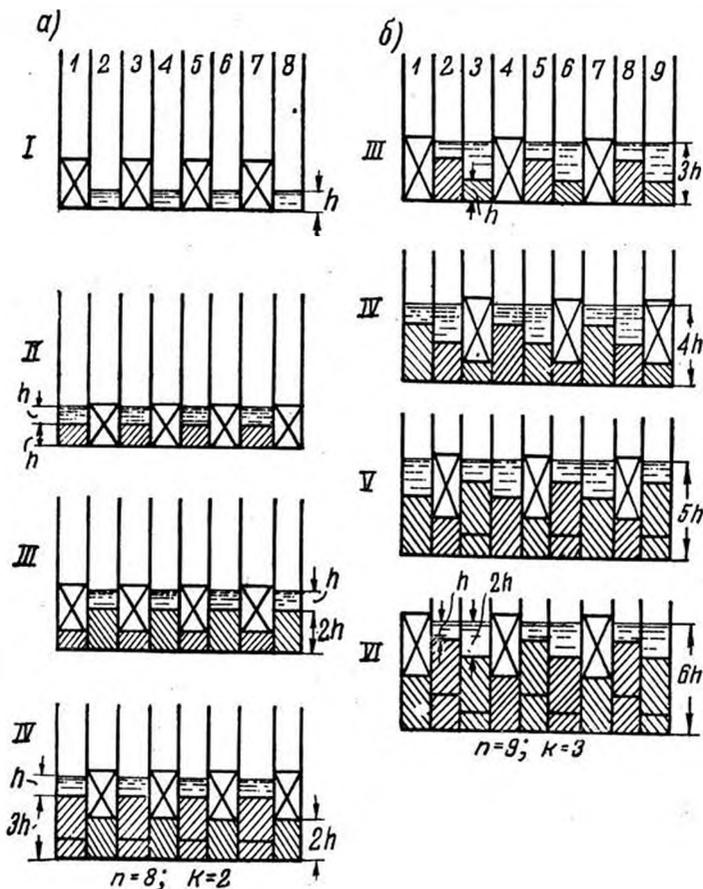
¹ В последнее время в СССР разработан метод намыва плотин в воду без предварительного устройства банкета.

² Название «гребенка» произошло от того, что вид плотины с бычками и разделяющими их незастроенными пролетами напоминает гребенку.

ками, бетонируются группами под прикрытием затворов, в то время как вода пропускается через остальные незакрытые затворами отверстия. Вместе с ростом плотины в высоту постепенно поднимается и уровень верхнего бьефа.

Количество отверстий и отметки порогов их устанавливаются в зависимости от расхода реки, при котором намечается закрывать гребенку, и желательной толщины переливающегося через порог слоя воды.

Закрытие гребенки ведется таким образом: из общего числа проле-



Фиг. 25—6. Схема двух-и трехступенчатой гребенки

гов или отверстий плотины n каждый раз закрывается затворами $\frac{1}{k}$ часть, практически $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ или $\frac{1}{4}$, т. е. $k=2$; 3 или более. Ход закрытия при некотором постоянном расходе воды в реке можно видеть на фиг. 25—6, а при двухступенчатой гребенке ($k=2$) и на фиг. 25—6, б при гребенке трехступенчатой ($k=3$).

При двухступенчатой гребенке вначале затворы ставятся, например, в нечетные отверстия, вода проходит в четные отверстия (или наоборот) слоем h над порогом (положение I). После забетонирования нечетных отверстий на высоту h затворы ставятся в четные отверстия и в них бетон укладывается на высоту $2h$, вода проходит в это время через нечетные отверстия таким же слоем (положение II) и на высоте $2h$ над первоначальным порогом; далее затворы опять переводятся в

нечетные отверстия (положение III), вода идет через четные отверстия, но уже на высоте $3h$ над первоначальным порогом, за затворами опять укладывается слой бетона высотой $2h$ и т. д. Таким образом, при каждой перестановке затворов уровень верхнего бьефа поднимается на высоту h , называемую шагом гребенки. Затворы должны иметь высоту $2h$ плюс некоторый запас — около $0,5-1$ м.

При трехступенчатой гребенке (фиг. 25—6,б) каждый раз закрывается $\frac{1}{3}$ всех отверстий, причем в каждой секции из трех отверстий истечение воды происходит в одном пролете слоем h , в другом $2h$. При каждой перестановке затворов уровень верхнего бьефа поднимается также на величину h , высота затворов должна быть равна $3h$ плюс запас.

Пропускная способность гребенки в общем случае при k ступенях может быть выражена по формуле водослива (незатопленного)¹ с широким порогом. Если Q — расчетный расход реки, n — количество отверстий или пролетов гребенки, b — ширина пролетов, то расход Q_k через каждую секцию из k ступеней-пролетов при коэффициенте расхода m равен

$$Q_k = mb \sqrt{2g} [1^{3/2} + 2^{3/2} + \dots + (k-1)^{3/2}] h^{3/2} = mb \sqrt{2g} h^{3/2} \sum (p-1)^{3/2}, \quad (25-2)$$

где p — целые числа от 2 до k .

Общий расход через всю гребенку ($\frac{n}{k}$ секций)

$$Q = \frac{n}{k} mb \sqrt{2g} h^{3/2} \sum (p-1)^{3/2}, \quad (25-3)$$

откуда

$$h^{3/2} = \frac{k}{\sum (p-1)^{3/2}} \cdot \frac{Q}{mnb \sqrt{2g}} = A \frac{Q}{mnb \sqrt{2g}}$$

и

$$h = A^{2/3} \left(\frac{Q}{mnb \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (25-4)$$

где

$$A = \frac{k}{\sum (p-1)^{3/2}}. \quad (25-5)$$

Величина A , называемая коэффициентом гребенки, зависит только от числа ступеней ее k и равна для двухступенчатой гребенки 2, для трехступенчатой 0,783.

Пользуясь уравнением (25-3) и (25-5), можно решать различные задачи по пропуску воды гребенкой: определить шаг гребенки h при заданном числе ступеней k и числе пролетов n , исходя из пропускаемого расхода, или по заданному шагу гребенки h и расходу Q определить длину гребенки и т. д. Для этого можно пользоваться табл. 25—1, где приведены необходимые данные с учетом высоты ступени h , принятой за единицу в двухступенчатой гребенке.

Высота затвора должна быть равна минимально $h_3 = kh +$ (запас), для простоты в таблице принято $h_3 = kh$; число этапов повышения горизонта воды верхнего бьефа до полной высоты H сооружения равно $\frac{H}{h}$.

Как видно из табл. 25—1, с увеличением числа ступеней k гребенки уменьшается число потребных затворов N , уменьшается шаг гребенки или высота ступени h , а также высота отдельных затворов, т. е. уменьшаются затраты на затворы, но зато увеличивается число перестановок их и тем самым снижаются темпы бетонирования.

Исходя из всех изложенных, а также производственных соображений, выбирают тип гребенки, высоту ступени и прочие элементы. При постройке Днепровской плотины принята была двухступенчатая гребенка.

¹ На первых этапах закрытия водослив может быть и затопленным, что надо учесть в расчетных формулах.

Таблица 25—1

Сравнительные характеристики многоступенчатых гребенок

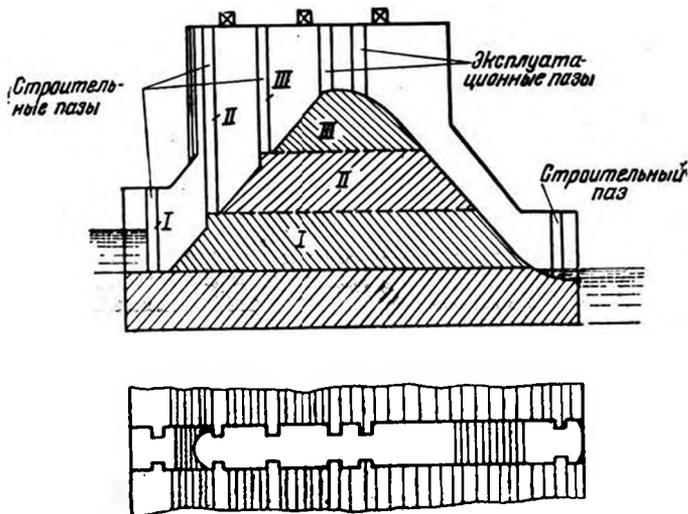
| Число ступеней гребенки k | λ | $A^{2/3}$ | Высота ступени (шаг гребенки) h | Высота затвора (без запаса) $h_3 = kh$ | Число затворов $N = \frac{p}{k}$ | Перекрываемая затворами площадь $\Omega = nbh$ | Число операций по перестановке затворов $N \frac{H}{h} = \frac{Hn}{kh}$ |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|--|----------------------------------|--|---|
| 2 | 2,000 | 1,588 | 1,00 | 2,00 | 0,50 n | 1,00 nb | 0,50 Hn |
| 3 | 0,783 | 0,850 | 0,54 | 1,62 | 0,33 n | 0,54 nb | 0,62 Hn |
| 4 | 0,443 | 0,581 | 0,37 | 1,48 | 0,25 n | 0,37 nb | 0,67 Hn |
| 5 | 0,294 | 0,442 | 0,28 | 1,40 | 0,20 n | 0,28 nb | 0,71 Hn |

ка; на практике чаще всего выбирают двух- или трехступенчатую гребенку¹.

Закрытие гребенки производят обычно в период низких вод в реке, чаще всего осенью и зимой, соответственно чему назначают и расчетный расход воды, и число пролетов (отверстий), участвующих в пропуске воды гребенкой.

2. Конструктивные особенности сооружений, связанные с методом гребенки

Для возможности осуществления метода гребенки необходимы затворы, а также мост для маневрирования ими. Пролеты гребенки обычно соответствуют пролетам водосливной части плотины или крат-



Фиг. 25—7. Схема установки затворов гребенки при возведении плотины с наклонной напорной гранью

ны пролетам контрфорсной плотины, а при закрытии глухих частей плотины выбираются в соответствии с расположением поперечных швов плотины.

¹ Более подробно о методе гребенки см. журнал «Гидротехническое строительство» № 5, 8—9, 1932, статьи В. А. Жирнова и В. И. Швея.

В целях облегчения маневрирования затворами желательнее, чтобы пролеты гребенки не превышали 15—20 м; при пролетах водослива, превышающих эту величину, прибегают иногда к делению такого пролета промежуточным строительным быком, который входит затем в тело плотины, но это связано с конструктивными осложнениями и неудобствами.

Легче всего осуществить гребенку на плотине с вертикальной напорной гранью, так как тогда затвор гребенки передвигается по одному вертикальному пазу (часть I, фиг. 6—41); при наклонной напорной грани перестановку затворов на разных этапах закрытия гребенки приходится делать в разные строительные пазы быка (фиг. 25—7), выдвигаемого соответственно в верхний бьеф, устраивая горизонтальные площадки на грани плотины для упора затворов; это ведет иногда к необходимости перестановок моста, с которого производятся операции с затворами¹. Строительные пазы впоследствии из гидравлических соображений следует заделать.

Со стороны нижнего бьефа затворы необходимы в тех случаях, когда отметка начального порога гребенки ниже горизонта воды нижнего бьефа; обычно уже на следующем этапе обходятся без этих затворов. В связи с указанным иногда приходится удлинять быки в сторону нижнего бьефа, хотя это ни по эксплуатационным, ни по конструктивным условиям не требуется; в качестве затворов иногда применяют здесь переставные подкосные затворы. Иногда вместо затворов со стороны верхнего бьефа применяют железобетонные шандоры, которые остаются затем в кладке плотины.

Осуществление гребенки в контрфорсных плотинах, особенно же в массивно-контрфорсных плотинах, сложнее, чем в массивных бетонных, но вообще возможно.

3. Метод донных отверстий

При этом методе строительные расходы воды пропускаются: 1) через донные отверстия плотины и вообще отверстия с низким порогом, устраиваемые в эксплуатационных целях в сооружениях узла—здании ГЭС, водозаборе, водоспуске и пр., 2) если эксплуатационных отверстий нет или площадь их для строительных целей недостаточна — через специальные строительные донные отверстия, которые по окончании постройки заделываются.

Пропуск воды донными отверстиями значительно упрощает производство работ, не требуя перестановки затворов, как при гребенке, и не создавая почти никаких ограничений в ходе бетонирования или отсыпки сооружения.

а) Эксплуатационные донные отверстия в бетонных или железобетонных плотинах (водоспуски), водопроводные галереи в судоходных шлюзах, промывные устройства в водозаборах, водоспускные трубы земляных и каменно-набросных плотин могут быть использованы для пропуска строительных расходов без особых осложнений и по миновании надобности закрываются эксплуатационными затворами.

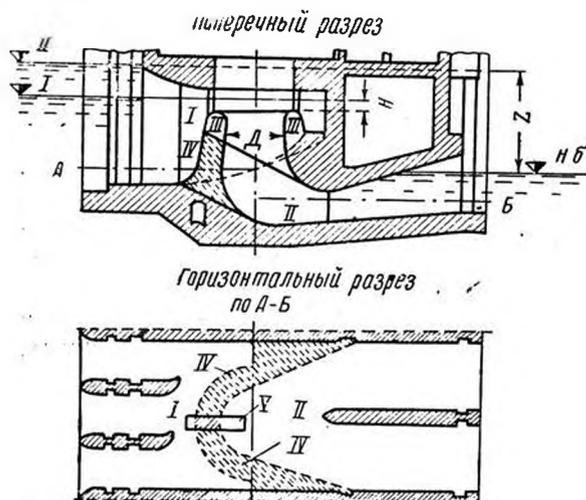
б) Временные донные отверстия в плотинах и других сооружениях для пропуска строительных расходов устраиваются тогда, когда эксплуатационных донных отверстий недостаточно или вообще

¹ При наклонной напорной грани можно осуществить гребенку, устраивая заграждение пролета только по одному вертикальному пазу из шандоров или плоских затворов, но на всю высоту пролета; однако это требует значительного увеличения количества шандоров или плоских затворов и потому большей частью неэкономично.

нет в сооружениях. Это может быть осуществлено не только в бетонных и железобетонных, но в комбинации с перемычками — и в каменно-набросных и даже земляных плотинах. В последних случаях в выполняемую в первую очередь за перемычками часть плотины закладываются донные трубы — железобетонные или даже деревянные (в каменно-набросных невысоких плотинах) и через них пропускается река в период постройки остальной части плотины. Входные отверстия труб закрываются по миновании в них надобности шандорами или плоскими затворами, опускаемыми в пазы особых оголовков, если трубы не используются в период эксплуатации в качестве водоспусков. Под защитой затворов трубы затем заделываются.

Применение временных (строительных) донных отверстий имеет тот недостаток, что такие отверстия ослабляют тело плотины, а заделка их затруднительна и не гарантирует все же полной монолитности сооружения, опускание затворов усложняется наличием большого напора.

Пример такого закрытия имел место при восстановлении сооружений Днепрогэс¹.



Фиг. 25—8. Схема пропуска строительных расходов воды через турбинные камеры и всасывающие трубы гидроэлектростанций

I—спиральная камера; II—всасывающая труба; III—фундаментное кольцо турбины; IV—временные строительные отверстия во всасывающей трубе; V—часть конуса турбины, устраиваемая в первую очередь для поддержки фундаментного кольца турбины

затвор, который может закрыть камеру при течении воды в ней.

б) Здание ГЭС (еще в недостроенном виде) при необходимости может быть также использовано для пропуска строительных расходов воды. Пропускная способность турбинного колодца, в котором еще не установлен агрегат, может приближенно определяться по формулам:

$$Q = m\pi D \sqrt{2gH}^{3/2} \quad (25-6)$$

или

$$Q = 0,25 \mu \pi D^2 \sqrt{2gZ}, \quad (25-7)$$

где D — диаметр всасывающей трубы в верхнем ее конце (фиг. 25—8).

¹ См. статьи В. И. Даниловича «Вскрытие и заделка донных отверстий» и К. И. Мельниченко и Е. И. Залькиндсона «Закрытие донных отверстий». в журнале «Гидротехническое строительство» № 3, 1947.

4. Пропуск строительных расходов воды через судходные шлюзы и здания гидроэлектростанций

а) Камеры судходных шлюзов могут быть использованы в несудоходный период для пропуска строительных расходов, если короли их заложены достаточно низко, имеется достаточное крепление дна камеры и русла в нижнем бьефе и предусмотрен аварийный

H — глубина воды верхнего бьефа над верхним кольцом всасывающей трубы;

Z — разность горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов (напор в строительный период);

m и μ — коэффициенты расхода, принимаемые $m \approx 0,24$ и $\mu \approx 0,70$.

Формула (25—6) соответствует случаю свободного перелива через входное сечение всасывающей трубы при I положении горизонта воды верхнего бьефа (фиг. 25—8), не подтапливаемое уровнем нижнего бьефа, и когда в турбинной камере имеет место свободная поверхность потока; формула (25—7) дается для случая напорного движения при II положении горизонта воды верхнего бьефа. При горизонте верхнего бьефа ниже отметки потолка турбинной камеры, т. е. при наличии в последней свободной поверхности, и при горизонте нижнего бьефа ниже отметки верхнего сечения всасывающей трубы расход следует определять по обеим формулам и брать меньшую из полученных величин.

Пропускная способность турбинных колодцев здания ГЭС при сравнительно малых напорах в первое время строительства (во время перекрытия русла банкетом) довольно ограничена. Ее можно увеличить¹ путем устройства временных пониженных порогов на конусах всасывающих труб или устройства временных отверстий в этих конусах, например, по предложению П. П. Лаупмана (на фиг. 25—8 зона временных отверстий обозначена цифрой IV).

В зданиях ГЭС, совмещающих в себе и донные водосбросы, делаются временные (на строительный период) отверстия из последних во всасывающие трубы. Заделка временных отверстий выполняется под защитой эксплуатационных затворов ГЭС.

Б. СХЕМЫ ВОЗВЕДЕНИЯ РЕЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ОТВОДОМ РЕКИ В СТОРОНУ ОТ ЕЕ РУСЛА

§ 149. СХЕМЫ ВОЗВЕДЕНИЯ НАПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ОТВОДОМ РЕКИ ИЗ ЕЕ РУСЛА

Возможны две основные схемы возведения напорных сооружений с отводом реки в сторону:

1) водопропускные сооружения гидроузла строятся не в русле, а на берегу, в пойме реки, с последующим подводом реки к этим сооружениям и перекрытием основного русла глухой преградой, обычно земляной плотиной, без перемычек; это — так называемый **пойменный способ**²;

2) постройка водопропускных сооружений производится в русле реки, огражденном перемычками, перекрывающими всю ширину реки. расходы же воды пропускаются в это время по искусственному руслу: лотку, каналу, туннелю.

1. Способ отвода реки с постройкой на отводе основных водопропускных сооружений (пойменный способ)

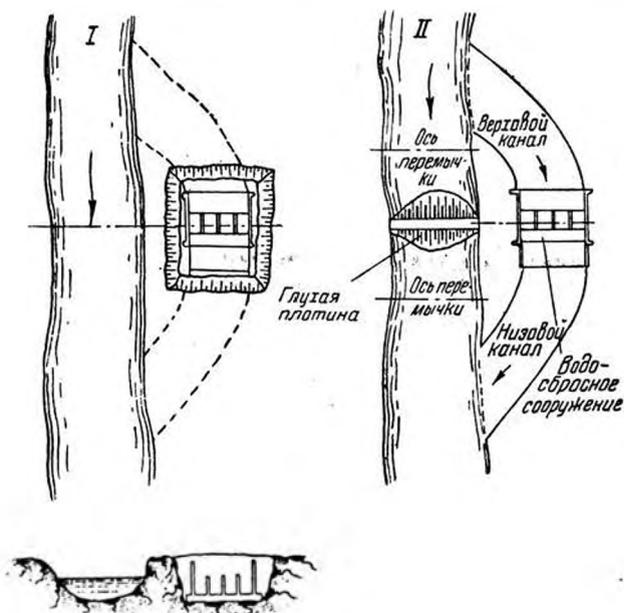
При этом способе, впервые разработанном и широко применяющемся в СССР, водосбросные сооружения узла, а иногда и другие бетонные

¹ Этому вопросу посвящено несколько статей в журнале «Гидротехническое строительство»: П. П. Лаупмана и А. А. Бережного — № 1 и 3, 1951, и Л. Л. Смирчека — № 4, 1952.

² В литературе пойменный способ иногда называется береговым, что не вполне точно.

сооружения его (например, здание ГЭС), строятся не в русле реки, а на берегу (на пойме) насухо, с ограждением котлована лишь от грунтовых вод и паводков, если это требуется (фиг. 25—9). Затем подготавливаются верховой и низовой каналы, соединяющие эти сооружения с рекой, и далее воды реки, проходившие до того по бытовому руслу, направляются в береговой отвод, а русло перекрывается глухим сооружением. В сооружениях, построенных на отводе для пропуска речных вод в период, когда будет закрываться бытовое русло реки, должны быть оставлены отверстия типа донных или пролеты гребенки, как и в способе секционных перемычек.

Закрытие бытового русла ведется или под защитой перемычек, или же чаще без перемычек, путем устройства сооружений, например, земляной плотины в текущей воде. Достройка же бетонных сооружений на бе-



Фиг. 25—9. Схема пойменного способа возведения сооружений гидроузла

реку производится затем методом гребенки или методом донных отверстий. При этом темпы закрытия русла глухой плотиной должны опережать подъем уровня верхнего бьефа при закрытии гребенки, если эти работы ведутся одновременно, а лучше и надежнее заканчивать закрытие русла до начала закрытия гребенки, если это по срокам и гидрологическим условиям удастся.

Пойменный метод имеет большие производственные преимущества: постройка бетонных сооружений ведется вне влияния русловых явлений (ледохода, наносов, судоходства), которые до перекрытия русла совершаются так же, как это было до начала строительства гидроузла. Получается экономия времени, которое потребовалось бы в секционном способе на неоднократное устройство и разборку перемычек, затопление и откачку котлованов; следовательно, сроки строительства сокращаются. Работы по сооружениям в отводе ведутся в благоприятных условиях (лучшая связь со строительной площадкой, защищенность котлована от воздействий воды, кроме грунтовой, и др.); причем к этим работам можно приступить раньше, чем при секционном методе.

Однако этих преимуществ может оказаться иногда недостаточно для того, чтобы выбрать именно пойменный метод: он требует значительного увеличения объема земляных работ (выемка берегового отвода, перекрытие русла глухой плотиной), в то же время сооружение перемычек может быть существенно ускорено применением некоторых новых типов их (с использованием стального шпунта).

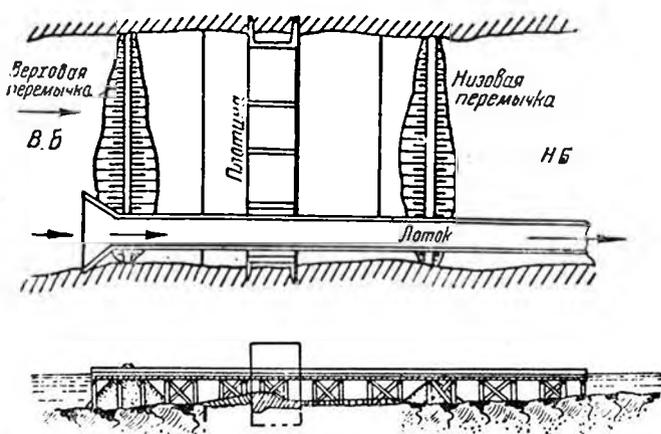
С другой стороны, выемки обводных каналов в речной пойме легко выполняются гидромеханизацией, а отводящие от водосброса и ГЭС каналы иногда могут быть выполнены саморазмывом¹, что ведет к удешевлению пойменного метода.

Поэтому каждый раз вопрос о целесообразности применения пойменного способа должен решаться отдельно — технико-экономическим сопоставлением различных вариантов.

В некоторых случаях может оказаться более экономичным способ полупойменный, при котором водосбросные сооружения частично располагаются на пойме, а частично в русле.

2. Способ отвода воды лотками

Способ этот применяется только при постройке низконапорных гидротрун на малых реках, если удастся все работы по русловым сооружениям закончить в период межени, между паводками, в период, когда расходы воды в реке очень малы. Лоток делается обычно деревянным, на эстакаде, начинается он у верхней перемычки, преграждающей



Фиг. 25—10. Схема отвода воды лотком

русло выше сооружения, и заканчивается ниже низовой (фиг. 25—10). Лоток устанавливается на отметках выше порога отверстий плотины и размещается в одном из пролетов ее.

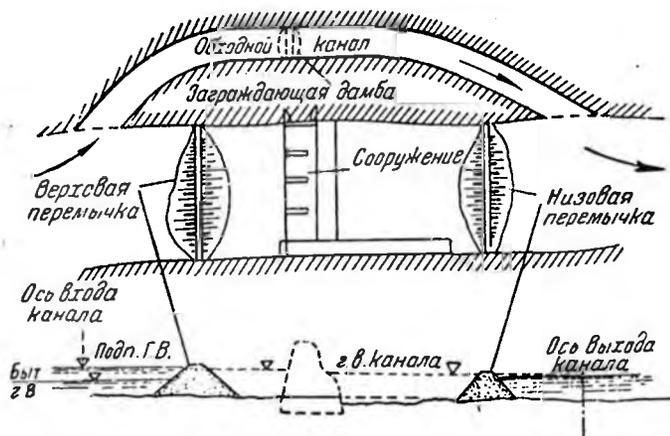
Метод лотков имеет ряд недостатков: лотки дают течь, зимой обмерзают и пропускная способность их уменьшается; кроме того, требуются относительно более высокие перемычки, чем в других спосо-

¹ А. А. Жимский, Саморазмыв отводящего тракта гидроэлектростанции постепенно нарастающим расходом воды, журнал «Гидротехническое строительство» № 6. 1952.

бах. К этому методу прибегают только при постройке деревянных плотин, а также при ремонте и иногда при восстановлении поврежденных сооружений.

3. Отвод воды обходным каналом

При этом способе устраивается канал для отвода реки из ее русла по одному из берегов, где он может быть выполнен с наименьшими работами, например, по более низкому берегу, по естественным понижениям — старым руслам, по спрямлениям извилин реки и пр. (фиг. 25—11). Канал рассчитывается на расход воды, возможный в



Фиг. 25—11. Схема отвода воды обходным каналом

течение периода постройки основного сооружения; при этом паводки, если они значительны, пропускаются обычно и по каналу, и по руслу реки поверх перемычек, с прекращением на это время строительных работ.

По окончании постройки русловых сооружений обходной канал перекрывается глухой земляной или набросной плотиной (аналогично закрытию речных русел, или же на нем устраивается эксплуатационный водосброс, например, траншейный водослив или водоспуск.

4. Способ отвода воды туннелями

При наличии крутых и высоких берегов, особенно скальных, и недостаточной ширины русла для того, чтобы вести работы в нем по очередям способом секционных перемычек, устраивается туннельный отвод воды (фиг. 15—11, часть I).

Размеры туннеля выбирают, исходя из расчетного строительного расхода, соображений об использовании туннелей в эксплуатационных условиях и экономически целесообразного соотношения высоты перемычки и сечения туннеля. Последнее определяется таким образом: для различных вариантов высоты верховой перемычки и подпора воды перед ней определяют геометрические уклоны безнапорного или напорного туннеля, а зная их, скорости течения и расчетную площадь сечения туннеля. Чем выше перемычка, тем большие скорости получатся в туннеле и тем меньше будут размеры сечения и стоимость его. Беря сумму затрат на возведение перемычки и туннеля для разных возможных

высот перемычки, можно построить кривую стоимости сооружений для отвода воды в зависимости от принимаемой отметки гребня перемычки и по этой кривой найти минимум стоимости и экономически целесообразные отметки перемычки и площадь сечения туннеля.

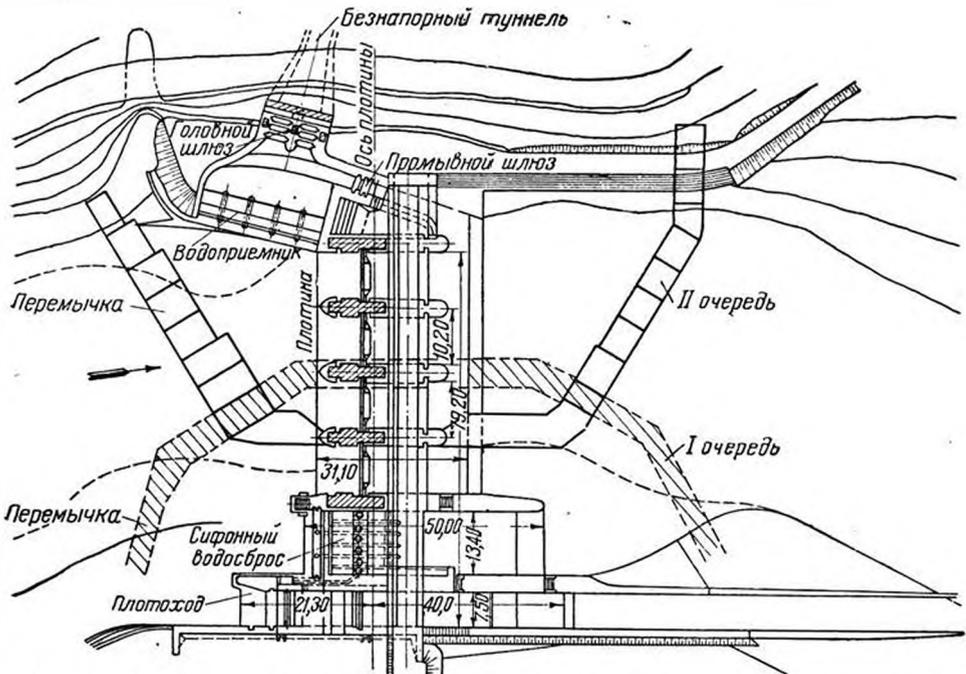
Туннельный отвод особенно целесообразен, если туннель в дальнейшем используется под эксплуатационный водосброс (шахтный водосброс, водоспуск, водоприемник и т. п.), что обычно и делается (гл. 15 ч. I).

В. ВЫБОР СХЕМЫ ПРОПУСКА ВОДЫ И ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛ В ПЕРИОД ПОСТРОЙКИ ГИДРОУЗЛОВ

§ 150. ВЫБОР СХЕМЫ ПРОПУСКА ВОДЫ, ЛЬДА И ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛ В ПЕРИОД ПОСТРОЙКИ ГИДРОУЗЛОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

1. Низконапорные узлы

При постройке таких узлов, все сооружения которых размещаются в пределах меженного русла, способ пропуска воды путем секционных перемычек наиболее распространен, чаще всего в две очереди.

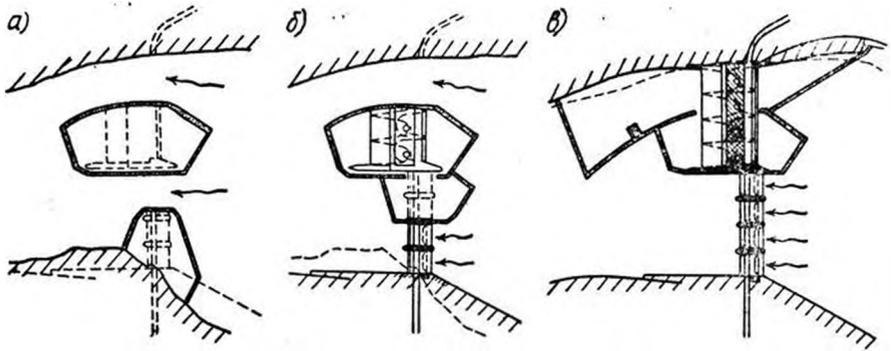


Фиг. 25—12. Схема очередности строительства транспортно-водозаборного узла на среднем течении горной реки

Если в узле имеется водозабор, то в первую очередь перемычками ограждаются котлован его и промывных отверстий плотины, имеющих низкий порог. Вода, сплавляемый молам лес и пр. направляются в стесненную часть русла. Во вторую очередь вода направляется в промывные отверстия и в водозабор с выпуском через концевой водоспуск опять в реку; перемычками же ограждается собственно плотина. Сплав-

ляемый лес может быть направлен или в открытые (не донные) промывные отверстия, или в одно из отверстий плотины, если оно было выстроено в период первой очереди.

В качестве примера приведена схема строительства одного из наших транспортно-водозаборных гидроузлов (часть I, фиг. 1—2). Здесь, чтобы обеспечить лесослав в период всего строительства, первая очередь перемычек включала два пролета плотины, сифонный водосброс и плотход на правом берегу (фиг. 25—12), а не водозабор, как это обычно делается; во вторую очередь строились остальные два пролета плотины (с низким порогом) и водозабор (водоприемник). Переходная перемычка (второй очереди) примыкала к быку плотины.



Фиг. 25—13. Схемы возведения гидроузла в три очереди

Другой пример (на более многоводной реке) — строительство гидроузла в составе гидроэлектростанции из четырех агрегатов и водосливной плотины с четырьмя отверстиями, которое велось в несколько очередей: первая очередь — два левобережных пролета плотины (фиг. 25—13,а) и часть здания ГЭС с пропуском воды и судов через два прорана; вторая очередь — окончание постройки плотины (фиг. 25—13,б) с пропуском воды через правый проран и два отверстия плотины; третья очередь — законченная плотина с низким порогом, ограждение перемычками всей ГЭС (фиг. 25—13, в). Интересно отметить, что здесь применялись бетонные продольные перемычки для уменьшения стеснения русла реки, поскольку паводки реки пропускались при незатопляемых перемычках. Это же вызвало необходимость разбивки работ на 3 очереди.

2. Гидроузлы среднего напора на равнинных реках

Эти узлы состоят обычно (часть I, фиг. 1—3) из водосброса, здания ГЭС, судоходных шлюзов и глухих плотин (земляных). При русловой схеме возведения узла водосбросные сооружения строятся в русле методом секционных перемычек, а пойменные глухие плотины, шлюзы и прочие сооружения возводятся одновременно без перемычек или с ограждением перемычками лишь против затопления в паводок. При секционировании реки целесообразно использовать деление русла на рукава, где острова явятся естественными продольными перемычками. Закрытие гребенки водосброса делается, когда земляные и другие пойменные сооружения уже возведены.

Некоторые осложнения создают судоходные шлюзы: чтобы они могли пропускать суда в период постройки, необходимы глубокий подход

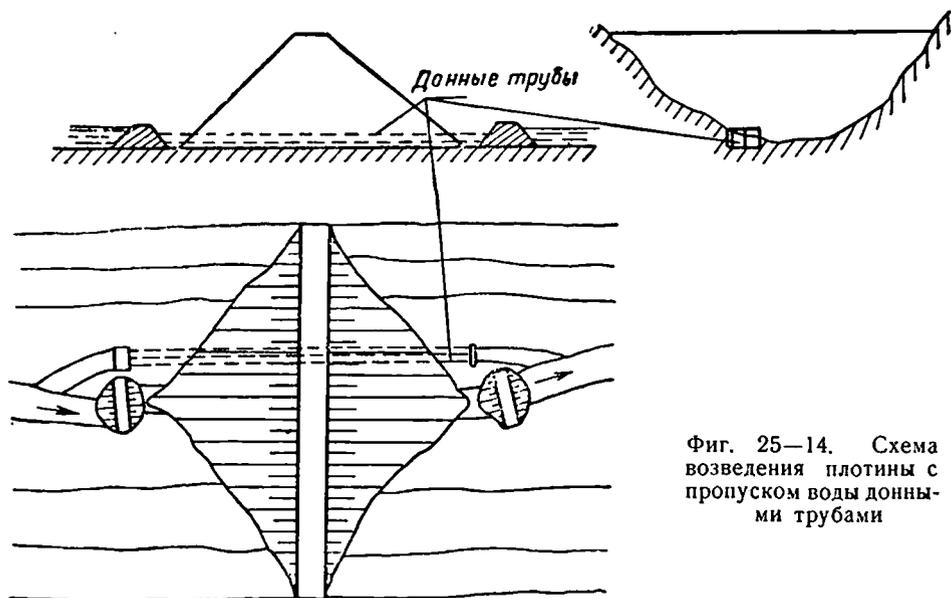
мый канал в верхнем бьефе и глубокое заложение короля верхней головы шлюза, что может сильно удорожить узел. Иногда оказывается более экономичным вариант, при котором шлюз на пойме строится со стенкой падения или многокамерный, а для пропуска судов и плотов в период постройки узла у одного из берегов в реке строится временный шлюз небольшого напора (образуемого в узле в период застройки русла), упрощенной конструкции, например, в пролетах плотины, или с ряжевными головами, земляными откосными стенами и т. п. В период замыкания напорного фронта (обычно зимой) этот шлюз ликвидируется. Другой вариант при схеме из двух шлюзов, разделенных разъездным бьефом, заключается в использовании в строительный период лишь нижнего шлюза, к которому делается временный подход из верхнего бьефа.

При пойменной схеме строительства водосброс, а иногда и здание ГЭС, строятся за невысокими перемычками или даже без них в пойме реки и после подготовки этих бетонных сооружений к пропуску строительных расходов русло закрывается глухой земляной или смешанной плотиной. К этому времени судоходный шлюз должен быть готов к пропуску судов.

Пойменные плотины строятся по частям, не вызывая особого стеснения потока, последний их участок выполняется по проходе паводка с расчетом окончания всех работ до зимы¹.

3. Гидроузлы среднего напора на горных реках

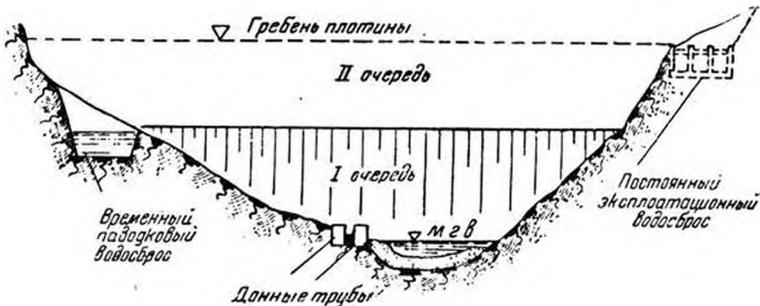
На крупных реках, с большими расходами воды и достаточной шириной, применяется секционный метод пропуска воды.



Фиг. 25—14. Схема возведения плотины с пропуском воды донными трубами

¹ Опыт Волгостроя и других строек показал, что возведение намывных дамб можно при соответствующих производственно-технических условиях заканчивать и зимой.

На реках с меньшими расходами, где река перекрывается глухой плотиной (например, земляной или набросной), а водосбросы устраиваются на берегу (часть I, фиг. 1—4), могут быть два вида пропуска воды: при помощи донных труб или с отводом воды туннелем, как в высоконапорных узлах. Схема возведения узла с пропуском воды через донные трубы показана на фиг. 25—14: котлован плотины ограждается верхней и нижней перемычками, а вода пропускается через трубы под будущим телом плотины. В зависимости от плана работ и размеров паводка трубы могут быть рассчитаны на пропуск паводка или только на работу в межпаводочный период. В последнем случае может наступить осложнение, когда плотину не удастся по создавшимся условиям выстроить в межпаводочный период и приходится по реке пропускать паводок, когда сооружение еще не достроено. В этом случае иногда прибегают к временным водосбросам на берегу на отметке, соответствующей высоте возведенной части плотины, как показано на фиг. 25—15; это, конечно, удорожает сооружение. В паводок допускают перелив



Фиг. 25—15. Схема пропуска паводка временным строительным водосбросом

воды через выстроенную часть бетонной, железобетонной или каменно-набросной плотины, при условии, что будут приняты соответствующие меры по защите основания от разрушения водой и по подготовке каменной наброски для сброса воды.

4. Гидроузлы высокого напора

Как правило, такие узлы строятся с отводом реки от места постройки туннелями или донными трубами. Число туннелей зависит от расходов реки; бывает один или несколько — два, четыре туннеля; схема такого отвода показана на фиг. 1—6 (часть I).

Высоконапорные узлы на крупных многоводных реках могут строиться за перемычками секционным способом.

5. Выбор схемы пропуска воды, льда, судов и пр.

Выше даны лишь общие указания по данному вопросу, конкретно же приходится прорабатывать ряд вариантов, учитывающих местные условия, сопоставлять их и выбирать оптимальный по срокам работ, соответственно имеющимся строительным возможностям и по стоимости.

Большую помощь в выборе правильной схемы и в ее осуществлении оказывают лабораторные исследования этапов строительства гидроузлов на моделях в гидролабораториях (гл. 34).

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ШЕСТАЯ

ПЕРЕМЫЧКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

§ 151. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩИЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ПЕРЕМЫЧЕК

1. Общие положения

Перемычками называются временные подпорные сооружения, ограждающие котлованы (места возведения) основных, постоянных объектов строительства от затопления их водой¹ речной, озерной или морской и позволяющие вести строительные или ремонтные работы насухо.

Перемычки представляют собой по существу временные плотины, работающие иногда в несколько своеобразных условиях воздействия обтекающего их потока и возводимые, за исключением береговых и пойменных перемычек, в текучей воде. Обычно по миновании в них надобности перемычки разбираются, если они не входят в тело постоянных сооружений или если разборка не является необходимой по техническим и экономическим соображениям.

Поперечный профиль перемычек выбирается не только из условий безопасной фильтрации и устойчивости их как подпорных сооружений, но и исходя из производственных требований: обеспечения возможности транспорта по верху перемычки (что определяет ширину гребня), установки строительного оборудования и пр.

2. Классификация перемычек

а) По характеру воздействия речного потока на перемычки последние могут быть разбиты на две группы: 1) поперечные, направление оси которых в русле и на пойме нормально к направлению потока или близко к таковому (фиг. 25—1, 25—3, 25—4), 2) продольные, направление которых совпадает или близко к направлению потока (фиг. 25—1, 25—3, 25—4), и 3) переходные, или секционные, сопрягающие перемычки следующей очереди с уже возведенными частями сооружения и работающие как продольные. Кроме того, перемычки, как было указано в § 146, могут быть затопляемыми и в паводок и незатопляемыми.

Продольные перемычки и их основание, а также переходные перемычки подвергаются размывающему действию движущейся в стесненном русле с повышенными скоростями воды, воздействию льда и плавающих тел; поперечные — или совсем не подвергаются размывающему действию воды, как, например, при преграждении всего русла в случае отвода его в сторону (фиг. 25—11), или сравнительно слабому воздействию, увеличивающемуся лишь у места примыкания их к продольной перемычке. Различают поперечные перемычки — верховую и низовую, в зависимости от положения их по течению реки.

б) По месту расположения перемычки речных гидроузлов делятся на русловые, возводимые в межennem русле реки, и пойменные, возводимые на пойме и подвергающиеся воздействию лишь паводочных вод.

в) По конструкции и материалу различают перемычки: 1) земляные; 2) каменно-набросные; 3) козловые; 4) подкосные (контр-

¹ В данном случае в рассмотрение не включаются перемычки, устраиваемые на местности, не затопляемой поверхностными водами, для защиты котлована от грунтовых вод; такие перемычки рассматриваются в курсах оснований и фундаментов.

форсные); 5) шпунтовые; 6) ячеистые; 7) каркасные; 8) ряжевые; 9) понтонные; 10) кессонные; 11) бетонные и др.

§ 152. ПЕРЕМЫЧКИ ЗЕМЛЯНЫЕ, КАМЕННО-НАБРОСНЫЕ И ИЗ ДРУГИХ ПОДРУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Земляные перемычки

Земляные перемычки устраиваются:

а) для секционного закрытия русла при малых глубинах (1—1,5 м) и небольших скоростях течения в реке (до 0,5—0,7 м/сек) — из местного песчано-глинистого грунта насыпным способом, а из песка, песчано-гравелистого и супесчаного грунта — намывом;

б) в качестве поперечных перемычек или для полного перегораживания русла при больших глубинах, обычно с предварительным устройством каменного банкета (гл. 12), выполняются насыпкой или намывом в воду;

в) в качестве ограждения котлованов сооружений в пойме, где перемычка может быть возведена насухо и где скорости движения воды обычно малы;

г) для полного преграждения русла и поймы при постройке высоконапорных плотин; в этом случае перемычка представляет собой земляную плотину, иногда значительной высоты (достигают 25 м), возводимую иногда под защитой своей вспомогательной перемычки.

Конструкции земляных перемычек, по существу, не отличаются от конструкций земляных плотин.

Отличием являются лишь: 1) отсутствие долговечных, а иногда и всяких креплений откосов и гребня; 2) отсутствие обычно специального дренажа тела перемычки; 3) несколько более крутые откосы, чем в постоянных плотинах. В случае необходимости выход фильтрационных вод на низовой откос упорядочивается упрощенным наклонным обратным фильтром.

Земляные поперечные перемычки в случае большой глубины воды получают значительную ширину понизу и тем удлиняют продольную перемычку, требуя к тому же серьезного крепления омываемого откоса. В качестве продольных перемычек они редко применяются, так как сильно стесняют русло и подвержены размывающему действию воды. Требуя больших объемов работ по сравнению с другими типами, земляные насыпные перемычки требуют и значительного времени для возведения и разборки. Поэтому рекомендуется использовать для последней цели размывающее действие речного потока. Рекомендуется также по возможности вводить земляные перемычки в тело земляной плотины как упорных призм в основании откоса. Весьма целесообразны перемычки, возводимые методом намыва.

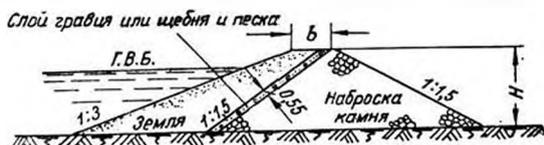
В СССР в ряде случаев¹ земляные перемычки возводились методом массовых взрывов, при которых грунт с берегов падал в русло реки в назначенное место, образуя необходимую насыпь.

Разновидностью земляных перемычек для малых рек являются невысокие перемычки из мешков, наполненных землей. Эти перемычки труднее размываются водой и могут иметь более крутые откосы.

¹ С. М. Просняцкий, Устройство перемычек с помощью взрывов, журнал «Гидротехническое строительство» № 7, 1947.

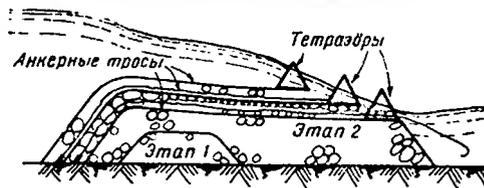
2. Каменно-набросные перемычки

Перемычки из каменной наброски можно устраивать в тех случаях, когда на месте имеется камень, т. е. главным образом на горных реках. Разборка этих перемычек, по конструкции аналогичных набросным плотинам с земляными экранами (фиг. 26—1), весьма затрудни-



Фиг. 26—1. Каменно-набросная перемычка с земляным экраном

тельна, поэтому при секционном методе они хоть и применяются в качестве поперечных, но редко; исключением является тот случай, когда перемычка входит в тело плотины из каменной наброски или земляной. В последнем случае перемычки обычно делаются из наброски камня в воду и с экраном из супесчаного прунта на слое грубого фильтра. Перед принятием плотинной напора экран низовой перемычки надо разобрать, хотя бы участками, чтобы дать выход фильтрационной воде из плотины в нижний бьеф.



Фиг. 26—2. Применение заанкеренных блоков при наброске перемычки на р. Роне

Целесообразно также при известных местных условиях устраивать набросные перемычки для перегораживания поймы при постройке средне- и высоконапорных плотин.

Своеобразный тип перемычки был применен при восстановлении Днепровской ГЭС в виде наброски из глыб взорванного бетона, имевшегося на месте, с напорным покрытием из брезента по откосу, выровненному бетонной мелочью и соломенными матами¹.

Каменно-набросные перемычки могут возводиться в потоках со скоростями до 2—3 м/сек и больше, но при применении в последнем случае более крупного камня или специальных блоков из бетона, соответствующих скорости потока [формула (13—7)]. При перекрытии русел по мере возведения наброски скорости течения возрастают, так что и в этих случаях требуется более крупный камень, бетонные блоки и «связки» блоков (весом на Каме до 4,2 т). Специальные заанкеренные на тросах блоки в виде тетраэдров применялись на р. Роне (фиг. 26—2). Проф. С. В. Избаш предложил специальные железобетонные каркасы («ежи» и «якоря») для верхней части наброски, под защитой которых легко досыпать напорный откос каменной наброской при значительных скоростях течения².

При устройстве набросной перемычки в русле с легко размываемыми грунтами следует в основании перемычки предварительно отсыпать защитное покрытие по типу грубого обратного фильтра из гравия, щебня и мелкого камня.

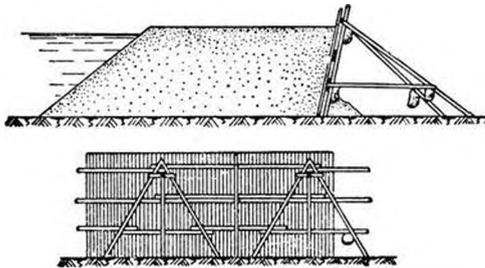
3. Козловые песчаные перемычки

Этот тип перемычек представляет собой переход к шпунтовым перемычкам. Деревянные козлы, перекрытые щитами (фиг. 26—3), опус-

¹ Журнал «Гидротехническое строительство» № 3, 1946, стр. 11—12.

² Журнал «Гидротехническое строительство», № 4, 1954, стр. 12—14.

каются в воду под пригрузкой камней или мешков с песком и являются ограждением, воспринимающим распор от насыпаемого или намываемого (рефулируемого) песка. Эти деревянные щиты уменьшают размер песчаной перемычки в плане и несколько организуют выход фильтрационной воды. Для еще большего обжатия профиля перемычки и защиты ее от волнения и размыва применяют иногда второй ряд внешних козел со щитами. Этот тип перемычки хорошо зарекомендовал себя в условиях разнородного песка, который обладает способностью некоторого самозаиления под влиянием фильтрации.



Фиг. 26—3. Козловая песчаная перемычка

Козловые песчаные перемычки были предложены инж. Л. В. Юргевичем и широко применялись у нас на Днестре. Они целесообразны в руслах с плотным неразмываемым дном (скалой) при наличии вблизи песка и лесного материала, которого требуется довольно много.

Такие перемычки возводятся при глубинах реки до 4—4,5 м, но имеются случаи применения их и на глубине до 8 м при более сложной конструкции козел.

4. Фашинные и сипайные перемычки

На небольших реках перемычки могут быть устроены по типу плотин из подручных материалов (см. § 91, часть I).

Так, иногда делают перемычки из фашин (пучков хвороста, фиг. 32—1), так называемых тяжелых, груженых внутри галькой или камнем и опускаемых с берега в воду (пионерным способом)¹.

После перекрытия русла фашинами со стороны верхнего откоса делается земляная отсыпь для обеспечения водонепроницаемости. Эта отсыпь дополнительно кольматируется оседающими речными наносами.

На реках Средней Азии применяют для устройства перемычек сипай (см. фиг. 32—3), представляющие собой бревенчатые треноги, опускаемые на дно реки и погружающиеся в слабый грунт под действием их загрузки кладкой камня, хвороста, соломы или камыша. Применяются и четырехногие сипай.

Сипайная перемычка постепенно кольматируется обильными наносами реки, что характерно для среднеазиатских рек, и приобретает достаточную водонепроницаемость. Возведение сипайных перемычек возможно при скоростях течения до 3—4 м/сек и более, причем они могут поддерживать напор до 4—5 м.

§ 153. ШПУНТОВЫЕ, ЯЧЕЙСТЫЕ И РЯЖЕВЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

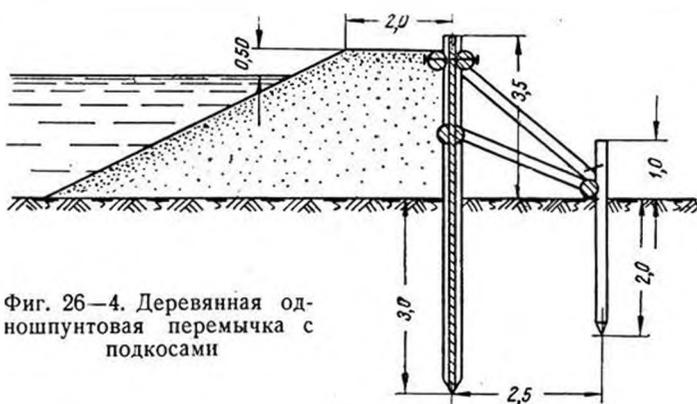
Применение земляных, каменно-набросных и аналогичных им перемычек становится невозможным при наличии более или менее значительных скоростей течения в потоке, особенно направленных вдоль перемычек, и ограничивается из-за большой ширины их по основанию,

¹ На среднеазиатских реках применяются фашины из камыша с заполнением землей (так называемые карабуры).

создающей значительное стеснение. Рассматриваемая ниже группа перемычек полностью или в значительной мере свободна от этих недостатков.

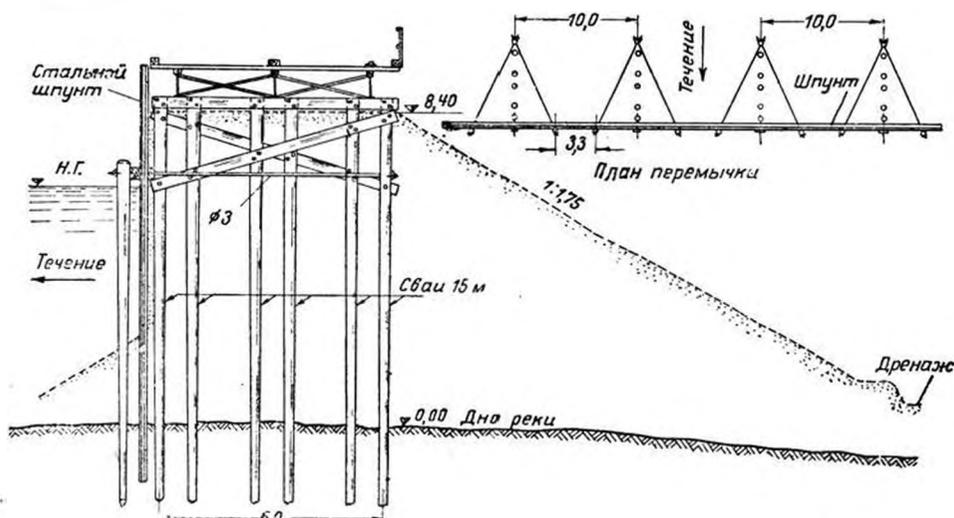
1. Шпунтовые перемычки

Шпунтовые перемычки являются одним из распространенных типов этого рода временных сооружений. Различают одношпунтовые и двухшпунтовые перемычки, выполняемые с применением деревянных или металлических шпунтов.



Фиг. 26—4. Деревянная одношпунтовая перемычка с подкосами

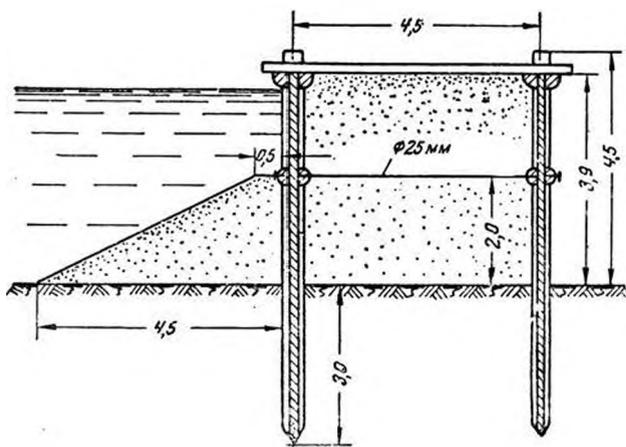
а) Одношпунтовые перемычки представляют собой шпунтовые стенки, забиваемые в грунт русла и обсыпанные для получения достаточной водонепроницаемости песчаным или песчано-глинистым грунтом.



Фиг. 26—5. Стальная одношпунтовая перемычка с анкерами

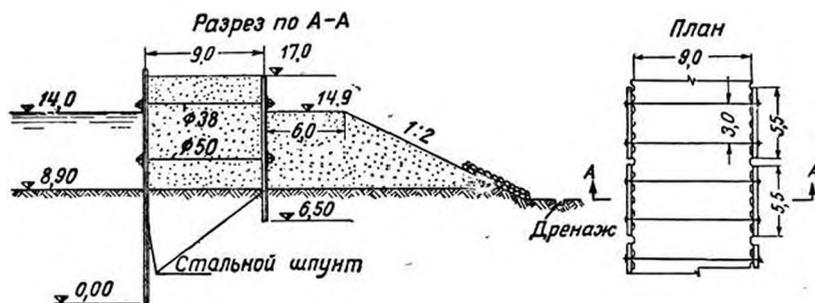
Так как шпунтовая стенка работает на горизонтальную нагрузку от земляной засыпки и воды, как консоль, то свободная высота такой перемычки не может быть больше 1,5—2 м для деревянных шпунтов и 2—4 м для стальных шпунтов (в зависимости от выбранного профиля). При большей глубине воды такие стенки устраиваются с подкосами (фиг. 26—4) или с анкерами (фиг. 26—5).

Деревянные одношпунтовые перемычки могут устраиваться вообще при глубине не более 4 м, учитывая необходимость их забивки при этом на 3 м; обычно шпунт опирается на подкосы одиночные или двойные.



Фиг. 26—6. Деревянная двухшпунтовая перемычка

Стальные одношпунтовые перемычки, конструируемые обычно анкерными, могут быть устроены при глубинах до 6—7 м и даже до 9 м в зависимости от профиля шпунта.



Фиг. 26—7. Стальная двухшпунтовая перемычка

б) Двухшпунтовые перемычки можно возводить на большей глубине, они могут быть и продольными и почти не боятся переливов воды.

Деревянные двухшпунтовые перемычки представляют собой два шпунтовых ряда¹ с засыпкой грунта между ними, соединенные поверху схватками, а внутри стяжками (фиг. 26—6); со стороны реки делается еще иногда отсыпь для защиты перемычки от размыва и облегчения работы дерева на изгиб; иногда отсыпь делается и со стороны котлована. Высота перемычек (над дном) зависит от сортамента леса и может достигать 6—7 м (со стороны котлована необходимы подкосы, как и в одношпунтовых перемычках). Перемычка может быть выполнена и несколько выше за счет надстройки (нарубки) одно-

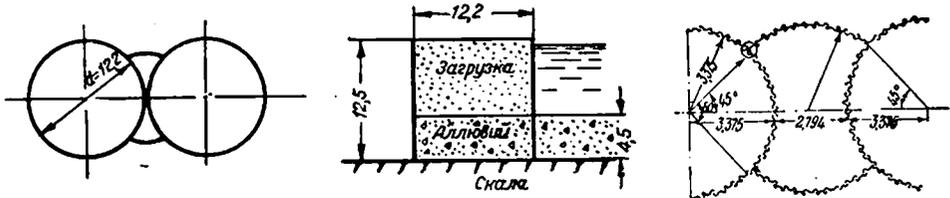
¹ При небольших глубинах применяют иногда вместо шпунтов заборчатые стенки из свай, забиваемых в грунт русла, и деревянных щитов, опирающихся на сваи, но такие перемычки менее надежны.

рядной подкосной стенки. Расстояние между шпунтами делается обычно равным или несколько больше высоты перемычки.

Стальные двухшпунтовые перемычки конструируются аналогично таким же деревянным (фиг. 26—7); расстояние между шпунтовыми рядами принимается около 0,3—1 высоты их, на уровне воды (а иногда еще, кроме того, и на глубине) ряды стягиваются стальными стяжками через 2,5—3 м; кроме того, для жесткости между шпунтами через 3—4 ширины шпунтовой стенки делаются иногда диафрагмы из шпунтин. Глубина воды у перемычек может достигать 10—12 м и более, это зависит от длины и профиля шпунта, который может быть плоским и коробчатым; последний как более жесткий применяется при больших глубинах.

2. Ячеистые стальные перемычки

Перемычки этого типа являются дальнейшим развитием двухшпунтовых перемычек и получили в настоящее время широкое распространение вследствие большой жесткости их, возможности полной механи-



Фиг. 26—8. Цилиндрические ячеистые перемычки

зации работ по забивке и разборке шпунтов, многократной «оборачиваемости» шпунтов, возможности двусторонней работы (напор то с одной, то с другой стороны) и универсальности их применения (в самых разнообразных условиях).

а) Типы перемычек. Ячеистые перемычки бывают двух типов: цилиндрические (фиг. 26—8) и сегментные с плоскими диафрагмами и криволинейными наружными стенками (сегментами) (фиг. 26—9).

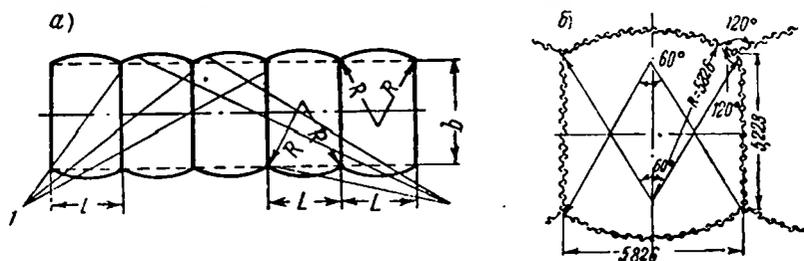
Цилиндрические перемычки состоят из отдельных цилиндров, составленных из плоских шпунтин (фиг. 26—8) и заполняемых песчаным и песчано-гравелистым грунтом. Цилиндры соединяются между собой криволинейными козырьками. Диаметр цилиндра D определяется из условия устойчивости цилиндров на сдвиг от действия горизонтальных сил и проверяется на распор от засыпки грунта.

Расстояние между цилиндрами в свету принимается конструктивно, обычно от 0,6 до 0,8 м, величина радиуса козырька выбирается также по конструктивным соображениям.

Сегментные перемычки (фиг. 26—9) рассчитывают следующим образом: ширину их b — определяют из условий устойчивости всей перемычки на сдвиг, а радиусы кривых R — по условиям распора грунта засыпки; расстояния между диафрагмами L получают, исходя из величины центрального угла сегментных стенок в 60° , т. е. $L=R$, а сами диафрагмы рассчитываются на разрыв от действия распора засыпки на участке L .

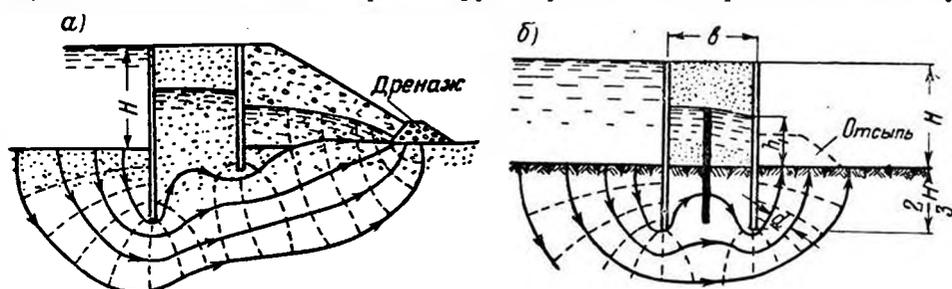
Цилиндрические перемычки выгодны при не очень больших напорах, так как с увеличением напора увеличивается D , а с ним растяжение в замках [см. формулу (26—12)]; сегментные перемычки в этом

отношении лучше, так как при росте ширины перемычки b с высотой напора радиус стенки может быть ограничен за счет уменьшения расстояния между диафрагмами. На практике высота цилиндрических перемычек достигает 10—13 м при длине шпунтин 16—18 м, высота сегментных до 15—20 м при длине шпунтин до 35—40 м.



Фиг. 26—9. Сегментные ячеистые перемычки

Цилиндрические перемычки имеют то преимущество, что отдельные цилиндры забиваются и заполняются грунтом независимо друг от друга, что позволяет иметь широкий фронт работ, в то время как засыпку



Фиг. 26—10. Схема фильтрации и дренажа ячеистой перемычки

сегментных надо вести в определенной последовательности во избежание недопустимого прогиба диафрагм от неодинакового уровня засыпки в ячейках.

Для ячеистых перемычек применяется обычно плоский шпунт ШП-1 (ГОСТ 4781-49); шпунтины могут поворачиваться в замках на угол до 20°. Соединения в углах примыканий козырьков и диафрагм к наружным стенкам делаются при помощи фасонных шпунтин.

В целях экономии металла иногда стенки со стороны котлована не доводят до той высоты, которую имеют наружные (фиг. 26—10,а), диафрагмы также делаются не до верха. Со стороны котлована полезно делать земляную присыпку (фиг. 26—10,а) как для увеличения устойчивости, так и во избежание суффозии и выпора, который возможен в результате фильтрации (фиг. 26—10,б).

б) Фильтрация воды через перемычки. Расчет фильтрации через ячеистую перемычку делается вначале без учета роли шпунтов. По исследованиям П. Я. Полубариновой-Кочиной, расход воды на 1 пог. м прямоугольной перемычки (при отсутствии воды в нижнем бьефе ее, $h=0$) можно определять по формуле Дюпюи (фиг.

26—10,б): $q = \frac{kH^2}{2b}$ (где b —ширина перемычки), а ординату высачивания h_1 по формуле

$$h_1 = 1,35 \frac{q}{k}. \quad (26-1)$$

Учитывая щелистость шпунтов (гл. 8, § 49), оцениваемую для замков, незаполненных грунтом, по данным Водгео в виде уменьшения расхода фильтрации до $0,25 q$ (где q —расход фильтрации через грунт засыпки), величину h_1 можно считать равной примерно

$$h_1 \approx 0,35 \frac{q}{k}. \quad (26-2)$$

В случае водонепроницаемых шпунтов фильтрационная сетка строится графически (см. фиг. 26—10).

в) Статические расчеты ячеистых перемычек заключаются в том, что проверяется: 1) прочность на сдвиг шпунтин в вертикальной плоскости и прочность шпунтинных замков на разрыв от действия распора засыпки и давления фильтрационной воды и 2) устойчивость на сдвиг по основанию, как всякого подпорного сооружения¹.

Расчет прочности на сдвиг шпунтов в вертикальной плоскости дан впервые проф. Б. Н. Жемочкиным в 1935 г. При действии давления воды W на 1 пог. м ячеистой перемычки (фиг. 26—11) момент его M должен в предельном случае уравновеситься моментом трения в замках шпунтов, реакции основания S , трения грунта о шпунты, возникающего от распора грунта и пассивного давления ϵ_p с нижней стороны шпунта (схема деформации перемычки показана на фиг. 26—12).

В величину силы T_1 входит сила трения между двумя призмами грунта (одна заштрихована) и сила трения в замках поперечных стенок AB , отнесенная к 1 пог. м перемычки:

$$T_1 = E \operatorname{tg} \varphi + Ef = E (\operatorname{tg} \varphi + f), \quad (26-3)$$

где E — рассчитывается по Кулону;
 φ — угол трения грунта засыпки;
 f — коэффициент трения в замках (сталь по стали).

Сила T_2 составляется из силы трения грунта о шпунт и трения в замках Ef , т. е.

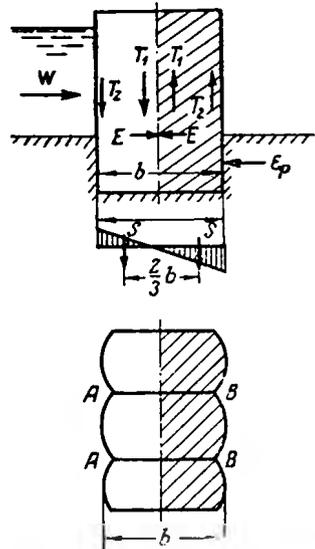
$$T_2 = E \operatorname{tg} \varphi_0 + Ef = E (\operatorname{tg} \varphi_0 + f). \quad (26-4)$$

Величина силы

$$S = T_1 - T_2.$$

Если обозначить момент силы ϵ_p через M_p , то выражение равенства моментов активных и реактивных сил при коэффициенте запаса K примет вид:

$$\begin{aligned} KM &= S \frac{2}{3} b + T_2 b + M_p = (T_1 - T_2) \frac{2}{3} b + T_2 b + M_p = \\ &= \frac{Eb}{3} (2 \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_0 + 3f) + M_p \end{aligned} \quad (26-5)$$



Фиг. 26—11. Схема к статическому расчету ячеистой перемычки

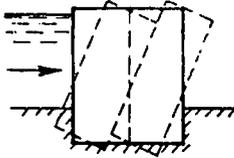
¹ Подробнее о расчетах ячеистых перемычек статических, фильтрационных и др. см. И. В. Федоров и В. И. Титова, Ячеистые конструкции из металлического шпунта, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952.

■

$$K = \frac{Eb}{3M} (2 \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_0 + 3f) + \frac{M_p}{M}. \quad (26-6)$$

Для случая слабого основания, когда вместо T_2 вводится предельное сопротивление шпунта выдергиванию, которое очень мало и исключается из расчета:

$$K = \frac{2}{3} \cdot \frac{Eb}{M} (\operatorname{tg} \varphi + f) + \frac{M_p}{M}. \quad (26-7)$$



Фиг. 26—12. Схема деформации ячеистой перемишки

В случае скального основания, когда шпунты с нижней стороны перемишки не могут погружаться, как в случае не-скального, а с верхней шпунт слабо сопротивляется выдергиванию, значение коэффициента запаса выразится так:

$$K = \frac{2}{3} \cdot \frac{Eb}{M} (\operatorname{tg} \varphi + 0,25 \operatorname{tg} \varphi_0 + 1,25 f) + \frac{M_p}{M}. \quad (26-8)$$

Для ячеек цилиндрической формы с диаметром цилиндра D уравнения (26—6), (26—7) и (26—8) преобразовываются в следующий вид:

для нескальных оснований

$$K = 0,59 \frac{DE}{M} (\operatorname{tg} \varphi + 0,123 \operatorname{tg} \varphi_0 + f) + \frac{M_p}{M}; \quad (26-9)$$

для слабых нескальных грунтов

$$K = 0,59 \frac{DE}{M} (\operatorname{tg} \varphi + f) + \frac{M_p}{M}; \quad (26-10)$$

для скальных оснований

$$K = 0,59 \frac{DE}{M} (\operatorname{tg} \varphi + 0,061 \operatorname{tg} \varphi_0 + f) + \frac{M_p}{M}. \quad (26-11)$$

Прочность шпунтовых замков на разрыв при действии основных сил — распора грунта засыпки $p_{гр}$ и внутреннего давления воды p_v , воспринимаемых цилиндром диаметра D , как тонким кольцом, определяется формулой:

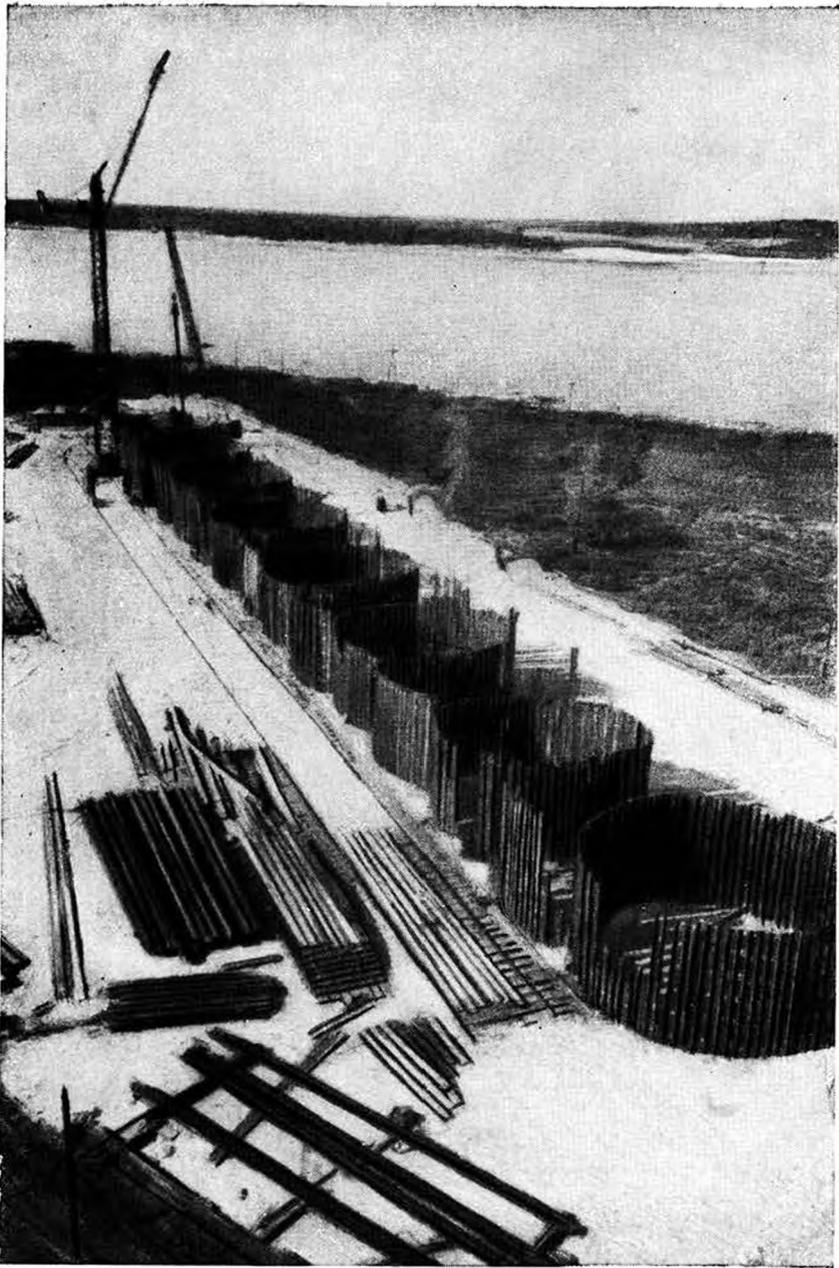
$$(p_{гр} + p_v) \frac{D}{2} \leq [\sigma], \quad (26-12)$$

где $[\sigma]$ — допускаемое сопротивление замков шпунтин на разрыв (временное сопротивление колеблется от 1 400 до 2 200 кг/пог. см по длине шпунта).

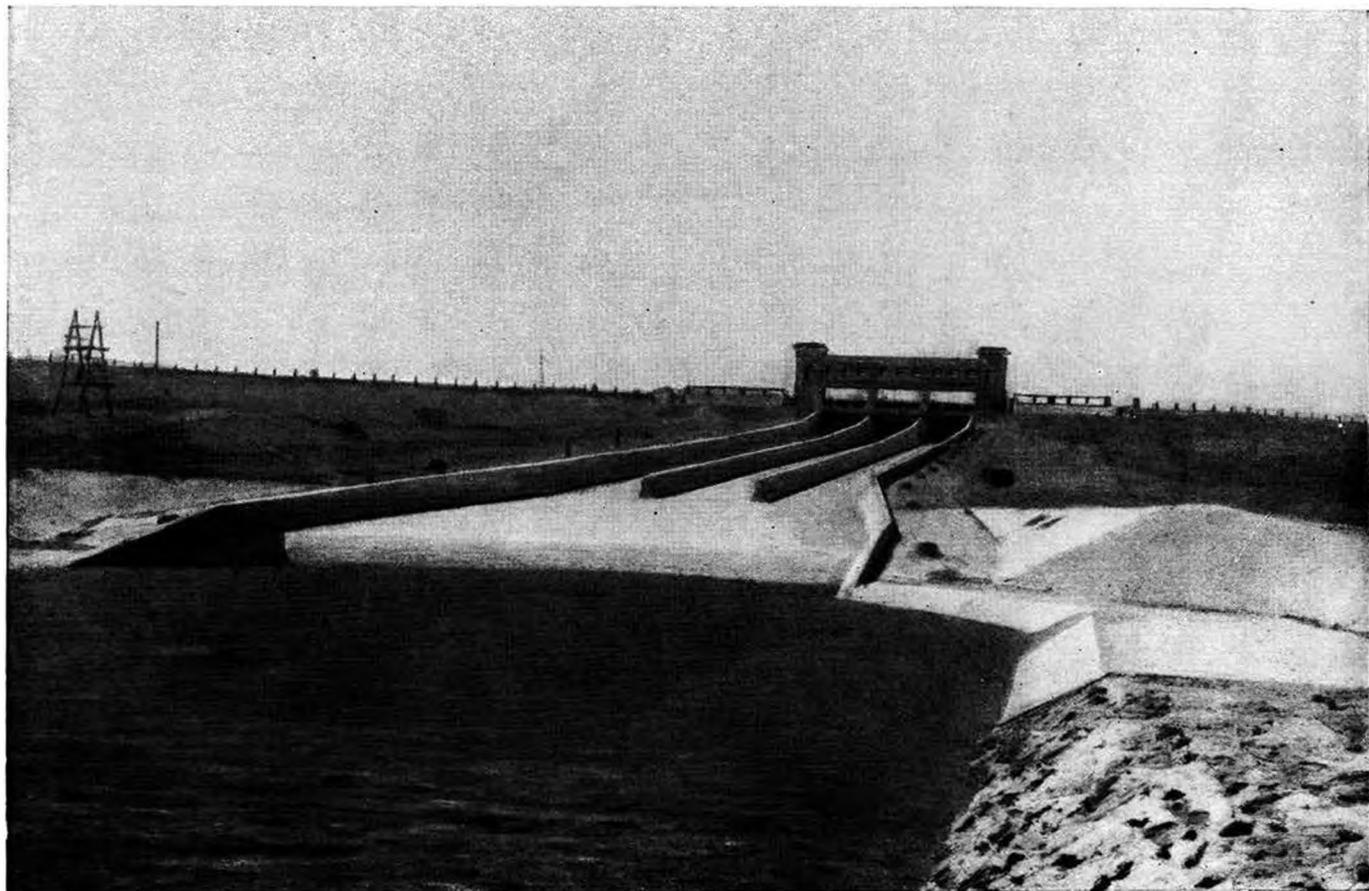
Аналогичной формулой определяются разрывающие усилия и в сегментных ячейках, где вместо $\frac{D}{2}$ подставляется радиус очертания сегментных стенок; если этот радиус меньше расстояния между диафрагмами L на фиг. 26—9, то в формулу (26—12) вместо $\frac{D}{2}$ ставится L .

Устойчивость перемишки на сдвиг определяется аналогично другим напорным сооружениям; при этом предполагается, что все усилия воспринимаются весом засыпки, хотя шпунтовые стенки берут на себя часть этих усилий, работая на изгиб.

г) Область применения ячеистых перемишек. Ячеистые перемишки могут применяться для большого диапазона глубин в реке и при различных грунтах русла, вплоть до очень плотных, которые пробиваются шпунтами; они могут устанавливаться даже на скальных грунтах. Перемишки эти не боятся подмыва и перелива воды, если они дошли до неразмываемого грунта или достаточно глубоко за-



Строительство перемычки из ячеистого шпунта (к стр 221)

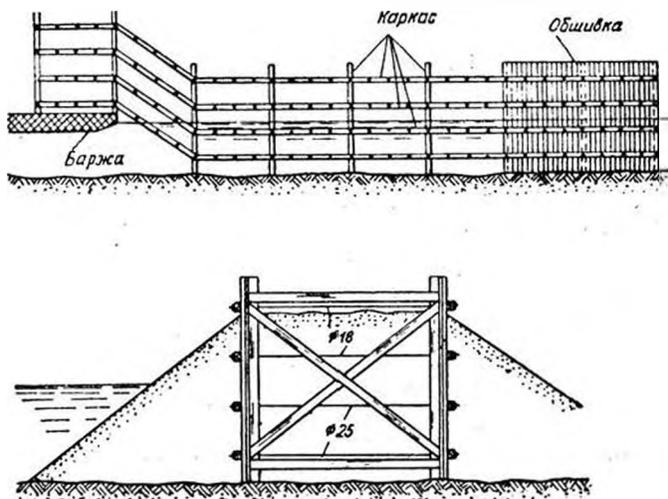


Сбросное сооружение канала Кубань-Егорлыкской оросительной системы (к стр. 313)

биты; толщина их меньше, чем толщина перемычек других типов, они меньше стесняют ширину реки, и котлован сооружения может приближаться почти вплотную к перемычке. Ячеистые перемычки легко и быстро разбираются (полностью механизированным путем), причем отход шпунтик не превышает 20—30%, т. е. они имеют 3—5-кратную оборачиваемость, что снижает стоимость ячеистой перемычки. Новейшие способы быстрого опускания шпунтов при помощи электровибраторов, разработанные Д. Д. Барканом, обещают сделать ячеистые конструкции еще более экономичными.

3. Каркасные перемычки

Эти конструкции являются некоторым видоизменением шпунтовых, а именно: стенки каркасной перемычки устраиваются из шпунтовых досок или двойной дощатой обшивки, устанавливаемой в каркасе из стоек и продольных брусьев, раскрепленных раскосными диафрагмами и



Фиг. 26—13. Каркасная перемычка

стальными тяжами (фиг. 26—13). Каркас собирается на плашкоуте и опускается постепенно на дно реки; затем устанавливаются стенки и между ними делается засыпка песком. Для большей гарантии от подмыва и деформаций вся конструкция обсыпается камнем или галькой.

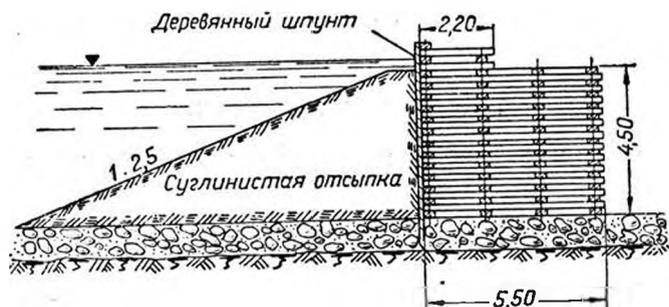
Такие перемычки применяются при небольшой глубине потока (до 3—4 м) и малых скоростях течения, когда они обладают преимуществом дешевизны, быстроты сборки и устройства.

4. Ряжевые перемычки

Ряжевые перемычки конструктивно аналогичны глухим ряжевым плотинам; выполняются они из ряжей сплошной или сквозной рубки. В настоящее время больше всего распространены брусчатые сквозные ряжи из-за большей простоты и быстроты сборки, возможности применения механизации работ, отсутствия необходимости в квалифицированной рабочей силе, экономии в материале (на 35—40%) и обратимости последнего (возможность вторичного использования брусьев путем поворота на другой кант на 90°). Правильность формы брусча-

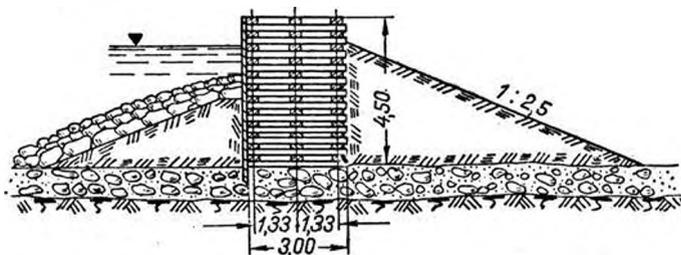
рых ряжей облегчает постановку их и более плотное примыкание к другим сооружениям.

Существует два типа ряжевых перемычек — широкие, обладающие достаточной самостоятельной устойчивостью против действия горизонтальных сил, для чего ширина ряжей должна быть не менее $1,1h$, где h — высота ряжа (фиг. 26—14), и узкие, меньшей, чем указано



Фиг. 26—14. Ряжевая перемычка (широкая)

выше ширины, устойчивость которых обеспечивается присыпкой камня, гравия или другого грунта (фиг. 26—15) с одной или с двух сторон и которые требуют меньше лесного материала. Если требуется значительная ширина по гребню и нежелательно уширение перемычки понизу



Фиг. 26—15. Ряжевая перемычка (узкая)

из-за отсыпки грунта, ряжевые перемычки устраиваются двойными. В этом случае засыпка грунтом делается между двумя рядами ряжей, раздвинутых на необходимое расстояние друг от друга.

Загрузка ряжей делается песчаным, иногда песчано-глинистым, гравелистым грунтом, камнем, причем пол, поддерживающий загрузку при опускании ряжей в воду, делается лишь в 25% всех банок ряжей.

Водонепроницаемость ряжевых перемычек сквозной рубки обеспечивается устройством экрана со стороны реки в виде деревянной обшивки из нескольких рядов досок с прослойкой толя, битумных матов (фиг. 26—19,б) или деревянного или металлического шпунта, забиваемого с внешней стороны ряжа (фиг. 26—14, 26—15); иногда напорные стенки ряжей делаются сплошными. В ряжах сплошной рубки можно ограничиться лишь отсыпкой водонепроницаемого грунта между двумя линиями ряжей или также применить деревянную обшивку ряжей¹. Водо-

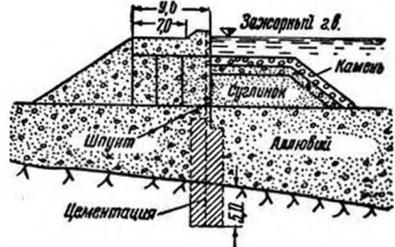
¹ Ввиду вертикальных деформаций ряжей экран должен быть приспособлен к этим деформациям, гибко соединен с ряжами, а деревянную обшивку лучше делать горизонтальной и ставить по возможности позже.

непроницаемость замков стальных шпунтов в тех случаях, когда не делается земляной обсыпки, усиливается иногда специальными мерами: засыпкой шлака, глины с шерстью, зерном.

По подошве ряжей укладываются мешки с землей, бетоном или делается отсыпь из мелкозернистого грунта. Для борьбы с фильтрацией в проницаемом основании перемычки принимаются меры в виде забивки шпунтов (фиг. 26—14, 26—15), а при невозможности забивки (песчано-гравийно-галечные грунты с валунами) — путем устройства цементационных диафрагм-завес (фиг. 26—16) или завес из искусственного замороженного грунта основания¹.

Ряжевые перемычки с большим успехом применяются в качестве поперечных и особенно — продольных перемычек, иногда даже переходных (см. ниже), на гравелисто-галечных, плотных глинистых и скальных грунтах при больших скоростях течения в реке — до 4—6 м/сек, а также и для полного закрытия русла. Эти перемычки хорошо выносят ледоход, допускают перелив воды через их гребень (при загрузке камнем); иногда сквозные ряжи применяются в качестве банкета вместо каменной наброски при перекрытии русла реки плотин, с последующим возведением земляной плотины насыпью или намывом грунта в воду.

Недостатками ряжевых перемычек являются большой расход лесных материалов, трудность разборки, относительная дороговизна.

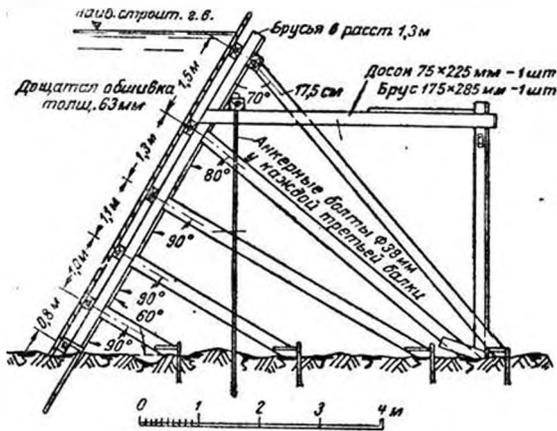


Фиг. 26—16. Ряжевая перемычка с цементационной завесой

§ 154. ПРОЧИЕ ВИДЫ ПЕРЕМЫЧЕК, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕРЕМЫЧЕК

1. Подкосные (контрфорсные) перемычки

В этом типе опорами для водонепроницаемой конструкции, представляющей собой деревянный настил из шпунтованных досок или брусьев (иногда с присыпкой земли), являются подкосы или контрфорсы, обычно деревянные



Фиг. 26—17. Подкосная перемычка

сы, обычно деревянные (фиг. 26—17); имеются примеры, когда опорами настила являлись анкеры, заделанные в скальном грунте и работающие на растяжение. Этот тип перемычек распространен особенно в Швеции и применяется в руслах со скальным дном при глубинах до 4—5 м и скоростях течения до 3—3,5 м/сек; были случаи устройства таких перемычек на морене.

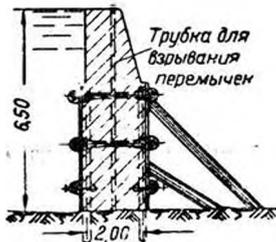
Достоинством подкосных перемычек являет-

¹ См. например, журнал «Гидротехническое строительство» № 4—5, 1945, стр. 18—20, а также № 5, 1952, стр. 21—23.

ся относительная их экономичность; но сборка их и установка требует большого опыта и слаженности работы, индивидуального «причерчивания» формы опор к скале; разборка перемычек может быть произведена сравнительно быстро.

2. Бетонные перемычки

Такие перемычки иногда устраиваются на скальных грунтах русла: бурятся скважины, в которые устанавливаются два ряда опор (например, из старых рельсов), обшиваемых затем опалубкой, образовавшееся пространство заполняется бетоном. Получаются надежные, тонкие (около 2 м) стенки высотой до 6—9 м, подпираемые подкосами (фиг. 26—18). В условиях большого стеснения в русле это себя оправдывает. Были случаи устройства гравитационных бетонных перемычек без подкосов (например, для плотины Блейлох). При значительных глубинах в исключительных случаях перемычки делаются на кессонных основаниях (плотина Гаузер, глубина опускания кессонов 21,3 м).



Фиг. 26—18. Бетонная перемычка

При строительстве высоконапорных гидроузлов (Жениссиа, Каstellо де Бодe) нередко основные перемычки делаются в виде арочных бетонных плотин, устраиваемых под защитой вспомогательных перемычек, возводимых на аллювии (фиг. 27—12).

3. Понтонные перемычки

Эти перемычки применяются редко — для ограждения частей сооружения при возможности постановки перемычки на спланированное или иногда бетонированное дно. Они представляют собой деревянные или стальные ящики с водонепроницаемыми стенками и дном, которые на плаву подводятся к месту опускания и затем затопляются. Такого типа перемычка из шести ящиков (плашкоутов) была, например, применена на Туломстрое в 1935 г.; длина деревянных ящиков — от 10,5 до 24,5 м; ширина по дну — 6—7,5 м, высота — 6 м¹.

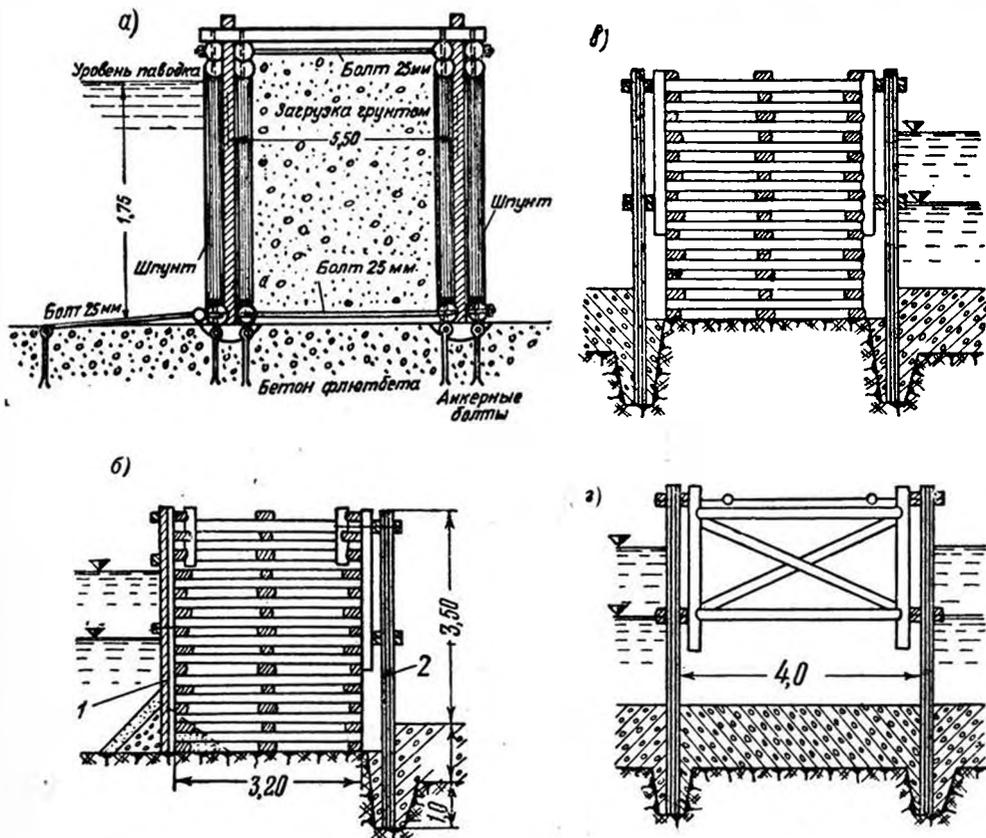
4. Переходные перемычки

При секционном методе пропуска воды в реке (§ 146) продольную перемычку следующей очереди приходится вести через частично выстроенное сооружение предыдущей очереди; такая перемычка называется переходной. В отличие от обычных продольных ее приходится располагать на выстроенном понуре, бетонном пороге плотины, водобое и рисберме, что требует применения особых мер. Если на понуре можно строить перемычку, как на глинистом основании, избегая лишь забивки свай, то на рисберме приходится разбирать сквозное крепление и заменять его бетонным сплошным креплением. На такой бетонной подушке, как и на бетонном пороге плотины, перемычка возводится из шпунтовых стенок с засыпкой грунта между ними. Особенность ее заключается в том, что направляющие шпунтовых стенок заанкерены в бетоне (фиг. 26—19,а), против сдвигающих сил стенка также

¹ Журнал «Гидротехническое строительство» № 12. 1937

заанкерована или подпирается подкосами, имеющими упоры в бетонном пороге. Переходная продольная перемычка обычно примыкает к бычку плотины, играющему на это время роль перемычки на своем участке.

На фиг. 26—19, б, в, г показан тип рязевой переходной перемычки, отделяющей две очереди работ и примыкающей к бычку. Вначале рязь выполняется (фиг. 26—19, б) с деревянной обшивкой 1 со стороны ре-



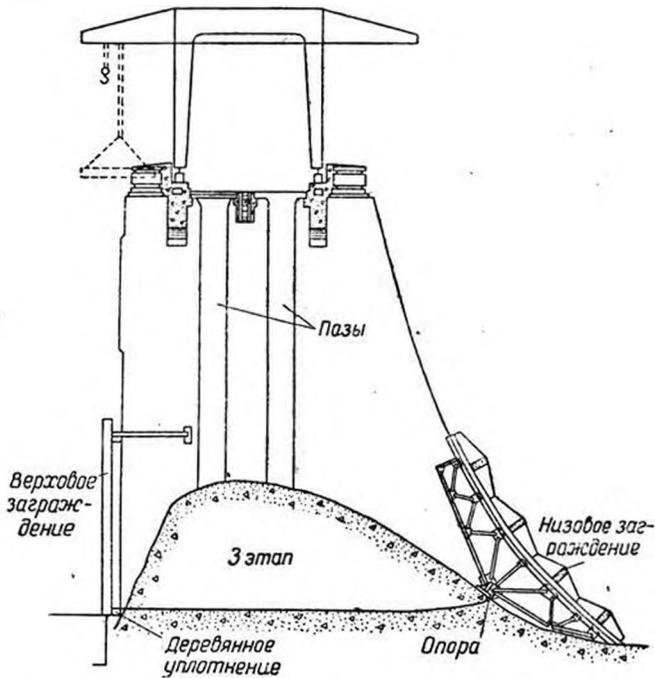
Фиг. 26—19. Переходная перемычка на бетонном флютбете плотины на р. Шексне

ки, а со стороны котлована делается деревянный шпунт 2, устанавливаемый в бетонируемом водобое. В следующую очередь работ котлован (справа) первой очереди затопливается (фиг. 26—19, в) и в осушенном котловане (слева) вместо деревянной обшивки делается шпунт, аналогично выполненному с другой стороны (справа). После этого собственно рязь разбирается и в осушенном межшпунтовом пространстве (фиг. 26—19, г) устраивается бетонный водобой; между шпунтами устанавливаются при этом распорные рамы.

5. Ограждения отдельных мест сооружения

При необходимости ограждения пролетов строящейся плотины применяют строительные затворы; но если достройка не требует перестановки последних, то вместо них можно устраивать особого вида перемычки, конструкция которых зависит от местных условий. Так, при до-

стройке гребня Бонневильской плотины применены были (фиг. 26—20) с верховой стороны шпунтовая стенка, опирающаяся на особую пролетную балку, а с низовой — ряд консольных ферм, заанкерированных в



Фиг. 26—20. Строительные заграждения пролетов бетонной плотины

сливную грань плотины и перекрытых затем специальным покрытием. Это избавило от необходимости уширять быки и устраивать пазы в них для строительных целей.

6. Выбор типа перемычки

Выбор типа перемычки делается на основе учета гидрологических условий (глубины, скорости течения, расходов, ледохода), геологических условий створа, назначения перемычки (перекрытие русла, поперечная, продольная, затопляемая или нет) и ее размеров (длина, напор), производственно-строительных условий (сроки строительства, имеющиеся в распоряжении материалы и строительное оборудование и пр.). Самыми экономичными являются земляные перемычки, но они обычно не применяются в качестве продольных. Для последней цели при наличии леса целесообразны ряжевые, а вообще перемычки шпунтовые и в крупных узлах—ячейстые. Выбор типа перемычки делается после отбора подходящих для данных условий типов и их технико-экономического сопоставления.

7. Эксплуатация перемычек

В процессе строительства гидроузла за перемычками должен вестись неослабный надзор, в особенности за фильтрацией воды. В случае обнаружения сильной течи необходимо срочно принимать меры: с напорной стороны — делать пригрузку водонепроницаемым материалом

(землей, навозом с соломой и пр.), покрывать брезентом и т. п., если этому не препятствуют скорости течения воды; с низовой—устраивать наклонные обратные фильтры упрощенного типа для организации безопасного выхода фильтрационной воды. При проходе льда и паводка надо своевременно принимать меры защиты против подмыва и размыва перемычек путем покрытия угрожаемых мест хворостяными и фашинными одеждами, каменной наброской, устройства отбойных шпор и т. п. Необходимо иметь наготове подсобные материалы: камень, фашины, мешки с землей и пр.

Если котлован при проходе паводка должен затопливаться, необходимо делать это через особые отверстия в перемычке (с низовой стороны) до того, как начнется перелив через гребень перемычки. Перелив воды через гребень плотины при невыравненных горизонтах воды в котловане и реке опасен в силу возможных размывов котлована и самой перемычки. Отверстия для выпуска воды в котлован делаются на некоторой глубине в виде труб в теле перемычки, закрываемых затворами с напорной стороны; за трубами делается сопряжение с дном котлована в форме лотков и т. п. В ячеистых перемычках цилиндрического типа отверстия размещаются обычно в козырьках между цилиндрами, причем загрузка покрывается слоем бетона, образующим дно отверстия.

8. Разборка перемычек

Легче всего разбираются земляные перемычки, грунт разрушенной сверху перемычки в значительной мере уносится водой. Более сложна разборка стального шпунта (выдергивание), иногда при изогнутых шпунтинах требуются значительные усилия, верхние части шпунтин рвутся, происходят разрывы и в замках, примерно 20—30% шпунта после разборки идет в лом.

Разборка сквозных ряжей в надводной части связана с вывинчиванием глухарей и перерубом нагелей, но в подводной части разбирать ряжи трудно, это делается кранами и другими пловучими снарядами. Иногда приходится прибегать к взрывам. К взрывам приходится прибегать иногда и при удалении гравелисто-галечных и каменных загрузок.

IX. РЕЧНЫЕ ГИДРОУЗЛЫ

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

Речные гидроузлы являются наиболее сложными комплексами общих и специальных гидротехнических сооружений, а проектирование их — наиболее трудной инженерной задачей. Трудность последней — в правильном учете и согласовании многочисленных факторов местных, природных, технических, народнохозяйственных и др. и нахождение из многих возможных вариантов решений оптимального. Это делает проект каждого гидроузла весьма индивидуальным, однако некоторые общие принципы и указания все же могут быть даны.

§ 155. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. Требования эксплуатации

Первый основной принцип проектирования — наилучшее удовлетворение требований эксплуатации, т. е. функций, для которых гидроузлы собственно строятся. Расположение сооружений должно обеспечивать благоприятный гидравлический режим для них, бесперебойное обслуживание сооружений, бесперебойную их работу (выработка энергии, судоходство, забор воды и пр.) как в обычное время, так и особенно в период гидрологической или эксплуатационной напряженности — при проходе паводков, пропуске льда, шуги, наносов и т. д. с максимальным устранением вредного воздействия последних.

Выбранные типы сооружений должны соответствовать геологическим и гидрологическим условиям, в которых сооружения работают: они должны быть достаточно, в соответствии с классом их, долговечны, надежны, обладать необходимым запасом прочности и устойчивости. Следует стремиться к минимальным объемам материалов, применяемых в сооружениях, обеспечивая устойчивость их по преимуществу за счет конструктивных мероприятий. Вместе с тем облегчения и упрощения в сооружениях, идущие в ущерб их эксплуатационным качествам, не должны допускаться.

При компоновке сооружений в узлах нужно в максимальной степени обеспечить: а) чтобы каждое из специальных сооружений имело возможность наилучшим образом выполнять его собственные функции и б) чтобы при наличии нескольких функционально различных сооружений (транспортных, энергетических и т. д.) они не мешали друг другу и соседним сооружениям выполнять их задачи.

2. Техничко-экономические условия

Второй принцип проектирования — стоимость гидроузла с учетом расходов по его эксплуатации должна быть минимальной.

а) Как створ, в котором располагаются сооружения узла, так и выбранная компоновка, типы сооружений и пр. должны обусловить минимум затрат при остальных равных с другими вариантами технологических условиях, условиях прочности, надежности, долговечности и т. д.

Метод экономического сопоставления излагается в § 157.

б) Возможность более раннего пуска узла в эксплуатацию является положительным фактором, который должен быть учтен при сравнении вариантов, так как народное хозяйство начнет получать эффект от узла в таком случае ранее, чем в другом.

в) На экономичность узла влияет правильная компоновка сооружений. Так, концентрация бетонных сооружений узла в одном месте уменьшает число сопряжений их с земляными сооружениями, обычно эти сопряжения требуют излишней затраты средств на дорогие сопрягающие устои, диафрагмы и пр.; кроме того, такие сопряжения технически являются слабыми местами узла из-за возможности облегченной фильтрации через них.

г) Совмещение функций плотины и гидроэлектростанции в одном сооружении может дать экономию в затратах, как и совмещение других сооружений с различными функциями в одном сооружении. Однако надо обратить особое внимание на то, чтобы условия эксплуатации ГЭС и других совмещаемых сооружений при этом не ухудшались.

д) Надлежит широко использовать местные материалы, что, как правило, снижает стоимость сооружений в связи с экономией на транспорте; однако в отдельных случаях тип плотины из местных материалов при затруднениях в энергоснабжении работ и недостаточной механизации может оказаться более дорогим, чем плотины из бетона или железобетона.

е) Применение сборных конструкций, в частности железобетонных, элементы которых изготавливаются заводским способом, повышает производительность труда, удешевляет строительство и сокращает сроки работ.

Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 19 августа 1954 г. № 1804 обязует широко внедрять в строительство сборные железобетонные конструкции и детали, не допускать применения металлических конструкций во всех случаях, когда они могут быть заменены железобетонными.

В гидротехническом строительстве сборные и тонкостенные железобетонные конструкции мало распространены, область их применения ограничивается главным образом сравнительно мелкими сооружениями на каналах, трубами, акведуками и пр. (см. § 169, 170, 175 и др.), облицовками откосов; в последнее время широко применяется железобетонная опалубка крупных сооружений вместо деревянной. Необходимо разрабатывать новые конструкции плотин, судоходных шлюзов и других сооружений из сборного бетона и железобетона и внедрять их в производство.

ж) При постройке на реке одновременно нескольких гидроузлов приобретают значение унификация и типизация сооружений и особенно их оборудования (затворов, мостов, механизмов, рабочих агрегатов и т. д.); например, неэкономичный для данного узла при индивидуальном его осуществлении тип затворов может оказаться выгодным, если этот затвор применяется одновременно и на других строящихся узлах.

3. Строительно-производственные условия

Третий принцип проектирования гидроузлов заключается в том, что типы конструкций и компоновка сооружений должны быть тесно увязаны со способами организации и производства работ по ним, должны быть относительно легки и в короткие сроки выполнимы, что одновременно повышает и их экономичность.

а) Компоновка узла должна обеспечивать наиболее легкий и надежный пропуск строительных расходов, причем желательно не прекращать работы по узлу в период прохода паводка.

б) Типы сооружений и компоновка их, допускающие в производстве работ частичное поднятие напора на неоконченном сооружении, всегда предпочтительны перед вариантами, в которых пуск сооружений в частичную эксплуатацию возможен только позже по времени.

Вообще срок окончания постройки гидроузла играет важную роль при компоновке сооружений узла и выборе метода производства работ, следует стремиться к наиболее коротким срокам строительства. Практика последних лет показывает, что даже наиболее крупные, уникальные, гидроузлы, как Куйбышевский на Волге, могут быть построены в 5—6 лет; узлы меньшего масштаба требуют 2—4 лет для их осуществления.

в) Желательно компактное сосредоточение бетонных сооружений в узле; это не только сокращает число сопряжений с земляными сооружениями, но позволяет иметь одно централизованное бетонное хозяйство, что удешевляет бетонные работы.

г) С учетом производственных соображений должен делаться и выбор створа гидроузла. Так створ, который легче и дешевле связывается путями сообщения с существующей дорожной сетью, предпочтительнее (при прочих равных условиях) створа, более удаленного или требующего более сложных и дорогих подъездных путей к нему. Створ, имеющий хорошую строительную площадку для расположения строительного хозяйства, опять-таки предпочтительнее створа, не имеющего такой площадки или требующего устройства двух строительных площадок на разных берегах. Дальность расположения рабочего поселка от места работ, вызванная природными условиями створа, сказывается на производительности труда.

Таким образом, очень много производственных факторов (здесь перечислена лишь часть их) влияет на правильную проектировку гидроузла. Однако не следует придавать слишком большое значение производственным трудностям: следует отказываться от более легкой в производственном отношении компоновки гидроузла, если последняя создает неблагоприятные условия для эксплуатации. Фактор удобства эксплуатации должен превалировать, так как все строительно-производственные трудности являются временными, а эксплуатационные неудобства будут существовать весь длительный период работы сооружений.

4. Требования архитектурного ансамбля

Недостаточно запроектировать вполне экономичный и технически совершенный в эксплуатационном отношении гидроузел. Необходимо, чтобы выстроенный комплекс гидротехнических сооружений создавал с внешней стороны красивый архитектурный ансамбль. Гидротехнические сооружения, особенно крупного узла, являются свидетельством победы человека над природой, покорения ее для службы человеку и обществу, что стало возможным благодаря социалистическому строю

нашего государства. Внешний вид этих сооружений должен отражать нашу социалистическую эпоху, пафос и героизм труда, идейную насыщенность нашей жизни. Это может быть достигнуто правильной архитектурной композицией всего узла, т. е. правильным выбором архитектурных форм, органически связанных с назначением сооружения и с окружающей природой, с окружающими сооружениями (городскими, промышленными, транспортными и др.).

Красивые и впечатляющие архитектурные формы должны быть приданы, однако, не за счет внешнего «украшения» сооружений, дорогих облицовок, ненужных надстроек и т. п., а за счет разумного распределения масс материалов, необходимых по условиям прочности, устойчивости и целевого назначения.

Архитектурная сторона проекта не должна искусственно удорожать строительство, но в пределах возможного должна повлиять на компоновку и типы сооружения в сторону получения лучшего архитектурного ансамбля.

Это может быть достигнуто лишь путем совместной работы проектировщиков-гидротехников с архитекторами, а не последующей «украшательской» работы архитекторов.

5. Использование норм и ГОСТ

При проектировании гидроузлов и их сооружений должны быть соблюдены все обязательные требования ГОСТ (Государственных общесоюзных стандартов) и норм на проектирование общих и отдельных сооружений, издаваемых соответствующими ведомствами. В первую очередь необходимо правильно установить класс сооружения по ГОСТ 3315-46, так как в зависимости от класса выбираются расчетные паводочные расходы, задаются коэффициенты запаса в статических расчетах и пр.

§ 156. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ОБЩИЙ ХОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОУЗЛОВ

1. Данные изысканий и обследований, необходимые для проектирования гидроузла

Для составления проектного задания по гидроузлу, для выбора типов сооружений и компоновки их в узле необходимо иметь следующие данные:

1) топографические планы района гидроузла в масштабе 1:10 000 по району и 1:2 000—1:5 000 по створам и верхнего бьефа (водохранилища) в масштабе 1:25 000—1:50 000; для гидроузлов на малых реках применяются более крупные масштабы;

2) геологические и гидрогеологические, а также геотехнические данные по возможным створам гидроузла и району, а также и по верхнему бьефу;

3) гидрологические данные (относимые к данному створу) по стоку реки и его распределению по сезонам года и по годам, данные по максимальным и минимальным характерным расходам и горизонтам воды, по зимнему режиму, наносам и пр.;

4) климато-географические данные, в частности о зимнем режиме района, атмосферных осадках, вечной мерзлоте, сейсмичности и т. д.;

5) данные о наличии местных строительных материалов (глины, песка, гравия, камня, леса и пр.) и о транспортных условиях для дальнепривозных материалов;

6) данные о существующем или запроектированном водохозяйственном использовании реки на участках выше и ниже по течению от данного гидроузла (сооружения, их эффективность, намечаемое развитие и т. п.);

7) характеристику рыбного хозяйства и соображения о необходимости рыбопропускных сооружений и других рыбохозяйственных мероприятий для рек, имеющих рыбохозяйственное значение;

8) характеристику производственно-строительных условий: условий связи с существующими путями сообщения (железными и автогужевыми дорогами, водными путями, ближайшими станциями и пристанями), длину необходимых подъездных путей, наличие (и на каком расстоянии от узла) источников энергии для строительства, возможности использования для целей строительства промышленных предприятий в ближайшем районе, жилищные условия (на первое время строительства) и пр. Необходимо также иметь данные о возможности получения главного строительного оборудования (для земляных и бетонных работ, транспортного и т. п.). Для выбора створа гидроузла необходимо иметь аналогичные данные по вариантам створов, но менее детальные.

2. Народнохозяйственные предпосылки к проектированию

В зависимости от местных условий и народнохозяйственного задания при проектировании гидроузла могут быть поставлены определенные условия, которые должны быть выполнены. Для примера приводятся некоторые из них, довольно часто выдвигаемые:

1) географическое положение потребителя продукции гидроузла на том или другом берегу реки (потребители энергии, орошаемые земли, объекты водоснабжения и т. п.);

2) габариты и различные контрольные цифры: габариты судов и шлюзных камер, осадка судов, характер вырабатываемой энергии (примерное число часов работы установленной мощности ГЭС, связь с энергосистемой), орошаемая площадь, расход канала и т. д.;

3) требования к узлу с точки зрения обороны его (расположение важнейших сооружений на том или другом берегу, защита от воздушного нападения, использование узла для «маневрирования» водой и т. п.);

4) срок строительства, желательность ввода гидроузла в действие по очередям и получения энергии при неполном напоре (когда сооружение еще недостроено);

5) необходимость предусмотреть то или иное будущее перспективное развитие узла, например, постройку шлюзов, не осуществляемых в первую очередь, будущее повышение напора узла и степени регулирования стока, повышение мощности, увеличение расхода канала, постройку нового водозабора и т. д.;

6) совмещение транспортных пересечений реки с гидроузлом, тип дороги и ее грузонапряженность и т. п.

3. Выбор створа гидроузла

Выбор створа гидроузла, т. е. сечения русла и долины реки, в котором располагается ось сооружений узла, производится двумя последовательными этапами.

а) Вначале намечают район створа, исходя из общей схемы использования реки. В схеме использования реки намечают ступени речного каскада, т. е. места расположения

гидроузлов и напоры последних, исходя из принципа получения максимального водохозяйственного эффекта для народного хозяйства, т. е. наибольшей выработки гидроэнергии и мощности гидроэлектростанций при одновременном оптимальном удовлетворении интересов водного транспорта, ирригации и осушения земель, водоснабжения, рыбного хозяйства и прочих элементов водохозяйственного комплекса. При этом учитывается эффективность не только данного гидроузла, а всего каскада в целом и на различных стадиях его осуществления.

Выбор схемы каскада делается на основе технико-экономического сравнения вариантов, разработанных на базе данных о природных условиях мест расположения гидроузлов. При этом сравнении и оценке народнохозяйственного эффекта наибольшее значение получают величина стоимости гидроузла и показатели ущерба от затопления и подтопления, вызываемых подпором узла; следует выбирать створы, для которых суммарная стоимость узлов и ущерба от затопления минимальна для всего каскада.

При намечении створов следует обязательно учитывать природные условия и их особенности. В частности необходимо просмотреть варианты створов непосредственно ниже впадения в реку крупных притоков или ниже значительных уширений долины, так как эти места благоприятны для устройства водохранилищ.

б) Если район створа гидроузла определен схемой использования реки, то выбор собственно конкретного створа делается сопоставлением нескольких возможных вариантов. Предварительный выбор делается по общей оценке природных и строительных условий. На отобранных таким образом лучших створах (по топографическим, геологическим условиям, по характеру строительной площадки, условиям производства работ и др.) ведется затем эскизная проектировка компоновки узла и на ее основе выбираются и лучший створ, и лучшая компоновка узла на нем.

4. Общий ход проектирования гидроузла

По получении или по мере получения необходимых изыскательских и прочих данных (п. 1) приступают к первому наброску схемы узла. Для этого прежде всего устанавливают расчетные расходы и уровни воды в реке: для пропуска паводков в период эксплуатации, для пропуска паводков в период постройки, характерные расходы ледохода, зимние, меженье. Это позволяет определить примерные размеры водосброса; при этом учитывают возможность сброса части паводка через другие сооружения узла — здания ГЭС, шлюзы, лесоспуски, головные сооружения каналов и пр., с учетом, конечно, возможной комбинации работы этих сооружений в паводок (принимают, например, что на ГЭС работают в паводок только 75—80% всех турбин).

Вопрос о длине водосбросного фронта играет в ряде случаев исключительно важную роль, главным образом для сооружений на нескальных грунтах. Исходя из допустимых скоростей на рисберме, ее ширины и заглубления под уровнем воды, устанавливают удельные расходы на рисберме и на гребне водосброса.

При этом здесь возможны различные варианты, которые могут отличаться между собой по объемам работ и стоимостям; все эти варианты следует проанализировать, подробнее об этом см. § 50 (часть I).

В дальнейшем проектировании устанавливаются габариты и типы основных сооружений узла: плотины, здания ГЭС, судоходных шлюзов, лесопропускных устройств, рыбоходов и пр.—на основе предварительных проработок.

После этого составляется ряд вариантов компоновки сооружений на данном створе и по каждому варианту продумывается схема возведения сооружений (пропуск воды, льда, судов и пр. в период постройки), на основе чего корректируются и компоновка, и даже выбранные типы сооружений.

После качественного сравнения некоторые варианты могут быть сразу отброшены, а по остальным делаются количественные сопоставления. Для этого по каждому варианту подсчитываются приближенные объемы работ, выражаемые в «приведенном бетоне» (см. § 157) или оцениваемые в рублях. Затем, сопоставляя объемы работ и стоимости, оценивая эксплуатационные качества каждого варианта и производственные условия, выбирают в первом приближении оптимальный вариант. Иногда такого выбора сразу не удается сделать, и выявляются два, иногда три, примерно равноценных варианта, которые идут на последующее более углубленное сравнение и выбор из них оптимального.

Принятая компоновка узла проверяется в большинстве случаев (для крупных и сложных узлов это обязательно) на модели в гидротехнической лаборатории, что очень важно, так как теоретически проверить гидравлические условия сложного комплекса гидротехнических сооружений почти невозможно.

После окончательного установления компоновки сооружений в узле производится детальное проектирование их на базе природных топографических и геологических исследований (стадия технического проекта) и составление проекта организации и производства работ по узлу, увязанного с принятыми конструкциями сооружений.

§ 157. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ ВАРИАНТОВ СООРУЖЕНИЙ И ГИДРОУЗЛОВ

1. Пути технико-экономического сравнения вариантов

При сопоставлении разных вариантов решений практической народнохозяйственной задачи следует исходить из основного экономического закона социализма: обеспечения максимального удовлетворения постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества путем непрерывного роста и совершенствования социалистического производства на базе высшей техники. Этому закону подчинено все производство в социалистическом обществе, а следовательно, и строительство, в частности, конечно, и гидротехническое. Отражением этого закона является закон планомерного развития народного хозяйства и планирование народного хозяйства, ведущееся во имя осуществления цели, сформулированной в основном законе.

Экономическая целесообразность различных мероприятий и их вариантов определяется на основе этих законов комплексно: государственными интересами, политическими задачами, интересами укрепления обороны страны, а также мерой стоимости.

Надо иметь при этом в виду, что закон стоимости, являющийся регулятором производства при капитализме, при развитом товарном хозяйстве, имеет в условиях социалистического хозяйства ограниченное применение. Это ограничение вызвано обобществлением у нас средств производства, действием закона планомерного (пропорционального) развития народного хозяйства, заменившего собой закон конкуренции и анархии производства, плановым установлением цен и размеров производства. В силу этого закон стоимости не может быть регулято-

ром производства при социализме и, следовательно, в нашем частном случае не может быть основным критерием при выборе вариантов технических решений в широком смысле.

Однако закон стоимости может воздействовать и воздействует на производство и в условиях социализма, например, в области калькуляций и расчетов, хозяйственного расчета и рентабельности, определения себестоимости продукции и т. п. Поэтому и в области экономического сравнения вариантов проектов сооружений и гидроузлов вопросы стоимости и рентабельности являются важными. Однако они являются только одной составляющей при оценке вариантов. При этом, помимо сопоставления себестоимости вариантов (единовременных капиталовложений и ежегодных эксплуатационных расходов) в денежном выражении, необходимо учитывать трудоемкость вариантов, повышение производительности труда, расход дефицитных материалов, степень загрузки транспорта (использование местных материалов), степень возможной механизации и потребность в строительном оборудовании и пр.

2. Определение стоимости сооружений

Стоимость сооружений, или, точнее, себестоимость их в денежном выражении, определяется как сумма затрат на материалы, оборудование узла (сооружения), оплату труда, на мероприятия, связанные с образованием верхнего бьефа (затраты в связи с затоплением и подтоплением), и на изыскания и составление проекта данного узла. Стоимость эту для технико-экономического сопоставления на начальных стадиях проектирования удобно определять условным методом «приведенного бетона», предложенным акад. В. Е. Веденевым и заключающимся в том, что объемы всех разнообразных строительных работ по сооружению (узлу) приводятся к одному виду работ — бетонным работам. В этих целях установлены по данным многочисленных проектов переводные коэффициенты для каждого вида работ, показывающие среднее соотношение материальных и трудовых затрат на единицу данных работ и на 1 м³ бетона, принятый за единицу. В табл. 27—1 приводятся некоторые данные о переводных коэффициентах для предварительного определения объема работ по сооружениям и узлам в приведенном бетоне¹.

Таблица 27—1

| Вид работы | Единица измерения | Переводные коэффициенты к бетону |
|--|-------------------|----------------------------------|
| Бетон в массивных сооружениях (без арматуры) . . . | м ³ | 1,0 |
| Армированный бетон, железобетон | . | 1 ÷ 0,005a* |
| Железобетон в сложных конструкциях (контрфорсы, трубы, подсобная часть здания ГЭС и пр.) | . | 1,3 ÷ 0,005a* |
| Бутовая кладка на цементном растворе | . | 0,8 |
| Выемка грунта экскаватором в котлованах, с транспортировкой: | | |
| а) категории грунта I—IV | . | 0,03 — 0,08 |
| б) категории . V—XI | . | 0,10 — 0,18 |

* a — количество арматуры в килограммах на 1 м³ бетона.

¹ Подробные данные можно найти в инструкции Гидроэнергопроекта МЭС СССР.

Продолжение табл. 27—1

| Вид работы | Единица измерения | Перевозные коэффициенты к бетону |
|---|-------------------|----------------------------------|
| То же, способом гидромеханизации | м ³ | 0,025—0,04 |
| Насыпь тела плотины с разработкой в карьере и транспортировкой | " | 0,035—0,065 |
| Глиняные экраны, понуры, ядра | " | 0,06 |
| Намыв грунта в тело плотины с гидравлической разработкой и транспортировкой | " | 0,02—0,045 |
| Каменная наброска в плотину (стоимость камня—42 руб. за 1 м ³) | " | 0,28 |
| Каменные банкеты, призмы (стоимость камня—64 руб. за 1 м ³) | " | 0,4 |
| Дренажи и обратные фильтры | " | 0,4 |
| Ряжи | " | 0,65—0,75 |
| Крепление земляных откосов мощением (одиночное и двойное) | м ² | 0,2—0,35 |
| Крепление откосов каменной наброской простой и в плетневых клетках | " | 0,3—0,4 |
| Крепление бетонными плитами (20—40 см) | " | 0,6—0,9 |
| Крепление армированными плитами (15—25 см) | " | 0,7—1,0 |
| Выломка туннелей (24 м ²) в зависимости от категории грунта | " | 0,60—1,0 |
| То же (40 м ²) | " | 0,45—0,75 |
| Бетонная обделка туннелей | м ³ | 2,1 |
| Забивка стального шпунта | т | 7,5 |
| Забивка деревянного шпунта | м ³ | 4,5—4,7 |
| Стальные затворы | т | 2,5—3,2 тыс. руб. |
| Механизмы их | " | 5,6—10 тыс. руб. |

Имея данные по объему приведенного бетона в сооружении или гидроузле, можно определить его себестоимость, установив предварительную себестоимость 1 м³ приведенного бетона в денежном выражении. Последняя зависит от общего объема работ по узлу (уменьшается с увеличением объема работ), местных условий работы: климатического пояса, удаленности от железнодорожной сети, сложности работ, характера строительства и пр.

3. Определение ежегодных расходов

Ежегодные расходы (издержки) по сооружениям, находящимся в эксплуатации, определяются значительно менее точно, чем стоимость сооружений. Эти расходы состоят из следующих элементов.

а) Амортизационные отчисления представляют собой частное от деления стоимости сооружения K на срок его службы n лет. Срок службы сооружения представляется величиной не очень определенной, так как при фактически возможной работе сооружений, например, 100 лет, сооружения могут потребовать реконструкции через более короткий срок, чем срок фактического их износа.

Сроки амортизации сооружений даются в ведомственных инструкциях, однако данные эти очень условны. Для примера приводятся сроки амортизации для некоторых сооружений (табл. 27—2).

Таблица 27—2

| Наименование сооружения | Срок амортизации в годах |
|---|--------------------------|
| Плотины: | |
| земляные | 100—200 и более |
| каменно-набросные | 70—150* |
| бетонные массивные | 50—100 и более |
| железобетонные (контрфорсные) . . . | 30—70 |
| деревянные | 20—30 |
| Каналы | 100—200 и более |
| Облицовка каналов бетонная и железобетонная | 25—50 |
| Туннели | 50—100 и более |
| Затворы стальные | 15—40** |
| Механическое оборудование (механизмы и пр.) | 20—40 |

* В зависимости от типа экрана.

** В зависимости от условий работы.

Установив срок амортизации n , величину амортизационных отчислений определяют по формуле

$$U_a = \frac{K}{n}, \quad (27-1)$$

где K — себестоимость сооружения.

б) Средние ежегодные затраты на капитальный ремонт определяются обычно в виде частного от деления стоимости капитального ремонта за весь срок службы сооружения на принятый срок амортизации. Суммарные же затраты на капитальный ремонт определяются примерно в виде $p\%$ от себестоимости сооружения K , т. е. $0,01(pK)$.

Величину p можно принимать, например, для плотин земляных $p=5-10$, бетонных— $10-20$, железобетонных— $20-40$, деревянных $40-60\%$, для затворов и механизмов $p=30-60\%$.

Зная K и p , ежегодные средние издержки на капитальный ремонт можно подсчитать по формуле

$$U_p = \frac{0,01 pK}{n}. \quad (27-2)$$

в) Ежегодные затраты на текущий ремонт и прочие текущие нужды U_r определяются обычно процентом m от стоимости K . Этот процент обычно невелик, так, для плотин и других гидротехнических сооружений обычно $m \approx 0,20 \div 0,25$, для каналов $m \approx 0,20 \div 0,35$, для затворов и механизмов $m \approx 0,7 \div 1$.

Величина U_r определяется по формуле

$$U_r = 0,01 mK. \quad (27-3)$$

г) Суммарные ежегодные издержки могут быть определены, как сумма выше перечисленных величин, т. е.

$$U = U_a + U_p + U_{\tau}. \quad (27-4)$$

Величина U не представляет, конечно, эксплуатационных расходов по действующему гидроузлу, так как в нее не входят расходы, связанные с работой установок (заработная плата обслуживающего персонала, топливо и т. п.), но для сравнительной оценки вариантов сооружений одного узла эта величина может считаться достаточной, если продукция установки в разных вариантах одна и та же. Если же идет речь о сравнении гидроузлов с разной, например, выработкой энергии, то задача становится более сложной и выходит из рамок настоящего курса, требуя специального освещения¹.

4. Технико-экономическое сопоставление вариантов

Если по одному варианту проекта сооружения (узла) себестоимость равна K_1 , а по другому K_2 , большая чем K_1 , а ежегодные расходы (издержки) соответственно равны U_1 и U_2 , причем $U_1 > U_2$, то мерилom выгодности варианта может служить так называемый срок окупаемости дополнительных затрат $K_2 - K_1$ на постройку сооружения, или срок уравнивания затрат:

$$\tau_y = \frac{K_2 - K_1}{U_1 - U_2} \text{ лет.} \quad (27-5)$$

Приемлемый срок τ_0 окупаемости на практике принимают в 15—20 лет, теоретическое установление его пока невозможно.

Из сравниваемых таким путем вариантов можно принять, как более выгодный по суммарным затратам вариант с большей себестоимостью, если $\tau_y < \tau_0$, и наоборот, вариант с меньшей себестоимостью более выгоден или равноценен, если $\tau_y > \tau_0$.

В случае, если $K_2 > K_1$ и $U_2 \geq U_1$, выгодным является вариант, требующий меньших единовременных затрат K_1 .

Возможность по одному из вариантов построить сооружение раньше или раньше начать частичный выпуск продукции, чем по другому, может повлиять на оценку выгодности, так как это равносильно уменьшению себестоимости такого варианта на величину экономии для народного хозяйства, получаемой от выпуска продукции сооружением за период времени между пуском в эксплуатацию сооружения по одному и другому вариантам.

Отметим еще раз, что приводимый метод сопоставления вариантов не может считаться абсолютным и исчерпывающим. Это только один из показателей экономичности, имеющий смысл при прочих равных условиях.

§ 158. КОМПОНОВКА СООРУЖЕНИЙ И ВЫБОР ТИПА ПЛОТИНЫ В НИЗКОНАПОРНЫХ ГИДРОУЗЛАХ

1. Общая характеристика низконапорных гидроузлов

Как указано в § 7 (часть I), низконапорные узлы характерны тем, что в них нормальный подпорный горизонт воды, как правило, не выходит за пределы меженного русла или выходит лишь незначительно и временно (в период паводков). В соответствии с этим величина напора в этих узлах невелика (2—8—10 м) и обычно не выходит за пре-

¹ См., например, Ф. Ф. Губин, Гидроэлектрические станции, Энергоиздат, 1949.

дела амплитуды естественных колебаний уровня воды в реке. Это определяет и гидрологический режим узлов и их водохозяйственное значение, роль геологических условий, типы сооружений и пр.

а) Гидрологический режим низконапорных гидроузлов характеризуется следующим: регулирование стока обычно не имеет места, поэтому уровни верхнего бьефа более или менее стабильны (возможны лишь суточные колебания при суточном регулировании работы ГЭС), в период паводка уровень верхнего бьефа поднимается. Во избежание чрезмерного подъема воды в паводок сооружения узла должны минимально стеснять живое сечение реки, т. е. отверстия в плотине должны быть значительны, порог плотины обычно мало возвышается над дном реки («низкий» порог).

Режим ледохода мало меняется сооружениями, и, как правило, весь лед должен пропускаться плотиной. Наносы в период паводка вообще сбрасываются через плотину, в остальное время накапливаются в верхнем бьефе. Однако вследствие незначительной емкости верхнего бьефа транзит наносов через плотину скоро (через несколько лет) восстанавливается.

б) Водохозяйственная роль этих гидроузлов: улучшение судоходных и сплавных условий реки (увеличение глубин), обеспечение водозабора из реки, энергетическое использование образующегося перепада уровней.

Эта роль различна в зависимости от характера реки. В связи с этим различают:

1) гидроузлы на горных реках с большим количеством наносов — в основном водозаборные или водозаборно-сплавные;

2) гидроузлы в среднем течении горных рек или на равнинных реках, преимущественно водозаборные и транспортно-энергетические.

Рыбопропускные сооружения устраиваются, если рыбное хозяйство того требует.

в) Геологические условия играют роль, но не решают вопроса возможности или невозможности постройки гидроузла, так как при малых напорах сооружения можно построить его при любом типе основания. Конечно, при выборе створа следует отдавать предпочтение более благоприятным геологическим условиям.

2. Типы плотин в гидроузлах

На горных реках, в условиях значительного количества наносов и гравелисто-галечных русел, водосливная часть плотины делается обычно в виде низкого бетонного порога с затворами, обычно плоскими или сегментными, реже вальцовыми, а при небольших колебаниях горизонта воды верхнего бьефа — без затворов; в последнем случае, однако, около водоприемника следует делать все-таки глубокое промывное отверстие. Глухую часть напорного фронта, которая, правда, в этих узлах бывает редко, лучше всего выполнять из местных материалов (земли, гравия и пр.), укрепляя поверхности сооружения, если оно затопливается в паводок при незначительных перепадах уровня.

В малых гидроузлах допустимы простейшие плотины: ряжевые, габьонные и из простейших местных материалов.

В судоходных узлах на равнинных и предгорных реках применяют плотины судоходного типа: с поворотными фермами, клапанные, подкосные, со стоечно-плоскими затворами и др. Плотина с поворотными фермами является до сего времени простейшим и надежным решением, если узел только судоходный. Однако в настоящее время узлы чисто судоходные не имеют будущего, как нерациональная форма использо-

вания реки. Если же в судоходном узле используется и гидроэнергия, то плотина с поворотными фермами мало пригодна, так как потери воды через щели между многочисленными щитами значительны, а заблаговременная разборка и укладка плотины ко времени осеннего и особенно весеннего ледохода дополнительно выключают ГЭС из работы и усложняют эксплуатацию; работа этой плотины в зимних условиях также связана с осложнениями. В таких случаях лучше переходить к плотинам с затворами, не допускающими прохода судов в паводок через перекрываемые ими отверстия, но зато с гораздо лучшей эксплуатационной характеристикой.

3. Компоновка низконапорных гидроузлов на горных реках

Водозаборные узлы малого напора на горных реках строятся, главным образом, для целей энергетики и ирригации. Характерная особенность этих узлов — борьба с наносами, а зимой с шугой — находит отражение в компоновке узла. Детали этих узлов описаны в § 143—145.

Кроме водозаборных, из специальных сооружений в низконапорных узлах на горных реках могут встретиться иногда лишь лесосплавные устройства, причем обычно для молевого сплава. Как правило, лесоспуски располагаются обычно на берегу, противоположном тому, на котором устраивается водозабор; или же в середине плотины, ближе к промывному отверстию, при этом подход к лесоспуску ограждается пловучей направляющей запанью, не пропускающей сплаваемый лес к отверстиям водозабора.

4. Компоновка низконапорных гидроузлов на средних течениях горных рек и на равнинных реках

В большинстве случаев узлы эти комплексные, с включением сооружений транспорта, энергетики, рыбного хозяйства и различных видов водозабора. Различие между узлами на средних течениях горных рек и на равнинных реках заключается главным образом в гидрологической обстановке: в первом случае реки обычно несут большое количество крупнозернистых наносов, во втором — наносов меньше и они состоят из мелких фракций. Это сказывается на типах водозаборных устройств и на условиях борьбы с занесением бьефов.

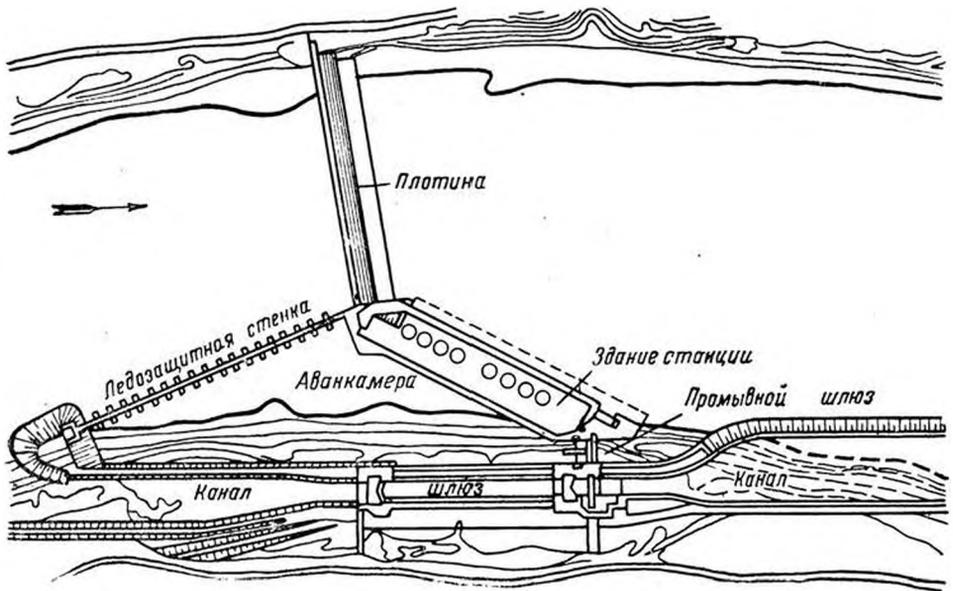
Расположение собственно транспортных или энергетических, или водозаборных сооружений освещено в гл. 22 и 24. Взаимное расположение этих сооружений в одном узле рассматривается ниже.

а) Взаимное расположение водозаборных устройств и транспортно-энергетических сооружений. Водозаборные и транспортные устройства располагаются обычно на разных берегах во избежание затруднений при их эксплуатации (фиг. 1—2, часть I — план транспортно-водозаборного узла на среднем течении горной реки): затруднительности промыва наносов, сброса шуги, наличия поперечных течений к водозабору, мешающих судоходству, навала судов и плотов на сооружения водозабора и др.

Водозаборные устройства и здание гидростанции в узле также целесообразно располагать на разных берегах, при этой схеме облегчается обслуживание и водозаборных устройств, и гидростанции. Но при наличии большого количества наносов в реке трудно бывает организовать борьбу с наносами у обоих берегов, поэтому и приходится совмещать водозабор и ГЭС на одном берегу.

Правда, сочетание водозабора и ГЭС на горных реках довольно редко встречается, а на равнинных — вопрос о наносах не так сложен, как на реках горного питания, поэтому раздельное расположение водозабора и здания ГЭС здесь вполне возможно.

б) Взаимное расположение воднотранспортных и энергетических сооружений в узлах. Транспортные и энер-



Фиг. 27—1. План гидроузла с расположением шлюза и здания ГЭС на одном берегу

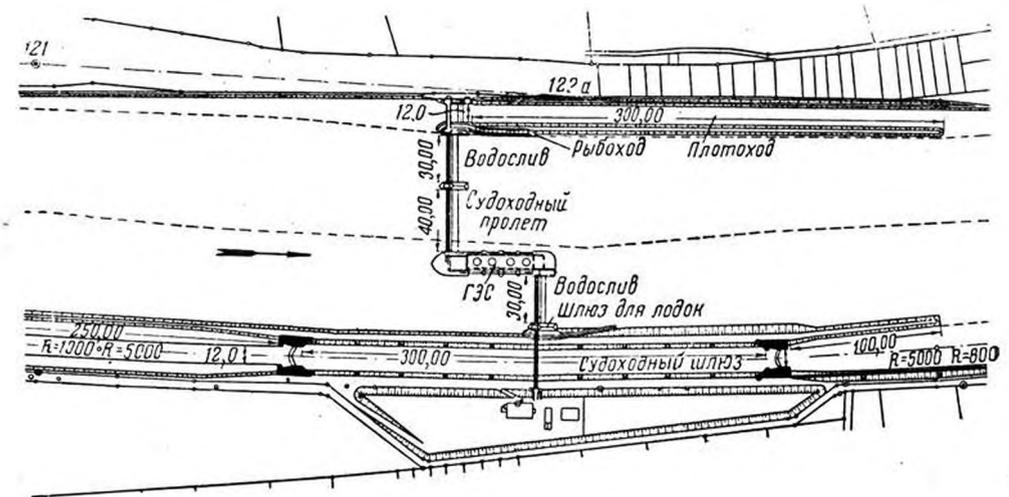
гетические сооружения могут располагаться как на разных берегах, так и на одном берегу. Наилучшим является расположение судоходных шлюзов и гидростанции на разных берегах, так как в этом случае обслуживание шлюзов или плотоходов и гидростанции получается раздельным, в частности доставка оборудования на гидростанцию с ближайшего берега может производиться беспрепятственно. При расположении шлюза и гидростанции на разных берегах строительство их осуществляется раздельно, причем в первую очередь обычно начинают возводить гидростанцию, используемую при дальнейшем строительстве для пропуска воды и требующую много времени для монтажа оборудования. Шлюз желательно возводить одновременно с гидростанцией либо во вторую очередь; в некоторых случаях условия судоходства заставляют строить шлюз в первую очередь. Еще более целесообразно, если по местным условиям судоходный шлюз можно вынести в деривационный канал.

При расположении гидростанции и шлюза (или плототохода) на одном берегу могут иметь место некоторые затруднения в эксплуатации обоих сооружений. В этом случае предпочтительно все же расположение здания ГЭС ближе к реке (фиг. 27—1), хотя доставка тяжелого оборудования на ГЭС в этом случае должна производиться через шлюзы и потребуется устройство специального моста через них. Расположение здания ГЭС с береговой стороны, а шлюза — ближе к реке, весьма неудобно с точки зрения обслуживания шлюза, так как обслуживающий персонал должен проходить через здание гидростан-

ции; подходы судов к шлюзу, в особенности со стороны верхнего бьефа, усложняются и ухудшаются в этом случае, так как требуется устройство высоких направляющих дамб. Если в узле имеются и судоходные, и специальные сплавные устройства лучше их расположить на разных берегах (фиг. 27—2). В этом примере показано своеобразное расположение здания ГЭС вдоль течения на середине реки. Такое расположение ГЭС весьма неудобно, так как доставка оборудования на гидростанцию крайне затруднена, отсутствует прямая дорога по сооружениям напорного фронта между берегами, вода из всасывающих труб выходит поперек русла и т. д. Такое расположение здания ГЭС вызвано малой шириной створа гидроузла.

5. Прочие замечания

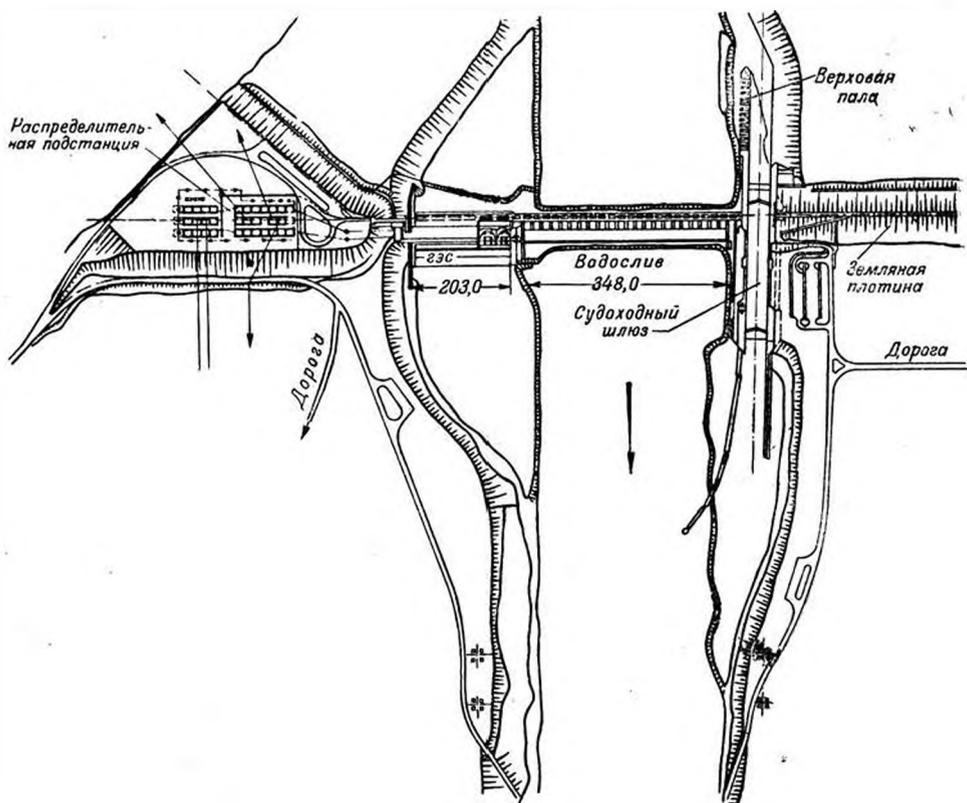
Примеры компоновки низконапорных гидроузлов довольно разнообразны, что объясняется местными условиями, главным образом гидрологическими, геологическими, топографическими и производственно-строительными, которые подробно освещаются в гл. 25 и 26.



Фиг. 27—2. План гидроузла в условиях узкого створа реки (Майнкур на р. Майн)

В условиях низконапорных узлов на реках с сильным ледоходом очень серьезными являются вопросы пропуска льда. Направление льда на водослив следует во избежание ледяных заторов специально организовать, что обычно достигается ледозащитными стенками (фиг. 27—1) или пловучими запанями. Различные плавающие тела, мусор и пр. отклоняются от аванкамер гидроэлектростанций забральными стенками и направляются в водосбросы.

Трудности компоновки возникают также при недостаточности ширины реки для размещения всех сооружений узла; в таком случае часть устройств переносится на берег (на фиг. 1—2 и 27—3 — здание ГЭС, на фиг. 27—2 — шлюз) или здание ГЭС ставится косо (фиг. 27—1), или даже вдоль по течению (фиг. 27—2), что, как указывалось, имеет ряд недостатков. Эти обстоятельства, а также значительная стоимость узлов заставляют искать путей улучшения компоновок. Такое улучшение может быть достигнуто, например, совмещением здания ГЭС с водосбросом, хотя при малых напорах этого довольно трудно добиться



Фиг. 27—3. Транспортно-энергетический гидроузел среднего напора с расположением шлюза и гидростанции на разных берегах

(гл. 22), использованием судоходного шлюза в качестве водослива и пр. Над этими вопросами необходимо работать дальше.

Рыбоходные устройства в низконапорных узлах осуществляются сравнительно несложно (гл. 23, а также фиг. 27—2).

§ 159. КОМПОНОВКА СООРУЖЕНИЙ И ВЫБОР ТИПА ПЛОТИНЫ В ГИДРОУЗЛАХ СРЕДНЕГО НАПОРА

1. Общая характеристика гидроузлов среднего напора

В этих гидроузлах подпертый уровень, как правило, затапливает пойму и частично долину реки и напоры таких гидроузлов достигают величин 12—30 м, а в условиях рек горного типа — до 40 м.

а) Гидрологический режим реки после постройки гидроузлов существенно меняется. Как правило, гидроузлы среднего напора обеспечивают сезонное регулирование стока (регулирующая емкость водохранилища достигает 10—25% годового стока), а на малых и средних реках годовое и иногда даже многолетнее регулирование стока. Поэтому колебания уровня верхнего бьефа достигают от 4—5 и до 10—15 м. Во многих случаях максимальные паводочные расходы, пропускаемые в нижний бьеф, возможно при помощи водохранилища снизить («срезать»).

Ледовый режим верхнего бьефа обычно изменяется: чаще всего ско-

рости ледохода меньше 0,5 м/сек и, следовательно, лед через плотину не сбрасывается (за исключением небольшой зоны у плотины), а тает в водохранилище. Наносы задерживаются в верхнем бьефе, но занесение последнего идет сравнительно медленно, почему специальные меры в связи с этим представляют редкое явление (исключение — горные реки).

б) Водохозяйственная роль гидроузлов среднего напора более значительна, чем низконапорных, и тем больше, чем выше напор. Здесь возможны все виды использования реки, но наиболее характерными и распространенными типами гидроузлов здесь являются:

1) узлы на средних и крупных равнинных реках, преимущественно транспортно-энергетические с сезонным регулированием стока;

2) узлы на горных и предгорных реках, преимущественно энергетические, иногда транспортно-энергетические, с сезонным и годовым регулированием стока; в районах орошения (Кавказ, среднеазиатские республики) иногда превалирует ирригационная роль гидроузлов;

3) узлы на горных небольших реках, преимущественно энергетические и регулирующие сток.

Узлы последнего типа мало отличаются по характеру компоновки от высоконапорных узлов, почему рассматриваются ниже, в § 160.

Рыбное хозяйство реки после постройки гидроузлов среднего напора большей частью меняет свой характер: если нерестилища в верхнем бьефе не затопливаются, то в узлах устраиваются рыбопропускные сооружения, в противном случае организуется специальное водохранилищное рыбное хозяйство, а воспроизводство проходных рыб ниже гидроузла обеспечивается рыбозаводами в зоне узла и другими мероприятиями.

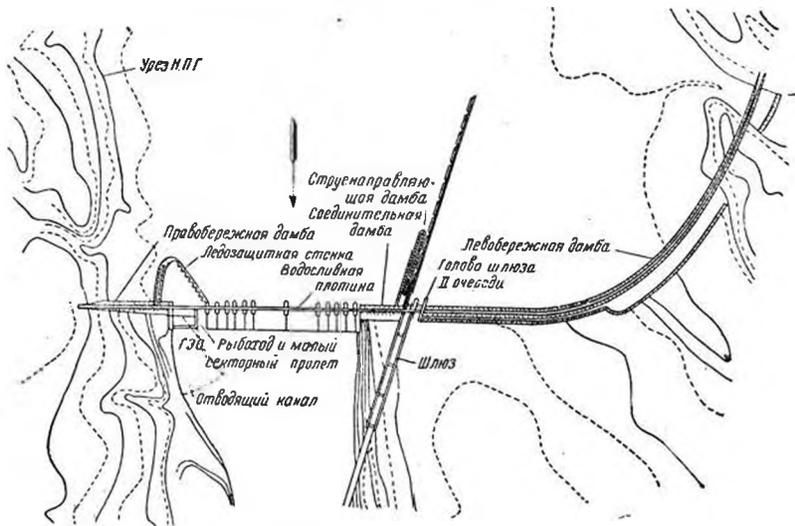
в) Геологические условия играют большую роль и для выбора створа, и для компоновки, и для типов сооружений. В частности весьма существенна глубина залегания коренных пород, т. е. мощность аллювия. При средних напорах до 20—30 м, в условиях равнинных рек песчаный аллювий, обычно неоднородный по профилю реки, залегающий линзообразно на глубину до 10—20 м и более нередко со слабыми прослойками, является не всегда благоприятным основанием для водосбросных частей плотин и зданий ГЭС. Поэтому для подобных сооружений приходится иногда искать основания в виде коренных пород: древних глин и суглинков, полускальных, скальных грунтов. Это зачастую и определяет положение в створе водосброса и здания ГЭС, хотя по эксплуатационным соображениям лучше было бы, может быть, иное их расположение в створе.

В условиях рек горных и предгорных мощность аллювия обычно незначительна, и здесь тяжелые жесткие сооружения располагаются обычно на коренных, большей частью скальных породах.

г) Топографические условия. Напорный фронт гидроузлов на равнинных реках удлиняется иногда до 10—20 км. Необходимо стремиться выбирать участки поймы минимальной ширины, достаточной для удобного производства работ и устройства подъездных путей. Мало благоприятны в этом отношении створы с очень крутыми высокими берегами. Места разветвления реки на два рукава могут оказаться удобными в отношении производства работ, поскольку рукав является готовым отводящим реку строительным каналом или может быть использован для расположения судоходного шлюза (фиг. 23—12).

2. Выбор типа плотины и других сооружений

Водосброс гидроузла среднего напора в условиях равнинной реки занимает лишь часть напорного фронта, притом сравнительно небольшую. Водосброс представляет собой обычно бетонную или железобетонную плотину с затворами, вполне возможную к постройке при напорах до 30 м на нескальных основаниях.



Фиг. 27—4. Транспортно-энергетический узел среднего напора с расположением здания ГЭС и шлюза-плотохода на разных берегах

В условиях горной или предгорной реки водосброс возможен и плотинного, и берегового типа, выбор делается путем экономического сопоставления вариантов. Существенное влияние оказывает здесь величина сбросного паводочного расхода воды: при малых расходах часто выгоднее оказывается береговой водосброс.

Выбор типа глухой плотины решается наличием нужного материала на месте (земли, камня и пр.), геологическими условиями, которые для земляной плотины играют не столь существенную роль, как для каменно-набросной. Бетонные и железобетонные глухие плотины обычно неэкономичны в этих узлах, за исключением случая, когда глухие участки напорного фронта невелики по длине и когда необходимость сопрягающих устоев может свести на нет экономию, даваемую земляной плотиной.

При средних напорах в узле вполне возможно совмещение функций водосброса и ГЭС в одном сооружении, и такой вариант следует рассмотреть.

Лесоспускные сооружения должны решаться в таких узлах в виде бревноспусков полусплавных, мокрых или смачиваемых; при наличии плотового сплава в подпертом бьефе следует сопоставить с указанным выше решением вариант плотоходов или пропуска плотов через судходные шлюзы.

Положение шлюзов, которые могут быть запроектированы здесь многокамерными (фиг. 27—4) или однокамерными с разрезными бьефами, менее чувствительными к роду основания, определяется больше эксплуатационными, строительными и другими условиями и не столько

геологическими. Расположение шлюзов в пойме и, в частности на склонах долины, в условиях рельефа, дающего минимум земляных работ, или в старых пойменных руслах с удобными подходами, как бы в естественных каналах, часто оказывается лучшим решением.

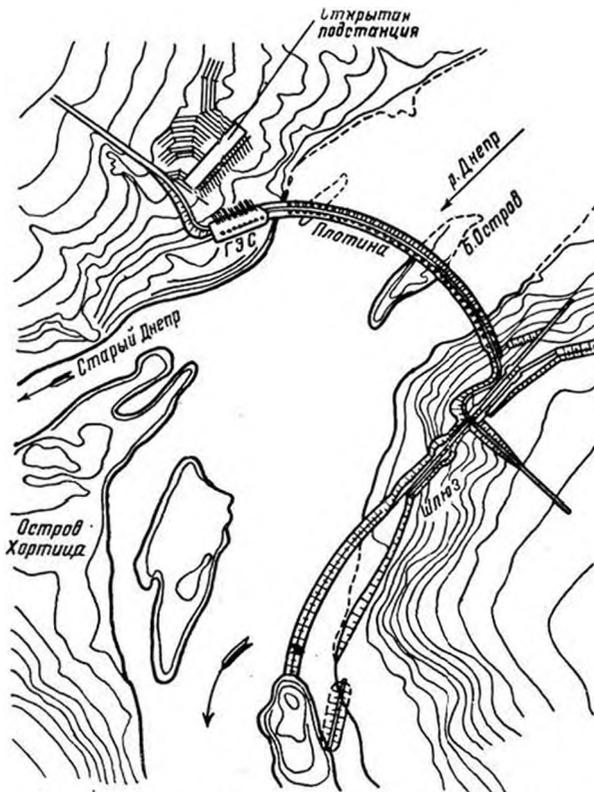
3. Компоновка гидроузлов среднего напора на равнинных реках

Эти гидроузлы строятся главным образом для энергетических целей, но на судоходных реках (а последние преобладают) в узле появляются судоходные сооружения и потому узлы в большинстве являются транспортно-энергетическими.

Водозаборные устройства сравнительно редки и бывают обычно глубинного (напорного) типа.

Средненапорные узлы создают возможность сезонного, а иногда и годового регулирования стока, некоторые же, например, Щербаковский на Волге, даже многолетнего регулирования.

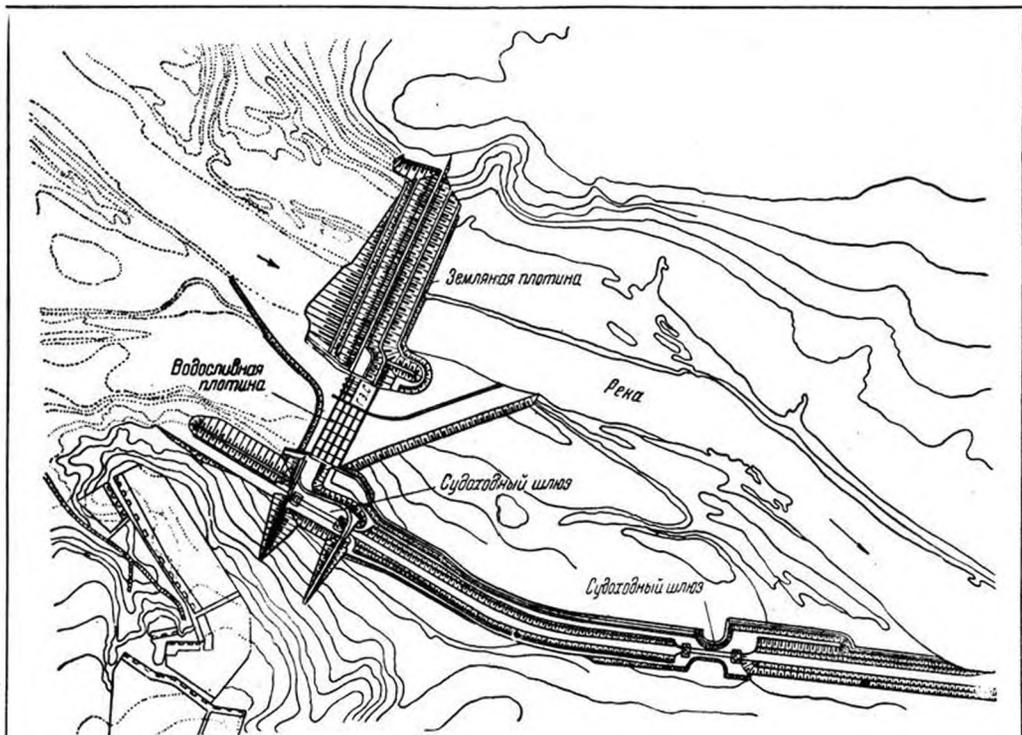
Существуют две основные схемы компоновки гидроузлов: а) водослив узла в русле реки (фиг. 27—3, 27—4, 27—5) и б) водослив на пойме, а русло перекрыто земляной плотиной (фиг. 27—6 и 27—7). Эти схемы отличаются и по условиям возведения сооружений (гл. 25).



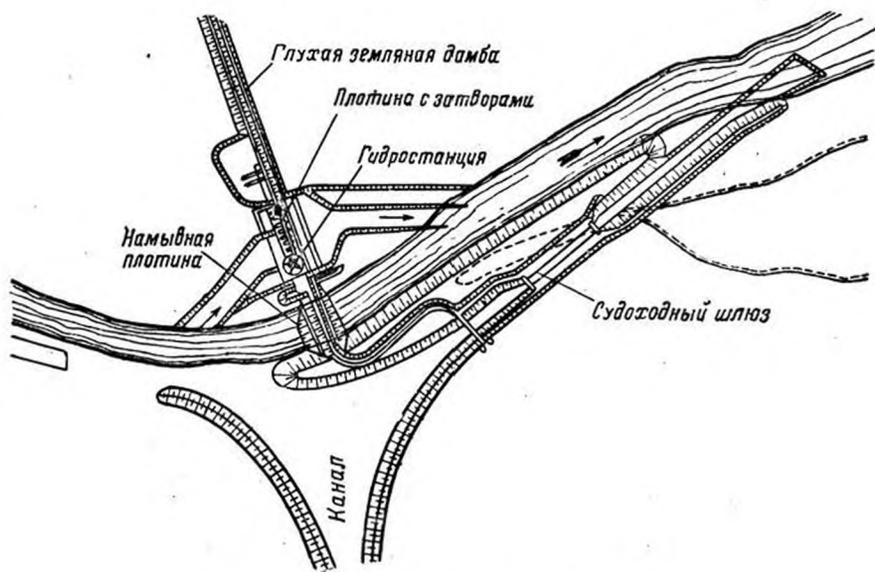
Фиг. 27—5. Днепровский гидроузел (Днепрогэс)

Принцип взаимного размещения энергетических и транспортных сооружений тот же, что и в низконапорных гидроузлах, т. е. сооружения эти желательно располагать на разных берегах, либо разделять водосбросом или глухой плотиной. В Днепровском гидроузле здание ГЭС расположено на правом берегу реки (фиг. 27—5), где рядом размещена и распределительная подстанция; водослив криволинейный в плане (из-за узости створа) занимает русло реки, а судоходный трехкамерный шлюз находится на левом берегу. Аналогичное расположение сооружений принято в гидроузле, показанном на фиг. 27—3, где ГЭС и однокамерный шлюз расположены на противоположных берегах, и в гидроузле на фиг. 27—4, где шлюз-плотоход принят многокамерным.

В проекте одного из гидроузлов на Оке (фиг. 27—6) водослив, гидростанция и судоходные устройства (из двух шлюзов с разъездом между ними) расположены на правобережной пойме, причем шлюз



Фиг. 27—6. Гидроузел на Оке (проект)



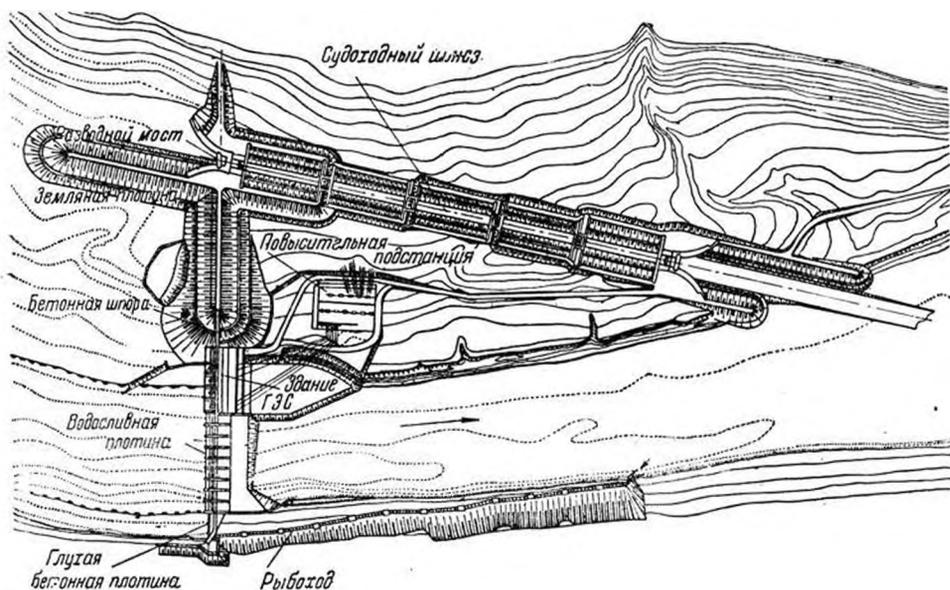
Фиг. 27—7. Гидроузел на Волге

отделен от ГЭС земляной дамбой и водосливом; русло и левобережная пойма перекрыты земляной плотиной, возводимой без перемычек. Другой пример приводится на фиг. 27—7: один из гидроузлов на Волге, где и гидростанция и шлюз находятся как бы на одном берегу по отношению к новому руслу Волги, идущему к водосливу и от него по левобережной пойме. Однако шлюз отделен от здания ГЭС земляной плотиной через бывшее русло Волги и территорией бывшего правого берега Волги.

Бонневильский гидроузел на р. Колумбия (фиг. 23—12) может служить примером сложной компоновки сооружений в месте разветвления реки на ряд рукавов; хотя здание ГЭС и шлюз расположены здесь рядом, но каждый из них примыкает к своему берегу.

4. Компоновка гидроузлов среднего напора на горных и предгорных реках

Характерным для этих гидроузлов являются: относительно небольшие расходы воды (паводки обычно до $1\,000\text{--}2\,000\text{ м}^3/\text{сек}$), небольшая пойма или даже отсутствие ее; сравнительно крутые склоны до-



Фиг. 27—8. Гидроузел на р. Уфе (проект)

лины; наличие скальных пород в основании под слоем аллювия мощностью порядка $2\text{--}6\text{ м}$ и на берегах, прикрытых часто деллювием разной мощности.

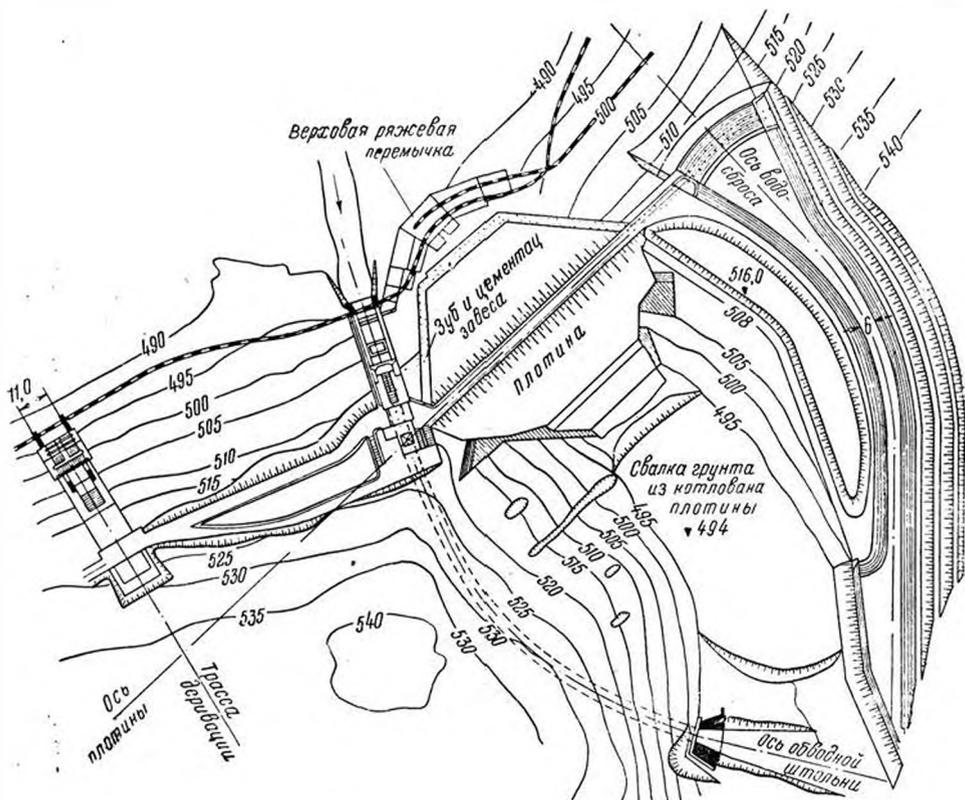
В состав сооружений узла обычно входят энергетические устройства, так как ради них возводится и весь узел; из транспортных устройств чаще всего бывают лесосплавные (например, на Урале), иногда (редко) судоходные, если река достаточно велика и на ней есть судоходство.

Рыбопропускные устройства, как правило, отсутствуют, так как промысловых рыб здесь обычно мало или нет совсем; однако, бывают исключения.

Некоторые гидроузлы имеют задачей регулирование стока или глубинный водозабор для деривационных ГЭС с регулированием стока, но такие узлы сравнительно редки.

В зависимости от величины паводочного расхода различают две основные схемы компоновки энергетических или транспортно-энергетических узлов:

- а) с устройством водосброса в русле реки (фиг. 27—8),
- б) с устройством водосброса на берегу (фиг. 27—9 и 1—4).



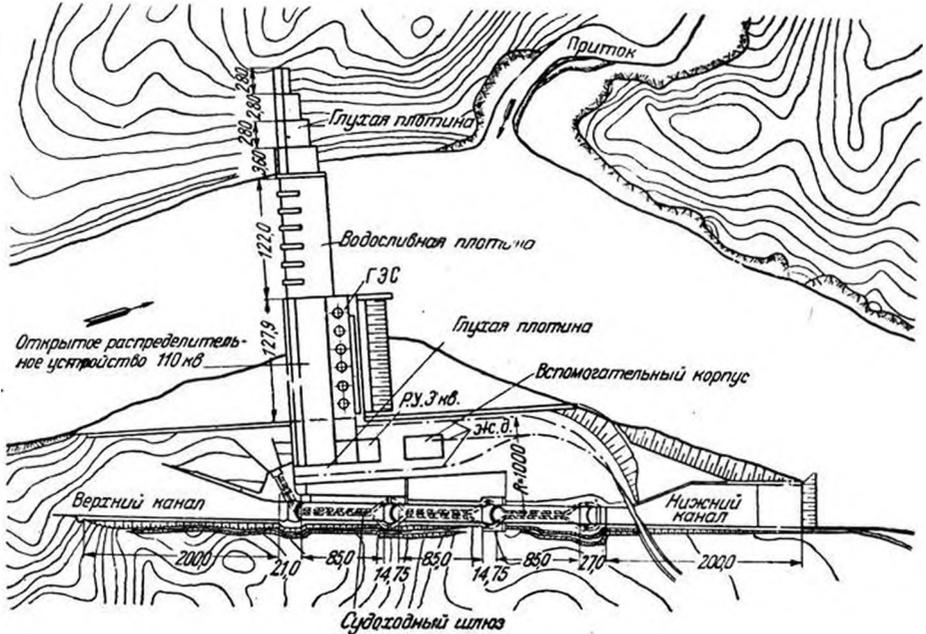
Фиг. 27—9. Гидроузел с водосбросами на берегах

а) Водослив в русле реки строится в тех случаях, когда расходы паводка значительны, дно же сложено скальными породами, неглубоко залегающими, или когда водослив берегового типа оказался бы дороже.

Примером такого решения является проект транспортно-энергетического узла на р. Уфе (фиг. 27—8). Судходный многокамерный шлюз отделен здесь от ГЭС земляной плотиной, подъезд к ГЭС возможен по левому берегу через мост на нижней голове камеры шлюза. От размещения ГЭС на правом берегу отказались в силу значительной крутизны его и трудности устроить подъезд на этом берегу. Рыбоход, необходимый здесь ввиду ценности мигрирующей вверх рыбы (белорыбицы), размещен на правом берегу у водослива.

б) При расположении водосброса на берегу, что бывает целесообразно, если паводочные расходы невелики, а геологические и топографические условия берега удобны для водосброса, русло перекрывается глухой плотиной, обычно земляной или каменно-наброс-

ной (фиг. 27—10). В этом случае здание ГЭС располагается за напорным фронтом в нижнем бьефе или же в конце напорной деривации и вода к нему подается напорным водоводом. Водозаборное сооружение ГЭС располагается на одном из берегов в теле плотины или вне его; при этом лучше разместить водозабор на ином берегу, чем водо-



Фиг. 27—10. Высоконапорный гидроузел с судоходным шлюзом и ГЭС

сброс (фиг. 27—9); менее желательно расположение их на одном и том же берегу, так как трудно удачно расположить рядом оба сооружения. Однако к такому решению приходится прибегать, если скальные породы лежат близко от поверхности земли на одном лишь берегу; благоприятным обстоятельством может быть и возможность сброса паводка в боковую ложину (фиг. 1—4). В отдельных случаях может оказаться удобным расположить и водосброс и ГЭС в деривации, спрямляющей излучину реки через невысокий водораздел.

При наличии в узле судоходных и сплавных устройств следует их располагать на ином берегу, чем здание ГЭС, по тем же соображениям, которые приводились ранее.

Выход из лесоспуска должен быть обязательно ниже по течению от выхода водосброса, иначе лес может попадать в водоворотные течения между концом водосброса и глухой плотиной и образовывать там завалы.

§ 160. КОМПОНОВКА СООРУЖЕНИЙ И ВЫБОР ТИПА ПЛОТИНЫ В ВЫСОКОНАПОРНЫХ ГИДРОУЗЛАХ

1. Общая характеристика узлов

Высоконапорные гидроузлы строятся лишь в горных условиях, т. е. в условиях сравнительно узких ущелий, незначительной роли речной поймы и т. п. Водосбросы играют здесь обычно сравнительно малую роль в напорном фронте, за исключением узлов на крупных реках. Ле-

довый и наносный режим в этих узлах почти не играет роли при выборе компоновки сооружений. Зато геологические условия, рельеф и форма створа имеют исключительно важное значение. Для сооружений высоконапорных узлов необходимо, как правило, скальное основание, лишь земляные плотины этого не требуют.

Высоконапорные гидроузлы наиболее совершенным образом могут регулировать речной сток, в частности могут обеспечить и многолетнее регулирование стока. Они строятся или для целей энергетики, или для регулирования стока (борьба с наводнениями, регулированный водозабор для ирригации), или для комплексных целей. Водный транспорт обычно в этих узлах исключен, но могут быть случаи постройки таких узлов и на судоходных реках (фиг. 27—10); например, проектируемые гидроузлы на р. Ангаре могут позволить организовать на ней судоходство в тех ее частях, где его пока не существует. Примером сложного комплексного узла может служить Мингечаурский гидроузел на р. Кура, который решает задачи регулирования стока, энергетики, ирригации и водного транспорта.

2. Выбор типа плотины и других сооружений

Основным сооружением, определяющим объем работ и стоимость высоконапорного гидроузла, является плотина.

При напорах более 40—50 м для плотины нужно прочное скальное основание, для менее высоких плотин — полускальные основания; исключение составляют земляные плотины и набросные (при не очень большой высоте), которые могут строиться на не скальных грунтах. Особенно прочного и надежного основания требуют высокие гравитационные и многоарочные плотины, а арочные плотины при любой их высоте требуют, кроме того, прочных скальных берегов и благоприятных топографических условий.

Вопрос выбора типа глухой плотины решается при данных геологических условиях прежде всего наличием местных материалов. В этом случае вариант земляной плотины должен быть обязательно рассмотрен: в большинстве случаев этот вариант оказывается наиболее экономичным; менее выгодна бывает каменно-набросная плотина. Условия транспорта оборудования и материалов к створу играют большую роль: при отдаленности и труднодоступности места постройки желательны или сооружения из местных материалов, или железобетонные, требующие минимума привозных материалов. Наличие или возможность получения энергии для производства работ также важны: при отсутствии ее, дороговизне топлива предпочтительны легкие типы плотин (железобетонные) или тяжелые, но с минимумом затрат энергии, например, намывные плотины с самотечной доставкой воды и грунта для намыва. Климатические условия (низкие температуры, длительность их, длительные дожди и т. п.) тоже влияют на выбор типа плотины, который окончательно делается после технико-экономического сравнения вариантов с учетом всей совокупности местных условий.

На фиг. 27—11 приведены сравнительные кривые средней стоимости 1 пог. м плотин разных типов в зависимости от их высоты, составленные И. Я. Каминским¹ на основе примеров таких сооружений (более 900) высотой более 30 м. Стоимость плотин выражена в приведенном бетоне (§ 157), причем коэффициенты приведения взяты для гравитационных плотин 1,1, арочных и многоарочных 1,7, земляных 0,04—0,06

¹ И. Я. Каминский, Из опыта строительства высоких плотин, Труды Среднеазиатского политехнического института, вып. 1, Ташкент, 1949.

и каменно-набросных 0,4—0,5 (пунктирная кривая *a* для каменно-набросных плотин проведена нами для коэффициента приведения около 0,28, более реального и рекомендуемого в случае местного камня).

Из фиг. 27—11 видно, что наиболее экономичной является земляная плотина, за ней идут арочные и многоарочные (и вообще железобетонные), затем бетонные гравитационные и каменно-набросные.



Фиг. 27—11. Сравнительные кривые стоимости 1 пог. м плотин в условных единицах

Обычно самое дорогое решение — бетонная гравитационная плотина. Следует иметь в виду, что кривые на фиг. 27—11 являются средними, а разброс точек значителен, достигает 50% и более, отражая все своеобразие местных условий. Это надо учитывать и пользоваться фиг. 27—11 только для общих соображений.

Типы других сооружений узла определяются также в значительной мере геологическими условиями и, конечно, высотой напора. Так, судоходные устройства выполняются в виде многокамерных шлюзов (интересны и варианты применения судоподъемников), лесопропускные — в виде лотков мокрых и смачиваемых или же лесотасок, а плотовой сплав пропускается обычно через шлюзы. Здания ГЭС могут быть или встроенными в тело плотины, или располагаться непосредственно за плотиной в конце короткой напорной деривации; водозаборы — туннельные, совмещенные с строительными водосбросами, или трубчатые — в теле плотины.

3. Компоновка водозаборных узлов и узлов, регулирующих сток

Эти узлы — самые простые по компоновке, так как в состав их входят лишь плотина с водосбросом и затем водозаборное устройство, иногда водоспуск. Все это может быть сконцентрировано в теле плотины, если последняя бетонная или железобетонная.

В случае земляной или каменно-набросной плотины, а иногда и железобетонной, водосбросы и водозаборы устраиваются в берегах. И те и другие случаи компоновки рассмотрены в гл. 8, 9, 10 и 15, часть I.

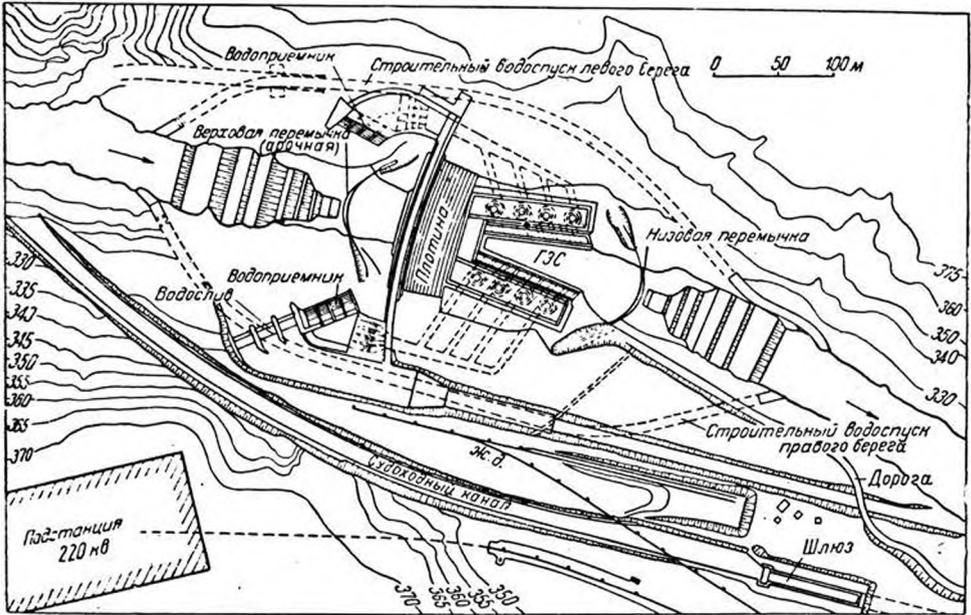
4. Комплексные энергетические гидроузлы

Такие узлы строятся для получения гидроэнергии с попутным решением разнообразных водохозяйственных задач: транспорта, ирригации, борьбы с наводнениями и пр. (например, Мингечаурский гидроузел на р. Куре).

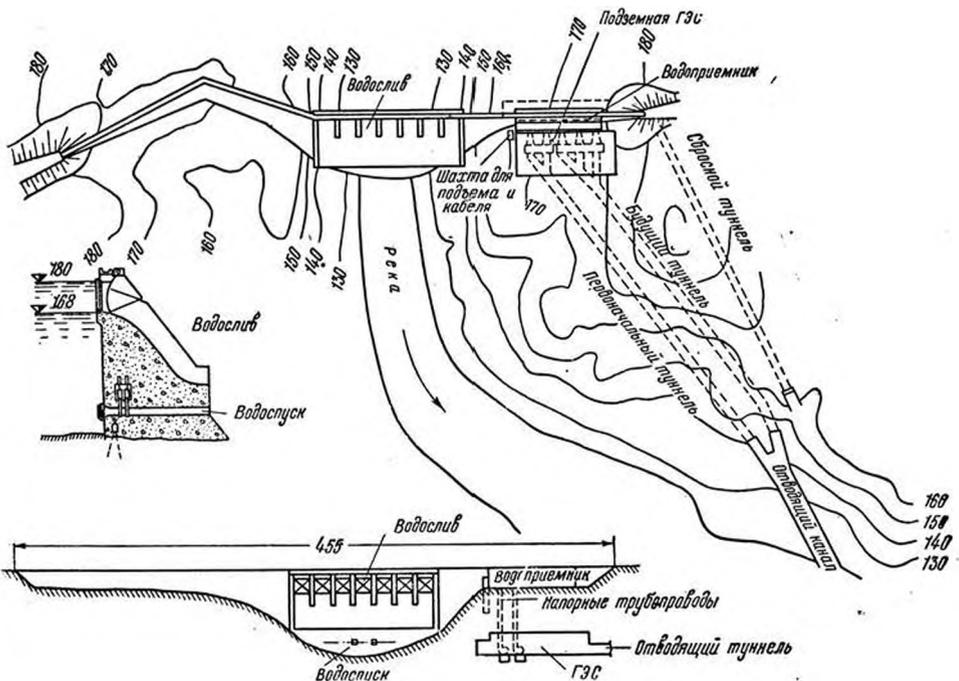
Следует отметить противоречивость водохозяйственных требований энергетики и ирригации: последняя требует израсходования емкости водохранилища в период поливов (в основном летом), в то время как гидроэнергетика — главным образом в зимний период. Это противоречие разрешается, например, увеличением емкости водохранилища, перерегулированием стока и пр.

Компоновка комплексных узлов бывает двух типов: с водосбросами в теле плотины или в берегах.

а) Узлы первого типа наиболее компактны. К этому типу относится, например, гидроузел, изображенный на фиг. 1—5, плотина которо-



Фиг. 27—12. Транспортно-энергетический высоконапорный гидроузел



Фиг. 27—13. Гидроузел Гуайябо на р. Лемпа с подземной гидроэлектростанцией и аварийным водосбросом в боковую ложину

го приведена на фиг. 8—44. Плотина — бетонная, массивная, в средней части водосливная, в ней же устроены и водоспуски; здание гидроэлектростанции расположено рядом с водосливом, непосредственно примыкая со стороны нижнего бьефа к плотине: распределительная подстанция находится рядом с зданием ГЭС. Другой пример узла, более комплексного, так как в нем, кроме ГЭС, имеется еще судоходный многокамерный шлюз, представляет гидроузел напором до 41 м на одной из наших рек (фиг. 27—10); аналогичную схему имеет на той же реке и другой строящийся гидроузел с напором 60 м.

б) Ко второму типу гидроузлов с водосбросом на берегу относится, например, гидроузел, состоящий из земляной плотины высотой около 80 м (фиг. 1—6), башенного туннельного водозабора ГЭС с уравнительным резервуаром по пути к ГЭС и шахтного водосброса, совмещаемого в одном туннеле с водоспуском. Оба береговых туннеля используются в период постройки гидроузла как строительные водосбросы. Следует отметить неудачность сопряжения под углом водоспуска с туннелем шахтного водосброса, работающих под высоким напором.

Более сложным является узел с напором около 100 м, показанный на фиг. 27—12. Водослив гидроузла расположен на берегу, так как по условиям ущелья сбросить паводок через массивную бетонную плотину затруднительно; водозабор — двусторонний, в соответствии с двумя зданиями ГЭС. Характерно в узле наличие судоходного шлюза, это — исключительно редкий случай применения шлюза в гидроузле столь высокого напора.

в) Своеобразно решение новейшего гидроузла Гуайябо на р. Лемпа с подземным расположением здания гидроэлектростанции (фиг. 27—13) с дополнительным (аварийным) водосбросом через водораздел.

Х. ВОДОПРОВОДЯЩИЕ СООРУЖЕНИЯ

Водопроводящие сооружения, или водоводы, имеют своим назначением передачу тех или иных расходов воды из одного пункта в другой, находящийся от первого на известном расстоянии, которое определяет длину водовода.

Водопроводящие сооружения представляют собой искусственные русла открытые или закрытые, безнапорные, если поток воды движется в них, имея свободную поверхность, и напорные, если живое сечение потока полностью совпадает с сечением русла и не существует свободной поверхности потока.

Водоводы являются чрезвычайно важными гидротехническими сооружениями, особенно же каналы, которые преобразуют природу и народное хозяйство иногда обширных районов, содействуют росту производственных сил страны. В социалистическом хозяйстве нашей Родины каналам уделяется большое внимание.

За годы советской власти построены крупнейшие судоходные каналы: Беломорско-Балтийский имени И. В. Сталина (227 км), имени Москвы (128 км), Волго-Донской судоходный имени В. И. Ленина (101 км); многие тысячи километров ирригационных каналов, как Большой Ферганский имени И. В. Сталина (350 км) и др.; сотни километров энергетических (деривационных) каналов и др.

В зависимости от конструкции водоводы делятся на:

1) каналы — искусственные открытые русла правильного очертания, устроенные в открытой выемке или насыпи грунта; движение воды в них всегда безнапорное;

2) лотки — искусственные открытые русла, устроенные из различных материалов (дерева, стали, бетона, железобетона) и укладываемые на поверхности земли или выше ее; движение воды в них всегда безнапорное;

3) трубопроводы — искусственные закрытые (замкнутые) русла из различных материалов, укладываемые открыто на поверхности земли или в выемке с засыпкой их землей, с напорным или безнапорным движением воды в них¹;

4) гидротехнические туннели и штольни — искусственные закрытые (замкнутые) русла, устроенные в земной коре без вскрыши лежащей над ними массы грунта; движение воды в них может быть напорным и безнапорным.

Нередко водоводы выполняются на различных участках в разных

¹ Трубопроводы в данном курсе не рассматриваются.

конструктивных формах: например, канал сменяется лотком или туннелем, трубопроводом и т. д.; в таком случае водовод получает иногда название водного тракта.

При ответвлении водовода из реки, например, к гидроэлектростанции, и затем присоединении его снова к реке водовод называется деривационным или деривацией.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВОСЬМАЯ

КАНАЛЫ И ЛОТКИ

§ 161. ТИПЫ КАНАЛОВ И ЛОТКОВ, ФОРМЫ И РАЗМЕРЫ ИХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

1. Классификация каналов и лотков

По назначению канала делятся на:

- 1) энергетические, или гидросиловые;
- 2) ирригационные, или оросительные;
- 3) обводнительные;
- 4) осушительные, или дренажные;
- 5) водопроводные;
- 6) лесосплавные;
- 7) судоходные;
- 8) рыбоводные;
- 9) комбинированные, например, ирригационно-энергетические, обводнительно-оросительные, судоходно-энергетические и т. п.

Лотки бывают всех указанных типов, кроме осушительных и судоходных.

Назначение канала или лотка предъявляет известные специфические требования к его конструкции и режиму работы. Так, скорости течения в каналах энергетических и судоходных должны быть возможно меньшими: 1) в целях снижения потерь энергии по длине канала и 2) из-за трудности взводного судоходства. Форма и размеры поперечного сечения лесосплавных и судоходных каналов должны обеспечивать требуемую глубину и ширину в зависимости от размеров плавающих по ним судов, плотов, бревен. Наконец, важный для энергетических и водопроводных каналов фактор — работа при зимнем режиме — обычно не имеет значения в ирригационных, судоходных, сплавных, а иногда и в рыбоводных каналах.

2. Формы и размеры живого сечения каналов и лотков

Площадь поперечного живого сечения и форма канала выбираются на основе гидравлического расчета и с учетом конструктивных условий и назначения канала. Гидравлический расчет излагается в курсах гидравлики и исходит обычно из формул равномерного движения воды:

$$v = c \sqrt{RJ} \text{ и } Q = \omega v^*.$$

Однако в этих формулах при заданном расходе Q можно варьировать различным образом величины скорости v , а также гидравлического радиуса R и уклона J , а с ними и площадь живого сечения ω , т. е. можно изменять площадь и форму сечения.

* Энергетические каналы должны еще рассчитываться на неустановившийся режим, а сплавные лотки — на неравномерное движение воды; эти вопросы излагаются в специальных курсах.

Практически выполняются следующие формы живого сечения каналов и лотков (фиг. 28—1): а) прямоугольное; б) трапециoidalное (обычно симметричное, а иногда несимметричное, см. ниже); в) ложбинообразное или мульдообразное; г) полукруглое; д) параболическое (точнее, близкое к нему) и другие, более сложные.

Наивыгоднейшей формой сечения в гидравлическом отношении является полукруглая, обладающая минимальным периметром и максимальным гидравлическим радиусом, равным $0,5 r$, где r — радиус сечения канала. Однако такая форма в каналах трудно выполняется и применяется очень редко, чаще ее можно встретить в лотках.

Следующими по выгодности формами могли бы быть параболическая и ложбинообразная при известных соотношениях глубины и ширины поверху, однако выполнение таких форм почти так же сложно, как полукруглой. Формы эти с известным упрощением применяются иногда в судоходных каналах, но не из чисто гидравлических соображений, упомянутых выше, а из условия снижения сопротивления движению судов.

В каналах наиболее распространенной по производственным условиям и условиям устойчивости откосов формой сечения является трапециoidalная.

Гидравлически наивыгоднейшее трапециoidalное сечение, как известно¹, характеризуется отношением

$$\beta_0 = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m), \quad (28-1)$$

где все величины показаны на фиг. 28—1, б.

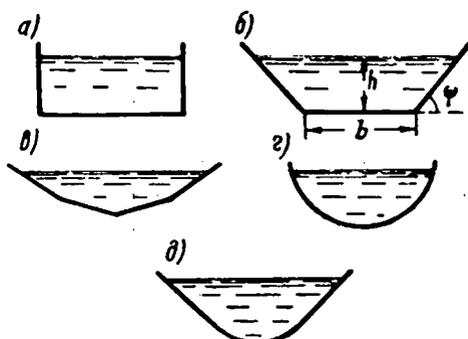
Для различных заложений откоса $m = \text{ctg } \psi$ величина β_0 равна

| | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $m = 0$ | 0,25 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,25 | 2,5 | 3,0 |
| $\beta_0 = 2,0$ | 1,56 | 1,24 | 0,83 | 0,61 | 0,53 | 0,47 | 0,42 | 0,38 | 0,32 |

Гидравлический радиус для таких сечений равен $R = 0,5 h$, где h — глубина воды в канале.

Однако гидравлически наивыгоднейшее сечение канала является и экономически наивыгоднейшим только в случаях, когда глубина выемки грунта для канала примерно равна глубине живого сечения канала. При глубоких выемках, сечение которых значительно превосходит по площади живое сечение, выгоднее увеличивать глубину живого сечения против гидравлически наивыгоднейшей; при устройстве канала в насыпи — наоборот. На выбор величины b/h влияют также условия незаиляемости русла, неразмываемости его, пропуска шуги и пр. (§ 162) и экономические соображения.

Минимальная ширина трапециoidalного сечения понизу выбирается в зависимости от способа производства работ: при ручной выемке — не менее $0,5 m$, при механизированной работе, которая совершенно вытес-



Фиг. 28—1. Типы живых сечений каналов
а—прямоугольное; б—трапециoidalное; в—ложбинообразное; г—полукруглое; д—параболическое

¹ См., например, Гидравлика, под ред. проф. д-ра техн. наук И. И. Агроскина. Энергоиздат, 1949.

нила ручную, в зависимости от применяемых механизмов, но не менее 1,5—3 м.

Величину m выбирают, исходя из устойчивости откосов. Для каналов в выемках относительно небольшой глубины (3—5 м) при предварительных прикидках можно пользоваться данными табл. 28—1.

Таблица 28—1

| Грунты | $m = \operatorname{ctg} \varphi$ | Грунты | $m = \operatorname{ctg} \varphi$ |
|--|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Твердая скала | 0—0,1 | Гравелисто-галечный грунт . | 1,0—1,5 |
| Полускальные породы (слабая скала) | 0,25—0,5 | Супесь, легкий лёсс | 1,5—2,0 |
| Плотная тяжелая глина . . . | 0,5—1,0 | Песчаный грунт | 2,0—2,25 |
| Плотный суглинок, лёсс . . . | 1,0—1,5 | Глинистый грунт слабый . . | 2,0—3,0* |
| | | Мелкозернистый песок . . . | 3,0—4,0 |

* При глинах малой плотности — и более пологие.

При большей глубине и сложных геологических условиях канала следует проводить поверочные расчеты устойчивости их откосов, аналогично расчетам откосов земляных плотин (гл. 12).

Для каналов в насыпях откосы назначаются по тем же принципам, что и в земляных плотинах (гл. 12).

Комбинированные каналы, например, судоходно-энергетические, имеют иногда сложное поперечное сечение с углубленной частью для судов. В некоторых случаях дно канала делается вообще с небольшим понижением к середине для удобства промывки его.

Размеры поперечного сечения судоходных каналов выбирают, исходя из размеров поперечного сечения расчетных судов, их осадки и отношения площадей живого сечения канала и миделевого сечения судна: это отношение, называемое профильным коэффициентом, должно быть более 4,5—5 (см. специальные курсы).

В лотках форма поперечного сечения чаще всего бывает прямоугольной, иногда трапециoidalной, полукруглой или близкой к ней.

§ 162. ДОПУСКАЕМЫЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ В КАНАЛАХ И ЛОТКАХ

Величина средней скорости течения воды в канале определяет площадь живого сечения; в судоходных каналах определяющими являются размеры судов. Объем земляных работ по каналу и их стоимость зависят от площади живого сечения, а также от условий трассы канала (насыпи, глубокие выемки, косогорные участки).

Вообще, как правило, желательно выбирать скорость наибольшей, возможной при данных условиях, так как площадь живого сечения и объем работ по каналу получаются при этом наименьшими. Однако соображения о возможности эрозии (размыва) русла канала, о неблагоприятных условиях зимнего режима, для энергетических каналов — о значительных потерях энергии, для судоходных — о значительном сопротивлении движению судов заставляют ограничивать скорость в канале.

С другой стороны, приходится устанавливать и низший предел скорости из условий незаиляемости или незаносимости канала наносами и незаращения его водолюбивой растительностью.

1. Предельные скорости по размыву

Вопросы размыва русел, как изложено ниже в гл. 31, весьма сложны, и теория их не дает пока надежных решений. Поэтому приходится пользоваться накопленным опытом, выраженным в виде величин так называемых допустимых «неразмывающих» скоростей¹. Эти данные приведены в приложениях I и II к части I по стандарту норм проектирования Главгидроэнергостроя (СТ 24-4396) в зависимости от глубины. Хотя решающим фактором для размыва, по существу, является не средняя скорость, а донная, но практически удобнее пользоваться средней скоростью, отношение же последней к донной меняется в зависимости от глубины потока.

В ТУиН на деривационные каналы гидроэлектростанций (ТУ 24-108-48) рекомендуется определять неразмывающую скорость $v_{нр}$ для несвязных грунтов по формуле проф. И. И. Леви:

$$v_{нр} = A \sqrt{gd_{ср}} \ln \frac{R}{7d_{ср}} \text{ м/сек}, \quad (28-2)$$

где g — ускорение силы тяжести в м/сек²;

$d_{ср}$ — средняя крупность зерен грунта русла в м;

R — гидравлический радиус канала в м;

A — коэффициент, равный 1,2—1,4, в зависимости от степени уплотненности грунта.

Для лёссовых грунтов проф. Е. А. Замарин предлагает следующую формулу неразмывающих скоростей:

$$v_{нр} = B \sqrt[2+R]{R} \text{ м/сек}, \quad (28-3)$$

где R — то же, что и в формуле (28-2);

B — от 0,4 до 0,9 в зависимости характера лёсса: 0,4—0,6 для слабых илисто-песчаных грунтов, 0,8—0,9 для средних и плотных лёссовых грунтов.

В каналах, выполняемых в нескольких грунтах, предельные скорости обычно не превышают 1—1,5 м/сек; при необходимости и целесообразности повысить их применяют покрытие русла канала защитными одеждами или облицовками, величины «неразмывающих» скоростей для которых приведены в приложении III (часть I).

При проектировании лотков можно пользоваться данными о предельных скоростях, помещенными в приложении III.

2. Предельные скорости по заилению

Вопрос о режиме потока, при котором в канале оседают взвешенные наносы, попадающие в него через головное сооружение, также еще далек от надежного решения, хотя и существует много предложений для оценки незаилающей скорости.

Наиболее распространены были в практике эмпирические формулы Кеннеди и Гриффит — Ласея для минимальной незаилающей скорости, но они не отражают главного фактора заиления — состава взвешенных

¹ Следует иметь в виду, что некоторые грунты, например, моренные (с содержанием песка и глины 50—60%) обладают свойством «самозащиты» от размыва: текущая вода вносит мелкие частицы, оставляя на месте, на откосе крупные частицы, защищающие его от дальнейшего разрушения при скоростях до 3—4 м/сек (см. «Гидротехническое строительство» № 9, 1949, статья А. Ф. Васильева).

наносов и пригодны главным образом для тех условий и пределов, в которых были получены опытные материалы, их обосновывающие. В наших условиях, в частности, они давали нередко ошибочные результаты. Поэтому советская гидротехника перешла к своим формулам, основанным на другом, более правильном, принципе — принципе «транспортирующей способности потока» (В. В. Пославский, Г. С. Чекулаев, А. Г. Хачатрян и др.).

Обобщенным предложением в этом направлении является формула транспортирующей способности потока проф. Е. А. Замарина, рекомендуемая ныне ГОСТ 3908-47:

$$\rho = 700 \frac{v}{\omega_0} \sqrt{\frac{RJv}{\omega}} \text{ кг/м}^3, \quad (28-4)$$

где ρ — транспортирующая способность потока в кг на 1 м³ расхода воды;

v — средняя скорость течения потока в м/сек;

R — гидравлический радиус в м;

J — уклон водной поверхности потока;

ω — средневзвешенная (среднегеометрическая) гидравлическая крупность наносов (скорость равномерного оседания частиц в спокойной воде) в мм/сек;

ω_0 — принимается равной ω , если $\omega > 2$ мм/сек или $\omega_0 = 2$ мм/сек, если $\omega < 2$ мм/сек.

Для ориентировочных подсчетов можно пользоваться упрощенной формулой

$$\rho = \frac{9000}{\omega_0 - 1,25} RJ. \quad (28-5)$$

Если мутность потока (в кг на 1 м³ расхода воды) меньше ρ , заиления канала не будет.

Формулы (28-4) и (28-5) применимы для расчета незаиляемости необлицованных каналов и каналов, не покрытых растительностью, с пропускной способностью от 0,2 до 150 м³/сек при средней скорости течения v более 0,3 м/сек и с содержанием до 5 кг/м³ взвешенных наносов, средняя гидравлическая крупность которых не должна превышать 10 мм/сек.

Приближенное определение величины незаиляющей скорости $v_{нз}$ ГОСТ 33908-47 рекомендует производить по формуле:

$$v_{нз} = AQ^{0,2}, \quad (28-6)$$

где Q — расход воды в м³/сек;

A — коэффициент, равный 0,33 — при $\omega < 1,5$ мм/сек, 0,44 — при $\omega = 1,5 \div 3,5$ мм/сек и 0,55 — при $\omega > 3,5$ мм/сек.

Из формул советских ученых, использующих понятие незаиляющей скорости $v_{нз}$, следует отметить формулу проф. В. Н. Гончарова.

3. Предельные скорости по зарастанию канала

Зарастание канала травяной водолюбивой растительностью имеет место главным образом у берегов, где глубины невелики; каналы глубиной менее 1,5—2 м могут зарастать по всему профилю. Зарастание, как и заиление, снижает пропускную способность канала и поэтому не может быть допущено.

Считается, что во избежание зарастания средняя скорость течения в канале должна быть $v \geq 0,5 \div 0,6$ м/сек.

4. Предельные скорости по зимнему режиму канала

Поверхностный и донный лед могут быть нежелательны в каналах, работающих зимой.

а) Наличие поверхностного льда снижает пропускную способность канала вследствие уменьшения живого сечения за счет ледяной корки и увеличения сопротивления движению воды вследствие возникающего трения о лед. Оценить снижение площади живого сечения можно, если известна толщина ледяного покрова, а последнюю можно примерно подсчитать по одной из эмпирических формул (Ф. И. Быдин, Н. П. Порывкин, Барнес и др.). Наиболее проста формула Ф. И. Быдина:

$$h_n = \alpha \sqrt{\Sigma t}, \quad (28-7)$$

где h_n — толщина льда в см;

Σt — сумма отрицательных температур воздуха за период с начала образования ледяного покрова до момента, на который определяют толщину льда;

α — коэффициент, величина которого различна в зависимости от того, какие температуры суммируются: 1) если суммируются среднесуточные температуры, то в среднем $\alpha = 2$; 2) если суммируются среднемесячные температуры, то в среднем $\alpha = 11$.

Уменьшение площади живого сечения учитывают, полагая погружение ледяного покрова в воду на $0,9 h_n$ в среднем.

Дополнительное сопротивление движению воды от трения ее по ледяному покрову оценивается коэффициентом шероховатости γ или n , величина которых зависит от состояния ледяной поверхности (табл. 28—2).

Таблица 28—2

| Характер ледяного покрова | Коэффициент шероховатости | |
|--|---------------------------|-------------|
| | γ | n |
| Гладкая поверхность, скорости течения: | | |
| $v < 0,5$ м/сек | 0,04—0,06 | 0,010—0,012 |
| $v > 0,5$ | 0,20—0,50 | 0,014—0,017 |
| Имеются майны и шуга: | | |
| $v < 0,5$ м/сек | 0,36—0,60 | 0,016—0,018 |
| $v > 0,5$ | 0,46—0,85 | 0,017—0,020 |

Для расчета средней скорости течения в русле при наличии ледяного покрова учитывают средневзвешенную шероховатость русла. Так, например, если смоченный периметр живого сечения, считаемый по стенкам канала, p_1 , а по льду p_2 и коэффициенты шероховатости соответственно n_1 и n_2 , то средневзвешенный коэффициент шероховатости можно принимать равным:

$$n = \sqrt{\frac{n_1^2 p_1 + n_2^2 p_2}{p_1 + p_2}}. \quad (28-8)$$

Опыт показывает, что образование льда зависит от средней скорости течения и степени перемешивания (турбулентности) потока:

1) в канале, не имеющем сооружений, создающих заметные циркуляции в потоке, лед образуется при $v \leq 0,5 \div 0,6$ м/сек (второй предел принимается для северных районов);

2) при наличии сооружений в канале или изменении поперечного сечения его — при $v \leq 0,4 \div 0,5$ м/сек.

Это весьма приближенные данные, так как лед может образоваться и при больших скоростях, например, в случае сильных морозов, и, наоборот, льда может не быть, если канал берет начало из большого водохранилища, в котором температура воды зимой обычно очень медленно снижается, а длина канала недостаточно велика, чтобы вода в нем успела принять температуру, близкую к 0° . Поэтому правильнее ориентироваться на гидрологические наблюдения над образованием льда в реках и каналах в данном районе или близком к нему по климатическим условиям. Можно также вести специальные термические расчеты.

Данные наблюдений позволяют, однако, заключить, что поверхностный лед не образуется во всяком случае при $v > 2 \div 3$ м/сек. При $v > 1,2 \div 1,5$ м/сек лед размывается потоком, если он образовался.

Для повышения пропускной способности канала, снижающейся при наличии в нем ледяного покрова, принимают иногда специальные меры, например, временную форсировку (увеличение) расхода воды для того, чтобы образование льда произошло при повышенных горизонтах воды, или установку в ряде мест по каналу временных шандорных порогов, создающих подпор и повышение горизонта воды в канале на время образования ледяного покрова.

б) Шуга, являющаяся видом глубинного (внутриводного) льда, образуется, как известно, при отсутствии ледяного покрова в потоке.

Образование шуги в каналах энергетических и водопроводных крайне нежелательно, так как она забивает решетки водоприемных устройств гидроэлектрических или насосных станций. Борьбу с образованием шуги легче всего вести, если в канале образовать ледяной покров. Для этого в период возможного образования шуги идут на временное понижение расчетных скоростей, пока не образуется небольшой слой поверхностного льда.

Другой метод борьбы с шугой заключается в искусственном отоплении канала, но это дорогое мероприятие, применимое за редкими исключениями лишь в каналах с малыми расходами воды.

Если шуга появляется в канале неизбежно, в частности, если она поступает в канал из горной шугоносной реки, то необходимо обеспечить транспорт этой шуги по каналу до мест ее сброса и предотвратить образование в канале шуговых зажоров. В этих целях рекомендуется поддерживать в канале скорости течения не ниже $1-1,5$ м/сек и избегать частых поворотов трассы канала.

Вопросы зимнего режима очень сложны, особенно для энергетических каналов с их переменным режимом расходов воды. Решение этих вопросов возможно лишь при учете местных климатических условий, гидрологических условий реки или водохранилища, из которых питается канал, и опыта эксплуатации каналов в аналогичных условиях. Приведенные выше соображения являются лишь ориентирующими.

5. Ограничения уклонов и скоростей течения по экономическим и эксплуатационным соображениям

В энергетических каналах приходится устанавливать скорость течения и уклон, исходя из экономических соображений. Чем больше уклон, а с ним и скорость течения, тем меньше живое сечение, а следо-

вательно, и объемы работ и стоимость канала. Но зато с увеличением уклона канала увеличивается и потеря напора на установке, следовательно, понижается выработка энергии гидростанцией. Не приводя здесь необходимых расчетов, даваемых в специальных курсах, можно указать, что наиболее экономичное решение получается в варианте, для которого сумма ежегодных затрат на содержание канала (на ремонт, амортизацию и пр.) и стоимости ежегодно теряемой за счет уклона канала на ГЭС энергии будет минимальной.

В целях уменьшения уклонов энергетических каналов оказывается выгодным устраивать гладкие облицовки канала, уменьшающие шероховатость русла и допускающие повышенные скорости течения в канале (§ 165) — до $1 \div 1,5$ и даже до 2 м/сек.

В водопроводных каналах уклон не играет такой роли, но зато при малых сечениях этих каналов ледяной покров, если он образуется, существенно снижает пропускную способность канала; поэтому здесь часто прибегают к отоплению их.

В судоходных каналах скорости течения по условиям экономичности тяги судов обычно не превышают $0,8$ м/сек.

§ 163. ПОТЕРИ ВОДЫ (ФИЛЬТРАЦИЯ) ИЗ КАНАЛОВ И БОРЬБА С НИМИ

1. Виды потерь

В открытых каналах вода теряется на испарение в атмосферу, на фильтрацию в грунт русла и через сооружения на каналах.

Потери на испарение относительно невелики и колеблются, будучи выражены слоем утерянной воды, отнесенным к поверхности зеркала канала, от 300 до 800 мм в год в зависимости от географического положения канала.

Потери на фильтрацию через сооружения на канале могут быть конструктивно доведены до минимума, сами по себе они ничтожны.

Наиболее значительными являются потери воды на фильтрацию в грунт русла канала, достигающие иногда, например, в ирригационных каналах, 50—60% расхода воды в канале. Это не только удорожает канал в силу необходимости расчета его на значительно больший расход, чем требующийся по водохозяйственному заданию, но и называется иногда неблагоприятно на окружающей местности, вызывая подъем грунтовых вод.

2. Виды и характер фильтрации из каналов

Из каналов, расположенных в водопроницаемых грунтах, вода фильтруется под действием силы тяжести, растекаясь по криволинейным траекториям (линии тока), постепенно приближающимся с глубиной к вертикальным прямым (фиг. 28—2,а). Начальные скорости фильтрации неравномерно распределены по сечению канала, достигая максимума (теоретически бесконечно большой величины) в нижних углах трапециoidalного сечения; с глубиной скорости выравниваются, как это видно из фильтрационной сетки (фиг. 28—2,а), и величина их равна

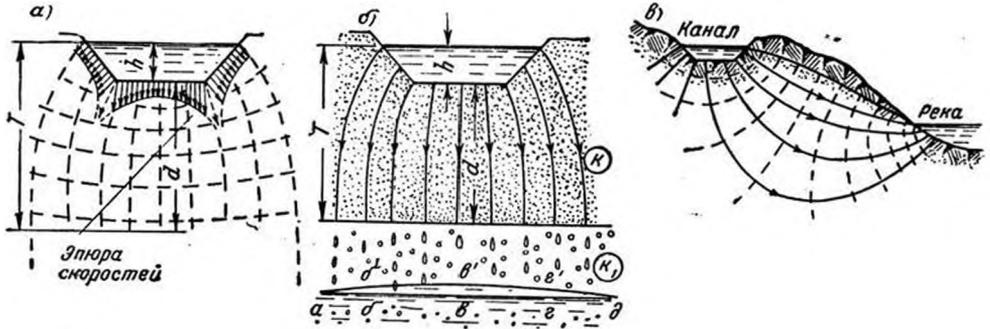
$$v \approx k,$$

$$(28-9)$$

где k — коэффициент фильтрации; градиент фильтрации здесь, равный $J \approx \frac{h+d}{d}$, близок к единице.

Это случай так называемой фильтрации «на бесконечность» или свободной фильтрации, «без подпора».

Если под слоем данного грунта толщиной T с коэффициентом фильтрации k залегает грунт, более водопроницаемый (фиг. 28—2,б), с ко-



Фиг. 28—2. Виды фильтрации воды из канала

а — «на бесконечность»; б — при наличии значительно более проницаемого подстилающего грунта; в — с подпором*

эффициентом фильтрации $k_1 > k$ и с горизонтом грунтовых вод $абвгд$, то первое время в грунте с коэффициентом k_1 фильтрация будет идти не сплошным потоком, а отдельными струйками. Под действием этой фильтрации горизонт воды $абвгд$ несколько поднимется и примет форму $аб'в'г'д$ (фиг. 28—2,б). Если слой d очень мал, градиент $I = \frac{h+d}{d}$ в нем будет значителен и расход фильтрации в нем может оказаться равным (или большим) расходу в подстилающем слое с градиентом $J \approx 1$, т. е.

$$v = k \frac{h+d}{d} = v_1 = k_1. \quad (28-10)$$

Тогда поток фильтрации в слое d сомкнется с потоком в подстилающем слое, градиенты уменьшатся вследствие увеличения пути фильтрации, считаемого в этом случае не только в слое d , но и в подстилающем слое. В результате скорости и расход фильтрации также уменьшатся, движение будет уже «с подпором».

Такого рода движение будет и в случае, если вода из канала на склоне долины фильтруется в реку (фиг. 28—2,в).

3. Расход фильтрации из канала

Впервые теоретически задача фильтрации из канала в однородном грунте решена проф. В. В. Ведерниковым для нескольких случаев русла, близкого к треугольному и трапециoidalному, при движении воды «на бесконечность» или когда грунт канала подстилается более водопроницаемым.

При фильтрации «на бесконечность» из трапециoidalного канала шириной поверху b , глубиной h и заложением откосов m расход фильтрации на 1 пог. м. длины канала, по В. В. Ведерникову, равен

$$q = k \left(b + 2h \frac{K}{K_1} \right) m^3 / \text{сек}, \quad (28-11)$$

где k — коэффициент фильтрации;
 K и K_1 — эллиптические интегралы I рода.

Для упрощения подсчетов приводится график зависимости величины $2 \frac{K}{K_1}$ от отношения $\frac{b}{h}$ для различных значений m (фиг. 28—3).

Из графика можно видеть, что в широких каналах при больших значениях $\frac{b}{h}$ величина $b + 2h \frac{K}{K_1}$ близка к длине смоченного периметра p , и приближенно можно написать:

$$q = km^3/\text{сек на 1 пог. м.} \quad (28-12)$$

Ряд других теоретических решений фильтрации из каналов был получен В. В. Ведерниковым, Н. Н. Павловским, В. И. Аравиным, С. Н. Нумеровым для случаев подпора, наличия водоупора в основании дренажа и др.

Экспериментальный и графический методы могут быть также использованы для решения задач фильтрации.

Если горизонт грунтовых вод в окружающей местности лежит выше горизонта воды в канале, то будет фильтрация обратного знака, т. е. не из канала, а в канал; потерь воды не будет, а будет приток ее, канал будет дренировать окружающую местность.

На практике геологические условия часто более сложны и не соответствуют обычно предпосылкам теоретических решений. Поэтому в таких случаях приходится схематизировать гидрогеологические условия, т. е. несколько осреднять фильтрационные показатели, а кроме того, пользоваться иногда эмпирическими формулами, выведенными из длительного опыта.

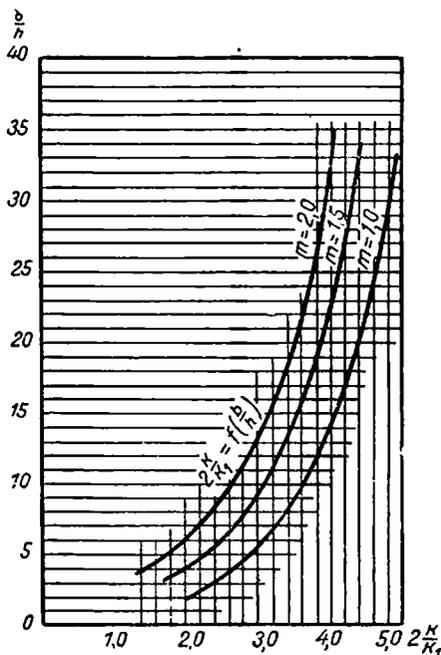
Обработка многочисленных данных непосредственных измерений потерь воды в каналах, главным образом оросительных, позволила проф. А. Н. Костякову¹ дать эмпирические формулы для определения потерь воды на 1 пог. км каналов в процентах от протекающего в нем расхода воды Q (в $\text{м}^3/\text{сек}$):

а) для каналов в легкопроницаемых грунтах

$$\sigma = \frac{3,4}{Q^{0,5}} \% \quad (28-13)$$

б) для каналов в среднепроницаемых грунтах

$$\sigma = \frac{1,9}{Q^{0,4}} \% \quad (28-14)$$



Фиг. 28—3. График для расчета фильтрации из трапециoidalного канала (по В. В. Ведерникову)

¹ А. Н. Костяков, Основы мелиораций, Сельхозгиз, 1951.

в) для каналов в тяжелых малопроницаемых грунтах

$$\sigma = \frac{0,7}{Q^{0,3}} \% \quad (28-15)$$

Данные опыта показывают, что средние потери на 1 км длины канала в процентах от расхода воды в нем при среднепроницаемых грунтах колеблются от 0,2—0,5% для крупных каналов ($Q=20-100 \text{ м}^3/\text{сек}$) до 3—4% для малых ($Q=1-50 \text{ м}^3/\text{сек}$), а для совсем небольших доходят до 16%. В легкопроницаемых грунтах потери могут достигать 30% и более от расхода воды.

4. Режим фильтрации

Величина фильтрации из канала не остается постоянной во времени: с одной стороны, происходит миграция частиц в фильтрующей среде — грунте, с другой, — взвешенные наносы и растворенные соли, несомые водой канала, вмываются в грунт его русла, отлагаются там и образуют вскоре малопроницаемую для воды корку по периметру русла канала. Это уменьшает расход фильтрации; поэтому вначале новые каналы обычно имеют значительно большие (иногда в несколько раз) потери, чем через несколько лет работы.

5. Борьба с фильтрацией путем повышения водонепроницаемости русла канала

Борьба с фильтрацией ведется путем образования водонепроницаемого слоя по периметру водопроницаемых частей сечения канала. Этот слой можно устраивать двояким образом:

- а) путем повышения водонепроницаемости грунта русла канала;
- б) путем покрытия дна и откосов канала облицовкой из инородного материала.

Типы облицовок рассматриваются в следующем параграфе, здесь же описываются способы увеличения водонепроницаемости грунта русла канала. К ним относятся кольматаж, нефтевание, силикатизация, осолонение, оглеение, цементное упрочнение, механическое уплотнение.

а) **Кольматаж** представляет собой процесс заполнения пор грунта ложа канала мелкими частицами, вводимыми в него фильтрующей водой. Естественный кольматаж, описанный уже выше, происходит, если вода канала содержит мелкие взвешенные частицы. Искусственный кольматаж производится введением в воду канала глинистых, илистых частиц и взмучиванием их или путем впуска в канал мутной воды¹.

Для успеха кольматажа нужно, чтобы гранулометрический состав грунта русла был разнородным, чтобы в грунте не было крупных пор, не заполненных мелким материалом; скорости течения в канале должны быть невелики во избежание уноса кольматирующего материала.

б) **Нефтевание** русла канала производится путем поливки грунта нефтью чистой или с известковым молоком; расход нефти — от 4 до 15 кг на 1 м² поверхности русла, известкового молока — 5—8 кг на 1 м².

Этот вид повышения водонепроницаемости грунта держится недолго: ежегодно теряется до 10% полученной водонепроницаемости, поэтому через несколько лет надо возобновлять нефтевание.

¹ Ф. И. Пикалов, Глиняные одежды. Кольматация и уплотнение в борьбе с фильтрацией из оросительных каналов, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 11. 1950.

в) Силикатизация грунта, известная как метод уплотнения оснований путем инъекции силикатов, может применяться и в каналах, причем она может одновременно сделать откосы более устойчивыми против олоздания; силикатизация неприменима в грунтах растительных и засоленных. Силикатизированные грунты, однако, недостаточно стойки против действия пресной воды и атмосферных осадков и, кроме того, этот способ дорог. Поэтому практически этот метод не получил распространения.

г) Искусственное осолонение грунта русла предложено акад. А. Н. Соколовским¹. Оно основано на том, что введение солей, например, CaCl_2 , NaCl , в грунт (3—5 кг на 1 м² поверхности) уменьшает его фильтрационную способность в 9—10 раз. Метод этот дает удовлетворительные результаты, прост и дешев, однако он не дает длительного снижения потерь воды и уменьшает устойчивость откосов, притом снижение фильтрационной способности грунтов происходит неравномерно по площади осолонения.

д) Искусственное оглеение грунта (предложено в 1947 г.²) представляет собой биохимическое воздействие на структуру связного грунта путем введения в грунт органического вещества (соломы, сорняков, отходов конопля, подсолнечника и т. п.), которое анаэробными бактериями, всегда имеющимися в грунте, разлагается в присутствии воды и при недостатке кислорода (анаэробное разложение). При этом происходит повышение дисперсности, пластичности и водонепроницаемости грунта. Продукты разложения (газы, растворимые вещества, спирты, кислоты и пр.) выносятся фильтрационным потоком вглубь грунта, что увеличивает слой грунта повышенной водонепроницаемости (с течением времени) с начальных примерно 10 до 40—50 см (через несколько лет). Коэффициент фильтрации снижается в десятки, сотни раз.

Практически этот метод осуществляется, например, путем смешивания грунта русла канала с резаной соломой и т. п. в виде слоя около 5—7 см, который прикрывается защитным слегка уплотняемым слоем грунта в 10—15 см.

Ближайшее время покажет, насколько этот метод практически найдет распространение.

е) Цементное упрочнение грунта производится следующим образом: грунт ложа канала смешивается или с портландцементом (11—16%), или со смолами (1,5—2,5%), или с тем и другим (1,5% смол и 6% цемента) и уплотняется на откосе слоем в 10—15 см. Длительного опыта работы такого уплотненного грунта пока не имеется, поэтому нельзя еще судить о его долговечности и других показателях.

ж) Механическое уплотнение может существенно снизить водопроницаемость грунтов, имеющих малую плотность, структурных, с сосредоточенными ходами фильтрации (карбонатных, лёссовидных и т. п.). В последнее время разрабатываются типы машин, которыми можно будет эффективно уплотнять откосы каналов, дно же уплотняется обычными способами (катками, трамбованием). Эффект уплотнения может быть значительным: так уменьшение пористости мелкого песка с 36,6 до 29,4% уменьшает коэффициент фильтрации в 20 раз.

Следует отметить, что каналы, выемки которых в суглинистых грунтах выполнены в зрывным способом (на выброс), имеют мень-

¹ А. Н. Соколовский, Новый метод борьбы с фильтрацией почв при постройке водоемов и других сооружений, Сельхозгиз, 1941.

² Г. М. Ломизе, А. С. Вознесенский и С. Г. Хлебников, О противофильтрационных мероприятиях в каналах и водоемах, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1951.

шие потери на фильтрацию, чем каналы в тех же грунтах, выполненные экскаваторами¹.

з) Из всех перечисленных способов борьбы с фильтрацией наиболее надежен метод кольматажа; нефтевание также эффективно, но требует частого возобновления и может применяться скорее как временная мера; остальные способы или находятся в стадии опытов, или дороги (силикатизация).

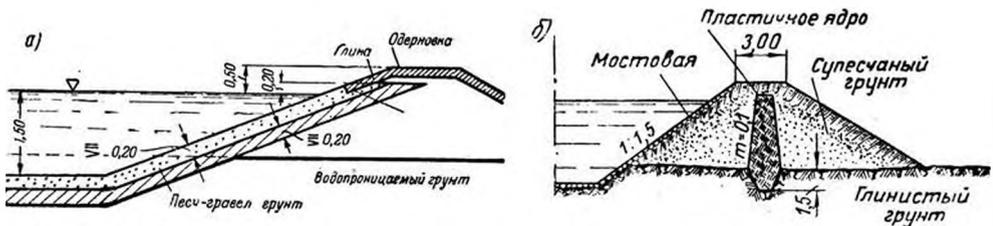
§ 164. ОБЛИЦОВКИ (ОДЕЖДЫ) КАНАЛОВ

Облицовки каналов устраиваются для разных целей: 1) защиты ложа их от размыва; 2) для повышения пропускной способности русла (уменьшение шероховатости и повышение скорости течения); 3) для уменьшения потерь на фильтрацию; 4) во избежание оплывания откосов и др.

Некоторые типы одежд выполняют все указанные функции, другие — только одну или две.

1. Глинистые и торфяные облицовки

Глинистые и торфяные облицовки устраиваются для борьбы с фильтрацией по типу экранов плотин, но ввиду меньшей их ответственности делаются тоньше: глинистые — толщиной от 0,2—0,3 м (при глубине воды 1,5—2 м) до 1 м в зависимости от глубины канала, торфяные слоистые — толщиной 0,9—1,5 м. При этом откосы канала не должны быть круче 1:2, лучше принимать 1:2,5—1:3. Экран должен быть покрыт защитным слоем из грунта толщиной от 0,2 до 0,7 м (фиг. 28—



Фиг. 28—4. Глинистые противофильтрационные устройства

4,а) на откосах и 0,2—0,3 м по дну; в судоходных каналах, где возможно сбрасывание якорей, защитный слой должен иметь толщину не менее 0,7—1 м.

Защитный слой предохраняет экран от размывающего действия течения или волнения, от промерзания при снижении уровня или опорожнении канала зимой. В зоне действия льда и волнения защитный слой усиливается, например, каменным или другим креплением.

Если сечение канала образовано в полувыемке-полунасыпи (фиг. 28—4,б), то экран может быть заменен ядром, смыкающимся с водонепроницаемым грунтом.

Описанные облицовки применяются главным образом в судоходных каналах; в других же каналах чаще применяют такие облицовки, которые одновременно защищают ложе канала против размыва и фильтрации, а иногда еще уменьшают и шероховатость русла; они описываются ниже.

¹ С. В. Астапов, Д. М. Кушнарев, К оценке фильтрационных и некоторых других свойств грунтов в каналах, выполненных взрывным способом, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1952.

2. Каменные и гравийные облицовки

Каменные облицовки без применения вяжущего. Эти облицовки ложа каналов применяются в виде: а) каменной наброски; б) каменной укладки; г) гравийного или щебневого покрытия (по типу дорожных).

Такие покрытия защищают ложе канала от размыва и лишь частично уменьшают фильтрацию, являясь все же проницаемыми для воды¹; шероховатость по сравнению с земляными каналами мало изменяется или меняется даже в сторону ее увеличения (типы по пп. «а», «б»).

Каменные облицовки применяются только в каналах значительных сечений или в судоходных каналах, где роль шероховатости относительно невелика. Экономичными они являются там, где месторождения камня имеются по трассе канала, а доставка привозных материалов затруднена.

Каменная наброска и каменная укладка представляют собой покрытия, в которых камень до 0,3—0,4 м в поперечнике (фиг. 28—5,а) набрасывается или укладывается на подготовку из щебня или гравия толщиной 0,15—0,2 м, играющей роль обратного фильтра.

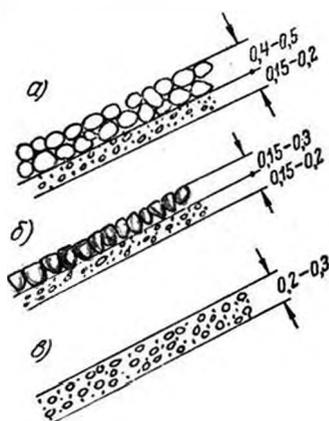
Мощение откосов камнем, укладываемым тычком с трамбованием и расщебенкой пустот (фиг. 28—5,б), производится обязательно на слое крупнозернистого песка или гравия (иногда заменяемом мхом на севере, рисовой соломой на юге) при относительно небольших скоростях течения и на слое щебня — при более значительных. Одиночная мостовая делается толщиной 0,15—0,3 м при подстилающем слое 0,15—0,2 м.

В основании откоса мостовой необходим упор, предохраняющий ее от сползания. Существенным недостатком каменных покрытий является невозможность механизации всех процессов по устройству покрытий.

Гравийное покрытие (фиг. 28—5,в) делается в виде отсыпи гравия с крупностью зерен 5—8 см непосредственно на откос (если грунт мелкозернистый плавунный, надо положить слой среднезернистого песка как подготовку). Толщина покрытия — около 0,2—0,3 м.

Каменные и кирпичные одежды на цементном растворе. Каменные одежды на растворе выполняются в виде мостовой на гравелистой или щебеночной подготовке около 0,15 м. Применение цементного раствора в швах придает мощению водонепроницаемость, несколько большую устойчивость на откосе и меньшую разрушаемость ледоходом. Эти одежды менее чувствительны к колебаниям температуры воздуха, чем чисто бетонные одежды, но могут конкурировать с последними лишь в районах, богатых камнем.

Кирпичные одежды применяют для небольших каналов при отсутствии камня. Кирпичная кладка из кирпичей плашмя покрывается затем штукатуркой.



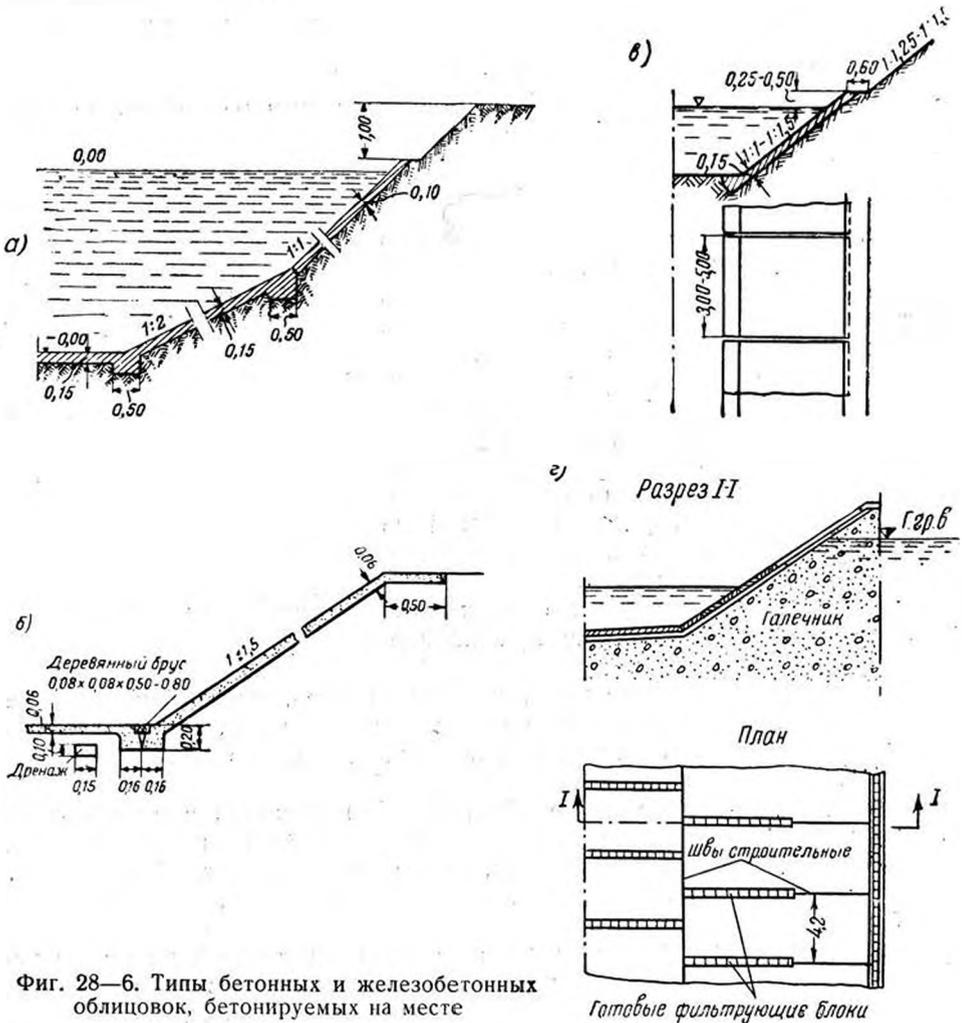
Фиг. 28—5. Каменные облицовки каналов

¹ Инж. М. Я. Алышев предложил заполнять швы мостовой грунтовой смесью для уменьшения фильтрации, этот метод «мостовой с сетчатым экраном» применен на ирригационных каналах Киргизии.

3. Бетонные облицовки

Бетонные облицовки каналов выполняют задачи повышения пропускной способности (малая шероховатость), водонепроницаемости и защиты ложа от размыва течением и поэтому являются наиболее совершенными и распространенными.

Возможность широкой механизации работ делает бетонные облицовки при наличии на месте гравия или камня для бетона наиболее экономичными.



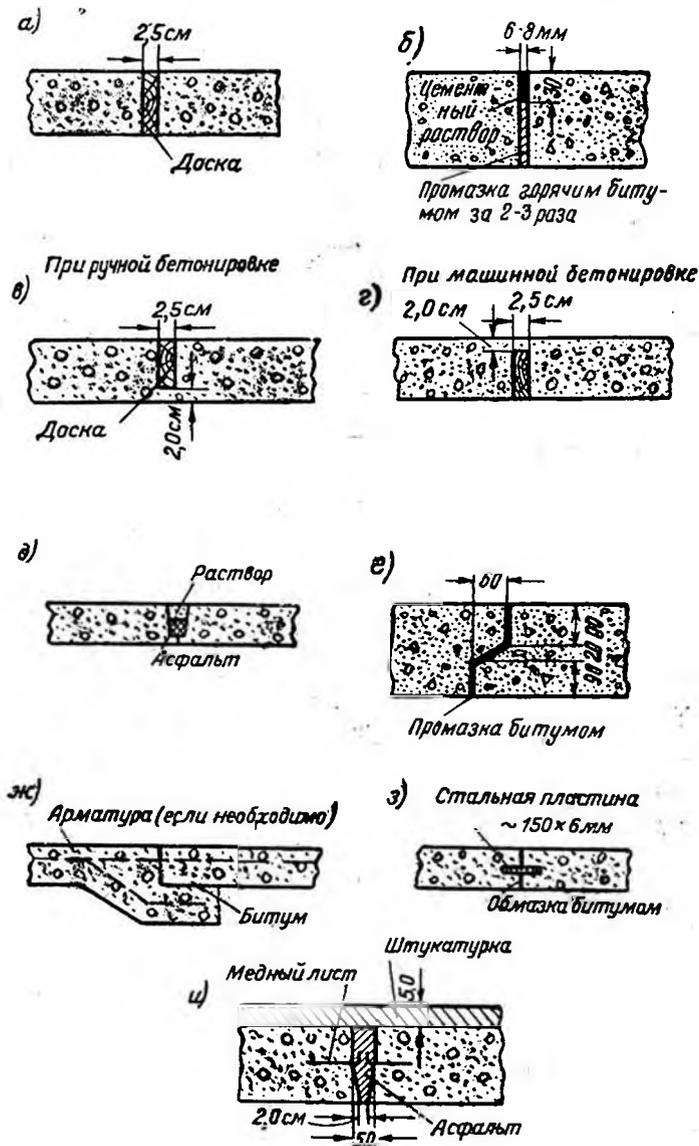
Фиг. 28—6. Типы бетонных и железобетонных облицовок, бетонируемых на месте

Существует два основных типа бетонных одежд: а) бетонируемых на месте и б) в виде бетонных плит, заготовленных заранее на заводе.

а) Одежды, бетонируемые на месте, выполняются в виде слоя бетона толщиной 0,06—0,2 м, чаще около 0,1—0,12 м (фиг. 28—б); предварительно откосы и дно канала планируются и покрываются слоем подготовки толщиной 0,1 м из гравия, щебня или крупнозернистого песка.

В каналах, где образуется ледяной покров, в зоне последнего облицовка утолщается на 50—75%. В современных каналах весь процесс бетонирования их русла механизирован, для чего применяются специ-

альные машины. Бетонирование откосов 1:1,25 и более пологих производится без опалубки, более крутые откосы требуют опалубки, так как без нее свежесложенный бетон оплывает; в последнем случае применение упомянутых выше бетонировочных машин невозможно и производство работ усложняется.



Фиг. 28—7. Типы швов в бетонных облицовках

Бетон для облицовок применяется двух видов: жирный — водонепроницаемый, морозоупорный и достаточно прочный, с количеством цемента, например, 250—300 кг/м³ — и тощий — прочный, но более водонепроницаемый, с затратой цемента, например, 135—160 кг/м³. Тощий бетон применяется при условии, что он будет покрыт затем цементной (торкретной) штукатуркой (см. ниже) или водонепроницаемость его будет повышена другим путем (кольматаж и т. п.); без штукатурки

тощий бетон применяется лишь для защиты русла от размыва и для повышения пропускной способности канала.

В скальных выемках применяется так называемая выравнивающая облицовка (фиг. 28—15,б), предназначенная главным образом для уменьшения шероховатости, а иногда и для обеспечения водонепроницаемости русла канала. Толщина облицовки — переменная, в зависимости от характера неровностей выемки.

Температурные колебания могут вызвать появление трещин в облицовке. Во избежание этого в ней устраивают швы, обычно только поперечные, через 3—5 м по длине канала¹ (фиг. 28—6,в), лишь в случае излома откоса иногда устраивают продольные швы (фиг. 28—6,а), продольные швы устраивают и при сопряжении откоса с дном (фиг. 28—6, б).

В случаях, когда уровень грунтовых вод стоит выше уровня в канале, в швах закладывают специальные готовые бетонные фильтрующие блоки (фиг. 28—6,г).

На фиг. 28—7 приведены различные типы швов, обеспечивающие достаточную водонепроницаемость их: а — шов впритык с эластичной прокладкой из толя, дерева и т. п. или промазкой асфальтовой мастикой; шов этот простой в выполнении, иногда фильтрует при разнице в осадках секций; б, в, г, д — шарнирный шов, отличающийся от предыдущего наличием тонкой бетонной полосы, прост и удобен при машинном бетонировании; е, ж — «штрабной» шов, и, з — шов с перекрытием металлической пластинкой и заполнением битумом. Последние швы требуют ручной работы, а иногда и армирования (тип е). Швы с металлическими прокладками (и, з), более сложные и дорогие, применяются в особо ответственных случаях, чаще же в бетонных лотках и водоводах.

б) Облицовки из отдельных готовых бетонных плит выполняются путем укладки их на слой гравелистой подготовки («шубы»). Плиты имеют ту же толщину, что и сплошная облицовка бетоном, форма их в плане — прямоугольная или шестиугольная, площадь — 0,4—1,1 м². Швы между плитами уплотняются простейшим образом (фиг. 28—7,б).

Основное преимущество облицовки из отдельных плит — высокое качество их бетона благодаря заводскому изготовлению и некоторая экономия; более гладкая поверхность плит выгодна с гидравлической точки зрения, но эта гладкость эффективна лишь при отсутствии деформаций плит.

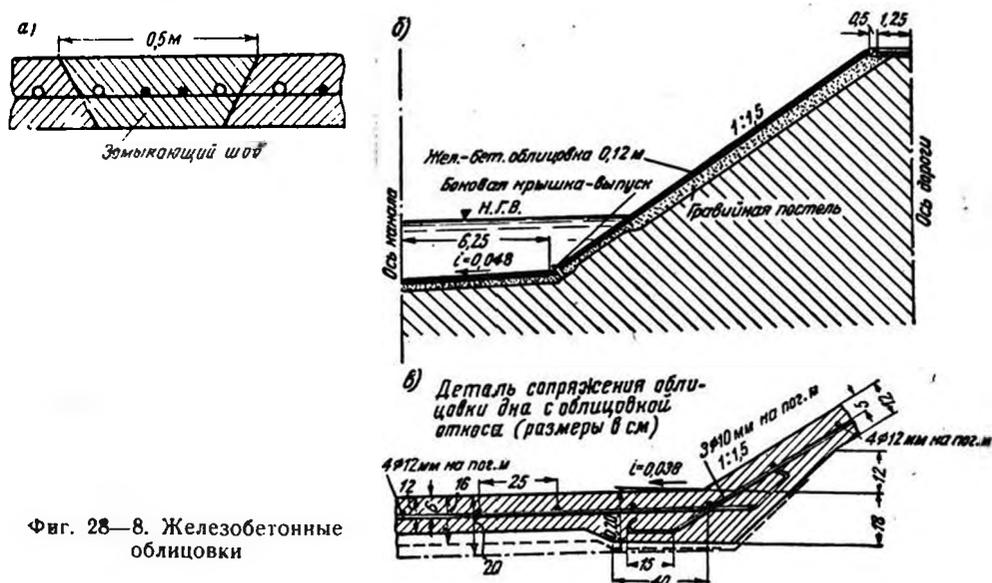
Основной недостаток данного способа — большое количество швов, понижающих водонепроницаемость облицовки, возможность значительных деформаций отдельных плит, что увеличивает шероховатость одежды, меньшая сопротивляемость действию льда или фильтрационного давления (при опорожнении канала). В связи с появлением относительно дешевых механизированных способов бетонирования одежды на месте применение облицовок из готовых плит, ранее широко распространенное, сократилось.

4. Железобетонные облицовки

Эти облицовки отличаются от бетонных меньшей толщиной, но ввиду наличия арматуры (обычно 0,2—0,4%) — большей сопротивляемостью растягивающим усилиям. Поэтому они особенно целесообразны на грунтах деформирующихся, мало устойчивых, в частности, лёссовых,

¹ Иногда рекомендуется давать расстояние между швами, равное 20—100-кратной толщине облицовки, в среднем 50-кратной.

пучинистых, а также при значительных колебаниях температуры. Швы в таких одеждах устраиваются на больших расстояниях, чем в бетонных, или даже совсем отсутствуют. В последнем случае рекомендуется при бетонировании оставлять через каждые 15—20 м временные поперечные швы шириной 0,5 м, которые заделываются бетоном по окончании усадки бетона в уложенных секциях облицовки; скошенные края последних промазываются асфальтовой мастикой (фиг. 28—8,а).



Фиг. 28—8. Железобетонные облицовки

Как пример приводится железобетонная бесшовная одежда одного из каналов в Средней Азии (фиг. 28—8,б, в), толщиной 12 см, с арматурой в середине сечения из четырех стержней $d = 10 \div 12$ мм на 1 пог. м в продольном направлении и трех стержней $d = 8 \div 10$ мм в поперечном. В лёссовых и лёссовидных грунтах под облицовкой предусматривают защитный слой («шубу») толщиной 0,3—0,5 м против пучения лёсса зимой и дренаж; деталь сопряжения облицовки откоса с облицовкой дна показана на фиг. 28—8,в.

5. Цементные облицовки

Эти облицовки применяются для целей: 1) повышения водонепроницаемости других видов одежд (мощение, тощий бетон); 2) для уменьшения шероховатости стенок; 3) в качестве самостоятельной одежды.

Цементные облицовки выполняются двух видов: а) цементная штукатурка и б) торкретирование.

а) Цементная штукатурка наносится слоем 1,5—5 см в зависимости от проницаемости и величины неровностей поверхности (иногда и более, например, при отделке скальных поверхностей); состав раствора обычно — 1:1,5—1:2.

б) Торкретная облицовка, наносимая на бетон или мостовую, выполняется в 1—2, иногда 3 слоя, каждый по 0,5—1,5 см, с перерывами в торкретировании 2—3 дня. Торкретная облицовка, выполняемая в виде самостоятельной одежды, применяется на сухих гравелистых, песчаных и песчано-гравелистых грунтах, при глубине каналов до 3—4 м, обязательно по металлической сетке из 2-миллиметровой

проволоки или из перфорированных металлических листов. Толщина облицовки — 3—4 см при колебаниях от 2,5 до 5 см.

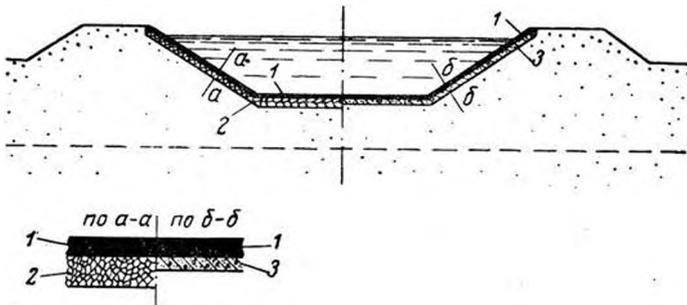
Торкретная облицовка характеризуется высокой прочностью, водонепроницаемостью и стойкостью против атмосферных воздействий. Но шероховатость поверхности торкрета большая, чем цементной штукатурки, почему иногда верхний ее слой делают с затиркой.

6. Асфальтовые и битумные облицовки

Этот вид облицовки получил распространение в последнее время в связи с успехами применения асфальтобитумных материалов в дорожном деле.

Различают следующие основные типы облицовок: асфальтобетонные, асфальторастворные и различные грунто-асфальтовые.

а) Асфальтобетонные облицовки (фиг. 28—9) выпол-



Фиг. 28—9. Асфальтобетонная облицовка

1—облицовка; 2—подготовка; 3—жесткое основание из бетона или грунтоцемента

няются в виде слоя асфальтобетона толщиной 5—8 см на подготовке из щебня или гравия, покрываемого иногда перед пуском канала в эксплуатацию горячим битумом с добавкой коротковолокнистого асбеста. Асфальтобетон состоит из асфальтового тугоплавкого битума (6—9%) и заполнителя, песка и щебня, подбираемых аналогично тому, как это делается в цементном бетоне. Смесь, нагретую при 160—180°, применяют в дело при температуре не ниже 140° на откосах с укаткой, а на дне канала таким же путем или разливом (литой асфальтобетон).

Асфальтобетон обладает достаточной прочностью, гибкостью, позволяющей ему приспосабливаться к деформациям грунта без образования трещин, стойкостью против атмосферных факторов и водонепроницаемостью, большей, чем бетон.

Недостатком асфальтовых облицовок является пробивание их растениями, с чем, однако, можно вести борьбу путем поливки подготовленной поверхности грунта веществами, уничтожающими жизнеспособность корневой системы растений, а также устройством жесткого основания под асфальтобетон из бетона (около 5 см) или уплотненной смеси грунта с цементом. Очень важен подбор состава асфальтобетона, что следует поручать лаборатории.

б) Облицовки из асфальтового раствора или песчаного асфальта отличаются от асфальтобетона отсутствием в материале облицовки щебня, почему содержание битума более высоко (9—14% по весу). Эта облицовка выполняется толщиной 3—5 см, причем может быть применено армирование сеткой (от 5×5 до 10×10 см).

в) Облицовки из смеси асфальта и грунтов. Более простыми в выполнении являются облицовки из смесей битумов с местным грунтом (грунто-асфальт). Особый вид облицовки выполняется из предварительно уплотненного на откосе щебня, по которому разливается горячий битум. Последний вид облицовки может служить лишь для защиты от размыва, волнобоя и пр., так как фильтрация при этом уменьшается лишь частично.

В последнее время предложен и испытывается тип пористой асфальтобетонной облицовки для защиты откосов от размыва волнами, не требующей специальной подготовки; этот тип облицовки обещают заменить каменное мощение или укладку (тем более, что выполнение его полностью механизмуется), если он окажется достаточно морозостойким.

7. Сопоставление различных облицовок

Наиболее универсальной облицовкой является бетонная, так как она решает почти все задачи: обеспечение водонепроницаемости, защиту русла от размыва и повышение пропускной способности; она допускает полную механизацию работ и относительно недорога.

В случае необходимости более прочной одежды (деформируемые грунты) и при более тяжелых условиях вообще применяются железобетонные одежды. Цементные облицовки чаще применяются как вспомогательное, дополнительное средство.

Асфальтобетонные облицовки обладают всеми свойствами бетонных, имея преимущество большей водонепроницаемости, гибкости и меньшей шероховатости.

Однако опыт применения этих одежд не так велик, как бетонных, поэтому применять их следует после проведения опытов по подбору состава материала и после экономического сопоставления с бетонными облицовками.

Остальные типы облицовок имеют защитное значение лишь против размыва, иногда и от фильтрации, применяются при наличии на месте соответствующих материалов после технико-экономического сравнения с другими видами защиты.

8. Дренаж под облицовками

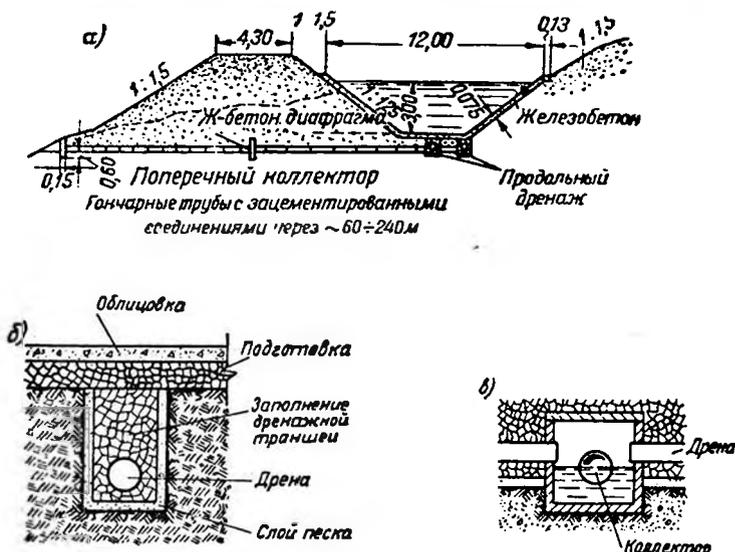
Все виды водонепроницаемых облицовок подвергаются опасному давлению со стороны грунтовых вод при высоком стоянии последних и быстром понижении уровня воды в канале или опорожнении его; кроме того, зимой облицовки могут страдать от пучения глинистых грунтов, увлажненных грунтовыми водами. В результате таких воздействий грунтовых вод происходит нередко разрушение облицовки: появление трещин, выпучивание, сползание плит и пр. Поэтому дренаж под облицовками является необходимым мероприятием.

Задачи его заключаются или в выравнивании горизонтов воды грунтовой и в канале, или в понижении грунтовых вод ниже уровня в канале, отводе профильтровавшихся из канала вод. В первом случае грунтовые воды могут отводиться и в канал, и в сторону, во втором должны удаляться при помощи продольного коллектора и поперечных выпусков за пределы канала в ближайшие понижения рельефа местности.

Во всех случаях конструкция дренажа состоит из следующих элементов: пористого дренирующего слоя подготовки из крупнозернистого песка, гравия, щебня (фиг. 28—8,б), продольных и поперечных дрен (фиг. 28—10) и выпусков.

Продольные дрены устраиваются обычно под дном канала, но в глубоких каналах иногда и под облицовкой откосов.

Дрены представляют собой трубы гончарные, бетонные, железобетонные и т. п. с отверстиями или швами, окруженными обратными



Фиг. 28—10. Дренаж облицовки с продольными дренами и поперечными выпусками

фильтрами (фиг. 28—10,б); выпуски или коллекторы делаются из гончарных труб с зацементированными швами (фиг. 28—10,а) или в виде бетонных труб (фиг. 28—10,в).

Выпуски воды в канал в виде боковых трубок с клапанами или крышками (фиг. 28—8,б) действуют не всегда удовлетворительно, засоряются наносами, затягиваются донным мусором и пр.¹

§ 165. ТРАССА, ПРОДОЛЬНЫЙ И ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛИ КАНАЛОВ

1. Проектирование каналов

Составление проекта канала представляет задачу, различную для каналов различного назначения. Наиболее сложным является проектирование энергетического канала.

В этом случае задача заключается в проведении канала на местности с таким уклоном, при котором суммарная стоимость потерянной энергии в канале и ежегодных эксплуатационных расходов по каналу была бы наименьшей. При таком уклоне и при заданном расходе воды находят площадь поперечного сечения канала, а свойства грунтов по трассе диктуют форму этого сечения, крутизну откосов и пр.

Условия местности заставляют иногда вносить изменения в первоначально намеченное направление канала и в его элементы, поэтому к наиболее целесообразной трассе подходят после ряда приближений. Параллельно выясняют влияние на запроектированный канал ограничений расчетной скорости по размыву, зимнему режиму и пр. и соот-

¹ А. М. Стрельцов, Некоторые данные о работе деривационных каналов, журнал «Гидротехническое строительство» № 6, 1952.

ветственно корректируют сечение канала и другие элементы. В энергетических каналах важную роль играет неравномерная работа гидростанций, к которой канал подводит воду.

При пуске или остановке части или всех агрегатов станции в канале возникают волновые явления, явления спада или подпора воды, причем движение воды в канале оказывается не только неравномерным, но и неустановившимся. Для урегулирования работы канала предусматривается в коротких каналах возможность установления статического горизонта воды при остановке ГЭС, для чего размеры сечения канала должны допускать это без излива воды, а в длинных каналах приходится устраивать всдосбросы.

Проектирование ирригационных, обводнительных и водопроводных каналов менее сложно. Каналы эти трассируются от реки до заданного конечного пункта с определенной его отметкой. Если средний уклон до заданной точки больше допустимого (по размыву или по зимнему режиму), то канал ведут участками с допустимым и экономичным уклоном и затем в подходящих по рельефу местах устраивают переломы продольного профиля, в которых на коротких участках допускаются значительные уклоны, преодолеваемые перепадами или быстротками. В различных пунктах канала делаются ответвления каналов — распределителей воды, причем расход воды в основном канале постепенно уменьшается, а с ним изменяется живое сечение и другие элементы.

При выяснении вопроса о целесообразности устройства одежд в целях борьбы с фильтрацией, для уменьшения шероховатости и повышения скоростей течения производятся экономические расчеты; с этой целью сопоставляются между собой стоимости вариантов облицованных и необлицованных каналов по участкам. В ирригационных каналах учитываются далее ограничения скоростей течения по заилению и зарастанию канала, а в водопроводных каналах еще и по зимнему режиму.

2. Трассирование каналов

Задача трассирования, т. е. разбивки оси канала на местности, состоит в том, чтобы, исходя из принятых и допустимых уклонов, скоростей течения, откосов русла, радиусов закруглений, провести между двумя заданными пунктами канал с заданной пропускной способностью при минимальной его стоимости.

а) Первый этап — проведение канала по плану в горизонталях. Исходным вариантом трассы желательна прямая линия между заданными пунктами, например, A и B (фиг. 28—11,а). Если средний уклон канала при этом выдерживается в пределах допустимого, проматривают характер отдельных участков канала по их продольному профилю. Так, например, в зоне C (фиг. 28—11) при прямолинейном направлении получаются недопустимо глубокие выемки — более 30 м (на практике встречаются и более глубокие выемки, так, на канале Альберт в Бельгии — более 60 м, но это исключительные и «безвыходные» случаи).

Путем технико-экономического сравнения варианта участка $C_1 C_2$ (фиг. 28—11,б) — в выемке или в туннеле — решается вопрос, например, в пользу туннеля. Но может оказаться, что более длинная трасса ($C_1 C_3 C_6 C_4 C_2$, фиг. 28—11,а и в) с менее глубокой выемкой или еще более длинная ($C_1 C_3 C_5 C_4 C_2$, фиг. 28—11,г) почти без выемки окажется еще более выгодными в отношении стоимости. В результате таких сопоставлений можно выбрать наиболее выгодную трассу в зоне C .

В зоне D , например, каналу приходится пересекать долину реки: сначала канал идет в насыпи, а затем по мосту, который называется мостом-каналом или акведуком, а далее опять по насыпи. И здесь надо проанализировать варианты несколько более длинной трассы, но с меньшими объемами насыпей и с более короткими акведуками (D , на фиг. 28—11, d).

В узле E (фиг. 28—11, a и e) трасса канала пересекает железную дорогу, причем под очень острым углом. Здесь могут быть разные варианты пересечения: например, железную дорогу провести над каналом по мосту, для чего надо поднять железнодорожное полотно или, наоборот, канал провести над железной дорогой, для чего следует заглубить железную дорогу в выемку.

Кроме того, в плане желательно изменить направление канала так, чтобы он пересекал железную дорогу под углом 90° или около 90° , это может оказаться проще и дешевле косо го пересечения.

Рассмотренный пример показывает, что уже вариации трассы по карте местности позволяют подойти к рациональному направлению канала в первом приближении. Параллельно с соображениями чисто геометрическими и в отношении объемов работ надо учесть и геологические и гидрогеологические условия; например, выгодно бывает иногда обойти районы выхода скалы, желательно избегать трассы в зонах тектонических нарушений, по склонам, на которых развиты оползневые явления, по крутым склонам вообще, по сильно водопроницаемым породам, по заболоченным районам, в зонах пльвунов, просадочных грунтов и т. д. Геологические и топографические условия могут заставить иногда заменить канал на известном участке лотком, туннелем или трубопроводом. Надо учитывать также строительные и производственные условия, например, желательность иногда уравнивания объема насыпей и выемок, чтобы избежать закладки резервов для насыпных участков.

б) Второй этап трассирования канала заключается в разбивке выбранного варианта на местности, где трасса уточняется и окончательно закрепляется.

в) Повороты трассы. При трассировании каналов не следует делать слишком крутых изгибов в плане, так как это ведет к излишним потерям напора, отжиму потока, значительным местным скоростям, зимой иногда к ледовым заторам. Минимальный радиус криволинейных участков канала R_{\min} определяется в зависимости от ширины канала и назначения его.

В энергетических (деривационных) каналах R_{\min} определяется формулой:

$$R_{\min} = 11v^2 \sqrt{\omega} + 12 \text{ м.} \quad (28-16)$$

где v — средняя скорость течения в м/сек;
 ω — площадь живого сечения в м².

Кроме того, соблюдается, чтобы

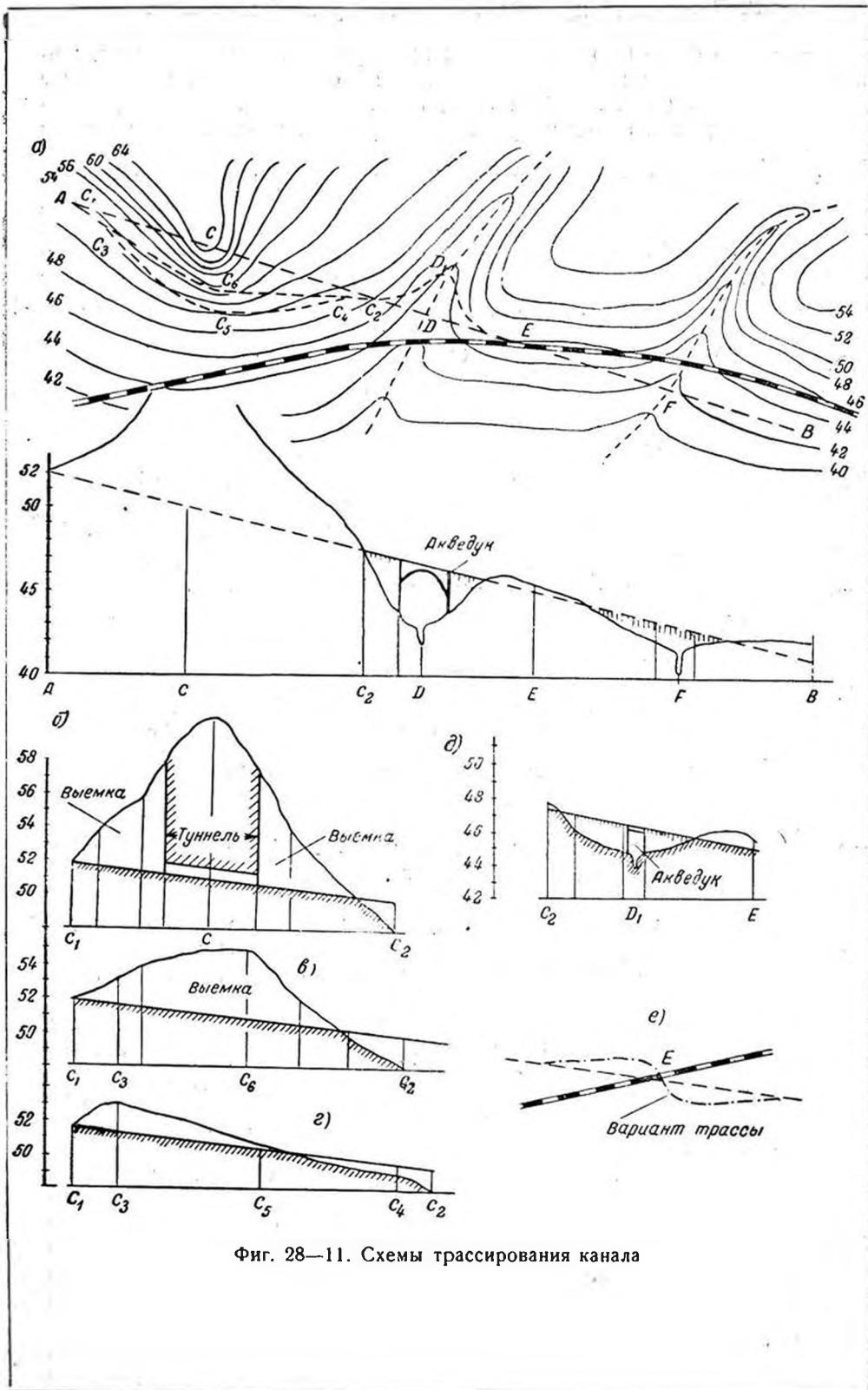
$$R_{\min} > 5b, \quad (28-17)$$

где b — ширина канала по дну.

Во избежание заторов льда или шуги, если таковая может двигаться по каналу, надо чтобы

$$\text{и} \quad \left. \begin{array}{l} R_{\min} > 10b \text{ при } \alpha < 45^\circ \\ R_{\min} > 20b \text{ при } \alpha > 45^\circ, \end{array} \right\} \quad (28-18)$$

где α — угол поворота трассы.

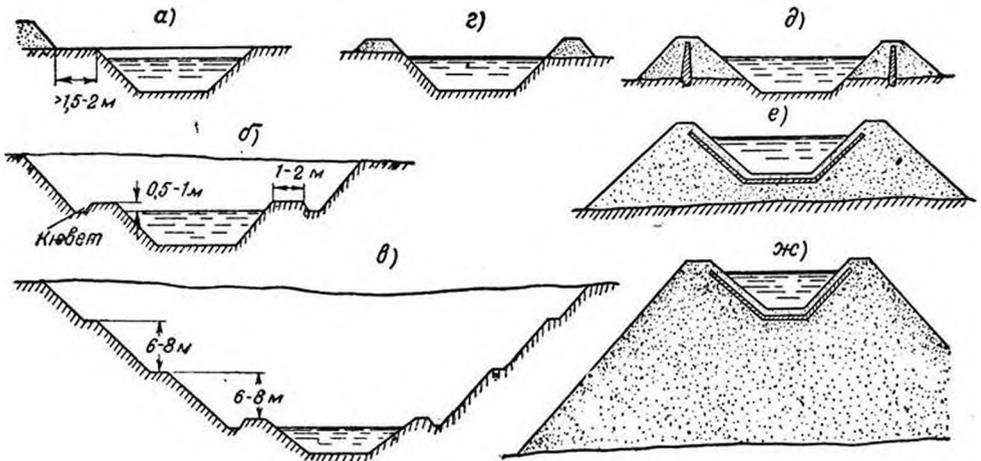


Фиг. 28—11. Схемы трассирования канала

3. Поперечные профили каналов на ровной местности

Как видно было из рассмотрения примера трассировки канала, живое сечение канала может размещаться по отношению к поверхности земли различно (фиг. 28—12): *а, б, в* — полностью в выемке различной глубины; *г* и *д* — в полувыемке-полунасыпи; *е, ж* — полностью в насыпи.

При подходах к акведукам неизбежны участки в насыпях; что же касается ровных участков, то здесь, казалось бы, надо выбирать тип *г, д*, где объем выемки примерно равен объему насыпи и профиль получается весьма экономичным по балансу земляных работ (поперечная переброска грунта). Но такой профиль имеет слабое место — контакт насыпи с естественным массивом грунта, представляющий собой облегченный путь



Фиг. 28—12. Типы поперечных профилей каналов

для фильтрации; кроме того, насыпная часть профиля деформируется сильнее, чем нижняя часть в выемке, что может вызвать нежелательные трещины в облицовке.

Иногда удается уравновесить земляные массы по каналу путем продольной возки грунта: живое сечение размещают в выемке, грунт из которой направляется в ближайшие насыпи. Участков канала в насыпях вообще лучше избегать.

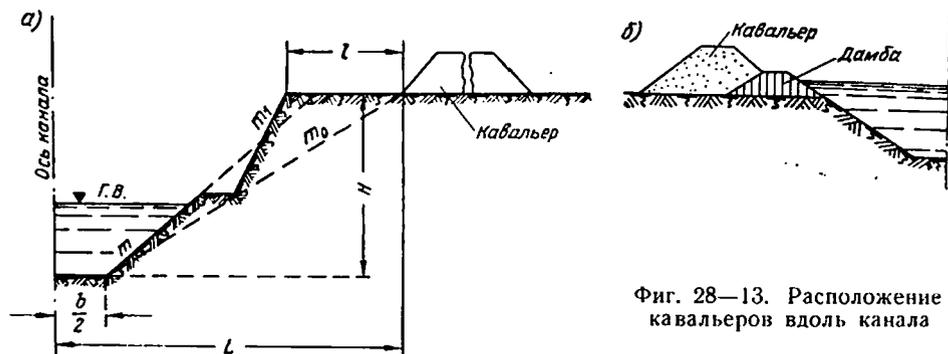
Способы производства земляных работ по каналам: экскаваторные, гидромеханизация, взрыв на выброс, способы планировки сечения имеют значение при формировании профиля канала.

а) Надводные откосы поперечного профиля в выемке образуются следующим образом: на высоте 0,5—1 м (запас на случайные повышения горизонта воды в канале) от наивысшего горизонта воды в канале устраивают бермы шириной 1,5—2 м, с уклоном в сторону от русла канала для обеспечения стока воды в особый укрепленный кювет (фиг. 28—12,б), откуда вода организованно отводится в канал или в понижения местности. С одной стороны канала часто располагается по берме служебная дорога, для чего берма соответственно уширяется. Вышележащим надводным откосам придается крутизна в зависимости от рода грунта, причем они обычно несколько круче, чем указанные в табл. 28—1 для подводных откосов. В случае глубоких выемок и сложного геологического строения местности следует проверять

устойчивость всего откоса (надводного и подводного) расчетом, аналогичным расчету откоса земляных плотин (гл. 12, часть I).

б) Сечения канала в насыпи приведены на фиг. 28—12, *e* и *ж*. Ширина дамб канала, фактически не отличающихся от земляных плотин, делается поверху от 2 м и более. Экранирование дамб против фильтрации делается по типу фиг. 28—12, *д* или *e* в зависимости от высоты дамб и положения водонепроницаемого слоя основания.

в) Кавальеры. При устройстве выемок, если нет продольной возки грунта, он складывается в кавальеры, т. е. отвалы (фиг. 28—13),



Фиг. 28—13. Расположение кавальеров вдоль канала

размеры которых зависят от принятого способа механизированной разработки выемки и от размеров последней. Подошва кавальера должна быть удалена от бровки откоса канала на расстояние l не менее 2—3 м, во всяком случае такое, чтобы нагрузка от кавальера не вызвала обрушения откоса канала, что поверяется расчетом. Расстояние от подошвы кавальера до оси канала (фиг. 28—13, *a*) L должно удовлетворять формуле:

$$L \geq \frac{b}{2} + m_0 H. \quad (28-19)$$

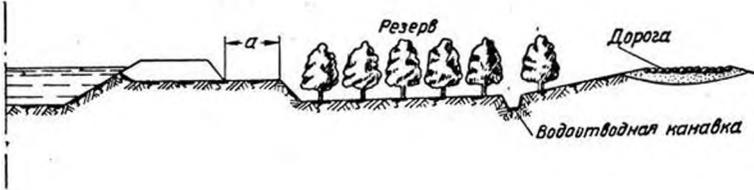
Фиктивный откос m_0 принимается обычно на 10—15% положе откоса канала m (фиг. 28—13, *a*).

В случае наличия дамбы канала в полувыемке — полунасыпи, кавальер можно присыпать к указанной дамбе (фиг. 28—13, *б*). Поверхность кавальера обычно планируется и засеивается травами.

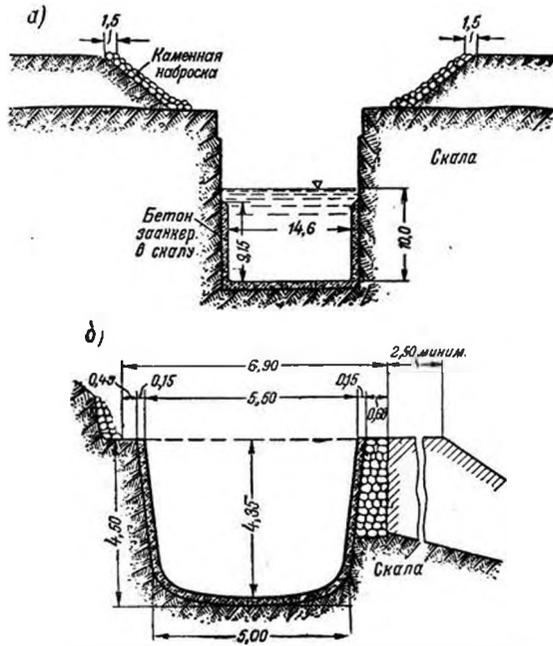
г) Резервы. При закладке резервов для образования дамб канала глубина их должна быть ограничена величиной 1—1,5 м с обеспечением отвода воды из них (фиг. 28—14), а бровка их должна быть удалена от подошвы насыпи на расстояние $a \approx 2 \div 3$ м.

д) Озеленение берегов канала. В целях защиты от заноса канала песками и пылью, а зимой снегом (действующих каналов), защиты от сильных ветров, для снижения потерь воды на испарение и в целях общего благоустройства по берегам канала рекомендуется делать древесные и кустарниковые насаждения полосой достаточной густоты из пород, подходящих для географической зоны, в которой проходит канал. При наличии резервов в них обычно также делаются древонасаждения (фиг. 28—14).

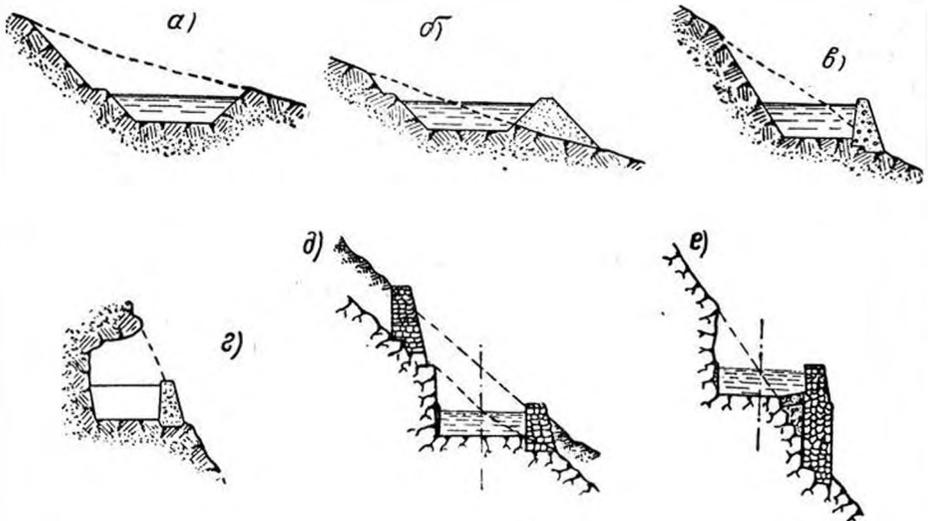
е) В скальных грунтах канал устраивается с прямоугольной формой сечения (фиг. 28—15, *a*) или близкой к ней корытообразной (фиг. 28—15, *б*), или трапециoidalной формы с крутыми откосами.



Фиг. 28—14. Расположение и озеленение резервов



Фиг. 28—15. Поперечные сечения каналов в скале

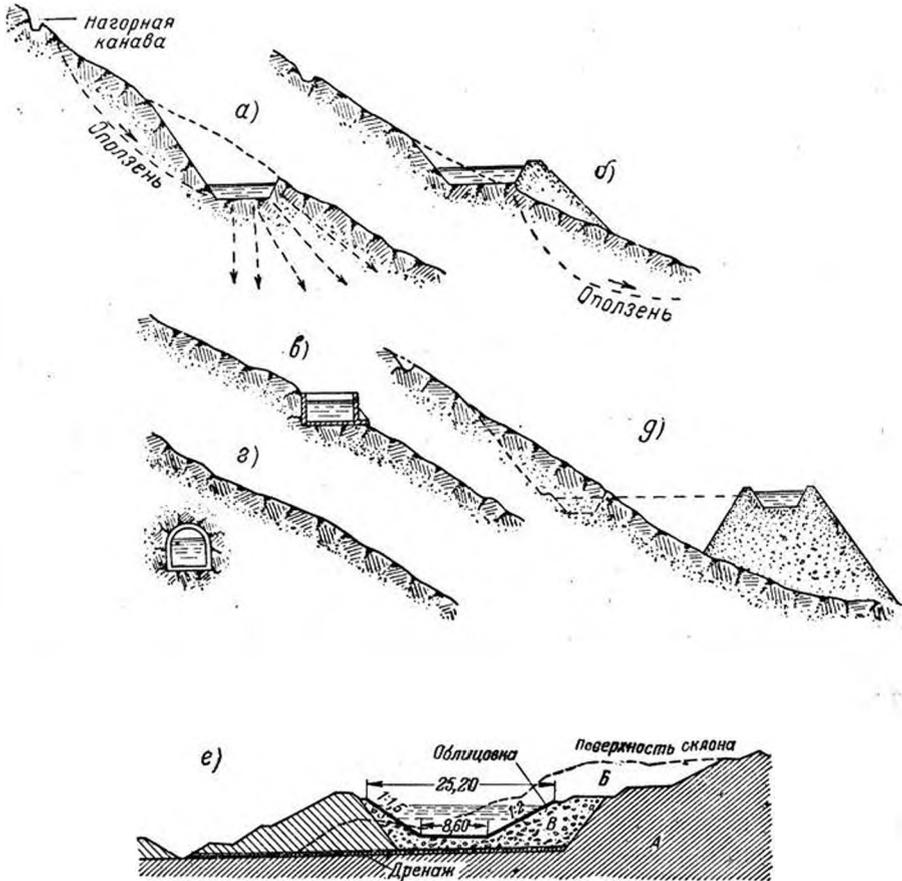


Фиг. 28—16. Типы поперечных профилей каналов
а, б, в, д, е — на косогорах; е — полутуннель

4. Поперечные профили каналов на косогорах

Трассирование каналов на косогорах очень сложно, особенно на крутых или оползневых, а также на скальных склонах.

а) На устойчивом косогоре трассу канала желательно вести по пологому склону в минимальной выемке (фиг. 28—16,а), а при надежном грунте — в полувыемке-полунасыпи (фиг. 28—16, б). На крутом склоне насыпь оказалась бы малоустойчивой и потребова-



А - грунт склона оползающий
 Б - выемка для разгрузки склона
 В - гравелистый грунт, вновь насыпанный

Фиг. 28—17. Трасса канала

а—д—по оползневому косогору; е—с заменой неустойчивого грунта

ла бы большого объема грунта, поэтому здесь лучше прибегнуть к устройству стенки с низовой стороны (фиг. 28—16,в).

б) На скальных склонах ведение трассы канала особенно затруднительно; на склонах, не покрытых наносными грунтами, обычно ведут трассу в полувыемке с ограждающей низовой стенкой (фиг. 28—16,е), а при наличии наносного слоя на скале — со второй ограждающей стенкой, задерживающей рыхлые грунты от сползания в канал (фиг. 28—16,д). При очень крутых, почти отвесных, склонах и впрочных породах ведут канал иногда в полутуннеле (фиг. 28—16,з).

в) При наличии опасности оползания склона возникают следующие задачи. Если расположить канал в выемке (фиг. 28—17,а), то возможно оползание склона выше канала в результате подрезки склона и оползание низовой части склона под действием фильтрационных сил, возникающих при фильтрации из канала. От последнего можно избавиться, экранировав ложе канала. Уменьшив во избежание оползания подрезку верхового склона (фиг. 28—17,б), придется перейти к сечению канала в полувыемке-полунасыпи, но иногда возможно сползание низовой части склона в этом случае под нагрузкой ограждающей дамбы или стенки. Если эта опасность реальна, приходится переходить к более дорогим решениям: устройству лотка (фиг. 28—17,в) или туннеля (фиг. 28—17,г). Может оказаться, что смещение трассы канала к подножью склона или даже за пределы его в долину с проведением канала в насыпи (фиг. 28—17,д) будет более дешевым и надежным решением.

Анализ вариантов делается путем расчетов устойчивости косогора при разных схемах трассы канала и технико-экономического сопоставления вариантов.

Иногда, в случаях особенно опасных грунтов, производят замену неустойчивого грунта более надежным. Так, на одном из каналов, проходивших в таких грунтах (А на фиг. 28—17,е), часть грунта В была заменена гравелистым материалом В, в котором и выполнено сечение канала, облицованного бетоном; материал В был дренирован.

г) Прочие особенности трассы на косогоре. Косогорные участки трассы требуют защиты их от атмосферных вод, стекающих с вышерасположенного склона, и от осыпей горных склонов, могущих заваливать канал. Первое выполняется нагорными канавами (фиг. 27—17, а, б и в), которые отводят эту воду в канал, если это не вызывает его заиления или, что лучше, сбрасывают ее при помощи дюкеров или труб (под каналом либо над каналом) в пониженных местах — русла, долины, пересекаемые каналом.

Очень важно также организованно при помощи дренажа отводить воды, профильтровавшиеся из канала.

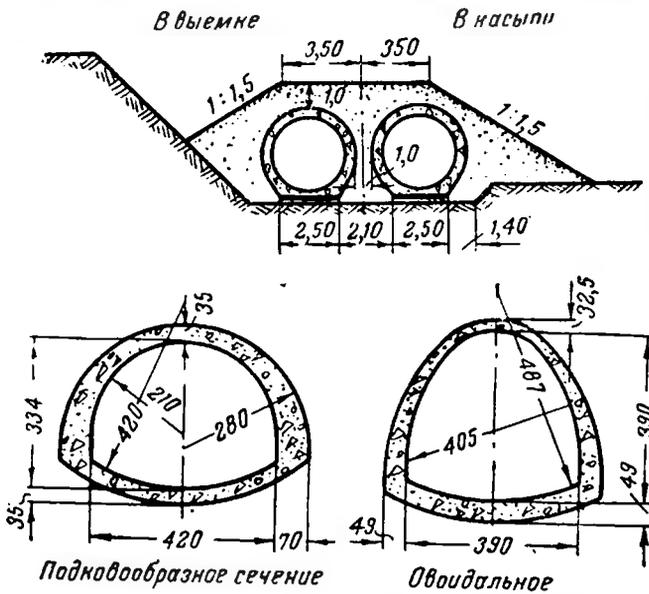
5. Некоторые особые условия трассы каналов

Энергетические каналы обычно трассируются по склонам долин, косогорам в трудных условиях, поэтому нередко приходится отдельные участки канала заменять лотками, туннелями и возводить ряд сооружений при пересечении канала с оврагами, балками, ручьями и потоками, сбегаящими вниз по склону.

Ирригационные каналы проводят часто в засушливых районах, среди песков, в условиях сильных сухих ветров. Здесь особенно важны древесные (кустарниковые) насаждения по берегам канала.

Водопроводные каналы желательно трассировать в стороне от населенных мест во избежание загрязнения воды и организовать вдоль них зону санитарной охраны в тех же целях. Иногда каналы в пределах населенных пунктов перекрывают сверху простейшим видом кровли, если нельзя обойти населенный пункт, или переходят к безнапорным трубопроводам (фиг. 28—18). Сечения труб могут быть круглыми, подковсообразными, овоидальными; на трубопроводе канала имени Москвы наивыгоднейшим оказалось круглое сечение.

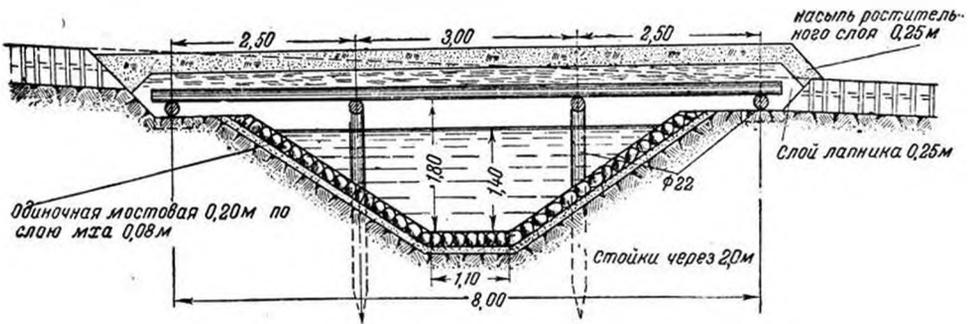
В целях бесперебойности зимней работы водопроводные и энергетические каналы при малых расходах нередко перекрываются защитной утепляющей кровлей (фиг. 28—19).



Фиг. 28—18. Типы закрытых водоводов (труб)

Каналы в лёссовых грунтах первое время после наполнения дают иногда значительные деформации — просадки.

Для уменьшения их полезно производить предварительную замочку их водой, чтобы вызвать просадки до пуска канала в эксплуатацию, после чего выполнить поперечное сечение канала в окончательном его виде:



Фиг. 28—19. Сечение закрытого канала

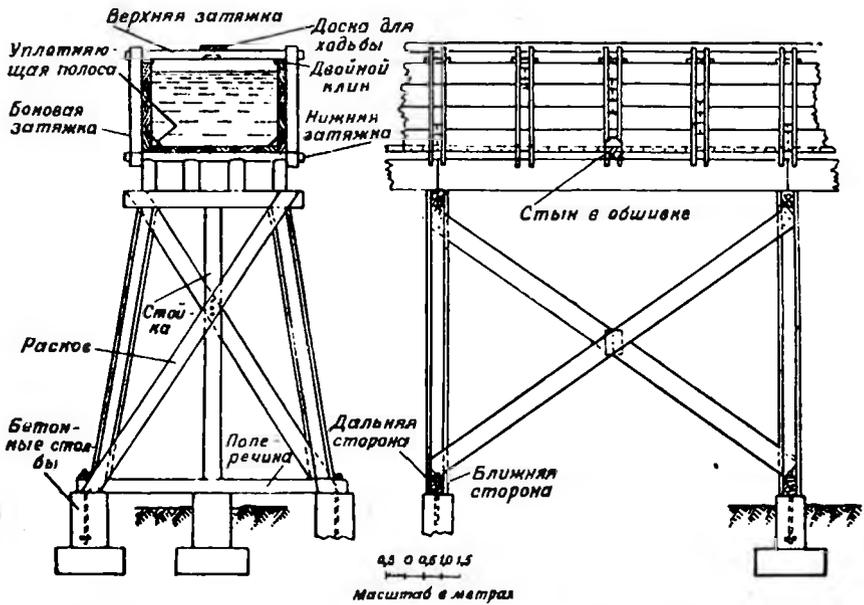
§ 166. ЛОТКИ

1. Условия применения лотков и типы последних

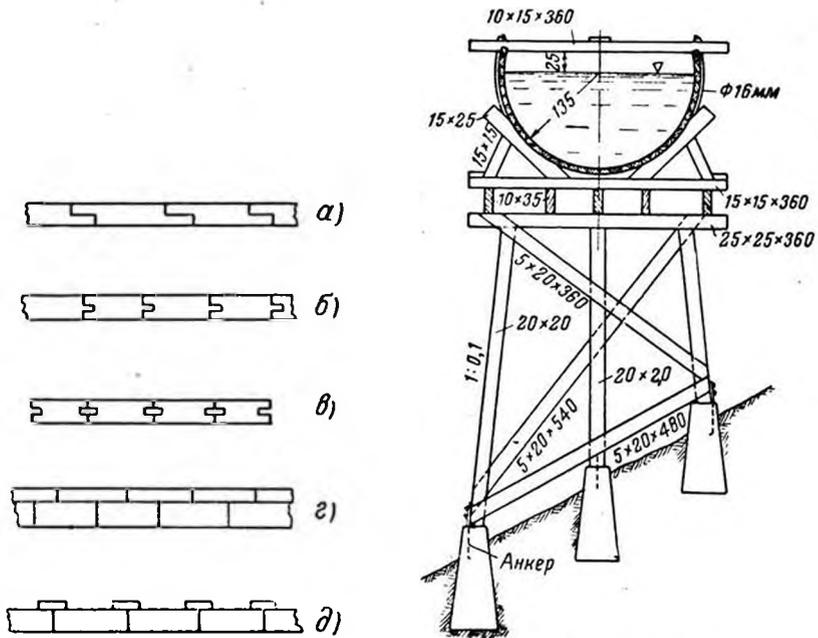
Искусственные русла — лотки — устраиваются вместо каналов на тех участках трассы, где рельеф сложен, сильно пересечен, геологические условия неблагоприятны для канала и где устройство канала требует крупных земляных работ и обходится дороже, чем устройство лотка.

Здесь относятся главным образом крутые, изрезанные склоны долин, особенно в горных условиях, в неустойчивых грунтах или с выходами скалы, а также широкие понижения рельефа, которые потребовали бы значительных насыпей, и т. п.

Лотки делятся по характеру конструкции на открытые и закрытые, с земляной обсыпкой или без нее; дно лотков располагается или на земле, или выше ее поверхности на эстакадах.



Фиг. 28—20. Деревянный рамный лоток для наполнения до 1,5 м



Фиг. 28—21. Типы стыков обшивки деревянных лотков

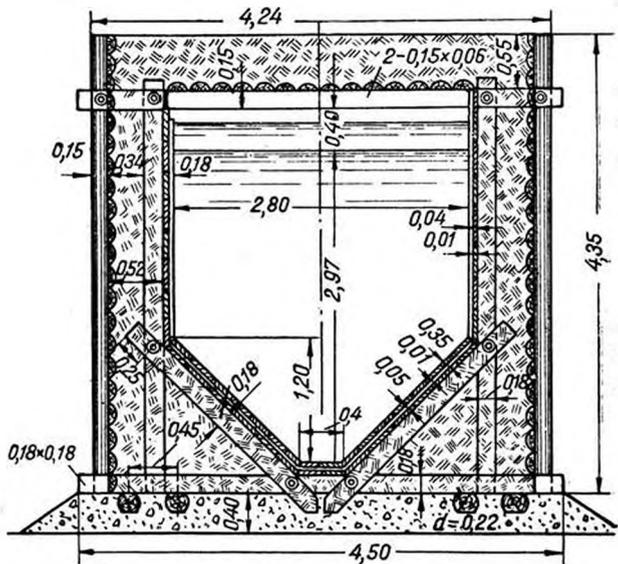
Фиг. 28—22. Деревянный клепочный лоток

По материалу лотки делятся на деревянные, каменные (применяемые редко), бетонные, железобетонные и стальные. Чаще всего применяются лотки открытые, как более дешевые. Закрытые лотки устраиваются в целях сохранения качества воды (предохранения от загрязнения питьевой воды, сохранения желаемого температурного режима) и защиты от вредных проявлений зимнего режима (§ 162).

2. Деревянные лотки

Деревянные лотки целесообразны в районах, богатых лесом, при трассировании водовода по сильно заросшей лесом местности. Конструктивно существует два типа лотков: с прямоугольным сечением (фиг. 28—20), образованным рамами, обшитыми досками, и полукруглого сечения из клепок, по типу деревянных клепочных труб (фиг. 28—22).

а) Рамные лотки (фиг. 28—20) устраиваются из прямоугольных брусчатых рам, обшитых одним-двумя рядами досок и соединенных поверху затяжкой — деревянной или стальной; рамы устанавливаются на продольных балках (брусках или бревнах, обтесанных на два канта), покоящихся на деревянных опорах или на поперечинах, лежащих на земле.

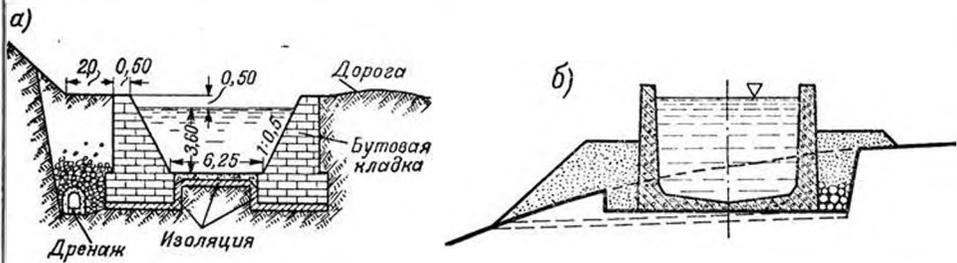


Фиг. 28—23. Закрытый деревянный утепленный лоток

Обшивка лотка делается из досок толщиной 5—7,5 см (фиг. 28—21), иногда из двух рядов со стыками вразбежку (фиг. 28—21,з); лучшим следует считать стык со шпонкой (фиг. 28—21,в), значительно хуже и в фильтрационном, и в гидравлическом отношениях стык с планками (фиг. 28—21,д). Торцовые стыки делаются аналогично, чаще всего по типу фиг. 28—21,в, причем шпонка может быть и металлической (из оцинкованного железа). Стыки уплотняются еще конопаткой и осмолкой.

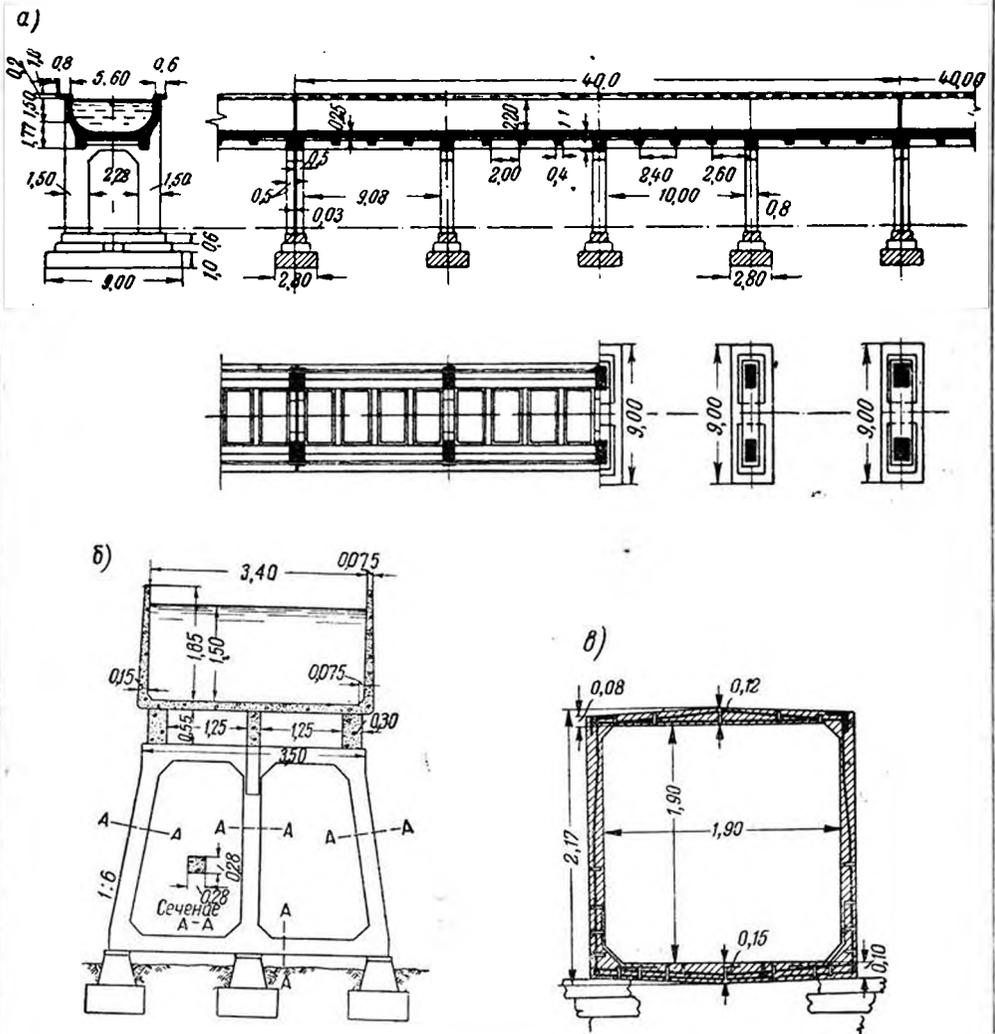
б) Клепочные лотки полукруглого сечения (фиг. 28—22) делаются из клепок, пропитанных для долговечности креозотом, стянутых через каждые 0,6—1,2 м металлическими тяжами. Лоток устанавливается на деревянных подкосных подушках, опирающихся на продольные балки, которые покоятся на опорах того же типа, что и рамные лотки.

в) Закрытые деревянные лотки устраиваются главным образом для защиты воды от замерзания и образования шуги. В качестве примера лотка, устраиваемого в суровых зимних условиях, не обсыпаемого землей, а со специальным утепляющим слоем мха 0,5 м, приведен проект лотка длиной 11,6 км для небольшой ГЭС (фиг. 28—23).



Фиг. 28—24. Лотки на сплошных основаниях

а — каменный лоток; б — железобетонный лоток



Фиг. 28—25. Бетонные и железобетонные лотки на эстакадах

г) Общая оценка деревянных лотков: они просты в изготовлении и дешевы в лесистых районах. Недостатки их: 1) иногда существенная фильтрация, в особенности в лотках периодического действия, зависящая от ухода за ними, и 2) недолговечность (10—15 лет) вследствие загнивания; срок службы может быть увеличен в 1,5—2 раза при пропитке дерева антисептиками.

3. Бетонные и железобетонные лотки

Эти лотки устраиваются обычно прямоугольного или трапециoidalного (с крутым наклоном стен) сечений и располагаются или непосредственно на спланированном земляном основании, или на эстакадах, в зависимости от пересеченности рельефа.

а) Лотки на сплошных основаниях выполняются или разрезными, когда стенки работают самостоятельно как подпорные, или неразрезными, когда весь лоток представляет собой в поперечном сечении цельное корыто. В первом случае стенки могут быть из бутовой кладки (фиг. 28—24,а), из массивного бетона или железобетонными контрфорсными, а днище может быть покрыто бетонной или торкретной облицовкой.

Во втором случае лоток делается сплошным железобетонным или из армированного бетона и в целях разгрузки напряжений в нем — иногда частично обсыпным (фиг. 28—24,б), но это необязательно.

б) Лотки на эстакадах сходны по конструкции с акведуками (§ 169) и конструируются двух типов: в одном стенки лотка являются конструкциями, несущими всю нагрузку между опорами эстакады (фиг. 28—25,а), в другом — корыто лотка лежит на эстакаде, имея сплошные опоры в виде продольных балок последней (фиг. 28—25,б).

Стенки лотков работают как консоли, иногда поверху делаются стяжки, что облегчает несколько стенки, но это осложняет конструкцию.

Эстакада может быть железобетонной, бетонной и даже каменной. Древние акведуки, остатки которых сохранились до наших дней, делались на арочной эстакаде из камня; лоток имел кирпичные стенки, иногда выложенные свинцовой облицовкой против фильтрации.

в) Закрытые лотки могут быть и на эстакадах и на сплошных основаниях. В последнем случае часто лотки засыпаются грунтом против действия мороза и по другим соображениям, и тогда сечению лотка дают подковообразную или даже круглую форму (фиг. 28—18).

г) Детали конструкции лотков аналогичны конструкциям акведуков (§ 169).

4. Стальные лотки

Эти лотки отличаются высокой водонепроницаемостью и быстротой сборки, поскольку элементы их изготавливаются на заводе.

Поперечное сечение малых лотков шириной до 6 м делается полукруглым, больших — с вертикальными стенками, несущими нагрузку, и криволинейным днищем.

Недостатком стальных лотков является коррозия стали: даже оцинкованные лотки служат не более 15 лет; после исчезновения оцинковки можно продлить существование лотка еще на такой же или больший срок периодической (через 2—3 года) внутренней антикоррозийной окраской.

ГЛАВА ДВА ДЦАТЬ ДЕВЯТАЯ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ

§ 167. ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ СООРУЖЕНИЙ НА КАНАЛАХ

1. Сооружения в местах резкого перелома продольного и поперечного профилей канала (сопрягающие сооружения)

Продольный профиль канала, его уклоны изменяются в зависимости от условий рельефа и трассы его; в связи с этим изменяются и поперечные сечения канала. При небольших изменениях уклона и сечения сопряжение соседних участков производится путем устройства переходных вставок-переходов. При резких изменениях отметок соседних участков канала необходимы сооружения: а) перепады, сопрягающие участки канала вертикальной или близкой к вертикальной стенкой или несколькими стенками, или без них (консольный перепад), и б) быстротоки, сопрягающие участки канала лотком большого уклона. Сопрягающими сооружениями являются и судоходные шлюзы, лесосплавные лотки — на судоходных и сплавных каналах (гл. 22).

2. Сооружения при пересечениях трассы канала с водотоками и суходолами

При встрече с постоянным водотоком (рекой, ручьем, каналом) или суходолом (временным водотоком) возможны пересечения канала на одном уровне или на разных уровнях.

а) Пересечение канала с рекой, ручьем или другим постоянным водотоком на одном уровне нежелательно, так как уровни естественного водотока обычно подвержены колебаниям, что влечет за собой колебания уровней воды и в канале; неурегулированный режим наносов реки или ручья приводит к отложению наносов в канале в месте пересечения его с рекой и нарушает условия его эксплуатации.

Поэтому обычно такие пересечения делаются на разных уровнях. Если канал значительно выше реки, он проводится через реку специальным мостом-водоводом или акведуком, представляющим собой лоток на опорах мостового типа (фиг. 29—1,а); если канал проходит на уровне реки и ниже, или выше ее, но не настолько, чтобы можно было провести его акведуком, воды канала транспортируются напорным водоводом, называемым дюкером (фиг. 29—1,б).

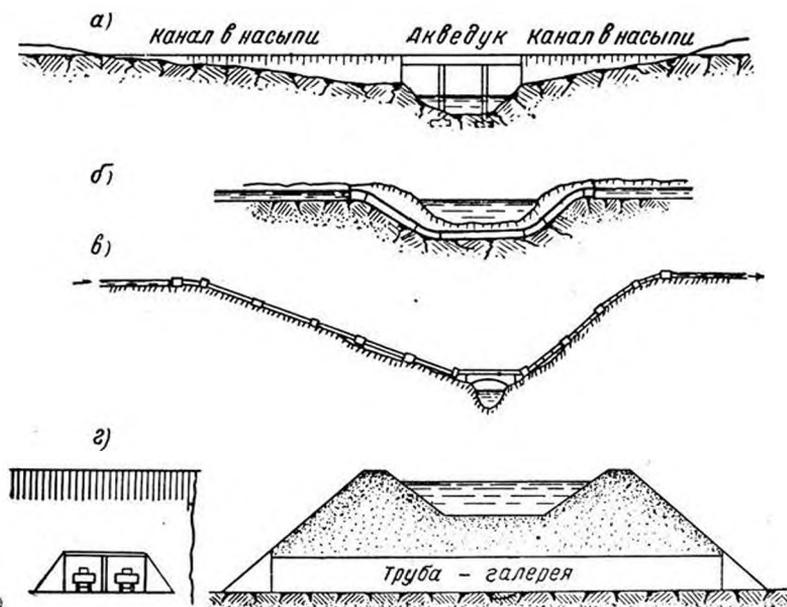
Небольшие незарегулированные речки и ручьи могут проводиться над каналом специальными лотками, пропускающими не только воду, но и речные наносы, лед и пр. Небольшие потоки можно иногда пропускать безнапорными трубами под каналом, идущим в насыпи (фиг. 29—25).

б) Пересечение канала с суходолами и оврагами делается аналогично предыдущему — акведуком или дюкером в случае глубокой долины (фиг. 29—1, в — дюкер проходит по мосту над суходолом) либо каналом в насыпи с пропуском вод суходола (оврага) через трубу под насыпью.

3. Сооружения при пересечении канала с путями сообщения

В этом случае пересечение производится, как правило, на разных уровнях; лишь пересечения малозагруженных автогужевых или проселочных дорог допускаются на одном уровне при помощи пловучих переправ — паромов.

При проходе канала над дорогой канал проводится акведуком или насыпью, причем дорога под насыпью проходит в галерее или своеобразной трубе под каналом (фиг. 29—1,2).



Фиг. 29—1. Схемы сооружений при пересечениях канала с водотоками и путями сообщения

а—акведук; б,в—люкеры; г—галерея

При проходе дороги над каналом она перебрасывается обычным дорожным мостом.

Во всех случаях пересечения должны быть соблюдены габариты, требуемые дорогой и каналом.

4. Сооружения по регулированию расходов воды в местах ответвлений канала

В местах разветвлений канала устраиваются шлюзы-регуляторы, при помощи которых производится распределение расходов воды в ответвления каналов, их регулирование или полное прекращение подачи воды. При помощи этих же шлюзов можно учитывать и количество подаваемой в ответвление воды.

Однако для последней цели иногда служат и специальные устройства на ирригационных каналах: вододелители и водомеры.

5. Предохранительные и ремонтные устройства и сооружения

Во избежание переполнения канала по трассе его устраиваются водосбросы (водосливы), через которые избыточные расходы сбрасываются в ближайшие русла; такой же водосброс имеется обычно в конце канала — концевой сброс.

Для опорожнения канала, если таковое предусмотрено, устраиваются водоспуски, а для промывки отложившихся в канале наносов — специальные наносовыпуски.

Во избежание бесполезной утечки воды из канала в случае аварии замыкающих сооружений или ограждающих канал дамб по трассе его устраиваются аварийные заграждения или аварийные ворота (обычно в судоходных шлюзованных каналах).

Для сброса шуги из канала устраиваются шугосбросы.

§ 168. СОПРЯГАЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ В МЕСТАХ ПЕРЕЛОМА И ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЕЙ КАНАЛА

А. ПЕРЕПАДЫ

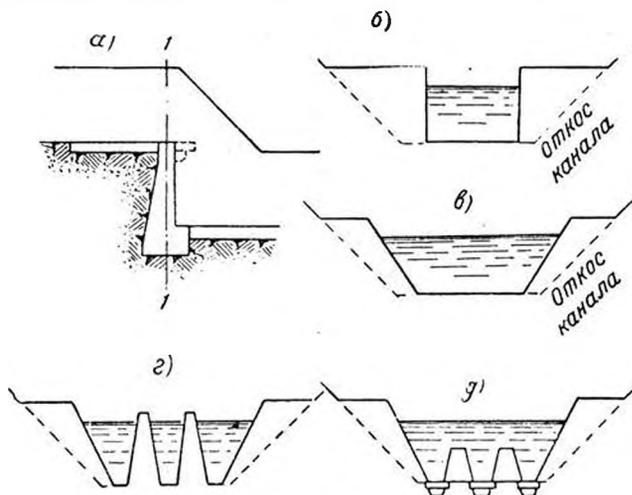
1. Классификация

Перепады бывают ступенчатые, если сопряжение бьефов канала делается при помощи одной или нескольких вертикальных стенок (фиг. 29—3 и 29—4), и консольные, когда лоток сбрасывает воду с консольного выступа в виде свободно падающей струи (фиг. 29—7).

По характеру движения потока перепады делятся на: а) открытые, когда на всем пути движения потока в перепаде сохраняется свободная поверхность воды; б) полунапорные, когда на части пути поток является напорным (фиг. 29—4); в) напорные, когда все движение потока совершается под напором в трубе (фиг. 29—5).

2. Ступенчатые перепады

а) Ступенчатые открытые перепады имеют на пороге форму поперечного сечения (сечение 1—1 фиг. 29—2,а) или прямоугольную (фиг. 29—2,б), или трапециoidalную (фиг. 29—2,в), или

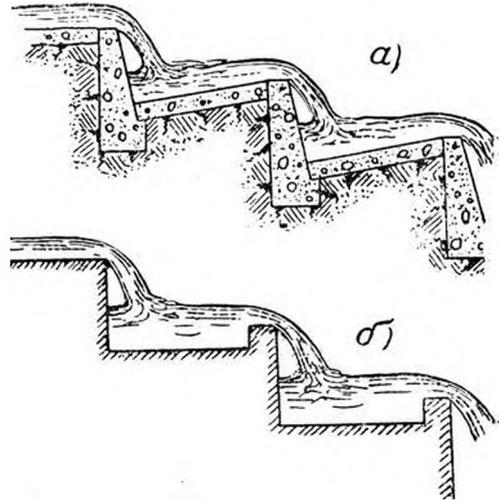


Фиг. 29—2. Типы порогов открытых перепадов

щелевую (фиг. 29—2,з), или гребенчатую (фиг. 29—2,д); в соответствии с этим называется и сам перепад. Наиболее конструктивно проста форма прямоугольных перепадов (водосливов), однако, она имеет в случае отсутствия затворов тот недостаток, что при превышении расчетных расходов в канале создается подпор, а при малых расходах, наоборот, спад и значительное увеличение скоростей в подходе к порогу.

Если уменьшение или увеличение скоростей против расчетных в подходе недопустимо (отложение наносов, размыв русла), переходят к формам порога, практически гарантирующим от подпора и спада при колебаниях расходов: трапециoidalной, щелевой и гребенчатой. Из них наиболее эффективны две последние, имеющие еще и то преимущество, что наличие гребней создает дополнительные сопротивления в потоке и улучшает гашение энергии на перепаде. Щелевые и гребенчатые перепады конструктивно сложнее и дороже; при наличии ледохода они подвергаются опасности повреждений и потому не применяются.

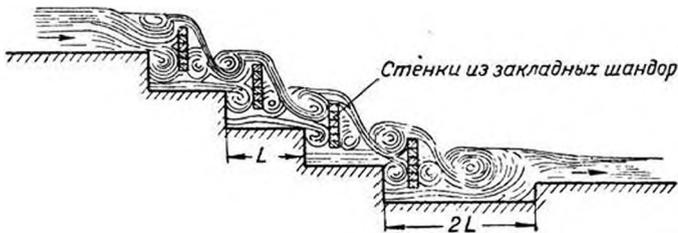
Гашение энергии на перепаде происходит тем эффективнее, чем толще водяная подушка на плите ступени. Для увеличения подушки можно делать ступень наклонной в сторону верхнего бьефа (фиг. 29—3,а), но это конструктивно и гидравлически менее удачно, чем устройство водобойных колодцев при помощи невысоких стенок на ступенях (фиг. 29—3,б); перепады последнего типа называются еще колодезными.



Фиг. 29—3. Перепады

а—с наклонными ступенями; б—колодезные

Наконец, отметим еще перепады струйные, применяемые в тех случаях, когда канал и отверстие перепада имеют значительную ширину по сравнению с глубиной. В струйных перепадах устраиваются

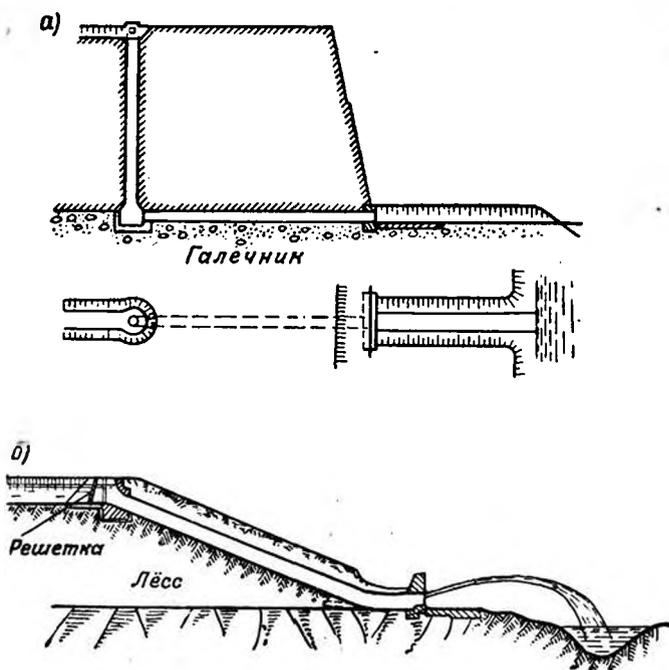


Фиг. 29—4. Полунапорный перепад

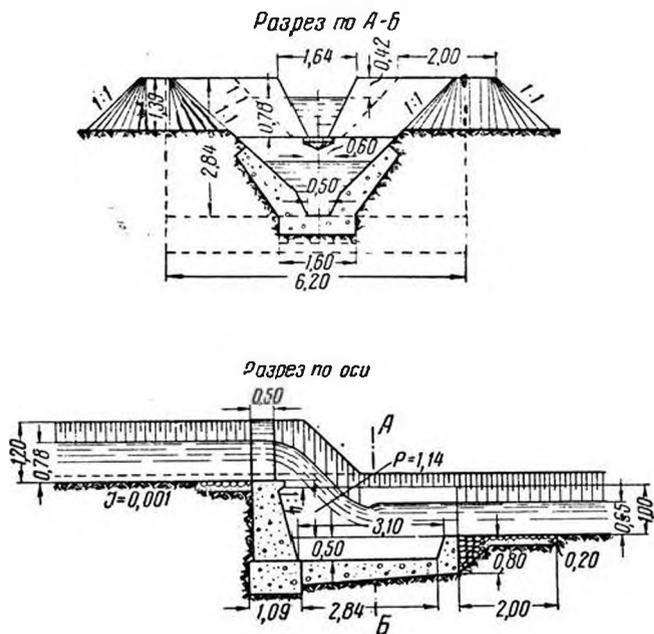
продольные стенки, разбивающие поток на ряд меньших потоков (струй), что несколько улучшает условия гашения энергии воды.

б) Полунапорные перепады в отличие от открытых имеют участок напорного движения потока, создаваемого особыми поперечными стенками-забралами (фиг. 29—4); струя перепада ударяется о забральную стенку, иногда частично переливается через нее, затем о стенку ладения и дно, изгибаясь несколько раз с образованием вальцов, что усиливает гашение энергии падающей воды¹. Данный тип перепадов применим и при ледоходе или шугоходе по каналу, причем в этом случае происходит перелив через стенки, которые в верхней их части

¹ О расчетах полунапорного перепада см. статьи Х. Д. Бикмаматова в журнале «Гидротехническое строительство» № 12, 1947 и № 5, 1949.



Фиг. 29—5. Напорные перепады
а—шахтные; б—трубчатые



Фиг. 29—6. Однощелевой перепад

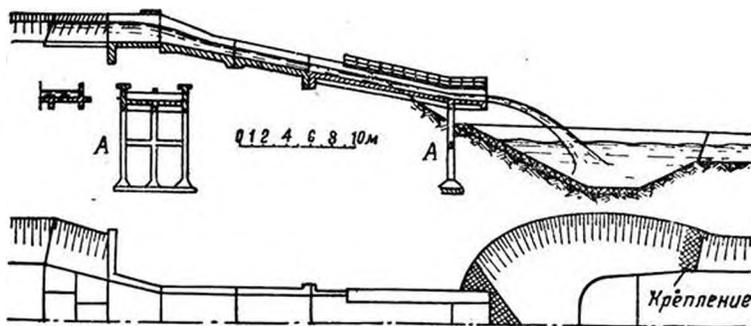
(или на всю высоту) делаются разборчатыми, например, из шандоров. Разборчатые стенки позволяют регулировать режим гашения энергии, эффект которого здесь больше, чем в открытых перепадах. При большой ширине перепада он конструктивно сложнее и дороже других.

в) Напорные перепады устраиваются сравнительно редко: при значительных падениях, при высоконапорных сбросах из канала. Они представляют собой или шахтные перепады (фиг. 29—5,а), сходные с шахтными водосбросами, или же трубчатые перепады (фиг. 29—5,б). Гашение энергии в них происходит частью по пути (фиг. 29—5,а), а главным образом на выходе в нижний бьеф, аналогично гашению воды в шахтных и трубчатых водоспусках; на фиг. 29—5, б показано гашение по принципу свободно падающей струи.

г) Конструкции ступенчатых перепадов не нуждаются в особых пояснениях, частично они описаны в гл. 15. Выполняются перепады из дерева (при небольшой высоте ступеней, как временные сооружения), камня (в настоящее время редко), бетона и железобетона; наиболее распространены последние. Пример многоступенчатого перепада приведен в части I на фиг. 15—6; одноступенчатый трапециoidalный (однощелевой) перепад показан на фиг. 29—6.

3. Консольные перепады

Перепады этого типа характеризуются выносом в виде консоли искусственного лотка, являющегося продолжением канала, и сбросом с него потока свободно падающей струей до уровня сопрягаемого уча-



Фиг. 29—7. Консольный перепад

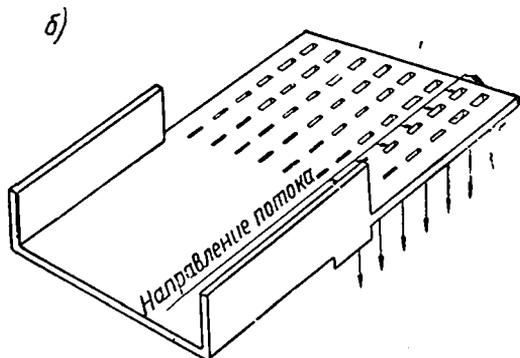
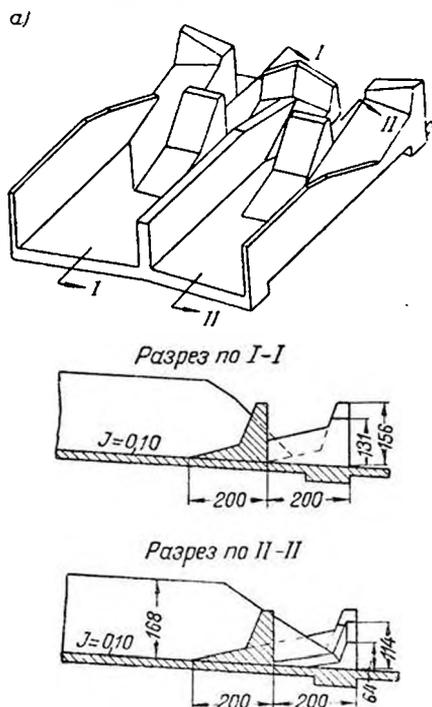
стка канала (фиг. 29—7). Под воздействием падающей струи грунт в нижнем бьефе размывается, образуя воронку такой глубины, которая достаточна для гашения избыточной энергии потока, т. е. когда скорости потока уменьшатся до пределов, при которых дальнейший размыв прекращается.

Перепады консольного типа являются весьма экономичными, так как отсутствуют стенка падения и водобойная плита в нижнем бьефе, а затраты на устройство консольного лотка обычно меньше затрат на стенку падения и водобой. Однако неустановившийся режим воронки размыва в начальный период эксплуатации не всегда приемлем для канала. Поэтому чаще консольный перепад устраивается на сбросах из каналов или в плотинных водосбросах.

Конструктивно входная часть перепада устраивается, как и в перепадах других типов или быстротоках, в виде раструба; следующая

часть — консольный лоток — делается с уклоном по течению и представляет собой быстроток (см. ниже), при наличии которого увеличивается скорость схода с консоли, чем достигается возможно большее удаление места образования воронки размыва от верхнего бьефа. Лоток опирается в нижней своей части на опору (обычно рамного типа), располагаемую так, чтобы образующейся воронкой размыва она не была подмыта.

В целях уменьшения воронки размыва принимают меры: 1) по распылению потока и 2) по уменьшению удельных расходов консоли. Первое достигается уширением консоли и устройством на конце ее гасителей — трамплинов или рассеива-



Фиг. 29—8. Устройство концевой части консольного перепада
а — гасители-трамплины; б — безбортовой конец лотка со щелями

телей (фиг. 29—8,а), а второе — уширением лотка консоли и устройством концевой части без боковых стенок и со щелями в дне лотка (фиг. 29—8,б), размер которых увеличивается к краям лотка, где наблюдается спад струи; поток в последнем случае сливается по трем сторонам лотка и через щели, что более чем вдвое уменьшает размеры воронки по сравнению с обычным консольным перепадом.

Б. БЫСТРОТОКИ

4. Условия работы и типы быстроток

Быстроток представляет собой искусственные русла-лотки с уклонами больше критических, сопрягающие участки канала, находящиеся на разных уровнях.

Сопряжение с нижним бьефом потока, выходящего из быстроток с глубиной меньше критической, обычно происходит в форме прыжка, поэтому приходится для затопления последнего устраивать водобойный колодец. В некоторых случаях быстроток делают суживающимися книзу (переменной ширины), что иногда дает экономию в земляных работах или улучшает условия сопряжения сооружения с нижележащим участком канала.

5. Быстротоки обычной и повышенной шероховатости

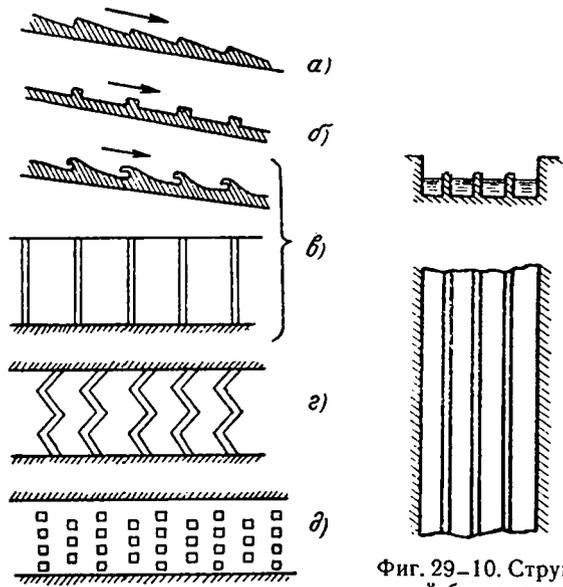
Быстротоки обычной шероховатости могут быть постоянной и переменной ширины; они описаны в § 94 (часть I).

Быстротоки повышенной шероховатости. Повышенная шероховатость как дна, так и стенок (последнее не всегда применяется) быстротоков необходима для уменьшения скорости течения на быстротоке и создается различными путями: ступенями (фиг. 29—9,а), поперечными брусками прямоугольной формы (фиг. 29—9,б) и криволинейной формы (фиг. 29—9,в), зигзагообразными порогами (фиг. 29—9,г), шашками (фиг. 29—9,д) и пр. Из них наибольшую шероховатость создают пороги типов в и г.

Недостатком лотков большой шероховатости является их неудовлетворительная работа в зимних условиях или в условиях значительных наносов в потоке, так как бетонные зубцы и пороги разрушаются от действия мороза (когда канал не работает), а деревянные загнивают.

6. Струйные быстротоки

Эти быстротоки имеют продольные стенки высотой до расчетного горизонта в лотке (фиг. 29—10), увеличивающие смоченный периметр сечения и сопротивление движению потока, что ведет к уменьшению скорости. Последний эффект, конечно, здесь меньше, чем в лотках повышенной шероховатости. Зато в струйных быстротоках избегаются боковые качания (колыхания) уровня воды, свойственные обычным широким быстротокам, особенно с пологими наклонными откосными стенками.



Фиг. 29—9. Типы повышенной шероховатости

Фиг. 29—10. Струйный быстроток (план и поперечный разрез)

7. Быстротоки-перепады

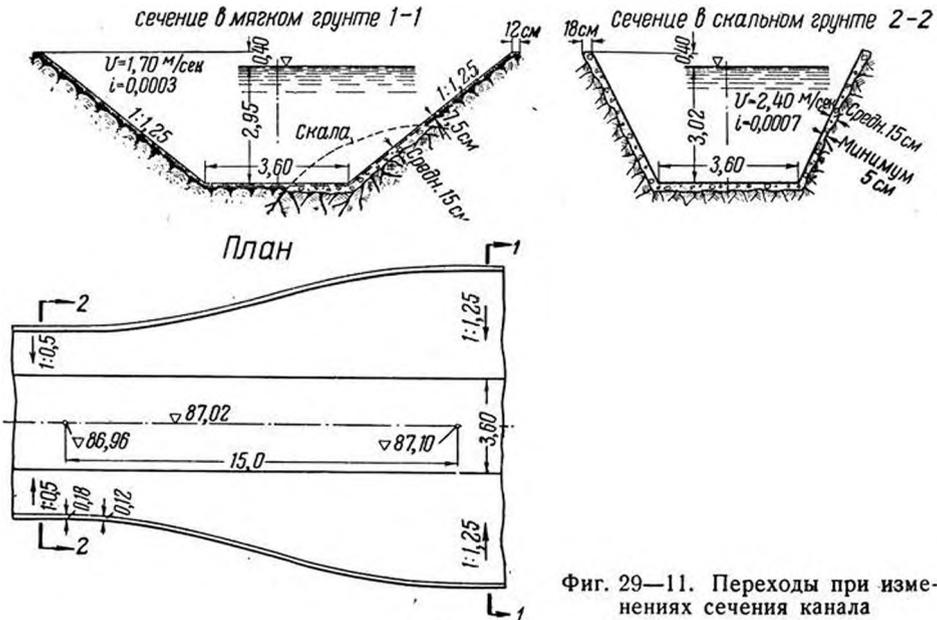
Быстротоки-перепады представляют собой промежуточную форму между перепадом и быстротоком; уклоны их бывают от 1:1,5 до 1:2,5 при падении до 3—4 м. Обычно они делаются бетонными, но бывают и железобетонными.

В. ПЕРЕХОДЫ

8. Переходные участки

Эти участки между каналами с разными поперечными сечениями, например, при переходе от сечения в мягких грунтах к сечению в скале, при подходах к лоткам, трубам и т. п., устраиваются плавными

во избежание излишних потерь напора или отложения наносов. Для этого откосы русла постепенно изменяются путем устройства бетонных или железобетонных стенок, если нужна большая крутизна их, не допускаемая по условиям грунта. Производится и соответствующее по-



Фиг. 29—11. Переходы при изменении сечения канала

степенное изменение отметок дна. При переходе, например, от скального грунта к мягкому откосы в скале уполаживаются постепенно до допустимых в мягком грунте. Пример перехода дан на фиг. 29—11.

§ 189. СООРУЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ КАНАЛА С ВОДОТОКАМИ И ПУТЯМИ СООБЩЕНИЯ

1. Акведуки, или мосты-водоводы

Акведуки представляют собой, по существу, лотки, описанные в § 166, но только не на эстакадах, а на опорах типов, применяемых в мостостроении. Таким образом, акведуки являются мостами, у которых пролетным строением служит лоток, заполняемый текущей водой, а в судходных акведуках, называемых еще мостами каналами, иногда стоячей водой.

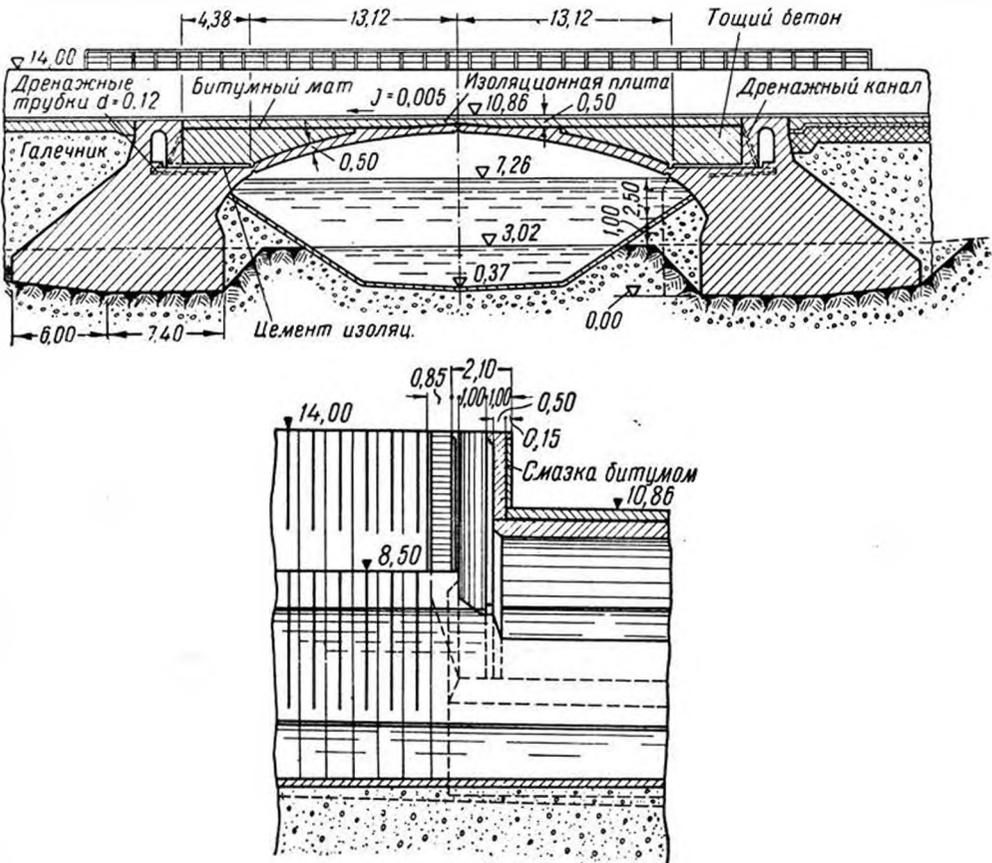
Расчет акведуков как мостов облегчается наличием в них постоянной, равномерно распределенной нагрузки.

Как и лотки, акведуки бывают двух конструктивных типов: в первом лоток с водой является нагрузкой на пролетном строении моста (фиг. 29—12), во втором — стенки и днище лотка являются несущими пролетными конструкциями. Акведуки второго типа оказываются вообще более экономичными. При больших пролетах и больших сечениях лотков приходится несущую конструкцию осуществлять отдельно, а лоток располагать на специальной эстакаде, опирающейся на несущую конструкцию моста, например, арку (фиг. 29—13).

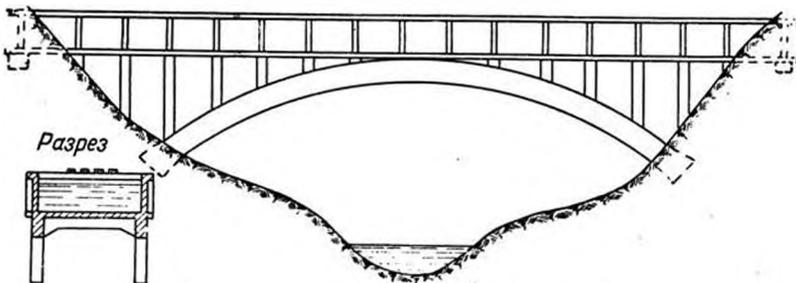
Примером акведука первого типа может служить один из среднеазиатских акведуков через деривационный канал для переброски незарегулированного потока (фиг. 29—12). Несущей конструкцией является

трехшарнирный железобетонный свод, на котором лежит лоток сечением 28×3 м.

Примерами акведука второго типа могут служить акведуки, представленные на фиг. 29—14, 29—15. Железобетонный акведук (фиг. 29—14)

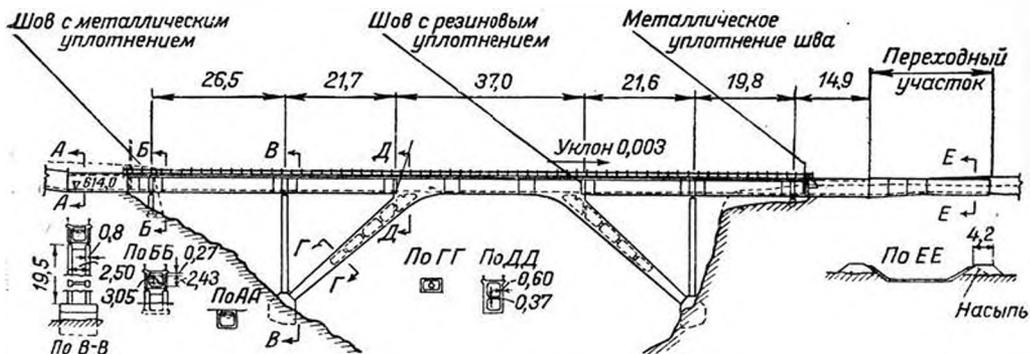


Фиг. 29—12. Акведук для переброски потока через канал

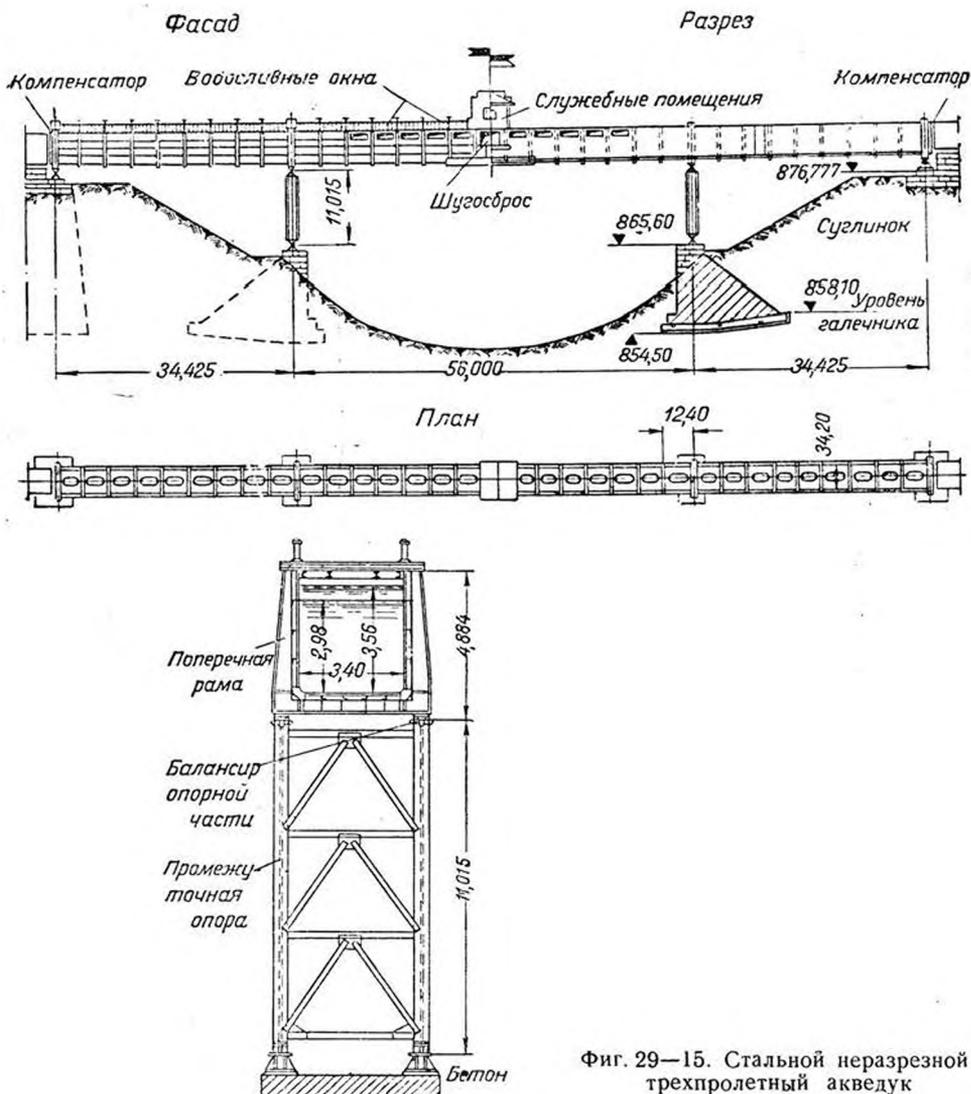


Фиг. 29—13. Акведук арочного типа

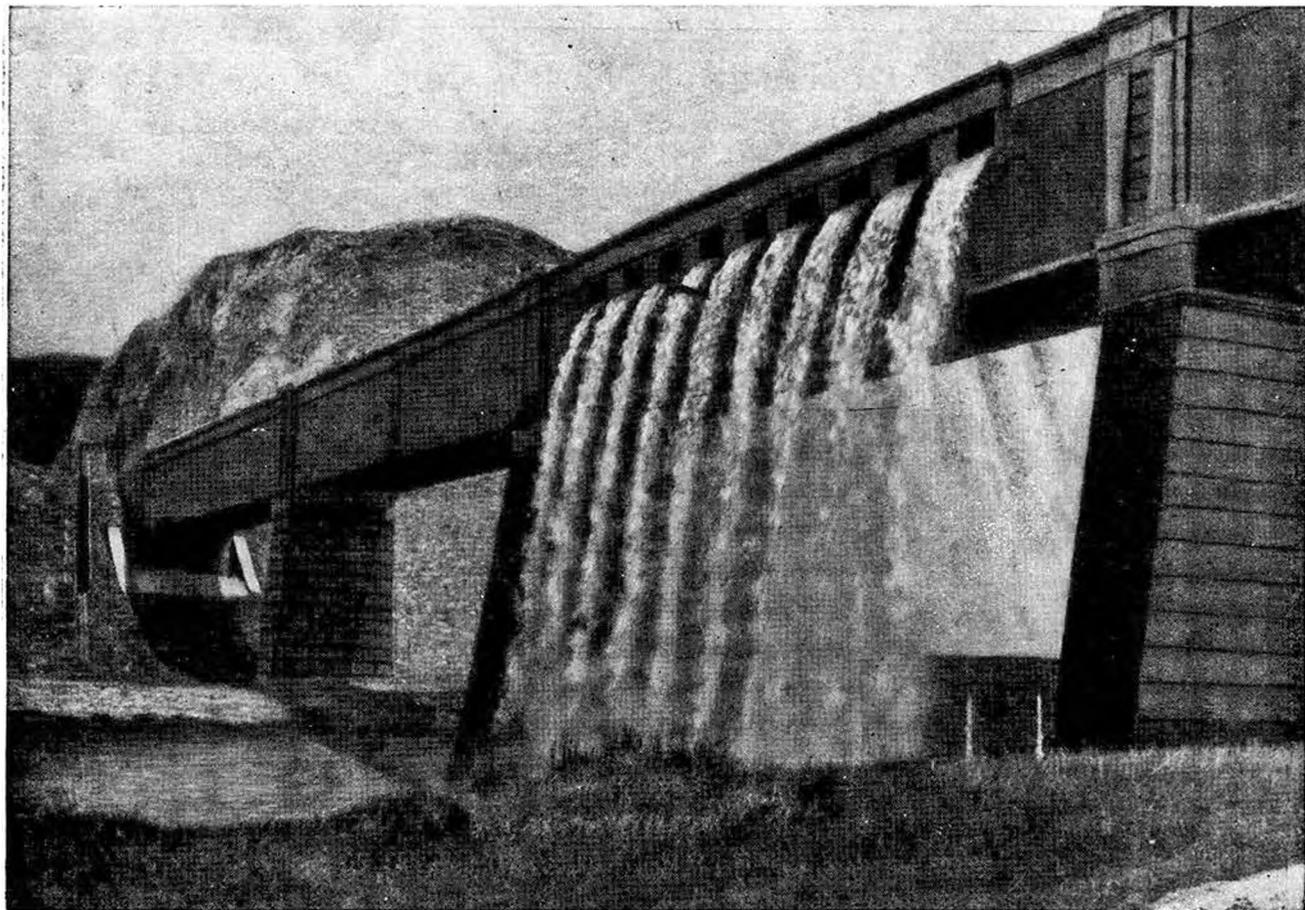
с лотком $3,05 \times 2,7$ м перекрывает пролеты от 19,8 до 37 м, образованные рамной конструкцией с коробчатыми сечениями. Корыто акведука имеет сверху железобетонное перекрытие, по которому проложена дорога. На фиг. 29—15 показан стальной (сварной) акведук в виде неразрезной трехпролетной балки с шарнирными опорами сооружение рас-



Фиг. 29—14. Акведук рамного типа



Фиг. 29—15. Стальной неразрезной трехпролетный акведук

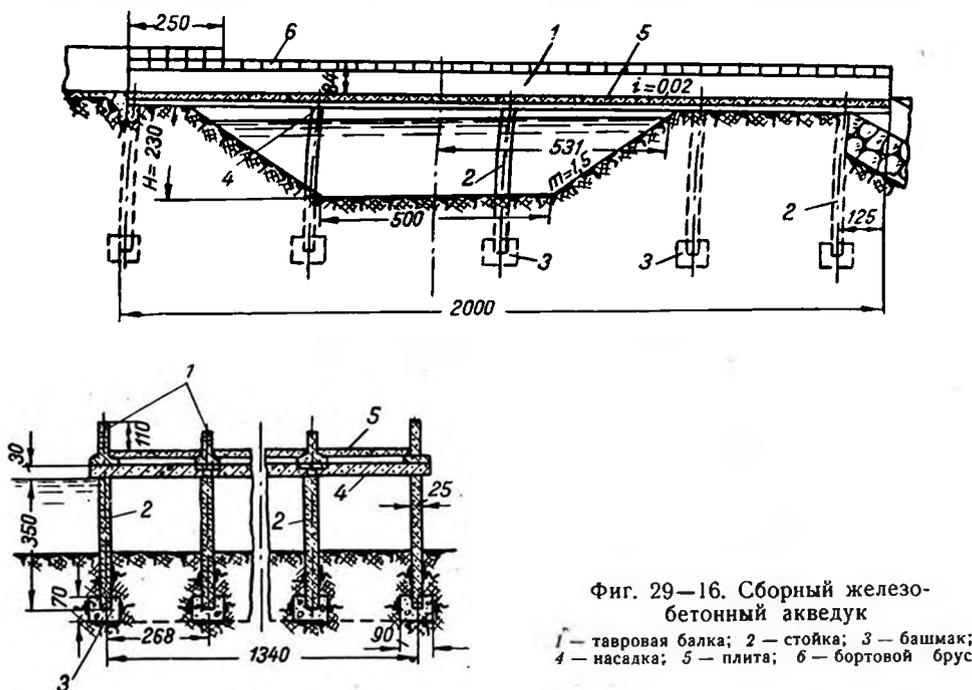


Акведук с водосливными окнами (к стр. 304 и 314)



Пороги для регулирования горного потока (к стр. 362)

положено в сейсмическом районе)¹. Особенностью этого акведука является то, что он одновременно служит и водосбросом, и шугосбросом канала (см. ниже), для чего предусмотрены специальные отверстия в стенках с шандорами.



Фиг. 29—16. Сборный железобетонный акведук

1 — тавровая балка; 2 — стойка; 3 — башмак; 4 — насадка; 5 — плита; 6 — бортовой брус

Имеются случаи применения акведуков по типу висячих мостов². Небольшие акведуки устраиваются в последнее время сборного типа, что особенно экономично и следует рекомендовать при большом количестве таких сооружений, необходимости окоростного их выполнения, в частности в зимнее время, и т. п. Элементы таких акведуков стандартизируются. На фиг. 29—16 и 29—17 приведены чертежи сборного железобетонного акведука (точнее, сепепровода, т. е. лотка, предназначенного для сброса селевых потоков, см. ниже). Элементами этого акведука являются, начиная снизу, фундаментные башмаки 3, стойки 2, насадки на них 4, продольные двухопорные или консольные балки — стенки 1 и плиты — днища 5; в зависимости от расхода воды число поперечных секций увеличивается и изменяется ширина лотка акведука.

Типы деревянных акведуков аналогичны типам лотков (фиг. 28—20, 28—22).

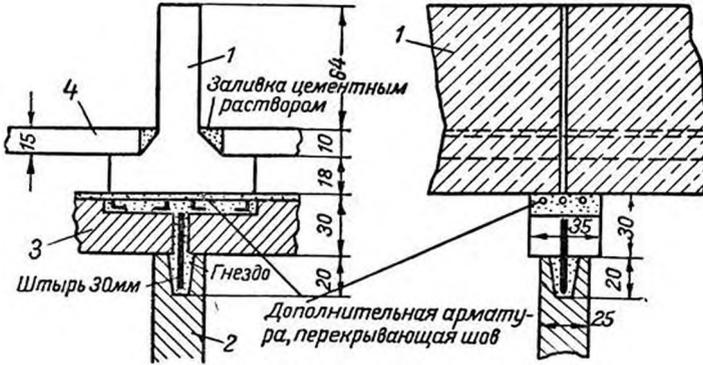
Сечение акведуков рассчитывают, исходя из средней скорости течения около 1,5—2 м/сек, редко больше, хотя по условиям материала возможны весьма значительные скорости течения. Это объясняется нежелательностью для энергетических водоводов (а иногда и для дру-

¹ Г. А. Полонский, Сооружение акведука, журнал «Гидротехническое строительство» № 8, 1949.

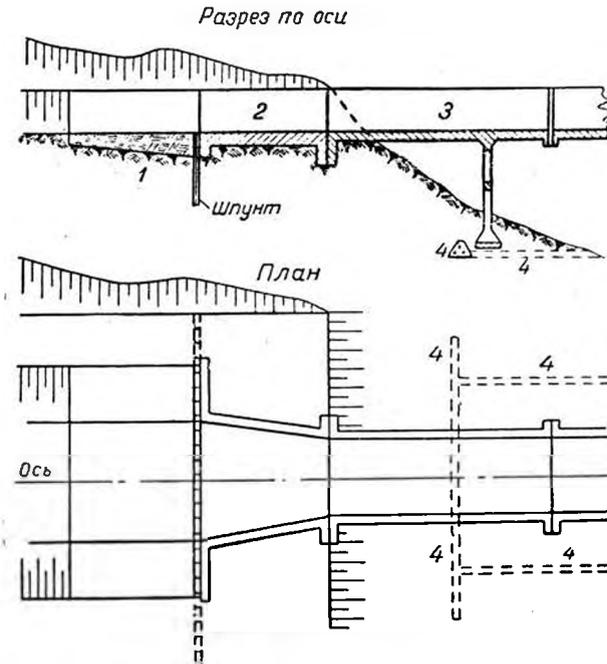
² В. Д. Кондрашов, Подвесные акведуки на оросительных каналах Дагестана, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1951.

гих) лишней потери энергии и конструктивными усложнениями, так как пришлось бы в низовом конце акведука организовать гашение избыточной энергии.

Входная и выходная части акведука сопрягаются с каналом при помощи переходного лотка 2, имеющего форму раструба и уло-



Фиг. 29—17. Узел соединений элементов сборного акведука
1—продольная балка-стенка; 2—стойка; 3—насадка; 4—плита



Фиг. 29—18. Устройство входной части акведука
1—водонепроницаемая облицовка канала; 2—переходный лоток;
3—акведук; 4—дренаж

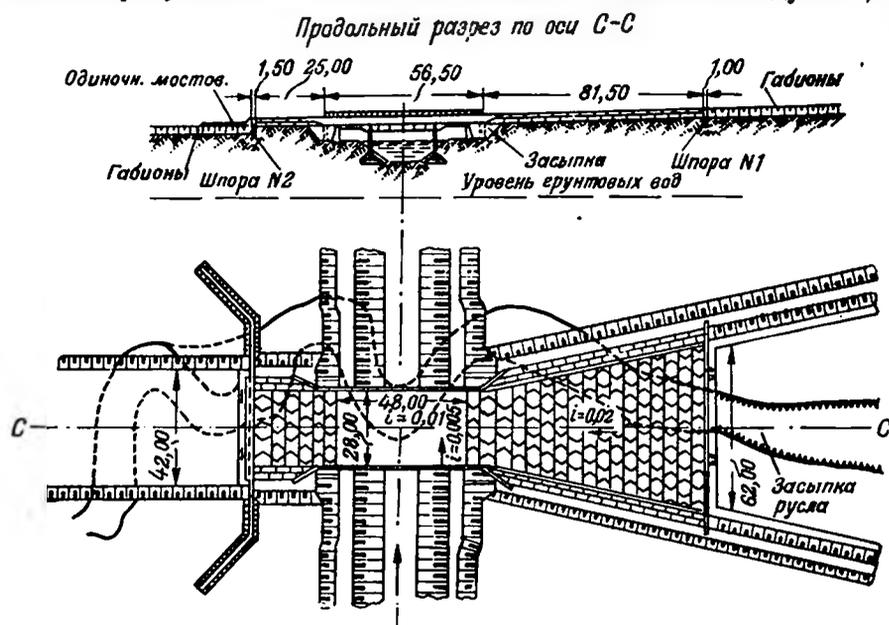
женного на грунте (фиг. 29--18). Шов между переходным лотком и акведуком, как и швы между секциями последнего, снабжаются уплотнениями гудронными, металлическими или резиновыми.

Для борьбы с фильтрацией воды из канала и из соединительных швов переходного лотка, могущей вызвать оползание откоса перекрываемого русла или суходола, применяют следующие меры: 1) дренаж

(фиг. 29—18), 2) шпунтовый ряд по фронту переходного лотка или 3) покрытие дна и откосов прилегающего участка канала (фиг. 29—18) водонепроницаемой облицовкой.

2. Селепроводы

При пересечении каналом селевых потоков (гл. 31), несущих с большой скоростью при паводке массы ила, песка, камней и пр., лучше всего пропускать эти потоки над каналом особыми акведуками, так



Фиг. 29—19. Железобетонный селепровод в Средней Азии

называемыми селепроводами. Пропуск селей трубами под каналом может вызвать аварии в случае забивки труб влекомыми потоком деревьями, мусором и пр. Пропуск канала под селевым потоком дюкером мало желателен в горных условиях из-за опасности шуговых зажоров.

Селепроводы представляют собой акведуки с воронкообразной подходной частью, огражденной дамбами, и с укрепленной сбросной (фиг. 29—19). В подходе к селепроводу дно укрепляется мостовой и бетонными плитами; эти крепления ограждаются глубокими шпорами во избежание подмыва их потоком и прорыва селя в канал под акведуком. Аналогичные шпоры устраиваются в укрепленной низовой (сбросной) части селепровода.

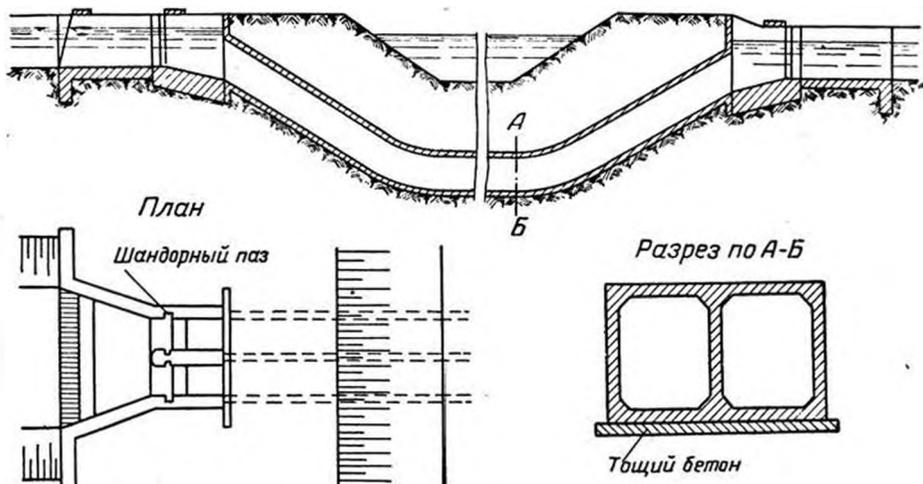
Ввиду значительного истирающего действия селевых наносов дно и частично стенки акведука покрываются бетонной облицовкой толщиной 0,15—0,2 м на прослойке битума, чтобы облицовку можно было сменить после износа, не повреждая основной железобетонной конструкции. Не следует устраивать перелома продольного профиля селевого потока у селепровода (уменьшение уклона последнего), так как это ведет к отложению наносов перед акведуком и может вызвать аварию.

При проектировании селепроводов необходимо достаточно надежно оценить величину селевого паводка и его характер, давая запасы селепроводу и по высоте и по толщине его стенок.

3. Дюкеры

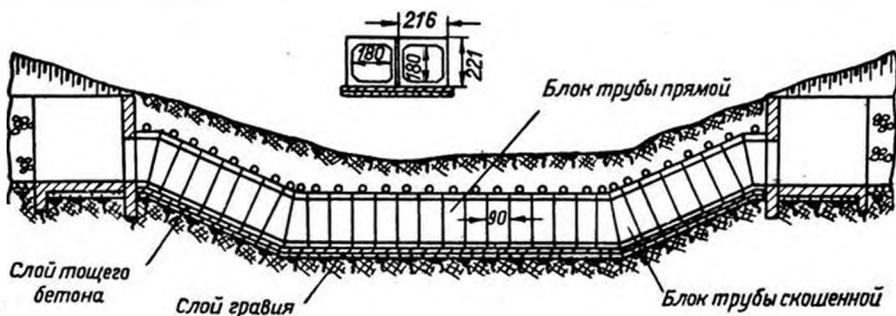
Дюкеры представляют собой напорные водоводы, укладываемые под руслом реки (фиг. 29—1,б) или при пересечении глубокой долины — по склонам ее и по мосту (фиг. 29—1,в).

Разрез по оси



Фиг. 29—20. Железобетонный дюкер (двухочковый) с прямоугольным сечением труб

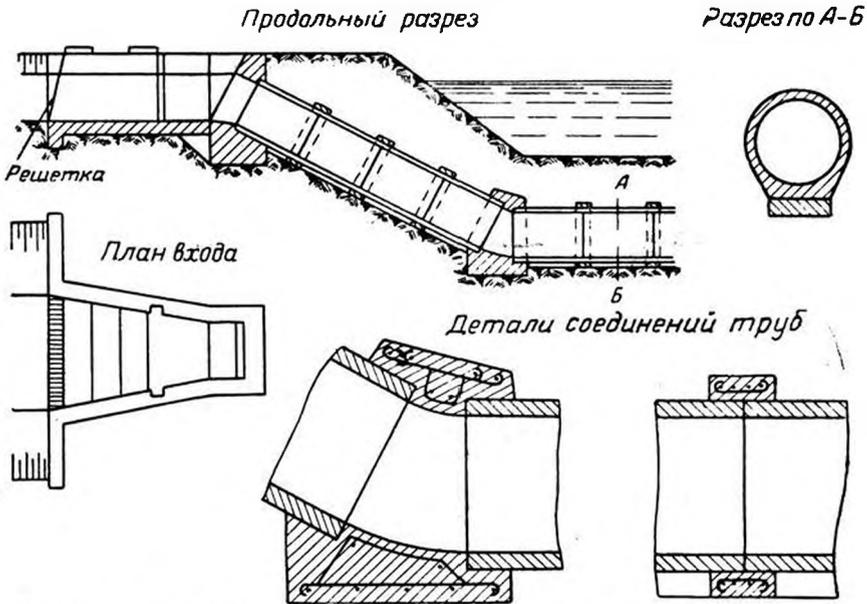
Дюкеры первого типа, укладываемые в выемке и засыпаемые грунтом, подвержены внутреннему давлению — от воды — и внешнему — от земли, дюкеры второго типа — большей частью только внут-



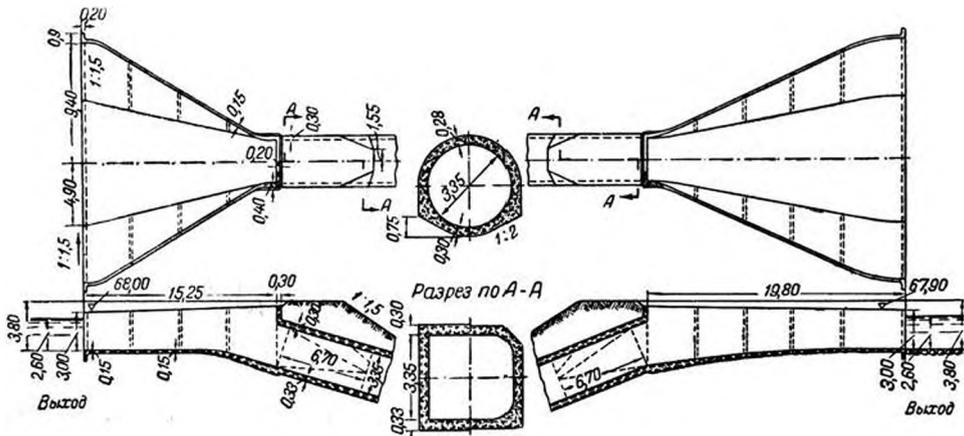
Фиг. 29—21. Сборный железобетонный дюкер

ренному давлению воды. Поэтому и конструктивно дюкеры первого типа представляют собой жесткие конструкции: железобетонные и стальные трубы круглого сечения (фиг. 29—22 — из звеньевых труб, фиг. 29—23 — монолитные) или железобетонные трубы прямоугольного сечения (фиг. 29—20 и 29—21); дюкеры второго типа — только трубы круглого сечения: металлические, железобетонные и деревянные (из клепок). В зависимости от расчетного расхода воды дюкер может состоять из одной трубы или нескольких; последнее предпочтительно при значительных расходах: 1) во избежание крупных размеров труб и 2) на случай ремонта, когда одна «нитка» выйдет из строя, а остальные все же будут работать.

На фиг. 29—21 показан тип сборного железобетонного дюкера¹ на расход воды 18 м³/сек, состоящего из двух типов труб: прямых и скошенных (в местах изгиба оси дюкера), весом 3,1 и 1,94 т. Сборные дюкеры имеют преимущества быстроты и простоты осуществления,



Фиг. 29—22. Дюкер из звеньевых железобетонных труб круглого сечения



Фиг. 29—23. Железобетонный дюкер круглого сечения монолитный

экономии в лесоматериале и квалифицированной рабочей силе благодаря возможности широкой механизации работ и общей экономичности их, особенно в случае большого количества однотипных сооружений. Применение сборных конструкций необходимо всемерно развивать, разрабатывать новые экономичные типы их.

Площадь сечения дюкера определяется расходом воды и средней скоростью ее движения, которая выбирается из технико-экономических

¹ Н. К. Фенин и Б. В. Кошурников, Опыт применения крупных блоков в сборных железобетонных ирригационных сооружениях, журнал «Гидротехническое строительство» № 5—6, 1948.

соображений; обычно она составляет величину порядка 2—4 м/сек, хотя конструкции труб допускают значительно большие скорости.

Во входной части устраивается сороудерживающая решетка и пазы для ремонтных шандров, пазы устраиваются и в выходной части.

Для недопущения в дюкер наносов, если последние движутся в канале и могут оседать в дюкере при прекращении работы канала, при входе в дюкер устраиваются песколовки, или грязевые колодцы, в которых наносы осаждаются вследствие уменьшения скоростей течения.

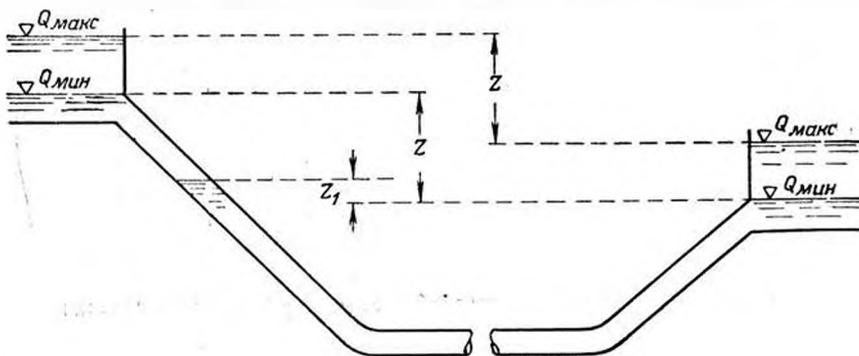
Гидравлический дюкер представляет собой напорный водовод с расходом

$$Q = \mu \sqrt{2gZ} \omega, \quad (29-1)$$

где ω — площадь сечения;

μ — коэффициент расхода, учитывающий все потери в водоводе;

Z — разность уровней перед дюкером и за ним (фиг. 29—24)



Фиг. 29—24. Схема гидравлического режима дюкера

Особенность работы относительно длинных дюкеров состоит в том, что величина Z различна для наибольшего и наименьшего расходов воды Q_{\max} и Q_{\min} , а именно, при Q_{\min} она равна $Z_1 < Z$, что может создать на входе условия спада с образованием переменного прыжка в трубе, что нежелательно ввиду расстройств швов от толчков и т. п. Борьбаться с этим явлением можно или подпирая при помощи шандров уровень воды на выходе, или путем изменения конструкции входной части так, чтобы прыжок образовывался в открытой части, на входе, либо был затоплен путем устройства водобойного колодца.

Статический расчет дюкера ведется на внешнее давление земляной засыпки¹, а при больших напорах толщина стенок дюкера поверяется на внутреннее гидростатическое давление.

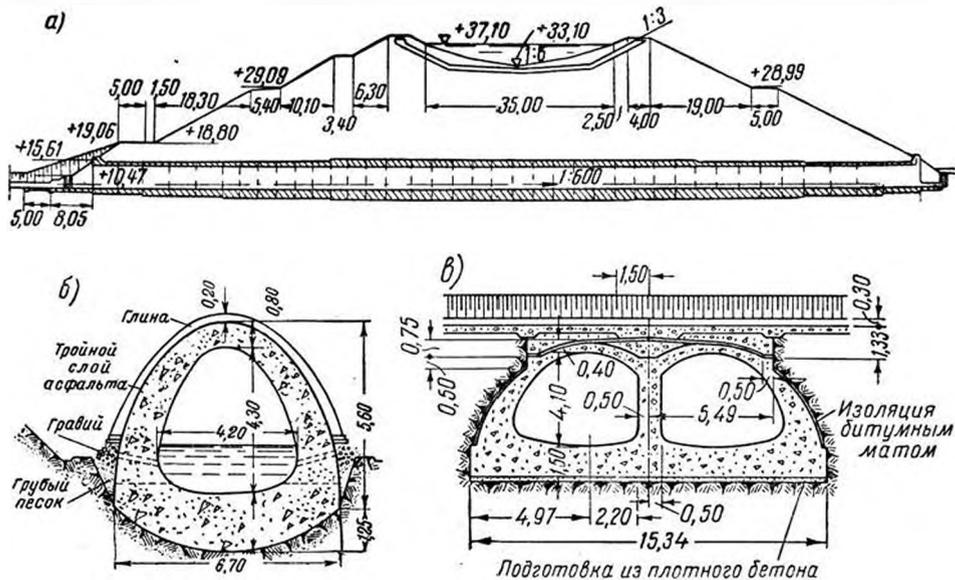
4. Трубы под насыпями

Эти трубы служат для проведения ручьев, ливневых и других небольших водотоков в тех случаях, когда канал проходит выше потока (фиг. 29—25). Поток в трубе обычно движется безнапорно, как в открытом русле, чтобы не создавать значительного напора на насыпь канала, но для пропуска исключительных паводков можно допустить временное затопление верхней входной кромки трубы. Русло потока перед трубой и особенно за трубой укрепляется во избежание размы-

¹ См., например, Л. М. Емельянов, О работе тонкостенных труб, заложенных в землю, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 10, 1952.

ва; иногда при выходе из трубы устраиваются гасители (водобойные колодцы), если течение в трубе происходит с большими скоростями.

Сечение трубы делается по гидравлическим и статическим соображениям оvoidальным (фиг. 29—25,б), но бывают иногда и прямоугольным сечения; при значительных расходах трубы выполняются парными (фиг. 29—25,в) и многоочковыми. В последнее время в СССР



Фиг. 29—25. Труба под каналом для пропуска ручья

проведено много гидравлических исследований труб под насыпями и усовершенствован метод их расчета.

При использовании труб и галерей в насыпи для целей сухопутного транспорта, а иногда и в других случаях, сечение труб делается прямоугольным; при оживленном движении по галерее и необходимости двух путей по середине галереи могут быть сделаны стойки для уменьшения пролета перекрытия (фиг. 29—1,з).

5. Мосты

Проезжие мосты через каналы устраиваются по нормам, существующим для автогужевых и железнодорожных мостов. Чтобы не стеснять живого сечения канала, рекомендуется перекрывать каналы одним пролетом моста, обычно арочного или рамного типа. Если канал не судоходный и не сплавной, но допускает движение служебных катеров и лодок, следует оставлять запас от низа пролетного строения до самого высокого горизонта воды в канале не менее 2 м. В судоходных и сплавных каналах должны соблюдаться подмостовые габариты, устанавливаемые ГОСТ 3035-45.

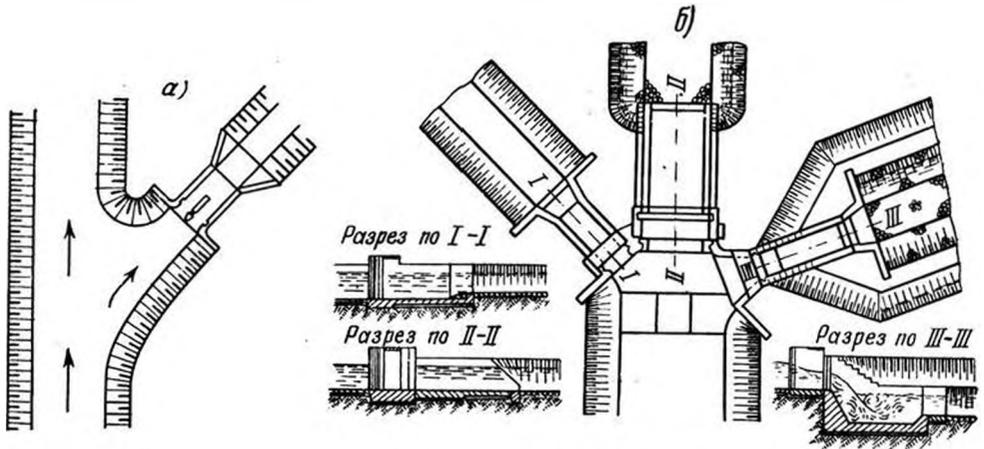
§ 170. СООРУЖЕНИЯ, РЕГУЛИРУЮЩИЕ ВОДНЫЙ РЕЖИМ КАНАЛА

1. Шлюзы-регуляторы и вододелители

Шлюзы-регуляторы устраиваются в местах разветвления канала на отдельные водоводы. Это требуется главным образом в ирригационных и водопроводных каналах.

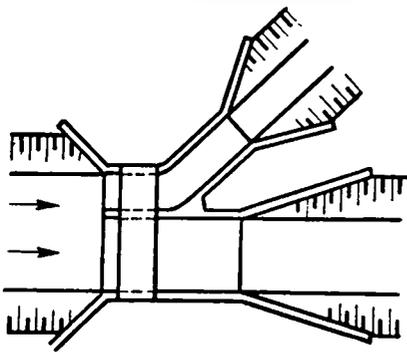
Шлюз-регулятор конструктивно представляет собой плотину с затворами и порогом обычно на отметке дна ложа канала или несколь-

ко выше и позволяет регулировать расходы в канале и в ответвлениях из него, а также полностью закрывать его. Шлюз-регулятор может быть расположен только на ответвлении канала (фиг. 29—26,а) или



Фиг. 29—26. Схемы шлюзов-регуляторов

на основном тракте и ответвлении, причем оба или даже иногда три регулятора соединяются в одно сооружение (фиг. 29—26,б). Регуляторы могут быть без перепада или с перепадом на одном из них. Иногда шлюзы - регуляторы делают в виде перегораживающей канал земляной плотины с трубчатым (напорным или безнапорным) водовыпуском, оборудованным затворами.



Фиг. 29—27. Вододелитель

Вододелители представляют собой упрощенные регуляторы — без затворов, но с фиксированным соотношением расходов, пропускаемых по главному каналу и ответвлению, например, в отношении 2:1 (фиг. 29—27); применяются они главным образом в ирригации.

Конструкции шлюзов-регуляторов и вододелителей рекомендуется выполнять из сборного бетона и железобетона.

2. Предохранительные (аварийные) заграждения

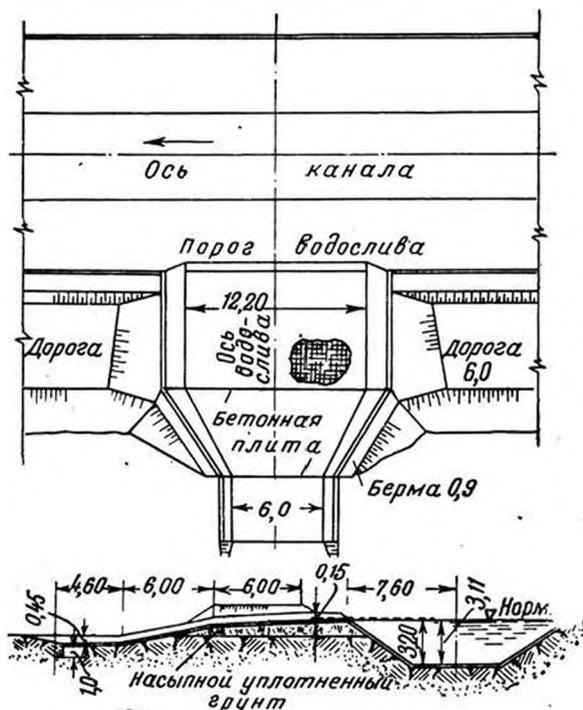
Эти заграждения ставятся на длинных каналах, не имеющих других перегораживающих сооружений (регуляторов), для изоляции отдельных участков канала на случай ремонта.

Эти заграждения в обычное время находятся в открытом (разобранном) состоянии, в случае аварии или ремонта они могут быть быстро переведены в состояние закрытия. На несудоходных каналах они могут, по существу, представлять собой открытые шлюзы-регуляторы.

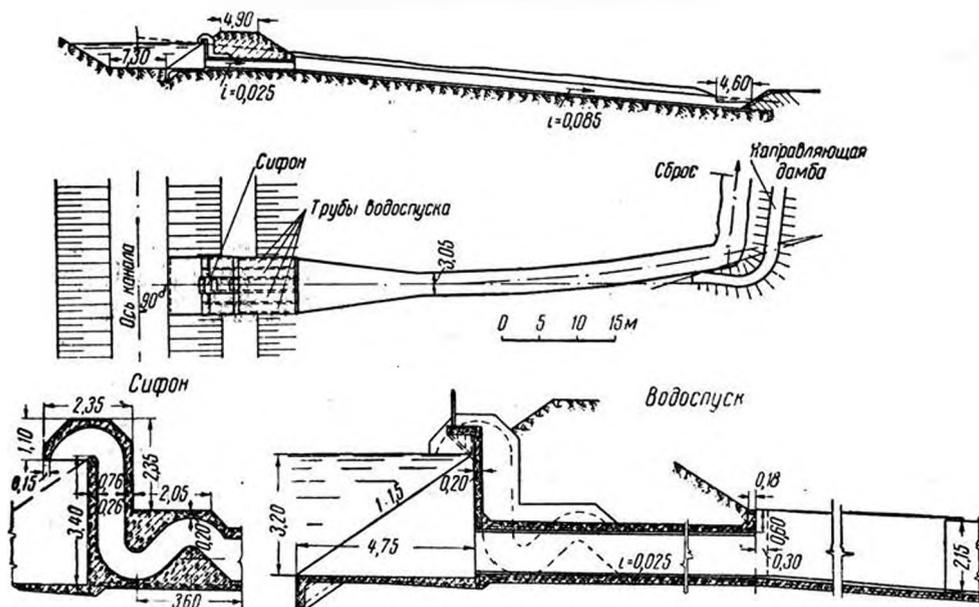
3. Водосбросы (водосливы)

Назначение водосбросов по трассе или в концевой части канала — организованный сброс воды, могущей переполнить канал по условиям эксплуатации или при тех или иных неполадках и недосмотрах. Такие:

водосбросы могут быть различных типов; на трассе канала они обычно являются в гидравлическом смысле боковыми водосливами. Кроме сброса воды, в задачу водосбросов на энергетических каналах входит иногда и сброс льда, шуги и плавающих тел.



Фиг. 29—28. Водосливный лоток на канале



Фиг. 29—29. Сифонный водосброс с водоспуском

Конструктивно водосбросы выполняются или в виде бетонной водосливной стенки обычного типа, или в виде водосливных лотков-быстро-

токов (фиг. 29—28), или в виде сифонных водосбросов (фиг. 29—29), иногда объединяемых в одно сооружение вместе с водоспуском (см. ниже). Полезно сбросы устраивать также в акведуках и у дюкеров.

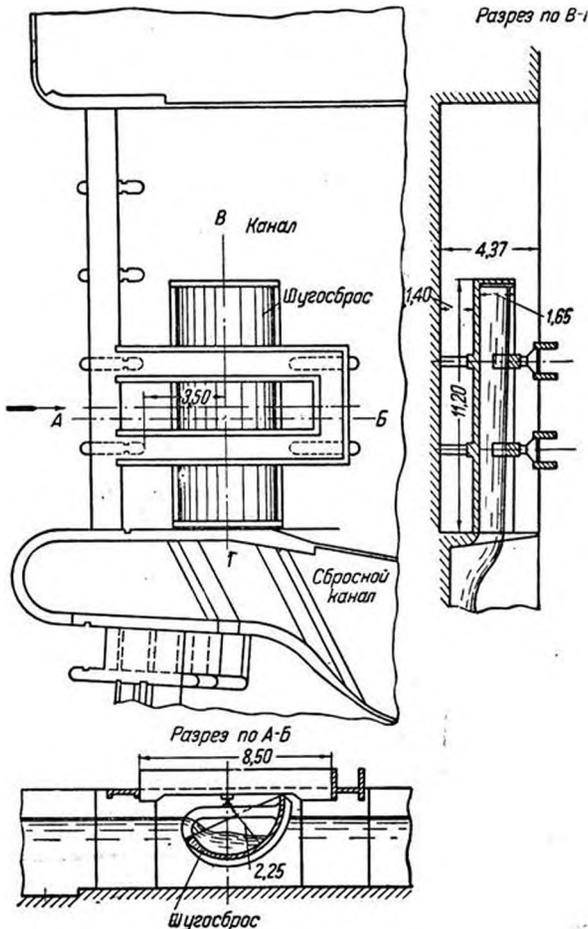
4. Водоспуски

Водоспуски для опорожнения канала устраиваются в ряде мест по трассе в зависимости от его длины и во всяком случае — в конце канала. Водоспуски часто совмещаются с водосливами (например, фиг. 29—29). В большинстве они имеют трубчатую конструкцию.

Водоспуски часто совмещают еще и с другими сооружениями на канале: шлюзами-регуляторами, насосными станциями и т. п.; тогда конструкция получается экономичнее и управление водоспуском облегчается, поскольку он обслуживается тем же персоналом, что и основное сооружение.

5. Шугосбросы

Если по каналу допущен транзит шуги или шуга образуется в самом канале, необходимо предусмотреть в конце канала, а при большой длине его и в ряде мест по длине, шугосбросы для отвода шуги из канала.



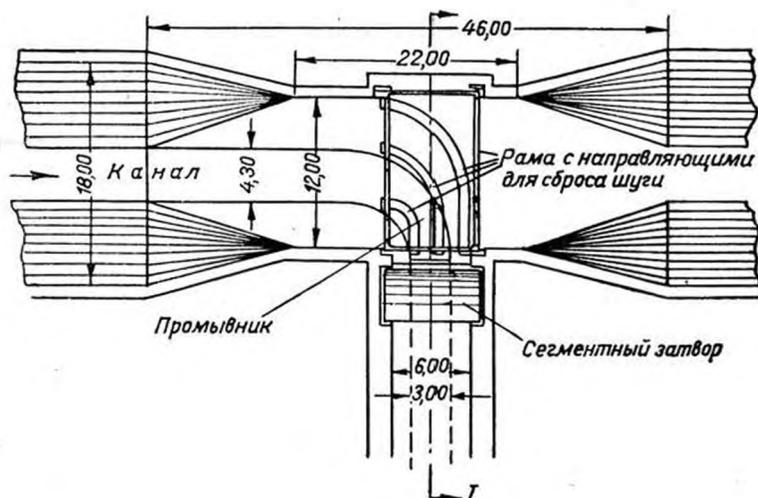
Фиг. 29—30. Шугосброс системы А. Н. Гастунского

На фиг. 29—30 показан неоднократно применявшийся тип шугосброса, впервые предложенный А. Н. Гастунским. Это лоток, подвешенный поперек канала, с порогом, опускаемым путем поворота на глубину хода шуги; верхний слой воды с шугой направляется в сторону от канала (иногда в водоспуск). Важным обстоятельством является необходимость обеспечить всплывание шуги в верхние слои потока перед шугосбросом, для чего подходной участок канала должен быть прямолинейным на длину около 20 глубин канала и более, со скоростями порядка 0,7 м/сек. Шугосброс должен убираться в периоды отсутствия шугохода, так как он создает в канале подпор.

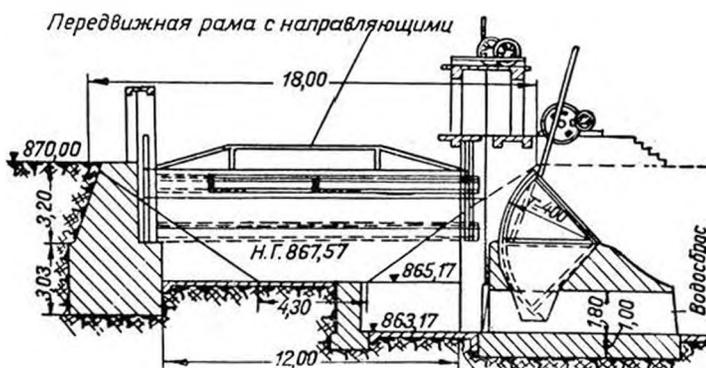
Другой тип шугосброса приведен на фиг. 29—31; здесь лоток шугосброса, могущий перемещаться в вертикальном на-

правлении, имеет (в плане) направляющие стенки, улучшающие гидравлические условия поворота потока с шугой в сбросной канал, вход в ко-

торый перекрыт опускаемым затвором. Шугосброс совмещен еще с промывным донным отверстием для удаления наносов, которые могут скапливаться в подходе к шугосбросу ввиду уменьшения скоростей течения в подходе.



Разрез по I-I



Фиг. 29—31. Шугосброс Читяхевинской ГЭС (проект)

Шугосброс по фиг. 29—31 показал свои преимущества перед типом, изображенным на фиг. 29—30: он сбрасывает до 80—95% поступающей шуги, в то время как в шугосбросе с качающимся лотком большое количество шуги (до 50%) подныривает под лоток¹.

Были предложения² улучшить сброс шуги применением особого скребкового транспортера, который механически увлекает шугу в

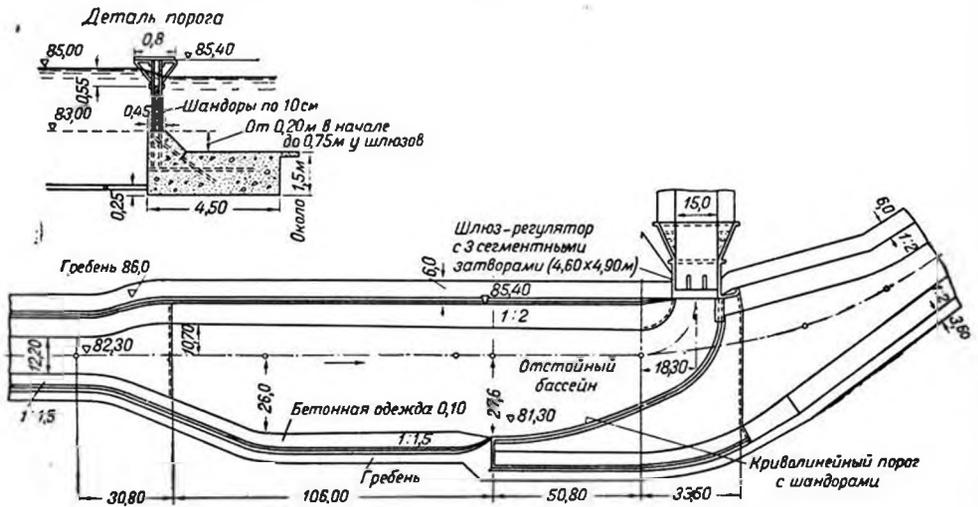
¹ Р. С. Малхазян, Новый тип шугосброса, журнал «Гидротехническое строительство» № 3, 1949.

² В. Г. Луков, Механический шугосброс, журнал «Гидротехническое строительство» № 9, 1948.

сброс, сберегая воду, которая неизбежно теряется в обычных шлюз-сбросах (верхний слой воды в канале толщиной до 40—50 см); сведения об успехе этого предложения в эксплуатации нет.

6. Наносовыпускные устройства

При необходимости борьбы с наносами в канале, попадающими в случае приема в него мелких ручьев, отложения песка, переносимого иногда ветром, мелких наносов, влекомых самим потоком и т. п., устраивают специальные отстойники с промывными приспособлениями. Пример такого наносовыпуска показан на фиг. 29—32: наносы от-



Фиг. 29—32. Наносовыпускное устройство на канале

стаиваются в уширении канала, огражденном криволинейным порогом, при постановке на который шандоров поток канала направляется для промыва наносов в промывной шлюз.

Для борьбы с наносами, скопляющимися неизбежно в местах впадения ручьев, в местах пониженных скоростей течения и пр., целесообразно поддерживать в канале повышенные скорости течения в период наибольшей мутности воды, а иногда и производить опорожнение каналов (со скоростью снижения уровня воды до 20—30 см/час).

7. Прочие сооружения

Кроме описанных, на каналах бывает еще много мелких сооружений, которые здесь не освещаются ввиду несложности их; сюда относятся нагорные канавы на склонах, ливневые выпуски, пропускающие воду из нагорных канав под каналом или над ним (в последнем случае они называются ливневыми лотками), приемники для дренажных вод, для вод мелких ручьев и т. п.

ГЛАВА ТРИДЦАТАЯ

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ ТУННЕЛИ

§ 171. ТИПЫ И ХАРАКТЕР РАБОТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ

1. Типы гидротехнических туннелей

Гидротехнические туннели представляют собой водоводы, устраиваемые в земной коре без удаления вышележащей массы грунта.

К устройству туннеля приходится прибегать в тех случаях, когда: 1) ось водовода лежит так глубоко под земной поверхностью, что открытая выемка или какой-либо обход данного места значительно дороже туннеля; 2) трасса водовода идет по склону крутому, осыпающемуся или оползающему, или подверженному действию лавин, камнепада в горных районах и т. п.; 3) трасса водовода идет по густо застроенной населенной местности.

а) В гидравлическом отношении туннели, как и другие водоводы, делятся на напорные, в которых все сечение водовода заполнено водой, и безнапорные, если движение воды в туннеле происходит при наличии свободной поверхности потока.

б) По водохозяйственному назначению гидротехнические туннели делятся на:

- 1) энергетические, подводящие к ГЭС воду или отводящие ее;
- 2) ирригационные и обводнительные;
- 3) водопроводные;
- 4) судоходные и лесосплавные, в которых могут плавать суда и плоты;
- 5) водосбросные, используемые для сброса воды из верхнего бьефа гидроузлов;
- 6) строительные, устраиваемые для временного отвода речной воды от места постройки гидроузла;
- 7) комбинированные, устраиваемые для нескольких различных водохозяйственных целей.

в) В конструктивно-строительном отношении различают:

1) собственно туннели, оси которых горизонтальны или наклонены под небольшим углом к горизонтали; туннели небольших сечений или туннели, имеющие вспомогательный характер, называются иногда штольнями, а короткие туннельные выработки служебного назначения — штреками;

2) шахты, оси которых вертикальны или круто наклонены к горизонту.

2. Влияние гидравлических условий на размеры сечения гидротехнических туннелей

Поперечное сечение гидротехнического туннеля рассчитывается, как сечение всякого водовода, по обычным формулам гидравлики. Выбор средней скорости течения воды в туннеле делается из соображений: а) неразмываемости стенок и б) экономичности. В последнем случае требуется технико-экономический расчет сечения туннеля¹.

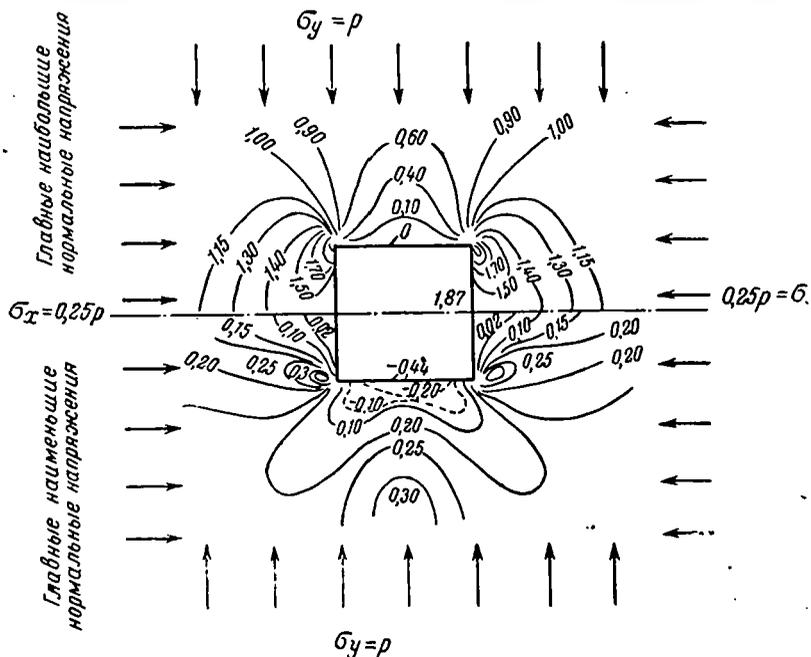
Сечение водосбросного туннеля выбирается еще из условий производственно-строительных и иногда из условий совмещения функций эксплуатационных и строительных (§ 96, 99, 149).

¹ Технико-экономический расчет энергетических туннелей дается в курсах использования водной энергии, см. также [51, 69].

Характер шероховатости стенок туннеля также влияет на выбор скорости в нем; введение гладкой облицовки позволяет уменьшить поперечное сечение туннеля без увеличения уклона, но это же может иногда увеличить стоимость водовода, и вопрос в данном случае решается технико-экономическим расчетом.

3. Обеспечение устойчивости туннельной выработки и форма сечения ее

Туннельная выработка вызывает изменение напряжений в окружающей массе грунта и в частности появление растягивающих напряжений, как это видно из фиг. 30—1, где показаны изостаты главных наибольших (верхняя половина чертежи) и наименьших (нижняя половина) нормальных напряжений в однородной упругой среде при



Фиг. 30—1. Теоретическое распределение напряжений вокруг туннельной выработки

действию на нее объемных сил¹. Вследствие этого порода деформируется, и в зависимости от ее прочности может произойти обрушение кровли выработки, выпучивание боковых стенок и пр. Во избежание этого туннельная выработка обделывается прочным покрытием по всему контуру или по наиболее угрожаемой части его. Эта обделка должна быть рассчитана на давление деформирующейся породы, которое носит название горного давления. Давление это зависит от качества породы: в скальных породах оно ничтожно, так что обделки иногда не требуется, а в слабых оно весьма велико.

Форма сечения туннеля зависит от величины и характера горного давления и давления воды, как это будет изложено ниже.

¹ А. Н. Динник, А. Б. Моргаевский и Г. И. Савин, Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок, Труды совещания по управлению горным давлением, изд. Академии наук СССР, 1938.

Кроме статических условий, на форму сечения и на тип облицовки туннеля, как и всякого водовода, влияют факторы как гидравлические, так и производственно-строительные (например, при щитовой проходке туннеля сечение делается обычно круглым).

4. Краткая историческая справка о гидротехнических туннелях

Первый в России водосбросной туннель (штольня) был, насколько известно, построен в XVIII в. на Урале у Змеиногорской плотины известным русским гидротехником К. Д. Фроловым. В СССР строительство гидротехнических (главным образом энергетических) туннелей стало развиваться весьма успешно с конца 20-х годов нашего столетия; некоторые из туннелей имеют длину более 5 км (например, Невинномысский — 6,3 км).

§ 172. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ В ТУННЕЛЯХ

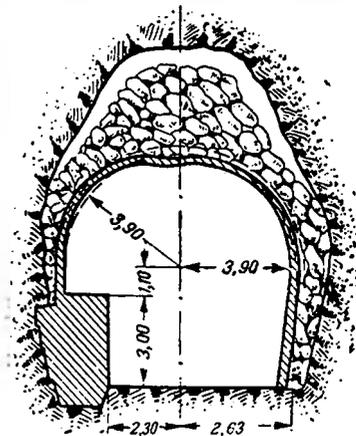
1. Общие понятия

Под горным давлением понимают силы, проявляющиеся в породах, окружающих туннельную выработку, и вызывающие деформацию этих пород, во избежание которой необходимо устройство крепей или обделки выработки.

Горное давление возникает, таким образом, лишь при устройстве туннельной выемки, наличие которой вызывает новое напряженное состояние в массиве породы (фиг. 30—1) и деформации ее.

Если до производства туннельной выемки главные нормальные напряжения в какой-либо точке были: $\sigma_y = p$ и $\sigma_x = \zeta p$, где ζ — коэффициент бокового давления (на фиг. 30—1 принято $\zeta = 0,25$), то после устройства туннельной выработки напряжения по горизонтальной оси перераспределятся: σ_y — у края выработки возрастут, а σ_x — уменьшатся; по вертикальной оси — σ_y уменьшатся до нуля, а σ_x станут отрицательными, т. е. появится растяжение. Местные изменения напряжений у края выработки будут тем резче, чем более хрупка и менее пластична порода.

Если деформации, вызванные туннельной выработкой, остаются в пределах упругости, то выработка не потребует каких-либо креплений, как это и имеет место в прочных твердых породах. Если же будет перейден предел упругости, то начнутся деформации неупругие, которые могут продолжаться длительное время; в процессе этих деформаций происходят новые изменения в напряжениях и неупругими деформациями захватываются новые области породы. В конечном счете, если не принять мер в виде крепления контура выработки обделкой, начнется вываливание кусков породы внутрь выработки, пока не образуется естественная форма равновесия ее (пример — обвал выработки туннеля Моваж, приведший обделку к деформации, из положения, показанного на фиг. 30—2 пунктиром, в положение, нанесенное сплошными линиями).



Фиг. 30—2. Обвал выработки туннеля Моваж

Естественная форма равновесия породы, как показывают наблюдения и опыты, представляет собой некоторый свод в породе, в котором или отсутствуют, или очень малы растягивающие напряжения.

Описанная «механическая» картина возникновения горного давления в реальных условиях усложняется рядом геологических факторов, охарактеризованных ниже, в п. 6.

2. Виды горного давления

Различают следующие виды горного давления:

- а) вертикальное, направленное сверху вниз, а у подошвы выработки снизу вверх (последнее наблюдается только в слабых породах),
- б) боковое давление, направленное под некоторым углом к горизонту и опасное главным образом для боковых стенок выработки;
- в) продольное, направленное по продольной оси туннеля.

Наибольшую роль играет вертикальное горное давление, наименьшую — продольное, которое обычно не учитывается.

3. Методы определения величины горного давления

Выше было указано, что на горное давление влияют многочисленные факторы, поэтому теоретическое определение величины его крайне затруднительно. Наилучшие результаты дает метод экспериментальный, когда величины деформаций породы и ее давления определяются непосредственно в сделанной туннельной выломке.

Теоретические способы определения величины горного давления распадаются на четыре группы:

- 1) методы, основанные на гипотезе гидростатического распределения давления породы по глубине выломки;
- 2) методы, основанные на приписывании породам свойств сыпучих тел;
- 3) методы, основанные на теории пружности в предположении породы изотропной и упругой;
- 4) методы, основанные на наблюдаемом в природе явлении образования свода в породе над выработкой.

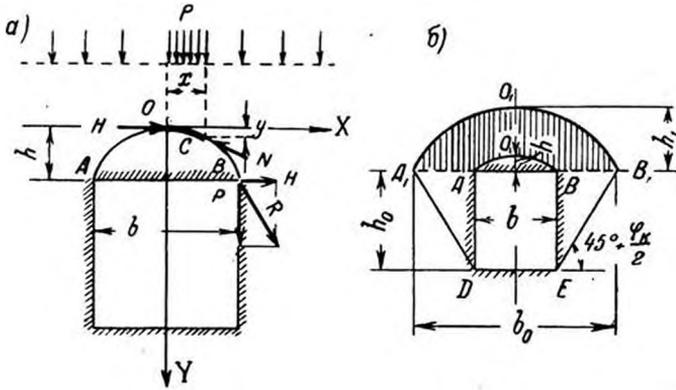
Первый и второй методы не соответствуют действительным свойствам подавляющего большинства пород в естественных условиях; третий метод идеализирует естественные горные породы, но может дать ценные выводы для применения их в реальных условиях, однако задача здесь оказывается сложной и пока не получила решения, удовлетворяющего практику.

Методы, основанные на явлении образования свода в породе над выломкой, практически оказались более плодотворными. Из них наилучший — способ, предложенный проф. М. М. Протодьяконовым¹.

4. Определение величины горного давления по методу проф. М. М. Протодьяконова

Пусть в результате деформации породы над туннельной выломкой шириной b часть породы пришла в «движение» и может обрушиться. Границей этой части породы будет некоторый свод AOB (фиг. 30—3,а), в котором растягивающие напряжения можно считать отсутствующими, а сжимающие находятся в допустимых пределах. Тогда вертикальное горное давление в пролете b выразится весом породы в объеме

¹ М. М. Протодьяконов, Давление горных пород и рудничное крепление, Стройиздат, 1930.



Фиг. 30—3. Схема к расчету горного давления по Прото-
дьяконову

АОВА; для определения закона распределения давления этого объема надо знать форму кривой АОВ.

Форму свода АОВ можно приближенно определить из условия равновесия его под равномерной нагрузкой p вышележащей породы в предположении отсутствия моментов в своде, т. е. наличия только центрального сжатия силой N . Равновесие выделенного произвольного участка свода OC (фиг. 30—3,а), к которому приложены сила распора H и продольная сила N , заменяющие действие отброшенных частей свода, может быть выражено равенством нулю моментов всех сил относительно точки C с координатами x, y :

$$Hy - p \frac{x^2}{2} = 0;$$

откуда

$$y = \frac{px^2}{2H}. \quad (30-1)$$

Следовательно, кривая АОВ представляет собой параболу.

Для определения величины H рассмотрим условия прочности пят свода A и B . В пяте свода, например, B (фиг. 30—3,а), действуют силы: распор H и вертикальная реакция $P = 0,5 pb$. Для устойчивости свода, очевидно, необходимо, чтобы

$$H < f_k P \text{ или } H < 0,5 pb f_k, \quad (30-2)$$

где f_k — коэффициент сопротивления породы сдвигу, названный М. М. Протодьяконовым коэффициентом крепости породы¹.

Давая двойной запас устойчивости своду (для чего проф. Протодьяконов выдвигает некоторые теоретические соображения), получим

$$H = 0,5 \cdot 0,5 pb f_k = \frac{1}{4} f_k pb. \quad (30-3)$$

¹ Коэффициент крепости породы характеризует сопротивление породы сдвигу. Это сопротивление может быть выражено известным уравнением:

$$\tau = f_0 \sigma + c,$$

где c — сцепление породы;
 σ — нормальное напряжение;
 f_0 — коэффициент пропорциональности.

Величина $f_k = \frac{\tau}{\sigma} = f_0 + \frac{c}{\sigma}$ в известном диапазоне нормальных напряжений может быть принята постоянной.

Подставляя в (30—1) величину H из (30—3), получим

$$y = \frac{px^2}{\frac{2}{4} f_k pb} = \frac{2x^2}{f_k b}. \quad (30-4)$$

При $x = \frac{b}{2}$ и $y = h$ получим из (30—4) высоту параболического свода, характеризующую горное давление:

$$h = \frac{b}{2f_k}. \quad (30-5)$$

а) Полную величину вертикального горного давления на горизонтальную крепь можно вычислить, зная объемный вес породы γ_1 и площадь ее (объем на 1 пог. м туннеля)

$$\omega = \frac{2}{3} bh:$$

$$Q = \gamma_1 \omega = \gamma_1 \frac{2}{3} bh = \gamma_1 \frac{b^2}{3f_k}. \quad (30-6)$$

Средняя удельная величина вертикального горного давления равна

$$q = \frac{\gamma_1 b}{3f_k} \text{ кг/см}^2. \quad (30-7)$$

Значения f_k даются в справочниках и нормах. Можно подметить, что величины f_k численно составляют примерно 1% от временного сопротивления скальной породы сжатию (раздроблению) (в кг/см^2), а для несвязных грунтов — это коэффициент внутреннего трения грунтов.

Примерные значения коэффициента крепости равны: для песка, растительного грунта 0,5—0,6; суглинка, гравия среднего 0,6—0,8; глины, лёсса 0,8—1,0; тяжелых глин 1—1,5; морены, сланцев некрепких 1,5—2; мергеля, сланцев 2—4; песчаника, известняка 4—10; плотных песчаников, доломитов, гранита 10—14; других изверженных пород, очень плотных известняков 14—20; очень твердых изверженных пород 20—25 и более.

б) Боковое горное давление значительно меньше вертикального. По методу проф. Протодяконова, оно определяется как боковое давление на стенку по теории сыпучих тел, причем за угол трения грунта принимается угол сопротивления грунта сдвигу $\varphi_k = \arctg f_k$.

По указанной теории, призма обрушения (AA_1D и BB_1E на фиг. 30—3,б) образуется плоскостью обрушения, наклоненной к горизонту под углом $45^\circ + \frac{\varphi_k}{2}$ (A_1D и B_1E на фиг. 30—3,б). Временной на-

грузкой на этой призме М. М. Протодяконов считает вес породы, заключенной между сводом обрушения AOB в породе над выломкой пролетом b и таким же сводом $A_1O_1B_1$ над возможной в случае обрушения призм AA_1D и BB_1E выломкой A_1B_1 (фиг. 30—3,б) пролетом b_0 :

$$b_0 = b + 2h_0 \text{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right). \quad (30-8)$$

Вес породы в кольце $A_1O_1B_1BOAA_1$ равен по (30—6):

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{\gamma_1 b_0^2}{3f_k} - \frac{\gamma_1 b^2}{3f_k} = \frac{\gamma_1}{3f_k} (b_0^2 - b^2) = \\ &= \frac{\gamma_1}{3f_k} (b_0 - b)(b_0 + b) = \frac{\gamma_1}{3f_k} 2h_0 \text{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \left[2b + 2h_0 \text{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \right] = \end{aligned}$$

$$= \frac{4}{3f_k} \gamma_1 h_0 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \left[b + h_0 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \right]. \quad (30-9)$$

Удельная нагрузка на призмах обрушения AA_1 и BB_1 равна

$$q_0 = \frac{Q_0}{2h_0 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right)} = \frac{2}{3f_k} \gamma_1 \left[b + h_0 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \right]. \quad (30-10)$$

Боковое горное давление на стенку высотой h_0 (по обычным формулам) равно

$$E = \frac{1}{2} h_0 (2q_0 + \gamma_1 h_0) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right). \quad (30-11) \quad \left| v \right.$$

5. Факторы, влияющие на величину горного давления

Величина горного давления, определяемая по формуле Протодьяконова, является лишь некоторым приближением к действительным условиям. В технических проектах надлежит эту величину корректировать опытным определением давления на крепи в реальных условиях туннельной выработки.

Необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на величину горного давления:

а) время постановки и жесткость крепей; чем они раньше будут поставлены после выломки породы, тем меньше горное давление; особенно это отмечается в породах сыпучих и глинистых, мергелистых, сланцеватых; большая жесткость крепей приводит к увеличению горного давления;

б) положение оси туннеля относительно простирания слоев породы и их структура; при расположении туннеля под сводом антиклинали горное давление меньше, чем при расположении его в зоне синклинали;

в) в зонах сильной трещиноватости, тектонических трещин, сбросов, сдвигов, контактов пород, на склонах горное давление увеличивается, появляется опасность обрушений, вывала кусков породы в процессе работ, деформаций породы в зоне, прилегающей к туннелю;

г) наличие подземных вод в зоне туннеля вводит, кроме горного давления, дополнительную нагрузку — гидростатическое давление этих вод. В породах мелкозернистых, илистых и др. подземные воды, кроме того, ослабляют связь между частицами пород и этим вызывают увеличение горного давления. В процессе же строительства туннеля ил и песок под действием гидродинамического давления могут выноситься в выработку, вызывая смещение основных масс породы и аварии креплений.

Вопросы горного давления очень сложны и продолжают изучаться советскими учеными¹.

§ 173. БЕЗНАПОРНЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ ТУННЕЛИ

1. Условия устройства и формы сечения безнапорных туннелей

Безнапорные туннели устраиваются в тех случаях, когда колебания уровня (в голове туннеля) и пропускаемого расхода воды в нем незначительны, когда соединяемые туннелем участки водовода или водоемы так расположены в высотном отношении, что возможно безнапорное их соединение, и когда безнапорный туннель оказывается экономичнее,

¹ См. А. А. Борисов, Давление на крепь горизонтальных выработок, Углетехиздат, 1948.

чем напорный, также возможный в данных условиях; судоходные туннели устраиваются, понятно, только безнапорными.

Форма сечения безнапорного туннеля при заданном расходе воды зависит от характера пород и геологических условий, в которых проходит туннель, а также условий производства работ по постройке туннеля.

а) По гидравлическим соображениям сечение туннеля должно обладать максимальной пропускной способностью. Это приводит к круглой или прямоугольной форме части сечения, заполненной водой, со смягчением углов последней скосами или выкружками, или к формам, близким к указанным.

б) Характер пород, в которых проходит туннель, определяет величину горного давления и сказывается на форме сечения туннеля: при малом вертикальном давлении потолок туннельной выработки может быть плоским или изогнутым в виде пологого свода: с увеличением горного давления подъем свода должен возрастать в целях лучшей работы обделки; с появлением бокового давления и боковые стенки туннеля делаются криволинейными в тех же целях; при весьма значительных величинах вертикального и бокового давления кривизна стенок туннеля увеличивается и дно выполняется в форме обратного свода, т. е. сечение приближается к овальной, а иногда даже круглой форме.

в) В производственном отношении только при щитовом способе проходки туннелей круглая форма сечения удобна; при горных способах проходки прямоугольная форма сечения со сводчатым перекрытием является наиболее удобной, искривление же нижней части сечения несколько ухудшает условия отвозки вынимаемой породы, дренажа и пр.

г) Размеры сечения влияют на форму его главным образом, тем, что с увеличением ширины туннеля увеличивается горное давление [формула (30—6)], а производственные условия несколько улучшаются и меньше зависят от формы сечения.

Суммируя все сказанное, можно прийти к пяти основным практическим типам сечений безнапорных туннелей (фиг. 30—4).

I — прямоугольное с пологим сводом или без него, применяемое для туннелей небольших размеров в прочных скальных породах, при незначительном вертикальном горном давлении и отсутствии бокового давления;

II — корытообразное с полуциркульным сводом, применяемое для сечений средних размеров при небольшом вертикальном и отсутствии бокового горного давления;

III — подъемистое с криволинейными стенками и верхним сводом малого радиуса, применяемое при значительном вертикальном горном давлении и небольшом боковом, а также при больших колебаниях уровня воды;

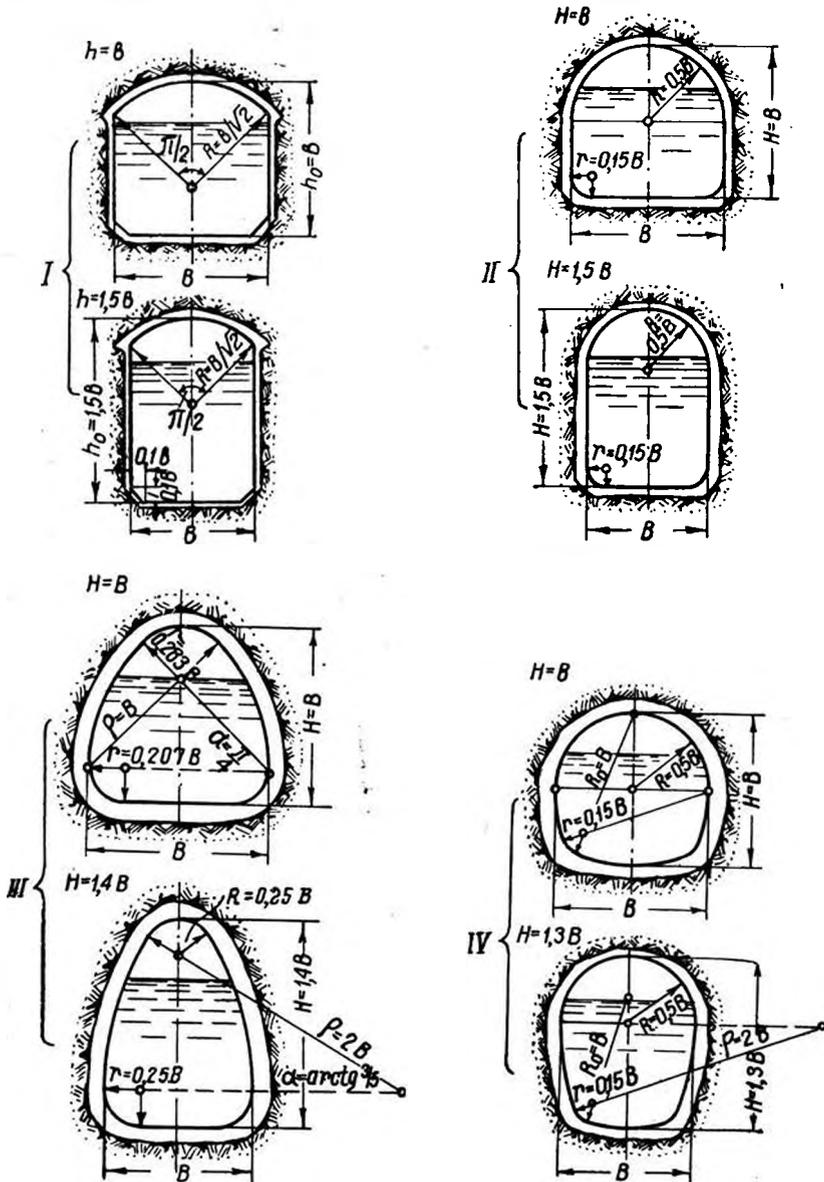
IV — подковообразное криволинейное (коробовое) очертание всего контура — при значительном горном давлении как вертикальном, так и боковом.

Между этими основными формами сечений могут быть промежуточные, вызванные различными местными условиями и их комплексом.

V — круглое сечение применяется главным образом при щитовом способе проходки туннеля.

Глубина наполнения сечения туннеля водой не должна быть больше $0,85 h_0$, где h_0 — высота туннельной выработки, т. е. запас над горизонтом воды в туннеле должен быть не менее $0,15 h_0$ и во всяком случае не меньше $0,4$ м.

Соотношение высоты туннеля h_0 и его ширины b обычно находится в пределах $h_0 = (1 \div 1,5)b$, причем более высокие профили выгодны при отсутствии бокового горного давления или при больших колебаниях горизонта воды.



Фиг. 30—4. Типы сечений безнапорных туннелей

Минимальные размеры сечений по производственным условиям: высота — 1,8 м, ширина — 1,5 м.

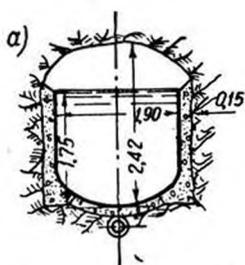
2. Типы туннельных обделок

Назначение обделок заключается: а) в уменьшении шероховатости стенок туннеля — в породах прочных и устойчивых; б) в обеспечении

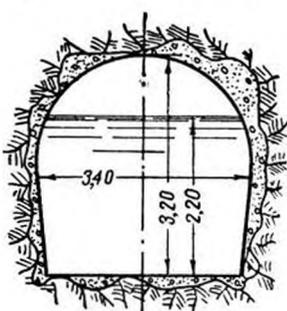
водонепроницаемости — в трещиноватых, но прочных породах; в) в предохранении выработки от обрушения потолка и стен ее и вообще от опасных деформаций пород. Необлицованные туннели весьма редки, они возможны лишь в прочных водонепроницаемых породах, если значительная естественная шероховатость стен выломки не имеет значения.

Туннельные обделки могут выполняться из бетона, железобетона, торкрета, камня, металла и дерева.

а) Обделки для уменьшения шероховатости, или так называемые выравнивающие облицовки, делаются в пределах живого сечения (фиг. 30—5,а), иногда и по всему сечению (фиг. 30—5,б), если необходимо защитить скалу от выветривания; выполняются они в виде цементных штукатурок, в частности торкретных, с укладкой слоя бетона там, где неровности скальной выломки превышают 20 см.



б)



Фиг. 30—5. Выравнивающие и защитные обделки туннелей

б) Обделки для защиты от обрушения выработки назначаются на основе статических расчетов (см. ниже § 174).

Бетонные обделки устраиваются в породах малой и средней крепости, минимальная толщина их обычно 0,3 м. Обделка устраивается или по всему сечению туннеля (фиг. 30—6, а), или в прочных породах только в верхнем своде, а ниже дается выравнивающая облицовка (фиг. 30—6,б).

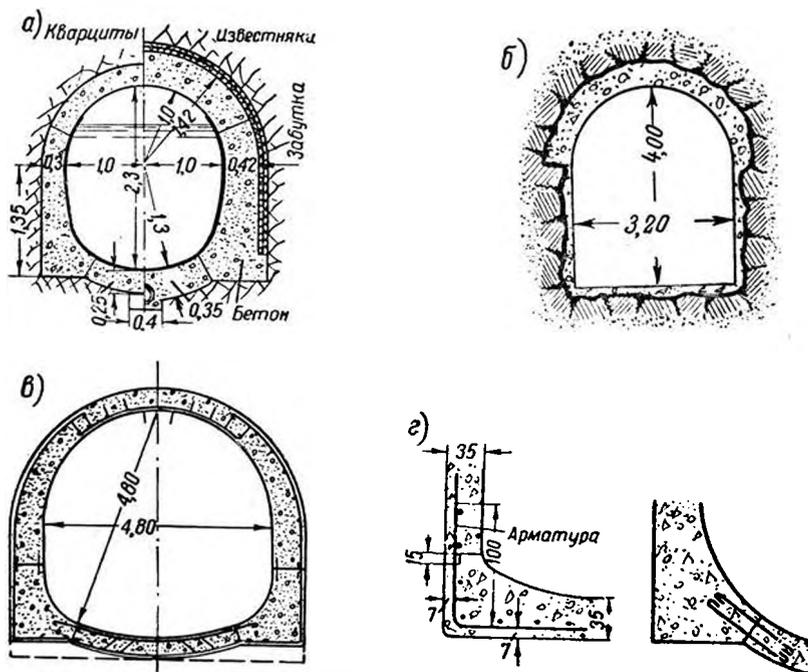
Железобетонные обделки распространены в туннелях значительных сечений при наличии значительного горного давления, при ненадежных геологических условиях. Арматура ставится или только в своде, или в своде, стенках и днище (фиг. 30—6,в), в зависимости от результатов расчета. В некоторых случаях ставится двойная арматура, а именно, при большом горном давлении, опасности вывалов породы и пр.

Каменные и кирпичные обделки применяются в настоящее время редко, главным образом в случаях необходимости защиты обделки от агрессивных вод или защиты ее от истирания наносами (каменные). В целях повышения сопротивляемости кладки растягивающим усилиям применяют иногда армирование камня (армокаменные конструкции). Иногда каменные обделки применяются в комбинации с бетонными или железобетонными (в сводах верхнем или нижнем), что позволяет ускорить ввод туннеля в действие благодаря более раннему раскружаливанию.

Металлические обделки в безнапорных гидротехнических туннелях встречаются редко; они используются в туннелях круглого сечения при щитовой проходке (см. ниже).

Сборные обделки получают в последнее время распространение главным образом в туннелях круглого сечения. Они выполняются из бетонных или железобетонных блоков, представляющих собой части кольца обделки, с последующим нагнетанием через специальные отверстия бетона за обделку для заполнения пазух и с заделкой швов расширяющимся цементом.

Металлические сборные обделки выполняются в виде т ю б и н г о в — стальных или чугунных — и применяются при щитовом методе проходки туннелей (см. § 177).



Фиг. 30—6. Бетонные и железобетонные обделки

3. Обеспечение водонепроницаемости обделок и защита их от вредного действия подземных вод

Некоторые типы обделок могут оказаться недостаточно водонепроницаемыми; в таких случаях принимают меры к дополнительной изоляции, в качестве которой служит торкретная штукатурка внутренней (со стороны выемки туннеля) поверхности обделки. В состав штукатурки вводят иногда специальные добавки, повышающие водонепроницаемость.

Необходимо также принять меры к обеспечению надежности рабочих швов облицовки — поперечных, располагаемых через 6—8 м, и продольных. Это достигается обычно арматурной связью (фиг. 30—6,г).

Серьезную борьбу в ряде случаев приходится вести с фильтрацией подземных вод в туннель, особенно если последние агрессивны. Борьба ведется при помощи дренажа и изоляции обделки с внешней стороны.

Дренаж выполняется в виде продольных дрен — одной-двух под туннелем (фиг. 30—5,а и 30—6,а), для усиления действия которых укладывают еще поперечные дрены. Дрены делают в виде труб из пористого бетона или из керамики, поперечный дренаж устраивается иногда в виде слоев гравия и щебня под наружной поверхностью облицовки; он особенно важен при значительном притоке вод.

Если подземные воды безвредны для обделки, их иногда принимают в туннель особыми коллекторами.

Гидроизоляция обделки нужна особенно для защиты от агрессивных подземных вод. Это достигается цементацией породы, окружающей об-

делку, укладкой изолирующих слоев, например, асфальтовой клеемассы, между обделкой и породой; устройство изоляции последнего типа вызывает некоторые затруднения при ее выполнении.

Следует отметить, что пазуха между обделкой и породой должна быть плотно заполнена бетоном. Это важно для осуществления упругого взаимодействия породы и обделки (см. ниже). Плотность заполнения пазух достигается цементацией их под давлением. Цементация производится песчано-цементными растворами, а в последнее время предложены для этой цели глинисто-цементные растворы¹, более экономичные, чем песчано-цементные (экономия цемента 30—40%) и дающие высококачественное заполнение пустот и трещин с увеличением иногда упругого отпора породы.

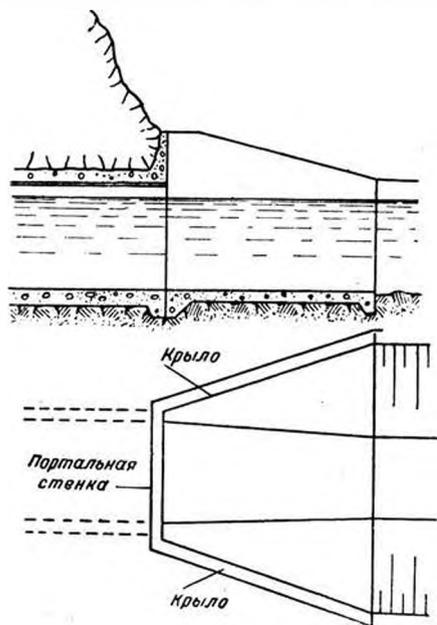
4. Порталы

Вход в туннель и выход из него конструируются в виде так называемых порталов. Назначение портала — закрепить конец облицовки, создать плавный подход к туннелю или переход из него в дальнейшую часть водовода либо погасить избыточную энергию потока, выходящего

из туннеля, если скорости в дальнейшей части водовода меньше, чем в туннеле, а иногда регулировать расход воды в туннеле при помощи затворов. В общем случае портал состоит из порталной стенки, крыльев (открылков) и нижней плиты.

Портальная стенка представляет собой утолщенную обделку, ограниченную вертикальной плоскостью, нормальной к оси туннеля (фиг. 30—7); по бокам она сопрягается с вертикальными или постепенно наклоняющимися крыльями, переходящими в откосы канала, если таковой следует за туннелем. Понизу к порталной стенке примыкает плита, на которой, если необходимо, располагаются гасители энергии воды.

Портальная стенка является подпорной стенкой для откоса массива, пересекаемого туннелем; стенка эта иногда имеет сравнительно



Фиг. 30—7. Портал туннеля

большую высоту над туннелем; подножие откоса, спускающегося к ней, дренируется для отвода атмосферных вод от портала. Портальная стенка может быть подвержена продольному горному давлению, на что в этом случае она должна быть рассчитана.

Крылья и днище образуют собой, по существу, лоток переходного типа от сечения канала к туннелю и обычно отделяются швами от порталной стенки. Гашение энергии в выходной части портала делается по типу гашения энергии за лотками или водоспусками.

¹ В. М. Мостков, Нагнетание глинисто-цементных растворов за обделку гидротехнических туннелей, изд. Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники, Л. 1951.

§ 174. РАСЧЕТЫ БЕЗНАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ

1. Определение размеров сечения туннеля

Гидравлический расчет сечения туннеля производится обычным методом, по формулам равномерного движения воды в открытых руслах. Уклон дна туннеля обычно диктуется топографическими условиями, но на выбор его величины влияют и другие факторы, как, например, дополнительные потери энергии в энергетических туннелях и т. п.

Для туннелей энергетических производится еще специальный гидравлический анализ случаев неравномерного и неустановившегося движения воды, что излагается в специальных курсах.

На основе гидравлических расчетов могут быть получены различные варианты решений в зависимости от принятых скоростей течения и других факторов. Выбор оптимального решения производится путем технико-экономического расчета. Последний для ирригационных и водопроводных туннелей сводится к сопоставлению стоимости и эксплуатационных расходов по разным вариантам (§ 157). Для энергетических туннелей расчет более сложен, так как приходится учитывать, кроме указанных факторов, еще разный энергетический эффект вариантов; подробнее об этом указано в специальной литературе [5, 51, 69].

2. Силы, действующие на туннельные обделки

Статический расчет туннельных обделок является довольно сложным и недостаточно определенным вследствие неопределенности величины действующих сил и реакций.

Действующими на обделку силами являются:

а) горное давление, определяемое в предварительных расчетах по § 172, а в технических проектах — на основе опытных определений его в натуре;

б) давление подземных вод на обделку, определяемое в зависимости от положения уровня их;

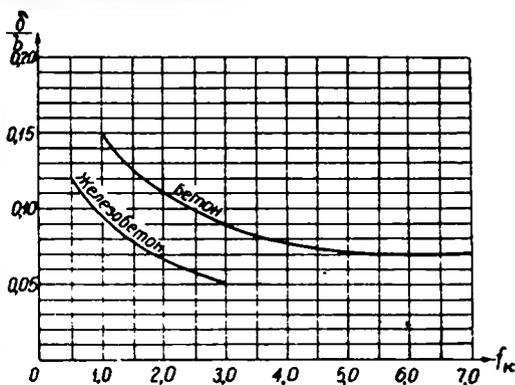
в) собственный вес обделки, определяемый по толщине ее δ , которая может быть предварительно назначена на основе опыта по аналогии с толщинами обделок туннелей, построенных в соответствующих условиях, и по графику (фиг. 30—8) для

бетонных и железобетонных обделок в зависимости от крепости породы (f_k) и от ширины туннеля b ;

г) давление воды внутри туннеля;

д) давление раствора, нагнетаемого в пазухи за обделку (учитывается в комбинации сил для периода постройки туннеля, когда отсутствует гидростатическое давление внутри туннеля);

е) упругий отпор породы, являющийся важным фактором в работе туннельных обделок, так как при наличии его обделка разгружается и работа ее облегчается, если деформация обделки направлена в сторону породы. Реакция породы при учете упругого отпора принимается ли-

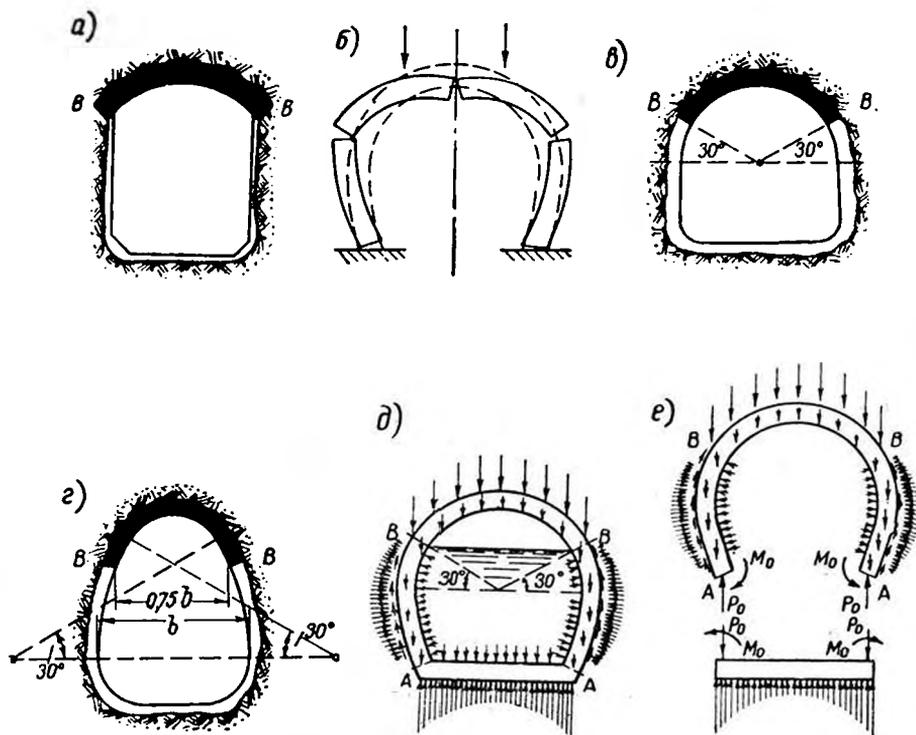


Фиг. 30—8. График для предварительного определения толщины обделки $\frac{\delta}{b}$ безнапорного туннеля

нейно пропорциональной деформации обделки ($p=ky$), причем коэффициент упругого отпора («коэффициент постели») k определяется опытным путем. Для предварительных стадий проектирования можно принимать k по аналогиям, подсчитывая его путем деления величины так называемого «коэффициента удельного упругого отпора» k_0 (для туннельной выработки радиусом 1 м) на $1/2$ ширины туннеля. Величину k_0 в плотных глинах, мергелях можно принимать равной 10—50 кг/см³м, в полускальных породах от 50 до 500 кг/см³м, скальных в зависимости от их прочности — от 500 до 4000 кг/см³м.

3. Расчетные схемы для разных типов обделок

При отсутствии бокового горного давления в скальных породах, характеризующихся $f_k > 4$, когда по боковым стенкам и дну устроена лишь выравнивающая облицовка, можно ограничиться только расчетом свода на вертикальное горное давление и давление подземных вод (фиг. 30—9,а).



Фиг. 30—9. Расчетные схемы обделок безнапорных туннелей

При тех же условиях и наличии сплошной обделки примерно постоянной толщины расчет свода может производиться по расчлененной схеме: из всей обделки выделяется «рабочий свод» (зачернен на фиг. 30—9,в и г), рассчитываемый на вертикальное горное давление; выделение рабочего свода основывается на наблюдавшейся схеме обрушения свода (фиг. 30—9,б), когда он в ключе прогибается вниз, а в пятах прогибается в сторону породы. Рабочий свод выделяется в полуциркульных обделках радиальными сечениями под углом 30° к горизонту (фиг. 30—9,в), а в подъемистых сечениях — под тем же углом, но с

условием, чтобы пролет этого свода в свету был бы не менее $0,75 b$, где b — ширина туннеля; для соблюдения последнего условия указанный угол может быть и меньше 30° .

Если обделка подвергается и действию бокового горного давления, то ее рассчитывают как замкнутое целое или допуская расчленение в расчете свода и стенок, считаемых отдельно; при расчете обделки как замкнутого целого допускается также выделение дна и замена его действия соответствующими силами и моментами (фиг. 30—9,е). Схема нагрузок в этом случае дополняется упругим отпором в пределах деформации стенок AB в сторону породы и силами трения между обделкой и породой на этих участках, пропорциональными упругому отпору; последний принимается в точках A и B равным нулю и максимальным в середине стены при параболической эпюре (фиг. 30—9,д). Упругий отпор не учитывается, если $f_k \leq 1,5$ и тогда замкнутый контур обделки можно рассчитывать на всестороннее давление, как раму.

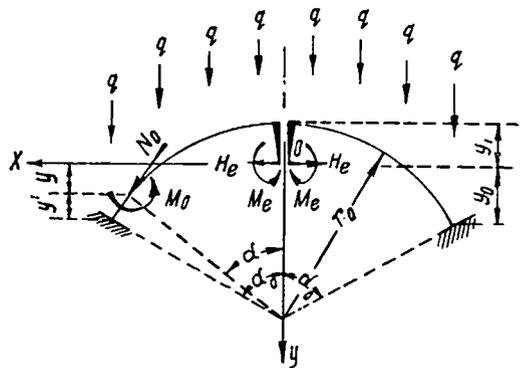
Методы расчета обделок особенно обстоятельно разработаны в СССР. Первоначальный способ расчета обделки с расчленением ее на свод и стенки усовершенствован проф. С. С. Давыдовым, предложившим считать свод упруго заделанным в абсолютно жесткие устои, находящиеся в упругом грунте, и разработавшим ряд других методов расчета обделок¹, и проф. Н. И. Безуховым, разработавшим при таких предпосылках ряд случаев расчета с рассмотрением пластических деформаций основания и боковых зон грунта.

Метод расчета обделки с расчленением ее на свод и стенки уступает все же в отношении приближения его к реальным условиям методу расчета подъемистого упругого свода, упруго заделанного в плиту на упругом основании или в породу (метод разработан инженерами Г. Г. Зурабовым и О. Е. Бугаевой).

4. Расчет обделки-свода, упруго заделанного в пятах

Данная система симметрично нагруженного кругового свода постоянной толщины дважды статически неопределима (§ 53, часть I) и отличается от рассмотренного в части I курса расчета арочного кольца характером нагрузки: в данном своде нагрузка — горное давление q — вертикальна, равномерно распределена и приложена по оси свода, в арке же плотины она радиальна; кроме того, здесь учитывается упругая податливость пят, характеризуемая коэффициентом податливости k .

Применяя обозначения аналогично части I (§ 53): центральный угол свода $2\alpha_0$ (фиг. 30—10), радиус осевой линии r_0 , положение упругого центра O определим ординатой:



Фиг. 30—10. Схема к расчету туннельного свода

¹ С. С. Давыдов, Расчет и проектирование подземных конструкций, Госстройиздат, 1950.

$$y_1 = \frac{\int_0^{\frac{s}{2}} \frac{y' ds}{EI}}{\int_0^{\frac{s}{2}} \frac{ds}{EI}} = r_0 \left(\frac{\sin \alpha_0}{\alpha_0} - \cos \alpha_0 \right). \quad (30-12)$$

Обозначим изгибающие моменты статически определимой системы в сечении под углом α к вертикальной оси свода через M_0 , статически неопределимый момент в упругом центре M_e , нормальные силы соответственно N_0 и распор H_e ; поперечными силами пренебрегаем.

В результате анализа, аналогичного приведенному в § 53 и здесь не приводимого, получаем выражения для изгибающего момента M и нормальной силы N в некотором сечении с ординатой y :

$$M = M_0 + M_e + H_e y, \quad (30-13)$$

$$N = N_0 + H_e \cos \alpha. \quad (30-14)$$

Правило знаков принято такое, что моменты считаются положительными, если они вызывают растяжение нижнего волокна свода, а нормальные силы, — если они вызывают сжатие.

Значения M_e и H_e приводятся ниже для случая, когда $\alpha_0 = 60^\circ$, как это обычно принимается в расчетах, толщина кругового свода $e = \text{const}$, модуль упругости свода E

$$M_e = \frac{qr_0^2 [m(0,2310 + 0,3867n + 0,0440m + 0,1136mn) + 0,2165n]}{m(1,6302 + 1,0019n + 0,3001m + 0,7750m) + 0,25n}; \quad (30-15)$$

$$H_e = \frac{qr_0 [m(1,1632 + 0,3927n + 0,2354m) + 0,375n]}{m(1,6302 + 1,0019n + 0,3001m + 0,7750mn) + 0,25n}, \quad (30-16)$$

где

$$m = \frac{kr_0}{E} \quad \text{и} \quad n = \frac{e^2}{r_0^2}.$$

Расчетные момент M и нормальную силу N для отдельных сечений можно получить по формулам (30-13) и (30-14), подставив соответствующие значения M_0 , N_0 , y и α .

Так, для ключевого сечения

$$M_k = M_e - 0,173 r_0 H_e, \quad (30-17)$$

$$N_k = H_e; \quad (30-18)$$

для пяты

$$M_n = M_e + 0,327 r_0 H_e - 0,375 p r_0^2, \quad (30-19)$$

$$N_n = 0,5 H_e + 0,75 p r_0. \quad (30-20)$$

Зная M и N , можно по формуле неравномерного сжатия определить напряжения в обделке.

Более общий случай свода решается сложнее, аналогично изложенному ниже, в п. 5.

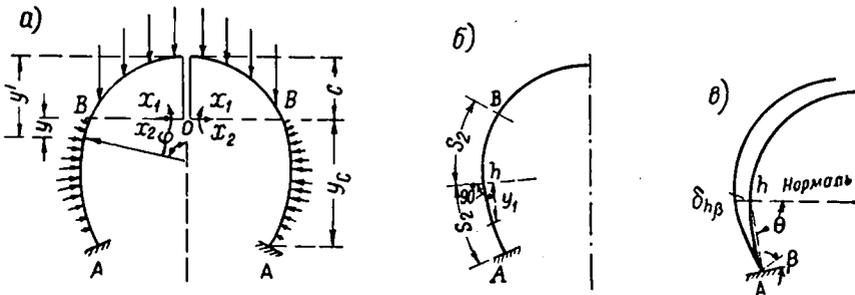
5. Расчет обделки замкнутого профиля (по Зурабову и Бугаевой)

Данный расчет ведется аналогично предыдущему, но в общем виде.

Схема действия сил следующая (в обозначениях ТУ 11-51 [69], для удобства пользования приведенными там таблицами). Внешние силы:

вертикальное и боковое, принимаемое горизонтальным, горное давление; давление грунтовых вод; давление воды, наполняющей туннель; вес обделки; упругий отпор и силы трения по поверхности, на которую действует отпор. Упругий отпор, действующий нормально к поверхности, учитывается на частях обделки AB (фиг. 30—9, ∂ и e) от пят до сечения, в котором начинается рабочий свод, причем в точках A и B он равен нулю, а в середине отрезков AB равен $p = k\delta_h$, где δ_h — перемещение точки в середине отрезка AB в радиальном направлении (значение δ_h дается ниже). Силы трения принимаются пропорциональными упругому отпору, т. е. $p_1 = fp$, где f — коэффициент трения между породой и обделкой.

На фиг. 30—11, a показана схема действия сил: в упругом центре O приложены статически неопределимые величины X_1 — момент и X_2 —



Фиг. 30—11. Схема к расчету подъемистого свода

распор; связь обделки с подошвенной плитой, называемой иногда лотком, заменена реакцией опоры P_0 (фиг. 30—9, e), как суммой вертикальных проекций всех внешних сил (вместе с упругим отпором и трением), действующих на полусвод, и моментом M_0 тех же сил.

Для любого сечения обделки, радиус которого наклонен к вертикали под углом φ , действующие изгибающие момент и нормальная сила (пренебрегаем поперечной силой) равны

$$M = M_p + X_1 + X_2 y; \tag{30—21}$$

$$N = N_p + X_2 \cos \varphi, \tag{30—22}$$

где M_p и N_p — момент и нормальная сила в данном сечении от всех сил статически определимой системы; правило знаков такое же, как и в предыдущем случае расчета свода.

Наибольшие трудности заключаются в определении X_1 и X_2 . Рассмотрение условий деформаций всей системы и равенства нулю взаимных перемещений симметричного свода и угла поворота ключевых сечений полусводов приводит к двум каноническим уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} X_1 \delta_{11} + X_2 \delta_{12} + \Delta_{1p} + \Delta_1 \beta &= 0; \\ X_1 \delta_{21} + X_2 \delta_{22} + \Delta_{2p} + \Delta_2 \beta &= 0. \end{aligned} \right\} \tag{30—23}$$

Решая их с использованием теории кривого бруса, получаем следующие выражения:

$$X_1 = \frac{(\Delta_{2p} + y_c \beta_p) y_c \beta_1 - (\Delta_{1p} + \beta_p) (\delta_{22} + y_c^2 \beta_1)}{(\delta_{22} + y_c^2 \beta_1) (\delta_{11} + \beta_1) - y_c^2 \beta_1^2}; \tag{30—24}$$

$$X_2 = \frac{(\Delta_{1p} + \beta_p) y_c \beta_1 - (\Delta_{2p} + y_c \beta_p) (\delta_{11} + \beta_1)}{(\delta_{22} + y_c^2 \beta_1) (\delta_{11} + \beta_1) - y_c^2 \beta_1^2}, \tag{30—25}$$

где

$$\delta_{11} = \int_0^{s_1} \frac{ds}{EI}; \quad \delta_{22} = \int_0^{s_1} \frac{y^2 ds}{EI}; \quad \Delta_{1p} = \int_0^{s_1} \frac{M_p ds}{EI} \text{ и } \Delta_{2p} = \int_0^{s_1} \frac{M_p y ds}{EI}; \quad (30-26)$$

y_c — ордината центра тяжести сечения A , считаемая от упругого центра;

s_1 — длина полусвода по осевой линии;

β_1 — угол поворота пятового сечения A при действии момента $X_1 = 1$, он выражается так:

$$\beta_1 = \frac{2\alpha^3}{kb} G_4; \quad (30-27)$$

β_p — угол поворота этого же сечения A под действием всех внешних сил, включая упругий отпор и силы трения, равный

$$\beta_p = \frac{2\alpha^2}{kb} P_0 G_5 + M_0 \beta_1. \quad (30-28)$$

В выражениях (30—27) и (30—28) α обозначает коэффициент деформации, равный

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{kb}{4E_n I_n}}, \quad (30-29)$$

где E_n и I_n — модуль упругости и момент инерции подошвенной плиты — лотка обделки;

b — расчетная ширина обделки, принимаемая равной 1 м;

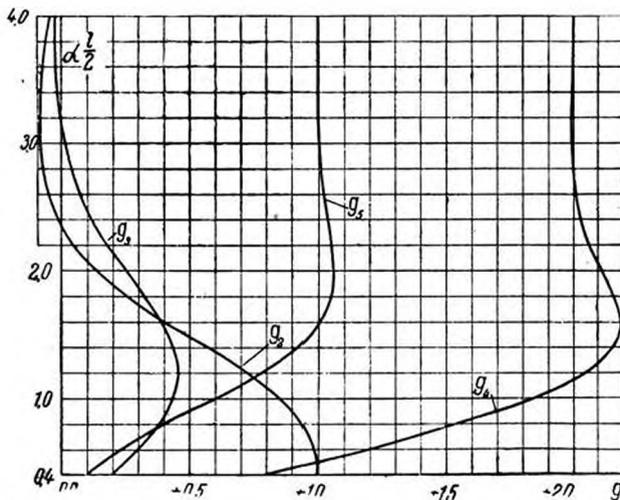
G_4 и G_5 — коэффициенты, величина которых зависит от произведения $0,5\alpha l$ [l — пролет лотка (подошвы)]; G_4 и G_5 даются в таблицах [69] и на графике фиг. 30—12.

Для вычисления упругого отпора в середине стенки AB по выражению $p = k\delta_n$ необходимо исчислить δ_n по уравнению:

$$\delta_n = X_1 \delta_{n1} + X_2 \delta_{n2} + \delta_{np} + \delta_{n\beta}, \quad (30-30)$$

где

$$\delta_{n1} = \int_0^{s_2} \frac{y_1 ds}{EI}; \quad \delta_{n2} = \int_0^{s_2} \frac{y_1 y ds}{EI}; \quad \delta_{np} = \int_0^{s_2} \frac{M_p y_1 ds}{EI}, \quad (30-31)$$



Фиг. 30—12. График для определения G_2, G_3, G_4, G_5 к расчетам подъемистого свода

В выражениях (30—31) y_1 — длина перпендикуляра, опускаемого на нормаль к обделке AB в середине ее из центров тяжести сечений ниже этой нормали (фиг. 30—11,б) и s_2 — половина длины осевой линии AB .

Величина δ_{h_p} есть радиальное перемещение сечения h в середине AB (фиг. 30—11,в) при повороте пяты на угол β , равный

$$\beta = \beta_p + X_1 \beta_1 + X_2 y_c \beta_1. \quad (30—32)$$

Величина

$$\delta_{h_p} = \beta \overline{Ah} \sin \theta, \quad (30—33)$$

где θ — угол между нормалью в точке h и прямой Ah (фиг. 30—11,в).

Порядок расчета по приведенному методу заключается в следующем.

1) Каждый полусвод делят по осевой линии на клинья равной длины и вычисляют все элементы клиньев: угол φ_1 , $\sin \varphi$ и $\cos \varphi$, абсциссы x и ординаты y' (считая от ключа свода), моменты инерции I и величины $\frac{y^1}{I}$.

2) По формуле для ординаты упругого центра

$$c = \frac{\int_0^{s_1} \frac{y' ds}{EI}}{\int_0^{s_1} \frac{ds}{EI}} \quad (30—12')$$

подсчитывается величина c^* .

3) Вычисляются интегралы, не зависящие от внешних нагрузок: δ_{22} — по формуле (30—26), δ_{h_1} и δ_{h_2} — по формуле (30—31), причем y считается от упругого центра, т. е. $y = y' - c$.

4) Вычисляются моменты внешних сил относительно центров тяжести клиньев для каждого сечения M_p , а затем интегралы Δ_{1p} , Δ_{2p} и δ_{h_p} — по формулам (30—26) и (30—31), причем упругий отпор и силы трения принимаются в функции от δ_h (так как $p = k \delta_h$).

5) Определяются β_1 и β_p по формулам (30—27) и (30—28) и X_1 и X_2 — по формулам (30—24) и (30—25) в функции от δ_h .

6) Подставляя X_1 , X_2 , δ_{h_1} , δ_{h_2} , δ_{h_p} , δ_{h_3} в формулу (30—30), исключают δ_h и определяют величины X_1 и X_2 .

7) Зная X_1 , X_2 , M_p , N_p , подсчитывают по формулам (30—21) и (30—22) величины M и N в характерных сечениях, в частности в ключе и пятах, и затем по формуле неравномерного сжатия вычисляют напряжения.

Подошвенная плита рассчитывается, как балка на упругом основании с концевыми силами P_0 и моментами M_0 (фиг. 30—9,е). Для этого пользуются формулой изгибающего момента в середине подошвы:

$$M_{1/2} = - \frac{P_0}{\alpha} G_3 - M'_0 G_2, \quad (30—34)$$

* При этом интегрирование заменяется суммированием. То же придется делать и при вычислении других интегралов (см. ниже). Для некоторых очертаний свода и законов изменения его толщин интегралы можно взять непосредственно, не прибегая к методу суммирования.

где M_0^1 — момент всех сил в пяте свода, в том числе и X_1 и X_2 ; G_2 и G_3 — коэффициенты, определяемые в зависимости от $\alpha \frac{l}{2}$ по таблицам [69] или по графику на (фиг. 30—12).

6. Общие замечания о статических расчетах

Несмотря на значительное усовершенствование статических расчетов обделок, они содержат еще много допущений и неопределенностей. Особенно неясен вопрос горного давления и упругого отпора, изменяющихся во времени. Не учитываются, далее, неоднородность породы и возможность вывалов породы, которые могут создавать значительные местные нагрузки на обделку.

Тем не менее расчеты себя оправдывают, даже если они упрощены. Это объясняется приспособляемостью сравнительно гибких обделок к нагрузкам, благодаря чему происходит перераспределение усилий и выравнивание работы конструкции.

ТУ 11-51 допускают возведение обделок безнапорных туннелей шириной до 6 м в породах с $f_k > 10$ без расчетов.

§ 175. НАПОРНЫЕ ТУННЕЛИ

1. Общая характеристика напорных туннелей

Напорные туннели устраиваются в случаях: 1) когда колебания уровня водоема, из которого туннель берет начало (водохранилище, озеро), значительны; 2) когда топографические и геологические условия не допускают экономичной трассировки безнапорного туннеля (трасса безнапорного туннеля жестко привязана в высотном отношении к местности, в то время как напорный туннель может проходить практически на любом заглублении), и 3) когда водохозяйственные условия требуют применения напорного водовода, например, при использовании водной энергии. В последнем случае напорные туннели особенно предпочтительны перед безнапорными, так как отлично приспособляются к сложному режиму установки (колебания напоров, расходов, неустановившийся режим и пр.).

2. Форма сечения напорных туннелей

Форма сечения напорных туннелей почти исключительно круговая, что объясняется и статическими, и гидравлическими соображениями. Напорные туннели подвержены значительному внутреннему гидростатическому давлению, почти равномерному во всех точках; наилучшей формой обделки в этом случае является круговое кольцо, работающее только на растяжение.

В гидравлическом отношении круговое сечение туннеля также является наиболее выгодным.

В производственном отношении круговая форма туннеля менее удобна (за исключением способа щитовой проходки), чем прямоугольная или близкая к ней, особенно при малых размерах туннеля, но с этим неудобством приходится мириться, учитывая другие значительные преимущества, указанные выше. В последнее время появились предложения овальной формы обделки и сечения туннеля (применена на туннеле Храмской ГЭС по инициативе инж. С. К. Шаншиева), несколько лучше работающей на суммарные нагрузки изнутри и извне туннеля.

3. Характер работы обделок напорных туннелей

Обделки напорных туннелей работают иначе, чем в безнапорных туннелях: при наличии внутреннего гидростатического давления, которое обычно превосходит внешнее давление, они подвержены растяжению, а при опорожнении туннеля и в период строительства его на них действует только внешнее давление, как на безнапорные, и кольцо обделки по преимуществу подвержено сжатию.

На работе обделок существенно сказываются характер и свойства окружающей породы, в частности ее крепость (f_k по Протождяконову) и упругие свойства — податливость (k). При значительных f_k и k внутреннее давление может быть целиком воспринято окружающей обделку породой, так что нужна лишь облицовка для выравнивания формы сечения и улучшения гидравлических свойств его (уменьшение шероховатости) или, кроме того, для обеспечения водонепроницаемости туннеля.

При податливости породы кольцо обделки, подверженное внутреннему гидростатическому давлению, испытывает деформации растяжения и часть давления передает породе, которая соответственно также деформируется. Если радиальная деформация породы превосходит 0,5—1 мм, приходится, особенно при высоких напорах, применять исключительно дорогие обделки (стальные), полностью воспринимающие гидростатическое давление, без участия в этом окружающей породы.

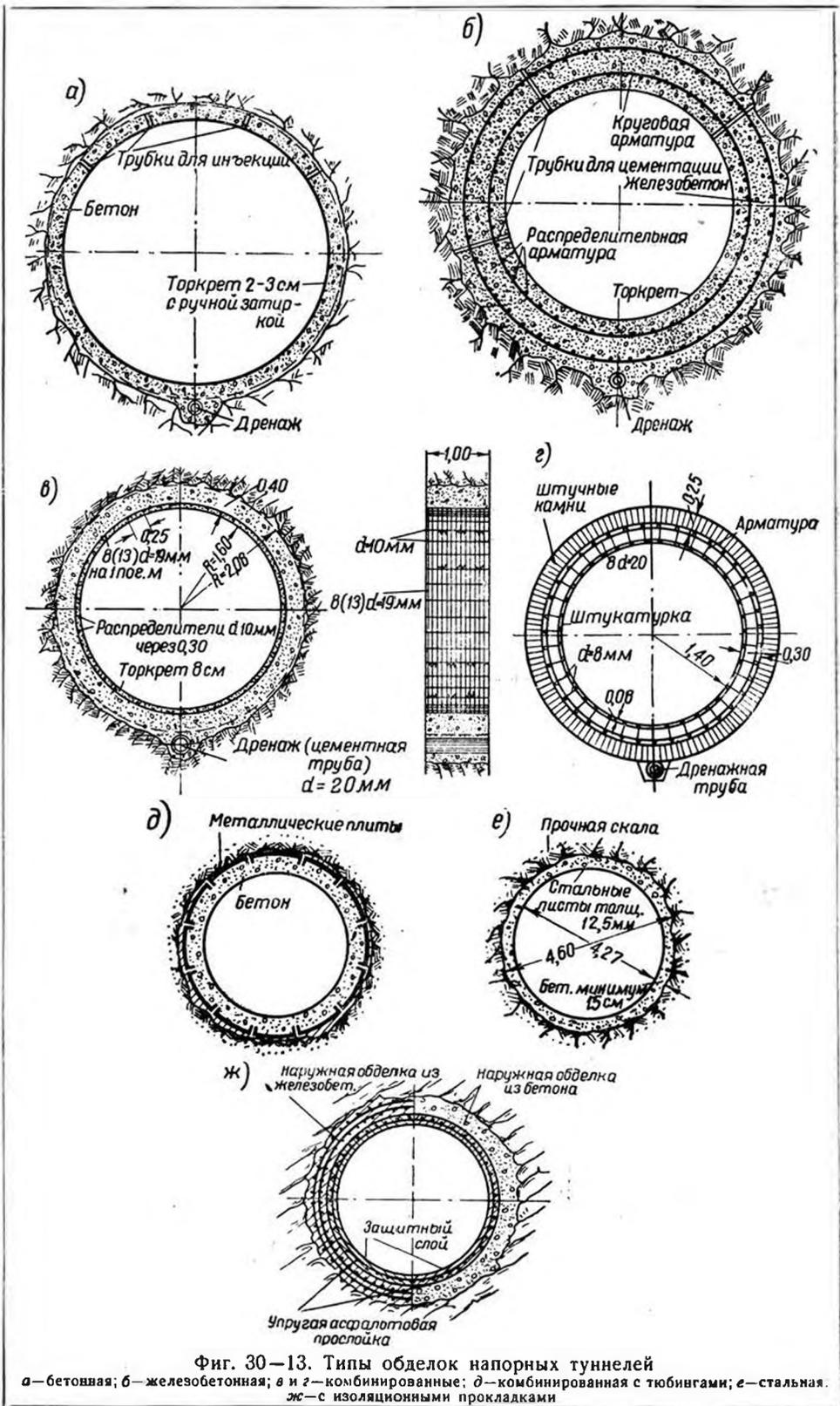
Большую роль в работе обделки играет величина напора: при малых напорах (до 5 м) напорный туннель, по существу, не отличается от безнапорного, внешнее давление играет превалирующую роль; при напорах до 30 м деформации кольца обделки от внутреннего давления еще невелики и допустимо применение бетонных облицовок при условии обеспечения плотного прилегания их к породе, для того чтобы последняя участвовала в работе. С ростом напора работа обделки ухудшается, требуется применение арматуры и, как выше было сказано, даже стальной облицовки.

Существенно важно для использования сопротивляемости (отпора) породы обеспечить передачу деформаций обделки породе. Это достигается обязательной в напорных туннелях цементацией (под давлением) контакта между обделкой и породой. Повышением давления при цементации можно достигнуть полезного обжатия обделки, улучшающего ее работу на внутреннее давление воды в туннеле. В некоторых случаях применяют и глубокую (до 10 м) цементацию самой породы для ее консолидации, повышения прочности и повышения доли участия ее в восприятии усилий от внутреннего гидростатического давления.

4. Конструкции обделок напорных туннелей

а) Выравнивающие и противofильтрационные обделки применяются в туннелях с напорами не более 40 м, прокладываемых в плотных, устойчивых и сухих породах с коэффициентом крепости $f_k > 14$; назначение обделок — уменьшение шероховатости и борьба с фильтрацией, иногда также защита от выветривания. Конструктивно эти обделки аналогичны таким же обделкам в безнапорных туннелях. Целесообразность устройства облицовки из гидравлических соображений надо поверять в сомнительных случаях экономическим расчетом, сопоставляя с вариантом необлицованного туннеля, когда коэффициент шероховатости n раза в 3 больше, чем у облицованного. Имеются случаи необлицованных туннелей в гранитах и гнейсах даже при сравнительно высоких напорах (70 м и более).

б) Бетонные обделки (фиг. 30—13,а) целесообразно приме-



Фиг. 30—13. Типы обделок напорных туннелей

а—бетонная; б—железобетонная; в и г—комбинированные; д—комбинированная с тубингами; е—стальная; ж—с изоляционными прокладками

нять в крепких породах при напорах до 60 м, чаще до 30—40 м и диаметрах туннеля до 2,5—3 м. Толщина обделки колеблется от 25 до 60 см. Очень важна цементация контакта между обделкой и породой и цементация самой породы для ограничения опасных деформаций в бетоне от внутреннего давления воды. Для повышения водонепроницаемости целесообразна торкретная штукатурка (2—4 см) внутренней поверхности обделки.

Так как эта штукатурка несколько повышает коэффициент шероховатости обделки, то для снижения его применяют затирку поверхности торкрета.

в) Железобетонные обделки. При напорах больше 30—60 м и до 100 м в породах с большим горным давлением ($f_k < 1$) и малым коэффициентом податливости, в породах разрушенных (с вывалами), с сильным притоком грунтовых вод бетонные обделки непригодны, а необходимы железобетонные (фиг. 30—13).

Эти облицовки делаются часто с двукратной опалубкой: вначале для выравнивающего слоя бетона, а затем уже собственно для железобетонной обделки.

Железобетонные обделки сами по себе не очень экономичны, так как сталь в них используется неполно, если не допускать в бетоне трещин.

г) Двуслойные или комбинированные обделки. Указанный выше недостаток железобетонных обделок в значительной степени избегается в комбинированных обделках, применяемых в тех же примерно или в еще более тяжелых условиях — при высоких напорах.

Двуслойные обделки состоят из двух колец: внутреннего, чаще всего железоторкретного или железобетонного, и внешнего — бетонного. Бетонное кольцо возводится в первую очередь, причем в период постройки туннеля оно воспринимает на себя горное давление, внутреннее же кольцо возводится во вторую очередь. При этом особенно целесообразно применение для внутреннего кольца железоторкрета, не требующего постановки опалубки и отличающегося высокой прочностью, высоким сцеплением торкрета с арматурой и большой водонепроницаемостью, почему этот тип обделки и получил в нашем строительстве широкое распространение.

На внутреннее гидростатическое давление работают совместно оба кольца с учетом упругого отпора породы. Толщина железоторкретного кольца обычно 8—10 см (фиг. 30—13,а), бетонного 30—70 см.

Кроме описанных типов двуслойных обделок, можно отметить разновидности их, в которых: 1) внешнее кольцо выполняется с борными из штучных камней (фиг. 30—13,б) или бетонных блоков, или 2) внешнее кольцо выполняется из металлических тубингов (при щитовом методе проходки туннеля), выдерживающих внешнюю нагрузку в период строительства, а внутреннее кольцо — бетонное (при небольших напорах) (фиг. 30—13,в), делается железобетонным или железоторкретным. Последний тип очень дорог и применяется в весьма тяжелых и неблагоприятных условиях.

д) Стальные обделки, по существу, являются тоже двуслойными, так как нельзя передать давление от стальной обделки непосредственно на породу при неровной поверхности туннельной выломки, для этого необходимо внешнее бетонное кольцо (фиг. 30—13,г). Металлическое кольцо выполняется из плоской, а иногда из гибкой волнистой стали (4—5 мм) во избежание появления чрезмерных напряжений в нем. Вообще стальные обделки дороги и применяются в исключительных случаях при наличии весьма высоких напоров и очень водонепроницаемых и слабых или разрушенных пород.

е) Прочие виды обделок. Из прочих типов обделок, менее распространенных или еще недостаточно освоенных на практике, надо отметить бетонные или железобетонные обделки с изоляционными прокладками (фиг. 30—13,ж) в виде, например, слоев асфальтового картона на клеемассе. Изоляционные прокладки прекрасно защищают железобетонную или бетонную обделку от фильтрации, перенося без ущерба для себя значительные деформации; второй слой бетона необходим во избежание отрыва изоляции или разрушения ее водой.

Следует отметить еще попытки устройства железобетонной обделки с предварительно обжатом бетоном; это сулит возможность воспринимать бетонными обделками значительно большие напоры, чем до сих пор.

5. Изоляция и дренаж обделок

Как и в безнапорных туннелях, в напорных также устраивается дренаж подземных вод, окружающих туннельную выработку. Изоляция обделки от этих вод необходима и производится методами, аналогичными описанным в § 173.

6. Порталы

Порталы напорных туннелей устраиваются аналогично описанным в § 173. Выходной портал значительно упрощается, если туннель переходит дальше в напорный трубопровод, как это часто бывает.

§ 176. РАСЧЕТЫ НАПОРНЫХ ТУННЕЛЕЙ

1. Расчет сечения туннеля

Гидравлический расчет сечения производится по обычным формулам гидравлики. Выбор средней скорости течения и величины площади сечения туннеля производят на основе технико-экономического расчета (см. выше).

2. Методы статического расчета обделок напорных туннелей

Обделки напорных туннелей представляют собой упругие кольца, находящиеся, как правило, в упругой среде и подверженные как внутреннему гидростатическому давлению, так и действию других внешних сил: горного давления, собственного веса, давления подземных вод в окружающей породе и упругого отпора породы, иногда — давления, создаваемого при цементации.

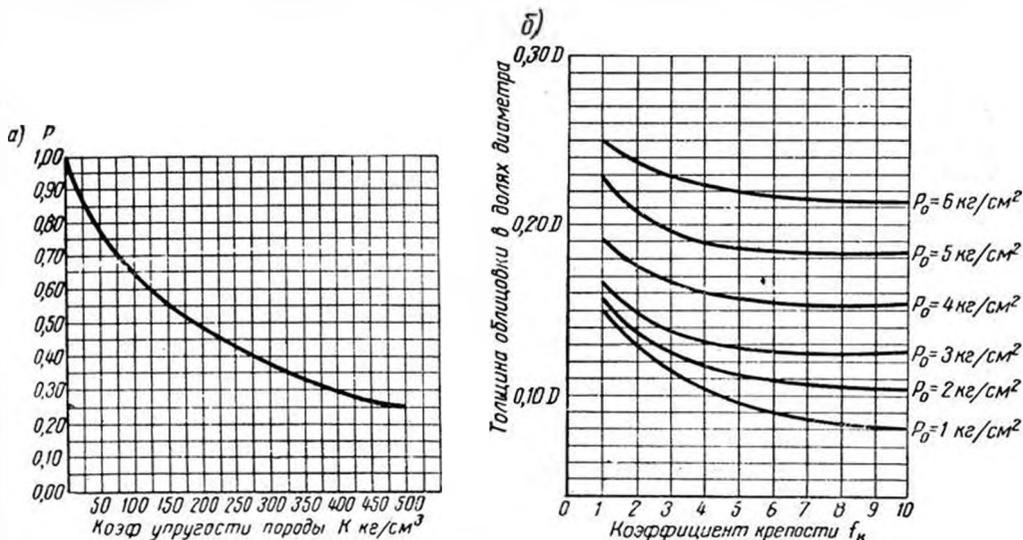
Задача расчета кольца на равномерное давление вообще точно решена, но неопределенность реакций породы заставляет делать различные предположения об их характере. Наиболее совершенными надо считать методы, предложенные советскими учеными В. Л. Федоровым¹, акад. Б. Г. Галеркиным², инженерами Г. Г. Зурабовым и О. Е. Бугаевой, которые учитывают весь комплекс силовых воздействий на туннельную обделку и дают решения, базирующиеся на теории упругости; В. Л. Федоровым даны также решения для обделок двуслойных.

¹ В. Л. Федоров, Расчет круглых облицовок гидротехнических туннелей на внутреннее давление, «Известия НИИГ», т. 25, 1939.

² Б. Г. Галеркин, Напряженное состояние цилиндрической трубы в упругой среде, сборник ЛИИПС, вып. 100, 1929.

3. Предварительное определение толщины обделки

Приблизительно можно определять толщину обделки, пользуясь графиками фиг. 30—14. При помощи первого графика (фиг. 30—14,а) по величине коэффициента упругого отпора k определяется доля внутреннего гидростатического давления, которая воспринимается обделкой; по второму же графику (фиг. 30—14,б) по определенной таким путем



Фиг. 30—14. Графики для предварительного определения толщины обделки напорного туннеля

величине давления в зависимости от коэффициента крепости породы находят толщину обделки в долях диаметра туннеля.

4. Расчет однослойных обделок

а) Расчет на внутреннее гидростатическое давление производится методом Б. Г. Галеркина, примененным для обделок кругового сечения. Исходя из теории круговой цилиндрической трубы, находящейся под равномерным внутренним давлением p в упругой среде с коэффициентом упругого отпора k , автор приходит к простой формуле нормальных напряжений σ в точке с радиусом r , величина которого лежит в пределах $r_b \leq r \leq r_n$, где r_b и r_n — радиусы обделки внутренней и наружной:

$$\sigma = p \frac{1 - N - \frac{r_n^2}{r^2} [1 + N(1 - 2\mu)]}{t^2 - 1 + N[t^2(1 - 2\mu) + 1]} \quad (30-35)$$

В этой формуле

$$t = \frac{r_n}{r_b}$$

и

$$N = \frac{kr_n(1 + \mu)}{E},$$

где μ — коэффициент Пуассона для материала обделки;
 E — модуль упругости для материала обделки.

В слабых породах следует полагать $k=0$ и $N=0$.

б) Расчет на горное давление по методу О. Е. Бугаевой ведется с учетом упругого отпора породы, характеризуемого коэффициентом k и действующего на части обделки с центральным углом 270° (фиг. 30—15) по следующему закону: если величина упругого отпора по горизонтальному диаметру кольца равна $k\delta_a$, а по вертикальному $k\delta_b$, то отпор в пределах $45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ равен $k\delta = -k\delta_a \cos 2\varphi$, а в пределах $90^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ равен $k\delta = k\delta_a \sin^2 \varphi + k\delta_b \cos^2 \varphi$, где φ — угол наклона радиального сечения к вертикали.

Нормальные напряжения в обделке определяются по обычным формулам изгибающего момента M и нормальной силы N в сечениях:

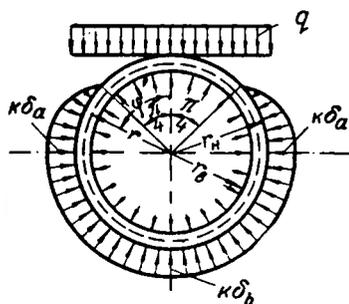
$$M = qr_n r [Aa + B + Cn(1 + a)]; \quad (30-36)$$

$$N = qr_n [Da + E + Fn(1 + a)], \quad (30-37)$$

где q — равномерно распределенное вертикальное горное давление;

$$a = 2 - \frac{r_n}{r};$$

r — радиус осевой линии обделки;



Фиг. 30—15. Схема нагрузок к расчету обделки туннеля на горное давление

$$n = \frac{r^3 r_n kb}{0,06416 r^3 r_n kb + EI};$$

I — момент инерции сечения обделки;

b — ширина расчетной полосы ее (обычно 1 м).

Коэффициенты A, B, C, D, E и F определяются по табл. 30—1.

Таблица 30—1

| Сечения | φ | A | B | C | D | E | F |
|---------|------------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| 1 | 0 | 0,1628 | 0,0872 | -0,00700 | 0,2122 | -0,2122 | 0,02100 |
| 2 | $\frac{\pi}{4}$ | -0,0250 | 0,0250 | -0,00084 | 0,1500 | 0,3500 | 0,01485 |
| 3 | $\frac{\pi}{2}$ | -0,1250 | -0,1250 | 0,00825 | 0,0000 | 1,0000 | 0,00575 |
| 4 | $\frac{3\pi}{4}$ | 0,0250 | -0,0250 | 0,00022 | -0,1500 | 0,9000 | 0,01380 |
| 5 | π | 0,0872 | 0,1620 | -0,00837 | -0,2122 | 0,7122 | 0,02240 |

в) Расчет обделки постоянной толщины на собственный вес по Бугаевой. В этом случае

$$M = gr^2 (A_1 + B_1 n), \quad (30-38)$$

$$N = gr (C_1 + D_1 n), \quad (30-39)$$

где значение g — вес 1 м² обделки;

A_1, B_1, C_1 и D_1 — даются в табл. 30—2.

Таблица 30—2

| Сечения | φ | A_1 | B_1 | C_1 | D_1 |
|---------|------------------|---------|----------|---------|---------|
| 1 | 0 | 0,3447 | -0,02198 | -0,1667 | 0,06592 |
| 2 | $\frac{\pi}{4}$ | 0,0334 | -0,00267 | 0,3375 | 0,04661 |
| 3 | $\frac{\pi}{2}$ | -0,3928 | 0,02589 | 1,5708 | 0,01804 |
| 4 | $\frac{3\pi}{4}$ | -0,0335 | 0,00067 | 1,9186 | 0,04220 |
| 5 | π | 0,4405 | -0,02620 | 1,7375 | 0,07010 |

г) Расчет обделки на давление воды, заполняющей туннель без напора (по О. Е. Бугаевой):

$$M = (A_2 + B_2 n) \gamma r_B^2 r, \quad (30-40)$$

$$N = (C_2 + D_2 n) \gamma r_B^2. \quad (30-41)$$

Коэффициенты A_2, B_2, C_2, D_2 даются в табл. 30—3.

Таблица 30—3

| Сечения | φ | A_2 | B_2 | C_2 | D_2 |
|---------|------------------|----------|----------|----------|---------|
| 1 | 0 | 0,17240 | -0,01097 | -0,58385 | 0,03294 |
| 2 | $\frac{\pi}{4}$ | 0,01673 | -0,00132 | -0,42771 | 0,0329 |
| 3 | $\frac{\pi}{2}$ | -0,19638 | 0,01294 | -0,21460 | 0,00903 |
| 4 | $\frac{3\pi}{4}$ | -0,01679 | 0,00036 | -0,39413 | 0,02161 |
| 5 | π | 0,22027 | -0,01312 | -0,63125 | 0,03509 |

д) Расчет обделки на давление грунтовых вод, уровень которых находится на высоте h над замком свода, ведется по формулам:

$$M = - (A_2 + B_2 n) \gamma r_n^2 r, \quad (30-42)$$

$$N = - (C_2 + D_2 n) \gamma r_n^2 + \gamma h r_n. \quad (30-43)$$

е) При расчетах напряжения от различных нагрузок суммируются. В случае отсутствия упругого отпора в приведенных выше формулах $k = 0$ и $n = 0$.

ж) Расчет обделки на боковое горное давление ведется по формулам:

1) для сечения в замке свода и в подошве обделки

$$M = -0,1488 e r_n r \text{ и } N = 0,7854 e r_n; \quad (30-44)$$

2) для сечения по горизонтальному диаметру

$$M = 0,1366 e r_n r \text{ и } N = 0,5 e r_n, \quad (30-45)$$

где e — удельное боковое горное давление.

з) Особенности овальной обделки. В замке круговой обделки появляются растягивающие напряжения от горного давления, от собственного веса и от внутреннего гидростатического давления, что приводит к необходимости давать значительную толщину обделке, особенно с учетом условия недопущения появления в бетоне трещин. В целях разгрузки замкового сечения инж. С. К. Шаншиев предложил делать в круговом сечении туннеля прямую горизонтальную вставку, в которой момент от внутреннего гидростатического давления M' получается обратного знака по сравнению с моментом от горного давления M (фиг. 30—16). Ширина прямой вставки b подбирается так, чтобы примерно уравновесить эти моменты и тем уменьшить толщину обделки.

5. Расчет двуслойных (комбинированных) обделок

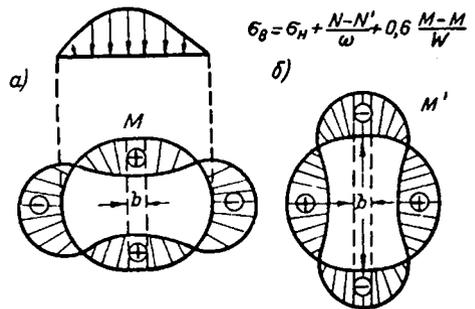
Расчет этих обделок распадается на две фазы: 1) расчет наружной бетонной обделки на внешнее давление и 2) расчет двуслойной обделки на внутреннее гидростатическое давление.

Расчет в первой фазе может производиться по формулам (30—36) до (30—39), приведенным выше, а во второй фазе — по методу В. Л. Федорова. В табл. 30—4 приводятся результативные данные для трех типов обделок: 1) из железоторкрета и бетона; 2) из железобетона с одиночной арматурой; 3) стальной с бетонным кольцом. В этой таблице даны выражения для нормальных напряжений в радиальных сечениях для точек с радиусом r в пределах $a \leq r \leq b$, где a — внутренний радиус обделки; b — наружный.

Во всех выражениях приняты обозначения:

- c — радиус поверхности, разделяющей внутреннее и внешнее кольца обделки;
- $\delta = c - a$ — толщина внутреннего кольца;
- δ_1 — толщина стальной облицовки;
- E_a, E_r, E_o — модули упругости арматуры (или стали), торкрета и бетона;
- F — площадь сечения арматуры на 1 пог. м;
- μ — коэффициент Пуассона для бетона;
- k — коэффициент упругого отпора породы.

Напряжения вычисляются для трех стадий работы обделок. На первой стадии — нормально работают оба слоя обделки, на второй — рассматривается случай, когда в результате повышенного гидростатического давления, например, при гидравлическом ударе, появляются трещины в бетоне или торкрете внутреннего слоя и нагрузки воспринимаются внешним бетонным слоем и арматурой внутреннего; на третьей стадии рассматривается случай, когда трещины появились в обоих слоях бетона, например, при гидравлическом ударе и снижении упругого отпора против расчетной величины, когда растяжение воспринимается только арматурой.



Фиг. 30—16. Эпюры моментов в овальной обделке (круговой с прямой вставкой)

a — от горного давления; b — от внутреннего давления воды на прямую вставку

Формулы нормальных напряжений σ в двуслойных оболочках при действии внутреннего гидростатического давления

| Тип оболочки | Чем воспринимается напряжение | Стадии работ | | |
|--|-------------------------------|--|--|--|
| | | I | II | III |
| | | растяжение воспринимается всеми слоями | бетон или торкрет первого слоя имеет трещины | растяжение воспринимается только арматурой |
|  <p>Внутреннее кольцо—железоторкретное, наружное—бетонное</p> | Арматура | $\rho \frac{a \left(a + \frac{\delta}{2} \right) (1 - \mu^2)}{N_1} E_a$ | $\rho \frac{a(1 - \mu^2)}{N_2} E_a$ | $\rho \frac{a}{E_a F + ckb} E_a$ |
| | Торкрет | $\rho \frac{ac(1 - \mu^2)}{N_1} E_T$ | 0 | 0 |
| | Бетон | $\rho \frac{ac \left(a + \frac{\delta}{2} \right)}{rN_1} E_b$ | $\rho \frac{ac}{rN_2} E_b$ | 0 |
|  <p>Внутреннее кольцо—железобетонное с одиночной арматурой, наружное—бетонное</p> | Арматура | $\rho \frac{a(1 - \mu^2)}{N_3} E_a$ | $\rho \frac{a(1 - \mu^2)}{N_4} E_a$ | $\rho \frac{a}{F_a F + ckb} E_a$ |
| | Внутренний слой бетона | $\rho \frac{ac}{rN_3} E_b$ | 0 | 0 |
| | Внешний слой бетона . | $\rho \frac{ac}{rN_3} E_b$ | $\rho \frac{ac}{rN_4} E_b$ | 0 |
|  <p>Внутреннее кольцо—стальное, наружное—бетонное</p> | Сталь | $\rho \frac{a(1 - \mu^2)}{N_5} E_a$ | $\rho \frac{a}{\delta_1 F_a + kb \left(a + \frac{\delta_1}{2} \right)} E_a$ | — |
| | Бетон | $\frac{a \left(a + \frac{\delta_1}{2} \right)}{rN_5} E_b$ | 0 | — |

Значения коэффициентов N_1, N_2, N_3, N_4, N_9 , входящих в формулы напряжений табл. 30—4, приводятся ниже:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= \left(a + \frac{\delta}{2} \left\{ E_a F (1 - \mu^2) + c \left[E_6 \ln \frac{b}{c} + \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + kb(1 - \mu^2) \right] \right\} + c\delta(1 - \mu^2) E_T; \right. \\ N_2 &= E_a F (1 - \mu^2) + c \left[E_6 \ln \frac{b}{c} + kb(1 - \mu^2) \right]; \\ N_3 &= (1 - \mu^2) (E_a F + cbk) + cE_6 \ln \frac{b}{a}; \\ N_4 &= (1 - \mu^2) (E_a F + cbk) + cE_6 \ln \frac{b}{c}; \\ N_9 &= \left(a + \frac{\delta_1}{2} \right) \left[E_6 \ln \frac{b}{a + \delta_1} + \right. \\ &\quad \left. + kb(1 - \mu^2) \right] + \delta_1 E_a (1 - \mu^2). \end{aligned} \right\} \quad (30-46)$$

6. Дополнительные замечания о статических расчетах

Надежность результатов приведенных выше расчетов будет тем большей, чем точнее определены величины горного давления, упругого отпора и прочие показатели породы, в которой проходит туннель. Поэтому указанные величины для технических проектов должны определяться экспериментально, на месте.

Для пород с коэффициентом крепости $f_k \leq 1,5$ упругого отпора не следует принимать в расчет ($k=0$), а для пород, характеризующихся $f_k > 10$, туннели диаметром до 6 м можно рассчитывать только на внутреннее давление воды, а горное давление можно не учитывать.

Следует еще отметить, что в туннельных обделках появляются дополнительные напряжения вследствие изменения температуры породы после пуска воды в туннель. Обычно вода имеет более низкую температуру, чем скальная порода, и вызывает охлаждение последней, деформации сжатия в ней, увеличение радиуса выработки и как бы отставание породы от обделки, что приводит к дополнительным напряжениям в обделке. При значительной разнице температур эти дополнительные растягивающие напряжения могут достигать 10—20% от основных. Хотя имеются способы расчета этих напряжений, но на практике эти расчеты проводятся редко, вследствие того, что при наличии большого внутреннего давления применяют двуслойные обделки, в которых бетон в конечном счете не воспринимает растягивающих напряжений, а они передаются арматуре. Кроме того, при породах слабых, нескальных, когда упругий отпор не учитывается, температура породы не имеет значения.

§ 177. СПОСОБЫ ПРОХОДКИ ТУННЕЛЕЙ¹

1. Способы разработки туннелей

Способы разработки туннелей зависят от характера породы, в которой ведутся работы, размеров сечения туннеля, длины его и наличия оборудования для работ. Различают: 1) горные способы проходки и 2) механические способы.

¹ Здесь дается лишь краткое описание особенностей производства работ, связанных непосредственно с конструированием. Подробное освещение этого важного раздела дается в курсах организации и производства строительных работ.

К горным способам относятся:

- а) разработка на полный профиль;
- б) разработка профиля по частям;
- в) разработка уступом;
- г) разработка с пионерной штольной;

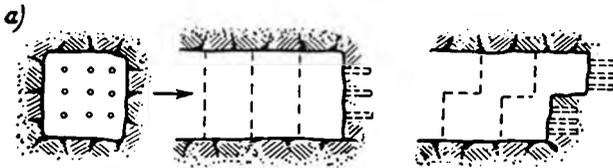
К механическим способам проходки относятся: 1) щитовой способ и 2) способ продавливания.

Из всех перечисленных способов при постройке гидротехнических туннелей применяются, чаще всего, первые два («а» и «б») из горных и щитовой способ из механических.

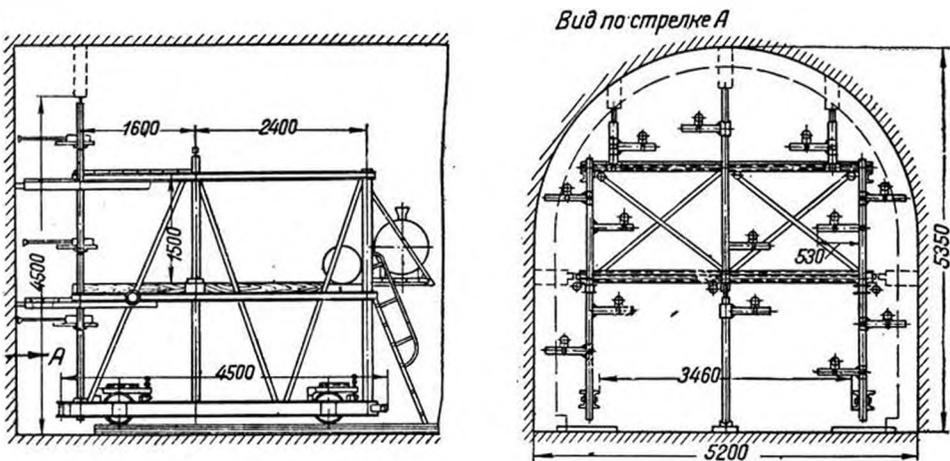
2. Разработка на полный профиль

Разработка этого вида применялась при проходке туннелей относительно небольших размеров, но в настоящее время распространяется и на случаи крупных сечений, так как она дает возможность большой скорости проходки и упрощения всего процесса работ.

При данном способе (фиг. 30—17,а) порода разбуривается скважинами по всему сечению, затем производится взрыв, отвал, откатка породы и крепление выломки на весь профиль.



б)

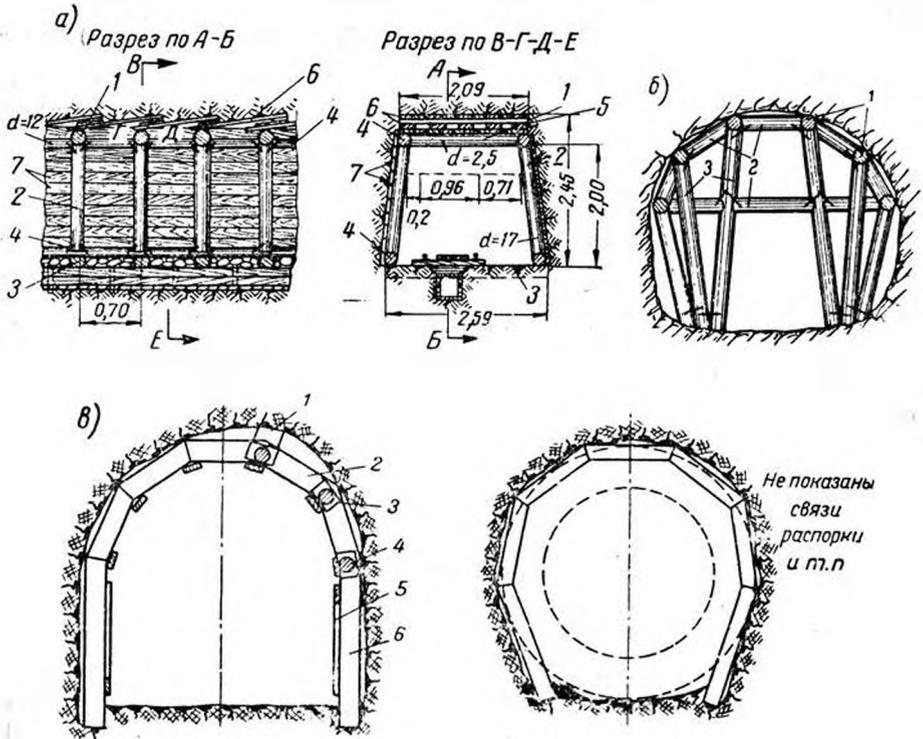


Фиг. 30—17. Разработка туннеля на полный профиль
а—схемы разработки; б—буровая рама для одновременного машинного бурения до 10 шпуров

При высоте туннеля более 2—2,5 м во избежание устройства подмостей для бурения разработка ведется с уступом; но можно вести разработку и на полный профиль, применяя специальную подвижную многоярусную платформу, позволяющую бурить на различной высоте одновременно. Такая платформа или буровая рама применяется уже на строительстве энергетических туннелей (фиг. 30—17,б) сечением 25—30 м²; она позволила полностью механизировать разработку забоя (одновременно 8—10 шпуров).

Крепление выработки, необходимое для пород с $f_k < 3-5$, делается в малых профилях (высотой до 2 м) по типу фиг. 30—18,а (дверной оклад); при большей высоте — по типу фиг. 30—18,б (веерообразное). Для больших сечений туннелей, выполняемых буровой рамой, применяют полигональное крепление (фиг. 30—18,в) из деревянных или стальных рам, обеспечивающее широкое пространство для механизированной и скоростной разработки туннельной выемки.

Деревянная полигональная крепь¹ состоит из косяков 2 и стоек 6 (фиг. 30—18,в), связанных по длине туннеля досками накрест 5 и распорками 4 с подкладками 3. Косяки заклиниваются в породу при помощи брусчатых кобылок 1.



Фиг. 30—18. Крепление выработки на полный профиль

а — дверной оклад; б — веерообразное крепление; в — полигональное (многоугольное)

3. Разработка профиля по частям

Этот метод облегчает взрыв породы, обнажая большее количество плоскостей ее, позволяет лучше изучить свойства породы в процессе работ; при этом методе упрощается устройство вентиляции и пр.

Вначале пробивается часть профиля, так называемый направляющий ход или направляющая штольня минимальных размеров (в целях ускорения проходки). примерно $1,8 \times 2 \div 2,5$ м, в зависимости от способа откатки породы. После того как направляющая штольня продвинется на 20—30 м, начинают ее расширять по частям на полный профиль.

Существует несколько видов разработки профиля по частям.

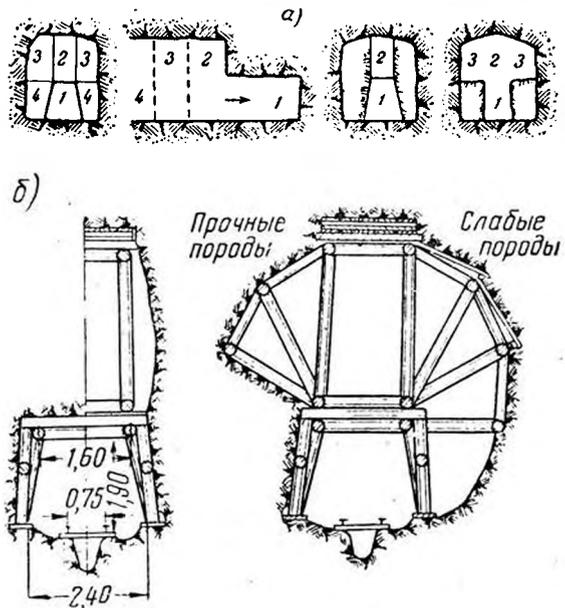
а) Способ нижнего направляющего хода («способ подсводного разреза»). При этом способе расширение производится в порядке, указанном на фиг. 30—19,а; способ постепенного крепления выработки показан на фиг. 30—19,б. После выработки направляющего хода 1 разрабатывают калотту 2, а затем расширяют калотту 3 и разрабатывают штросы 4. Способ этот применим в твердых породах. Преимущество его — удобства отвода воды и откатки породы по направляющему ходу.

б) Способ верхнего направляющего хода («способ опертого свода») заключается в разработке вначале из направляющего хода 1 калотты 2—2 (фиг. 30—20,а), закреплении ее (фиг. 30—20,б) сначала временным креплением, а затем сводом, потом разработке нижней части с подведением стен-опор под свод. Способ этот целесообразен в слабых породах, крепления при нем требуют мало материала, но недостатком его является необходимость многократного переукладывания рельсовых путей, труб и пр.

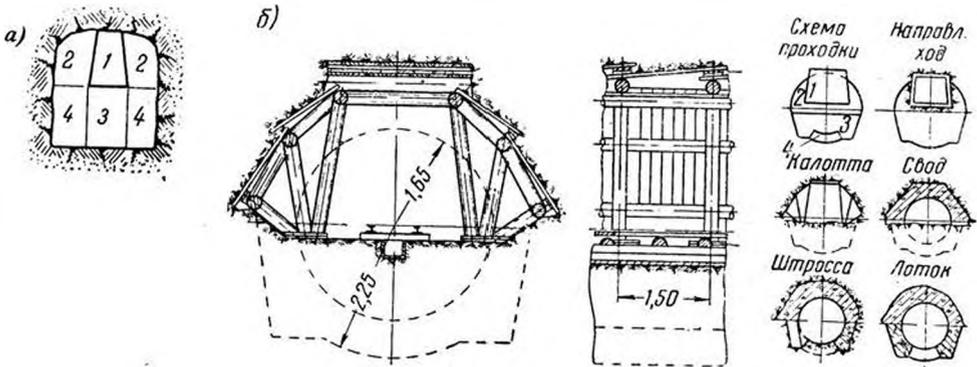
¹ Г. Г. Зурабов, Многоугольная деревянная туннельная крепь. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники, Л. 1952.

в) Способ центрального направляющего хода заключается в том, что после пробивки направляющей штольни 1 (фиг. 30—21) ведут сразу разработку на весь профиль 2 при помощи радиальных скважин. При больших сечениях и твердых породах это дает возможность быстро расширять выработку.

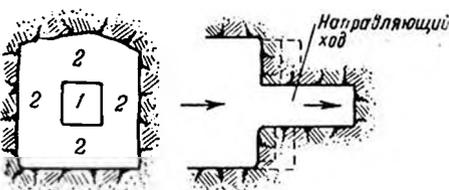
г) Способ двух направляющих ходов применяется в трещиноватых породах средней крепости при разработке профилей значительных размеров в целях ускорения работ путем создания многих забоев. Способ начинается с пробивки нижнего хода 1 (фиг. 30—22,а), затем верхнего 2, после чего из верхнего разрабатывается малая калотта 3—3, сечение постепенно расширяется (большая калотта 4, 5, затем б) и в завершение разрабатывают штроссы 7—7. Крепление выработки довольно сложное (фиг. 30—22,б), требует много лесного материала, многократного перекрепления. Вместе с тем этот метод позволяет легко применяться к характеру породы, усиливая, где нужно, крепление. Верхний ход разрабатывается из нижнего и затем сообщается с ним при помощи «фурнелей» — вертикальных колодцев сечением $1 \times 1,5$ м, через которые, а также через наклонные ходы (бремсберги) подается крепежный материал, удаляется порода и пр.



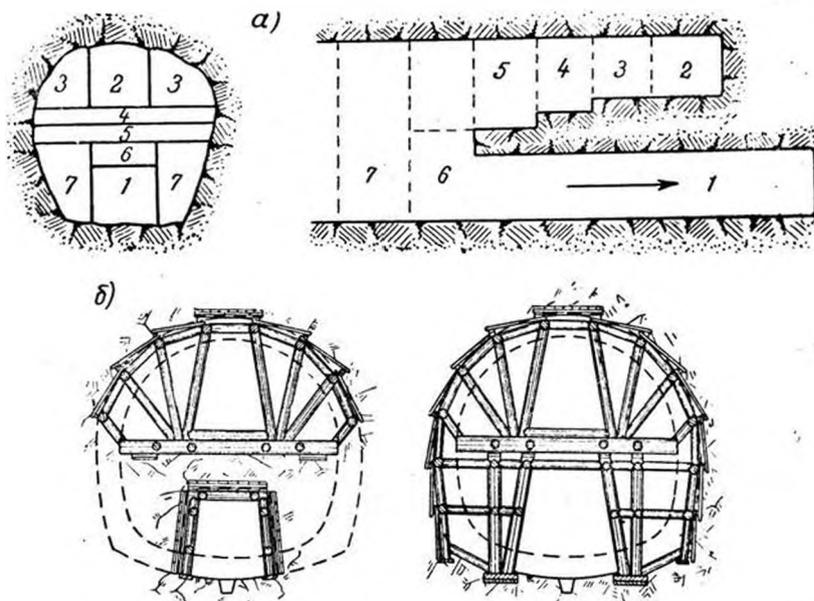
Фиг. 30—19. Способ нижнего направляющего хода



Фиг. 30—20. Способ верхнего направляющего хода



Фиг. 30—21. Способ центрального направляющего хода



Фиг. 30—22. Способ двух направляющих ходов

4. Прочие горные способы проходки

Менее распространены горные способы проходки, описываемые ниже.

а) Способ уступа заключается в том, что все сечение разрабатывается двумя уступами, причем забой отстоит друг от друга на расстоянии 30—40 м, это позволяет работать как бы по всему сечению выработки.

б) Способ пионерной штольни применяется иногда для больших профилей в целях ускорения выработки и увеличения числа забоев. Пионерная штольня закладывается параллельно основной выработке на расстоянии 15—25 м, из нее делаются соединения с основным ходом через 50—100 м, что позволяет открыть новые забой. По пионерной штольне, кроме того, организуют откатку породы из основного туннеля, подвоз материалов, размещение трубопроводов и пр.

5. Щитовой способ проходки

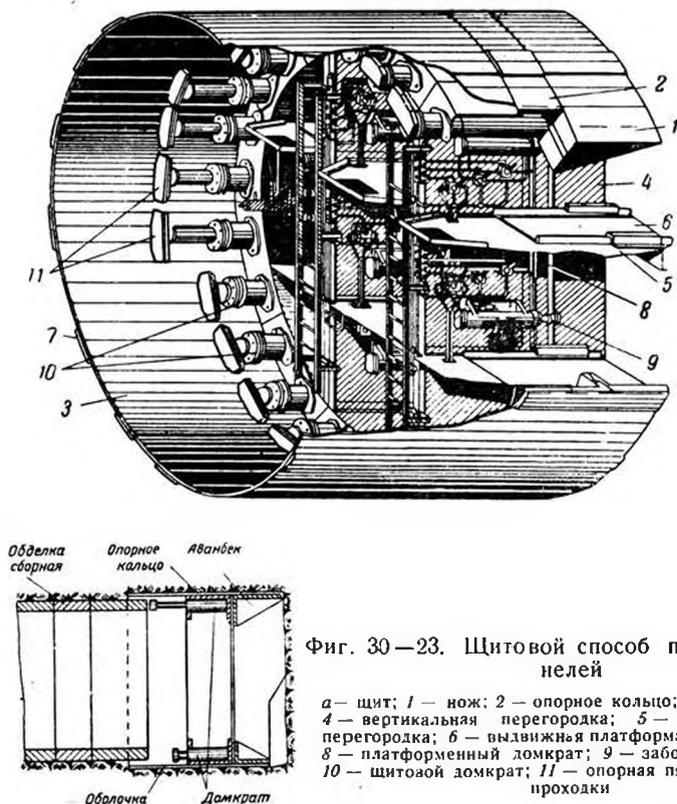
Этот новейший способ может применяться вообще во всяких породах, но особенно ценен он в слабых породах, крепление которых при иных способах проходки чрезвычайно сложно и затруднено. Щит представляет собой передвижную стальную конструкцию, обеспечивающую временное крепление породы в забое и полную механизацию работ. Забой породы идет в особом стальном кольце-цилиндре (фиг. 30—23) с диаметром несколько большим, чем диаметр обделки. Цилиндр-оболочка 3 снабжен на конце ножом 1 и опорным кольцом 2, на котором установлены домкраты 10. После разработки породы внутри металлического кольца весь щит передвигается вперед при помощи домкратов 10, упирающихся пятнами 11 в ранее выполненную туннельную обделку, которая бетонируется (или выполняется из тубингов, готовых блоков и т. п.), следом за кольцом.

Способ щитовой проходки наиболее совершенный, но дорогой. Однако при длительном применении или многократном использовании щитов этот способ может оказаться дешевле других, а в слабых породах он нередко единственно целесообразный.

В СССР щитовой способ широко применяется в практике метростроения; но в последнее время он получает распространение и в строительстве гидротехнических туннелей (таким способом проходил уже туннель Невинномысского канала и туннель Донского магистрального канала).

6. Способ продавливания

Этот способ заключается в том, что рабочая камера с ножевым звеном входит в породу, например, через шахту, при помощи гидравлических домкратов, а за ней



Фиг. 30—23. Щитовой способ проходки туннелей

а — щит; 1 — нож; 2 — опорное кольцо; 3 — оболочка; 4 — вертикальная перегородка; 5 — горизонтальная перегородка; 6 — выдвижная платформа; 7 — накладки; 8 — платформенный домкрат; 9 — забойный домкрат; 10 — щитовой домкрат; 11 — опорная пята; б — схема проходки

проталкивается железобетонная оболочка туннеля. Способ этот, предложенный инж. К. Романовичем, применялся пока для туннелей относительно малых диаметров, дал экономию в затратах и ускорил сроки выполнения работ.

7. Специальные методы проходки туннелей

Эти методы применяются в сложных условиях слабых грунтов-иллов, пльвунов, большого притока грунтовых вод и т. п. Сюда относятся различные методы с предварительным укреплением грунта при помощи цементации, силикатизации, замораживания и пр., по выполнению чего может применяться тот или иной подходящий способ разработки породы из числа описанных выше.

К специальным методам относится и проходка с применением сжатого воздуха (кессонный способ). Этот способ применяется в слабых породах, при наличии большого притока грунтовых вод (в пльвунах и прочих неустойчивых грунтах) и аналогичен кессонному способу проходки грунтов для устройства глубоких фундаментов.

8. Трасса туннелей

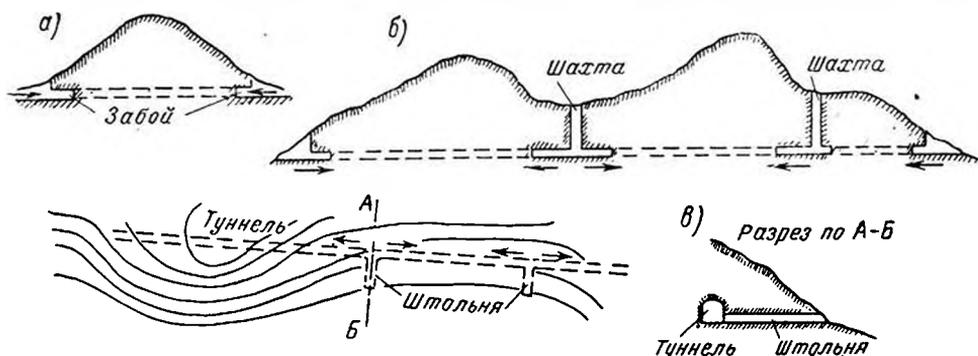
Выбор направления и высотного положения туннеля является важным моментом, определяющим стоимость туннеля и надежность его в эксплуатации, поэтому трасса туннеля должна быть обоснована тщательными изысканиями.

Высотное положение туннеля определяется условиями прохождения всего водного тракта, частью которого туннель является, или заданным положением водоема, из которого выводится туннель, и условиями сброса из него воды. При всем этом для напорных туннелей всегда имеется возможность варьирования напора, под которым туннель будет работать; оптимальное положение надо искать с учетом геологических, производственных и экономических условий, сравнивая разные варианты трассы.

При определении планового положения трассы исходят, конечно, из кратчайшего прямолинейного направления, но те же факторы — геологические и производственные — заставляют часто отходить от этого направления. Следует избегать и обходить места с породами, обладающими значительным горным давлением, места тектониче-

ских нарушений и сильной трещиноватости пород, с обильным притоком грунтовых вод, зон разрушенных пород, оползневых и пр. С производственной точки зрения для ускорения работ, облегчения вентиляции, улучшения условий откатки породы число забоев, т. е. рабочих участков по туннельной выемке, должно быть таким, чтобы из каждого забоя велась разработка участка туннеля длиной не более 0,5—0,8 км (фиг. 30—24,а). Следовательно, при длине туннеля более 1—1,5 км надо устраивать, кроме двух забоев, по одному с каждого конца, дополнительные забои или из шахт (фиг. 30—24,б), или из горизонтальных штолен-«оконов» (фиг. 30—24,в).

В связи с этим трассу туннеля приходится корректировать и исправлять в плане



Фиг. 30—24. Схемы забоев при разработке туннелей

так, чтобы вспомогательные шахты были небольшой глубины, а штольни — небольшой длины; при этом последние вообще предпочтительны, так как производство работ в них легче, чем в шахтах. При выборе места для шахт или штолен надо стремиться к тому, чтобы входы в них были доступны для подвоза и установки строительного оборудования (компрессоров, бетономешалок, трансформаторов и пр.), мате-риалов и пр.

Обычно приходится составлять несколько вариантов трассы и сопоставлять проекты туннеля по этим вариантам для выбора наилучшего по технико-экономическим показателям.

При искривлении трассы необходимо соблюдать условие, чтобы радиус кривой не был меньше $5b$, где b — ширина или диаметр туннеля, а внутренний угол кривой не был меньше 120° .

Местоположение порталов, помимо удобств производственных, должно быть удовлетворительным в геологическом отношении (надежные породы, отсутствие опасности оползней, обвалов, осыпей и пр.); положение портала по трассе определяется условием, чтобы стоимость 1 пог. м туннеля была менее стоимости 1 пог. м прилегающего участка канала.

9. Прочие производственные особенности

В современном строительстве туннелей все процессы работ механизированы. Однако надо иметь в виду, что условия работ в туннельной выемке тяжелы для рабочих из-за недостаточного притока свежего воздуха; поэтому движущей силой всех механизмов должны быть или электроэнергия, или сжатый воздух.

В связи с этим бурение пород должно вестись электрическими сверлами и перфораторами; пневматические сверла менее целесообразны, так как требуют сложного компрессорного хозяйства. Взрывы пород производятся различными аммонитами, а в последнее время и жидким кислородом, безопасным и не дающим в результате взрыва вредных газов. В последнее время начинают применять и механизированные способы разработки — горными комбайнами, гидромеханизацией и др.

Погрузка выработанной породы из забоя на транспорт — наиболее трудоемкий процесс — производится скреперами, элеваторами и различными погрузочными машинами. Откатку породы лучше всего производить электрическим транспортом — электровозами — или пневматическим — воздуховозами, что менее удобно из-за высокой стоимости компрессорных установок, необходимости многократной зарядки воздуховоза. Применение двигателей внутреннего сгорания вследствие порчи воздуха продуктами горения недопустимо.

Бетонные работы производятся при помощи разборчатой деревянной опалубки, иногда стальной передвижной опалубки с такими же кружалами, с оборачиваемостью до 100 раз. Подача бетона в современных туннелях производится бетон-

пушкой (пневматическая подача) или бетононасосами; прорабатывается смесь вибраторами; начинает распространяться обделка из сборных блоков.

Большое значение имеет гладкость внутренней поверхности обделки, влияющая на величину коэффициента шероховатости. Для получения надлежащей гладкости поверхности обделки применяются затирка штукатурки бетонных обделок, затирка (заглаживание) торкретных поверхностей и в частности использование специальных «шлицевателей» со шлифованными дисками.

Вентиляция является важнейшим мероприятием для производства работ. Естественного притока свежего воздуха для смены портящегося от дыхания людей от взрывных газов, пыли разрушаемых пород и пр. обычно недостаточно.

Дренаж фильтрующихся в туннельную выломку подземных вод необходим для успеха горных работ и создания здоровой обстановки для рабочих. Производится он чаще всего по кюветам, устраиваемым в подошве туннеля; впоследствии они служат местом для устройства постоянного дренажа туннеля.

10. Организация туннельных работ

Правильная организация весьма трудоемких работ по строительству туннелей является важнейшей мерой для выполнения этих работ в заданный срок. Это достигается назначением достаточного количества забоев, правильным выбором механизированного способа проходки, правильной организацией рабочего места, применением новаторских методов и цикличности процессов.

Скорость проходки туннелей (по длине) в среднем выражается величиной до 2—5 м в сутки, но в последнее время достигаются и более высокие темпы — до 10—15 м в сутки, а в отдельные сутки — более 30 м. Наименьшая скорость проходки отмечается в туннелях малых сечений и в породах малоустойчивых, требующих сильных креплений.

XI. РЕГУЛЯЦИОННЫЕ (ВЫПРАВИТЕЛЬНЫЕ) СООРУЖЕНИЯ

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ПЕРВАЯ

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ (ВЫПРАВЛЕНИЯ) РЕК И РЕЧНЫХ РУСЕЛ

§ 178. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОТОКОВ

1. Задачи и виды регулирования рек

Речной поток в его естественном состоянии далеко не всегда может быть использован для различных водохозяйственных целей без изменения его режима; этот же поток является нередко причиной тяжелых повреждений и даже катастроф, от которых страдает народное хозяйство. Сюда относятся наводнения и затопления в период паводков, обрушения берегов, блуждания речного русла (уход от населенных пунктов), обильные отложения наносов, выносы селевых потоков, засыпающих песком, илом и камнями возделанные поля, насаждения и строения и т. п.

Борьба со всеми упомянутыми выше отрицательными проявлениями режима естественных потоков ведется путем так называемого регулирования их. Поскольку режим реки определяется условиями водного стока и эрозионной деятельностью воды в речном русле и на склонах бассейна, постольку и мероприятия по регулированию рек касаются или режима водного стока, или режима эрозии, или того и другого вместе.

а) Мероприятия, изменяющие режим водного стока, т. е. режим расходов воды, относятся к так называемому регулированию стока.

Регулирование речного стока вообще обнимает собой широкий комплекс водохозяйственных мероприятий и применяется не только для борьбы с вредными проявлениями естественного режима потоков, но и для целесообразного использования его в интересах энергетики, транспорта, ирригации и пр., что является характерным для социалистического народного хозяйства. Осуществляется оно в основном путем устройства плотин и образования водохранилищ.

б) Мероприятия по борьбе с процессами эрозии (размывами и перемещениями русел, отложениями наносов и пр.) и возможными последствиями паводков, не изменяющие режима стока, носят название регулирования (выправления) рек и их русел; правильнее их следовало бы называть регулированием эрозионной деятельности рек.

Поскольку явления эрозии связаны с прохождением и колебаниями водного стока по реке, постольку всякое изменение режима стока влияет и на режим эрозии; следовательно, мероприятия по регулированию стока одновременно отразятся и на ходе эрозионных процессов.

2. Некоторые данные по теории эрозии

Принципы регулирования эрозионной деятельности речных потоков основываются на теории эрозионных явлений. Последние, однако, пред-

ставляют собой весьма сложный процесс, не поддающийся пока точному анализу. По этому вопросу существует обширная литература, причем советские ученые (чл.-корр. Академии наук СССР М. А. Великанов, проф. В. Н. Гончаров, проф. И. И. Леви и др.) достигли в этом отношении значительных успехов.

а) Воздействие равномерно движущегося потока на его русло может быть оценено для общих соображений довольно близко к действительности так называемой силой влечения:

$$S = \gamma h J, \quad (31-1)$$

где γ — объемный вес воды в $кг/м^3$;

h — глубина потока, в $м$;

J — уклон водной поверхности.

Сила влечения приложена в плоскости дна и, по существу, представляет собой касательное напряжение на стенке турбулентного равномерного потока.

Сопротивление верхнего слоя несвязного однородного грунта с частицами размером d и объемным весом γ_1 сдвигу, вызываемому силой влечения, выражается величиной

$$R = d(\gamma_1 - \gamma)(f \pm i), \quad (31-2)$$

где f — коэффициент внутреннего трения несвязного грунта;

i — уклон дна потока в направлении движения последнего.

Предельное равновесие верхнего слоя несвязного грунта имеет место при выполнении равенства:

$$S = R \text{ или } \gamma h J = d(\gamma_1 - \gamma)(f \pm i). \quad (31-3)$$

Откуда размер частиц грунта дна реки, которые не будут смываться потоком, выразится формулой

$$d \geq \frac{\gamma h J}{(\gamma_1 - \gamma)(f \pm i)} = AhJ. \quad (31-4)$$

б) Если на ровном дне потока находится отдельная частица несвязного грунта, например, в форме кубика со сторонами d , превышающими по размерам частицы дна, то воздействие потока на эту частицу выразится гидродинамическим давлением

$$P = k\gamma \frac{v_a^2}{2g} d^2, \quad (31-5)$$

где k — коэффициент обтекания частицы, учитывающий и подъемную силу циркуляции;

v_a — придонная скорость течения.

Условие равновесия такой частицы выразится уравнением

$$k\gamma \frac{v_a^2}{2g} d^2 = (\gamma_1 - \gamma)(f \pm i)d^3, \quad (31-6)$$

где γ_1 — объемный вес частицы;

f — коэффициент трения ее по дну.

Предельный размер частицы, которая не будет сдвинута потоком, равен

$$d \geq \frac{k\gamma v_a^2}{2g(\gamma_1 - \gamma)(f \pm i)}. \quad (31-7)$$

Величину v_a можно выразить через среднюю скорость потока v при помощи коэффициента α , а именно, $v_a = \alpha v$, а v — по формуле Шези.

полагая для широкого потока гидравлический радиус равным глубине h . Тогда

$$d \geq \frac{k\gamma\alpha^2 C^2 hJ}{2g(\gamma_1 - \gamma)(f \pm i)} = BhJ. \quad (31-8)$$

Сопоставляя значения A из формулы (31-4) и B по формуле (31-8), можно видеть, что B в $\frac{k\alpha^2 C^2}{2g} \approx 0,05 C^2$ раз больше A , практически в десятки и сотни раз.

Следовательно, одиночные крупные частицы, например, камни могут двигаться в потоке, дно которого сложено из значительно более мелких частиц (например, песка), остающихся в покое.

в) В реальных условиях речного русла явление размыва русла и движения наносов представляет собой очень сложный процесс. Частицы песка имеют различные размеры и передвигаются в форме песчаных волн, перемещающихся по дну потока, перекатываясь и скользя по дну или переходя во взвешенное состояние. Движение частиц разных размеров в одном и том же потоке происходит в разных формах, подчиняясь, однако, некоторой закономерности, которая в е с ь м а п р и б л и ж е н н о может быть выражена в виде:

$$d \leq \psi hJ \text{ или } d \leq \varphi v^2, \quad (31-9)$$

где коэффициент ψ или φ зависит от формы, размеров частицы и ее положения в общей массе частиц.

По опытам проф. М. А. Великанова и Н. М. Бочкова, это выражение интерпретируется для частиц d от 0,1 до 5 мм таким образом:

$$v = \sqrt{15gd + 6g} \text{ (мм/сек)}, \quad (31-10)$$

где g — ускорение силы тяжести в мм/сек²;

d — диаметр частиц в мм.

При уменьшении скорости течения v потока частицы соответственной крупности, согласно закону, выраженному уравнением (31-9), осядут на дне; при увеличении скорости v , наоборот, начнут двигаться по дну еще более крупные частицы. Из процессов взаимодействия наносных частиц и потока складываются, таким образом, сложные процессы эрозии — размыва грунта в одних местах и аккумуляции (осаждения) частиц его в других.

В руслах, сложенных из связных грунтов, процессы эрозии аналогичны, но в сопротивлении грунта размыву участвуют и силы сцепления, которые могут быть в плотных грунтах значительными, почему грунты эти труднее размываются.

г) Количество передвигаемых потоком наносов характеризуется так называемой наносотранспортирующей способностью потока, которая может быть выражена, например, формулой, рекомендуемой ГОСТ 3908-47 (§ 162).

В формировании русел большое значение имеют донные наносы, расход которых может быть определен, однако, лишь весьма приближенно. Для этой цели можно пользоваться различными эмпирическими формулами, например, проф. В. Н. Гончарова¹, проф. И. И. Леви² и др. Для горных и предгорных участков рек можно применять простую форму расхода донных наносов:

$$G = \frac{7000}{V^d} J^{3/2} (Q - Q_0) \text{ кг/сек}, \quad (31-11)$$

¹ В. Н. Гончаров, Движение наносов в равномерном потоке, 1938.

² И. И. Леви, Динамика русловых потоков, Энергоиздат, Л.—М. 1948.

где J — уклон потока;
 d — средний диаметр наносов в мм (можно принимать $d \approx d_{80}$);
 Q — расход воды в данный момент в м³/сек;
 Q_0 — расход воды в м³/сек, при котором начинается массовое движение донных наносов в реке.

3. Формирование речных русел

Формирование речного русла происходит при взаимодействии сил потока и сопротивления грунта его дна.

Так как движение воды в естественных руслах, как правило, турбулентное, сложное, в нем развивается естественная поперечная циркуляция потока (см. § 141), и оно из правильного прямолинейного неизбежно превращается в криволинейное (в плане) с неравномерным распределением глубин как по поперечному сечению, так и по продольному профилю. Помимо эрозии дна, или *глубинной эрозии*, развивается *боковая эрозия* в результате поперечной циркуляции и действия центробежных сил на криволинейных участках, что приводит к постоянным перемещениям русла среди наносных отложений речной долины: блужданию русел, разрушению берегов, образованию отмелей, кос и пр.

Если рассматривать речной бассейн в целом и учесть, что обычно продольные уклоны в верхнем течении реки являются наибольшими и снижаются вниз по течению, приближаясь к нулю в устье, то можно кратко охарактеризовать ход русловых деформаций следующим образом: в верховьях реки преобладает *глубинная эрозия*, река постепенно все глубже врезается в грунт дна, русло понижается; в нижнем течении, где уклоны и скорости уменьшились, происходит преимущественно *аккумуляция*, общее отложение наносов, повышение дна рек, удлинение и искривление их в плане; в среднем течении наблюдаются и *глубинная эрозия*, и *аккумуляция*, особенно развита *боковая эрозия* под действием циркуляционных течений.

4. Методы воздействия на эрозионные процессы

Исходя из изложенного выше, общие методы борьбы с эрозионными процессами могут быть охарактеризованы следующим образом.

а) Борьба с *глубинной эрозией* может вестись путем уменьшения глубины и уклонов русла [формула (31—1)] или увеличением сопротивляемости, путем как бы замены размываемого грунта другим, неразмываемым, т. е. устройством одежд по поверхности русла.

б) Борьба с *боковой эрозией* может вестись: 1) путем воздействия на поперечную циркуляцию потока, т. е. отклонением струй от угрожаемого берега или изменением знака циркуляции при помощи специальных сооружений, или 2) путем непосредственной защиты берегов неразмываемыми одеждами.

в) Борьба с отложением наносов и повышением дна должна вестись при помощи мероприятий, прямо противоположных борьбе с размывами: увеличением глубин в русле путем уменьшения ширины русла, увеличением уклонов, например, путем спрямления криволинейных участков реки, и изменением характера поперечной циркуляции в желательную сторону.

Проводимые в верхнем течении мероприятия по борьбе с эрозией отражаются на режиме нижних участков (уменьшение приносимых сверху наносов), и вообще регулирование любого участка русла ока-

зывает некоторое воздействие на вышележащие и значительное — на нижележащие участки; это необходимо всегда учитывать.

Период паводков, когда в реке наблюдаются самые большие расходы воды, характерен наиболее выраженными, резкими воздействиями потока на русло: увеличивается эрозия вследствие увеличения глубины и уклона, растут отложения в местах аккумуляции. Вот почему регулирование стока, ведущее к снижению высоты паводков, благотворно влияет и на регулирование эрозионной деятельности потока.

§ 179. БОРЬБА С ЭРОЗИЕЙ СКЛОНОВ БАССЕЙНА РЕКИ

1. Эрозия и разрушение склонов бассейна

Разрушения склонов речного бассейна бывают двух видов: 1) эрозия поверхности склона, происходящая под действием стекающей по нему атмосферной воды (дождевой, от таяния снега), 2) обрушения земляных масс на склонах — оползни, обвалы, происходящие главным образом вследствие действия грунтовых вод и подмыва подножия склона речными водами, а также под влиянием атмосферных осадков и процессов выветривания.

Продукты разрушения склонов в виде песчаных, глинистых масс, щебня, камня и пр. попадают в речные русла и уносятся затем водой в виде наносов — донных или взвешенных. Борьба с разрушениями склонов приводит поэтому к уменьшению засорения реки наносами и обеспечивает возможность использования самих склонов, особенно горных, для культурно-хозяйственных целей.

2. Борьба с эрозией склонов

а) Меры борьбы общего порядка заключаются прежде всего в повышении сопротивляемости склонов размыву путем урегулирования хозяйственной деятельности населения на крутых склонах бассейна. При этом:

1) следует создавать, где это возможно, травяной и древесный покров и поддерживать его; целесообразны лесные и лесо-садовые полосы поперек склонов, шириной 20—60 м;

2) если на склонах имеется лес, то ведение лесного хозяйства должно быть подчинено определенным правилам охраны леса: а) рубка должна производиться малыми площадями и с учетом сроков возобновления его; б) рубка должна быть совершенно воспрещена в тех местах, где восстановление леса затруднительно или где он нужен в качестве защиты склона от разрушения; в) самая рубка должна производиться с оставлением пней высотой 1—1,5 м; г) должно быть запрещено приращение крутых земляных лотков и дорог для спуска леса;

3) должны быть организованы правильные сенокосы;

4) необходимо устанавливать нормы для выпаса, так как интенсивный выпас скота, в особенности в горах, приводит к вытаптыванию растительности.

б) Специальные меры против эрозии поверхности склона заключаются или в уменьшении размывающей силы потока, или в увеличении сопротивляемости грунта размыву. Это достигается следующими мерами:

1) устройством валиков, террас и канав (фиг. 31—1, а), задерживающих сток и облегчающих разведение древесной растительности; валики проводятся примерно по горизонталям склона (фиг. 31—1, б), накопившаяся за ними вода частью просачивается в грунт, а частью

стекает по особым лоткам вниз; это ведет к уменьшению глубины слоя стекающей воды h , а следовательно, и влекущей силы S [формула (31—1)]; лотки устраиваются из дерева или бетона;

2) устройством палисадов, плетней и заборов, задерживающих размытые и движущиеся вниз частицы грунта, образующие затем терраски (фиг. 31—1, в).

3. Меры против уноса грунта склонов снежными лавинами

Снежные лавины представляют собой массы снега, сползающие по крутым склонам иногда со значительной скоростью (до нескольких десятков метров в секунду) и увлекающие за собой частицы грунта с поверхности. Особенно опасны так называемые донные лавины, образующиеся к концу зимы вследствие подтаивания снега снизу. Увлекаемый лавинами материал сносится в долину, засыпая русла рек, дороги, селения и пр.

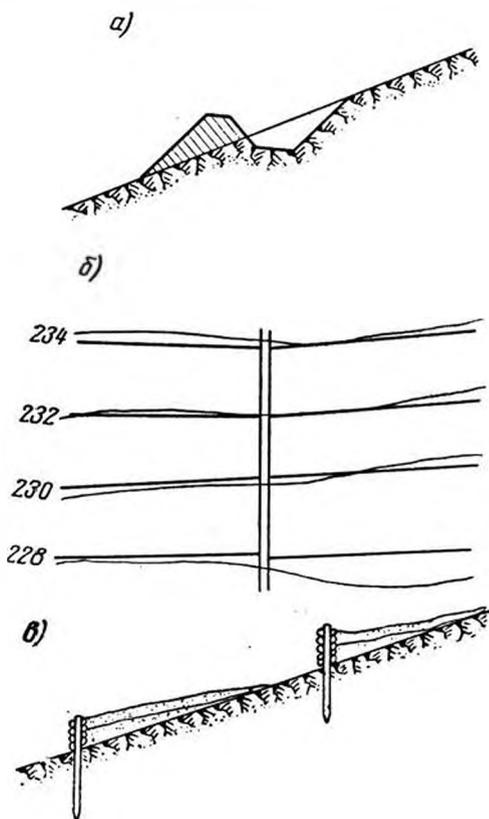
В данном случае меры борьбы, кроме общих, в виде облесения, правильного ведения хозяйства и др., заключаются: а) в непосредственной защите угрожаемых объектов, как, например, в устройстве защитных стен, перекрытий и галерей для дорог и пр.; б) в замедлении движения лавины путем устройства террас в плотных грунтах и заграждений из кольев, свай, каменных стен и пр., располагаемых по линиям, нормальным к направлению движения лавины. Заграждения эти являются наиболее эффективными мерами.

4. Борьба с обвалами склонов: обвалами, оползнями, осыпями

а) Обвалы скальных грунтов и скальных пород могут быть обязаны своим происхождением подмыву склона рекой, как показано на фиг. 31—2, где приведен профиль склона $a'cd$ до обрушения и $b'cd$ после подмыва, в результате чего обваливается массив cdb' (заштрихован). Борьба с обвалом в этом случае заключается в защите берега от подмыва.

Другой тип обвалов — горный обвал, когда вследствие выветривания скальных пород на крутом склоне время от времени от массивов склона отделяются крупные глыбы, падающие в долину и в русло реки. Борьба с такими обвалами очень трудна и дорога, ведут ее в сравнительно редких случаях — путем закрепления (цементирования) трещин, устройства отводов для воды и пр.

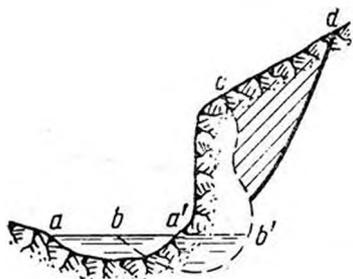
б) Осыпи склонов происходят, когда последние сложены из легко выветривающихся пород, распадающихся в процессе выветрива-



Фиг. 31—1. Методы закрепления склонов
а и б — валики и канавы на склоне долины;
в — плетни для задержания смываемого грунта

ния на отдельные мелкие куски (камни, щебень, песок и пр.), например, из мергелистых, сланцевых пород, опок и т. п. Осыпание продуктов выветривания происходит обычно после сильных дождей и ливней, пропитывающих водой выветривающуюся массу и уменьшающих угол трения между ее частицами.

Борьба с осыпями сводится: 1) к недопущению воды на осыпавшиеся части склона, т. е. перехватыванию ее нагорными канавами и лотками; 2) к ускорению стекания воды, попавшей на склон, путем дренажа и отвода лотками; 3) к задержанию осыпавшегося грунта специальными заграждениями, плетнями (фиг. 31—1, е), палисадами, представляющими собой ряды толстых кольев или сваек, забиваемых примерно по горизонталям, и заборами из таких же сваек с заполнением жердями, а иногда металлическими сетками.



Фиг. 31—2. Схема обвала берега от подмыва рекой

в) Оползни представляют собой смещения больших масс грунта, сползающих на склонах долин. Основной причиной их обычно является неурегулированная деятельность грунтовых вод на склонах, сложенных глинистыми породами; некоторое влияние оказывают и колебания горизонта воды в реке, и эрозия русла деятельностью человека (перегрузка склона сооружениями, ослабление его земляными выемками в низовых частях и др.).

Не касаясь здесь более подробно этого большого вопроса, отметим, что опасность оползней не столько в засорении реки (это бывает не так часто), сколько в разрушениях зданий, сооружений, дорог и пр., расположенных в зоне оползающих масс.

Борьба с оползнями сводится главным образом к урегулированию деятельности поверхностных и грунтовых вод на склонах путем отвода поверхностных вод лотками и канавами и дренажа грунтовых вод. Кроме того, всякое строительство на склонах, оползание которых возможно, должно вестись со специальными учетом устойчивости склона. Дело это сложное и дорогое, требующее специальных геологических исследований и большого инженерного опыта¹.

§ 180. МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ГЛУБИННОЙ ЭРОЗИЕЙ (РЕГУЛИРОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОТОКОВ, СУХОДОЛОВ И ОВРАГОВ)

Глубинная эрозия особенно резко проявляется в верховьях рек, где уклоны значительны, а также на притоках их с большими уклонами—горных потоках, балках, оврагах, суходолах.

1. Регулирование горных ручьев и потоков

Горные потоки характеризуются небольшой площадью бассейна (от 1 до 50 км²), крутыми (до 45° и круче) склонами бассейна, значительным продольным уклоном i (порядка до 0,1 и выше), относительно

¹ С. К. Абрамов, Н. В. Глазов, А. В. Романов, Н. Г. Трупаков, Противооползневые сооружения, 1940.

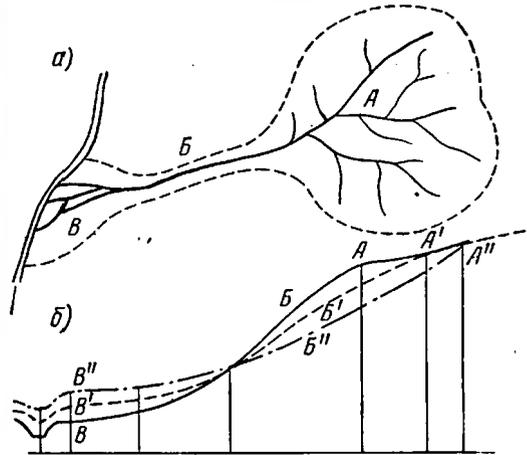
М. Е. Кнорре, С. К. Абрамов, И. С. Рогозин, Оползни и меры борьбы с ними, 1951.

небольшими глубинами, значительными скоростями течения (от 1,5 до 8 м/сек и более) и значительной влекущей силой $S=10-200 \text{ кг/м}^2$. Донные наносы достигают размеров в поперечнике 1—20 см, а отдельные камни бывают до 0,7—1 м в поперечнике. Продольный профиль лотка представляет собой некоторую кривую с уклонами, уменьшающимися от верховьев вниз по течению. Эрозия русла протекает таким образом, что вершина профиля все время отодвигается к водоразделу (А, А', А'', ..., фиг. 31—3), в нижней же части потока происходит отложение (аккумуляция) смытых сверху наносов (В, В', В'', ...), образующих так называемый «конус выноса» В (фиг. 31—3).

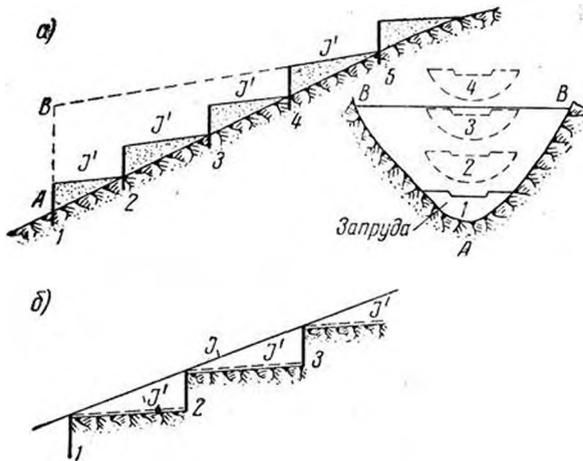
Задача регулирования горного потока его верховой и средней частях заключается в уменьшении или даже прекращении эрозии, что уменьшит отложения наносов на конусе выноса и снизит насыщенность наносами речной системы, в которую поток вливается. Ослабление и прекращение эрозии могут быть достигнуты уменьшением размывающей силы S и увеличением сопротивляемости грунта русла размыву.

Первое можно получить, уменьшая уклон J путем устройства запруд и порогов или понижая глубину потока h

путем искусственного уширения русла, удаления из него крупных камней и других засорений или создания параллельного разгружающего русла (отвода).



Фиг. 31—3. Схема горного потока



Фиг. 31—4. Схема запруд и порогов на продольном профиле потока

а — запруды; б — пороги

Второе, т. е. увеличение сопротивляемости русла размыву, достигается путем укрепления его различными стойкими одеждами, что из-

лагается в гл. 32. На практике нередко применяют и тот и другой метод одновременно.

Основным методом регулирования русел горных потоков следует считать метод запруд и порогов.

Запруды представляют собой небольшие плотинки (фиг. 31—4,а), а пороги — стенки, заглубленные в размываемое дно потока (фиг. 31—4,б). И те, и другие изменяют бытовой продольный уклон потока J на новый J' , меньший и по возможности близкий к уклону «равновесия», при котором выполняется равенство (31—3).

Из этого равенства можно определить уклон равновесия:

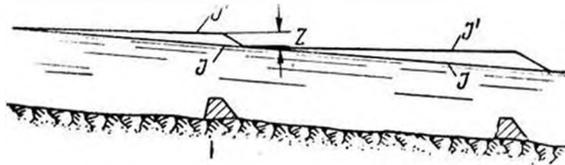
$$J_0 = \frac{d(\gamma_1 - \gamma)(f \pm i)}{\gamma h} \quad (31-12)$$

или, пренебрегая i при малости его:

$$J_0 = \frac{d(\gamma_1 - \gamma)f}{\gamma h} \quad (31-13)$$

Перед построенной на горном потоке запрудой в короткое время оседают наносы, создающие новое, повышенное русло с уклоном J' . При наличии порогов русло понижается вследствие размыва, пока не приобретает того же уклона J' . И в том, и в другом случае продольный профиль потока принимает ступенчатый вид.

Расстояние между запрудами и порогами определяются практически так, чтобы подпор от нижележащего сооружения перекрывал с не-



Фиг. 31—5. Схема донных порогов

которым запасом основание вышележащего. Высота запруд обычно небольшая (1,5—3 м), что позволяет выполнять их простейшим способом; высота порогов делается еще меньше.

Метод запруд вызывает не только повышение русла, но и уширение его, уменьшает опасность подмыва склонов, почему применяется чаще, чем метод порогов, которые устраиваются в тех случаях, когда из условий затопления, заболачивания земель и т. п. нежелательно повышение уровня воды в потоке.



Фиг. 31—6. Схема уширения или сужения русла

Так как в выборе нового уклона можно ошибиться, например, он окажется недостаточным и размыв русла будет продолжаться, то исправление можно сделать путем наращивания запруд

или устройства запруд второго порядка на наносных отложениях за первыми запрудами, что уменьшает уклон дополнительно. Практически же часто берут $J' = 0$, что вполне гарантирует от ошибок.

Если горный поток несет постоянный и значительный расход воды, а уклоны умеренные, вместо запруд применяют донные пороги, высота которых незначительна (фиг. 31—5). Эту высоту получают из гидравлического расчета порога, как затопленного водослива с перепадом Z , на пропуск соответствующего расхода воды. Подобные расчеты надо

повторить несколько раз, постепенно приближаясь к рациональным соотношениям Z , высоты порогов и требуемого по условию прекращения размыва уклона J' .

Подобный же метод может быть применен и на небольших горных и равнинных реках.

Метод искусственного уширения русла основан на том, что при увеличении ширины русла B до B' (фиг. 31—6) средняя глубина h уменьшится до h' . Величина h' может быть определена приблизительно из условия равенства расхода Q в первом и втором случаях:

$$Q = BhC \sqrt{hJ} = B' h' C \sqrt{h' J'};$$

откуда

$$h' = h \sqrt[3]{\left(\frac{B}{B'}\right)^2}. \quad (31-14)$$

Получающаяся в результате уширения русла меньшая глубина h' вызывает снижение силы влечения $S = \gamma h J$, уменьшение скорости течения и уменьшение размыва.

При выводе формулы (31—14) предположено, что C и J остаются постоянными, что не совсем верно, поэтому формула эта является лишь приближенной.

Регулирование нижнего течения горного потока в пределах так называемого конуса выноса аналогично регулированию низовьев рек вообще, т. е. сводится к борьбе с отложениями наносов (§ 181); вообще оно отпадает как самостоятельное мероприятие, если осуществлено регулирование верхней и средней частей потока, что, к сожалению, не часто бывает.

2. Борьба с селевыми потоками

Селью называется бурный паводок горного потока, несущий огромное количество наносов, грязи, песка, камней, иногда сломанных деревьев, строений и всего прочего, попадающего на пути воды.

Для образования сели необходимы следующие предпосылки.

а) Особые условия рельефа бассейна горного потока, характеризующиеся крутыми склонами и воронкообразной частью котловины в верховьях (A , фиг. 31—3), где формируется сток сравнительно небольшого бассейна.

Этот сток почти одновременно после сильных дождей и ливней поступает в среднюю часть потока — горловину B — с огромным расходом воды.

б) Наличие легко размываемых грунтов по склонам бассейна, отсутствие закрепляющей их растительности.

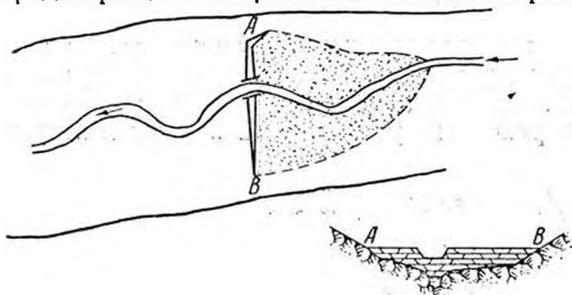
Селевой поток насыщается до такой степени продуктами размыва, что представляет собой смесь воды и грязи, песка, камня («грязе-каменный поток»), движущуюся с большой скоростью, иногда валом высотой в несколько метров, образованию которого содействуют еще прорывы случайных естественных запруд в узких местах горловины. Этот поток сметает все на своем пути.

В СССР сели известны в Закавказье (особенно в Азербайджане) и Средней Азии, где они ежегодно приносят крупные повреждения и убытки.

Борьба с селями сводится в основном к лесокультурным работам в котловине бассейна и к урегулированию хозяйственной деятельности в нем; к отводу потоков от угрожаемых мест и к устройству мест для

безопасного сброса, приема и осаждения наносов (наносособиратели).

Лесокультурные работы в борьбе с селями особенно важны и необходимы, представляя единственную длительную и надежную меру для предотвращения образования селей. Параллельно с этим наиболее эро-



Фиг. 31—7. Схема наносособираателя

дирующие русла бассейна застраиваются запрудами для уменьшения выносов продуктов эрозии.

Другие способы борьбы с селями не уничтожают условий образования их, а лишь парализуют или уменьшают вред селевых паводков.

В целях задержания наносов селевой поток направляется в особые бассейны со стенками из сухой кладки камня или же на площади бросовых земель в долине, огражденные запрудами с водосливом (фиг. 31—7). В огражденных местах наносы откладываются, а относительно осветленная вода сбрасывается через водослив, кроме того, часть воды испаряется. Подобные бассейны (наносособиратели) могут быть образованы и выемкой грунта (копаные).

3. Регулирование оврагов и балок

Овраги и балки представляют собой периодически действующие русла (суходолы), образовавшиеся в результате эрозионной деятельности воды по склонам бассейна.

Образование оврага и его развитие в известной мере аналогичны образованию горного потока; рельеф бассейна, где образуется овраг, обычно равнинный или слегка холмистый, уклоны дна оврагов и сила влечения поэтому меньше, чем в горных потоках; породы, слагающие овраг, относительно легко поддаются размыву.

Несмотря на обычно меньшее количество атмосферных осадков в бассейне оврага, чем в горах, эрозия его проходит чрезвычайно интенсивно, главным образом в период таяния снегов и выпадения ливней, вследствие легкой размываемости грунтов бассейна (суглинков, лёсса, песка и пр.). В результате этого в устье оврага или балки откладываются огромные «конусы выносов» из масс песка и прочих материалов. Овраг постепенно растет вверх по течению в глубину и ширину, одновременно повышается дно его в низовой части (отложение наносов).

Вред, приносимый эрозией оврагов, заключается в разрушении и сносе части территории, понижении грунтовых вод в районе, примыкающем к оврагу, дренаживании почвы и уменьшении запасов влаги в ней.

Методы регулирования оврагов сходны с методами, применяемыми по отношению к горным потокам.

а) Агро- и лесокультурные методы заключаются: в сохранении древесной растительности и насаждении новой там, где ее не имеется; в запрещении распашки крутых склонов, урегулировании выпаса и прогона скота на них, а также урегулировании пахоты склонов, недопущении распашки по направлению ската.

В последние годы у нас осуществляют специальные овражно-балочные лесонасаждения в виде лесных полос шириной 20—50 м, а также сплошные насаждения по склонам оврагов и балок.

б) Инженерные методы заключаются:

1) в уменьшении расхода воды в овраге, что снижает размывающую силу потока; это достигается проведением горизонтальных собирательных канав по склонам бассейна и устройством земляных валиков, плетней и различных невысоких сквозных заграждений; проведением по контуру оврага нагорных канав, сбрасывающих собираемую ими воду по особым лоткам на дно оврага;

2) в уменьшении размывающей силы воды в овраге путем устройства запруд и порогов, как и в горных потоках, иногда в виде земляных плотин, образующих пруды, используемые для водоснабжения, обводнения и других нужд сельского хозяйства; вокруг таких прудов создаются лесонасаждения шириной 10—20 м;

3) в целях прекращения роста оврага вершину оврага закрепляют подпорной стенкой и применяют перепады и быстротоки для отвода воды с бассейна (нагорные канавы) в русло оврага.

§ 181. МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОТЛОЖЕНИЯМИ НАНОСОВ И ПОВЫШЕНИЕМ ДНА РУСЕЛ

Борьба с отложениями наносов, как было указано в § 178, может вестись путем уменьшения вообще количества наносов, поступающих сверху по реке, путем обеспечения продвижения наносов на тех участках, где они отлагаются, и путем увеличения глубин и уклонов.

1. Общее уменьшение количества наносов в реке

Общее уменьшение количества наносов в реке достигается мероприятиями, описанными в § 179 и 180, а именно: закреплением склонов и зарегулированием верхних участков реки и наиболее сильно эродирующих ее притоков; задержанием наносов в особых наносособирающих (фиг. 31—7) и, наконец, направлением потока в глубокие озера и другие водоемы (водохранилища), если таковые расположены удобно для этой цели. В подобных водоемах наносы оседают почти полностью, а вода уходит в реку уже осветленной.

2. Увеличение глубины путем сужения русла

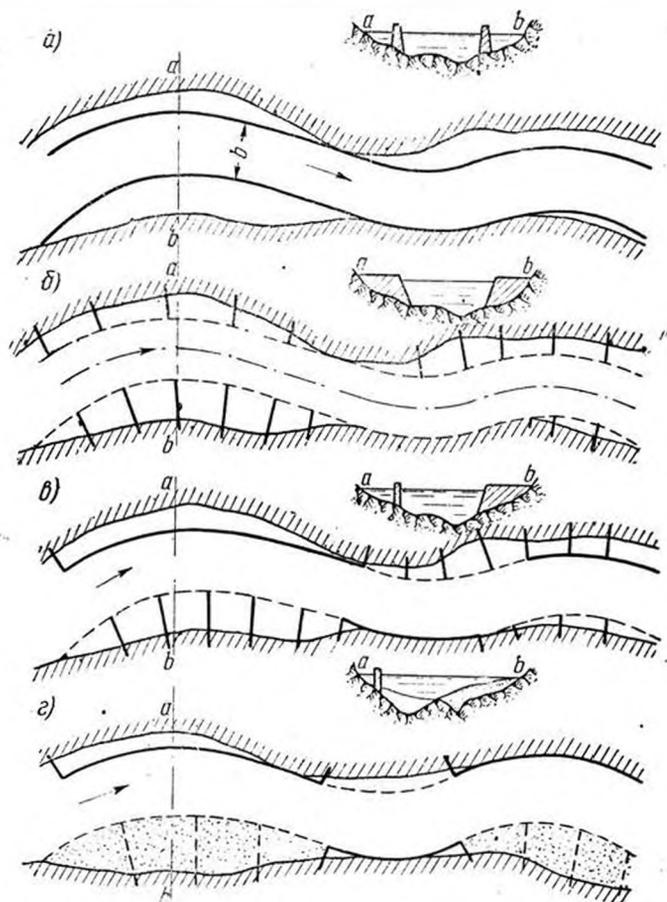
Повышение глубины русла достигается ограничением его ширины. Из фиг. 31—6 и формулы (31—14) можно заключить, что уменьшение ширины русла от B' до B должно вызвать увеличение глубины, а следовательно, и размывающей силы и усиление движения наносов.

а) Уменьшение ширины русла, или стеснение русла, можно произвести путем постройки специальных сооружений, «стесняющих» сечение потока. Таковыми могут быть продольные дамбы (фиг. 31—8,а), или система поперечных дамб (полузапруд, бун, фиг. 31—8,б), или комбинация тех и других (фиг. 31—8,в).

Если один из берегов достаточно прочен и устойчив, систему дамб или полузапруд достаточно возводить лишь со стороны другого берега.

Способ поперечных сооружений, устраиваемых на известных расстояниях друг от друга, в большинстве случаев дешевле и имеет то преимущество, что сужение русла можно производить постепенно, возводя вначале не все полузапруды, а например, через одну, и не на всю их проектную длину, а на часть ее. Это имеет большое техническое значение, так как ширину суженного русла точно определить расчетом невозможно; лучше поэтому произвести опыт в самой реке, т. е. постепенно сужая русло и останавливая работы на такой стадии, когда

достигнута нужная глубина. Постепенность сужения, кроме того, ценна тем, что при этом не происходит резкого нарушения режима потока, которое неизбежно дает и резкую реакцию — сильнейшие размывы русла у голов полузапруд (бун), повреждения последних, размывы противоположного берега и пр. Еще одно преимущество способа поперечных сооружений заключается в том, что часть смытых в русло наносов заходит в промежутки между полузапрудками (бунами) и там осе-



Фиг. 31—8. Схемы стеснения русла

дает; в паводок эти зоны заносятся еще больше, так что постепенно здесь как бы образуется новый берег.

Способ продольных дамб не имеет указанных выше преимуществ. Ошибка в ширине сужения ведет к тому, что или не будут достигнуты нужная глубина и размывающая сила, или, наоборот, произойдет чрезмерный размыв русла, с которым придется потом бороться.

Вместе с тем способ поперечных дамб имеет тот недостаток, что головы дамб подвергаются подмыву, течение вокруг них беспокойное; на вогнутых участках берега пространства между бунами плохо заносятся наносами; течение же у продольных дамб более спокойное и безопасное для них.

Комбинированный способ (фиг. 31—8,в) поэтому наиболее рационален, являясь и гибким (постепенность постройки бун) в смысле регулирования сужения русла, и дешевым, обеспечивая спокойное течение

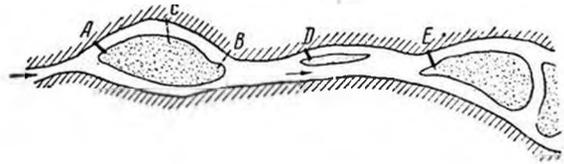
вдоль продольных дамб, располагаемых, как правило, у вогнутого ведущего берега, где скорости наибольшие, и, наконец, способствуя занесению междубунных полей выпуклого берега, к которому, как известно, направляются донные наносы (фиг. 31—8,2).

Кроме указанных выше трех способов, сужение ширины русла возможно путем установки так называемых сквозных сооружений: легких плетней, покрывал и т. п. Подробнее об этом см. в § 187.

б) Увеличение глубины путем сосредоточения течения в одном русле. Если река разделяется на рукава (фиг. 31—9), то пере-

вод всего расхода реки в один из рукавов путем закрытия другого запрудой вызовет повышение уровня воды в первом из рукавов и, следовательно, увеличение глубины воды в нем. В случае устройства, например, запруды

А (фиг. 31—9) в закрытом рукаве установится пониженный горизонт воды, соответствующий уровню реки у низового конца рукава В; если вместо запруды А поставить запруду В, в рукаве АВ образуется подпор от этой последней, что иногда нежелательно из-за затоплений и подтоплений. В первом случае закрытый рукав при паводке, идущем вверх дамбы А, «промывается», а во втором он, наоборот, быстро заносится наносами, что весьма полезно. Нередко прибегают к комбинированному методу: закрывают рукав в верховом конце А, но по рукаву АВ ставят ряд дополнительных запруд В, С для ускорения заиления его в паводок.



Фиг. 31—9. Схемы закрытия рукавов
А..... Е — запруды

3. Увеличение уклонов потока путем спрямления русла

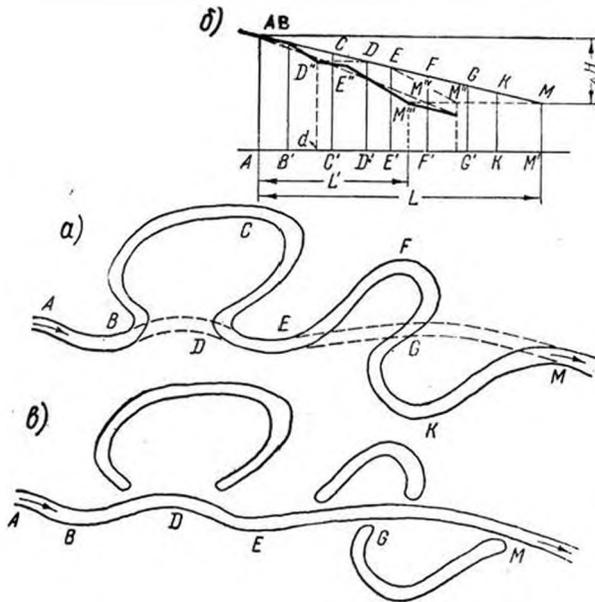
Этот способ ведет к увеличению размывающей силы потока. Если разность уровней в створах А и М была ΔH (фиг. 31—10, б), а длина $ABCDEFGKM$ (фиг. 31—10, а) равна L и средний уклон $J = \frac{\Delta H}{L}$, то после устройства спрямляющих прокопов BD — простого — и EGM — сложного (пересекающего русло) — длина будет $ABDEGM$ или $L' < L$, следовательно, новый средний уклон

$$\frac{\Delta H}{L'} > \frac{\Delta H}{L}, \text{ т. е. } J' > J.$$

Новый продольный профиль спрямленного участка можно построить таким образом (фиг. 31—10, б): точка D должна переместиться в D'' с той же отметкой так, чтобы $B'D''$ на профиле равнялась бы BD на плане; соответственно M переместится в M'' , а затем DEM'' параллельно себе в положение $D''E''M''$; таким образом, кривая $ABD''E''M''$ представляет собой приблизительно новый продольный профиль участка в том случае, если русло реки неразмываемо. Этот профиль несколько преобразуется (см. пунктир на фиг. 31—10, б), а именно: на участке AB уклоны увеличатся вследствие спада, а ниже несколько уменьшатся, уменьшатся уклоны на участке $E''M''$ в силу подпора от нижележащего участка, точка M'' поднимется в положение M''^V и т. д.

В случае размываемого русла профиль $ABD''E''M''$ (пунктир) трансформируется еще больше из-за усиленных размывов при новом среднем уклоне J' на всем участке, а также из-за размывов выше B (вследствие спада) и отложений наносов ниже M , где уклоны много меньше, чем на спрямлении.

Чем больше укорачивается русло благодаря спрямлению, тем рез-



Фиг. 31—10. Схема спрямления русла

че изменяется продольный профиль. Поэтому к спрямлениям надо прибегать с достаточной осторожностью, так как, улучшая русло в пределах спрямления и выше, можно вызвать подъем русла ниже спрямления.

В результате проведения спрямлений русла участки старого русла, замененные спрямлениями, постепенно отмирают, превращаясь в пойменные озера подковообразной формы (фиг. 31—10,в).

§ 182. МЕТОДЫ БОРЬБЫ С МЕСТНОЙ ЭРОЗИЕЙ

1. Борьба с местными размывами берегов и дна при помощи постоянных сооружений

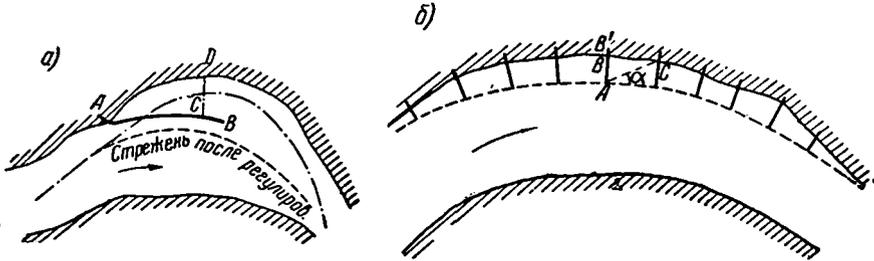
Эта борьба ведется двумя методами: 1) уменьшением размывающей силы потока в зоне размыва путем отклонения струй от этой зоны и 2) повышением сопротивляемости русла в зоне размыва. Последнее достигается покрытием размываемых участков защитными одеждами (рассматривается в гл. 32).

Отклонение струй от берега может быть произведено продольными или поперечными сооружениями.

а) Способ продольных или струенаправляющих сооружений (дамб) показан на фиг. 31—11,а. Продольная дамба AB одним концом (жорнем) A заделывается в берег (на 3—10 м). Другим концом B свободно заканчивается в реке (этот конец называется головой или оголовком). Дамба в плане имеет криволинейное

очертание и несколько возвышается над горизонтом воды, при котором по расчету она должна оказывать свое действие.

Продольная дамба отклоняет струи потока в сторону от размываемого (вогнутого) берега; при этом между дамбой и берегом, а также несколько ниже по течению создается вращательное движение воды вокруг вертикальной (или наклонной) оси, причем обычно таких водо-

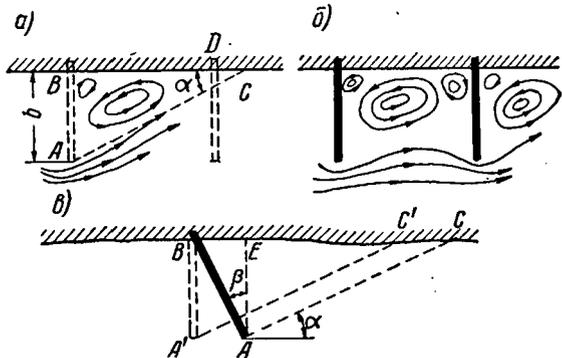


Фиг. 31—11. Защита берега

а — струенаправляющей дамбой; б — полузапрудами

воротов бывает несколько. Скорость течения воды у берега за дамбой и несколько ниже по течению уменьшается благодаря значительной потере энергии на вращение водоворота и изменению направления струй. При этом не только прекращается размыв, но даже начинается иногда отложение наносов в пазухе между дамбой и берегом.

Для увеличения прочности и устойчивости продольной дамбы она связывается с берегом в одном или нескольких местах поперечными дамбами, называемыми траверсами (CD на фиг. 31—11,а). Траверсы вызывают увеличение отложения наносов в береговой пазухе в периоды, когда горизонты воды в реке выше гребня дамбы (если дамба затопляется).



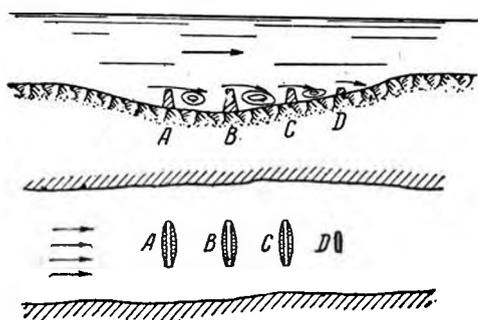
Фиг. 31—12. Схема действия полузапруд

б) Способ поперечных сооружений показан на фиг. 31—11,б. Поперечные сооружения, иначе называемые еще поперечными полузапрудами, бунами, шпорами, отбойниками, располагаются так, чтобы оси их составляли с динамической осью потока угол, близкий к прямому, и чтобы оконечности голов их (А на фиг. 31—11,б) лежали на плавной кривой. Корни полузапруд BB' прочно заделываются в грунт берега.

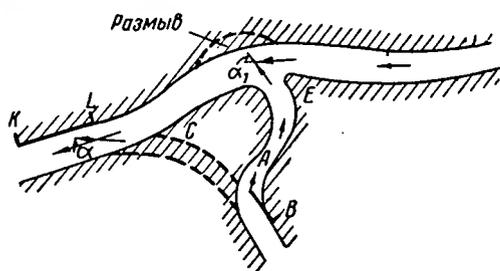
Действие поперечных сооружений сказывается в том, что поток, сжатый полузапрудой AB (фиг. 31—12), отклоняется от берега, затем снова приближается к нему в точке C . В зоне ABC образуются основной водоворот с вертикальной осью и несколько второстепенных; эти водовороты поглощают часть энергии потока, и скорости у берега оказываются настолько незначительными, что размыв его прекращается. Следующую по течению полузапруду ставят несколько выше точки C —в точке D .

Расстояние BD между полузапрудами следует определять на основании наблюдений над ранее построенными или над специальными опытными полузапрудами; полезно также проводить и лабораторные опыты. Теоретически с достаточной точностью форму растекания потока в условиях естественного русла определить пока невозможно, для грубых же расчетов можно пользоваться допущением, что угол α (фиг. 31—12) наклона условной прямой AC к оси потока равен приблизительно $5-15^\circ$. Зная этот угол, можно определить расстояние между полузапрудами BD .

При наклонном положении полузапруд к оси потока защитное их действие по длине потока несколько увеличивается; из фиг. 31—12, в



Фиг. 31—13. Схема действия донных порогов



Фиг. 31—14. Схема регулирования реки в месте впадения притока

берегам и продольным дамбам и называются тогда донными полузапрудами.

2. Регулирование устьев притоков

Наносы, поступающие из притоков, имеющих, как правило, уклоны, большие, чем в реке, обладают большей крупностью, чем наносы реки, в которую впадает приток.

Условия впадения притока в реку усложняются, если встреча струй притока и реки происходит под сравнительно тупым углом: при встрече струй выпадают наносы, образуя местную отмель. В результате неизбежно создаются «ступени» в продольном профиле реки. Противоположный берег при этом размывается, и весь речной узел становится весьма неустойчивым (фиг. 31—14).

Регулирование такого узла заключается прежде всего в изменении угла встречи потоков, для чего из притока в реку делается прокоп (AC , фиг. 31—14), направленный под острым углом $\alpha = 25-35^\circ$ к

видно, что $BC > BC'$, где BC' относится к случаю нормальной полузапруды $A'B$.

в) Можно успешно бороться с размывами и при помощи упоминавшихся выше сквозных сооружений (гл. 32).

г) При местном размыве и углублении русла устраивают на дне невысокие донные запруды, или донные пороги (фиг. 31—13, A, B, C, D), отклоняющие струи потока от дна. Благодаря этим запрудам создаются вихри с горизонтальной осью, размыв не только прекращается, но промежутки между донными сооружениями заносятся наносами, влекомыми потоком.

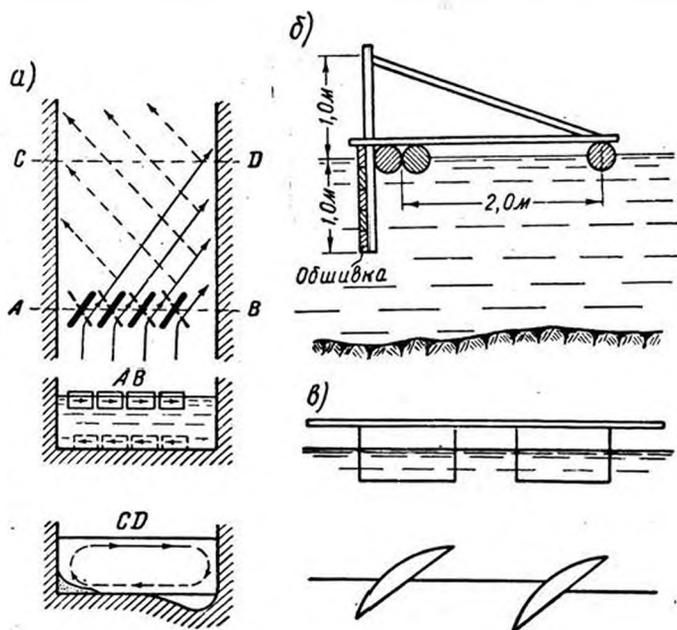
В тех случаях, когда размывы дна происходят у берега или продольной дамбы, донные пороги или запруды составляют обычно продолжение бун или примыкают к

реке, с устройством направляющей дамбы AB на притоке. Во избежание размыва противоположного берега последний может быть укреплен (KL , фиг. 31—14).

3. Борьба с местными размывами и отложениями наносов путем воздействия на поперечную циркуляцию потока

Оригинальные методы борьбы с местными деформациями русел были разработаны впервые советскими учеными, в частности и особенно проф. М. В. Потаповым (1932 г.).

а) Метод проф. М. В. Потапова заключается в воздействии на режим поперечной циркуляции особыми направляющими щитами — пловучими или стационарными, поверхностными или донными, с тем



Фиг. 31—15. Действие щитов М. В. Потапова

a — схема поперечной циркуляции, возбуждаемой щитами Потапова;
 b — простейшая конструкция щита Потапова; $в$ — конструкция из сегментных щитов Потапова

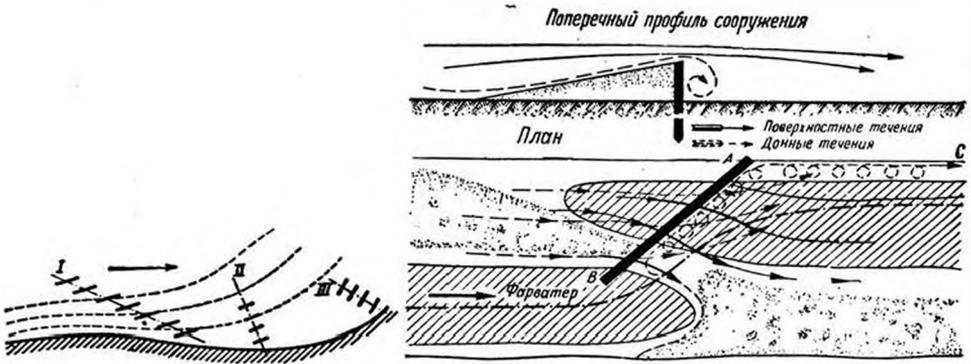
чтобы изменить ее характер или вызвать ее там, где она будет полезной в отношении размыва русла или отложения наносов.

Сущность действия щитов М. В. Потапова можно видеть из фиг. 31—15, a . Если в прямоугольном русле с параллельнеструйным потоком поставить на плаву вертикальные щиты, наклоненные под некоторым углом к оси потока, а на дне установить аналогичные щиты, но направленные в другую сторону, то в русле будет создано винтовое движение (поперечная циркуляция). Так как поверхностные струи на фиг. 31—15, a направлены к правому берегу, то у этого берега вскоре образуется углубление, размыв, а у левого — намыв, отложения, отмель. Для получения того же эффекта достаточно вообще одних поверхностных (пловучих) или одних донных щитов; из них первые на практике удобнее, выполняются они простейшего вида, например, по фиг. 31—18, b ; есть более сложные конструкции щитов — стальных полых, имеющих в плане форму сегментов (фиг. 31—15, $в$) и с помощью

балласта опускаемых на желаемую глубину, соединяемых в общую систему¹, которая удерживается на плаву тросами под нужным углом к направлению течения.

При помощи щитов Потапова можно защищать размываемые участки берега, устанавливая щиты так (система I на фиг. 31—16), чтобы поверхностные струи направлялись к противоположному берегу, тогда место размыва начнет заноситься наносами. Для удержания откладывающихся у берега наносов достаточно применить короткие системы щитов (II—III). При помощи щитов можно также смывать наносы, откладывающиеся у входа в канал или в других нежелательных местах, для чего к этим местам должны направляться поверхностные струи потока.

Метод проф. Потапова с успехом применяется во многих случаях регулирования рек, но в условиях зимнего режима, а также на судоходных или сплавных реках применение его несколько затруднительно.



Фиг. 31—16. Схема защиты берега щитами Потапова от размыва

Фиг. 31—17. Схема действия наносоправляющей стенки Лосиевского

Однако на этих реках успешно применяются специальные конструкции Т-образных щитов, предложенных инж. Шадриним (фиг. 32—21,а), в работе которых используется принцип поперечной циркуляции. Применяют также «ледяные» щиты для регулирования потока в зимнее время, например, для подготовки русла судоходной реки к навигационному периоду.

б) Другой метод, предложенный А. И. Лосиевским, заключается в воздействии на донные течения при помощи стенок, устанавливаемых на дне реки под углом $15—25^\circ$ к течению и представляющих собой донные водосливы высотой над дном около $0,5—0,8$ глубины потока (фиг. 31—17), причем гребень такого водослива снижается от корня А к голове стенки В. Благодаря этой «наносоправляющей» стенке поверхностные струи отклоняются вправо (фиг. 31—17) по течению, а донные идут влево (циркуляция); непосредственно за стенкой донные струи вовлекаются в винтовое движение, образуемое за водосливом и направленное вдоль стенки к левому берегу (на фиг. 31—17). В результате частицы наносов ниже стенки выносятся к левому берегу в зону АС, у стрежня глубины увеличиваются.

Опыт применения метода Лосиевского на ряде перекатов Оки, Волги и др. оказался эффективным и привел к увеличению судоходных глубин.

¹ См., например, журнал «Гидротехника и мелиорация» № 11, 1951.

§ 183. ОБЩЕЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РУСЛА И ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ

1. Общее регулирование (выправление) русла

Основной вред, причиняемый неурегулированным потоком, когда имеют место и глубинная, и боковая эрозия, а также аккумуляция в отдельных местах, заключается: 1) в блуждании реки по пойме; 2) размыве берегов; 3) образовании местных отмелей и островов; 4) ухудшении условий судоходства и сплава (уменьшение глубины, неудовлетворительный и неустойчивый в плане фарватер); 5) местных подмывах русла или, наоборот, местных отложениях наносов у различных сооружений на реке.

Проявления различных эрозионных процессов в разных местах русла возникают, как результат местного несоответствия размывающей силы потока и сопротивляемости русла размыву. Это — динамический процесс, в котором в одних местах имеет место преобладание размывающей силы, в других — недостаток ее для движения наносов, поэтому происходит переформирование русла с образованием новых динамических условий; эти последние вызывают новые переформирования русла и т. д.

Если при помощи сооружений будет достигнуто на всем течении реки соответствие между размывающей силой потока и сопротивлением русла размыву и между наносопропускной способностью потока и фактическим поступлением в него из бассейна наносов, то такое русло можно назвать *зарегулированным, устойчивым или нормальным*. Образование нормального русла является конечной целью регуляционных работ на реке, но достижение этой цели требует длительного времени и крупных материальных затрат. На практике редко задаются сразу такой крупной задачей и решение ее получают постепенным решением частных задач на отдельных участках, борьбой с местными явлениями и пр. Однако такие частные работы должны вестись на базе общего (генерального) плана регулирования (выправления) реки.

Элементы нормального (устойчивого) русла (ширину, глубину) на отдельных участках назначают, исходя из наблюдений над устойчивыми участками реки и пользуясь некоторыми формулами эмпирического характера, полученными путем обобщения гидрологических материалов. Сюда относятся формулы С. И. Рыбкина, Г. С. Чекулаева, С. Т. Алтунина и др., которые пригодны для определенных условий и типов рек. В частности формула С. Т. Алтунина определяет ширину реки B на прямых участках в зависимости от расхода воды Q и продольного уклона J :

$$B = \frac{\rho Q^{0.5}}{J^{0.2}}, \quad (31-15)$$

где ρ — имеет значения от 0,7—0,9 для горных рек до 1,3—1,7 для нижних течений рек (в песчаных, суглинистых руслах).

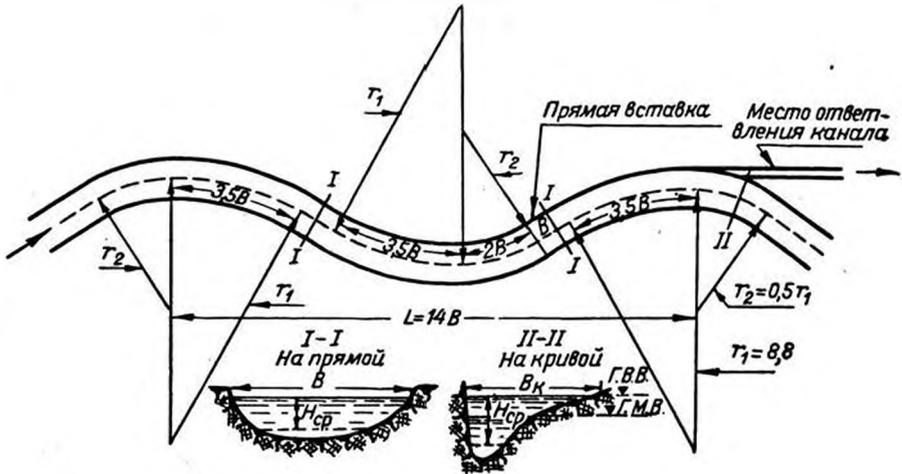
Среднюю глубину $H_{\text{ср}}$ можно определить по формуле:

$$H_{\text{ср}} = \frac{F^m}{k}, \quad (31-16)$$

где m — изменяется от 1,0—0,8 до 0,5 (от горных рек до нижних течений), а k — от 16—10 до 4—3 (соответственно для тех же условий).

Устойчивое русло имеет в плане меандрическую форму (фиг. 31—18), образуемую кривыми переменных радиусов (для выпук-

лого берега $R_{\text{вогн}} \geq 7B$ и минимально $R_{\text{мин}} \geq 3,5B$, а для вогнутого соответственно $8B$ и $4,5B$; шаг меандра $L \approx (12 \div 15) B$, стрела изгиба $f \approx \frac{L}{4}$. Ширина русла в пределах кривой $B_{\text{кр}} \approx \frac{3}{4} B$, где B — ширина русла на прямом участке [формула (31—15)]; наибольшая глубина на



Фиг. 31—18. Схема трассы устойчивого русла

кривой $H_{\text{кр}} \approx (1,5 \div 2,5) H_{\text{сп}}$ в зависимости от отношения $\frac{R}{B}$ (от 6 до 3).

Приведенные морфологические соотношения для устойчивых русел, конечно, должны считаться лишь весьма ориентировочными, точно установить их рекомендуется на основе наблюдений над устойчивыми участками данной реки или аналогичными (по физико-географическим условиям).

2. Регулирование (выправление) рек для нужд водного транспорта

Основные требования водного транспорта к речным потокам заключаются в обеспечении достаточных глубин в реке, достаточной ширины судового хода (фарватера), не очень крутых извилин потока в плане и приемлемых скоростей течения. Первые три требования могут быть выполнены путем регуляционных (выправительных) работ. Из них наиболее серьезная задача — получение нужных транзитных глубин — в условиях реки, по существу, сводится к увеличению глубин на так называемых перекатах, разделяющих плесовые участки (плесы), имеющие обычно достаточные для судоходства глубины.

Перекаты представляют собой мелкие участки протекающей в легко размываемых грунтах реки, отделенные друг от друга более глубокими участками — плесами.

В зависимости от причин и условий, вызвавших образование перекатов, различают много типов их. Наиболее распространен на наших равнинных реках тип переката на перегибе русла (фиг. 31—19,а), затем можно отметить перекаты-россыпи на уширенных участках реки, пристровные перекаты — в местах деления русла островами на рукава и др.

Задача углубления перекатов является довольно сложной, и вопрос этот подробно изучается в специальных курсах.

Помимо общих методов, уже описанных выше, как укрепление берегов, сосредоточение течения в одном рукаве, смягчение закруглений струенаправляющими дамбами, применяют специальные методы углубления перекатов.

В России с конца XIX в. получил распространение и в наше время усовершенствован оригинальный метод инж. Н. С. Лелявского.

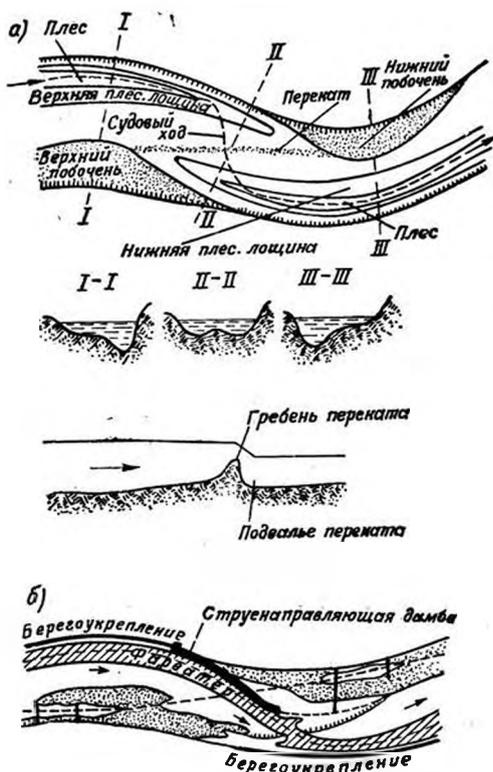
По этому методу необходимая глубина фарватера на перекате образуется продолжением вогнутого берега в зону переката путем устройства криволинейной направляющей дамбы (фиг. 31—19,б). Как известно, вдоль вогнутого берега поддерживается циркуляция («сбойное течение» по Лелявскому), обеспечивающая у этого берега значительную глубину; тот же эффект обеспечивает и криволинейная струенаправляющая дамба. Противоположный, ниже по течению вогнутый, берег, если нужно, также укрепляют. На выпуклых берегах откладывается грунт; для усиления отложений на косах можно устраивать поперечные полузапруды. Полузапруды эти полезны и в отношении некоторого дополнительного стеснения русла и закрытия мелких протоков.

Помимо описанных способов выправления перекатов, применяют щиты Потапова, сооружения Лооиевского, а также сквозные сооружения (см. ниже).

На больших реках для углубления перекатов у нас распространен метод землечерпания, т. е. механического дноуглубления, — устройство прорезей-каналов через перекаты; регулиционные сооружения в этом случае могут отсутствовать или же дополняют землечерпание, обеспечивая большую устойчивость прорезей. Метод землечерпания относительно дорог: прорези должны ежегодно, а иногда и несколько раз в году, возобновляться, но зато метод этот отличается большой оперативностью.

3. Регулирование (выправление) русла у водозаборных устройств и других речных сооружений

В целях лучшего направления потока в отверстия мостов, плотин, борьбы с местными отложениями наносов у сооружений применяют устройство продольных струенаправляющих дамб с плавным криво-



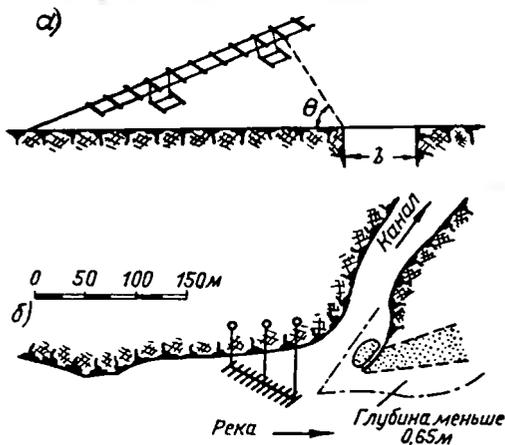
Фиг. 31—19. Перекат и схема его выправления по Н. С. Лелявскому

вода прежний расход наносов должен транспортироваться при уменьшившемся расходе воды $Q-Q_1$, т. е. при меньшей наносотранспортирующей способности реки.

Естественно, что в реке начнется усиленное отложение наносов. В целях борьбы с этим следует повысить наносопропускную способность реки при новом расходе воды до необходимой величины. Для этого можно произвести стеснение потока и увеличить глубину его, что повысит его наносотранспортирующую способность.

Иногда бывает возможно допустить нарастание дна реки ниже плотины, в верхнем бьефе которой делается отвод, пока требуемый новый уклон русла в нижнем бьефе не получится естественным образом благодаря нагромождению наносов за плотиной.

Но в таком случае надо проверить пропускную способность отверстия плотины на случай работы при повышенных вследствие подъема дна потока уровнях воды нижнего бьефа, так как пропускная способность может оказаться недостаточной.



Фиг. 31—22. Схема регулирования русла у водозабора щитами М. В. Потапова
а — общая схема; б — направляющие Потапова в голове канала на Аму-Дарье (1937)

§ 184. ЗАЩИТА ПРИБРЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ

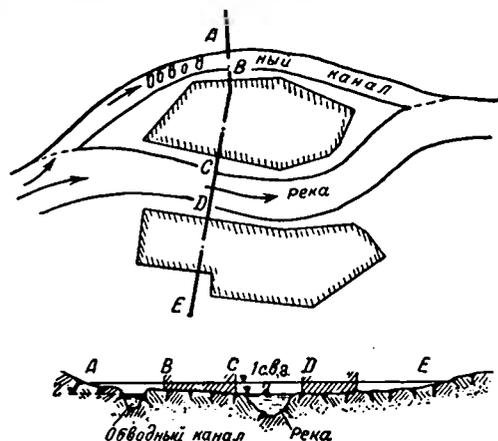
1. Методы защиты прибрежных земель от затоплений паводками

Избежать затопления прибрежных земель можно разными путями: устройством регуляционных сооружений и снижением уровня паводочных вод путем повышения пропускной способности русла или зарегулирования стока реки водохранилищами; последний метод здесь не рассматривается.

Регуляционные методы состоят в следующем:

1) обвалование, т. е. ограждение затопляемых земель валами (земляными дамбами), рассматриваемое ниже;

2) устройство обводных, или разгружающих русел (каналов), благодаря которым расходы воды, а следовательно, и уровни воды в главном русле, снижаются до



Фиг. 31—23. Разгрузка основного русла обводным каналом

безопасных отметок; на фиг. 31—23 приведен пример устройства обводного канала вокруг города, расположенного на берегу реки: уро-

вень из положения 1 снижается до положения 2 при наличии канала AB ;

3) подсыпка и повышение территорий, подверженных затоплению.

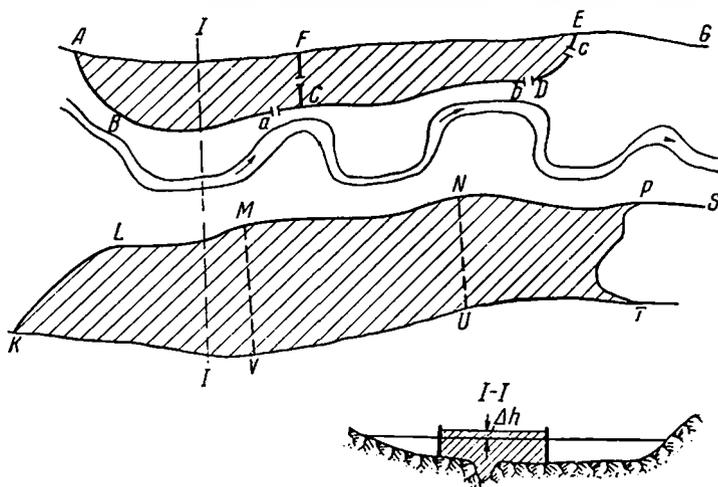
Методы второй и особенно третий очень дороги, пригодны лишь для защиты небольших и очень ценных территорий (промышленных предприятий, городов). Исключение иногда составляет второй метод, когда увеличение пропускной способности реки делается путем спрямления речных меандр, особенно в нижнем течении реки. Метод же обвалования более распространен и используется для защиты значительных территорий иногда в комбинации с другими методами.

Защита земель от наводнений, вызываемых нагонными ветрами в устьях рек, может быть организована путем ограждения угрожаемых территорий земляными валами или повышения территорий искусственной насыпью грунта.

2. Обвалование земель

Обвалование участка речной поймы показано на фиг. 31—24, где линии $AFEG$ и $KVUT$ показывают границы поймы, затопляемой паводками.

Участок $ABCDEF$ обвалован замкнутым валом $ABCDE$. Участок $KLMNPTUVK$ обвалован незамкнутым валом $KLMNPS$, так что в паводок вода заходит за вал до линии PT по горизонтали, соответствующей уровню воды в реке в точке S — конце вала (заштрихованная



Фиг. 31—24. Схема обвалования речной поймы

ванная же площадь не затопляется). Метод незамкнутых валов целесообразен на реках с большими уклонами и при широких поймах; он дает возможность свободно стекать дождевым и снеговым водам, собирающимся на огражденной площади; при замкнутых валах во время паводка местный сток задерживается в низинах обвалованной площади и выпускается в реку через отверстия в валах лишь после спада паводка (a , b и c , фиг. 31—24).

Кроме главных валов, на случай их прорыва и для локализации затоплений устраиваются поперечные валы — траверсы CF , MV , NU (фиг. 31—24) с отверстиями, перекрываемыми затворами. Иногда

обвалование сопровождается и целесообразным использованием паводочных вод для временного затопления территорий для их орошения («лиманное орошение») и внесения на орошаемые площади плодородного речного ила, т. е. кольматажа их.

Высота валов определяется наивысшим горизонтом воды паводка и дополнительным его поднятием Δh при обваловании в результате стеснения поймы. Величину Δh определяют расчетом, исходя из предположения, что продольный уклон реки остается тем же, каким он был и до обвалования, и что весь паводочный расход $Q_{\text{макс}}$ проходит между валами. Для этого можно пользоваться формулой Шези и, предварительно задаваясь Δh , проверить пропускную способность обвалованного русла, считая его каналом сложного сечения.

В СССР обвалование применяется главным образом на реках Кавказа и Средней Азии, где длина сооруженных валов исчисляется многими сотнями километров. Применяется обвалование и при защите ценных территорий от затопления при подпоре реки плотиной (устройство водохранилищ).

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ВТОРАЯ

РЕГУЛЯЦИОННЫЕ (ВЫПРАВИТЕЛЬНЫЕ) СООРУЖЕНИЯ И РАБОТЫ

§ 185. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЫПРАВИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НИХ

1. Основные материалы для регуляционных (выправительных) работ

Выправительные сооружения имеют часто значительную протяженность и требуют большого количества материалов. Поэтому для них применяются материалы наиболее дешевые, имеющиеся на месте работ и не требующие затрат на дальний транспорт их.

Материалы для регуляционных сооружений должны обладать стойкостью: а) против размывающего и растворяющего действия воды и б) против действия ледохода и ледостава и других проявлений зимнего режима.

В регуляционных работах применяются следующие материалы:

1) камень, окатанный речным потоком или рваный; пригодны все породы за исключением весьма пористых известняков, слабых песчаников и т. п., легко разрушающихся в воде и при действии мороза; размеры камня находятся в зависимости от назначения его в сооружении; обычно они не меньше 8—10 см в поперечнике (вес 3 кг), а для наружных частей набросок, одежд и пр. — не менее 25—30 см (30—50 кг) во избежание уноса камней ледоходом;

2) щебень, галька, гравий, находящие себе применение во внутренних частях сооружений; в отношении прочности к ним предъявляются те же требования, что и к камню;

3) грунты песчаные, песчано-глинистые, глинистые, идущие во внутренние части сооружений; они должны обладать значительным объемным весом и противостоять размывающему действию воды; поэтому непригодны мелкий песок, илистые, торфяные грунты и т. п.;

4) дерево, применяющееся в виде лапника (еловые ветки), прутьев, хвороста, деревьев, кольев, досок, горбылей и свай; хворост применяется преимущественно ивовых пород, свежесрубленный, луч-

ше осенней рубки, толщиной в комле около 4 см, длиной 1,5—2,5 м;

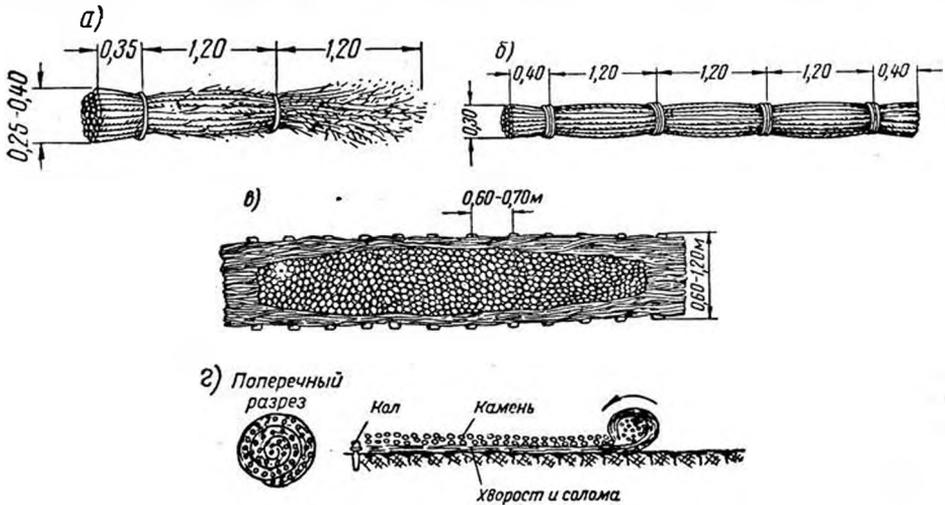
5) растительные материалы: а) высеваемые травы, б) дерн, широко применяемый для защиты откосов и гребней сооружений, в) мох, г) камыш и т. п.;

6) металл, употребляемый главным образом в виде оцинкованной проволоки диаметром 2—5 мм, троса, гвоздей, болтов, анкеров, скоб и пр. и (редко) в качестве арматуры для железобетонных конструкций;

7) искусственные материалы — бетон, железобетон, асфальтобетон, битумные материалы.

2. Составные (сложные) материалы и элементы регуляционных сооружений

а) Ф а ш и н ы представляют собой пучки хвороста, перевязанные вицами (тонким свежесрубленным хворостом, прутьями, служащими вязочным материалом) или мягкой проволокой (2—3 мм). Простая



Фиг. 32—1. Фашины

а — однокомельная; б — двухкомельная; в — тяжелая; г — карабура

однокомельная фашина показана на фиг. 32—1,а, а двухкомельная — на фиг. 32—1,б, тяжелая фашина, внутренность которой заполняется камнем, — на фиг. 32—1,в.

б) К а р а б у р ы — видоизменение тяжелых фащин, применяются на реках Средней Азии; карабура делается из слоя хвороста и соломы, иногда — камыша, пригруженного галькой, камнем или землей, свернутого в виде «рулета» и перевязанного проволокой (фиг. 32—1,г).

в) Т ю ф я к и хворостяные и фашинные. Хворостяные тюфяки вяжутся из слоев хвороста, направленных нормально друг к другу; хворост скрепляется сверху и снизу сетками (фиг. 32—2,а) из прутьяных канатов при помощи веревок, проходящих через тело тюфяка. Путьяные канаты (10—13 см толщиной) делаются из тонких ивовых прутьев, перевязанных вицами через 0,3 м. Толщина хворостяных тюфяков — 0,45—0,8 м.

Фашинные тюфяки отличаются от хворостяных тем, что вместо слоев хвороста укладываются слои фащин, направленных в каждом слое нормально к фашинам в нижележащем слое. Толщина фа-

шинных тюфяков — от 0,7 до 1,5 м и более, в зависимости от числа слоев фашин (минимально два). Размеры тюфяков в плане принимаются по потребности, достигая иногда нескольких десятков метров и более.

Для опускания тюфяков в воду необходимо пригружать их камнем, щебнем или кулями с землей (примерно около 0,1 м³ камня на 1 м³ тюфяка).

Применяются также фашинные тюфяки, связанные из фашин диаметром 0,4—0,6 м проволокой и для жесткости скрепленные жердями; так называемые рамочные тюфяки делаются из ивняка, заложеного в три слоя в деревянные рамы и в таком виде сжатого до отказа.

г) Хворостяные покрывала, или маты, представляют собой плетения из одного-двух рядов хвороста по типу фиг. 32—2, б или по типу фиг. 32—2, в, с применением 5—8-сантиметровых жердей; при перевозке они скатываются в рулоны.

д) Хворостяные и дощатые щиты представляют собой слои хвороста толщиной около 0,1 м, уложенные комлями в одну сторону, скрепленные жердевыми схватками (6—8 см) или досками (горбылями).

е) Плетни, или плетневые заборы, состоят из кольев, забиваемых в землю или в сооружение и обвитых в переплет хворостом.

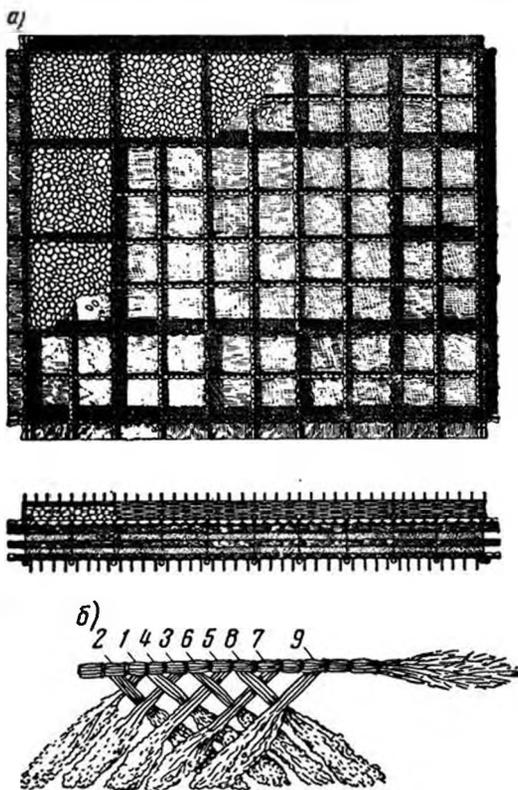
ж) Прутяные корзины (на Кавказе — «туры») вяжутся из ивовых прутьев и имеют форму цилиндров, трехгранных призм или параллелепипедов; корзины заполняются камнем и в таком виде опускаются в воду.

з) Сипаи (применяются главным образом в Средней Азии) представляют собой треногие или четвероногие козлы, загружаемые камнем и хворостом, иногда перекрываемые с одной из сторон плетневыми щитами (фиг. 32—3). Под действием загрузки и подмыва грунта козловые ноги погружаются в грунт дна, и тем обеспечивается большая устойчивость сипайного сооружения.

и) Металлические сетки применяются для различных покрытий и заграждений, для устройства сетчатых сооружений. Сетки плетутся из оцинкованной проволоки диаметром 2—4 мм с ячейками размером от 1 до 17 см, чаще 6—12 см, в зависимости от размеров загружаемого или покрываемого ими материала.

к) Сетчатые, или габионные, конструкции:

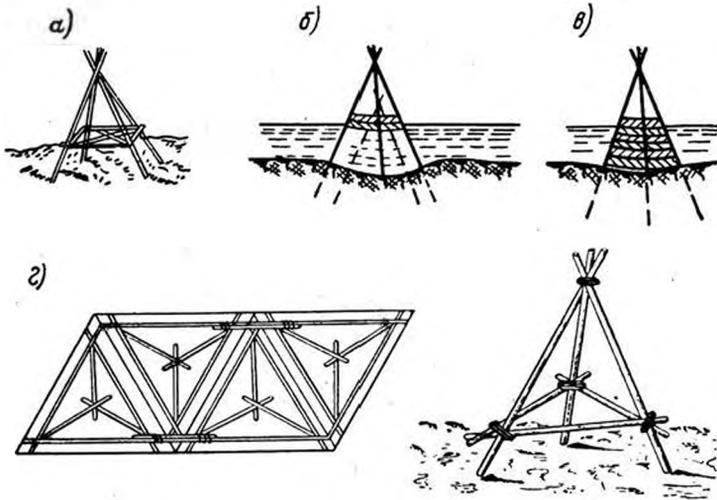
1) габионы — ящики-параллелепипеды из сетчатых стенок (фиг. 32—4, а), собираемые из отдельных частей на месте постройки и



Фиг. 32—2. Хворостяные покрытия

а — тюфяк; б и в — покрывала (маты)

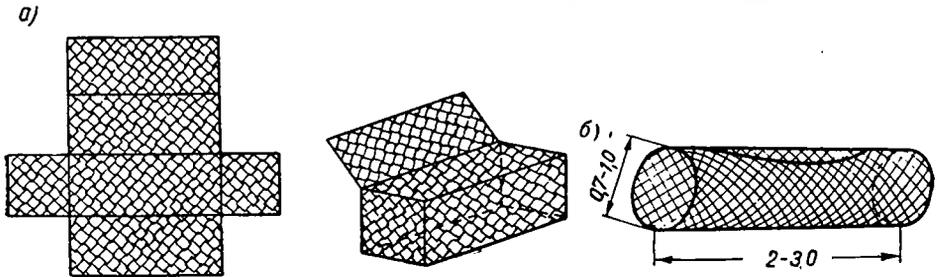
заполняемые галькой, камнем; обычные размеры их: высота — 1 м, ширина 1—1,5 м, длина 3—5 м;



Фиг. 32—3. Сипаи

а — четырехногий сипай; б — пригрузка сипаев и погружение их в грунт; в — сипай полностью погружен; г — трехногий сипай и образование сипайной стенки

2) габионные тюфяки отличаются от габионов небольшой высотой (0,4—0,5 м) при размерах в плане (2×3—3×4 м);



Фиг. 32—4. Сетчатые конструкции

а — габион в развернутом виде; б — сетчатый цилиндр

3) сетчатые цилиндры (фиг. 32—4, б) и мешки отличаются от габионов формой, а также способом опускания, а именно: они нагружаются камнем на подмостях и затем сбрасываются в воду.

3. Основные требования, предъявляемые к регуляционным сооружениям

В большинстве случаев регуляционные сооружения располагаются непосредственно на дне потока, которое подвергается, как известно, деформациям от явлений эрозии.

Поэтому от конструкций регуляционных сооружений требуют:

а) достаточной сопротивляемости их поверхности размыву и разрушению водой, льдом, ударам крупных наносов;

б) достаточной устойчивости против сдвига или опрокидывания под напором воды;

в) подвижности и гибкости при сохранении связности элементов, позволяющих сооружению приспособляться к различным деформациям основания и выполнять свои функции без нарушения прочности сооружения;

г) простоты производства работ и ремонта сооружений.

Точной характеристики сопротивляемости выправительных сооружений разрушению текущей водой нет; применяют критерий сопротивляемости размыву или по предельно допускаемой влекущей силе $S_0 = \gamma hJ$, или по предельно допускаемой скорости течения. Данные о величине S_0 и допускаемой средней скорости v_0 потока (при глубине $h = 1$ м) для различных видов конструкций, являющиеся, конечно, лишь ориентирующими и условными, приводятся в соответствующих местах ниже или помещены в приложении III (часть I).

Подвижность конструкций обеспечивается тем, что материал (камни, габионы, фашины и т. д.) в сооружениях обычно не связывается вяжущим раствором, а укладывается отдельными блоками, так что конструкция легко деформируется в случае подмыва основания и заполняет собой образовавшиеся вымоины.

Связность при большом весе отдельных блоков сооружения достигается силами трения между блоками и взаимным зацеплением или особыми связями, препятствующими сдвигу блока водой, а при малом весе различными покрытиями и оболочками сооружения, легко деформируемыми, но не разрушающимися, какovy, например, плетневые ограждения, ряжи, корзины, габионы и пр.

Особо необходимо отметить защитную роль проникаемых для воды покрытий и подстилок в виде тюфяков и фашин. Вода, проникшая в толщу хвороста, теряет свою скорость настолько, что поток оказывается не в состоянии размывать грунт, а наносы, влекомые потоком, задерживаются в теле тюфяка.

В случае подмыва русла у оконечностей тюфяков и под ними вымоины заполняются опускающимися под действием собственного веса частями тюфяков и фашин, и размыв прекращается.

В условиях размываемых русел, сложенных из мелкозернистого материала, фашинное или тюфячное покрытие под регуляционными сооружениями является обязательным.

Устройство монолитных конструкций (бетонных, бутовых стен и т. п.) в подобных условиях нецелесообразно и даже вредно, так как они, не обладая внутренней подвижностью и гибкостью, при деформациях русла разламываются на отдельные глыбы и перестают выполнять свою роль, создавая, кроме того, новые причины для ухудшения состояния русла.

§ 186. БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ ОДЕЖДЫ

1. Укрепление берегов в зоне выше меженного горизонта воды в реке

В указанной зоне берег покрывается водой только в периоды паводков или вообще свободен от воды (выше самого высокого горизонта). Здесь применяются покрытия, выполнимые лишь в отсутствие воды, не подвергающиеся разрушению, гниению и пр.

Приводимые ниже типы укреплений расположены в порядке возрастающей их сопротивляемости действию течения.

а) Посев трав ($S_0 = 1$ кг/м²). При отсутствии почвенного слоя на песчаных и глинистых берегах предварительно наносится слой в 10—15 см растительной земли, защищаемой от смыва полосами дерна шириной 15 см, на расстоянии 1 м одна от другой или, еще лучше,

перекрещивающимися. Сорты трав подбираются по местным климатическим и почвенным условиям.

б) Покрытие дерном ($S_0 = 1 \div 2 \text{ кг/м}^2$). Плитки дерна укладываются плашмя наискось к течению и пришиваются к спланированному берегу кольями или металлическими сетками с крупными ячейками ($v_0 = 0,8 \div 1,1 \text{ м/сек}$). Иногда плитки укладываются в стенку; такое укрепление более прочно ($v_0 = 1,7 \div 2 \text{ м/сек}$).

в) Рассадки ивы применяются для пологих песчаных берегов. Черенки свежесрубленной ивы (белотала, верболозы) толщиной 1,5—3 см и длиной 30—40 см высаживаются:

1) или рядами под углом 30—45° к урезу воды на расстоянии 0,5—1 м ряд от ряда и 0,2—0,4 м в ряду;

2) или гнездами в ямках диаметром 30 см при расстоянии ямок 1—1,5 м друг от друга;

3) или в бороздах (глубиной 15 см), причем черенки длиной до 20 см укладываются по дну борозды и засыпаются землей.

Величина S_0 около $2 \div 3 \text{ кг/м}^2$ — вначале, а после разрастания — до 5 кг/м^2 .

г) Хворостяная выстилка представляет собой слой хвороста толщиной 15—20 см, пришиваемый к берегу прутьями-канатами и кольями ($v_0 = 1,5 \div 1,9 \text{ м/сек}$).

Большой эффект дает поперечная выстилка, где хворостины направлены поперек течения, меньший — продольная (хворостины вдоль течения), средний — косая, или наклонная (хворостины направлены под углом к течению). После прорастания выстилка долговечна.

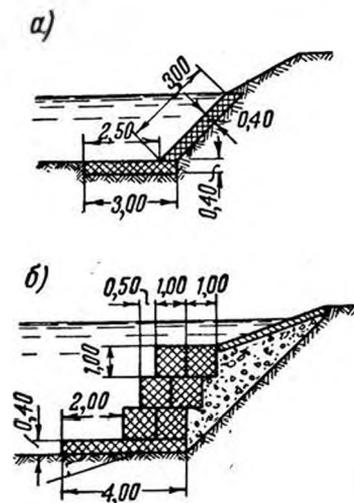
д) Плетни, косо направленные к течению параллельными пересекающимися («в клетку») рядами, прорастая, дают укрепление, характеризуемое величиной S_0 до 5 кг/м^2 . При заполнении плетневых клеток галькой, а тем более камнем, получается довольно прочное крепление (S_0 — до $10\text{—}12 \text{ кг/м}^2$, в зависимости же от размера камня — и более). Размеры клеток от 0,7 до 2 м при высоте 0,2—0,4 м, откос — не круче 1:1—1:1,5; под галечное или каменное заполнение клеток подстилается слой (8—10 см) мха, соломы или хвороста или же слой щебня и гравия.

е) Каменное мощение одиночное ($S_0 = 8 \div 16 \text{ кг/м}^2$, $v_0 = 2 \div 3,3 \text{ м/сек}$) или двойное ($S_0 \approx 24 \text{ кг/м}^2$, $v_0 = 3 \div 4 \text{ м/сек}$) было описано в § 164 (фиг. 28—5).

ж) Укрепление сетчатые и габионные применяются в тех случаях, когда нет подходящего по крупности камня для мостовой и наброски или когда откосы берегов очень круты.

Довольно надежное покрытие достигается габионными т ю ф я к а м и (фиг. 32—5, а), которые должны иметь в основании упор из габионов или же продолжаться и в пологой части дна. Для таких креплений можно принять $S_0 \approx 8 \div 16 \text{ кг/м}^2$ и $v_0 \approx 5 \text{ м/сек}$, в зависимости от толщины т ю ф я к а.

Более часто применяется крепление из габионов, образующих род стенки, имеющей плавное очертание вдоль берега (фиг. 32—5, б). Пазухи между габионами и откосами берега заполняются отложением нано-



Фиг. 32—5. Габионные берегоукрепления

а — из т ю ф я к о в; б — из габионов

сов, производимым самим потоком, если последний затопляет укрепления при паводке, в противном случае — искусственным способом. Для подобного типа укреплений можно принять $S_0 \approx 16 \div 20 \text{ кг/м}^2$. Надо отметить, что иногда проволока габионов быстро истирается наносами.

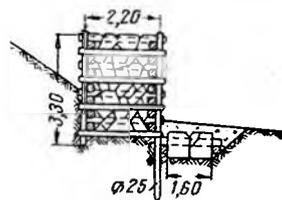
з) Бетонные и железобетонные покрытия, могущие заменить мостовую в случае отсутствия камня крупных размеров, устраиваются на спланированном береговом откосе 1:1,25—1:2 и положе; на реках они устраиваются редко ввиду дороговизны. Чаще применяются бетонные и железобетонные тюфяки, представляющие собой гибкое покрытие, состоящее из плит, связанных между собой арматурной проволокой диаметром 5—6 мм и толще, швы $\approx 2\text{—}2,5 \text{ см}$; эти тюфяки могут применяться и в подводных частях берегов. Размеры плиток бывают площадью примерно $0,4 \times 1,2 \text{ м}$, толщиной 8 см; плитки объединяются в секции по 20—25 шт., которые перевозятся скатанными в рулоны длиной 7—8 м, диаметром около 0,9 м. Подстилка из гравия необходима.

и) Асфальтовые покрытия представляют собой гибкие тюфяки ($90 \times 6 \text{ м}$) толщиной 5 см из битуминозного материала, например, 66% речного песка, 22% лёсса и 12% асфальта. Такой тюфяк имеет сетку из арматуры и расстилается на спланированном откосе.

Другим типом покрытия является тюфяк из асфальтобетона толщиной 5 см с арматурной сеткой или без нее, выполняемый на месте, на гравелистой подготовке (аналогично типам, описанным в § 164).

к) Сухая каменная кладка выполняется в виде стенок из крупных камней (0,3—0,5 м и более) по возможности правильной формы; для нее необходимо иметь неподвижное (неподмываемое) основание в виде достаточно заглубленного каменного массива, деревянного ростверка или ряжа. Величина S_0 принимается равной 40—60 кг/м².

л) Ряжевые укрепления отличаются наибольшей сопротивляемостью воздействию потока: $S_0 = 20 \div 100 \text{ кг/м}^2$ и даже более, в зависимости от конструкции. Изготавливаются они в виде заполняемых камнем сквозных ряжей, между венцами которых оставляются промежутки (фиг. 32—6). Верхний слой должен быть из особо крупных камней. Для удержания ряжей от сдвига, если позволяет грунт, иногда забивают в углах ряжа (у стен) деревянные или металлические сваи, старые рельсы и пр.



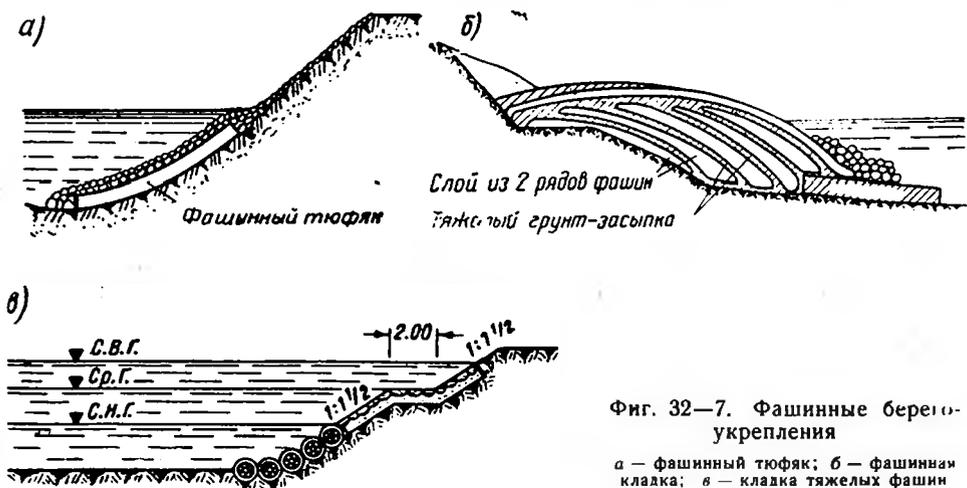
Фиг. 32—6. Береговое ряжевое укрепление

Ряжевые укрепления могут устраиваться и в надводных, и подводных частях берегов; они обладают достаточной подвижностью и прочностью; однако деревянные ряжи в условиях попеременного затопления и обнажения из-под воды начинают гнить. Более долговечны железобетонные ряжи, образуемые из железобетонных брусев сечением $0,15 \times 0,2 \text{ м}$, связанных между собой или металлическими тросами, или при помощи своего рода врубок; но широкого промышленного применения такие ряжи еще не получили ввиду дороговизны и некоторой сложности изготовления.

2. Укрепление подводных частей берегов (ниже меженного горизонта воды)

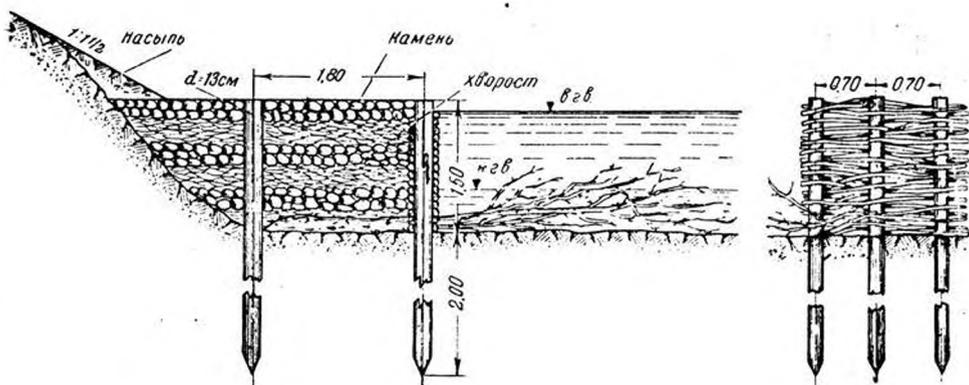
Ниже нормального меженного горизонта растительность обычно уже не может развиваться вследствие частого или постоянного покрытия этого участка берега водой, методы производства работ здесь иные,

чем в частях, обнажающихся от воды или покрытых небольшим слоем воды (0,3—0,5 м). Поэтому в зоне ниже меженного горизонта воды применяются следующие типы укреплений берега.



а) Фашинные укрепления:

- 1) в виде опускаемых в воду фашинных тюфяков, пригруженных камнем или кулями с землей (фиг. 32—7,а);
- 2) в виде погружаемой фашинной кладки (при глубинах до 1,5—1,7 м) (фиг. 32—7,б);
- 3) из тяжелых (груженых) фашин (фиг. 32—7,в) и карабур;

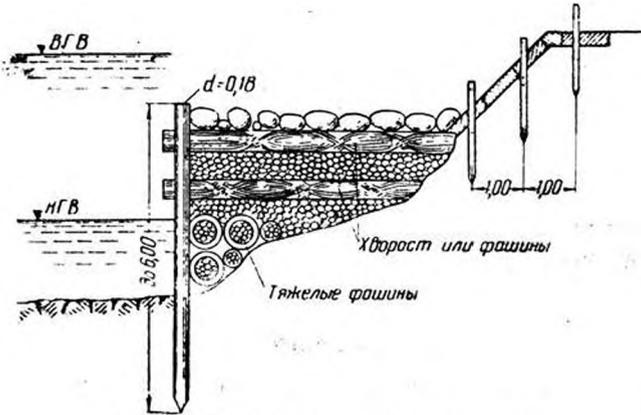


4) комбинированным способом: из тюфяков и фашинной кладки (при глубинах более 1,5 м), из тюфяков и тяжелых фашин и т. д.

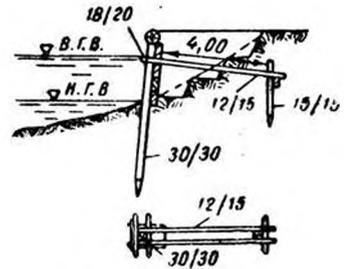
Этого рода укрепления свойственны равнинным рекам; допустимы $S_0 = 3 \div 7 \text{ кг/м}^2$, $v_0 \approx 3 \text{ м/сек}$.

В отношении фашинной погружаемой кладки надо отметить необходимость хорошей заделки ее концов в берег, для чего устраивается в нем специальная выемка. Самая кладка ведется так: кладется первый ряд фашин верхушками в сторону реки и «пришивается» прутья-

ными канатами и кольями; на этот ряд кладется второй, тоже пришивается, и этот слой пригружается тяжелой землей. На первый слой укладывается аналогично второй (тоже из двух рядов фашин) и затем последующие, постепенно выдвигаемые в реку до заданной трассы или линии крепления.



Фиг. 32—9. Фашинно-свайное крепление



Фиг. 32—10. Свайно-заборчатая стенка

б) Плетнево-каменные и хворостяно-каменные укрепления. Плетнево-каменные укрепления представляют собой одиночные или двойные плетни (фиг. 32—8) высотой до 1—1,5 м, связанные между собой плетневыми перегородками, а иногда схватками поверху, и заполняемые перемежающимися слоями камня и хвороста, сплетаемого иногда в полотнища (последний тип распространен на Кавказе). Сопrotивляемость этих укреплений характеризуется $S_0 \approx 8 \text{ кг/м}^2$. Хворостяно-каменное укрепление может выполняться и без ограждающих плетней. Оно представляет собой кладку из перемежающихся горизонтальных рядов камня и хворостяных слоев с откосом 1 : 0,5—1 : 1. Вместо хвороста во временных сооружениях может применяться камыш (так называемая «таштуганная» кладка в Средней Азии).

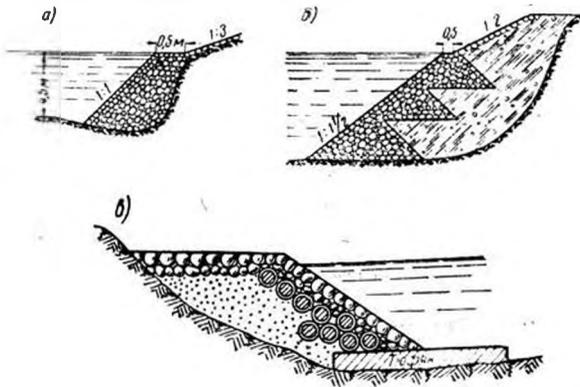
в) Свайные и шпунтовые укрепления представляют собой более прочные, но и более дорогие, чем плетнево-каменные, конструкции, являясь в то же время развитием последнего типа.

Свайные укрепления представляют собой или сплошной ряд свай, или сваи, забитые по плавной трассе в плане на некотором расстоянии друг от друга и загруженные со стороны берега хворостом, тяжелыми фашинами и камнем (фиг. 32—9), габионами (цилиндрами), досками, пластинами (свайно-заборчатое укрепление, фиг. 32—10). При свободной высоте стенок более 1—1,5 м устраивают анкеры для увеличения устойчивости укрепления.

В шпунтовых укреплениях стенки устраиваются в виде шпунтового ряда с засыпкой из крупнозернистого песка и более крупных материалов. Особое внимание надлежит обращать на защиту стенок от подмыва со стороны реки, забивая их на соответствующую глубину или делая перед стенкой отсыпь из камня, фашин и т. п.

д) Каменные укрепления устраиваются в виде набросок или отсыпок камня, лежащего под водой откосом, обычно не круче 1 : 1. Тип каменной наброски в чистом виде — один из дорогостоящих — представлен на фиг. 32—11,а; в целях удешевления и при недостатке крупного камня внутреннюю часть отсыпают из мелкого или из щебня и

гравия под защитой постепенно возводимых наружных каменных призм (фиг. 32—11,б). В случае отсыпки мелкого грунта целесообразно прикрывать его тяжелыми фашинами для лучшей защиты от вымывания его водой (фиг. 32—11,в).



Фиг. 32—11. Каменные береговые укрепления

е) Габрионные укрепления под водой могут выполняться только в виде опускаемых в воду габрионных цилиндров или вальцев, описанных выше; лишь при глубине, меньшей 0,8—0,9 м, удастся укладывать обычные габрионы.

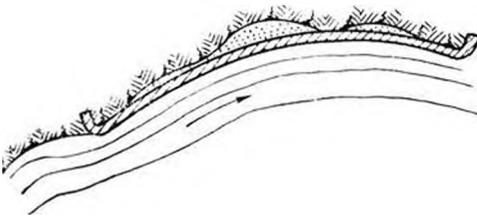
ж) Ряжевые укрепления (из деревянных ряжей) можно возводить в воде, нагружая камнем ряж, установленный на плаву в месте опускания, и одновременно его наращивая. Однако такой операции иногда препятствуют значительные скорости течения в потоке.

з) Сипайные укрепления могут возводиться в тех же условиях, что и ряжевые.

и) Бетонные и железобетонные укрепления делаются в виде жестких подпорных стенок, обычно выполняющих функции набережных. Подробнее такие укрепления описываются в курсах водных путей и портов.

3. Общие замечания

Тип укрепления по высоте берега может меняться: например, выше горизонта паводка может быть применен только посев трав, ниже, в очень редко затопляемой зоне, — одерновка, еще ниже, в зоне часто повторяющихся уровней, — прорастающие хворостяные крепления или мощение и т. д. Подводная часть крепления является наиболее ответственной, так как служит опорой для всего вышележащего крепления берегового откоса, и вместе с тем подвергается наибольшему размывающему воздействию потока. Целесообразно почти во всех случаях, а при легко размываемых



Фиг. 32—12. Планировка берегового укрепления (опояска)

грунтах совершенно обязательно, в основании крепления выпускать в сторону реки тюфяки или другие гибкие прикрытия.

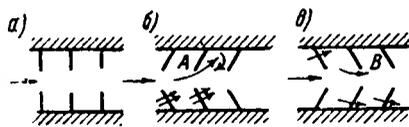
При разбивке берегоукрепления в плане необходимо придавать ему плавное очертание во избежание резкого воздействия потока на выступающие части крепления и плавно, без выступов, сопрягать его с берегами в концевых частях.

Для этого приходится берег планировать (срезать или подсыпать), причем иногда линия бровки укрепления может значительно отходить от берега и самое крепление может иметь вид продольной дамбы (фиг. 32—12). Этот тип крепления называется иногда береговой опояской. Пазухи между опоясками и берегом заносятся наносами в паводок или заполняются искусственной отсыпкой, если наносов в реке мало.

§ 187. ПОПЕРЕЧНЫЕ И ПРОДОЛЬНЫЕ ВЫПРАВИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО ТИПА

1. Общая характеристика поперечных сооружений

Основной вид этих сооружений — поперечная полузапруда — (буна) — является самой распространенной конструкцией в регулировании (выправлении) речных русел. По отношению к направлению течения полузапруды располагаются нормально (фиг. 32—13,а) или под углом острым (фиг. 32—13,б) и тупым (фиг. 32—13,в). Лучшим надо признать направление против течения под углом, величина которого назначается в пределах $75-85^\circ$ (по новейшим предложениям — и под более острым углом) по соображениям лучшей заносимости пазух А между полузапрудами; это крайне желательно для лучшей защиты берегов и корней полузапруд от размыва переливающейся при паводке через их гребни водой. Но зато воздействие потока на голову полузапруды при таком ее направлении оказывается весьма сильным и требует от конструкции большой прочности, зона водоворотного течения около полузапруды может быть значительной. Исходя из этих соображений, чаще полузапруды располагают нормально или даже по направлению течения, в частности при устройстве высоких (паводочных) береговых шпор.



Фиг. 32—13. Схемы расположения полузапруд

Длина полузапруды определяется проектной шириной регулируемого русла (допускать сильное стеснение реки не следует), при защите берегов она зависит от формы берега и других факторов, а также связана с расстоянием между полузапрудами.

По высоте гребня над горизонтами воды в реке полузапруды делятся на три вида:

а) донные полузапруды, служащие для защиты основания береговых сооружений (укреплений (фиг. 32—14,а) дамб, стен); высота этих полузапруд (см. ниже, п. 4) незначительна; действие их на поток даже при низких горизонтах воды весьма умеренное;

б) меженные полузапруды, предназначенные для защиты частей берега и для регулирования меженного русла реки; в этом случае (фиг. 32—14,б) гребень полузапруды делается несколько выше расчетного низкого горизонта воды в реке; действие указанных полузапруд на поток в межень значительно, но при высоких горизонтах воды — умеренное;

в) высокие полузапруды (фиг. 32—14,в), предназначенные для регулирования реки при средних и высоких горизонтах воды; эти полу-

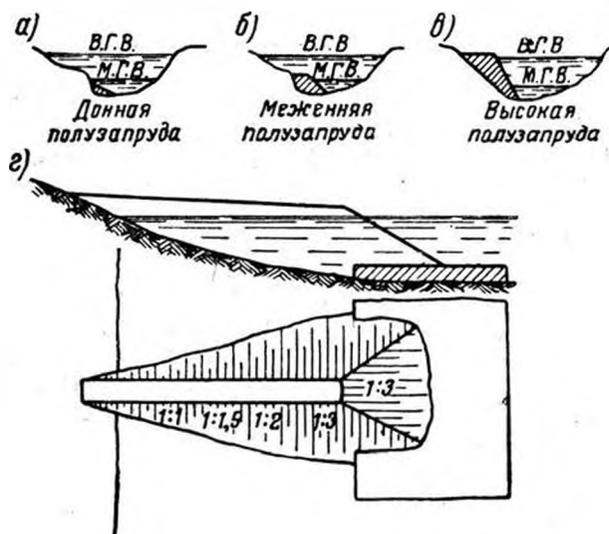
запруды производят весьма сильное действие на поток и сами подвергаются сильнейшему натиску воды, поэтому обычно направляются к потоку под прямым или тупым углом.

2. Конструкции поперечных сооружений тяжелого типа

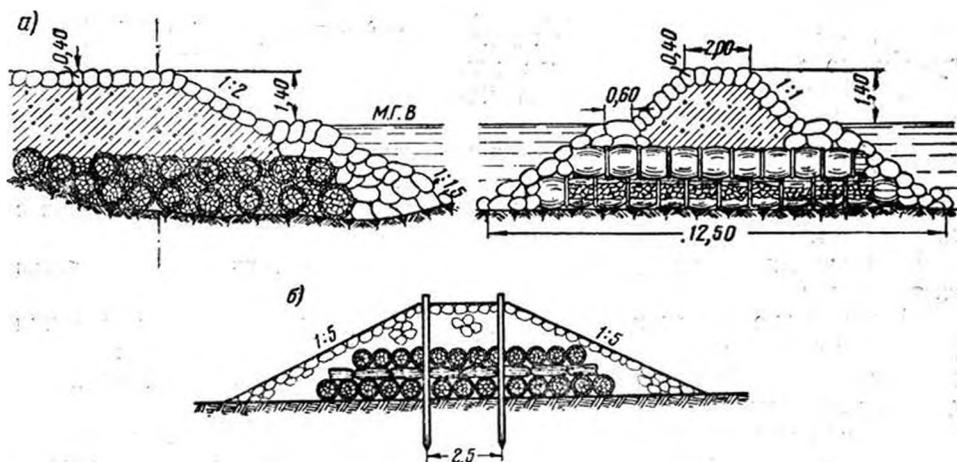
В поперечном сечении полузапруды имеют обычно трапециoidalную форму.

Гребень их должен быть хорошо укреплен против размыва, ударов льда и тому подобных воздействий, иногда он делается плавным закругленным для облегчения перелива воды.

Корни полузапруд прочно заделываются в берег не менее чем на 2—4 м.



Фиг. 32—14. Типы полузапруд и основная их форма



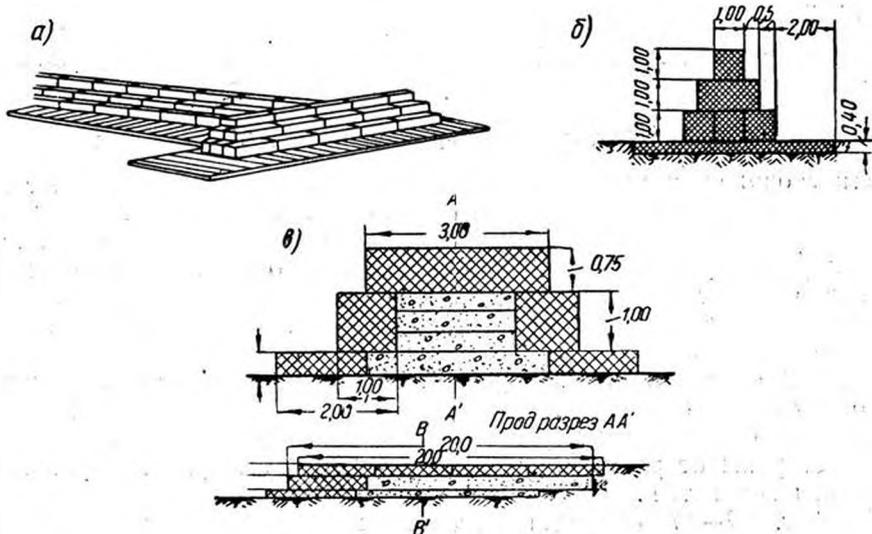
Фиг. 32—15. Фашинно-хворостяные полузапруды

Чем ближе к голове, тем полузапруда подвергается большему воздействию воды, поэтому откосы ее делают все более пологими: с откоса 1:1 у корня постепенно переходят к 1:1,25—1:1,5—1:2—1:2,5 и до 1:3 к голове; при этом сама полузапруда уширяется (фиг. 32—14,з).

Голова выполняется особенно тяжелой и прочной, имеет пологие откосы 1:3—1:4 и подстилается обязательно широким тюфяком. Иногда голова делается в виде короткой продольной дамбочки, так что полузапруда в плане получает вид буквы Т (фиг. 32—16,а), что несколько смягчает воздействие потока на голову.

Гребню полузапруды в ее продольном профиле придают подъем к берегу 1:20—1:200 в зависимости от ее длины и от высоты берега, чем достигается, во-первых, направление переливающейся через нее воды в сторону русла и, во-вторых, постепенность расширения живого сечения реки при подъеме уровня воды.

а) Ф а ш и н н ы е полузапруды устраиваются из фашинной погружаемой кладки (по типу фиг. 32—7,б), причем в случае глубины большей, чем 1,5 м, нижняя часть полузапруды выполняется из тюфяков. Для увеличения веса полузапруды и сопротивления ее сдвигу при зна-



Фиг. 32—16. Габрионные полузапруды

чительных скоростях течения фашинная полузапруда обсыпается камнем.

Кроме таких конструкций, применяют полузапруды из погружаемых тяжелых фащин с обсыпкой камнем (фиг. 32—15,а) и хворостяно-тюфячной кладки.

Хворостяно-тюфячная кладка получается укладыванием тюфяков и фащин перемежающимися рядами. Для прочности такой кладки и лучшей связи с основанием кладку иногда «прошивают» сваями (фиг. 32—15, б). Применяют кладку и из одних тюфяков, опускаемых в воду с обычной пригрузкой землей и камнем.

б) Ка мен н ы е полузапруды строятся трапециoidalного сечения из каменной наброски с откосами не менее 1:1—1:1,5; верховой откос делается обычно круче низового; у поверхности наброски укладывают крупный камень, под головы расстилают фашинные тюфяки.

При большой глубине и в целях экономии камня каменная полузапруда делается с ядром из гравия или тяжелых фащин, прикрытых с поверхности крупным камнем.

Каменные полузапруды отличаются высокой сопротивляемостью действию воды.

в) Г а б и о н н ы е полузапруды выполняются в виде кладки габионов на габионных же тюфяках (фиг. 32—16,а, б), причем внутренняя часть широких полузапруд может заполняться материалами русла, что дает экономию в проволоке (фиг. 32—16,в). Голова обычно уширяется, как и тюфяк под ней; иногда габионы обсыпаются камнем для лучшей защиты проволочной сетки от действия воды и наносов.

г) Р я ж е в ы е полузапруды устраиваются из деревянных (сквозных) и железобетонных ряжей. Конструкция их почти ничем не отличается от конструкции ряжевых береговых укреплений.

д) П р о ч и е к о н с т р у к ц и и. Существуют разнообразные комбинации основных материалов в полузапрудах: дерева, камня и земли, подбор которых определяется местными условиями. В Средней Азии применяются сипайные полузапруды (фиг. 32—3) и полузапруды из таштуганной кладки.

Ш п о р ы представляют собой короткие полузапруды, которые возводятся у береговых креплений и продольных сооружений. Устраиваются они аналогично описанным выше образцам полузапруд.

3. Продольные направляющие дамбы

Эти сооружения служат для направления течения, действуют на поток мягче и слабее, чем поперечные, но вдоль таких дамб создается продольное течение с повышенными скоростями, которое может привести к размыву основания дамбы и ее речного откоса. По конструкции продольные дамбы в общем мало отличаются от полузапруд; почти все описанные выше типы полузапруд могут быть применены и для продольных дамб.

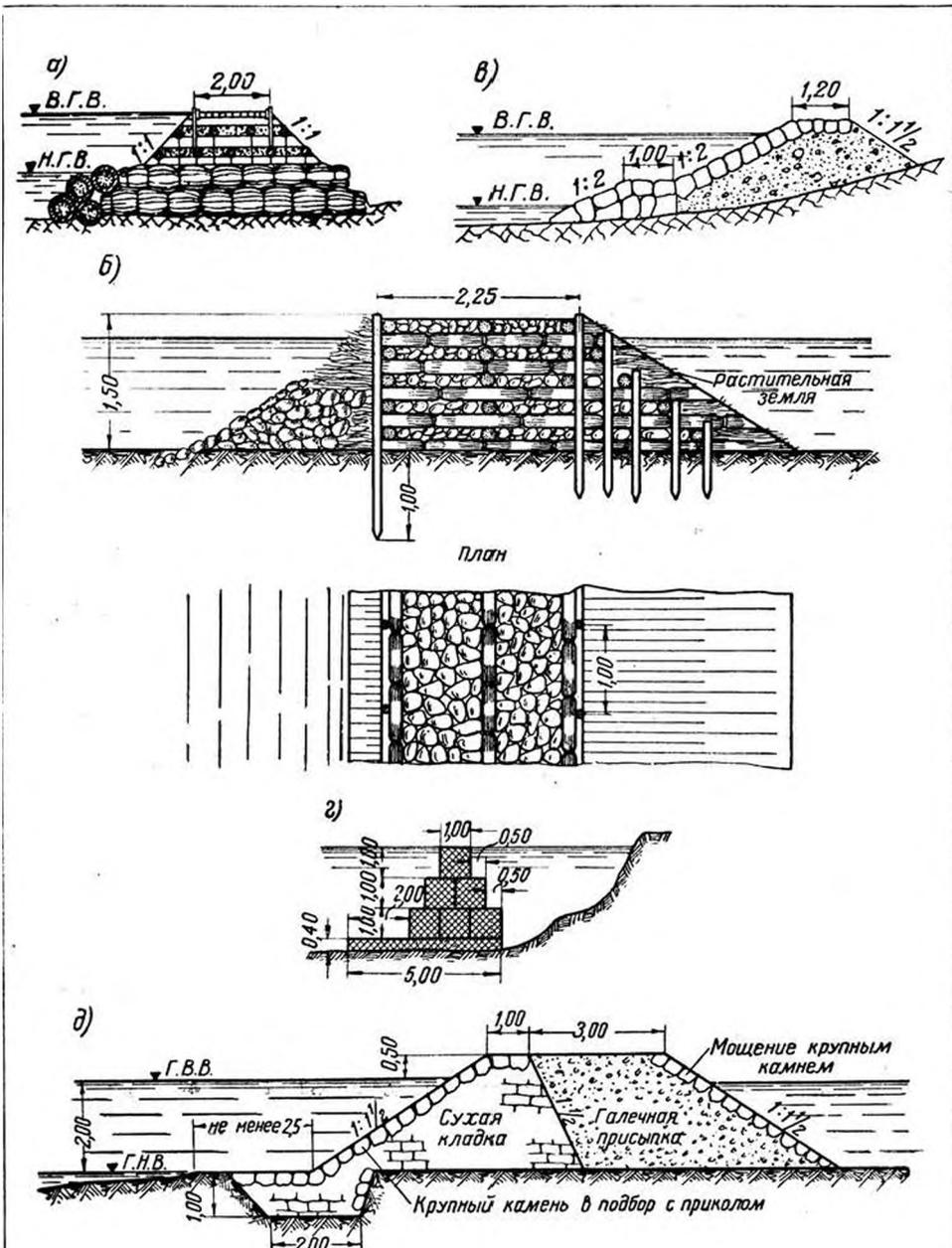
Основные отличия от поперечных дамб заключаются в придании речному откосу (обращенному к реке) дамбы большей пологости и большей прочности, чем береговому, и в защите основания дамбы с речной стороны от размыва выдвиганием в реку тюфяка, устройством отсыпей, шпор и т. п.

На фиг. 32—17 приведен ряд примеров конструкций продольных дамб: а) фашинная с защитой основания тяжелыми фашинами, б) хворостяно-каменная; в) гравийная с каменным защитным покрытием; г) габионная; д) из сухой каменной кладки (для горных рек).

На реках Средней Азии применяют часто сипайные дамбы, составленные из отдельных сипаев, установленных в один-два ряда своими основаниями вплотную друг к другу и соединенных между собой при помощи бревен, проволоки и скоб (фиг. 32—3).

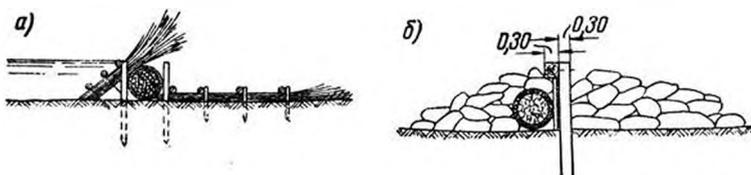
4. Донные полузапруды и донные пороги

Этот тип сооружений имеет целью защиту дна русла и оснований сооружений от чрезмерных размывов путем уменьшения местных уклонов потока, а с ними и скоростей течения. Высота порогов и донных полузапруд обычно невелика, меньше глубины потока, и зависит от местных условий русла и заданий. Порог преграждает всю ширину русла по дну, полузапруда — только часть. Конструкции их сходны с конструкциями обычных полузапруд, но проще; они различаются в зависимости от материала, скорости течения потока и способа производства работ. Последний в свою очередь различен для горных потоков и ручьев, где кладка может вестись почти насухо в известные периоды времени, и для рек с постоянным течением, где кладку приходится вести под водой.



Фиг. 32—17. Продольные дамбы

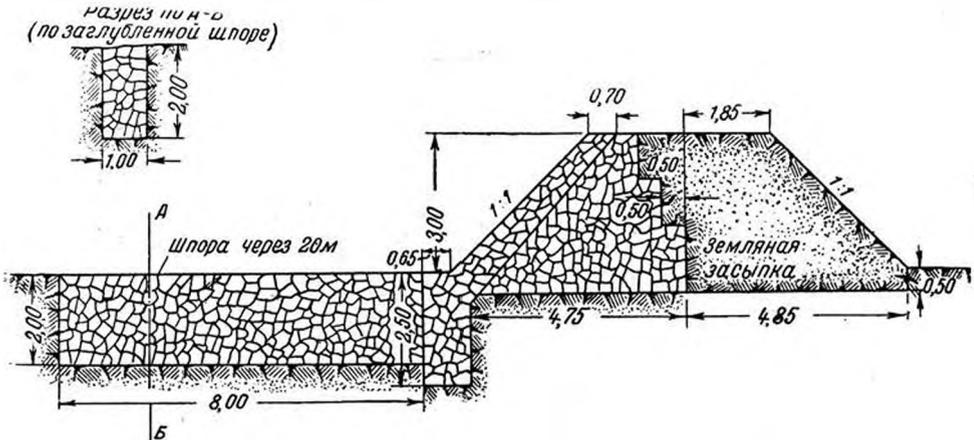
а — фашинная; б — хворостяно-каменная; в — гравийно-каменная; г — габионная; д — из сухой каменной кладки



Фиг. 32—18. Фашинные и фашинно-каменные донные пороги и полузапруды

На горных ручьях и речках устраиваются донные полузапруды и пороги плетневые, фашинные, фашинно-каменные (фиг. 32—18) и каменные из крупных камней, иногда в виде стенок из сухой кладки (реже — на растворе), целиком опущенных в грунт с целью воспрепятствовать общему понижению русла (фиг. 32—19).

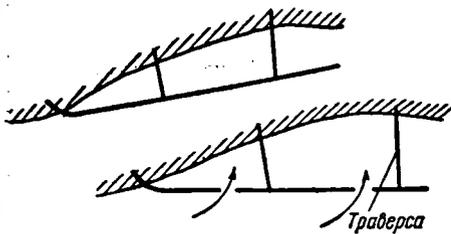
При необходимости выполнять донные полузапруды и пороги под водой их делают из наброски камня или тяжелых фашин, на равнинных реках — иногда и из фашинных туюфяков.



Фиг. 32—19. Донный порог из сухой каменной кладки у основания продольной дамбы

5. Траверсы и наносоудержатели

В случае необходимости ускорить и усилить процесс заиления части русла, ограниченной продольными или поперечными дамбами, а также заиления закрытых рукавов устраиваются особые поперечные сооружения, называемые траверсами и наносоудержателями. Первые представляют собой дамбы, соединяющие берег и продольную дамбу (фиг. 32—20), конструкции их совершенно аналогичны полузапрудам, отсутствует лишь типичная головная часть. Для ускорения занесения пазух, ограниченных продольными дамбами и траверсами, в первых делаются отверстия, допускающие заход воды из реки в заиляемое пространство (фиг. 32—20).



Фиг. 32—20. Схемы траверс

Наносоудержатели представляют собой по существу траверсы, но легкого сквозного типа — плетневые, хворостяные и т. п. (§ 188).

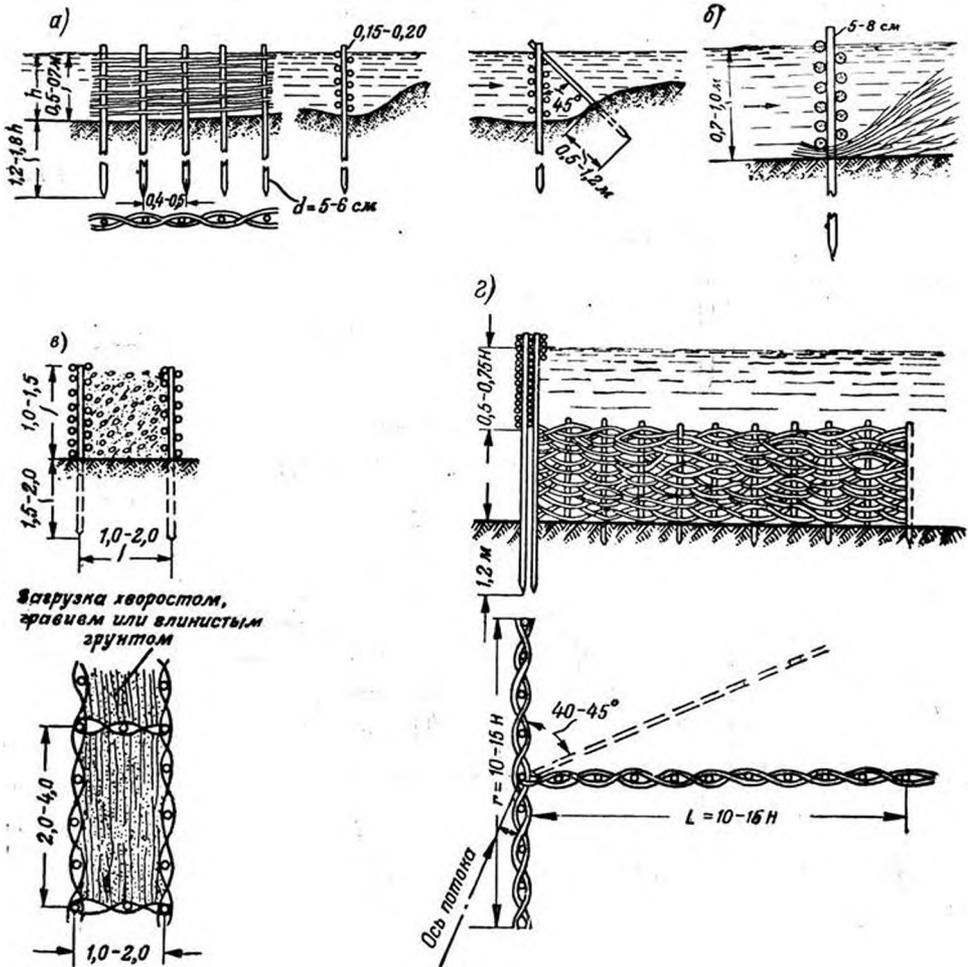
§ 188. ВЫПРАВИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЛЕГКОГО ТИПА (СКВОЗНЫЕ)

1. Общие соображения

Применение сооружений тяжелого типа не всегда является целесообразным. Они дороги, резко воздействуют на поток и в легко размываемых руслах вызывают чрезмерные местные размывы: при неудач-

ном размещении тяжелых сооружений всякое изменение их положения связано с большими и подчас дорогими работами.

Сооружения легкого типа в большинстве случаев являются сквозными (для воды), поэтому они мягче воздействуют на поток, сравнительно очень дешевы, легко перемещаются из одного места в другое в зависимости от требований, предъявляемых происходящими в реке изменениями русла. Эти сооружения проницаемы для воды, но все же



Фиг. 32—21. Плетневые сооружения

а — однорядный плетень; б — то же, с хворостяной выстилкой; в — двухрядный плетень; г — сооружение по типу, предложенному ниж. Шадриним

представляют сопротивление для потока и потому, будучи расположены в русле реки, богатой наносами, вызывают уменьшение скоростей течения за собой, несколько отклоняют течение и таким путем способствуют отложению наносов в одних местах и размывам в других.

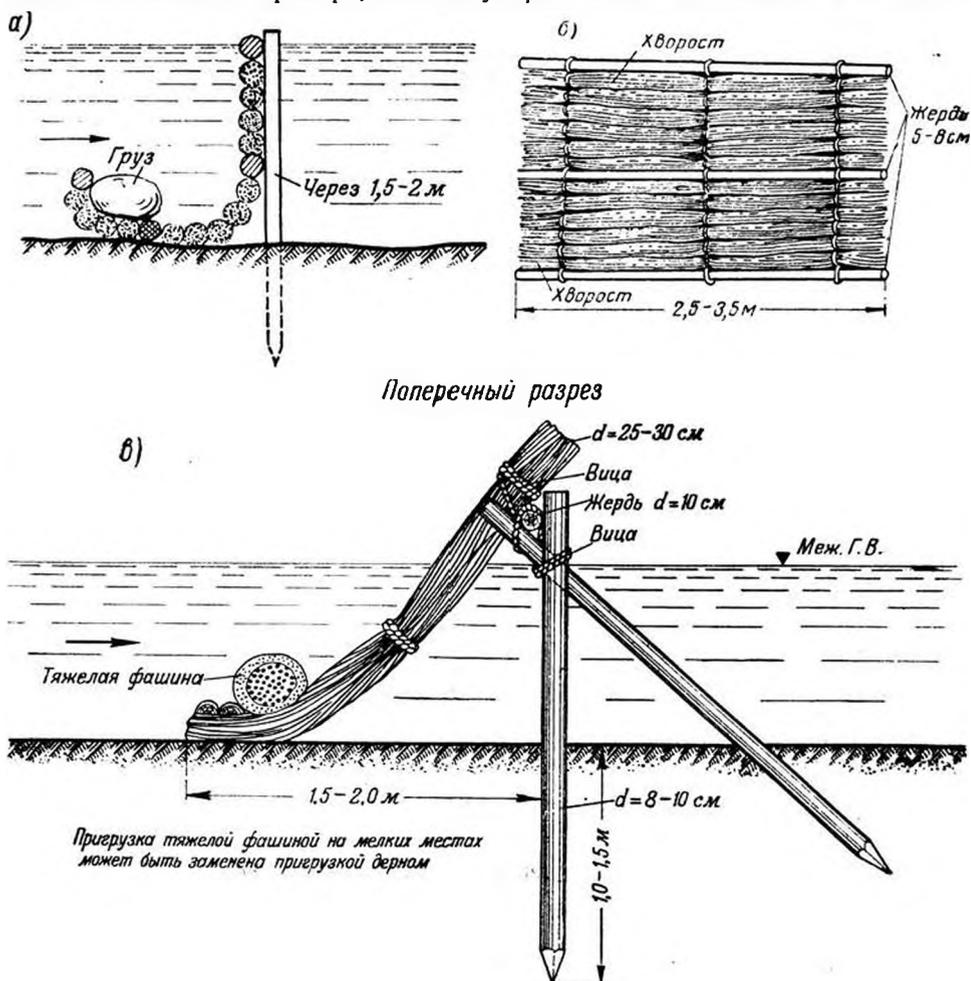
Иногда применяют сквозные заграждения, как метод повышения дна русла или образования карьера гравия и гальки (на горных реках).

Сооружения легкого типа применяются как самостоятельные регулирующие русло средства, так и в качестве подсобных средств при

сооружениях тяжелого типа. Часто они являются временными мерами для того или иного переформирования русла, которое потом закрепляется сооружениями более долговечного типа.

2. Плетнево-хвостяные и щитовые сооружения

Наиболее распространены сооружения из плетней, располагаемые в качестве легких самостоятельных полузапруд, направляющих стенок и вспомогательных траверс, наносодержателей. Основное назначение



Фиг. 32—22. Маты и щиты

а и б — хвостяной мат на сваях; в — хвостяной (метловый) щит на козлах

этих сооружений — частично отклонить поток и образовать ниже по течению отмель из донных наносов, попадающих туда как через пронизываемое тело полузапруды или под ней, так и в обход.

На фиг. 32—21 представлены некоторые из многочисленных типов таких сооружений: а — однорядный плетень без подкосов и с подкосами; б — однорядный плетень с хвостяной выстилкой, пригружаемой иногда еще мешками с землей и т. п., для прикрытия легко размываемого грунта; в — двухрядный плетень, ряды которого соединены между собой через 2—5 м поперечными плетнями. Инж. Кустов [60] пред-

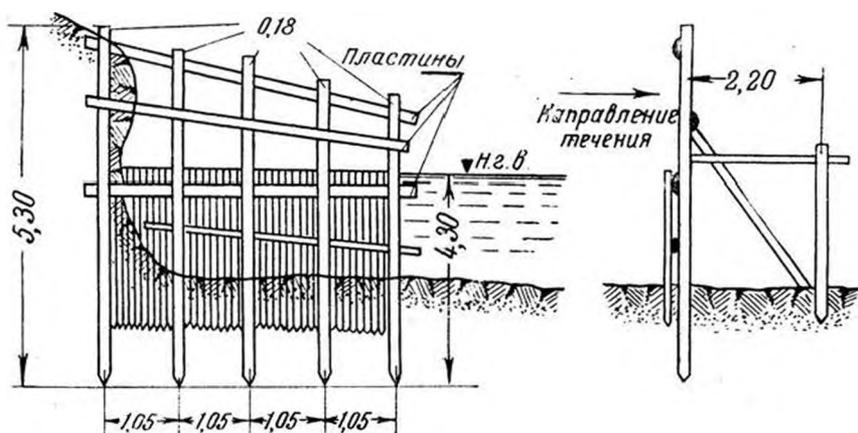
ложил не доводить плетение однорядного плетня до дна, в таком случае последний может быть использован, как щит проф. Потапова. Инж. Шадрин предложил Т-образные плетни, состоящие из продольного щита, не достигающего до дна на 0,25—0,5 глубины (фиг. 32—21,з) и устанавливаемого под углом 15—20° к оси потока, и из поперечного щита, заплетаемого от нижнего края продольного щита до дна и составляющего с последним угол 45—90°. Щит Шадрина существенно влияет на поперечную циркуляцию потока.

На фиг. 32—22 показаны сооружения из матов и щитов: а и б—хворостяной мат на сваях, в—хворостяной метловый щит на козлах. Применяются также плетневые щиты, опирающиеся на сипаи.

Вместо плетней в сквозных сооружениях можно применять металлические сетки и тому подобные завесы.

3. Свайные и заборчатые сооружения

Этого типа конструкции оказывают аналогичный эффект, главным образом на горных реках. На фиг. 32—23 представлена свайная полузаграда с забором из вертикальных колеев (Кавказ), а на фиг. 32—

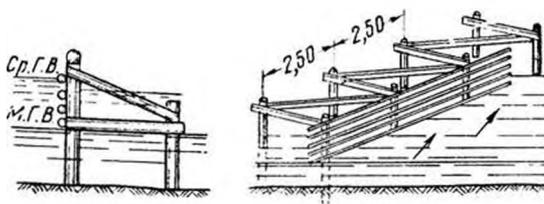


Фиг. 32—23. Свайная полузаграда

—24—заборы из горизонтальных пластин или жердей. Последние устанавливаются в пределах колебания средних и высоких вод и воздействуют на циркуляцию потока в паводок.

4. Ветвистые заграждения и завесы

Эти конструкции представляют собой заграждения из отдельных свежесрубленных деревьев с листвой (хвоей) или групп их, либо из хворостяных ветвистых покрывал и т. п., погруженных и плавающих в воде.

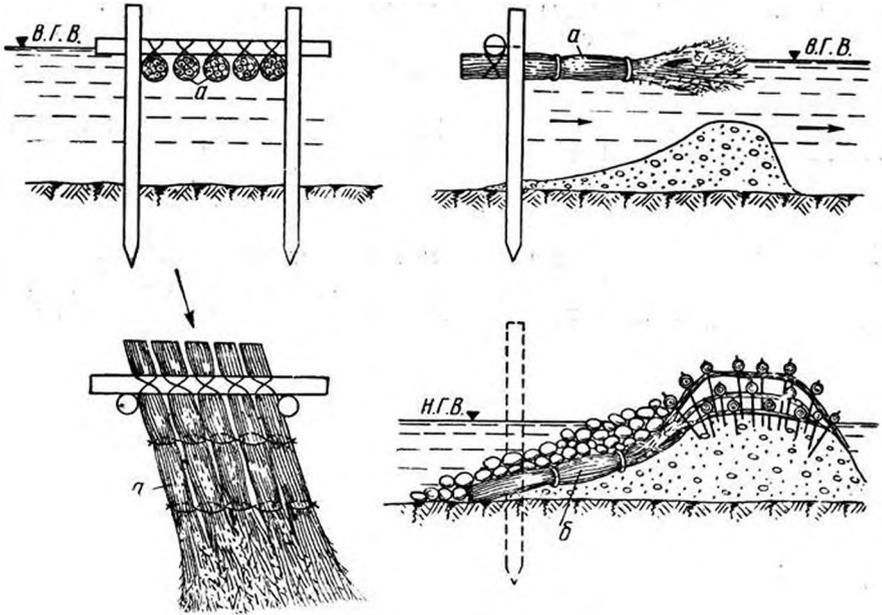


Фиг. 32—24. Заборы из горизонтальных пластин или жердей

Распространенный тип ветвистых заграждений состоит из целых деревьев, в частности елок, связанных тросами и закрепленных комля-

ми на простых якорях. В последнее время появились ветвистые заграждения на особых рамах (системы инж. Терехова) или в виде елочной или ивовой кладки по системе инж. Шатевича [60].

Иногда применяются на горных реках завесы из фашинных полотнищ (фиг. 32—25) на сваях диаметром 0,15—0,2 м, укрепленных схватками; полотнища эти подвешивают на уровне низкого или среднего горизонта воды.



Фиг. 32—25. Фашинная завеса

Под действием циркуляции в паводок, когда полотнище свободным концом всплывает, наносы выпадают за завесой и там образуется отмель, которая при высоких горизонтах воды может достигнуть высоты, даже большей, чем само сооружение; при спаде горизонта воды опускающаяся завеса прикроет отмель от возможного в последующем размыва, как тюфяком (фиг. 32—25). Если удалить схватки, то завеса а под нагрузкой набрасываемого камня опустится в положение б и, будучи пригружена камнем, явится постоянным укреплением намывого грунта.

Ветвистые щиты-завесы из хворостяных прутьяных канатов, закрепленные якорными грузами у дна, предложил инж. Громов; роль их оказывается в изменении направления донных струй потока.

§ 189. ПОДПОРНЫЕ, СПРЯМЛЯЮЩИЕ И ЗАГРАЖДАЮЩИЕ РЕГУЛЯЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

1. Запруды и пороги

Эти сооружения устраиваются главным образом при регулировании горных потоков. Они делаются из местных материалов: дерева, крупного камня, иногда из габионов и смешанные. Гребень запруд всегда имеет в середине понижение для водослива. Типы таких запруд (плотин) описаны в гл. 14 (часть I).

Пороги устраиваются обычно из сухой кладки по типу, представленному, например, на фиг. 32—19.

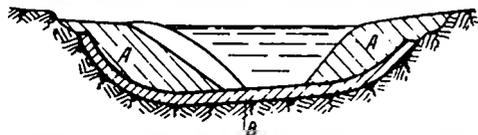
2. Заграждение рукавов

Запруды, устраиваемые для закрытия рукавов и протоков, чаще всего делаются из фашин, карабур, фашинных тюфяков, сипаев, земли, реже — из камня. По конструкции они близки к полузапрудам, так как напор на них невелик: он равен падению реки на длине от запруды до конца протока или до следующей запруды, если их несколько.

Запруды из фашинной погружаемой кладки показана на фиг. 32—26.

Низовой откос обсыпан камнем, и делается пологим, так как во

время прохождения паводка запруда затопляется; при высоте запруды более 1,5 м необходимо расстилать в основании ее тюфяки. Последние вообще необходимы в землястых руслах, так как иначе в период смыкания запруды русло будет чрезмерно размываться, что может сделать невозможным самое замыкание запруды.



Фиг. 32—27. Схема возведения запруды

к середине русла, но не по одной оси. Когда останется небольшой пролет, где образуется сильное течение, то его лучше заделывать под защитой временных деревянных щитов с верховой стороны, установленных на деревянных сваях или козлах или под защитой тяжелых фашин, карабур, опускаемых сверху на тросах.



Фиг. 32—28. Фашинная запруда, возводимая с частичным естественным намывом грунта

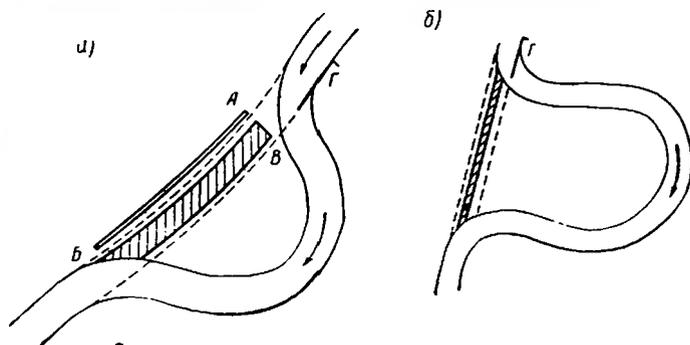
В целях экономии кладки при наличии в реке достаточного количества наносов используют заиляющую способность реки. Вначале укладывают фашинный тюфяк, после отложения перед ним слоя наносов — второй тюфяк, который ложится частью на наносный слой, частью на первый тюфяк (фиг. 32—28), затем аналогично третий, после чего ведут фашинную кладку.

Для большей непроницаемости фашинная кладка обсыпается с напорной стороны землей с креплением ее в верхней части против размыва в паводок. В последнее время перекрытие рукавов успешно делается способом гидромеханизации (намывом).

3. Устройство спрямлений русла (прокопов)

Эти работы ведутся двумя способами:

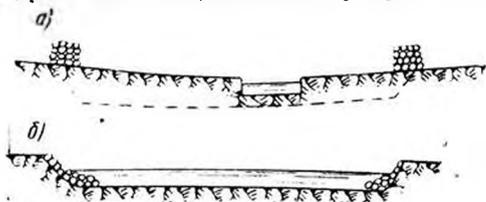
1) путем выемки грунта, причем русло готовится к пропуску потока полностью, т. е. с приданием расчетной по проекту формы, с укреплением откосов и пр.;



Фиг. 32—29. Схемы устройства прокопов

2) путем размыва водой реки первичной канавы по трассе прокопа, подготовленной заранее; в этом случае форма и размеры поперечного сечения нового русла, хотя и регулируются в процессе размыва, но с известными трудностями.

По первому способу работы обычно идут снизу против течения (фиг. 32—29,а), выемка разрабатывается пловучими землечерпательными снарядами или сухопутными экскаваторами. Вынутый грунт укладывается по берегам в виде валов АВ, ограждающих паводочное весеннее русло; естественная перемычка АВ, отделяющая выемку от реки, удаляется в последний момент и разрабатывается прорвавшимся речным потоком. Чтобы ускорить поворот потока в новое русло, в реке



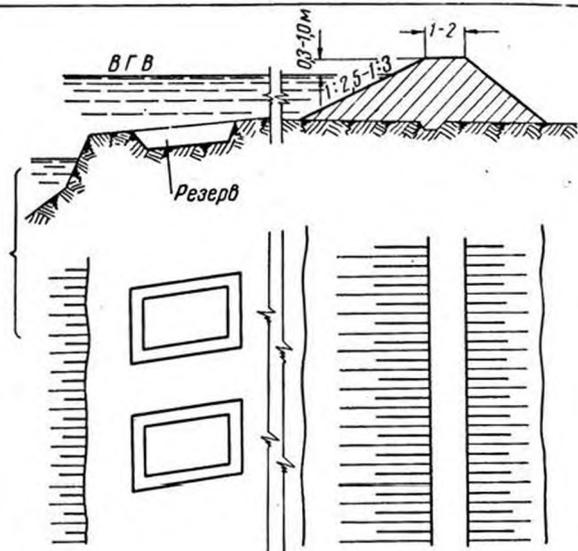
Фиг. 32—30. Схема ограничения русла прокопов

устанавливается направляющая дамба Г. Трассу спрямления АВ делают полого-криволинейной, начиная у А под углом к оси русла, — около $10-30^\circ$.

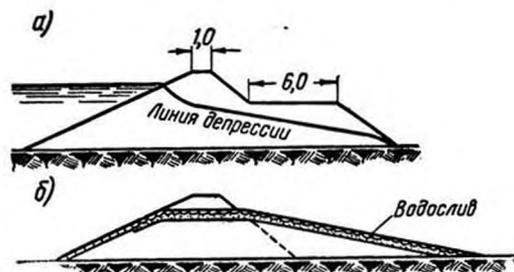
При втором способе выкапывается по трассе лишь канава (или несколько канав) размером $1/5-1/15$ будущего сечения и с верхней стороны пропускается речной поток, расход которого постепенно увеличивается путем выдвигения дамбы Г (фиг. 32—29). Ограничение ширины размываемого нового русла, если это нужно, делается путем укрепления его берегов, которое производится в известном смысле автоматически, если материал для берегоукрепления будет накоплен и расположен заблаговременно по трассе.

Например, можно камень или тяжелые фашины расположить в виде штабелей, как показано на фиг. 32—30,а. Когда берег будет подмыт, штабель обрушится и камень или фашины скатятся по откосу и защитят берег от дальнейшего размыва (фиг. 32—30,б).

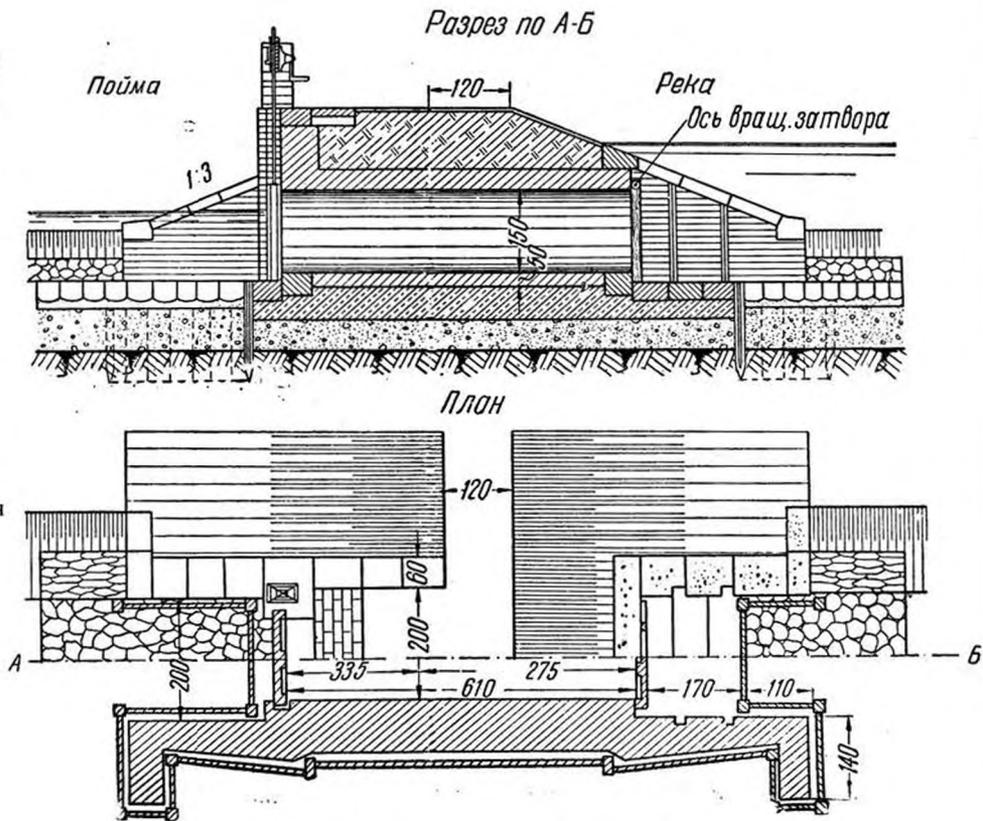
Второй из описанных способов дешевле, но имеет тот недостаток, что размываемый в прокопе грунт может откладываться в реке ниже по течению и образовать отмели, которые вредны для судоходства.



Фиг. 32—31. Схема устройства дамбы обвалования



Фиг. 32—32. Профили дамб обвалования



Фиг. 32—33. Трубчатый водоспуск в теле дамбы обвалования

4. Оградительные валы или дамбы обвалования

Для защиты земель от затоплений паводками или наводнениями дамбы возводятся из имеющегося вблизи грунта. Чаще всего это земляные плотины небольшой высоты, отличающиеся от описанных в гл. 12 только тем, что напор на них держится короткое время и вдоль напорного откоса имеется течение воды.

При высоте до 2—3 м валы имеют трапециoidalное сечение (фиг. 32—31), причем откос речной делается не круче 1 : 2,5—1 : 3, а откос пойменный может быть 1 : 2 и даже 1 : 1,5, хотя иногда делается и таким же, как речной, и даже положе (1 : 4 на р. Кура).

При большей высоте (фиг. 32—32, а) дамба имеет более сложный профиль, причем для езды по валу устраивается берма достаточной ширины. Летняя, т. е. затопляемая весенним паводком и незатопляемая летним, дамба представлена на фиг. 32—32, б; водослив вала укрепляется мощением и имеет пологий откос в сторону поймы.

Речной откос незатопляемых валов укрепляется обычно дерном или посевом трав, но на вогнутых участках трассы нередко применяется мощение.

Резервы для добычи грунта лучше закладывать с речной затопляемой стороны вала (фиг. 32—31) в тех случаях, когда обеспечено их занесение в паводок речными наносами.

Отверстия в валах делаются в виде трубчатых водоспусков (фиг. 32—33) — бетонных, железобетонных или металлических. Они снабжены обычно двумя затворами: речным — в виде поворотного клапана, подвешенного на горизонтальной оси и автоматически закрывающегося при проходе паводка в реке, и пойменным, приводимым в действие вручную.

За валами необходим тщательный надзор: малейшую обнаруженную фильтрацию, ходы грызунов, трещины необходимо срочно ликвидировать, иначе валу может угрожать прорыв. В период паводка на валах должна быть организована специальная служба, немедленно принимающая меры в случае аварий вала, непредвиденного повышения паводка и угрозы затопления вала, угрозы размыва его и пр.

ХИ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ТРЕТЬЯ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

§ 190. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И СОСТАВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

1. Задачи эксплуатации гидротехнических сооружений

Задачи эксплуатации заключаются в целесообразном и экономичном управлении расходами и горизонтами воды гидроузла или сооружения и в обеспечении нормального и бесперебойного выполнения сооружениями функций, для которых они построены, при соблюдении безопасности и максимальной долговечности сооружений и оборудования.

Вопросы целесообразного и экономичного управления расходами и горизонтами воды, или, иначе, водным хозяйством сооружения, относятся к так называемой оперативной эксплуатации и разрешаются различно в зависимости от водохозяйственного назначения сооружения; особенно сложны они при комплексном использовании водотока. Эти вопросы рассматриваются в специальных курсах использования водной энергии, ирригации, водного транспорта, водоснабжения.

Вопросы обеспечения бесперебойной работы гидротехнических сооружений путем правильного обслуживания их, контроля за их работой, своевременного принятия мер по предупреждению или устранению дефектов в виде различных ремонтов составляют главную задачу технической эксплуатации сооружений.

Кроме сказанного, в задачи технической эксплуатации входит также приспособление выстроенного сооружения к изменяющимся с течением времени водохозяйственным требованиям. Последнее вполне понятно, поскольку потребности народного хозяйства изменяются, растут: например, увеличение потребности в электроэнергии требует увеличения отдачи энергии гидроузлом, следовательно, повышения его напора, степени регулирования стока; рост орошаемых площадей требует повышения зарегулированности водотока и увеличения емкости водохранилища и т. п. Приспособление сооружений к новым требованиям достигается путем реконструкции сооружений.

2. Виды нарушений правильного функционирования сооружений

Нарушения нормального функционирования сооружений могут происходить в результате: а) дефектного выполнения строительных работ и нарушения требований проекта; б) неправильной оценки в проекте тех или иных природных условий, как, например, несущей способности основания, фильтрационных условий грунта, быстроты заиления водохранилища и т. п.; в) постепенного изнашивания, «старения», сооружений; г) воздействия на сооружения стихийных и чрезвычайных фак-

торов, например, исключительного паводка, необычайно мощного ледохода и т. п., которые не могли быть предвидены в проекте; д) неправильных действий эксплуатационного персонала, как например, несвоевременное открытие затворов, что могло вызвать перелив воды через гребень земляных сооружений; допущение подъема горизонта воды в верхнем бьефе сверх предельного; невыполнение требования об околке льда у сооружения и т. п.

Нарушения исправной работы сооружений бывают двух родов: 1) незначительные, вызывающие несущественное расстройство работы сооружения, и 2) крупные, серьезные, в результате которых сооружение может частично или совершенно прекратить свою работу.

К нарушениям первого рода можно отнести незначительные осадки сооружений, появление неглубоких трещин в бетоне, небольшую фильтрацию, мелкие повреждения покрытий и одежд, временные затруднения в маневрировании затворами, местные заилиения и отложения наносов, местные подмывы и размывы и т. п. Будучи вовремя исправлены сравнительно простыми и несложными работами и средствами, такие нарушения быстро ликвидируются и в дальнейшем не препятствуют правильному функционированию сооружений.

Более того, некоторые нарушения, даже не будучи исправлены, могут некоторое время не сказываться на работе сооружений, например, внешние небольшие повреждения, мелкие трещины. Однако с течением времени такие нарушения могут суммироваться, разрастаться и в конце концов привести к серьезным последствиям, т. е. превратиться в нарушения второго рода. Например, местный размыв одежды, не будучи своевременно ликвидирован, может привести довольно быстро к сносу одежды на большой площади или размыву берега, dna земляного русла, вызвать подмывы сооружения и угрожать существованию его капитальных частей.

Нарушения второго рода являются серьезными и крупными повреждениями сооружения, которые значительно сокращают эффект его работы или вызывают даже полное прекращение последней на сравнительно длительное время. В последнем случае нарушения называются авариями. Сюда относятся, например, подмыв флютбета плотины в результате разрушения рисбермы, усиленная сосредоточенная фильтрация с выносом части материала земляной плотины, угрожающая прорывом последней, обход водой примыкания плотины, резкая деформация устоев, делающая невозможным операции с затворами, и т. п.

К нарушениям второго рода относятся и умышленные повреждения или даже разрушения сооружений, вызванные, например, военными действиями, диверсиями и т. п.

3. Состав мероприятий по технической эксплуатации сооружений

Для обеспечения исправной работы сооружений проводятся следующие мероприятия: а) испытания сооружений при приеме их в эксплуатацию, так называемые пусковые или пуско-наладочные испытания; б) текущий контроль за состоянием сооружений и оборудования; в) выполнение установленных правил пропуска через сооружения воды, льда, наносов; г) профилактические и предупредительные меры против возможных нарушений правильной работы сооружений и их оборудования; д) своевременный текущий ремонт повреждений; е) капитальный ремонт сооружений; ж) капитальное восстановление поврежденных сооружений и реконструкция их в связи с изменением народнохозяйственных требований.

Перечисленные мероприятия могут быть сведены в две группы: 1) предупредительные, задачей которых является предупреждение возможных нарушений работы сооружений (пп. «а», «б», «в», «г»), и 2) ремонтные, или восстановительные, при помощи которых текущие нарушения ликвидируются и сооружение приводится в исправное состояние (пп. «д», «е», «ж»).

§ 191. ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

1. Пусковые испытания и приемка сооружений в эксплуатацию

Контроль за качеством строительных работ и их соответствием проекту производится в процессе строительства и фиксируется техническими контролерами и представителями проектной организации («авторский надзор»). При сдаче законченных сооружений в эксплуатацию производится осмотр этих сооружений, установление соответствия их проекту (с учетом актов технического контроля) и проверка их работы при помощи пусковых испытаний. Пусковые испытания состоят в проверке работы сооружений при создании на них необходимых напоров и горизонтов воды, пропуске по ним воды, регулировании расходов и уровней при помощи затворов, в проверке работы оборудования (затворов, механизмов, турбин, насосов и пр.).

При заполнении бьефов и каналов необходимо следить за появляющимися течами, особенно в земляных плотинах и дамбах, принимая срочные меры к заделке трещин и неплотностей. Само заполнение надо производить поэтому медленно: вначале до 1 м в сутки, а по мере повышения глубины и напора медленнее — 15—20 см/сутки и даже 5—10 см/сутки (в земляных дамбах). Перед заполнением камер шлюзов, водоводов, водобойных колодцев и вообще нижнего бьефа надо удалить строительный мусор (особенно камень, металл), так как нередко оставленные твердые предметы приводят к преждевременному износу и даже разрушению гасительных и тому подобных устройств. При последующем опорожнении каналов для освидетельствования облицовки снижение горизонта воды необходимо производить также медленно (20—30 см/час).

В результате осмотров и испытаний составляется перечень недоделок, которые должны быть выполнены перед сдачей сооружений в эксплуатацию, и указаний по особым условиям эксплуатации, которые были выявлены в период пусковых испытаний. Сдача сооружений в эксплуатацию фиксируется специальным актом.

2. Эксплуатационные инструкции и паспорт сооружения

Для правильной эксплуатации сооружения эксплуатационный персонал должен быть снабжен надлежащими инструкциями, знание которых персоналом обязательно проверяется.

а) Инструкции эксплуатационному персоналу обнимают все виды деятельности его на сооружении: по уходу за отдельными сооружениями, осмотру, контролю за их работой, по управлению расходами и горизонтами воды, по пропуску паводка и ледохода, по уходу за затворами и прочим оборудованием, по порядку маневрирования затворами, по производству ремонтов и пр. Инструкции дополняются различными правилами, схемами, должностными указаниями.

Специальные технические инструкции, отражающие принятые в проекте условия работы сооружения, должны составляться проектировщиками и прилагаться к техническому проекту сооружения. Сюда относятся, например, указания о порядке открытия отверстий плотины во избежание местных размывов в нижнем бьефе, о предельных допустимых горизонтах воды в верхнем бьефе, предельных нагрузках на мосты, на подъемное оборудование и пр. Эти инструкции могут дополняться приемной комиссией по приемке сооружений в эксплуатацию специальными указаниями.

Выполнение указаний, инструкций и правил является первым основным условием правильной эксплуатации сооружений.

б) Основным документом, в котором отражается состояние сооружения на протяжении его существования, является паспорт сооружения.

В паспорт сооружения вписываются основные, характеризующие сооружение, данные контрольных осмотров, все повреждения его, ремонты, дальнейшие конструктивные изменения и пр.

3. Наблюдения за состоянием сооружений

Систематические наблюдения на сооружениях должны вестись в отношении следующих факторов:

а) положения горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов у сооружения, а также в нескольких пунктах водохранилища и нижнего бьефа, канала и пр.;

б) расходов воды через водопропускные устройства сооружения: поверка кривой расхода в нижнем бьефе в связи с процессами ретрогрессии, т. е. постепенного понижения русла;

в) размывов в нижнем и верхнем бьефах у сооружения (дна берегов);

г) разрушения одежд и креплений, истирания покрытий и поверхностей сооружений;

д) отложения наносов, заиления, зарастания dna и берегов водохранилищ и каналов;

е) фильтрации через сооружение и в основании его (фильтрационное давление, расходы фильтрации и пр.);

ж) появления трещин в бетонных частях и фильтрации воды через них;

з) суффозии в земляных частях сооружений и их основаниях;

и) выщелачивания бетона или скальных оснований;

к) осадок и других деформаций сооружений и их частей;

л) деформаций склонов и берегов в районе сооружения (оползней и пр.);

м) температурного режима бетонных сооружений.

Способы производства таких наблюдений и исследований излагаются в гл. 34.

В дополнение к систематическим наблюдениям производятся периодические осмотры сооружений с фиксацией состояния внешних их поверхностей: разрушения их, истирания, появления трещин и т. п.

Такие осмотры особенно необходимы в речных сооружениях перед весенним ледоходом и паводком и после прохода льда и спада паводка; первые необходимы для подготовки к пропуску льда и паводка через сооружения, вторые—для учета повреждений, нанесенных прошедшим ледоходом и паводком, и установления необходимых ремонтных мероприятий.

Один раз в год делается подробный осмотр всех сооружений с занесением результатов в паспорта сооружений.

Каналы и туннели, имеющие облицовки, приходится время от времени опорожнять для осмотров и ремонта облицовок.

4. Пропуск ледохода, шуги и паводков

Периоды прохода льда и паводков по реке являются наиболее серьезными, так как именно в эти периоды воздействие потока на русло реки и сооружения достигает своей наибольшей силы, а в водоводах именно зимний режим причиняет наибольшие затруднения. Некоторые инструкции требуют, чтобы в период ледохода и паводка непосредственное руководство всеми работами и мероприятиями осуществлялось главным инженером сооружения.

Следует прежде всего озаботиться получением гидрометеорологических прогнозов по паводкам и ледоходу для принятия необходимых мер заблаговременно.

Ко времени прохода паводков и льда должны быть подготовлены запасы аварийных материалов: камня, мешков с землей, досок, гвоздей, веревок, подрывных средств и т. п. Перед проходом паводка должны быть опробованы все подъемные механизмы затворов и прочее оборудование.

Пропуск воды через сооружения должен производиться в таком порядке, чтобы сооружениям и устройствам нижнего бьефа, а также населению ниже по течению реки не было нанесено вреда. Для этого нужно открывать отверстия сооружения в точном соответствии с инструкцией, избегая сосредоточенных сбросов и местных размывов, сбоя струй в нижнем бьефе и т. п. Изменение сбросного расхода надо производить постепенно, избегая образования положительных или отрицательных волн в бьефах и наблюдая за тем, чтобы не было переполнения верхнего бьефа или превышения уровня воды в канале.

В целях уменьшения шугообразования в верхнем бьефе низконапорного гидроузла следует содействовать скорейшему наступлению ледостава осенью и аккумуляции в верхнем бьефе шуги, для чего в эти периоды рекомендуется избегать резких колебаний горизонта воды в бьефе (например, суточного регулирования ГЭС). Если шугоход все же неизбежен, то следует организовать сброс шуги.

При пропуске ледохода надо открывать наибольший фронт для него в плотине, разрушать при необходимости лед в верхнем бьефе во избежание подхода крупных льдин, заблаговременно подрывать заторы в верхнем бьефе.

5. Уход за оборудованием

Оборудование сооружений (затворы, решетки, подъемники и пр.) должно содержаться в постоянной готовности. Для этого необходимо периодически смазывать трущиеся части, регулировать тормоза, периодически опробовать затворы (особенно донные), удалять засорения и т. п. Необходимо вести борьбу с поступлением мусора (поверхностного и внутриводного), плавающих предметов, лижм или полей торфа (в низконапорных и средненапорных гидроузлах), забивающих решетки отверстий сооружений, пазы затворов и пр.

Особое внимание надо обратить на плотность закрытия затворов и принимать меры к уменьшению фильтрации через неплотности, которые на практике наблюдаются во многих случаях. В период работы

затворов необходимо следить за возможными вибрациями затвора, вакуумами и устранять их путем изменения режима работы затвора и даже внесения в последующем конструктивных исправлений.

В зимний период надо следить за исправным действием обогревающих устройств затворов (см. § 128).

Ежегодно затворы и механизмы должны подвергаться тщательному осмотру с последующим проведением планово-предупредительного ремонта. Раз в 2 года надо производить повторную окраску металлических затворов против коррозии.

6. Техника безопасности

На всех сооружениях и установках должны быть вывешены правила безопасности, которые должны строжайшим образом соблюдаться. В необходимых местах должны быть сделаны ограждения, предупредительные надписи, плакаты и пр.

§ 192. РЕМОНТ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1. Виды ремонтных работ

Как указывалось в § 190, исправления повреждений, обнаруженных при осмотрах, должны быть произведены по возможности немедленно или в такие сроки, чтобы накопление и увеличение размеров повреждений не привело к авариям.

Ремонтные работы в связи с размером их и характером делятся на: 1) текущий ремонт — плановый и срочный; 2) капитальный ремонт.

Текущий ремонт производится либо сейчас же после обнаружения тех или иных дефектов в сооружении (срочный ремонт), либо периодически, например, ежегодно (плановый ремонт). Когда дефекты сооружения не устраняются текущим ремонтом (в силу характера этих дефектов, по недосмотру или другим причинам), они могут через известный промежуток времени, накапливаясь, угрожать аварией сооружению. В таких случаях проводится капитальный ремонт сооружения.

Так, например, части деревянных плотин, работающие в условиях переменного режима влажности, через 8—10 лет вследствие гниения приходят в состояние, грозящее им разрушением. Разборка этих частей и наработка новых являются примером капитального ремонта. Постепенное выщелачивание бетона заставляет принимать через ряд лет серьезные меры по обеспечению водонепроницаемости плотины, также подходящие под понятие капитального ремонта.

2. Борьба с фильтрацией в земляных сооружениях и основаниях

При обнаружении значительной фильтрации в теле земляной плотины или дамбы необходимо выявить на напорном откосе места начала сосредоточенной фильтрации (путем пуска в воду опилок, краски в предполагаемой зоне сосредоточенной фильтрации и т. п.). Затем, если нельзя снизить уровень воды в верхнем бьефе, следует попытаться закольматировать место начала фильтрации отсыпью глинистого материала, иногда в смеси с рубленой соломой, навозом и т. п. При возможности снижения горизонта воды следует в указанном месте наложить «пластырь», т. е. расчистить откос в данном месте и уложить глинистую подушку достаточной площади.

Если наблюдается вынос мелких фракций в нижнем бьефе, надо положить в месте выхода воды наклонный обратный фильтр, проводя по возможности и указанные выше мероприятия по уменьшению, если не прекращению, фильтрации. Обратный фильтр надо также устроить при обнаружении усиленной фильтрации в основании сооружений.

Трещины и вообще поврежденные места понура необходимо прикрыть отсыпью глинистого грунта и тому подобными средствами, как на откосе плотины.

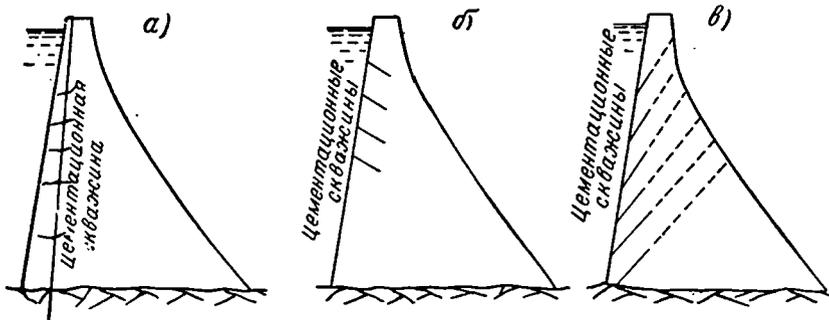
Щели или полости между подошвой сооружений и грунтом, образующиеся иногда в результате неравномерной осадки последнего или вследствие суффозии, заполняются путем нагнетания в них цементного раствора (большие полости — наливом цементного раствора или бетона).

При расстройстве цементационной завесы (вследствие выщелачивания) производят повторную цементацию ее или из смотровой галереи, если это возможно, или впереди сооружения с предварительной укладкой бетонной плиты перед сооружением, через которую и ведут цементацию. Плита устраивается методом подводного бетонирования или в крайнем случае из мешков с бетоном.

При необходимости прекратить или уменьшить фильтрацию в берегах, в обход плотины, можно принимать меры, аналогичные описанным для основания ее. В целях организации выхода фильтрационной воды, безопасного для берегов, полезна укладка обратного фильтра (наклонного) на откосах берега в нижнем бьефе.

3. Борьба с фильтрацией в бетонных сооружениях

Усиленная фильтрация в бетонных сооружениях появляется в результате: а) образования трещин от усадки и термических процессов; б) значительной пористости бетона, получившейся вследствие недобро-



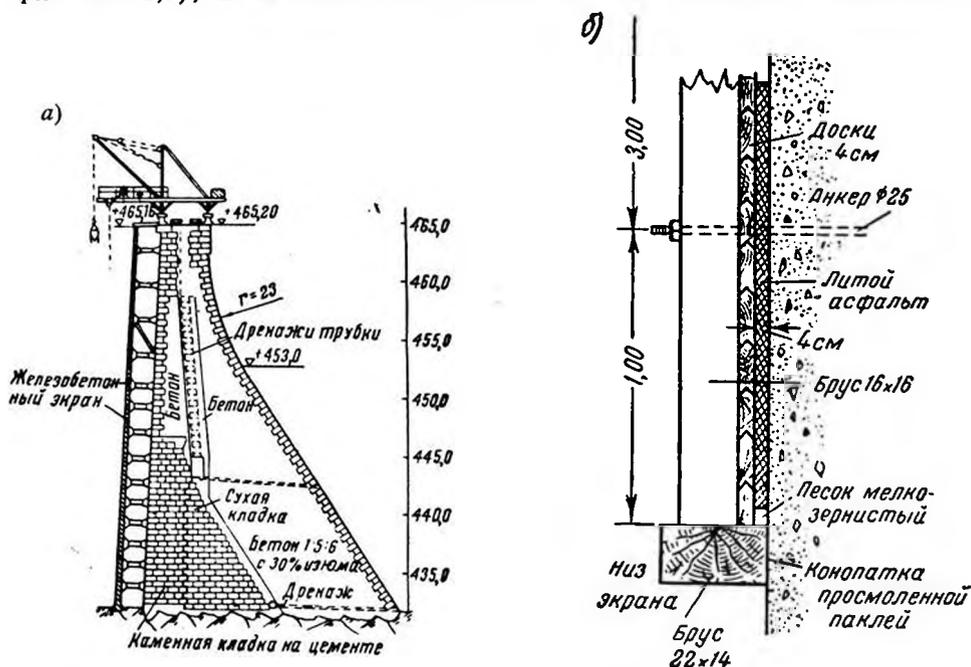
Фиг. 33—1. Цементация трещин в плотинах

качественности работ, неправильного подбора состава бетона или выщелачивания из него свободной извести; в) дефектов водонепроницаемой облицовки напорной грани.

а) Прекращение фильтрации по трещинам может быть достигнуто цементацией тела плотины под давлением; при этом важно зацементировать трещины с напорной стороны и менее важно с низовой, где надо создать, наоборот, свободный выход профильтрованной воды.

Цементация ведется при помощи бурения скважин и нагнетания в них цемента. Скважины бурятся обычно вертикальными или близкими к ним (фиг. 33—1,а), для пересечения вертикальных трещин нужны

наклонные скважины, которые при небольших напорах и глубинах можно делать со стороны верхнего бьефа (фиг. 32—1,б), тогда они получаются короткими; скважины со стороны нижнего бьефа получаются длиннее, но бурить их легче; цементировать их под давлением надо главным образом в зоне напорной грани (сплошные линии на фиг. 33—1,в), а на остальной длине можно заполнить цементным



Фиг. 33—2. Устройство водонепроницаемых экранов (масок) в дефектных бетонных плотинах

а — железобетонная маска плотины Рингедаль; б — битумный экран Днепровской плотины

раствором, если остающаяся недостаточная монолитность сооружения не угрожает аварией.

Аналогичные работы проводят и для борьбы с фильтрацией в туннельных обделках.

При большом количестве трещин выгоднее и надежнее бывает устраивать со стороны верхнего бьефа экраны (см. ниже).

б) Борьба с фильтрацией пористого бетона путем цементации не достигает цели: опыты показывают, что в пористый бетон цемент проникает даже при большом давлении лишь на несколько сантиметров от поверхности стенок скважины. Иногда удается уменьшить фильтрацию в бетоне путем кольматажа, пуском мутной воды (пример, Бозсуйская ГЭС). Радикальным средством обеспечения водонепроницаемости напорной грани являются специальные экраны, или маски.

Последние можно устраивать в виде железобетонных плит, стальных листов, покрытых бетоном во избежание коррозии, и битумных покрытий в зависимости от наличия материала и возможных условий работы.

На фиг. 33—2, а показана железобетонная маска плотины, опирающаяся на ряд опор; полость между маской и плотиной вентилируется сверху и доступна для осмотра.

Тип битумного экрана (фиг. 33—2,б), примененный при восстановлении Днепровской плотины, допускает деформации тела плотины независимо от экрана.

На плотине Баркер было применено покрытие напорной грани из бетона за опалубкой из заранее изготовленных железобетонных плит $2 \times 3,6$ м, укрепленных на напорной грани путем приварки их арматуры к анкерам, заделанным в теле плотины.

Применяют также покрытия бетона специальными составами вроде слоев асбесто-асфальтовой смеси и асбестоцемента.

в) Уход за дренажной системой. Весьма часто дрены в плотине и скальном основании прекращают свою работу, так как они были засорены еще в период строительства или позже в процессе выщелачивания бетона. Необходимо следить за их работой и периодически прочищать их металлическими щетками на штангах.

4. Борьба с размывами и повреждениями рисберм, одежд и т. п.

Размывы могут последовать в результате недостаточной прочности креплений или дефектов их конструкции, или неправильного маневрирования затворами.

Борьба с размывами должна основываться на анализе причин размывов и может заключаться: 1) в изменении конструкции крепления; 2) восстановлении разрушенных частей более надежным образом; 3) усилении гасительных устройств; 4) изменении порядка маневрирования затворами; 5) иногда даже в увеличении отверстий плотины.

Следует отметить, что ремонт рисберм приходится вести методом подводной кладки, и только позволяющие выполнить такую кладку типы креплений приемлемы для ремонта: тюфяки, тяжелые фашины, каменная наброска, наброска массивов, ряжи и пр.

Усиление гашения энергии можно осуществить следующим образом:

1) нарастить водобойную стенку, если конструктивно это можно выполнить; 2) устроить на плите колодца или водобоя шашки или зубья, если это возможно без значительных производственных трудностей; 3) устроить пловучий деревянный пол-трамплин за водобоем; 4) устроить гаситель из металлических свай, пробивающих существующее каменное крепление, и т. п.

5. Борьба с местными отложениями наносов в водохранилищах, каналах и т. п.

Эта борьба ведется путем удаления их механически (землечерпанием или землесосами), если не удастся смыть их открытием отверстий плотины с понижением уровня верхнего бьефа или уменьшить их отложения другими техническими мероприятиями.

6. Ремонт выправительных сооружений

Регуляционные сооружения подвергаются усиленному воздействию потока, ледохода и пр., поэтому часто повреждаются.

Необходимо бдительно следить за состоянием этих сооружений и немедленно исправлять замеченные повреждения: досыпать камень взамен унесенного, укладывать фашины и тюфяки, восстанавливать плетни и т. п.

Если выправительные сооружения не дают ожидаемого эффекта,

на который они рассчитаны, приходится их усиливать и применять другие дополнительные меры по улучшению их работы (сквозные сооружения, шиты Потапова и др.).

7. Ремонт поверхностей бетонных сооружений

Поверхности бетонных сооружений, не подверженные постоянно затоплению водой, страдают от выветривания, т. е. от действия колебаний температуры, от промерзания, совместного воздействия фильтрующейся воды и мороза и т. п.

Правильно подобранный и качественно уложенный морозоупорный бетон предохраняет сооружения от разрушения с поверхности. Однако, особенно в старых плотинах, наблюдается много случаев разрушения бетона на глубину, иногда достигающую 0,2—0,3 м и более; наибольшее разрушение бетона бывает в местах рабочих швов.

Ремонт и защита таких поверхностей могут быть произведены различным образом. На плотине Шрэ (фиг. 7—1) выветрившийся на низовой грани бетон был удален на глубину до 0,25 м и затем заменен каменной кладкой на растворе, под которой оставлен елочного типа дренаж для удаления фильтрационной воды.

На плотине Гарднер Фоллс разрушенный бетон заменен новым пористым коррозиестойчивым бетоном, скрепленным со старым бетоном стальными анкерами длиной 0,9 м.

8. Ремонт повреждений, вызванных деформациями и осадками сооружений

Деформации сооружений, превышающие предусмотренные проектом размеры, угрожают расстройством швов, усилением фильтрации, нарушением работы затворов и пр.

Борьба с этими деформациями и ремонтные работы сводятся прежде всего к устранению причин, вызвавших деформации; сюда относятся такие меры, как разгрузка сооружения, прочистка дренажа, организация правильного отвода воды и т. п. На некоторых шлюзах имели место случаи сильного искривления стен в результате пучения засыпки, переувлажненной грунтовыми и фильтрационными водами; восстановление водонепроницаемости швов, асфальтирование поверхности засыпки, ремонт дренажа приостановили деформации стен.

Если устранение причин, вызывающих деформации, невозможно (например, если причинами являются геологические условия), тогда приспособляют сооружение к действительным условиям его работы, установленным обследованием. Так, оползень одного из берегов привел к сдвигу устоя головного сооружения Дзорогетской ГЭС. Повышением сопротивляемости устоя (усилением его) и переустройством ходовых путей вальцового затвора сооружение было приспособлено к работе в новых условиях.

§ 193. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПОСЛЕ АВАРИЙ ИЛИ ПОВРЕЖДЕНИЙ

1. Общие принципы восстановления сооружений

В случае аварии сооружения или его повреждения необходимо немедленно принять меры по локализации разрушительной работы воды, т. е. по предохранению сооружения от дальнейших разрушений водой; например, если авария произошла в результате потери сооружением

равновесия, необходимо срочно снизить напор на него, открыв максимальное число затворов; если произошел прорыв земляной дамбы, необходимо попытаться срочно укрепить откосы прорыва, чтобы прекратить расширение промоины, и т. д.

После того как приостановлено разрушительное действие воды, необходимо провести тщательное обследование состояния сооружения, зафиксировав это в специальном акте, и постараться выявить причины аварии. Последнее чрезвычайно важно, вместе с тем сделать это обычно крайне трудно: опыт многих аварий показывает, что иногда самым компетентным комиссиям не удается найти причину аварии. Во всяком случае нужно сделать все для установления причин (их чаще всего бывает не одна), так как от этого зависят способы восстановления сооружения и успех восстановительных работ.

На основе актов освидетельствования сооружения и данных о вероятных причинах аварии составляется проект восстановления сооружения, в котором надо учитывать следующее:

а) восстановительные работы должны быть проведены в максимально короткий срок в целях уменьшения периода бездействия или неполного действия сооружения;

б) следует стремиться провести восстановительные работы, по возможности не снижая или меньше снижая уровень верхнего бьефа, чтобы сооружение хотя бы частично продолжало выполнять свои функции;

в) если напор приходится снизить, то следует стремиться вести восстановление сооружения таким порядком, чтобы напор можно было поднимать этапами, это ускорит получение потребителями хотя бы частичного эффекта от сооружения;

г) безусловно надо учесть уроки аварии и вообще прошлой эксплуатации сооружения: например, расширить водопропускные отверстия, если их недостаточность послужила причиной аварии; повысить устойчивость сооружения и не только в зоне прорыва или другого повреждения, но и на других участках, так как там сооружение могло быть близким к аварии;

д) следует обратить особое внимание на связь новой кладки сооружения со старой, предварительно разбирая и расчищая части старого сооружения, пока не будет обнаружен неповрежденный и надежный материал конструкции;

е) желательно использовать материал разрушенных частей в качестве балласта, инертных материалов для восстановительных работ и т. п., чтобы сократить подвоз материалов издалека.

2. Восстановление земляных и набросных плотин

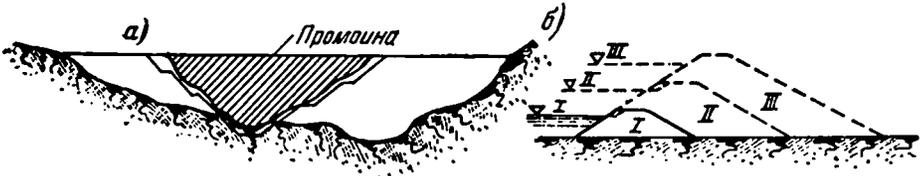
Аварии земляных плотин бывают в следующих формах: 1) оползень части грунта откоса; 2) прорыв части плотины и образование промоины; 3) повреждения гребня и откосов (в результате военных действий).

а) В качестве примера восстановления плотины после аварии первого типа укажем на плотину из глинистого материала Бель-Фурш высотой 37 м, гребень которой на длине 183 м (общая длина 1909 м) осел в 1931 г. на 8,5 м в связи со значительной крутизной откосов (верхового 1:1,5—1:2 с уположением у основания и низового 1:1,65—1:2, не считая берм); действие гидродинамических сил при значительной сработке верхнего бьефа вызвало оползание.

Восстановление плотины произведено путем досыпки ее до прежней высоты с уположением верхнего откоса до 1:3,5; выше горизонта

воды водохранилища отсыпь делалась из песчано-глинистого грунта с укаткой, а ниже — из гравия на ранее оползший грунт с укреплением нового откоса каменной наброской.

б) В случае прорыва плотины и образования промоины последняя обычно быстро расширяется текущей водой. Необходимо постараться спустить горизонт верхнего бьефа и принять меры к прекращению размыва тела плотины путем сбрасывания на откосы промоины мешков или кулей с землей, камня, хвороста с камнем и т. п. Однако эта



Фиг. 33—3. Восстановление земляных плотин и заделка глубоких промоин

работа дает результат лишь в случае ограниченных размеров промоины и небольшой высоты плотины.

После спуска воды и обнажения поверхности промоины (фиг. 33—3,а) или после устройства верховой перемычки, если спустить воду ниже нельзя, промыв заделывается в соответствии с типом плотины, по возможности теми же средствами и материалами, которые были применены для основного тела плотины.

В тех случаях, когда очень важно поднимать горизонт воды этапами, чтобы хотя частично и поскорее возобновить обслуживание плотин предприятий, для которых она была создана, восстановление плотины ведут очередями по высоте, как показано на фиг. 33—3,б. Так как контакты между очередями насыпки являются слабыми местами плотины, то необходимо обратить внимание на водонепроницаемость верховой грани и применить там экран или укладку достаточно водонепроницаемого грунта с устройством зубьев.

в) Восстановление каменно-набросных плотин сводится к досыпке камня в разрушенной части и к ремонту экрана. Последнее можно выполнить, снизив горизонт воды до необходимого уровня.

3. Восстановление деревянных плотин и сооружений

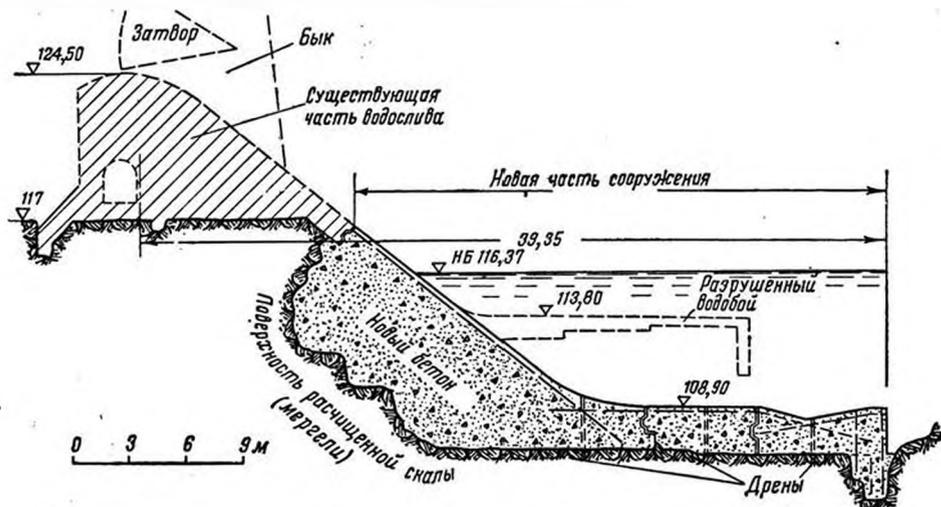
Повреждения деревянных флютбетов небольшого напора исправляются за секционными перемычками путем разборки разрушенных частей и замены их новыми. Повреждения земляного понура и рисбермы могут быть ликвидированы и без перемычек путем подводной отсыпи глины или суглинка на понур (с соответствующим защитным слоем), щебня и камня в рисберму.

Восстановление ряжевых конструкций является более сложным делом. Если дерево не подгнило, то в поврежденной части бревна ряжей опиляются с «остатками» не менее 0,35—0,4 м, к которым примыкают стенки новой нарубки. Подгнившие части заменяются новыми полностью.

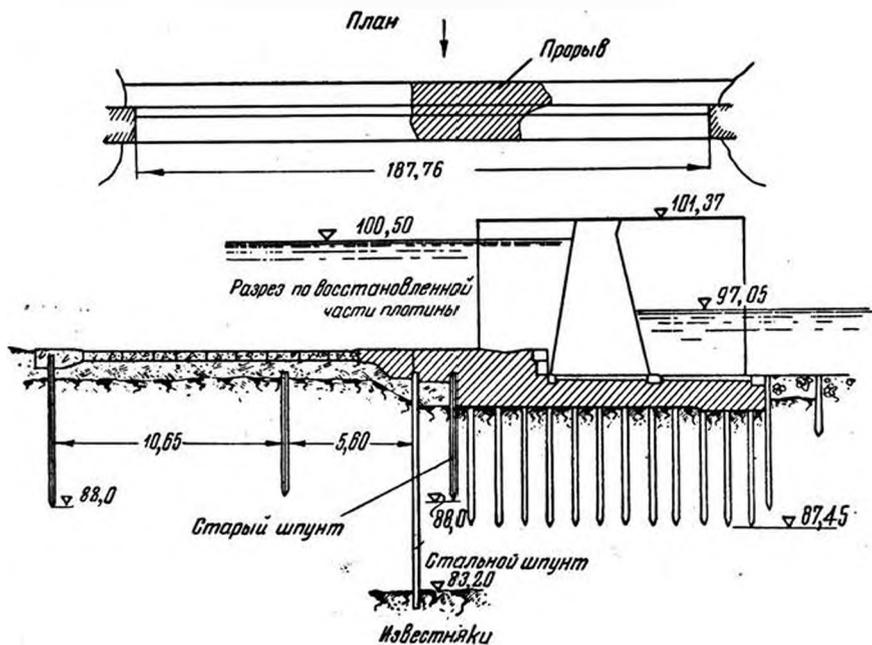
4. Восстановление поврежденных бетонных плотин

Аварии бетонных плотин чаще всего имеют причиной недооценку геологических условий створа, вредное воздействие фильтрации в основании, сброс непредвиденных или недоучтенных проектом паводоч-

ных расходов воды через отверстия плотины и недостаточное гашение энергии воды в нижнем бьефе. Реже причиной являются плохое качество бетона и дефекты производства работ.



Фиг. 33—4. Восстановление плотины Вако



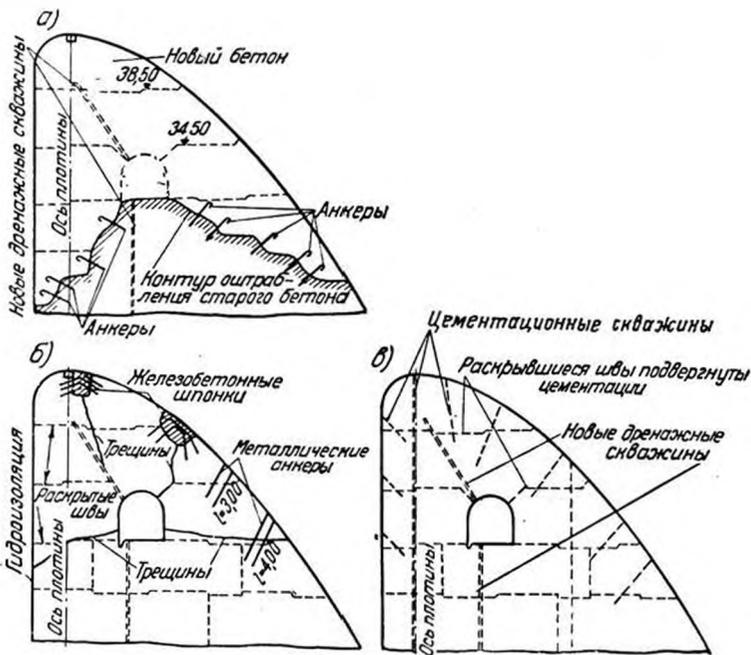
Фиг. 33—5. Восстановление Беломутской плотины

а) В случае частичного разрушения основания плотины, например, вследствие подмыва, профиль плотины восстанавливают на участке повреждения, приспособляясь к новым отметкам основания. На фиг. 33—4 показано восстановление плотины Вако в Техасе, основание которой (сланцы и мергели) было в 1946 г. (после 16-летнего существования плотины) размыто на глубину 6 м. На длине 45 м низовая часть водослива была восстановлена с применением бетона при частичном его армировании.

б) Другой пример приведен на фиг. 33—5 — восстановление разрушенного бетонного флютбета Белоомутской плотины на Оке через месяц после сдачи плотины в эксплуатацию. Этот редкий случай разрушения флютбета на участке длиной около 30 м произошел, видимо, в результате суффозии мелкозернистых пльвунных песков и илов через более крупные песок и гравий, залегающие ниже, а также, возможно, и вследствие сильной щелистости деревянных шпунтов. На месте разрушения флютбета образовалась вымоина глубиной до 8 м, в которую погрузились обломки лопнувшего флютбета. При восстановлении плотины в 1931 г. был удлинен понур с 7,5 до 17,5 м, забит на глубину около 10 м новый королевый металлический шпунт на расстоянии 1,5 м от старого до подстилающих аллювий известняков карбона и удлинена на 10 м рисберма.

5. Восстановление плотины Днепровской гидроэлектростанции

При отступлении немецко-фашистских войск в 1943 г. сооружения Днепровской ГЭС имени Ленина были взорваны ими в разных местах. Наиболее пострадали от взрывов плотина и здание гидроэлектростанции со шитовой стенкой¹.



Фиг. 33—6. Повреждения и восстановление водослива Днепровской плотины

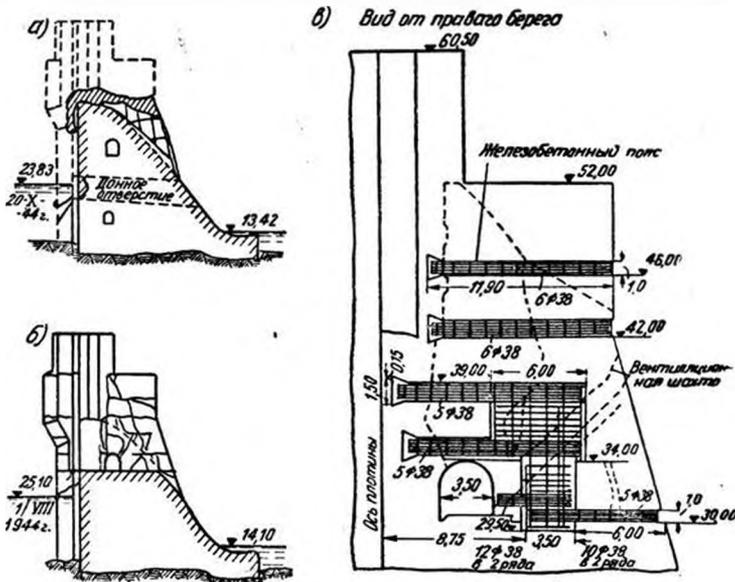
В некоторых пролетах снесена была вся часть плотины выше верхней смотровой галереи (фиг. 33—6,а), в других появились многочисленные трещины (фиг. 33—6,б), большей частью приуроченные к строительным швам плотины; последние во многих местах раскрылись, причем некоторые строительные блоки даже сдвинулись со своих мест на 10 см и более. В верхней части многие быки плотины были снесены до низа смотровой галереи или до гребня водослива (фиг. 33—7,а и б),

¹ Журнал «Гидротехническое строительство» № 3, 1946 и № 3, 1947.

или же разбиты многочисленными, иногда зияющими, трещинами.

Для восстановления Днепровской плотины после тщательного ее обследования намечены были следующие меры;

1) сильно поврежденная трещинами кладка разбирается до здоровых частей и восстанавливается заново (фиг. 33—6, а и 33—7, а);



Фиг. 33—7. Повреждения и восстановление быков Днепровской плотины

2) остальная часть кладки, получившая трещины, цементируется по вертикальным и наклонным скважинам для обеспечения ее монолитности (фиг. 33—6, в);

3) в дополнение к цементации в отдельных местах (особенно в быках) устраиваются дополнительные конструктивные связи в виде стальных анкеров, железобетонных поясов, шпонок и т. п. (фиг. 33—6, б и 33—7, в);

4) с напорной стороны поврежденных пролетов устраивается водонепроницаемый экран типа, описанного в § 192 (фиг. 33—2, б);

5) восстанавливается дренажная система плотины, дополняемая наклонными дренами выше потерны (фиг. 33—6, а и в).

Цель перечисленных мероприятий — восстановить монолитность плотины и снизить возможное сосредоточенное фильтрационное давление в верхних частях тела водослива, которое могло бы понизить сопротивление этих частей скальванию.

Для проведения всех работ необходимо было снизить подгорный горизонт, поэтому пришлось проделать в теле плотины туннельным способом 16 водоспускных донных отверстий сечением 4×5 — 5×5 м (фиг. 33—7, а).

Восстановительные работы начались в феврале 1944 г., а 3 марта 1947 г. Днепровская ГЭС уже вступила в строй действующих электростанций СССР: был пущен первый гидроагрегат.

6. Восстановление прочих сооружений

Аналогично описанным примерам восстанавливаются и другие сооружения, например, шлюзы, водосбросы и т. п.

В каналах наблюдаются обрушения облицовок, оползания откосов и просадочные явления, имеющие место в лёссовых грунтах после пуска воды в канал. Просадки лёссов, если вероятность их установлена исследованиями, можно вызвать заблаговременно искусственным путем при помощи предварительной «замочки» канала, после чего уже следует возводить бетонные сооружения. Это не всегда спасает полностью от будущих деформаций сооружений, но заметно уменьшает их. Восстановление обрушений в канале производится после его опорожнения.

В туннелях наблюдаются случаи обрушения облицовки или сильной фильтрации. Восстановление ведется после спуска воды из туннеля.

§ 194. РЕКОНСТРУКЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ (ПОВЫШЕНИЕ ИХ НАПОРА)

1. Задачи и виды реконструкции гидротехнических сооружений

Необходимость реконструкции сооружений возникает при изменении водохозяйственных требований, которым сооружения не удовлетворяют.

В некоторых случаях будущие изменения водохозяйственных требований могут быть предвидены, и тогда сооружение возводится двумя этапами: вначале выполняется первая очередь, удовлетворяющая запросы ближайшего будущего, а затем вторая — по мере роста потребления; при этом в период первой очереди осуществляются мероприятия, предусматривающие возможность будущего развития сооружения, т. е. осуществления второй очереди.

Наиболее распространенным и сложным видом реконструкции являются повышение напора на сооружения и увеличение емкости водохранилищ.

Другим случаем реконструкции является увеличение пропускной способности водосбросов и водозаборов гидроузлов вследствие оказавшихся большими, чем расчетные, паводочных расходов или вследствие изменений, происшедших в водохозяйственной системе.

Расширение водосливных отверстий плотин производится путем срезки гребня плотин (пример — плотина Рузвельт — на 1,8 м) или путем постройки дополнительного водослива (как, например, на Кочетовской плотине на Дону).

Пропускная способность водоспусков увеличивается путем пробивки в бетонном теле плотины новых отверстий туннельным способом или путем пробивки новых береговых туннелей.

Водосливная плотина без затворов Хелс-Бар была реконструирована в плотину с сегментными затворами путем понижения гребня на 3 м и сокращения водосливного фронта. Последнее использовано для расширения здания ГЭС.

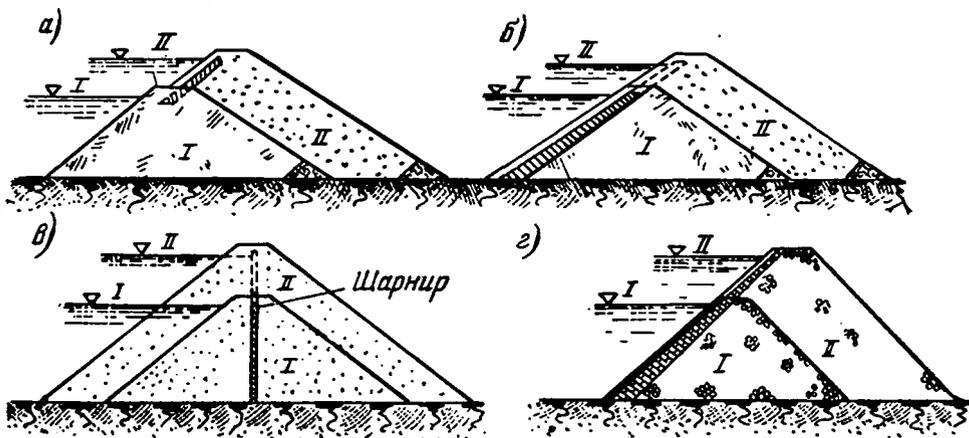
2. Повышение напора существующих земляных и каменно-набросных плотин

Повышение земляных плотин без спуска водохранилища приходится делать путем отсыпки и укатки грунта с низовой стороны плотины (фиг. 33—8,а).

При этом подсыпаемая часть не должна быть более водонепроницаемой, чем старая плотина, а лучше, наоборот, более проницаемой для воды (за исключением, конечно, надстроенной части у верхового откоса) во избежание создания подпора фильтрующихся через плоти-

ну вод и повышения депрессионной поверхности их. В сомнительных случаях полезно оставлять дренаж первоначальной плотины на месте, соединяя его с нижним бьефом.

Если плотина имела экран, то таковой продолжается и по наращиваемой части (фиг. 33—8,б); если экрана не было, а плотина имела диафрагму, то диафрагма наращивается с устройством шарнирного



Фиг. 33—8. Схемы наращивания земляных и каменно-набросных плотин

шва, если этого требуют условия ее работы, сама же плотина обсыпается песчаным грунтом с обеих сторон (фиг. 33—8,в).

Повышение каменно-набросных плотин делается наброской камня со стороны нижнего бьефа с наращиванием экрана (фиг. 33—8,г); шов между новым и старым экраном должен быть гибким и водонепроницаемым.

3. Повышение напора бетонных и железобетонных плотин

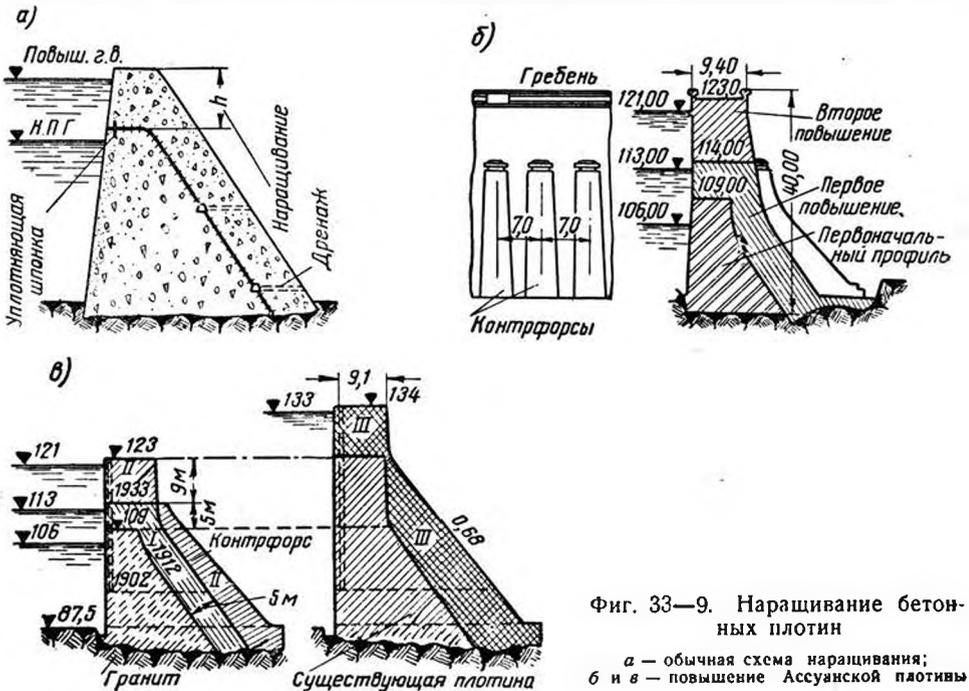
Надстройка бетонных плотин более сложна, чем земляных и набросных, так как необходимо обеспечить прочность шва между старой и новой кладкой, совместную работу старой и новой частей плотины и не допускать в шве повышенного фильтрационного давления.

Работы по повышению сооружения без опорожнения водохранилища производятся обычно путем укладки дополнительного бетона по гребню и по низовой грани плотины (фиг. 33—9,а); связь нового и старого бетона обеспечивается обработкой поверхности старого бетона киркованием и насечкой для удаления слабых частей, промывкой поверхности струей воды, песка под давлением и постановкой стальных штырей или анкеров, входящих затем в новый бетон; последний должен укладываться с принятием мер по быстрейшему отводу выделяемого тепла и, если возможно, с искусственным охлаждением бетона или же по способу, описываемому ниже.

С напорной стороны в горизонтальном шве между старым и новым бетоном следует устраивать уплотняющую шпонку с металлическим листом по типу обычных швов в плотинах; кроме того, на случай появления растягивающих напряжений ставится арматура.

Иллюстрацией подобного метода может служить двукратное и намеченное третье повышение Ассуанской каменной плотины (фиг. 33—9,б и в) длиной 2,5 км, построенной в 1902 г. на р. Нил и образовавшей водохранилище полезной емкостью 1 км³ для целей орошения.

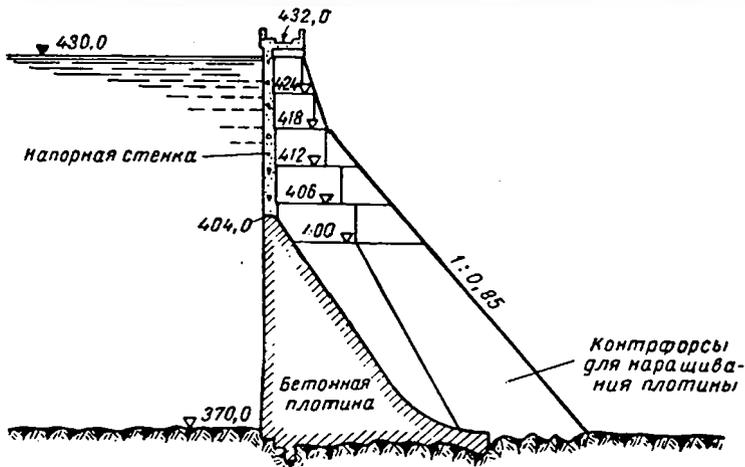
Первоначально плотина имела высоту 37 м и подпорный горизонт воды на отметке 106,0. В период 1910—1912 гг. плотина была повышена первый раз на 5 м (напор — на 7 м) и емкость водохранилища была увеличена до 2,5 км³ в связи с увеличившейся потребностью в воде. Нарращивание было произведено по типу, пока-



Фиг. 33—9. Нарращивание бетонных плотин

а — обычная схема наращивания; б и в — повышение Ассуанской плотины

занному на фиг. 33—9,а, причем связь нового бетона с каменной кладкой была осуществлена методом, по которому между бетоном и каменной кладкой, связываемыми стальными стержнями, оставлена полость толщиной 15 см, заполненная чистым гра-



Фиг. 33—10. Нарращивание бетонной плотины Лагес (Бразилия) контрфорсной стенкой

нитным щебнем; через 2 года, когда экзотермические явления в бетоне затухли, полость со щебнем была зацементирована под давлением, чем была достигнута монолитность сооружения.

Второе повышение плотины было произведено в 1930—1933 гг. на 9 м, благодаря чему емкость водохранилища достигла 4,5 км³; на этот раз повышение выполнено

надстройкой стенки на гребне и устройством специальных железобетонных контрфорсов на расстоянии 7 м друг от друга, толщиной от 1 до 6 м, отделенных от тела плотины стальными 7-миллиметровыми листами; это обстоятельство внесло ясность в статические условия работы плотины.

Третье повышение плотины намечено еще на 11 м, с доведением емкости водохранилища до 9 км³ в целях не только ирригации, но и гидроэнергетики (гидростанция мощностью 340 тыс. кВт). При этом контрфорсы второго наращивания удаляются и толщина плотины увеличивается, как показано на фиг. 33—9,в, с применением того же метода, что и при первом наращивании, т. е. с устройством полости, заполненной щебнем и затем цементируемой под давлением.

Таким образом, против первоначальных размеров плотины высота ее возрастает с 37 до 62 м, т. е. в 1,7 раза, а полезная емкость водохранилища в 9 раз. Одновременно с плотинной повышаются и другие сооружения, как, например, судоходные шлюзы и пр.

Наращивание водосливных плотин несколько затрудняется необходимостью придания водосливу надлежащего профиля.

Иногда наращивание делается по принципу контрфорсной плотины, как, например, в случае плотины Лагес в Бразилии (1949 г.), когда высота плотины с 34 м выросла до 62 м, т. е. почти вдвое (фиг. 33—10).

4. Способ заанкеривания для усиления и наращивания подпорных сооружений

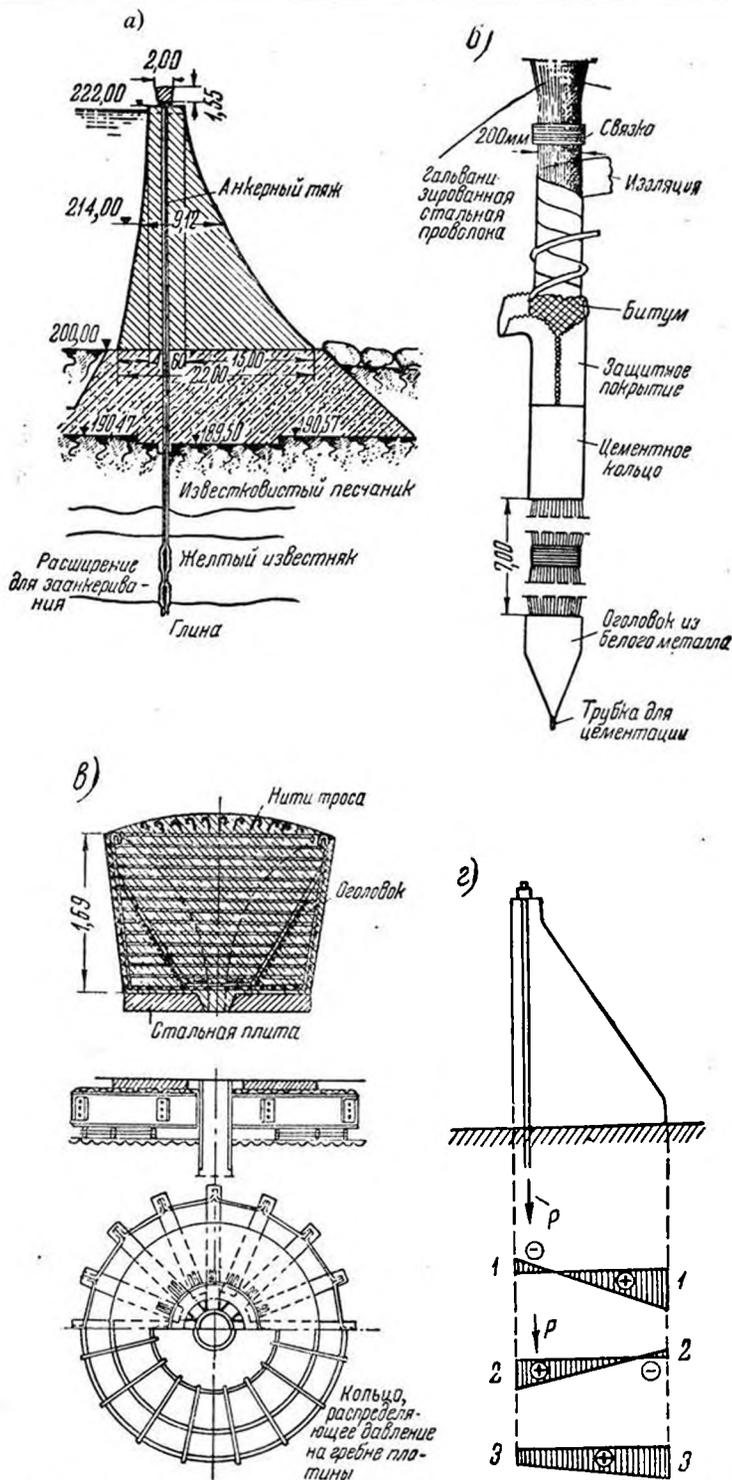
Задача повышения устойчивости существующих плотин и увеличения напора на них во многих случаях может быть удачно решена применением метода заанкеривания, который уже неоднократно использовался на практике (впервые был предложен известным французским конструктором Койн).

Он заключается в том, что плотина заанкеривается («пришивается») в основании при помощи стальных тяжей (тросов), которым сообщается растягивающее усилие (фиг. 33—11,а). Через плотину и основание пробуриваются на расстоянии нескольких метров друг от друга по фронту скважины, имеющие внизу уширения для лучшей заделки троса в скалу при помощи цементации под давлением; другой конец троса закрепляется на гребне плотины при помощи домкратов, которые сообщают ему натяжение (в осуществленных примерах — от 200 до 1 000 т). Стальной трос на опыте усиления одной плотины в Алжире состоял из большого числа стальных гальванизированных гибких нитей диаметром 5 мм (фиг. 33—11,б), в пределах плотины обернутых в изоляцию по типу кабеля, а в пределах 7 м (для плотины, приведенной на фиг. 33—11,а) длины в скале основания — без изоляции для возможности зацементирования троса. Последнее производится через особую трубку, находящуюся в сердцевине стального троса. Устройство верхнего оголовка троса показано на фиг. 33—11,в.

Если анкерный тяж натягивается с силой P , то при расстоянии между анкерами l плотина получает дополнительную прижимающую силу $P = \frac{l \cdot a}{l}$ на 1 пог. м; эта нагрузка создает дополнительные напряжения в подошвенном шве, распределенные по эпюре 2 (фиг. 33—11,г); суммируясь с напряжениями эпюры 1, которые при повышении напора могли бы на напорной грани стать отрицательными, т. е. растягивающими, а на низовой превзойти допускаемые, они в результате дадут выровненную эпюру напряжений (3 на фиг. 33—11,г). При расчете устойчивости плотины на сдвиг надо учитывать дополнительное сопротивление сдвигу от усилия анкера, равное fP .

Аналогичное воздействие анкер окажет и в любом горизонтальном сечении плотины.

Таким образом, рассмотренный метод позволяет не только повысить устойчивость плотины на сдвиг, если она недостаточна или уменьшается при повышении напора, но и улучшить напряженное состояние в



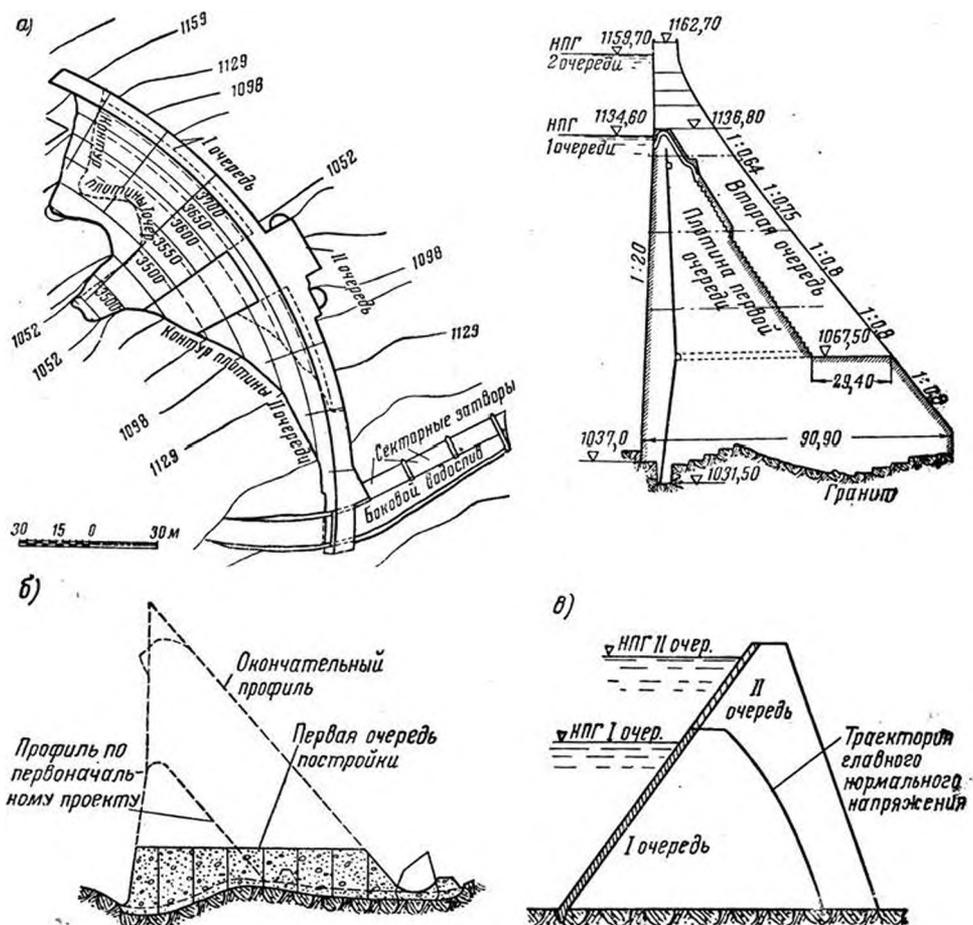
Фиг. 33—11. Метод Койна — увеличения устойчивости и прочности плотин путем заанкеривания

а, — схема усиления плотины; б, в — детали заанкеривания; г — изменение напряженного состояния плотины при методе заанкеривания

плотине, причем все это возможно без увеличения веса плотины. По сравнению с методом добавления бетонной кладки при наращивании (п. 3) данный метод дает экономию, но он применим лишь при грунтах оснований, допускающих надежную заделку анкера (тяжа).

5. Повышение напора плотин, предусматриваемое первоначальным проектом

В последнее время при строительстве крупных плотин и водохранилищ сооружения иногда возводятся по очередям: в первую очередь, в целях экономии капиталовложений, сооружение возводят только на



Фиг. 33—12. Возведение плотин в две очереди с последующим наращиванием по проекту

а — плотина О' Шонесси; б — плотина Грэн-Кулли; в — схема наращивания контрфорсной плотины

часть будущего напора плотины, а через известный промежуток времени, когда этого потребуют потребители энергии и пр., достраивают плотину на полный напор.

При таком методе возведения стремятся в первой очереди работ произвести минимальные затраты на сооружение и вместе с тем учесть наиболее целесообразный метод будущего наращивания. В этом случае на практике прибегают или к устройству профиля первой

очереди с фундаментной плитой на всю ширину будущего полного профиля, как это сделано на плотине О'Шонесси, построенной в 1919—1923 гг. на высоту 105 м и наращенной в 1936 г. до 131 м (фиг. 33—12,а), или же строят плотину полным будущим проектным сечением, но на ту высоту, которая требуется первой очередью, как это было сделано на плотине Грэнд-Кули (фиг. 33—12,б).

Второй метод целесообразнее с точки зрения конструктивной, но затраты по первой очереди в этом случае весьма велики в сравнении с осуществляемым напором: на плотине (фиг. 33—12,б) при первоначальном напоре, составлявшем около 15% расчетного, уложено бетона в плотину около 40% полного объема; это количество бетона позволило бы построить плотину первой очереди в 2 с лишним раза более высокую, чем это осуществлено; вначале так и предполагалось (см. пунктирный профиль по первоначальному проекту на фиг. 33—12,б), но от этого отказались, опасаясь трудностей обеспечения нужной монолитности такого высокого сооружения в его окончательных формах.

Плотину О'Шонесси, однако, благополучно надстроили первым методом, при этом сифонный водослив первой очереди после наращивания плотины был заделан и новый водослив с боковым отводом на соответствующей отметке устроен в левобережном примыкании плотины (фиг. 33—12,а).

При возведении плотины очередями было бы правильнее назначать очертание низовой грани первой очереди плотины по линиям траекторий главных нормальных напряжений, которые образуются при полном напоре во второй очереди; тогда в будущем шве главные касательные напряжения при расчетном напоре теоретически будут равны нулю, а при колебаниях его близки к этому.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

§ 195. ЗАДАЧИ И ВИДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ

1. Задачи исследований сооружений

Теоретическая база гидротехники еще недостаточна для решения ряда вопросов проектирования гидротехнических сооружений (§ 6), в частности для анализа поведения водного потока, анализа напряженного состояния и устойчивости сооружений, в особенности, если формы последних более или менее сложны. Поэтому экспериментальные исследования и наблюдения являются важным и ценным средством, восполняющим недостаток теории. С другой стороны, экспериментальные исследования помогают развивать теорию гидротехнических сооружений.

Исследования гидротехнических сооружений бывают двух родов: лабораторные и натурные. И те, и другие охватывают вопросы гидравлики и вопросы строительной механики сооружений.

2. Лабораторные исследования

Эти исследования бывают двух видов: модельные, когда ставятся опыты над моделью всего сооружения или его части, геометрически подобной натуре¹, и общие, имеющие задачей решение каких-

¹ Иногда модели выполняются с искажением масштабов, т. е. масштабы горизонтальных и вертикальных размеров делаются различными, и тогда условия геометрического подобия не выполняются.

либо отдельных вопросов, без осуществления в лаборатории модели сооружения; такие исследования имеют и общенаучное значение.

Лабораторные исследования ведутся для выяснения гидравлических условий работы сооружений речных или морских и воздействия сооружений на естественный режим водоема; такие исследования называются гидравлическими. В лабораториях изучаются также фильтрационные явления в сооружениях, их основаниях и береговых примыканиях. Наконец, на моделях в лаборатории возможно изучение напряженного состояния сооружений.

3. Натурные исследования

Эти исследования сооружений преследуют цели: а) контроля за состоянием сооружения (фильтрационное давление, деформации, напряжения, температуры и пр. и их изменения в процессе эксплуатации сооружения);

б) проверки правильности проведенных расчетов сооружений или сделанных предположений при проектировании, что необходимо для установления тех или иных ограничений в нагрузках при эксплуатации, для правильного учета расходования воды и т. п.;

в) общенаучные, т. е. дающие материал, который позволяет после его накопления и обработки обобщить и обосновать те или иные зависимости, имеющие значение не только для данного сооружения, но и более широкое.

Натурные исследования на сооружениях ведутся:

1) в период постройки их — для проверки соответствия проектных и натурных данных, для учета хода деформаций сооружения в связи с постепенной его загрузкой и т. п.;

2) в период сдачи сооружений в эксплуатацию — для характеристики состояния сооружения к началу его эксплуатации, при пусковых испытаниях;

3) в период собственно эксплуатации — наиболее длительные и систематические — для целей контроля за работой сооружения и в общенаучных целях.

Для проведения натурных исследований необходимо закладывать в гидротехнические сооружения специальную аппаратуру, что по Министерству электростанций СССР считается обязательным.

А. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

§ 196. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ

1. Принципы гидравлического моделирования (законы подобия)

Наибольшее распространение имеют гидравлические исследования сооружений на моделях. Идея таких исследований заключается в проведении на модели, геометрически подобной сооружению, опытов и наблюдений, данные которых (величины давлений, скоростей течения, расходов воды и их распределение по зонам сооружения) могли бы быть затем перенесены на природу. Основанием для возможности такого переноса служат законы динамического и кинематического подобия геометрически подобных потоков, излагаемые в современных курсах гидравлики¹.

¹ И. И. Агроскин и др., Гидравлика, Энергоиздат, 1950.

В потоках, проходящих через гидротехнические сооружения, действуют силы разнообразного характера и происхождения: силы тяжести (инерции), центробежные силы, силы внутреннего трения жидкости, поверхностного натяжения и др. Если бы соотношения этих сил, имеющие место в натуре, сохранились и в модели сооружения, последняя была бы полностью динамически подобна натуре. Кинематическое подобие модели натуре имеет место, если соотношения скоростей течения соответствующих частиц жидкости в натуре и на модели одинаковы, а траектории движения геометрически подобны. Однако критерии подобия, исходящие из общего критерия Ньютона, различные для различных сил.

Так, силы тяжести, силы инерции и центробежные силы как силы объемные моделируются по одному закону, силы трения в жидкости — по другому, капиллярные — по третьему и т. д.

а) Силы тяжести имеют размерность $G = \gamma W$, где W — объем тела и γ — объемный вес, равный $\gamma = \rho g$ (ρ — плотность и g — ускорение силы тяжести).

Силы инерции равны $K = \rho W \frac{dv}{dt}$, где $\frac{dv}{dt}$ — ускорение, которое в смысле размерности может быть выражено и как $\frac{v}{t}$, где v — скорость течения, а t — время.

Если индексами «н» и «м» обозначать величины, относящиеся соответственно к сооружению в натуре и в модели, то по условиям динамического подобия необходимо, чтобы

$$\frac{K_n}{G_n} = \frac{K_m}{G_m} \text{ или } \frac{\rho_n W_n v_n}{\gamma_n W_n t_n} = \frac{\rho_m W_m v_m}{\gamma_m W_m t_m},$$

откуда после сокращения и замены t (время) равной ему величиной $t = \frac{l}{v}$, где l — некоторая длина, получим

$$\frac{v_n^2}{g_n l_n} = \frac{v_m^2}{g_m l_m} = Fr \text{ (число Фруда)}. \quad (34-1)$$

Аналогично можно получить условие подобия сил тяжести и центробежных сил $C = \rho W \frac{v^2}{r}$, где r — радиус кривизны траектории, т. е. некоторая длина, и $\frac{v^2}{r}$ — центробежное ускорение:

$$\frac{C_n}{G_n} = \frac{C_m}{G_m} \text{ или } \frac{\rho_n W_n v_n^2}{\gamma_n W_n r_n} = \frac{\rho_m W_m v_m^2}{\gamma_m W_m r_m},$$

откуда после сокращений и замены r на l (по размерности одинаковые) получим

$$\frac{C_n}{G_n} = \frac{C_m}{G_m} = \frac{v_n^2}{g_n l_n} = \frac{v_m^2}{g_m l_m} = Fr. \quad (34-1')$$

Условие динамического подобия требует, чтобы отношение сил инерции и центробежных к силе тяжести оставалось постоянным и в натуре, и в модели, это приводит к необходимости равенства в обоих случаях числа Фруда (Fr), или так называемого параметра кинетичности $П_k$, имеющего то же выражение (34-1).

б) Силы внутреннего трения в жидкости (вязкости) по Ньютону выражаются формулой $T = \mu \omega \frac{dv}{dn}$, где μ — динамический коэффициент вязкости жидкости, равный $\mu = \rho \nu$, причем ν — кинематический коэффициент вязкости, ω — площадь поверхности трения, $\frac{dv}{dn}$ — градиент изменения скорости течения по нормали к поверхности.

Отношение сил тяжести к этим силам в натуре и модели при наличии динамического подобия выразится уравнением:

$$\frac{G_n}{T_n} = \frac{G_m}{T_m} \text{ или } \frac{\gamma_n W_n l_n}{\mu_n \omega_n v_n} = \frac{\gamma_m W_m l_m}{\mu_m \omega_m v_m},$$

отсюда после сокращений и подстановок $\mu = \rho \nu$, $\gamma = \rho g = \rho \frac{l}{t^2}$ и $W = \omega l$ (в обобщенных выражениях размерности) и, имея в виду, что $\frac{l^2}{v^2} = t^2$, получим

$$\frac{v_n l_n}{\nu_n} = \frac{v_m l_m}{\nu_m} = Re. \quad (34-2)$$

Таким образом, подобие сил тяжести (инерции, центробежных) и внутреннего трения (вязкости жидкости) выполняется при сохранении постоянства критерия, или числа Рейнольдса (Re) для натуре и модели. Последнее же возможно, если жидкости в модели и натуре имеют разную вязкость (ν_m и ν_n), что при использовании в модели воды невозможно.

в) Аналогично можно вывести законы подобия для других сил: например, подобие сил инерции и сил поверхностного натяжения имеет место при постоянстве для натуре и модели числа Вебера (We):

$$\frac{v_n^2 l_n}{\omega_n} = \frac{v_m^2 l_m}{\omega_m} = We, \quad (34-3)$$

а подобие сил инерции и сил упругости — при постоянстве числа Коши (Ca):

$$\frac{v_n}{\sqrt{e_n}} = \frac{v_m}{\sqrt{e_m}} = Ca, \quad (34-4)$$

где $e = \frac{E}{\rho}$ — кинематический модуль упругости и E — модуль объемной упругости.

Из сказанного следует, что, строго говоря, добиться полного динамического подобия гидравлических явлений в модели соответствующим явлениям в сооружении нельзя ввиду различия законов подобия для различных групп сил, действующих в потоке жидкости одновременно.

Однако практически в большинстве реальных потоков в сооружениях силы тяжести и инерции преобладают над остальными силами, имеющими второстепенное значение, и поэтому в таких случаях удается добиться достаточного подобия при гидравлическом моделировании, проводя последнее с соблюдением закона Фруда (34—1). Иногда подобное моделирование называют гравитационным. Искажение, вносимое при этом отсутствием подобия сил трения и др., в этих случаях несущественно или учитывается внесением соответствующих масштабных поправок.

2. Способы и правила моделирования

При моделировании сооружений и потоков в лаборатории в большинстве случаев можно принимать $g_n = g_m$, а при применении в модели той же жидкости (вода), что и в натуре, $\nu_n = \nu_m$, $\rho_n = \rho_m$ и $\gamma_n = \gamma_m$. При таких условиях из формул (34—1), (34—1') можно вывести простые правила пересчета данных лабораторных опытов в натуре.

а) Пересчет модельных величин в натуре. Если линейный масштаб модели, т. е. отношение длин в натуре к соответствующим длинам, равен λ , то, например, масштаб скоростей получается следующим при выполнении модели геометрически подобной натуре и гравитационном моделировании.

Из формулы (34—1) при $g_n = g_m$

$$\frac{v_n^2}{\nu_n^2} = \frac{l_n}{l_m} = \lambda$$

и

$$\frac{v_n}{v_m} = \sqrt{\lambda}. \quad (34-5)$$

Масштаб времени из этой формулы будет

$$\frac{v_n}{v_m} = \frac{t_m}{l_m} \cdot \frac{l_n}{t_n} = \sqrt{\lambda}$$

или

$$\frac{t_n}{t_m} = \frac{l_n}{l_m} \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda}. \quad (34-6)$$

При моделировании по Рейнольдсу из формулы (34-2) следует при $v_m = v_n$

$$v_m l_m = v_n l_n$$

или

$$\frac{v_n}{v_m} = \frac{l_m}{l_n} = \frac{1}{\lambda} \quad (34-7)$$

и масштаб времени:

$$\frac{t_n}{t_m} = \frac{v_m l_n}{l_m v_n} = \lambda^2. \quad (34-8)$$

Прочие элементы модели получают масштабы, указанные в табл. 34-1.

Таблица 34-1

Масштабы гидравлического моделирования

| Элементы исследования | Элементы исследования | | Элементы исследования | Элементы исследования | |
|-----------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|----------------|
| | По Фруду | По Рейнольдсу | | По Фруду | По Рейнольдсу |
| Длина | λ | λ | Скорости | $\sqrt{\lambda}$ | λ^{-1} |
| Площади | λ^2 | λ^2 | Ускорения | 1 | λ^{-3} |
| Объемы | λ^3 | λ^3 | Расходы жидкости | $\lambda^{2.5}$ | λ |
| Время | $\sqrt{\lambda}$ | λ^2 | Силы | λ^3 | 1 |

Для уменьшения при гравитационном моделировании по Фруду влияния искажения сил трения соблюдают еще дополнительные требования: 1) движение и в натурном, и в модельном потоке должно иметь одинаковый режим, т. е. или турбулентный, или ламинарный, и в том и в другом случае или бурный ($v > \sqrt{gh}$), или спокойный ($v < \sqrt{gh}$); 2) иногда моделируют (изменяют шероховатость стенок модели по сравнению с натурой), добиваясь, чтобы отношение потерь энергии hw в натуре и на модели равнялось λ — линейному масштабу модели.

Если в натуре наблюдается аэрация потока, то поскольку она не моделируется, здесь возможны искажения в результатах опытов.

б) Моделирование размываемых русел и наносов. При опытах с руслами из размываемого грунта, необходимо учитывать, что размер d влекомых донных наносов пропорционален квадрату скорости и поэтому $d_n : d_m = v_n^2 : v_m^2 = \lambda$, т. е. масштаб наносов должен быть при моделировании по Фруду равным λ , то есть диаметр частиц наносов модели должен быть в λ раз меньше, чем в натуре. Это воз-

можно обычно осуществить в случае, если наносы в натуре гравелистые и галечные, которые можно моделировать песком соответствующей по масштабу крупности. Песчаные же наносы приходится приближенно моделировать иным образом: или употребляя материал того же размера, но с меньшим удельным весом (уголь, пемза, янтарь, вымоченные в воде опилки, различные порошки и т. п.), или увеличивая вертикальный масштаб модели по сравнению с горизонтальным, следовательно, увеличивая уклон J и доводя таким путем величину силы влечения в модели до значений ее в натуре. При этом соблюдается, чтобы движение наносов в модели начиналось при горизонтах и расходах, соответствующих натуре.

Взвешенные наносы можно моделировать, исходя из гидравлической крупности частиц и соблюдая соотношения

$$\frac{v_m}{w_m} = \frac{v_n}{w_n} \text{ или } \frac{w_n}{w_m} = \sqrt{\lambda}, \quad (34-9)$$

где w_m и w_n — гидравлическая крупность частиц в модели и натуре.

в) Моделирование с искажением масштабов модели применяется, как было указано выше, при исследовании размываемых русел, когда увеличиваются уклоны потока в модели путем применения более крупного вертикального масштаба по сравнению с горизонтальным. Последнее ведет к искажению формы русла и гидравлических сопротивлений.

Проф. С. Т. Алтуний предложил [21] в этом случае исказить сечение русла в соответствии с соблюдаемым изменением формы русла в природе в реках с разной величиной стока. Он нашел, что между шириной русла B и средней глубиной H существует связь [см. формулу (31—16)]:

$$B^m = kH, \quad (34-10)$$

где $m \approx$ от 1 до 0,5 в зависимости от типа потока (для горного с размываемыми берегами $m=1$, для нижних и средних течений размываемых русел $m=0,5$); $k \approx 8 \div 12$, в среднем около 10 для прямолинейных участков реки.

Правила моделирования при горизонтальном масштабе модели λ_r и вертикальном λ_v получаются следующими:

$$\frac{B_n^m}{B_m^m} = \frac{H_n}{H_m} \text{ или } \lambda_r^m = \lambda_v. \quad (34-11)$$

Например, если $\lambda_r = 100$ и $m = 0,5$, то $\lambda_v = 10$, т. е. искажение десятикратное. Вообще же рекомендуется избегать искажения большего, чем в 6—10 раз.

К искажению модели приходится прибегать и в тех случаях, когда на модели получается ламинарный режим, в то время как в натуре он турбулентный; искажением модели добиваются необходимого увеличения числа Рейнольдса.

г) Моделирование безнапорных гидротехнических объектов на напорных воздушных моделях было предложено А. Г. Аверкиевым¹ и успешно осуществлено в ряде случаев. Идея такого моделирования заключается в осуществлении мелкомасштабной модели речного русла, компоновки гидроузла или другой плановой гидротехнической задачи с заменой воды воздухом, продуваемым

¹ А. Г. Аверкиев, Новый метод гидравлических модельных исследований, «Известия Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники имени Б. Е. Веденеева», вып. 47, 1952.

через модель, прикрытую стеклом или плексигласом, изображающим водную поверхность потока. Модель становится таким путем напорной, и этим обеспечивается подобие явлений в условиях турбулентного режима. Скорости течения в модели могут быть увеличены как угодно (чем избегается ламинарный режим в мелких моделях), причем моделирование их подчиняется простому закону:

$$v_n = Av_m, \quad (34-12)$$

где A — постоянный коэффициент для данного расхода модели, определяемый опытом на ней.

Преимущества данного метода моделирования заключаются в возможности применения очень малых (настольных и переносных) моделей, быстрой их изготовления и быстроте проведения опытов при малой стоимости их.

д) При моделировании фильтрации грунт в натуре и модели берется один и тот же; при этом градиенты в геометрически подобной модели равны градиентам природы, скорости течения также, так что подобие здесь легко достигается. Однако в мелкозернистых грунтах нужно учитывать роль капиллярных сил, которые остаются одинаковыми в натуре и модели, если грунт последних один и тот же, и искажают ход фильтрации в модели по сравнению с натурой.

3. Области практического применения гидравлического моделирования

Гидравлическим моделированием возможно разрешить много вопросов, связанных с проектированием гидротехнических сооружений. Распределение и величины давлений и скоростей в потоках, направления струй и пр. достаточно хорошо моделируются при исследованиях:

- а) водосбросных устройств (коэффициенты расхода, давления и пр.);
- б) гашения энергии воды за подпорными сооружениями (гасители, длина водобоя и рисбермы, распределение скоростей за ними и пр.);
- в) действия волн на стенки и откосы сооружений;
- г) затворов отверстий (гидродинамические давления, проверка работы затворов гидравлического действия);
- д) водозаборных устройств гидроэлектростанций, ирригаций, водоснабжения и др.;
- е) агрегатов турбин со спиральными камерами и всасывающими трубами;
- ж) судоходных шлюзов (режим опорожнения и наполнения камер, волновые явления, натяжение причальных тросов и пр.);
- з) рыбоходов (гидравлический режим);
- и) узлов гидросооружений: варианты компоновки сооружений, способов пропуска паводков, ледохода, судов, плотов в период постройки и в эксплуатационных условиях и др.

Испытания гидрозлов в целом особенно важны для крупных сооружений и ведутся как на жестких, так и на размываемых моделях.

Исследования сооружений, в которых существенную роль играют наносы и деформации русел (борьба с наносами в головных узлах, узлы в деформируемых руслах, регулирование русел и регуляционные сооружения), дают в основном качественные или относительные решения; нельзя пока переносить на натуру количественные результаты таких лабораторных данных, как, например, глубина размыва, объем размыва и т. п., особенно если при опытах искажен вертикальный масштаб.

4. Гидротехнические лаборатории и техника лабораторных опытов

Современные гидротехнические лаборатории¹, в которых проводятся модельные исследования гидротехнических сооружений, имеют примерно одинаковую схему. Необходимые расходы воды на моделях создаются в лаборатории насосной установкой (или установками), забирающей воду из сборных резервуаров, расположенных в подвальной части здания; вода, пройдя опытные русла и установки, сбрасывается затем опять в сборный резервуар и таким образом создается внутренний водооборот лаборатории. Обычные размеры опытных площадок лабораторий $(8 \div 10) \times (20 \div 40)$ м.

Помимо лабораторий, размещаемых в зданиях, устраивают для моделей крупных масштабов и открытые площадки или лаборатории. Так, на строительстве Сталинградского гидроузла имеется площадка с моделью сооружений узла площадью около 10 га.

а) Опытные установки представляют собой: 1) застекленные узкие лотки — для решения «плоских задач»; 2) бетонные или металлические широкие лотки — для опытов пространственных, русловых, с элементами сооружений и т. п.; 3) опытные площадки — для постройки и испытания самых разнообразных моделей: узлов гидросооружений, судоходных шлюзов, зданий ГЭС и пр. Кроме того, лаборатории имеют обычно установки для изучения фильтрации: фильтрационные лотки, приборы ЭГДА и др.

Модели сооружений выполняются из различных материалов: дерева, цемента, гипсоцемента, прозрачных пластмасс, парафина, металла.

б) Измерительная аппаратура относительно несложна. Уровни воды измеряются водомерными реечками-иглами с верньерами, положение нулей которых связывается точной нивелировкой.

Давление воды измеряется: 1) пьезометрами, представляющими собой вертикальные стеклянные трубки с водой, сообщающиеся с точками модели, в которых измеряется давление, 2) манометрами и 3) микроманометрами. Для точной регистрации мгновенных давлений (пульсаций давлений) применяют особые безинерционные приборы-датчики с электронным усилением их показаний, соединенные с осциллографами, записывающими колебания давлений.

Скорости течения измеряются поверхностными поплавками, трубками Пито, Лосиевского, гидрометрическими фюгерами, особыми маленькими вертушками, например, типа «Укрводгео». Направления скоростей фиксируются путем фото- или кино съемки пускаемых в поток поплавков, конфетти, красок и т. п.; в воздушных моделях направления скоростей отмечают по движению дыма, пускаемого в модель. Ход глубинных струй фиксировать труднее, чем поверхностных: применяют особые эмульсионные шарики с удельным весом, близким к единице, краски, нити, флажки и пр. Для характеристики движения потока и анализа его элементов применяется кино съемка.

Расходы воды измеряются обычно водосливами с тонкой стенкой (чаще всего треугольными), водомерами Вентури, отверстиями и насадками и, наконец, весовым или объемным способом.

в) Масштабы исследований. Масштаб модели обуславливается задачами исследований, а также нежелательностью получить

¹ Гидротехническими называются такие лаборатории, в которых проводятся опыты над моделями сооружений. В настоящее время такие опыты ведут и гидравлические лаборатории, поэтому четкости терминов в данном случае нет.

слишком малые глубины потоков в модели из соображений значительного при этом искажающего влияния сил трения. Практически масштаб модели иногда ограничивается размерами самой лаборатории и ее водооборотом. Наиболее распространенные масштабы для плоских задач 1:10—1:50, для пространственных 1:50—1:200 и менее; напорные воздушные модели могут иметь масштаб 1:1000 и менее.

5. Эффективность модельных исследований

При относительно небольших затратах на опыты (не превышающих обычно 0,2% стоимости сооружения) последние позволяют получить не только рациональные и надежные в эксплуатации формы сооружений, предотвращать аварии их, но часто дают значительную экономию в стоимости строительства, с избытком покрывающую затраты на модельные исследования.

Модельные исследования позволяют находить новые виды конструкций, как например, типы гасителей энергии, формы водосбросов и т. п., новые методы производства работ, как, например, наброска в воду, и др.

В настоящее время ни одно более или менее крупное строительство гидросооружений не обходится у нас без лабораторных гидротехнических исследований, причем нередко в собственных лабораториях (Белморстрой, строительство канала имени Москвы, Волгострой и др.).

Первая гидротехническая лаборатория в России была открыта в 1907 г. проф. В. Е. Тимоновым в Петербурге, первая же гидравлическая лаборатория открыта еще в 1854 г. также в Петербурге при Институте инженеров путей сообщения. В настоящее время в СССР насчитывается несколько десятков гидролабораторий.

§ 197. ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В СООРУЖЕНИЯХ

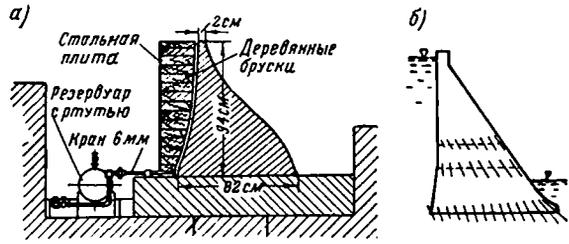
Вопросы статики для многих гидротехнических сооружений не имеют вполне удовлетворительных теоретических решений; к таким вопросам относятся, например, следующие: напряжения в арочных плотинах, устойчивость высоких контрфорсов железобетонных плотин, местные напряжения, устойчивость плотин на нескальных основаниях и др. Новые типы гидросооружений также нередко не поддаются теоретическому анализу. Во всех этих случаях большую помощь оказывают лабораторные исследования на моделях сооружений.

1. Исследование напряжений и деформаций сооружений на моделях

При моделировании напряженного состояния сооружений форма моделей делается геометрически подобной натуре и размеры ее уменьшаются в соответствии с λ — масштабом модели. При этом материал модели может отличаться от материала сооружения, действующие силы могут прилагаться в ином масштабе, чем масштаб модели. Последнее обстоятельство осложняет вопрос перехода от данных опыта на модели к действительным условиям, но иногда это необходимо для возможности проведения измерений в опытах.

Модели изготавливаются из цемента, гипса, целлулоида, специальной резины и других материалов. Нагрузки осуществляются при помощи рычагов, домкратов и т. п.; гидростатическое давление воспроизводится часто

тяжелой жидкостью, например, ртутью (фиг. 34—1,а). Пример картины вычисленных главных напряжений и их направлений в правиташонной плотине по замеренным нормальным напряжениям (деформациям) в горизонтальных швах показан на фиг. 34—1,б: величины и направления напряжений графически изображены отрезками прямых.

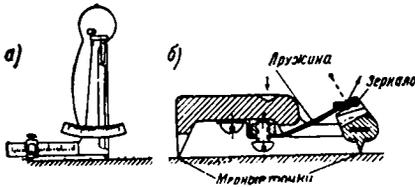


Фиг. 34—1. Исследования напряжений и деформаций на моделях сооружений

а — схема создания гидростатической нагрузки ртутью; б — картина напряжений, вычисленных по данным опытов

Измерению в опытах подвергаются величины и направления деформаций, удлинения или укорочения расстояний между мерными точками в различных местах сооружения.

Так как деформации в моделях весьма малы, то для увеличения их, в целях более точного измерения, применяют материал с малым модулем упругости, а удельные нагрузки превеличиваются. Измерение деформаций производится особо точными приборами, в которых деформации увеличиваются по принципу рычага (фиг. 34—2,а) или по принципу отклонения светового луча (зеркальный прибор, фиг. 34—2,б); применяются и другие способы измерения деформаций.



Фиг. 34—2. Приборы для измерения деформаций на моделях

а — рычажный прибор; б — зеркальный прибор

Вычисление напряжений делается на основе закона Гука. При этом вводятся в расчет: 1) масштабы объемных весов материалов и нагрузок $m = \frac{\gamma_n}{\gamma_m}$, 2) масштабы модулей упругости $n = \frac{E_n}{E_m}$. Масштаб сил упругости $\frac{P_n}{P_m}$ получается на основании закона Гука равным:

$$\frac{P_n}{P_m} = \frac{\frac{\Delta l_n}{l_n} E_n \omega_n}{\frac{\Delta l_m}{l_m} E_m \omega_m} = \frac{E_n}{E_m} \lambda^2 = n \lambda^2, \quad (34-13)$$

где λ — линейный масштаб модели;

$\frac{\Delta l}{l}$ — относительные удлинения (укорочения), принимаемые равными в натуре и модели (частный случай);
 ω — площади сечений.

Масштаб прогибов модели при тех же обозначениях выразится таким образом. Деформация прогиба, например, треугольного профиля плотины под действием распределенной по гидростатическому закону нагрузки выразится так:

$$\Delta l = A \frac{\gamma l^2}{E}$$

Тогда

$$\frac{\Delta l_{\text{п}}}{\Delta l_{\text{м}}} = \frac{\frac{\gamma_{\text{п}}}{\gamma_{\text{м}}} \left(\frac{l_{\text{н}}}{l_{\text{м}}} \right)^2}{\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{м}}}} = \frac{m}{n} \lambda^2, \quad (34-14)$$

а масштаб относительных деформаций

$$\frac{\Delta l_{\text{н}}}{l_{\text{н}}} : \frac{\Delta l_{\text{м}}}{l_{\text{м}}} = \frac{m}{n} \lambda. \quad (34-15)$$

2. Центробежное моделирование

В этом методе, предложенном и разработанным впервые в СССР проф. Г. И. Покровским¹, напряжения от объемных сил в модели сооружения увеличиваются до размера их в натуре путем сообщения модели, помещенной в центрифуге, значительного центробежного ускорения $j = \omega^2 R$, где ω — угловая скорость вращения модели, а R — радиус окружности вращения. Так как в общем случае напряжения, зависящие от объемных сил веса, пропорциональны величине $\gamma_1 h$ (γ_1 — объемный вес, h — высота слоя материала), то для получения в модели масштаба λ , выполненной из того же материала, что и сооружение в натуре, напряжений, одинаковых с натурой, необходимо, чтобы

$$\gamma_{\text{н}} h_{\text{н}} = \gamma_{\text{м}} h_{\text{м}} \text{ или } \lambda = \frac{h_{\text{н}}}{h_{\text{м}}} = \frac{\gamma_{\text{м}}}{\gamma_{\text{н}}}. \quad (34-16)$$

Отношение $\gamma_{\text{м}} : \gamma_{\text{н}}$ должно быть равно, при одинаковом материале в модели и натуре, отношению ускорений

$$\frac{\gamma_{\text{м}}}{\gamma_{\text{н}}} = \frac{\rho a}{\rho g} = \frac{a}{g} = \lambda,$$

где a — ускорение, сообщаемое модели прибором — центрифугой;
 g — ускорение силы тяжести.

$$a = \lambda g. \quad (34-17)$$

Отсюда следует, что в опыте ускорение модели должно быть в λ раз больше ускорения силы тяжести.

Величина a является геометрической суммой g и $j = \omega^2 R$, т. е.

$$a = \sqrt{g^2 + (\omega^2 R)^2};$$

откуда

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{g^2}{R^2} (\lambda^2 - 1)} \approx \sqrt{\frac{\lambda g}{R}}. \quad (34-18)$$

Таким образом, модели надо сообщать угловую скорость ω по формуле (34-18), чтобы получить в ней напряжения, равные напряжениям в натуре.

Масштаб моделирования зависит от радиуса центробежной машины, в которую устанавливается исследуемая модель, числа оборотов ее и от угловой скорости, а именно (34-18):

$$\lambda \approx \frac{\omega^2 R}{g}. \quad (34-19)$$

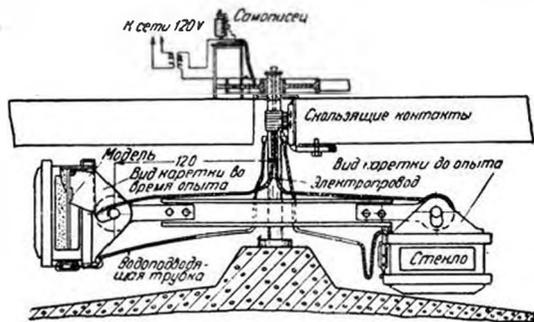
¹ Г. И. Покровский и И. С. Федоров, Центробежное моделирование для решения инженерных задач, Государственное изд. литературы по строительству и архитектуре, 1953.

В осуществленных приборах линейный масштаб моделирования может доходить до $\lambda = 400$.

Конструкция центрифуги весьма несложна: на вертикальном валу, приводимом во вращение от мотора, вращается коромысло, на одном конце которого помещена коробка с моделью сооружения, а на другом — противовес или вторая коробка (фиг. 34—3). Коробка подвешена к коромыслу на горизонтальном шарнире и при вращении изменяет свое положение под действием центробежных сил, поворачиваясь практически на 90° .

В методе центробежного моделирования можно доводить сооружение даже до разрушения.

Центробежное моделирование особенно ценно для изучения устойчивости земляных сооружений (плотин), оснований сооружений и осадок последних, устойчивости откосов, подпорных стен, давлений на обделку туннелей и пр.



Фиг. 34—3. Схема центрифуги для опытов с центробежным моделированием

3. Оптический метод исследований напряжений

Этот метод, известный из строительной механики, особенно применим для анализа напряженного состояния массивных конструкций, характерных для гидротехнических сооружений. Этим методом можно исследовать профили плотин, контрфорсы их, местные напряжения вокруг отверстий в конструкциях и т. п.

В последнее время разработан метод изучения напряжений от объемных сил в сооружении (веса) путем разогрева модели из оптически активного материала (бакелита), нагружения ее объемными силами при помощи центробежной машины и последующего охлаждения, при котором созданное напряженное состояние в модели «замораживается» и может быть анализировано обычным оптическим способом.

Б. ИССЛЕДОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ В НАТУРЕ (СТРОЯЩИХСЯ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ)

§ 198. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

1. Задачи исследований и виды их

Гидравлические и фильтрационные исследования на гидротехнических сооружениях в натуре имеют двоякие цели: 1) контролировать воздействие поверхностного и фильтрационного потоков на сооружение с тем, чтобы принимать в процессе эксплуатации необходимые меры предупреждения возможных неблагоприятных последствий этого воздействия, 2) проверять правильность гидравлических и фильтрационных расчетных предпосылок и самих расчетов, что имеет и общенаучное значение.

Для первой цели необходимы определения и наблюдения:

- а) уровней воды в верхнем и нижнем бьефах сооружения и других местах потока;
- б) скоростей течения и их направлений в разных местах потока;
- в) расходов воды через отверстия сооружений при разных уровнях воды в верхнем и нижнем бьефах;
- г) положения поверхности депрессии фильтрационных вод в теле плотины и в прилегающей местности;
- д) фильтрационного давления в теле и основании плотины;
- е) расхода фильтрации.

Для второй цели необходимы те же данные и, кроме того, определения величины давления воды в разных точках потока и скоростей движения фильтрующейся воды.

Помимо инструментальных замеров, параллельно ведутся качественные наблюдения над характером потока, условиями и формами гашения энергии, размывами, суффозией и пр.

2. Определение гидравлических элементов потоков в сооружениях

Эти определения, сводятся, по существу, к обычным гидрометрическим работам¹, но с некоторыми особенностями, вызванными измерениями на сооружениях.

Замеры горизонтов воды делаются по реечным водомерным постам, а в быстротекущих потоках — также при помощи пьезометров.

Скорости течения замеряются поплавками и вертушками, а иногда трубками Пито; направления течений определяются поплавками и специальными вертушками, а также флюгерами.

Расходы воды также определяются методами гидрометрии. При определении пропускной способности отверстий сооружения весьма желательно вести измерения сразу несколькими вертушками, которые следует надежно закреплять на особой раме в отверстии плотины.

3. Исследования фильтрации в земляных сооружениях

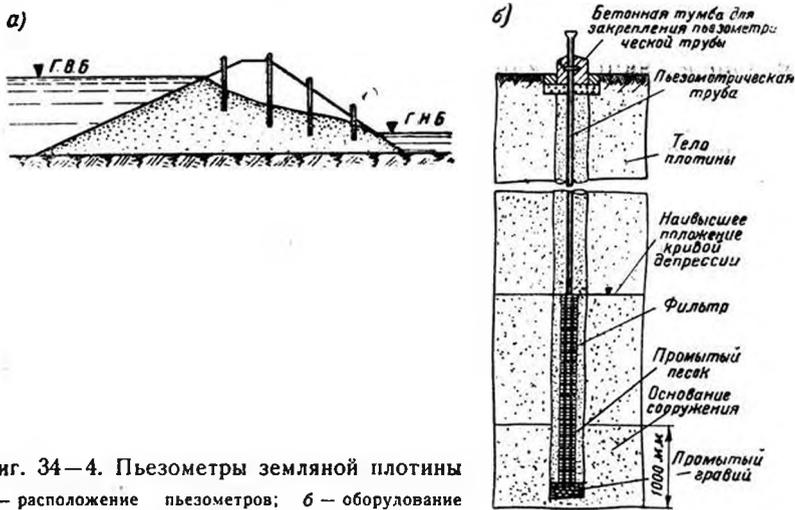
Эти исследования имеют целью: 1) установить положение депрессионной поверхности (поверхности насыщения) фильтрующейся воды в теле земляного сооружения (плотины) и следить за ее колебаниями; 2) определять фильтрационный расход через сооружение; 3) определять давления и скорости течения фильтрационной воды и выяснить опасность суффозии. Аналогичные наблюдения проводятся и в берегах для изучения фильтрации в обход сооружений.

а) Наблюдения за поверхностью депрессии и давлениями воды ведутся при помощи пьезометров, устанавливаемых после постройки плотины в нескольких характерных поперечных створах ее (фиг. 34—4, а). Пьезометры представляют собой буровые скважины диаметром около 15 см, в которые опускаются газовые трубы, перфорированные в их нижнем конце (на 3—4 м по высоте), с устройством вокруг перфорированной части фильтра из латунной сетки 0,25 × 0,25 мм, очеса торфа и сверху холста. Пьезометр (газовая труба) опускается в скважину, на дно которой предварительно отсыпается промытый гравий слоем 0,2 м; фильтр обсыпается промытым песком (фиг. 34—4, б). В последнее время применяют и упрощенные забивные пьезометры с наконечником — водоприемником — на конце трубы, а иногда с несколькими водоприемниками, с латунной сеткой, защищенной снаружи перфорированной трубкой.

¹ Е. В. Близняк, Водные исследования, Речиздат, 1952.

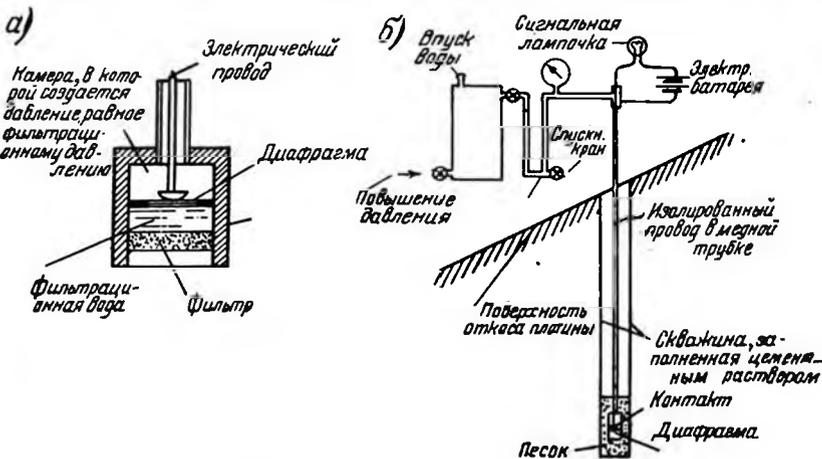
Положение горизонта воды в пьезометре, характеризующее давление воды в его устье, определяется методами, применяемыми в гидрогеологии: лотом-свистком, электрическим лотом и др.

При малой проницаемости тела плотины наполнение пьезометра водой происходит медленно, почему показания пьезометров искажают



Фиг. 34—4. Пьезометры земляной плотины
а — расположение пьезометров; б — оборудование пьезометра

истинное давление воды. Поэтому в последнее время стали вместо пьезометров применять индикаторы давления, или динамометры, представляющие собой закрытые коробки, в которые вода входит



Фиг. 34—5. Индикаторы давления фильтрационных вод
а — схема коробки индикатора; б — схема установки индикатора в плотине и измерения давления

через пористый диск и деформирует тонкую диафрагму (фиг. 34—5). Последняя прижимается к контакту, что отмечается электролампой на поверхности плотины. Для измерения фильтрационного давления в трубку пьезометра диаметром 0,8—1 см нагнетается вода и создается давление на диафрагму с другой стороны; как только это давление достигнет величины давления воды в плотине (с противоположной стороны диафрагмы), контакт диафрагмы разрывается, лампа тухнет, и в этот

момент манометр покажет искомое давление. Индикаторы давления можно ставить по нескольку в одной скважине на разной высоте.

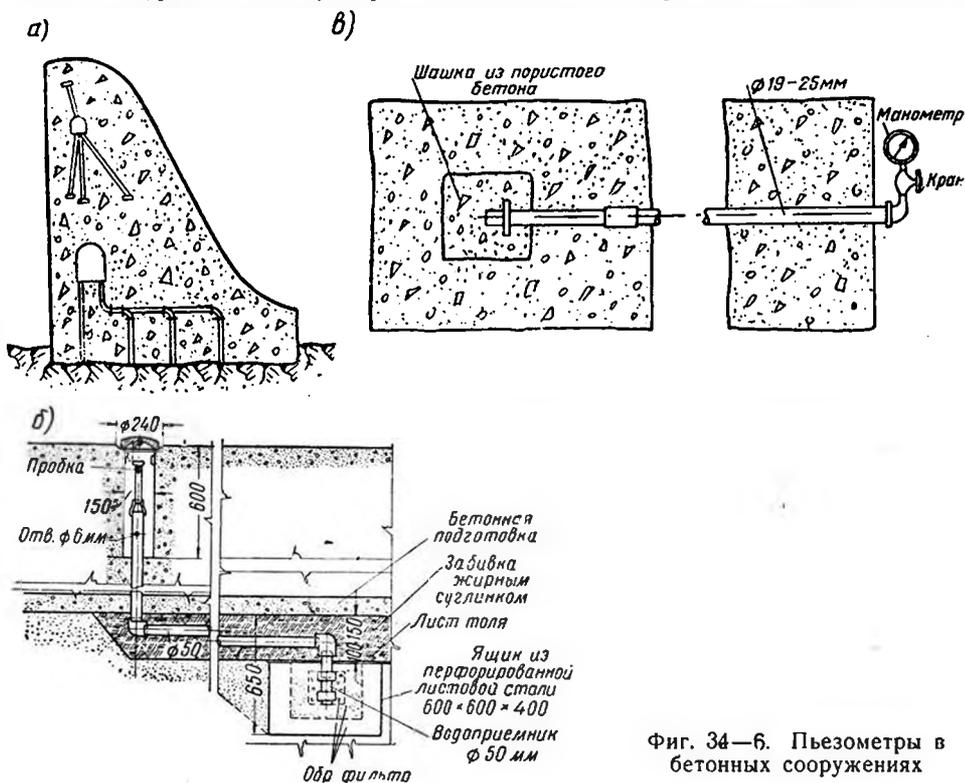
б) Фильтрационный расход определяется обычно путем собирания фильтрационной воды с известного участка плотины сборным кюветом или путем расчета по известным коэффициентам фильтрации, градиентам и глубинам фильтрационного потока, находимым из наблюдений по пьезометрам.

в) Скорости течения и направление их в фильтрационном потоке определяются гидрогеологическими и гидрометрическими методами: пуском краски, электролитическим и другими способами.

г) Наличие суффозии в грунте устанавливается анализом фильтрационной воды (по выходам ее) на содержание взвешенных частиц.

4. Исследования фильтрации в бетонных и других сооружениях

Эти исследования в основном сводятся к определению фильтрационного давления по подошве сооружения и в горизонтальных сечениях его (фиг. 34—6, а) при помощи пьезометров. Последние пред-



Фиг. 34—6. Пьезометры в бетонных сооружениях

ставляют собой трубки диаметром не менее 3—5 см, устье или водоприемник которых в основании сооружений помещен в ящик из перфорированной стали, заполненный обратным фильтром (фиг. 34—6, б), а внутри бетона, в частности в швах сооружения, — в особые шашки (кубики) из пористого бетона (фиг. 34—6, в) или в деревянные ящики с гравием. Трубки выводятся или в вертикальные шахты, или в смотровые галереи, верхние концы их закрываются винтовой крышкой. В местах швов сооружения трубки имеют гибкие соединения.

Наблюдения за уровнем воды ведутся в вертикальных трубках аналогично тому, как это делается в пьезометрах земляных плотин, а в горизонтальных трубках, не имеющих свободного уровня воды (напорных), — при помощи манометров (фиг. 34—6,е).

Фильтрационные расходы через бетонные сооружения характеризуют качество бетона и монолитность кладки (наличие трещин), а также работу уплотнений в швах. Они определяются при помощи системы дренажа, обычно имеющегося в таких сооружениях. Расходы определяются объемным способом по отдельным группам дрен и затем суммируются. Полезно делать время от времени химические анализы профильтровавшейся воды для установления факта выщелачивания бетона и его степени.

5. Исследования фильтрации в районе сооружения

Для изучения хода фильтрации в обход сооружения в берегах закладываются буровые скважины с пьезометрами в них; располагаются эти скважины по нескольким створам: по оси сооружений, выше его и ниже по течению. Данные наблюдений позволяют построить депрессионную поверхность грунтовых вод по берегам в районе сооружения.

§ 199. ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

1. Значение исследований и наблюдений

Исследования и наблюдения над деформациями сооружений позволяют следить за жизнью сооружения; обнаруживать ненормальности в его работе, опасные для его устойчивости и прочности, изменения формы сооружения, чрезмерные осадки, сигнализирующие об угрожающих процессах в основании, и пр.

Поскольку напряжения в сооружении связаны прямой зависимостью с внутренними деформациями материала, то зная последние, можно судить и о напряженном состоянии тела сооружения.

Помимо контрольных функций, перечисленные выше наблюдения имеют значение для проверки расчетных величин и расчетных предположений, принятых в проекте сооружения; они имеют также общее научное значение для уточнения теории и методов расчета гидротехнических сооружений. Деформации измеряются специальной аппаратурой, которая располагается в характерных точках сооружения, указываемых в техническом проекте.

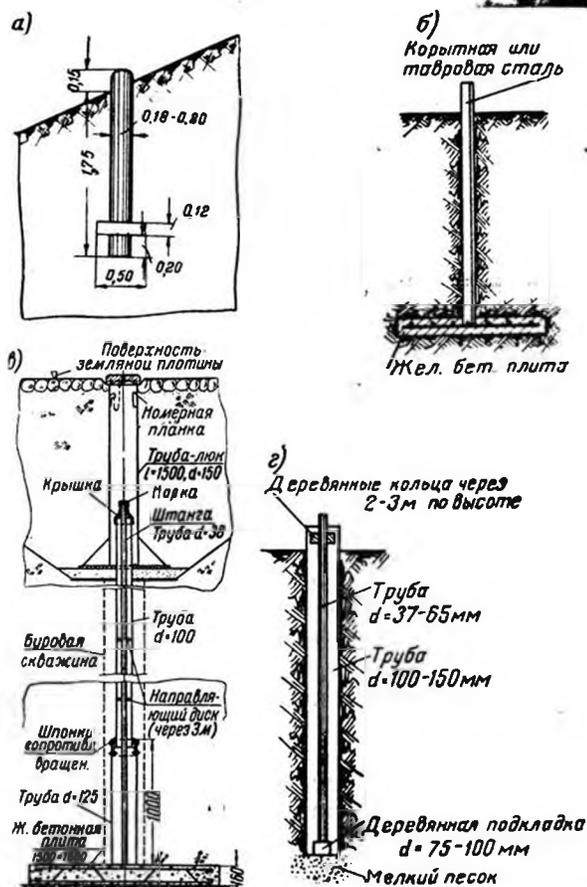
2. Факторы, подлежащие измерению

В современных гидротехнических сооружениях измерению подлежат:

- а) вертикальные деформации — осадки сооружений и их оснований;
- б) горизонтальные деформации сооружений — прогибы, сдвиги, перекосы и пр.;
- в) деформации швов сооружений;
- г) внутренние деформации и напряжения бетонных и железобетонных сооружений — сжимающие и растягивающие;
- д) деформации и напряжения арматуры железобетонных сооружений;
- е) температура и температурные деформации сооружения;
- ж) вибрации сооружений и в частности затворов.

3. Изучение осадок сооружений и их оснований

Вертикальные деформации сооружений и их частей измеряются обычно при помощи прецизионной нивелировки по реперам и маркам, закладываемым в сооружения. Нивелировка эта ведется от исходных реперов, устанавливаемых на берегах в районе сооружения и связанных точной нивелировкой с реперами государственной нивелирной сети.



Фиг. 34—7. Типы реперов в земляных сооружениях

а, б — поверхностные; в, г — глубинные

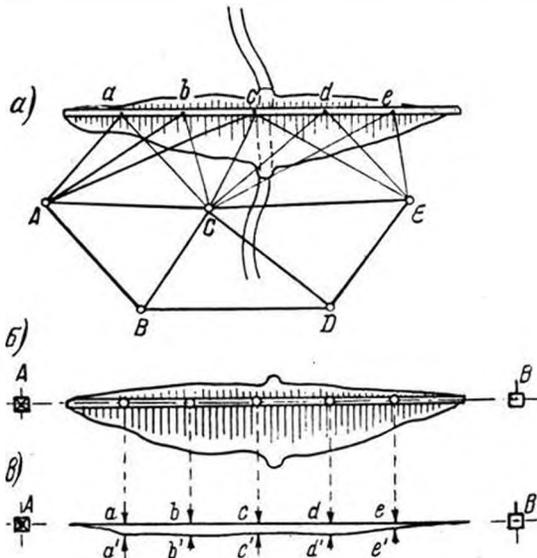
устанавливаемые свободно внутри обсадных труб, доходящих до требуемой точки; трубка репера опирается на плиту или подкладку, свободно лежащую под обсадной трубой (фиг. 34—7,в) или внутри ее. Если установка репера делается после возведения сооружения, плита укладывается внутри обсадной трубы (фиг. 34—7,г).

Глубинными реперами, плиты которых заложены в плоскости основания под сооружением, можно измерять осадки собственно оснований.

4. Измерение горизонтальных деформаций сооружений

Горизонтальные перемещения различных точек сооружения могут измеряться геодезическими методами или специальными приборами. Геодезические методы применяются двух видов: микротриангуляция и визирование по створам.

При микротриангуляции в зоне сооружения разбивается триангуляционная сеть ($ABCDE$ на фиг. 34—8,а), а на сооружении устанавливается ряд реперов или марок a, b, c, d, \dots с вертикальными штифтами для визирования. Засечками прецизионным теодолитом с опорных неподвижных пунктов A, C, E периодически определяют плановое положение марок a, b, c, \dots и таким образом измеряют смещения последних в плане.

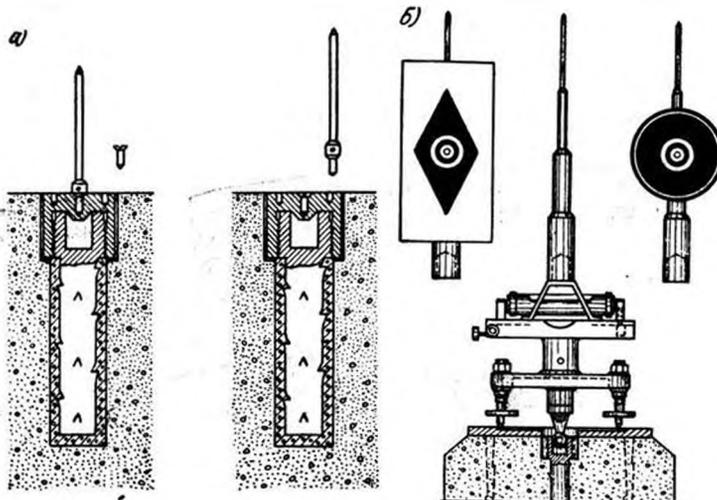


Фиг. 34—8. Способы определения горизонтальных деформаций сооружения

а — схема микротриангуляции; б — схема визирования;
в — схема смещений визирных точек

Способ визирования заключается в разбивке створов по сооружению, закрепляемых двумя пунктами (A и B , фиг. 34—8,б и в), в которых устанавливаются массивные бетонные тумбы: одна — для теодолита, а другая — для опорной визирной марки (фиг. 34—9,б). В визирном створе располагаются съемные измерительные или прицельные марки a, b, c, \dots (фиг. 34—8,а). При наличии деформаций наблюдаемых точек a, b, c величина их может измеряться визирными линейками или,

по предложению инж. М. М. Дорохова, сконструированным им микролинометром (фиг. 34—10). Последний представляет собой базу

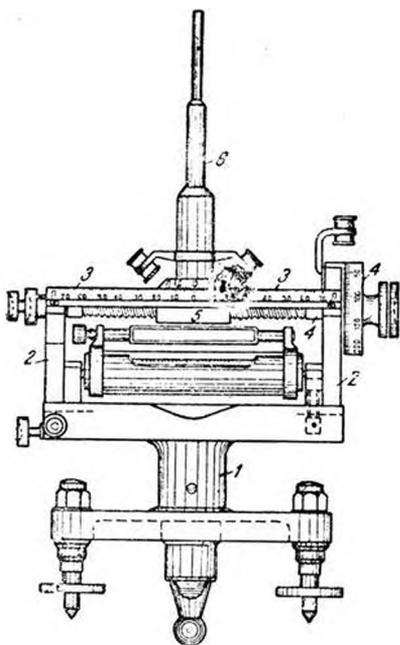


Фиг. 34—9. Визирные и прицельные марки

нивелира «Геодезия» 1, 2, на которой вместо трубы установлена шкала 3; по линейке шкалы при помощи микрометричного винта 4 может передвигаться гайка 5 с вертикальным прицельным (визирным) штифтом 6.

Смещение измеряемой точки сооружения определяется, таким образом, путем передвижения штифта *б* в плоскость створа, из которой вследствие деформации сооружения наблюдаемая точка вышла. Отсчет величины смещения делается по шкале *з* и верньеру *7* или по шкале микрометричного винта *4*; точность этих измерений 0,1 мм и более высокая.

Из специальных приборов для измерения горизонтальных смещений точек можно указать на простой метод маятника — груза, привешиваемого вверху вертикальной шахты, сделанной в сооружении; при смещении точки привеса вследствие прогиба сооружения груз маятника вниз переместится на величину смещения, что измеряется по особой шкале, или же изменение положения груза маятника фиксируется каким-либо иным точным способом, например, фотографическим.



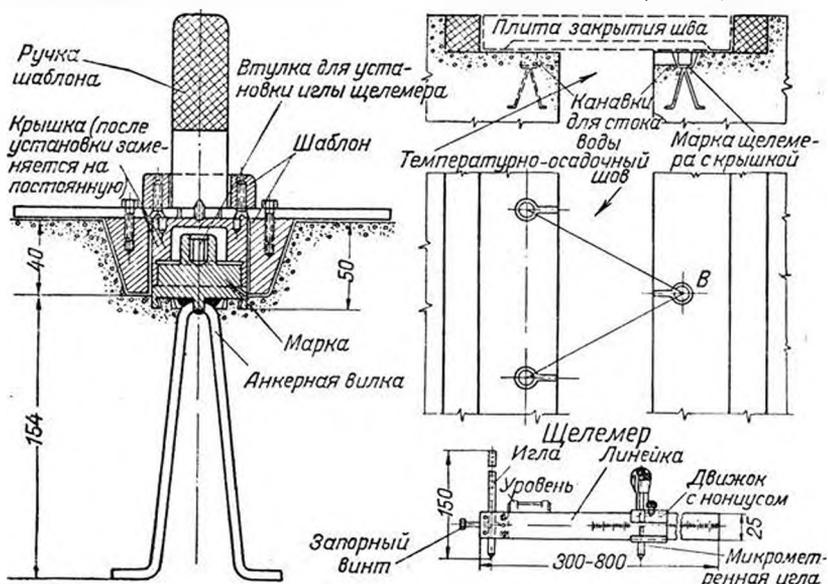
Фиг. 34—10. Микролинометр
М. М. Дорохова

5. Измерение перекосов, раскрытия швов, трещин и т. п.

Местные смещения частей сооружений у швов, раскрытие трещин и т. п. измеряются обычно непосредственным отсчетом или по мессуре, или мерной линейкой с нониусом, или специальным щелемером и т. п.; концы этих приборов устанавливаются на марках, заделанных в тело сооружения вблизи замеряемых смещений.

Марка щелемера с шаблоном

Размещение марок в группе



Фиг. 34—11. Щелемер 3-х измерений В. П. Бомбчинского

На фиг. 34—11 представлен щелемер трех измерений, предложенный В. П. Бомбчинским для замера деформаций швов бетонных сооружений и позволяющий отсчитывать изменения положения трех точек-марок на площадках смежных секций сооружения и по высоте, и в плане.

Перекося или наклон площадки сооружения вследствие деформации (например, изгиба) измеряют при помощи клинометра, представляющего собой уровень с подъемным винтом на одном конце. Отсчетом по делениям уровня или по шкале подъемного винта измеряют угол наклона плоскости, на которой установлен уровень.

6. Измерение внутренних деформаций и напряжений

Наиболее распространенным у нас методом измерения деформаций и напряжений в сооружениях является струнный метод, предложенный в 1926 г. проф. Н. Н. Давиденковым. В этом методе деформации материала (например, бетона) между двумя точками, близко расположенными (10—15 см), измеряются по частоте колебаний натянутой металлической струны, закрепленной в этих точках.

Частота собственных колебаний струны N связана с напряжением натянутой струны σ зависимостью:

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_0}} \quad \text{и} \quad \sigma = 4l^2 \rho_0 N^2, \quad (34-20)$$

где l — длина струны;

$$\rho_0 = \frac{\rho}{g};$$

ρ — плотность материала струны;
 g — ускорение силы тяжести.

При увеличении или уменьшении натяжения струны или, что то же, напряжения ее от σ_1 до σ_2 изменится частота колебаний ее от N_1 до N_2 .

Следовательно:

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = 4l^2 \rho_0 (N_1^2 - N_2^2). \quad (34-21)$$

По закону Гука, деформация удлинения или укорочения струны при изменении натяжения ее на $\Delta\sigma$ должна быть равна

$$\Delta l = \frac{\Delta\sigma}{E_c} l = 4l^3 \frac{\rho_0}{E_c} (N_1^2 - N_2^2). \quad (34-22)$$

где E_c — модуль упругости материала струны.

Если концы струны закреплены в бетоне или вообще в материале, напряжения которого измеряются, то изменения длины струны Δl будут равны линейной деформации исследуемого материала, вызванной тем или иным напряжением. Тогда по величине Δl можно судить о происшедшем изменении в напряжении материала (бетоне) $\Delta\sigma_6$, модуль упругости которого обозначим E_6 .

Исходя из равенства деформаций струны и бетона, найдем

$$\Delta l = \frac{\Delta\sigma_c}{E_c} l = \frac{\Delta\sigma_6}{E_6} l$$

и

$$\Delta\sigma_6 = \frac{E_6}{E_c} \Delta\sigma_c. \quad (34-23)$$

Если начальное напряжение в бетоне равнялось нулю, то $\Delta\sigma$ можно заменить на σ , т. е.

$$\sigma_6 = \frac{E_6}{E_c} \sigma_c = \frac{E_6}{E_c} 4l^2 \rho_0 (N_1^2 - N_2^2). \quad (34-24)$$

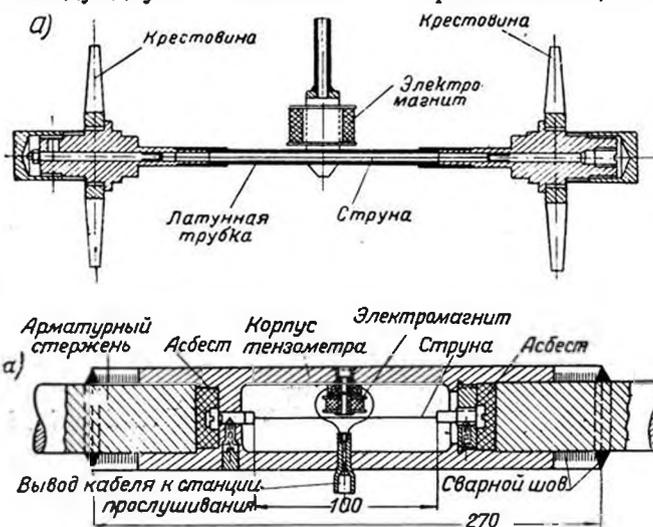
Таким образом, по частоте колебаний струны начальной N_1 и после приложения нагрузок к сооружению N_2 можно судить о напряжениях в бетоне σ_6 . Аналогично, пользуясь формулой (34-24), можно измерить напряжение в арматуре и т. п.

Данный метод имеет тот недостаток, что для определения напряжений надо знать модуль упругости бетона E_6 , который непосредственно в сооружении определить нельзя, а модуль упругости лабораторных кубиков может значительно отличаться от модуля упругости в данной точке сооружения.

Во избежание этого недостатка в последнее время предлагаются некоторые приемы, которые, однако, находятся еще в стадии опытного изучения¹.

7. Струнные тензометры

а) Струнный прибор, применяемый для измерения напряжений в бетоне, сконструирован следующим образом (фиг. 34-12, а). Между двумя головками с крестовинами, соединенными латунной



Фиг. 34-12. Струнный (акустический) телетензометр проф. Н. Н. Давиденкова

а — для бетона; б — для арматуры

трубкой и заделываемыми в бетон, натягивается стальная струна, помещаемая в указанной трубке. Струна эта приводит в колебательное движение при помощи электромагнита, помещенного на середине трубки и получающего по специальному кабелю переменный ток с центральной станции сооружения; колебания струны воспринимаются в телефонную трубку на станции, как звук. Частота колебаний струны определяется путем сравнения ее по

звuku с частотой стабилизированного генератора центральной станции.

Описанный прибор носит название электроакустического телетензометра. При его помощи можно измерять напряжения в бетоне по разным направлениям, для чего надо размещать в отдельных точках по несколько приборов с разным направлением осей: под прямыми углами, под углом 45° .

¹ С. Я. Эйдельман, Компенсационный метод измерения сжимающих напряжений в бетоне», журнал «Гидротехническое строительство» № 11, 1949.

б) Арматурный тензомер показан на фиг. 34—12, б, идея его ясна из чертежа.

в) На принципе струнного метода в настоящее время у нас изготавливается много различных приборов. Следует отметить среди них грунтовы́й динамометр для определения напряжений в грунтах. Динамометр конструкции В. П.

Бомбчинского представляет собой круглую коробку с крышкой (фиг. 34—13). Струна натягивается между кронштейнами, заделанными в базу прибора и соединенными с крышкой. При изгибе крышки под давлением грунта и деформации ее кронштейнов, изменяется длина струны, колебания которой передаются по кабелю на центральную станцию.

При помощи динамометров можно определять напряжения по подошве сооружений, давление грунта засыпки на стенки и пр.

8. Электротензометры сопротивления

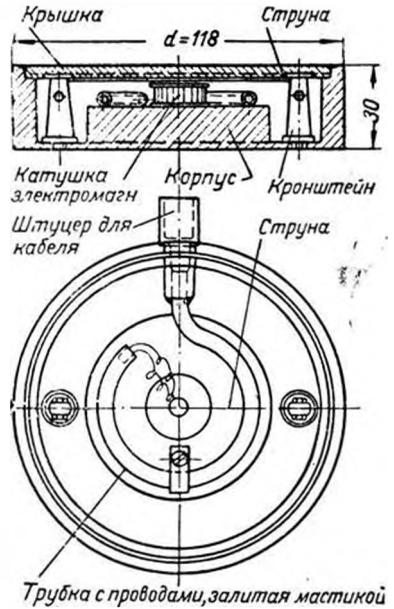
В последнее время для исследований деформаций (а по ним и напряжений) все большее распространение получают у нас проволочные электрические тензометры сопротивления, основной частью которых является нихромовая проволока ($d = 0,025$ мм), называемая «датчиком» и наклеиваемая на бумагу и с ней к поверхности исследуемой конструкции (фиг. 34—14).

При деформации элемента конструкции деформируется и проволока, вследствие чего изменяется ее омическое сопротивление, замеряемое электронным усилителем.

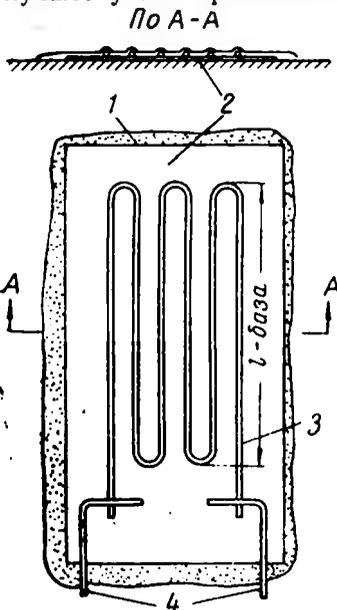
При помощи электротензометров можно надежно исследовать лишь части сооружения, не подверженные действию воды, так как изоляция датчиков от воды не всегда надежна.

9. Измерение температуры внутри сооружения

Температура внутри бетона измеряется при помощи термометров сопротивления или струнных приборов — телетермометров, изменение напряжения в которых происходит под влиянием лишь изменений температуры окружающей среды. В телетермометрах очень важным является тщательная изоляция электрического кабеля, который может стать проводником тепла; обычно его обкла-



Фиг. 34—13. Грунтовы́й динамометр В. П. Бомбчинского



Фиг. 34—14. Электротензомер сопротивления («Гидромонтаж»)

1 — клей; 2 — бумага; 3 — калиброванная проволока; 4 — проводники

дывают резиновой оболочкой и помещают в деревянные трубы, заполняемые гудроном.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Общие указания

а) На русском языке

1. Близняк Е. В., Гришин М. М., Березинский А. Р., Семанов Н. А., Ахутин А. Н., Гидротехнические сооружения (под ред. Е. В. Близняка и М. М. Гришина), т. I, Стройиздат, Л., 1938.
2. Близняк Е. В., Гришин М. М., Ахутин А. Н., Аристовский В. В., Березинский А. Р., Джунковский Н. Н., Карягин Е. К., Королев А. А., Соколов Д. Я. и др., Гидротехнические сооружения (под ред. Е. В. Близняка и М. М. Гришина), т. II, Стройиздат, 1939.
3. Гришин М. М., Гидротехнические сооружения, ч. I, Стройиздат, 1947.
4. Гришин М. М., Гидротехнические сооружения, ч. II, Стройиздат, 1949.
5. Губин Ф. Ф., Гидроэлектрические станции, Энергоиздат, 1949.
6. Замарин Е. А. и Фандеев В. В. (под ред. Е. А. Замарина), Гидротехнические сооружения, 3-е изд., Сельхозгиз, 1954.
7. Калинович Б. Ю., Основы теории гидротехнических сооружений, Речиздат, Л.—М., 1950.
8. Калинович Б. Ю., Шлюзование водных путей, 2-е изд., Речиздат, М.—Л., 1948.

б) На иностранных языках

9. Coyne, Lecons sur les grands barrages, Paris, 1943.
10. Creager W., Justin J. and Hinds J., Engineering for dams, I, II, III, N.-Y., 1945.
11. Dams and Control Works, Washington, 1938.
12. Davis C., Handbook of applied hydraulics, 2-d ed., 1952.
13. Schoktilsch A., Der Wasserbau, I, II, Berlin, 1950—1952.
14. Toelke F., Talsperren, Staudämme und Staumauern, Handbibliothek für Bauingenieuren, Berlin, 1938.
15. Wegmann E., The design and construction of dams, N.—Y., 1927.
16. Premier (I) Congress des grands barrages, vol. I—IV, Stockholm, 1933.
17. Second (II) Congress on large dams, Washington, 1936.
18. Third (III) Congress on large dams, vol. I—III, Stockholm, 1948.
19. Fourth (IV) Congress on large dams, N.—Delhy, 1951.

II. Издания по отдельным вопросам курса

а) На русском языке

20. Алтунин С. Т., Выправительные, защитные и регулировочные сооружения на реках, Сельхозгиз, 1947.
21. Алтунин С. Т., Регулирование русел рек при водозаборе, Сельхозгиз, 1950.
22. Алтунин С. Т., Бузунов И. А., Защитные сооружения на реках, Сельхозгиз, 1953.
23. Берг В. А., Компонировка приплотинных гидроэлектрических установок, Энергоиздат, М.—Л., 1953.
24. Березинский А. Р., Затворы гидротехнических сооружений СССР, Стройиздат, М., 1936.
25. Березинский А. Р., Верхнее строение плотин, Стройиздат, 1949.
26. Березинский А. Р., Современные конструкции затворов плотин и шлюзов в Германии, Стройиздат, 1947.
27. Вараксин В. А., Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений гидроэлектростанций, Энергоиздат, 1950.

28. Водоприемники с открытым водозабором деривационных гидроэлектростанций. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений (ТУ 24-109-49), Энергоиздат, 1949.
29. Волков В. П., Воронежский Л. В., Зурабов Г. Г., Бугаева О. Е., Мазур А. М., Наумов С. Н., Николаев В. Л. (под ред. В. П. Волюкова), Тоннели, т. I, Проектирование, Трансжелдориздат, 1945.
30. Вахуркин К. А., Волков В. П., Воронежский Л. В., Гликан И. В., Дорман Я. А., Каханов Г. С., Шор Д. И., Тоннели, т. II, Постройка, Трансжелдориздат, 1945.
31. Гельфер А. А., Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений, Стройиздат, 1936.
32. Гидравлическое моделирование (перевод с английского под ред. Е. В. Близняка), Энергоиздат, 1947.
33. Гольденберг Г. М., Эксплуатация подпорных, водосбросных и водоприемных сооружений гидроэлектростанций, Энергоиздат, 1949.
34. Гришин А. В., Горохов В. В., Берелович С. И. и Штернштейн М. Ю., Перемычки и бетонные работы на строительстве больших гидроузлов в США, Энергоиздат, 1939.
35. Гришин А. В., Пропуск строительных расходов и опражнение котлованов при строительстве гидроузлов, Энергоиздат, 1950.
36. Ереснов Н. В., Бондарь Ф. И., Семенов С. И. и Суров И. Е., Речные водозаборные сооружения (для водоснабжения), Стройиздат, 1951.
37. Залькиндсон Е. И., Нефедов Е. Е. и Березинский А. Р., Плоские стальные затворы гидротехнических сооружений (под ред. А. Р. Березинского), Стройиздат, 1951.
38. Замарин Е. А., Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах, Стройиздат, 1951.
39. Захарьевская М. А., Архитектура гидротехнических сооружений. Плотины, Стройиздат, 1939.
40. Зегжда А. П., Теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей, Энергоиздат, 1938.
41. Зурабов Г. Г. и Бугаева О. Е., Безнапорные гидротехнические туннели, Стройиздат, 1940.
42. Зурабов Г. Г. и Бугаева О. Е., Гидротехнические тоннели, ч. I, Напорные штольни, Стройиздат, 1934.
43. Иванов Н. А. и Чекрышев А. В., Дноуглубление, выправление и обстановка, Госречиздат, 1939.
44. Избаш С. В., Гидравлика в производстве работ, Энергоиздат, 1949.
45. Избаш С. В., Основы лабораторно-опытного дела в гидротехнике, Энергоиздат, 1938.
46. Королев А. А. и Гинко С. С., Открытые подводящие каналы гидроэлектростанций, Энергоиздат, 1937.
47. Кулька Г., Металлические затворы плотин (перевод с немецкого под ред. А. Р. Березинского), Стройиздат, М.—Л., 1934.
48. Леви И. И., Водоприемники гидроэлектрических установок, Энергоиздат, 1950.
49. Лесосплавные лотки, сборник под ред. А. М. Латышенкова и Д. Г. Смараглова, 1933.
50. Ликин В. В., Монтаж затворов гидротехнических сооружений (под ред. А. Р. Березинского), Стройиздат, М.—Л., 1944.
51. Мазур А. М. и Любченко Б. М., Гидротехнические туннели. Экономические и гидравлические расчеты, Энергоиздат, 1937.
52. Макридин Н. В., Одежда каналов как средство борьбы с фильтрацией, Стройиздат, 1936.
53. Матусевич В. А., Выправление рек и регулирование стока, Речиздат, М., 1949.
54. Непорожний П. С., Защита гидроэлектростанций от селевых потоков, Энергоиздат, 1947.
55. Нилендер Ю. А., Исследование деформаций и температурного режима в теле Днепровской плотины, Стройиздат, 1933.
56. Офицеров А. С., Вопросы гидравлики водозабора, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952.
57. Петрашень В. И., Гидротехнические затворы с плоской несущей обшивкой, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, М.—Л., 1952.
58. Потапов М. В., Регулирование водных потоков методом искусственной поперечной циркуляции, изд. АН СССР, 1947.
59. Потапов М. В. и Пышкин Б. А., Метод поперечной циркуляции и его применение в гидротехнике, изд. АН СССР, 1947.
60. Практическое руководство производителю выправительных работ, сост. Лавринович Л. П. и Варламов Н. Н., Речиздат, 1946.

61. Релкия В. П., Ремонт гидротехнических сооружений ГЭС, Энергоиздат, М.—Л., 1952.
62. Соколов Д. Я., Водозаборные устройства для гидростанций и ирригации, Стройиздат, 1937.
63. Соколов Д. Я., Отстойные бассейны для ирригации и гидростанций, Сельхозгиз, 1945.
64. Стандарты, нормы и технические условия проектирования гидротехнических сооружений гидроэлектростанций, сборник № 1, Энергоиздат, 1939.
65. Тарановский С. В., Вододействующие металлические затворы плотин, Стройиздат, 1947.
66. Тарановский С. В., Цветков А. П., Попов Г. Д., Дмитриевский С. М., Секторные затворы, Стройиздат, М.—Л., 1937.
67. Технические условия на производство гидротехнических работ (Главгидроэнергострой НКЭС), вып. I, Возведение земляных, набросных и ряжевых перемычек, ТУ24-23-40, Энергоиздат, 1941.
68. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений (ТУ 24-108-48). Деривационные каналы гидроэлектростанций, ч. I и II, Энергоиздат, 1948.
69. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений (ТУ 11-51), Гидротехнические туннели гидроэлектростанций МЭС СССР, Энергоиздат, 1952.
70. Тихий М. и Викторов П., Запасы рыб и гидростроительство, Пищепромиздат, 1940.
71. Угинчус А. А., Каналы и сооружения на них, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953.
72. Угинчус А. А., Бомбчинский В. П., Контрольно-измерительная аппаратура гидротехнических сооружений, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954.
73. Федоров И. В. и Титова В. И., Ячеистые конструкции из металлического шпунта, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952.
74. Харчев Г. К., Рыбопропускные сооружения, Стройиздат, 1940.
75. Шанкин П. А., Исследования фильтрации в построенных гидротехнических сооружениях, Речиздат, 1947.

б) На иностранных языках

76. Freeman J. R., Hydraulic laboratory practice, 1929.
77. Kreuter F., Der Flussbau (Handbuch d. Ing.—Wissensch, T. III. B. VI), 1921.
78. Strele G., Grundriss der Wildbachverbauung, 1934.
79. White L. and Prentis E. A., Cofferdams, 1940

III. Периодические издания

а) На русском языке

1. «Вестник ирригации».
2. «Водный транспорт».
3. «Гидротехника и мелиорация».
4. «Гидротехническое строительство».
5. «Известия Научно-исследовательского института гидротехники» (ВНИИГ), выходят неперіодически с 1931 г.
6. Труды и сборники всесоюзных научно-исследовательских институтов ВОДГЕО, ВНИИГИМ и др.

б) На иностранных языках

1. „Annales des ponts et chaussées“.
2. „Die Bautechnik“.
3. „Civil Engineering“ (N.—Y.).
4. „Energia Elettrica“.
5. „Engineering News Record“.
6. „La Houille Blanche“.
7. „Proceedings of the American Society of Civil Engineers“ (PASCE).
8. „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“.
9. „Water Power“.

Примечание. Ссылки на приведенную в данном списке литературу (кроме периодической) в тексте книги даются в квадратных скобках, например, [2], [70].

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Страница | Строка | Напечатано | Следует читать |
|-----------------------|--|---|--|
| 28 | 10 снизу | По II ч. (17-6) | (17-7) |
| 42 | Формула (17-20) | $W = \sqrt{W_1 + W_2}$ | $W = \sqrt{W_1^2 + W_2^2}$ |
| 65 | 1 снизу | $\overline{eg} \perp AD$ | $\overline{eg} \parallel AD$ |
| 131 | 3 " | (фиг. 21-12, а) | (фиг. 21-12, б) |
| 138 | 13 и 14 сверху | L | L_1 |
| 165 | 13 снизу | (фиг. 23-17, б) | (фиг. 23-14, б) |
| 174 | 1 " | под | над |
| 203 | 10 " | $\frac{H}{h}$ | $\frac{H}{h}$ |
| 221 | 12 " | 0,8 | 2,8 |
| 239 | 26 сверху | В. Е. | Б. Е. |
| 254 | 1 " | (фиг. 27-10) | (фиг. 27-9) |
| 332 | Формула (30-15), знаменатель | 0,7750 m | 0,7750 mn |
| 332 | Формула (30-16), числитель | +0,3927 n | -0,6092 n - -0,2267 mn |
| 332 | " | +0,375 n | -0,375 n |
| 342 | 7 снизу (табл. 30-1, колонка B) | 0,1620 | 0,1628 |
| 343 | 16 снизу (табл. 30-3 колонка D ₂) | 0,0-329 | 0,02329 |
| 344 | Фиг. 30-16, б | $+0,6 \frac{M - M}{W}$ | $+0,6 \frac{M - M'}{W'}$ |
| 345 | Табл. 30-4: две верхние схемы | $\frac{c}{b}$ | $\frac{b}{c}$ |
| 346 | Там же, нижняя схема | δ | δ_1 |
| 371 | 2 снизу | 31-18, б | 31-15, б |
| 445 | 28 " | нихромо- | константо- |
| Дополнительно по I ч. | | | |
| 83 | Формула (4-9), числитель | $+\sqrt{1 + \frac{b^2}{s^2}}$ | $-\sqrt{1 + \frac{b^2}{s^2}}$ |
| 92 | Формула (4-22) | -A | -B |
| 92 | Там же | -B ² | -A ² |
| 94 | 3 сверху | вертикальных | горизонтальных |
| 94 | 4 сверху | $L_0 = L_1 + \frac{1}{3} L_2$ | $L_0 = L_2 + \frac{1}{3} L_1$ |
| 95 | Формула (4-29) | $\sqrt{\left(1 + \frac{b}{s}\right)^2}$ | $\sqrt{1 + \left(\frac{b}{s}\right)^2}$ |
| 112 | Формула (4-52) | $h_x = \sqrt{(h_2^2 - h_c^2)(1 - h_r) + h_c^2}$ | $h_x + \sqrt{(h_1^2 - h_c^2)(1 - h_r) + h_c}$ |
| " | Фигура 4-31 | $q_r = 0,53 + 0,15 \left(\frac{s}{b} - \eta\right)$ | $q_r = 0,53 + 0,15 \left(\frac{s}{b} - 2\right)$ |
| 145 | 11 снизу | середины этого сечения | точки O |
| " | Формула (6-43) | M_0 | -M ₀ |
| " | То же | (1-n ²), | (1+n ²), |
| 245 | 12 снизу | (8-12 см), | (до 7 см), |
| 313 | Формула (10-34) | $\sigma_{н.в} = \gamma' / \sigma_{н.в}$ | $\sigma_{н.в} = \gamma' h_{н.в}$ |
| 336 | 2 снизу | 7-10 см | до 7 см |
| 352 | 3 сверху | немоолитными, | моолитными, |
| | Вклейка в конце книги | Перервинская | Карамышевская |