

---

АДОЛЬФ ЛЮДИН

ГИДРОЭЛЕКТРОСТРОИТЕЛЬСТВО  
СКАНДИНАВИИ



ОНТИ • ЭНЕРГОИЗДАТ • 1934

---

АДОЛЬФ ЛЮДИН  
проф. Берлинского В.Т.У.

# ГИДРОЭЛЕКТРОСТРОИТЕЛЬСТВО С К А Н Д И Н А В И И

сокр. перевод с нем. инж. Г. А. ГЛАЗЕНАП  
под редакцией инж. П. А. ЕФИМОВИЧА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА \* 1 9 3 4 \* ЛЕНИНГРАД

Редактор инж. *В. К. Рерих*

Техредактор *А. Д. Чаров*

Книга, предлагаемая читателям, является переводом одной из последних работ проф. Людина — крупнейшего германского специалиста по вопросам гидроэнергетики.

Перевод этот не является полным, но содержащим лишь описание наиболее интересных установок, их особенностей в постройке и эксплуатации, с предосланными ему краткими климатическими и геолого-географическими описаниями Швеции, Норвегии и Финляндии.

В переводе опущены мало интересные для нашего читателя вопросы экономики и деятельности отдельных ведомств, поскольку они относятся к капиталистическим формам хозяйства.

Книга содержит много интересных для гидротехников идей, имеет богатый описательный материал, сопровождаемый множеством интереснейших чертежей, что делает книгу весьма ценной для всех работающих в области гидротехники.

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

Труд профессора А. Людина «Nordische Wasserkräfte», изданный в 1930 г., написан в период 1925—1928 гг. и содержит данные и описание почти всех новейших гидроэлектрических установок Скандинавии. Предлагаемый перевод охватывает лишь часть труда Людина, именно описание гидротехнических сооружений как таковых.

Для общего ознакомления с физико-географическими особенностями Скандинавии чисто технической части перевода предпосланы климатические и геолого-географические описания Швеции, Норвегии и Финляндии, составленные из переводов специально посвященных этим вопросам отделов книги Людина. Эти описания помогут читателю разобраться в своеобразных, подчас весьма близких к нашим, условиях работы сооружений.

Основная ценность книги Людина заключается в том, что она знакомит нас в описательной и легко доступной форме с интереснейшими конструкциями, применяемыми на севере Европы. Это тем более необходимо, что мы зачастую имеем о них лишь слабое представление. Богатый описательный материал сопровождается множеством интереснейших чертежей и рисунков.

Профессор Людин не дает подробных расчетов, ограничиваясь лишь краткими указаниями на их методику. Временами благодаря этому текст становится трудно понятным и требует весьма внимательного и вдумчивого чтения. Последнее особенно верно в отношении водохозяйственных расчетов, изложенных весьма концептивно, но содержащих множество интереснейших мыслей и предложений; они дают большой материал для развития и уточнения принятых у нас водохозяйственных расчетов, но требуют или большой самостоятельной проработки этих вопросов или обращения к подлинникам, к сожалению, весьма мало доступным благодаря плохому нашему знакомству с шведским и датским языками.

В соответствующей части книги проф. Людин касается вопросов параллельной работы станции, освещая их преимущественно с технической стороны, а также затрагивает и экономические вопросы. Эти последние в капиталистическом обществе слагаются, конечно, совершенно отлично от наших условий. Поэтому наибольший эффект от планомерной параллельной работы, который достигается лишь в социалистическом обществе, совершенно ускользает от автора. Автор касается вопросов коммерческой выгоды от слияния мелких сетей в одну общую, по совершенно не замечает, что максимальный народнохозяйственный эффект такого слияния, выражается в наиболее полном использовании производительных сил, что возможно лишь при устранении капиталистической конкуренции. Устранение этой конкуренции, являющейся необходимой предпосылкой последовательно-планового использования производительных сил, в том числе и гидроэнергии, является делом лишь социалистического строя.

П. А. Е ф и м о в и ч.

Москва, 1932 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.		Стр.
Предисловие редактора.....	3	§ 3. Уравнительные башни .....	119
<b>Часть первая</b>		§ 4. Железные напорные трубопроводы.....	127
<b>Природные условия Скандинавии</b>		§ 5. Высоконапорные трубопроводы.....	131
Глава I. Швеция .....	5	§ 6. Железобетонные трубы .....	134
Введение .....	—	§ 7. Деревянные трубы.....	136
§ 1. Орография страны.....	6	Глава VI. Силовые установки .....	140
§ 2. Геология .....	—	§ 1. Водозаборные устройства низконапорных установок .....	—
§ 3. Атмосферные осадки.....	10	§ 2. Расположение и установка турбин .....	151
§ 4. Условия стока.....	11	§ 3. Турбины .....	165
§ 5. Общая характеристика гидрографии Швеции.....	12	§ 4. Всасывающие трубы.....	168
§ 6. Гидрографическое подразделение шведских речных бассейнов.....	15	§ 5. Общее устройство силового здания .....	169
Глава II. Норвегия.....	17	§ 6. Архитектурное оформление гидроэнергетических установок.....	176
§ 1. География страны.....	—	Глава VII. Рыбоходы и устройства для лесосплава .....	178
§ 2. Геологические условия.....	18	§ 1. Рыбное хозяйство .....	—
§ 3. Климат, осадки и сток.....	19	§ 2. Рыбоходы.....	180
§ 4. Гидрография Норвегии.....	20	§ 3. Лестница для мальков угря .....	183
Глава III. Финляндия .....	25	§ 4. Рыбоводные станции.....	185
§ 1. География страны .....	—	§ 5. Лесное хозяйство и лесосплав .....	—
§ 2. Гидрография Финляндии .....	27	§ 6. Устройство для лесосплава и плотоходы .....	192
§ 3. Гидроэнергетические ресурсы Финляндии.....	31	§ 7. Лесосплавные лотки.....	195
<b>Часть вторая</b>		§ 8. Направляющие устройства.....	197
<b>Гидротехнические сооружения и их детали</b>		Глава VIII. Устройство электропередач .....	198
Глава I. Задачи гидроэнергетического хозяйства, в частности, регулирования стока .....	34	<b>Часть третья</b>	
§ 1. Общие положения.....	—	<b>Производство строительных работ и эксплуатация гидроэлектрических установок</b>	
§ 2. Суточное и недельное регулирование .....	—	Глава I. Производство работ .....	205
§ 3. Годичное регулирование .....	37	§ 1. Доступность места постройки; транспортные устройства.....	—
Глава II. Подпорные сооружения .....	51	§ 2. Строительная программа.....	207
§ 1. Земляные и подобные им плотины .....	—	§ 3. Устройство оснований и водоотлив .....	208
§ 2. Аварии земляных плотин.....	59	§ 4. Земляные и скальные работы.....	213
§ 3. Гравитационные плотины.....	—	§ 5. Бетонные работы.....	—
§ 4. Плотины пустотелой конструкции с плоской напорной плитой .....	70	§ 6. Мероприятия для облегчения работ по позднему расширению установок .....	217
§ 5. Многоарочные плотины .....	73	§ 7. Организация строительного дела в Скандинавии.....	222
§ 6. Арочные плотины.....	80	Глава II. Эксплуатационный опыт гидроэлектростанций .....	223
Глава III. Затворы .....	87	§ 1. Специфические северные трудности эксплуатации.....	—
Глава IV. Основания плотины .....	103	§ 2. Наносы.....	227
Глава V. Водоводы .....	110	§ 3. Нарушение работы электропередач .....	—
§ 1. Каналы .....	—	Глава III. Обслуживание гидроэнергетических установок .....	228
§ 2. Штольни .....	112	Автоматические установки .....	—

## ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ СКАНДИНАВИИ.

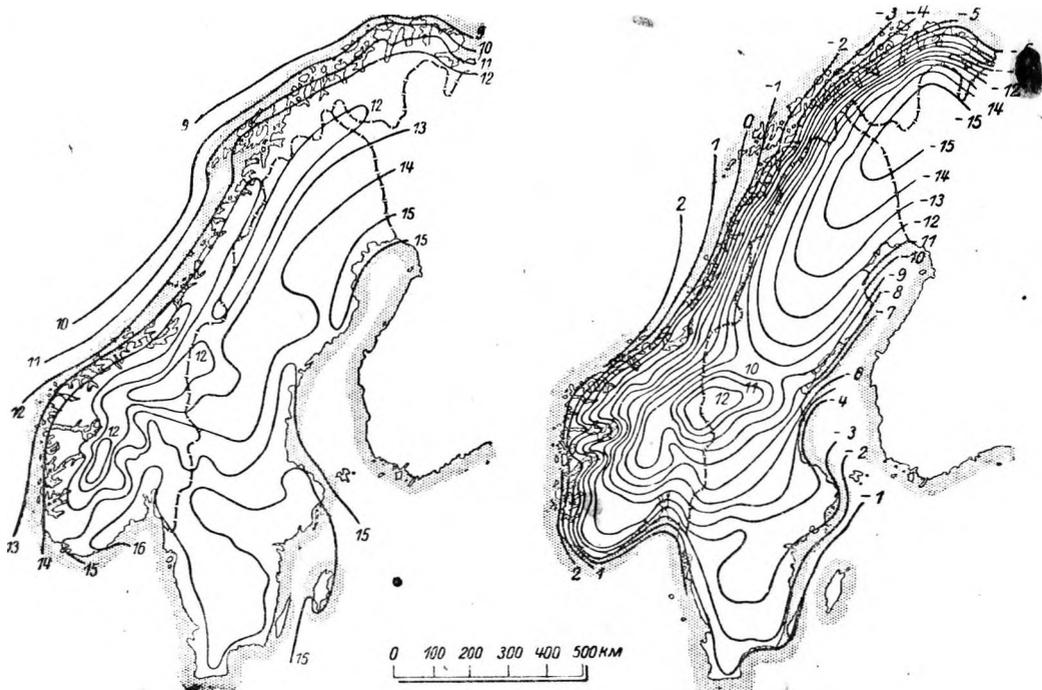
### Глава первая.

#### ШВЕЦИЯ

##### Введение.

Швеция занимает восточную, большую часть Скандинавского полуострова. Площадь ее равняется 448 000 кв. км. Ее берега омываются водами Скагерака, Каттегата, пролива Зунда и Балтийского моря (Ботнического залива); от Финляндии она отделяется реками Торнео-эльв и Муонио-эльв, от Норвегии, главным образом, Квеленским горным хребтом. Территория Швеции (шириной от 300 до 400 км и длиной 1 600 км) тянется от 65-го до 69-го градуса широты; это обуславливает большое разнообразие климата и флоры. С точки зрения гидроэнергетики важно то обстоятельство, что общее протяжение

побережья Швеции равняется кругло 2 500 км и что значительная часть береговой линии ее доступна для морских судов. Из морских берегов Швеции свободны, впрочем, ото льда в течение круглого года только берега Скагерака, Каттегата и пролива Зунда; что касается Балтийского моря, то не замерзает только часть его берегов до Норртелье (к северу от Стокгольма). Дальше к северу морские сообщения приходится прерывать на значительную часть зимы; в Гёфле в среднем на 2,8 мес., в Сундвалле и Гернесанде на 3,5 мес., в Умео на 4,7 мес., в Гапаранде на 6,4 мес. На фиг. 1 приведены

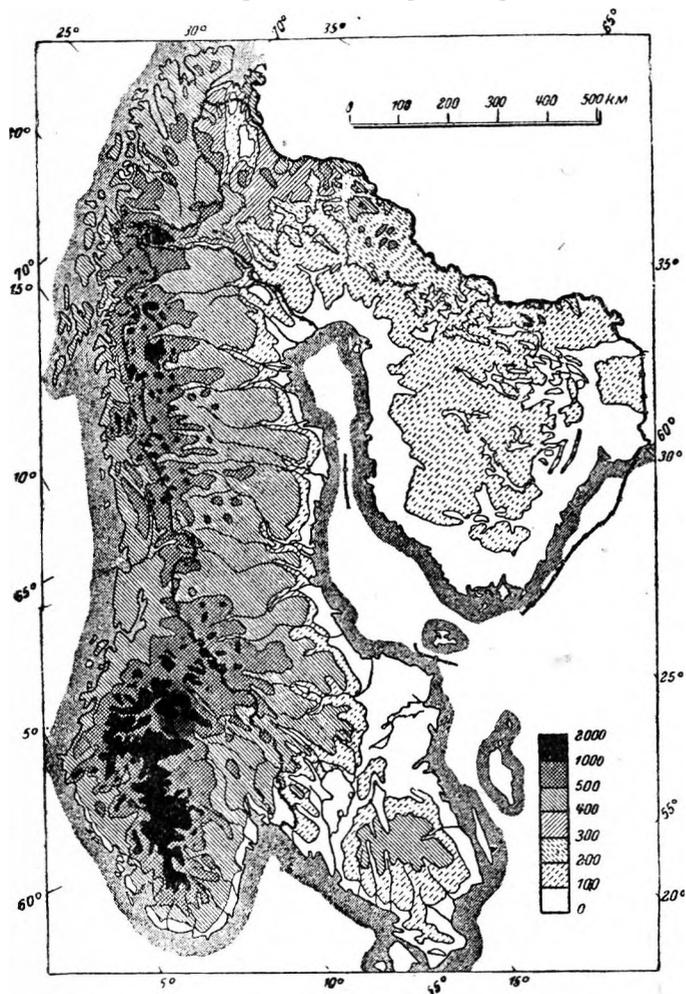


Фиг. 1. Средние месячные температуры (слева — июль, справа — январь).

изотермы Скандинавии. В приведенную выше общую площадь включены и многочисленные острова Швеции (самые крупные — Готланд и Эланд), но так как они не обладают никакими существенными водносиловыми ресурсами, то их мы в дальнейшем касаться не будем.

## § 1. Орография страны.

В отличие от смежных с нею областей опускающая Скандинавия представляет собою сохранившийся остаток первичного материка, пересечен-



Фиг. 2. Орографические условия Фенноскандии.

ный многочисленными линиями сбросов. К Северному и Атлантическому океанам Скандинавский полуостров ниспадает круто, к Балтийскому морю и Ботническому заливу в общем мягко и с плавными переходами (фиг. 2). Наивысшие отметки встречаются в Швеции в пограничном горном хребте Квэлен и в Норрланде (средняя высота хребта 600 м, отдельные вершины до 2 200 м). От Норрланда местность имеет падение с одной стороны к Ботническому заливу и Балтийскому морю, с другой стороны — к области

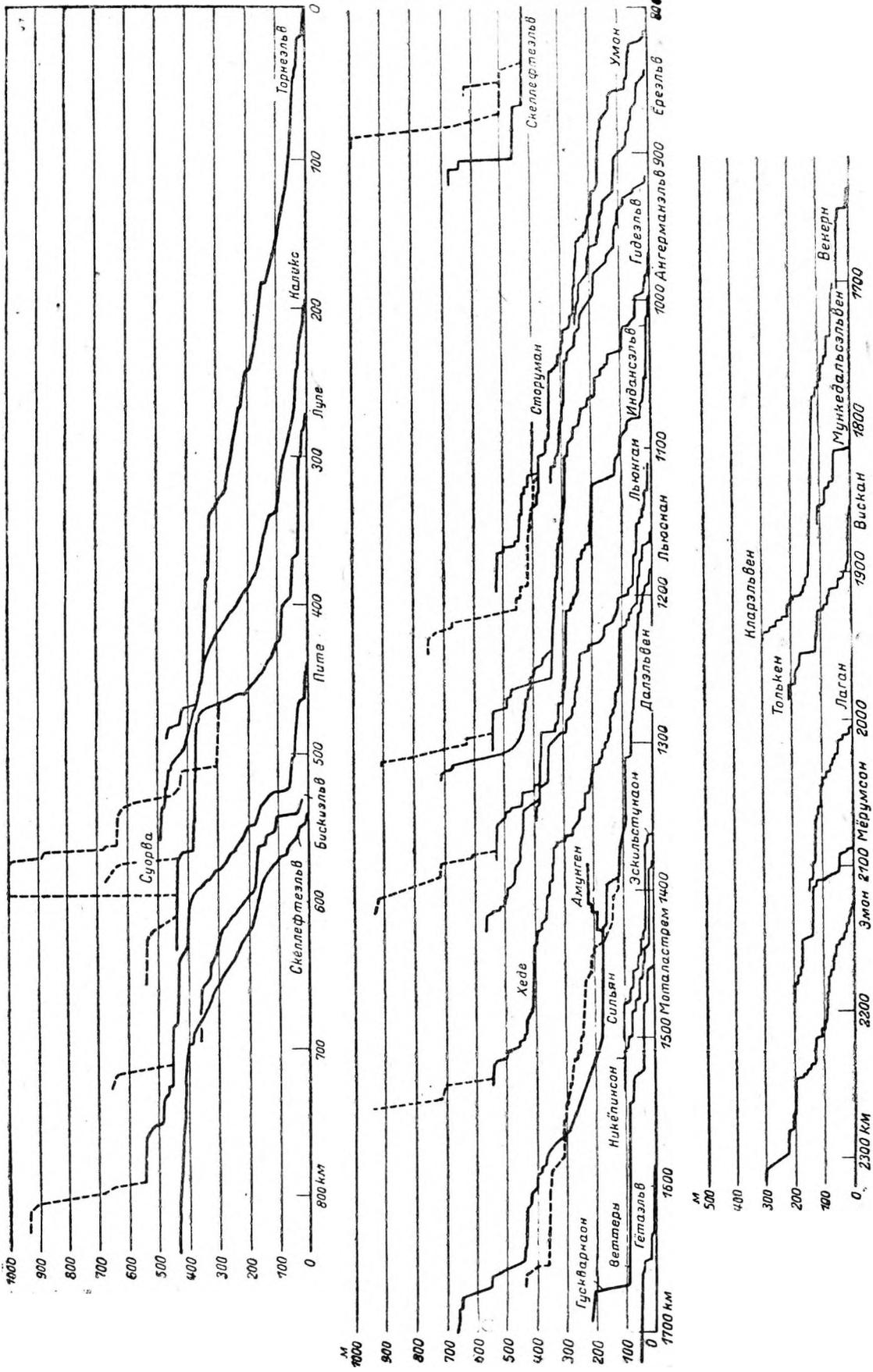
крупных шведских озер. Область этих озер, главным образом, озер Мэларен, Эльмарен и Вэнерн, представляет собой сравнительно низменную холмистую местность (отметка ее везде ниже 100 м), весьма пересеченную и усеянную многочисленными мелкими озерами. К югу от этого района начинается новое плоскогорье, как называемое Смоландское плато, где мы опять встречаем вершины с отметкой до 400 м; это плато снижается по всем направлениям, по сильнее всего в сторону самой южной области Швеции — Сконе (Шонену). Эти четыре главных орографических сектора страны: горный район северной и центральной Швеции, с относящимся к нему побережьем, низменный холмистый район крупных озер, Смоландское плоскогорье и Сконенская низменность резко отличаются и в смысле режима своих главных водотоков. Об этом мы будем подробнее говорить ниже.

В деталях рельеф страны преимущественно сохранил древние очертания первичной материковой скалы, хотя и лишившейся в ледниковый период позднейших осадочных пластов, но в остальном почти не изменившейся. Благодаря этому, как это доказал Норлинд<sup>1</sup> в своем обширном и глубоком труде, орография главных долин носит характер отчетливо выраженного единства. В совершенно определенных высотных зонах встречаются озерные плато, выделенные линиями сбросов, между ними пролегают долины с крутым падением, вдоль которых водотоки низвергаются по порогам и крутым уступам (фиг. 3).

## § 2. Геология.

Геологические особенности страны имеют в четырех отношениях большое значение для использования ее гидроэнергетических ресурсов: во-первых, они сильно влияют на условия стока и на конфигурацию сети водотоков; во-вторых, они в решающей форме обуславливают устройство оснований гидротехнических сооружений; в-третьих, встречающиеся породы определяют выбор строительных материалов для гидросиловых установок, а, стало быть, во многих случаях и самое расположение и характер сооружения; в-четвертых, наконец, геологические условия страны глубоко и всеобъемлюще влияют на экономические предпосылки, на которых базируется всегда гидроэнергетика. Не касаясь хозяйственного влияния естественноисторических факторов, займемся исключительно геологическими предпосылками гидроэнергетического хозяйства Швеции, поскольку они определяют характер строительного грунта, строительных материалов и водного режима. В отношении этих трех факторов

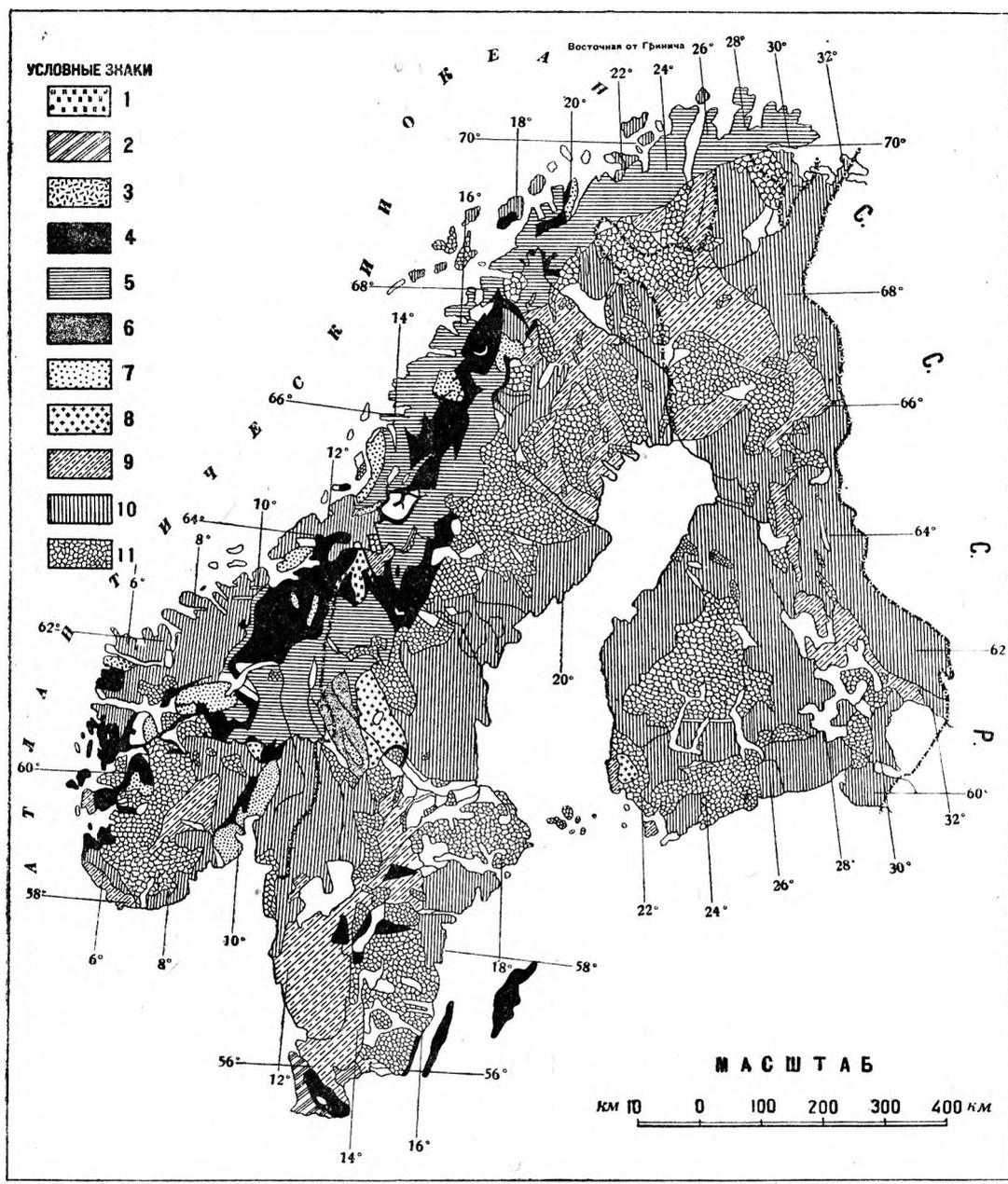
<sup>1</sup> Den Svenska Vattenkraftens geografiska fördelning i dess beroende av landets morfologie (Stockholm), 1924, и Sveriges Vattenkraftresurser (Linköping), 1925.



Фиг. 3. Продольные профили водотоков Швеции (по Норлинду).

реологические условия севера можно считать чрезвычайно благоприятными для развития гидроэнергетического хозяйства.

Норвегию и Финляндию целиком и Швецию — за исключением небольшой части ее южной окраины (южная часть Сконе и небольшая часть



Фиг. 4. Геологическая карта Фенноскандии.

Обозначения: 1 — третичные отложения; 2 — меловые отложения; 3 — девонские отложения; 4 — силлурийские и визингскойские формации; 5 — гнейс фьеллькьёда, амфиболиты, спаргамиты; 6 — песчаник Дала; 7 — более молодые вулканические породы; 8 — гранит — рапакиви и порфиры; 9 — древнейшие сланцы; 10 — гнейс; 11 — гранит.

Специальная геологическая литература, учитывая коренное родство северных стран между собой, включает в понятие Фенноскандии<sup>1</sup> большую часть территории трех стран, а именно:

<sup>1</sup> Термин «Фенноскандия» введен Рамзеем (см. «Atlas de Finlande» Финляндского географического о-ва, Гельсингфорс, 1910 г.).

провинции Блэкинге); сюда же она приобращает и всю территорию советского Мурмана и Карелии. Вся эта область имеет одну общую характеристику, весьма отчетливо выявляющуюся в ее ландшафте, а именно: в ней отсутствуют (почти) некоторые геологические пласты, в первую очередь все пласты мезозойской группы. Кроме того,

все пласты девонского, каменноугольного, кембрийского и силурийского периодов весьма слабо представлены во всей Фенноскандии и совершенно не встречаются в Швеции. Характерно отсутствие этих пластов, очень обильно представленных в остальной северной и северо-восточной Европе (Дания, Восточная Пруссия, запад СССР), объясняется тем, что мощные глетчеры ледникового периода полностью уничтожили большинство осадочных пластов доледниковой эпохи (ср. фиг. 4 и 5). Характерно, далее, что сравнительно очень слабо представлены послеледниковые глинистые и песчаные отложения и притом во всей Фенноскандии, особенно же в Норвегии.

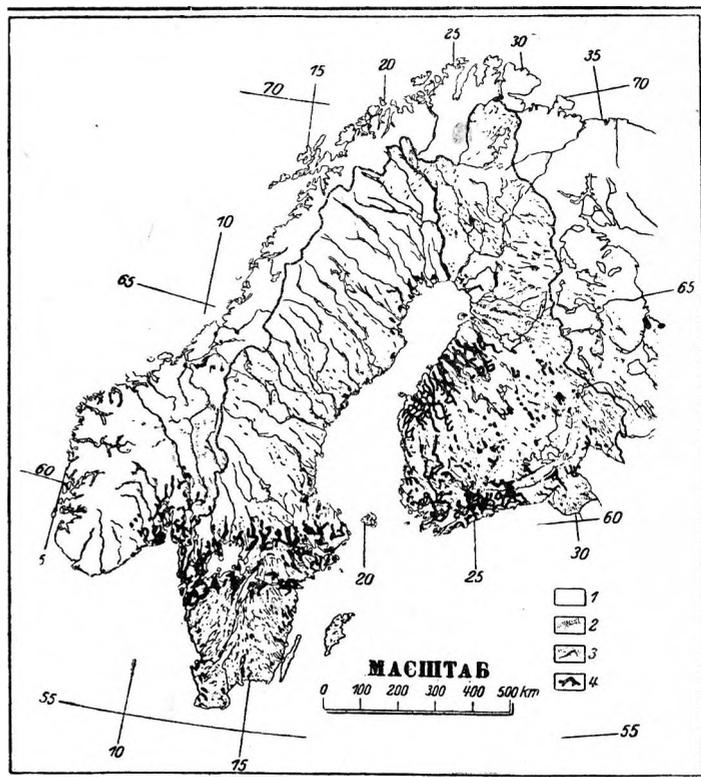
В Швеции довольно значительные отложения глины встречаются в низменностях центральной части страны, т. е. в холмистой области крупных озер и в широких поймах Гэта-эльва и Моталы; в более скромных размерах мы находим их во многих других низинах (особенно в районе нижнего течения больших рек северного Норланда). Для Смоланда и Сконе характерны послеледниковые песчаные отложения, глина здесь встречается редко. Мощность этих глиняных и песчаных пластов чаще всего, однако, невелика, и большого значения для гидротехнического строительства они не имеют. То же можно сказать и о моренных отложениях, которые мы находим почти повсеместно, за исключением некоторых районов высоких горных хребтов; эти отложения, однако, прерываются весьма часто.

Поэтому для шведского ландшафта, и притом не только в гористой, но и в центральной холмистой местности, характерно то обстоятельство, что материковая скала очень часто выступает наружу или же сравнительно очень легко достижима. В смысле строительной техники весьма важно, что приходится иметь дело с породами не только без исключения обладающими высокой прочностью, но чаще всего и водонепроницаемыми. Среди них характерны для Швеции гранит, гранито-гнейс, гнейсо-гранит и далекарлийские порфиры (все досилурийского происхождения); в высокогорном районе, следует отметить силурийские породы, не прошедшие через стадию метаморфизма. Верхние части архейских пород местами сильно выветрились, но со всем тем можно считать установленным, что строительные условия грунта во всей Швеции чрезвычайно благоприятны.

Широкое распространение архейских пород имеет также большое значение для добычи строительных материалов; трудный для обработки твердый строительный камень придает многим

гидротехническим сооружениям очень своеобразный в архитектурном отношении отпечаток.

Вышеприведенные геологические особенности весьма отчетливо отражаются на условиях стока. Во-первых, они обуславливают высокое отношение количества стока к количеству осадков



Фиг. 5. Четвертичные отложения Фенноскандии.

1 — глины; 2 — пески; 3 — озы (краевые и концевые морены); 4 — морены.

(так называемый коэффициент стока); во-вторых, они дают ключ к характерным различиям между отдельными главнейшими областями; так, например, высокие коэффициенты стока северного и центрального плоскогорья Швеции отчасти объясняются преобладанием скалистой подпочвы. Совершенное отсутствие напластований периодов от силурийского до четвертичной эпохи является причиной того факта, что в Швеции нигде не имеется залежей каменного угля и лигнита (исключая уже упоминавшуюся мезозойскую область Сконе, где вблизи Гельсингборга имеются небольшие залежи каменного угля). Последнее обстоятельство также очень характерно и имеет чрезвычайное значение для развития шведской гидроэнергетики. С изложенными геологическими условиями тесно связана, наконец, и своеобразная конфигурация многочисленных озер Швеции, о чем мы будем говорить ниже, когда коснемся ее гидрографии.

### § 3. Атмосферные осадки.

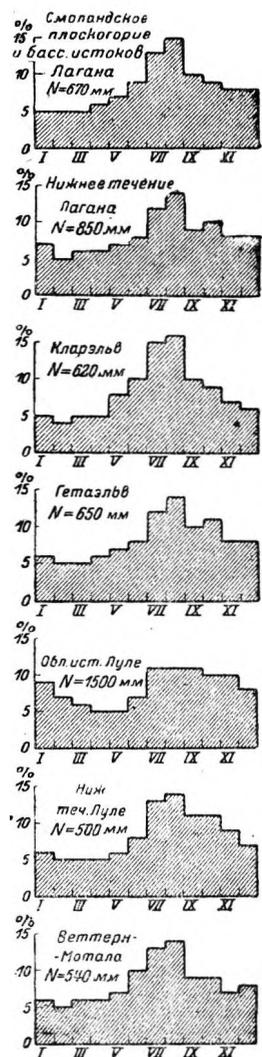
Хотя значительная часть Швеции и защищена грядой гор от обильных влагой теплых океанских ветров (ср. фиг. 6), но, тем не менее, Северное море и Атлантический океан гораздо сильнее влияют на режим ее осадков, нежели Балтийское море и Ботнический залив. Среднее годовое количество осадков на большей части территории Швеции не достигает 500 мм. Только на северном и центральном Шведском плоскогорье, на полосе длиной около 100 км вдоль норвежской границы, наблюдаются сравнительно большие площади со среднегодовым количеством осадков свыше 1 400 мм. Второй зоной максимальных осадков, но со значительно меньшей

абсолютной среднегодовой цифрой является полоса, тянущаяся от Норрланда через центральную Швецию к Балтийскому морю и Ботническому заливу; здесь наблюдаются годовичные осадки около 500 — 600 мм, относительная высота которых очевидно объясняется, главным образом, влиянием этих внутренних восточных морей. Между этими двумя областями со сравнительно высокой цифрой осадков расположена область, бедная осадками, где средняя годовичная высота осадков достигает всего только 400—500 мм; самая северная часть страны имеет еще более низкую цифру осадков — ниже 400 мм.

В южной части Швеции условия осадков определяемы с меньшей наглядностью; здесь богаче всего осадками западный край Смоландской воз-



Рис. 6. Карта атмосферных осадков Фенноскандии (Швеция 1881—1920, Норвегия 1890—1910, Финляндия 1911—1920 гг., Гидрографическое бюро).



Фиг. 7. Диаграмма среднемесячных осадков (1881—1920) в типичных речных бассейнах Швеции (официальные данные).

вышенности, очевидно, благодаря непосредственному влиянию влажных морских ветров, дующих с запада. На фиг. 7 приведено распределение во времени выпадения осадков для некоторых речных районов, различающихся между собой. Само собой понятно, что доля, в которой снег участвует в общем среднее годовичном количестве осадков, изменяется весьма значительно в направлении с юга на север (фиг. 8 и 9).

#### § 4. Условия стока.

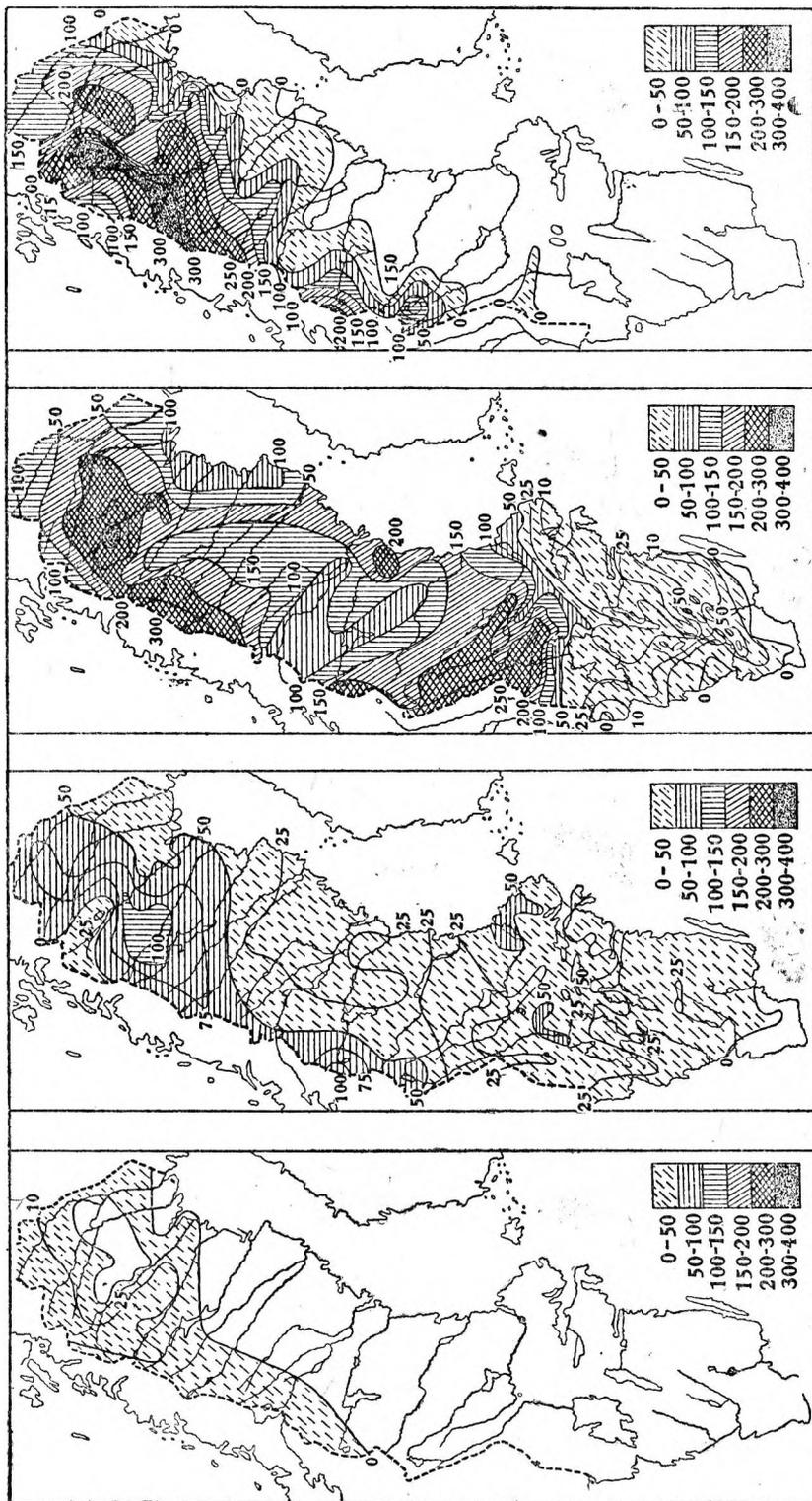
Наряду с геологическими и орографическими условиями и условиями осадков решающее значение для распределения водных ресурсов страны имеют условия стока, различные в отдельных областях.

В отношении условий стока отдельные области Швеции также выявляют очень существенные различия (фиг. 10, 11). В горах Норрланда, где, с одной стороны, почти совершенно отсутствуют водопроницаемые пласты четвертичного периода, а с другой стороны, суровая температура сильно ослабляет испарение, коэффициент стока высок; но данным Валлена его можно оценить в 55—75%.

В прибрежных и лесистых местностях Норрланда испарения несколько выше, и даже до известной степени возможно образование грунтовой воды, так как четвертичные пласты здесь представлены уже гораздо шире. В холмистой области крупных озер коэффициент стока существенно ниже, так же как и в низменности Сконе, где он достигает 35—40%.

Для плоскогорья Смоланд Валлен приводит цифру 40—55%. Любек считает средней цифрой коэффициента стока для всей Швеции 60%, что является сравнительно еще весьма высокой цифрой. Приведенная нами таблица под фиг. 10 и фиг. 6 и 12 дают об этом

более отчетливое представление. В ценном труде (отпечатанном также и на французском языке) Валлен глубоко осветил связь между осадками и стоком, приняв во внимание регулирующее влияние озер (Geografiska Annaler, 1927, II,3).



Май

Март

Декабрь

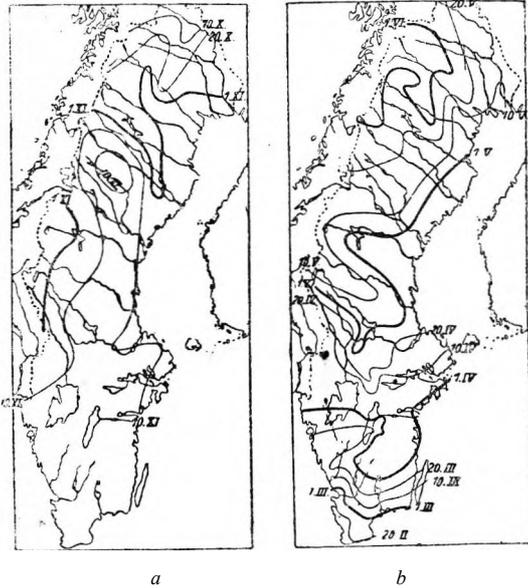
Октябрь

Фиг. 8. Снеговой и ледовой режим Швеции (вода, накопленная в виде снега) 1909 — 1910 г. Гидрографическое бюро

## § 6. Общая характеристика гидрографии Швеции.

Несмотря на большое различие в условиях осадков, стока и климата, мы тем не менее находим во всей Швеции, и даже за ее пределами во всей Фенноскандии, известные общие гидрографические признаки. Это те признаки, которые вытекают из своеобразия геологи-

всей поверхности страны). Что касается водного хозяйства, то в этом отношении естественное регулирующее влияние озер и возможности искусственного увеличения его значительно ниже, нежели можно предполагать, базируясь на одном только соотношении площадей. Дело в том, что озера в большинстве случаев расположены низко. Четыре крупных озера холмистой области центральной Швеции имеют следующие отметки:

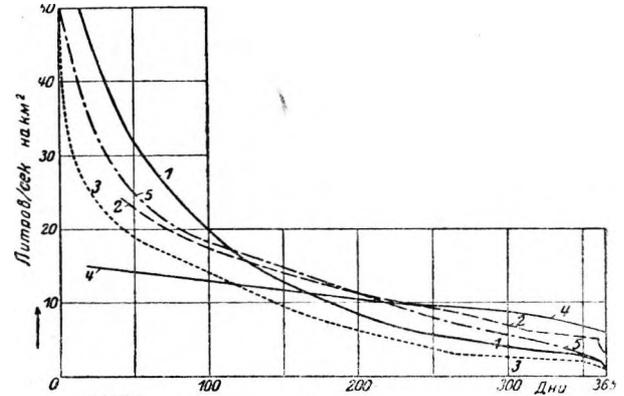


Фиг. 9. Снеговой и ледовой режим Швеции.

a — начало ледостава (осень 1909 г.)  
b — начало ледохода (весна 1910 г.)

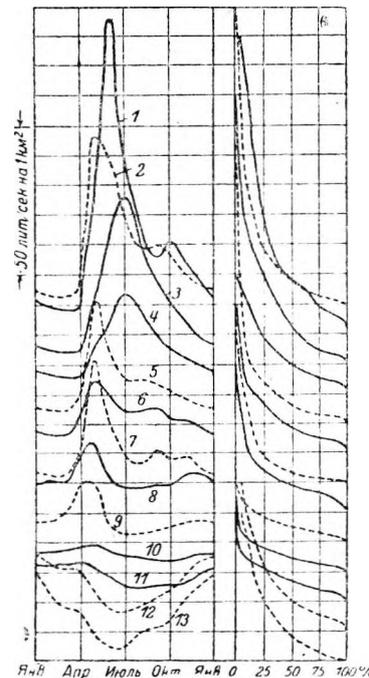
ческого развития и поэтому наблюдаются в известной степени во всех тех странах, которые пережили ледниковый период, т. е., например, также и в Канаде и в значительной части европейской альпийской зоны. Ледниковый период внес в геологические условия Фенноскандии такие коренные изменения, что ее нынешние потоки можно рассматривать как геологически молодые образования, которые еще не могли оказать на свою долину существенного воздействия. Поэтому водотоки в основном приравниваются к древнему рельефу земной поверхности, состоящей преимущественно из архейских пород. Этим объясняется наличие многочисленных озер и множество крупных порогов и водопадов (фиг. 13, 14).

Этим объясняется и то обстоятельство, что отдельные речные системы (главным образом норландские) не так резко разделены друг от друга, как в других горных странах; встречаются даже места, где две главные речные системы (Торнео-Каликс) соединены между собой разветвлением. Многочисленные озера регулируют речной сток, что также является общей характерной чертой всех шведских речных систем (суммарная площадь всех озер Швеции составляет свыше 8%



Фиг. 10. Вэнерн — Гетаэльв

№	Место наблюдения	Период наблюдения	Участок	Бассейн в км <sup>2</sup>	% озер в бассейне
1	Эдбек	1910—1924	Кларольв	8 500	7
2	Тимсbron	1909—1920	Тимсэльв	1 580	11,9
3	Уллервад	1909—1922	Тидон	2 000	2
4	Вазнерсборг	1901—1924	Гетаэльв	46 750	25
5	Солвид	1898—1924	Савеон	1 090	1,25



Фиг. 11. Кривые обеспеченности модулей и гидрографы типичных водотоков Швеции

Сплошные линии — водотоки в областях, богатых озерами.

Пунктирные линии — водотоки в областях, бедных озерами.

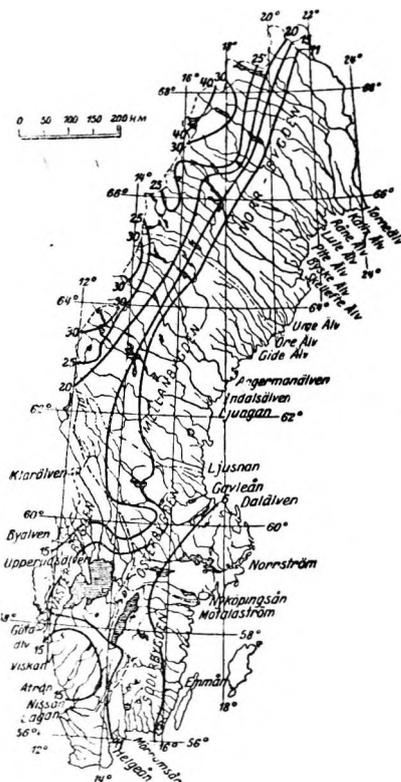
1 — Льюсон у Вельмосена (горная река); 2 — Эрмстрем-ниже Кальсье (горная река); 3 — Лулзэльв у Тронфорса (Север Швеции); 4 — Скеллафтзэльв у Кусфорса (Север Швеции); 5 — Льюсон у Эденге (Север Швеции); 6 — Далэльв у Фергеба (Север Швеции); 7 — Эрзэльв у Нифкера (лесная река на Севере Швеции); Гульспонгсэльв у Оторпа (лесная река северной Швеции); 9 — Ваттхольмаон у Ваттхольма (река центральной Швеции); 10 — Никонингеон у Гэкгаммара (река Центральной Швеции); 11 — Меррумсон у Меррума (река на юго-востоке Швеции); 12 — Вискан у Осбро (река на юго-западе Швеции); 13 — Балнгеон у Клиплан (река в Сконе).

Озеро Вэнер — площадь при средних горизонтах 5 567 км<sup>2</sup>, отметка над уровнем моря 44 м.

Озеро Вэттер 1 898 м<sup>2</sup>, отметка 88 м над уровнем моря.

Озеро Маларен 1 163 км<sup>2</sup>, 0,50 м над уровнем моря.

Озеро Яльмарен 480 км<sup>2</sup>, 21 м над уровнем моря.



Фиг. 12. Карта средних модулей стока Швеции в л/сек/км<sup>2</sup> по Нарлинду.

Примечание. Модули в высокогорной части уменьшены (не совпадают с более поздними данными Валлена).

поскогорья и севера центральной Швеции. Горный район Швеции в остальном беден озерными плато, и реки, питающие упомянутые нами крупные озера плоскогорья, имеют очень сильные колебания расхода. К сожалению, эти реки в то же время мало пригодны для искусственного регулирования. Это в особенности резко выяв-



Фиг. 13. Водопад Хеллингсе.



Фиг. 14. р. Норрфорсен до устройства гидростанции.

Эти четыре озера, гидрографически родственные между собой, несмотря на свойственные каждому из них особенности, составляют примерно 1/4 всей озерной площади Швеции. Вторая группа озер, с общей площадью, даже несколько превышающую приведенную выше, расположена на Норрландском плоскогорье и на севере центральной Швеции на отметках 100 — 300 м над уровнем моря.

Все эти озера, среди которых важнейшими и наиболее известными являются озера Торнетреск, Стора-Люлеваттен, Удяур, Сторсьен и Сильян, имеют удлиненную форму, и часто указывалось на их сходство с фиордами. Они имеют очень большое значение для крупных гидросиловых установок Норрланда и севера центральной Швеции.

В качестве третьей важной группы следует упомянуть о мелких озерах Норрландского

ляется в отношении области стока р. Кларэльва и в отношении р. Далэльва выше оз. Сильян.

Сравнительно богато озерами, наконец, и Смоландское плоскогорье, главным образом, в своей южной и восточной частях. Более крупные озера расположены здесь преимущественно на отметках 130 и 165 м; озера, питающиеся род-

никами — даже на отметке 200—260 м над уровнем моря.

Озеро Мэларен выделяется среди шведских озер своими многочисленными островами, на остальных крупных озерах островов мало. Мы коснулись здесь только расположения отдельных озер по высоте и их общего топографического характера; вопросов колебания уровня воды мы коснемся, когда будем трактовать об отдельных речных бассейнах.

Упомянем еще о том, что реки Швеции вообще

бедны взвешенными и донными наносами, поэтому островов образуется мало, и даже в устьях рек сравнительно редко встречаются характерные дельтообразные разветвления. Из числа немногих речных участков, богатых островами, наиболее важным является низовье р. Далэльва, обильные энергетические ресурсы которого особенно легко поддаются использованию в силу различия в длине рукавов, омывающих один и тот же остров; ресурсы эти в значительной мере фактически уже используются.

Таблица 1

Перечень гидросиловых установок Швеции с полной мощностью свыше 5 000 л. с.

(В скобках показаны некоторые установки производительностью менее 5 000 л. с., но свыше 1 000 л. с.).

Обозначения на фиг. 15 и 16	Название установки	Название реки	Обозначения на фиг. 15 и фиг. 16	Название установки	Название реки
1	Порьус . . . . .	Стора Лудеэльв		Ваттерн-Мотала-Стрэм	
4	Сикфорс . . . . .	Питеэльв			
9	Финнфорс . . . . .	Скеллефтеэльв	310a	Эдскаварна . . . . .	Ваттерн-Мотала-Стром
10a	Кронгфорс . . . . .	"		(Льусфорс) . . . . .	"
18	Клаббалефорс . . . . .	Умеэльв	325	Бергерброн-Хавет . . . . .	"
19a	Норрфорс . . . . .	"	331a	(Хускаварна) . . . . .	"
21	(Гидеобрук) . . . . .	Гидеэльв	366	(Рэтгле) . . . . .	Рэтглеон
21 <sub>1</sub>	Гидеобакка) . . . . .	"	367a	(Воксгольм) . . . . .	Свартон
22a	Готтне . . . . .	Моэльв	371		
	Ангермонэльв . . . . .			(Кнутсбро) . . . . .	"
33	Гранингевек . . . . .	Факсэльв	377	(Эйебро) . . . . .	"
32 <sub>1</sub>	Эдзеле . . . . .	"	378	(Оденфорс) . . . . .	"
	Индальсэльв . . . . .		379	(Свартафорс) . . . . .	"
			379 <sub>1</sub>	Хогсби . . . . .	Эмон
48	Эдет . . . . .	Ярпстрэммен . . . . .	476	(Хэмсье Эвре) . . . . .	Мэррумсон
50	Мэрсиль (Эггфорс) . . . . .	Индальсэльв	476 <sub>1</sub>	(Хэмсье Недре) . . . . .	"
			484	(Торесбро) . . . . .	Хельгеон
51	Родон (Хиссморс) . . . . .	"	502	Майенфорс . . . . .	Лаган
62a	Хэгсбрэфорс . . . . .	"	503	Бассалт . . . . .	"
62	Хаммарфорс . . . . .	"	504	Кнэред Эвре . . . . .	"
64	Альби . . . . .	Льонган	505	Кнэред Недре . . . . .	"
65	Рингдален . . . . .	"	506	Скогаби . . . . .	"
66	Льонгавек . . . . .	"	533	(Ингередсфорс) . . . . .	Этрон
67	Недансье . . . . .	"	533 <sub>1</sub>	Этрафорс . . . . .	"
69	Матфорс . . . . .	"	546	Вискафорс . . . . .	Вискон
70	(Вифорс) . . . . .	"	551	(Кунгсфорс) . . . . .	"
74	Торпсхаммар . . . . .	Гимон	556	Хаби . . . . .	Слоттсон
78a	Бифорс . . . . .	Льонган	556a	Хульта . . . . .	"
	Делангерсон . . . . .		558	Область Ванери . . . . .	"
			560—561		
93	Арбро . . . . .	Льуснан	562—563	(Варген, Ангбро) . . . . .	Гэтеэльв
122	(Макмира) . . . . .	Гавлеон	579 <sub>1</sub>	Троллхаттан (Гос.) . . . . .	"
122	(Тольфорс) . . . . .	"		Лилла Эдет (Гос.) . . . . .	"
128 <sub>1</sub>	Форсхувудфорс) . . . . .	Далэльв		Кракеруд . . . . .	Кларэльв
129	Кварисведен . . . . .	"	580a	Мунфорс . . . . .	"
130	Домнарвет . . . . .	"	580	Форсхульт . . . . .	"
131	Буллерфорс . . . . .	"	581	Дейефорс . . . . .	"
132	(Аваста Сторфорс) . . . . .	"	587	(Нави) . . . . .	Уфон
134	Гритнэс (Авеста Сторфорс) . . . . .	"	587	(Мальта) . . . . .	"
		"	589	(Кнон) . . . . .	Кнонон
138 <sub>1</sub>	Унтра . . . . .	"	599	(Фрикфорс) . . . . .	Норсэльв
139	Элькварлеби . . . . .	"	645	(Ховеруд) . . . . .	"
139a	Ланфорс . . . . .	"		(Хофрестром) . . . . .	Упперудсэльв
			675	(Бланкарфорс) . . . . .	Свартэльв
144	Мокфэрл . . . . .	Вэстердалэльв	677	(Браттфорс) . . . . .	"
	Мэларен-Норстром . . . . .		678	(Скромфорс) . . . . .	"
194	Тунафорс . . . . .	Эскильстунаон	679	(Дегерсфорс) . . . . .	Летэльв
257	Людвика . . . . .	Кольбаксон	679	Бофорс . . . . .	"
266—268	Виребо; Сеглингсберг и Рамнэс . . . . .	"	680	Гулльсдонг . . . . .	Гулльсдонгсэльв

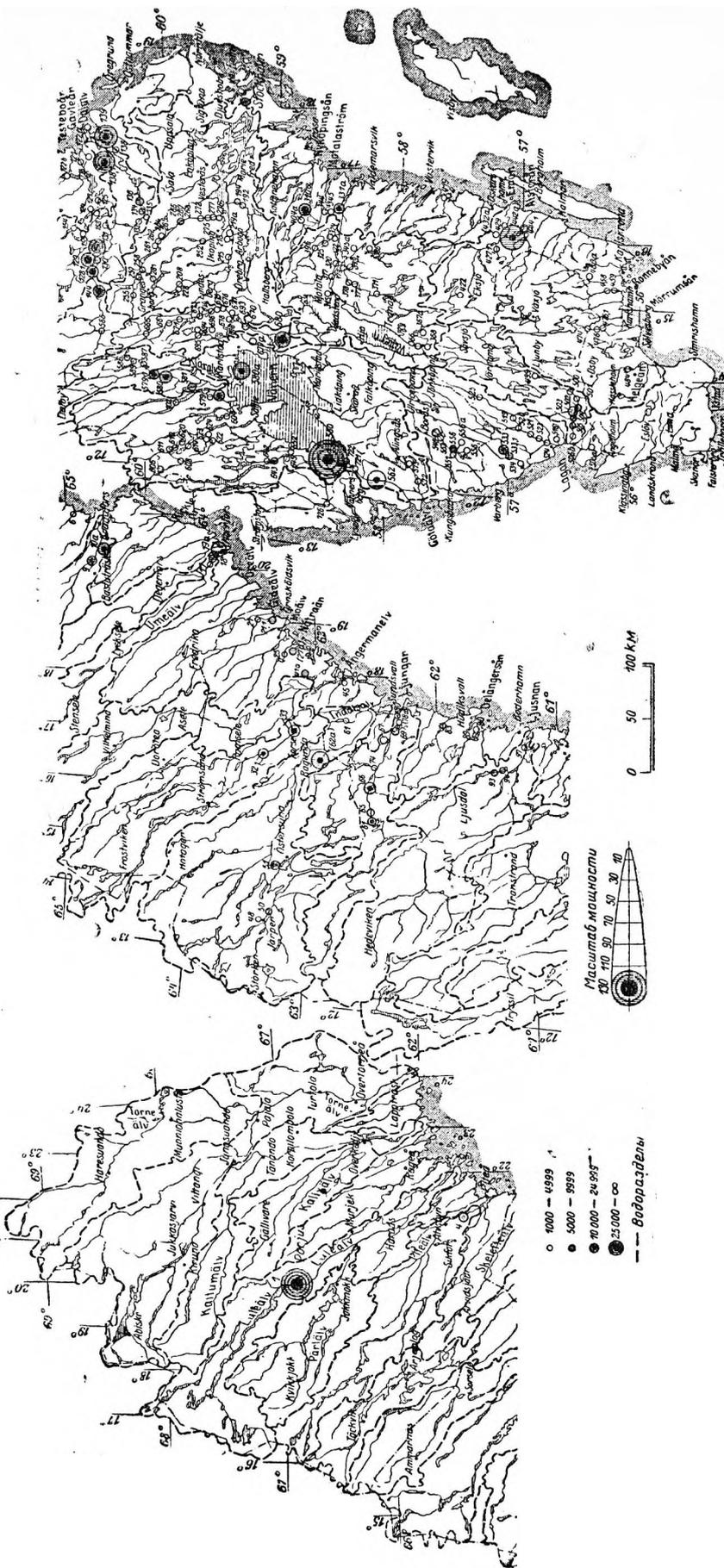
## § 6. Гидрографическое подразделение шведских речных бассейнов.

Валлен, на капитальных трудах которого по гидрографии Швеции мы здесь базируемся, подразделяет шведские реки на указанные ниже группы. При этом, с одной стороны, учитываются размеры речных бассейнов, с другой — хронологические изменения горизонтов и расходов воды. Выявляющиеся при этом различия в первую очередь обусловлены климатическими условиями. Важнейшим фактором является относительное и абсолютное количество осадков, накопленных в виде снега, так как оно, главным образом, обуславливает характер кривой колебаний горизонта (ср. фиг. 15, табл. 1, фиг. 11 и табл. 2).

Группа А. Большие горные реки Норрланды и центральной Швеции.

В эту группу входят 12 крупных речных систем; бассейны их в совокупности занимают больше половины всей площади Швеции. В направлении с севера на юг реки эти следующие: Торнео, Каллик, Луле, Пите-Скеллефле, Уме, Онгерман, Индальсэльв, Льюнган, Льюскан, Далэльв и Кларэльв. Так как все эти реки получают большую часть своих вод из горной области, чаще всего из местностей, в которых снежный покров сохраняется в течение около полугода, то все они характеризуются тем, что самые высокие паводки наступают весной при таянии снегов сравнительно внезапно (в некоторых реках несколько волн паводков быстро следуют друг за другом) и что единственный, обычно довольно длительный период низких вод наблюдается зимой.

Разумеется, колебания горизонта различны в зависимости от конфигурации и ха-



Фиг. 15. Гидрографическая карта Швеции с указанием гидроэлектростанов мощностью выше 1000 л. с. См. табл. 1

Таблица 2

Многолетние модули стока (в л/сек с 1 км<sup>2</sup>) водотоков Швеции (по Валлену, Мет. Гидр. бюро № 215, 1923)

Группа	Водоток	Местность	Бассейн в км <sup>2</sup>	Относитель- ная площадь озер %	Наибольший максимум	Средний	Средний модуль	Модуль при обеспеченно- сти		Месячный мо- дуль	Наименьше модуль
								50%	75%		
A	Торнеэльв . . . . .	Торнетрэк	3 240	13	97	77	20,1	10,8	5,3	3,7	1,7
	Лулеэльв . . . . .	Порьус	9 970	12	149	110	26,2	13,6	5,5	3,4	2,2
	Лулеэльв . . . . .	Тронгфорс	24 490	8	106	77	20,0	13,0	5,1	2,8	1,8
	Питеэльв . . . . .	Эльсби	10 580	7	108	57	14,2	9,7	4,2	2,9	1,8
	Схеллефтеэльв . . . . .	Кусфорс	9 640	13	70	43	14,1	9,9	6,3	4,1	1,7
	Умеэльв . . . . .	Норрфорс	26 470	7	88	59	14,5	9,6	4,1	2,3	1,6
	Онгерманаэльвен . . . . .	Форсмо-Лонгселе	30 000	7	116	66	15,3	8,1	4,4	3,0	2,2
	Индальсэльвен . . . . .	Бомсунд	20 400	10	83	60	16,6	10,7	5,7	3,5	1,9
	Льонган . . . . .	Торнхаммар	11 320	8	87	54	11,1	6,9	4,1	2,8	1,9
	Льоснан . . . . .	Эллервик	19 810	4	113	62	11,4	6,8	4,2	2,9	1,8
B	Далэльвен . . . . .	Фэггеби	25 000	4	93	40	12,4	9,6	5,9	4,3	2,5
	Кларельван . . . . .	Эдебэк	8 500	6	122	68	14,8	9,5	5,1	3,1	1,0
C	Гульспонгсэльвен . . . . .	Отори	4 330	11	72	45	12,5	9,5	7,0	3,7	1,4
	Никепингсон . . . . .	Тэкхаммар	3 600	17	25	14	6,4	5,6	3,1	2,3	0,6
D	Свартон . . . . .	Сомменс	1 920	11	27	15	7,3	6,8	4,6	3,6	1,4
	Меррумсон . . . . .	Меррум	3 385	14	29	17	8,0	6,6	4,3	2,8	0,6
	Хельгеон . . . . .	Хельгеон	2 185	8	44	30	10,5	9,2	5,0	3,0	1,4
	Бальгансон . . . . .	Клиппан	225	0	182	98	15,1	9,3	3,6	0,7	0,3
	Ниссан . . . . .	Иохансфорс	2 450	4	111	68	15,9	11,9	6,6	2,6	1,1
	Вискан . . . . .	Осбро	2 160	6	80	61	15,3	10,6	5,6	2,4	1,7
F	Маларен . . . . .	Стокгольм	22 320	12	—	—	8,4	—	—	—	—
	Моталастром . . . . .	Ист. из озера Ваттерн	6 320	35	18	8,9	6,6	6,6	5,2	4,6	2,2
	Гатаэльв . . . . .	Ист. из озера Вэнери	46 750	25	17	12	12,2	11,2	9,5	9,4	6,3

рактера бассейна стока, и кривые колебаний выявляют известный сдвиг в том смысле, что весенний паводок наступает тем позднее, чем холоднее область, из которой река получает свои максимальные расходы. Норлинд предложил дальнейшее подразделение этой речной группы на подгруппы, — богатую и бедную озерами.

Группа В. Реки лесной и прибрежной области в Норрланде и на севере центральной Швеции.

По величине водотоки этой группы чаще всего значительно уступают водотокам первой группы и режим их стока характеризуется гораздо более низкими абсолютными и относительными колебаниями. Характерно еще и то, что обычно наблюдается кроме весеннего паводка еще второй, несколько меньший и наступающий менее внезапно; таким образом имеется два максимума и два минимума расхода; второй минимум в середине лета. В эту группу входит большое число водотоков; крупнейшие из них: Роне, Биске, Эре, Гриде, Мозльв; Хармонгерсон, Гульспонгсэльв и Делонгарсон. И здесь можно наблюдать такие же хронологические сдвиги режимов отдельных рек, как в группе А, также в зависимости от географической широты.

Группа С. Реки холмистой области центральной Швеции.

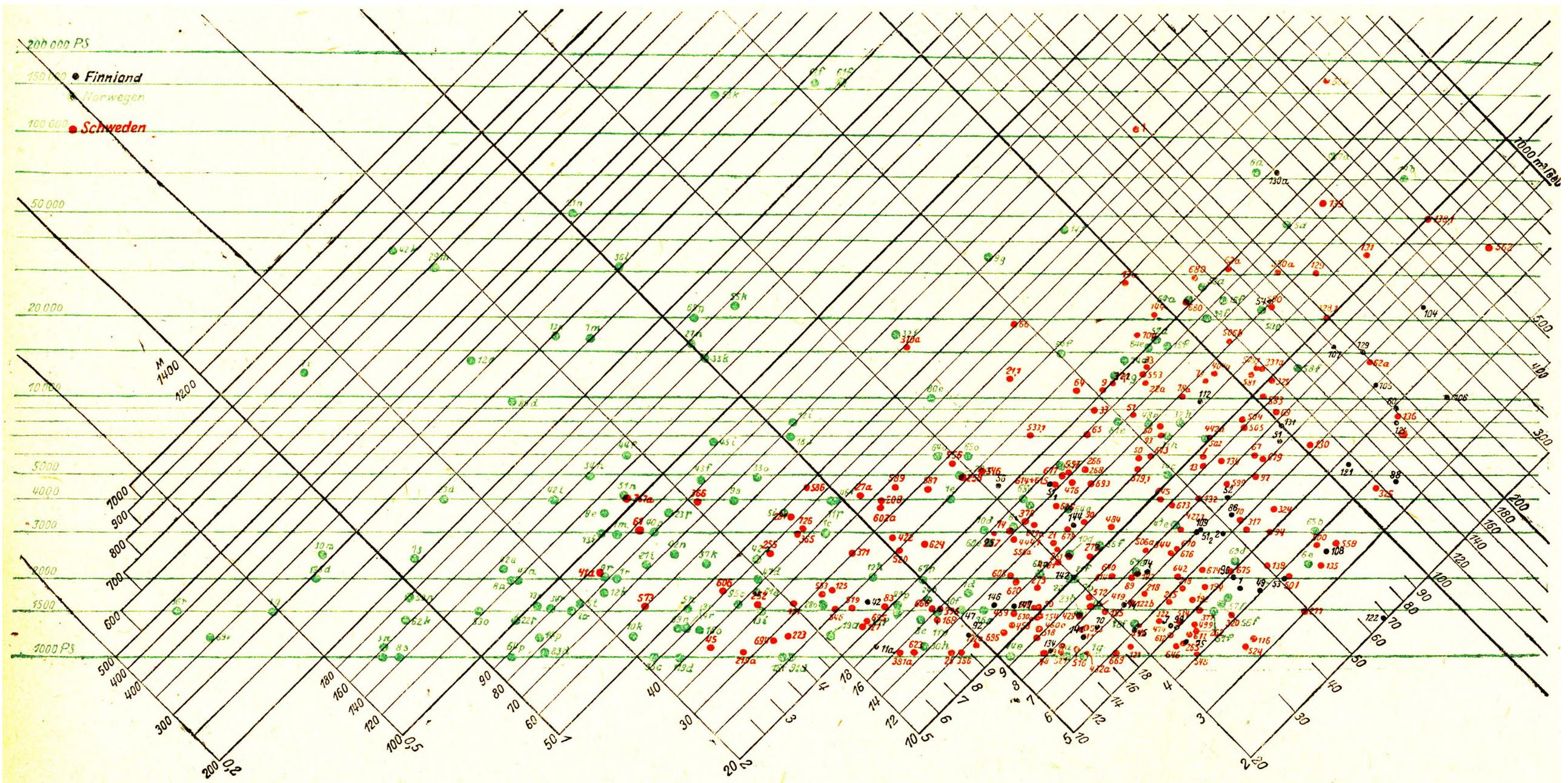
В эту группу входят водотоки, большею частью маловажные с гидроэнергетической точки зрения. Самая крупная из них река Никепингсон. Особенность этой группы заключается в том, что второй максимум расхода по объему близок к первому, у этих рек таким образом северный характер менее выражен, чем у рек группы В.

В зависимости от богатства местности озерами между этими реками наблюдаются большие различия.

Группа Д. Реки, стекающие со Смоландского плоскогорья.

В эту группу входят между прочим реки: Ниссан, Этран, Вискан, Хельгеон, Кевлингеон, Меррумсон, Эмон и самая крупная и важная с точки зрения гидроэнергетической река Лаган. У рек этой группы годовые колебания стока такие же, как у рек лесной области (группа В), но по своим гидрографическим свойствам они резко отличаются от последних, главным образом тем, что летний горизонт низких вод выявляется гораздо отчетливее и значительно ниже зимнего низкого горизонта. Кроме того, весенний паводок наступает гораздо раньше. Все эти различия по сравнению с реками лесной области объясняются, главным образом, более южным расположением.

Группа Е. Реки низменности Сконе.



Фиг. 3. Статистическая диаграмма Q — Н — N для гидроэлектростанций Швеции, Норвегии и Финляндии.

Эта группа большей частью состоит из незначительных речек, маловажных с точки зрения гидроэнергетической; эти реки схожи во всех отношениях с реками Дании и Северной Германии; у них наблюдается зимний паводок и один единственный ярко выраженный период низкого горизонта воды летом.

**Г р у п п а** **Ф.** **Р е к и,** **и с т е к а ю щ и е** **и з** **к р у п н ы х** **о з е р:** **В э н е р н,** **В э т т е р н,** **М э л а р е н** **и** **Я л ь м а р е н.**

У этих рек совершенно своеобразный характер; это объясняется тем, что названные озера сами питаются самыми разнохарактерными реками и обладают исключительно высокой емкостью. Благодаря этому средние годовичные колебания горизонтов озер очень невелики, а различие между горизонтами в разные годы, наоборот, очень значительно. В частности, в оз. Вэнерн наблюдается одиннадцати- и двухлетняя периодичность колебания горизонта; причины этого явления еще недостаточно выяснены. Важным свойством, общим для всей этой группы рек, является то, что паводки наступают с чрезвычайно большим опозданием (в Мэларене в мае, в Вэнерне в середине лета, в Вэттерне еще позднее). Это явление в первую очередь объясняется значительной регулирующей способностью озер, в Вэттерне же, в частности, тем, что это озеро

преимущественно питается грунтовыми водами. Озеро Вэттерн, кроме того, выявляет сильные суточные колебания, подобные наблюдаемым па Женевском озере<sup>1</sup> «сейшам».

В дополнение к вышеприведенному подразделению водотоков отметим еще то, что реки, питающие отдельные крупные озера, никогда не принадлежат к одной и той же речной группе и не входят в группу питаемого ими озера.

Если взять, например, озеро Вэнерн, то р. Кларэльв входит в группу А, р. Гульспонгэльв и несколько других в группу В, несколько мелких речек речной области в группу С, а само озеро с истекающей из него р. Гетеэльв в группу F. Это подразделение объясняется большими различиями в гидрографическом характере этих рек. Между тем на валленовской карте речных бассейнов (фиг. 15) крупные озера со всеми их притоками и питаемыми ими реками обозначены как единые речные системы. Бассейн системы Вэнерн-Гетеэльв с ее большими реками представляет собой самый обширный речной бассейн Швеции; площадь его равна 50 070 км<sup>2</sup>; бассейн системы Мэларен-Яльмарен Норрстрем занимает 22 300 км<sup>2</sup>; бассейн системы Вэттерн-Мотала — 15 500 км<sup>2</sup>. В табл. 1 и на фиг. 16 приведены данные о более или менее значительных установах Швеции.

## Глава вторая.

### НОРВЕГИЯ.

#### § 1. География страны.

Норвегия расположена между 58-м и 71-м градусами широты. Самая южная точка называется Линдеснес, самая северная (в то же время самая северная на всем европейском материке) Нордкин, еще несколько севернее лежит остров Нордкап. Расстояние по прямой между самым южным городом Линдеснес и самым северным Варде не меньше 1 800 км, т. е. равно расстоянию по прямой Берлин — Константинополь. Такое большое протяжение в длину при сравнительно небольшой поверхности страны (325 000 км<sup>2</sup>) и малой густоте населения явилось бы большим препятствием для ее хозяйственного развития, но благодаря значительной длине и чрезвычайной изрезанности морского берега эта особенность, затрудняющая внутренние сообщения, способствовала развитию внешних сношений. Благодаря многочисленным фиордам, врезающимся в сушу на 100 км и более, перевозки сухой в большей части страны происходят лишь на сравнительно короткие расстояния.

Самые крупные из этих фиордов следующие: Ослофиорд, Бокнфиорд у Ставангера, Хардангерфиорд, Согнефиорд, Нордфиорд, Трондьемфиорд и Вестфиорд.

Длина береговой линии Норвегии, если мерить ее по геометрически очень упрощенному контуру, равняется около 2 600 км, фактическая же длина, включая берега островов па фиордах, составляет почти 20 000 км. Мелких, хотя и очень многочисленных островов и групп островов, важнейшими среди которых являются Лофоты, Вестеролы и политически принадлежащие к Норвегии большие острова Ледовитого океана, мы здесь касаться не будем. Норвежское побережье омывается Скагеракон, Северным морем, Атлантическим и Северным ледовитым океанами.

Чрезвычайно важное влияние на условия судоходства вдоль побережья и на климат всей страны оказывает Гольфштром. Это мощное морское течение шириной в несколько километров и глубиной в несколько сот метров является ветвью так называемого экваториального течения и приносит в северные моря теплую воду.

Скорость этого течения, изменяющаяся в зависимости от времени и местности, достигает до 0,5 м/сек, средний же расход воды оценивается в 4—5 млн. м<sup>3</sup>/сек (т. е. в 40—50 раз больше расхода величайшей реки па суше — Амазонки). Гольф-

<sup>1</sup> Statens meteorologisk - hydrografiska Anstalt: Arberättelse für 1924.

штром поддерживает температуру Атлантического океана вблизи норвежского побережья (за исключением небольшого поверхностного слоя в несколько метров) на почти неизменном уровне; так, на глубине 400—500 м температура, как правило, нигде не опускается ниже 6°. Реки, впадающие с суши, вносят известные изменения в непосредственной близости к побережью, так же как и довольно слабое холодное течение из Балтийского моря, идущее параллельно Гольфштрому вдоль самого берега. Это так называемое Балтийское течение возникает благодаря сравнительно слабому испарению Балтийского моря, в связи с чем часть вод больших рек Швеции и северо-запада СССР вынуждена изливаться через Зунд в Северное море в виде холодного пресного течения. Это течение, несущее всего несколько сотен м<sup>3</sup>/сек, не может, однако, существенно отзываться на благоприятном влиянии Гольфштрама. Поэтому порты Норвегии всегда свободны ото льда даже в самые холодные зимы.

Сухопутная пограничная линия Норвегии имеет длину около 2 400 км. Из этого протяжения на финляндскую границу приходится около 1/3 и около 2/3 на шведскую; последняя в своей северной части образуется водоразделом хребта Къелен. От озера Фэмунден до Скагерака таких естественных разграничивающих линий нет. На фиг. 2 отчетливо видно, что Къеленский хребет, начиная от озера Фэмунден, расширяется к юго-западу в мощное плоскогорье. Этот горный массив очень круто ниспадает к западному побережью; к востоку и юго-востоку — гораздо более полого. Склоны самого Къеленского хребта большею частью тоже очень круты (исключая бассейн Трондъем). Самая северная часть страны — Финмаркен — носит слова более равнинный характер.

Самые высокие отметки (свыше 2 400 над горизонтом моря) находятся вблизи западного побережья южной части страны. Средняя отметка всей страны оценивается примерно в 500 м.

Только незначительная часть норвежского горного хребта покрыта вечным льдом, но, несмотря на сравнительно мягкий климат, очень обширные пространства расположены выше черты лесов и по внешности соответствуют шведскому фьэллю (норвежское обозначение фьельд). Эти области, которые в Норвегии занимают гораздо большую долю страны, чем в Швеции, обречены, однако, на бесплодие, не в силу своего географического положения или благодаря своей отметке, а исключительно в силу своих геологических свойств. Они расположены, главным образом, внутри страны в юго-западной и самой северной ее частях.

## § 2. Геологические условия.

Как показывает изучение общей геологии Фенноскандии, остов Норвегии состоит также

из архейских пород и других очень древних образований; более молодые формации — девонская, меловая и юрская — встречаются только на небольших площадях, например, на части островов (фиг. 4, 5). Из архейских пород важнейшие гранит и гнейсо-гранит; они преобладают в юго-западных частях страны и у побережья. К архейским породам относят также некоторые песчаниковые образования. Значительную часть Къеленского хребта и примыкающей к ней обширной горной цепи составляет вторая по возрасту группа пород — кембрийские и силурийские отложения, главным образом песчаники и вулканические породы, например, более молодые граниты (в трондъемском бассейне) и лавообразный грюнштейн. Наконец, нижние пласты обширных областей в ложбине Осло состоят из особой группы вулканических пород, так называемые «Kristianiafeltets Eruptiva», которые по возрасту относятся к кембро-силурийской группе.

Таким образом преобладание архейских пород здесь не так ярко выражено, как в Швеции. Осадочные породы часто имеют сланцеватое строение и сильную складчатость. Несмотря на это, условия грунта со строительной точки зрения в Норвегии чаще всего благоприятные, скала нередко бывает совершенно водонепроницаема. В силу этого два больших напорных тоннеля с довольно значительной величиной напора удалось выполнить без всякой облицовки.

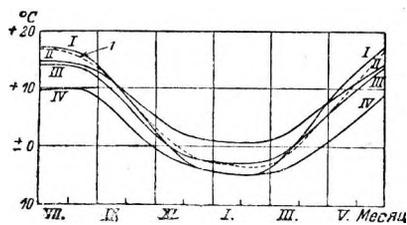
Из четвертичных образований морские отложения встречаются значительно реже, чем в остальной Фенноскандии. Более мощные глинистые отложения мы находим только в юго-восточной низине, так же как и некоторые речные долины, богатые песчаными отложениями. Крупные песчаные отложения встречаются и в Трондъемской низине. В остальном пески и глина встречаются по всему западному побережью только разбросанно и на сравнительно малых площадях. Северная, более равнинная часть страны опять-таки несколько богаче четвертичными отложениями, главным образом песками. Во всех остальных частях Норвегии скалистый остов покрыт в своей меньшей части глетчерами, и в большей части — моренами. Находятся, однако, и весьма обширные площади, где обнаженная скала выступает наружу. Северный климат, значительная высота над уровнем моря и геологические условия являются причиной бедности страны в угольях, пригодных для земледелия. Возделанные поля, включая пастбища в сельскохозяйственных районах, занимают только около 4% всей поверхности Норвегии. Доля лесов тоже невелика, она составляет около 22%, т. е. значительно меньше, чем в остальной Фенноскандии. Остающаяся область, т. е. около 3/4 всей страны, состоит из альпийских лугов, глетчеров, обнаженной

скалы, болот и других пустошей, непригодных для сельскохозяйственной обработки. Для гидроэнергетического хозяйства имеет известное значение тот факт, что обширные площади носят характер горных плато, в особенности в так называемом Хойфельде, уже упомянутом выше горном массиве к юго-западу от озера Фэмунд.

На плоскогорья, которому глетчер ледникового периода придал слабоволнистый характер, расположены сравнительно обширные бассейны стока, которые можно легко соединить с помощью деривационных каналов, и естественные или легко создаваемые искусственные водохранилища, расположенные чрезвычайно благоприятно в смысле расстояния и уровня в отношении морского побережья.

### § 3. Климат, осадки и сток.

Большая часть Норвегии имеет отчетливо выраженный морской климат (см. фиг. 1). Несколько более континентальный климат наблюдается в пре-



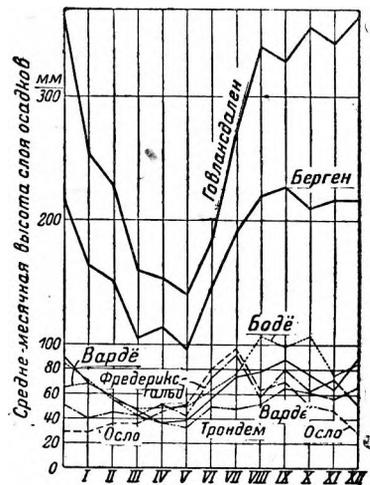
Фиг. 17. Графики температуры различных пунктов Норвегии (по Зандбергу).

делах западно-норвежского горного хребта и в юго-восточной низменности. На крайнем севере Норвегии морской климат наблюдается только непосредственно на побережье. Как усматривается из фиг. 17, даже между приморскими городами, как, например, Осло, Берген, Хаммарфорс, наблюдаются довольно значительные различия в смягчающем климат действии моря. С точки зрения сельского и лесного хозяйства менее выраженный морской климат юго-восточной низменности с ее сравнительно теплым летом гораздо благоприятней, чем чисто морской климат небольших долин западного побережья; в этих последних лето недостаточно жарко для произрастания, а мягкая зима не окупает этого недостатка.

Условия осадков в Норвегии чрезвычайно разнообразны. Богаче всех осадками ее западные гористые области (фиг. 6), которые задерживают значительную часть влаги морских западных ветров в виде осадков; области с более континентальным климатом определенно бедны осадками. Если идти от западного побережья в глубь страны, то слой осадков сначала возрастает очень быстро и достигает на большом протяжении у глетчеров годичной цифры свыше 3 000 мм,

а в некоторых тесно ограниченных местностях даже до 6 000 мм, зато внутри центральной и северной Норвегии встречаются обширные области с годичным слоем осадков всего только 400 мм и даже меньше.

Годичные кривые осадки также весьма разнообразны, как показывает сравнение графиков осадков некоторых местностей Норвегии (фиг. 18). С точки зрения водного хозяйства разнообразие соотношения осадков в виде снега и дождя гораздо важнее, нежели различие в их количестве, так как накопление осадков в виде снега играет



Фиг. 18. Графики осадков в различных пунктах Норвегии (по Гефнеру и Вереншельду).

очень значительную роль в водном режиме всех более обширных бассейнов стока, за исключением некоторых мелких речных районов юго-западного побережья. К сожалению, мы не располагаем для Норвегии разработанными данными о длительности снегового покрова, как, например, для Швеции и для значительной части Финляндии. Благодаря большой доле обнаженных водонепроницаемых площадей и слабому лесному покрову величины стоков Норвегии в среднем выше и во всех отношениях сильнее дифференцированы, чем в других северных странах (табл. 3).

Средний модуль стока за 10 лет для некоторых мелких бассейнов юго-западного побережья достигает исключительной высоты 100—175 л/сек с 1 км<sup>2</sup> (ср. фиг. 19), но падает к северу до 40—13 л/сек с 1 км<sup>2</sup> и далее к востоку — до 50 л/сек с 1 км<sup>2</sup>; на протяжении 100 км на очень обширных площадях вплоть до шведской границы он достигает даже 25—15 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Об изменениях стока во времени можно найти очень ценный материал в Hydrografiske Undersokelser за 1924 г.; из него отчетливо усматриваются сильные колебания и разнообразие хронологического изменения стока в зависимости от географического положения и относительной

Таблица 3

Модули стока (л/сек с 1 км<sup>2</sup>) норвежских рек за период 1911—1920 гг.

Река	Местность	Бассейн в км <sup>2</sup>	Наибольший модуль	Средний модуль	Наименьший модуль
Клара . . . . .	Истоку из озера Фэмунд	17 10	60,0	13,9	3,0
Гломма . . . . .	Аурсуден	850	201,0	21,4	1,5
Гломма . . . . .	Эльверум	15 320	191,1	14,8	1,8
Рена . . . . .	Сторсье	2 275	143,0	14,2	2,6
Логен . . . . .	Лосна	11 200	169,0	19,3	1,3
Винстра . . . . .	Олстаппен	1 290	148,0	25,7	2,1
Одалсэльв . . . . .	Киллингстрикен	4 675	151,0	19,0	2,1
Нумедальслоген . . . . .	Тюнхэвд	1 770	205,0	21,7	1,1
Нумедальслоген . . . . .	Кэнгсберг	4 230	268,0	20,2	2,4 <sup>1</sup>
Топдальсэльв . . . . .	Флакватн	1 785	379,0	36,6	0,3
Отра . . . . .	Бигландсфиорд	2 685	238,0	43,4	3,7
Федсэльв . . . . .	Рефети	211	398,0	50,3	2,7
Сира . . . . .	Фликейд	1 920	369,0	59,0	5,2
Улла . . . . .	Хаусбро	374	784,0	91,2	1,6 <sup>1</sup>
Восса . . . . .	Булькен	1 030	541,0	63,1	2,5
Фломсэльв . . . . .	Клевеватн	113	735,0	62,9	1,3
Аурландсэльв . . . . .	Вассбигдватн	714	706,0	49,5	2,4
Бреймсэльв . . . . .	Бреймсватн	567	435,0	67,9	3,2
Тафиордсэльв . . . . .	Онильсватн	290	403,0	50,3	3,5
Раума . . . . .	Хоргхейм	1 075	375,0 <sup>1</sup>	31,6	1,6 <sup>1</sup>
Аура . . . . .	Ейкисдальсватн	1 035	244,0	34,5	2,2
Тодальсэльв . . . . .	Тодальсэльв	240	804,0	49,4	1,0
Вардальсэльв . . . . .	Грундфосс	876	394,0	39,0	1,7
Намсен . . . . .	Фискумфосс	3 285	329,0	44,6	1,8
Розо . . . . .	Тустерватн	1 520	238,0	42,6	6,2
Бьеркаэльв . . . . .	Лилле Мольватн	266	376,0	56,3	1,5
Бардуэльв . . . . .	Бардуфосс	2 330	330,0	32,8	1,0
Альтевал . . . . .	Стенгельсен	6 520	153,0 <sup>1</sup>	13,3	1,1 <sup>1</sup>

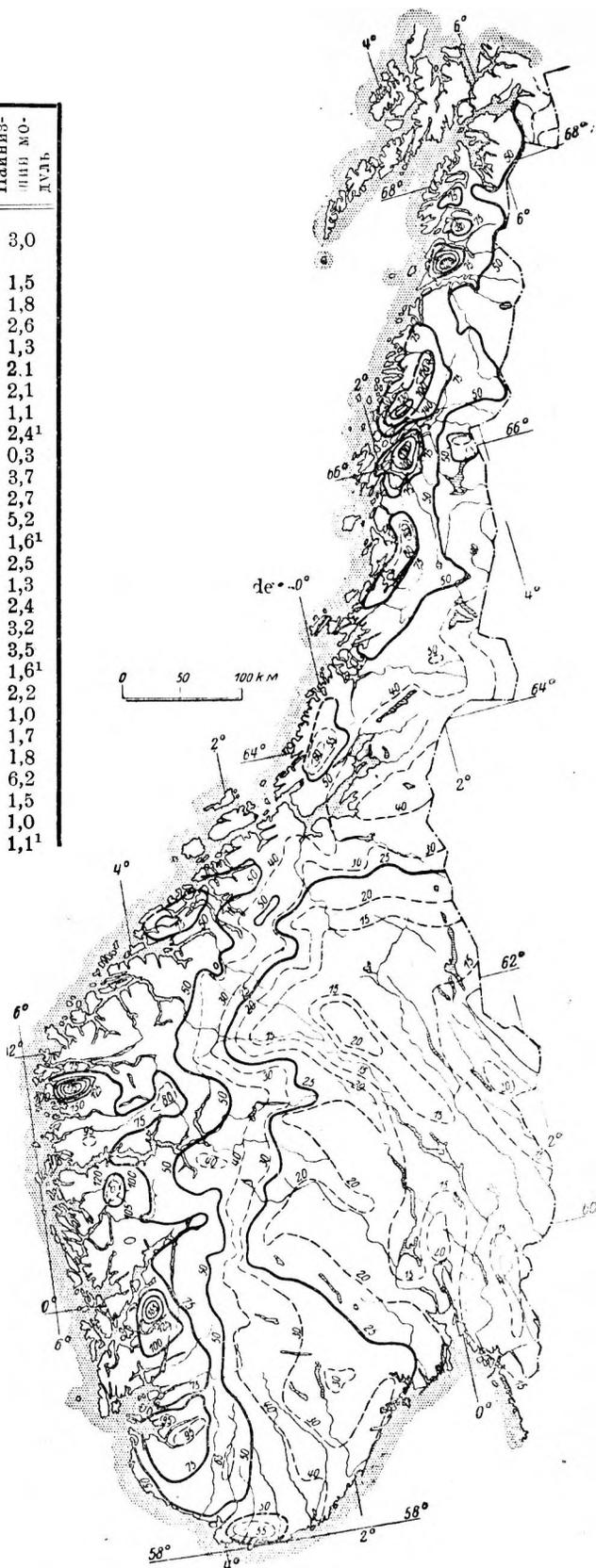
площади озер. Зимний минимальный модуль на средних и северных широтах нормально опускается ниже 3, нередко ниже 2 и часто даже ниже 1 л/сек с 1 км<sup>2</sup> (в одном единичном случае до 0,3); модуль с обеспеченностью 350 дней в году в большинстве случаев на 30 — 100% выше, но в отдельных случаях это превышение меньше или больше; в большинстве исследованных рек эти модули колеблются от 2,0 до 8,0 л/сек с 1 км<sup>2</sup>.

Максимальные (паводочные) модули достигают по преимуществу 200—800 л/сек с 1 км<sup>2</sup>: предельными цифрами являются 60,0 (исток из озера Фэмунд) и 1 288 л/сек с 1 км<sup>2</sup> (Раундсэльв).

Рогстад указывает в качестве средней величины стока для всей Норвегии очень высокую цифру 200 мм или 38 л/сек с 1 км<sup>2</sup>.

#### § 4. Гидрография Норвегии.

Число рек Норвегии, имеющих энергетическое значение, весьма велико, хотя у многих из них очень небольшие бассейны стока. Это легко понять, если учесть своеобразные условия высот и осадков Норвегии. Установить для этой страны определенные типы речных систем (как это сделал Валлен для Швеции) до настоящего времени, по-видимому, не удалось (фиг. 20). Рогстад ука-



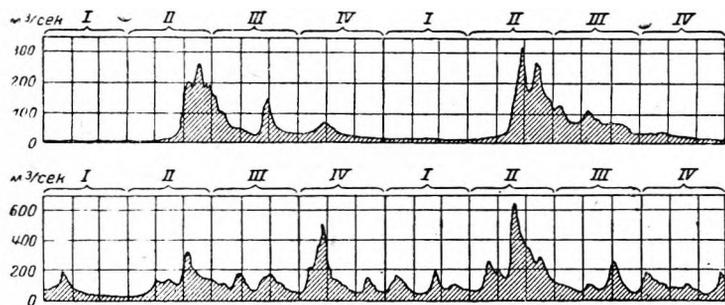
Фиг. 19. Карта модулей стока Норвегии. Средние модули стока в л/сек с 1 кв. км.

<sup>1</sup> За период 1916—1920.



Фиг. 20. Гидрографическая карта Норвегии с указанием гидроэлектрических установок

зывает только на две группы с характерными условиями стока, которые, однако, конечно переходят одна в другую. У первой группы, в водном режиме которой снег играет очень существенную роль, кривая имеет форму, подобную кривой больших рек северной Швеции (ср. фиг. 11); мы видим здесь волну паводка, появляющуюся довольно регулярно и очень отчетливо выраженную, или же группу таких волн весной (таяние снегов) и 1—2 более мелкие и не так регулярно возвращающиеся волны осенью (осенние дожди) — фиг. 21□ далее, эта группа имеет большей частью только один един-



Фиг. 21. Типичные графики расходов норвежских рек.

ственный ярко выраженный период низких вод зимой.

Во второй группе влияние снега незначительно; ввиду того, что осадки менее отчетливо периодичны, нежели колебания температуры, кривая этой группы имеет на протяжении нескольких лет гораздо менее правильную форму; в известные годы максимум наблюдается весной, в другие — поздней осенью. Кривая расходов этой группы рек, расположенных большей частью в южной, особенно в юго-западной Норвегии, напоминает по своей форме кривую расхода рек южной Швеции. Пригодность норвежских рек к регулированию стока изучалась очень тщательно. Многочисленные озера Норвегии покрывают в общей сложности около 4% всей поверхности страны; так как, однако, относительная площадь озер в отдельных бассейнах стока очень разнообразна, так же как и участие снега в общей массе осадков, то относительный минимум расхода, (отношение минимума к среднему расходу) колеблется очень сильно. Различно следует оценивать и увеличение минимальных расходов с помощью искусственных водохранилищ. Государственный гидрографический отдел изучал эти вопросы очень детально и выпустил «кривые регулирования» (кривые необходимых объемов водохранилищ). Эти кривые показывают величину необходимого объема водохранилища в процентах среднего годового стока как функцию минимального зарегулированного расхода, выраженного в процентах от среднего расхода. На фиг. 22 изображены эти кривые для некоторых важнейших рек Норвегии.

Мы видим, что при прочих равных условиях водный режим легче поддается регулированию на юге, нежели на более северных реках страны, расход которых в связи с накоплением и таянием снегов чрезвычайно неравномерен (см. кривую р. Бардуэльв).

Для многих водотоков кроме кривой необходимых объемов водохранилищ для получения равномерной отдачи энергии, выведена вторая кривая так называемого «сезонного» регулирования; при этом в основу положены следующие цифры потребления, примерно соответствующие потребности гражданского населения:

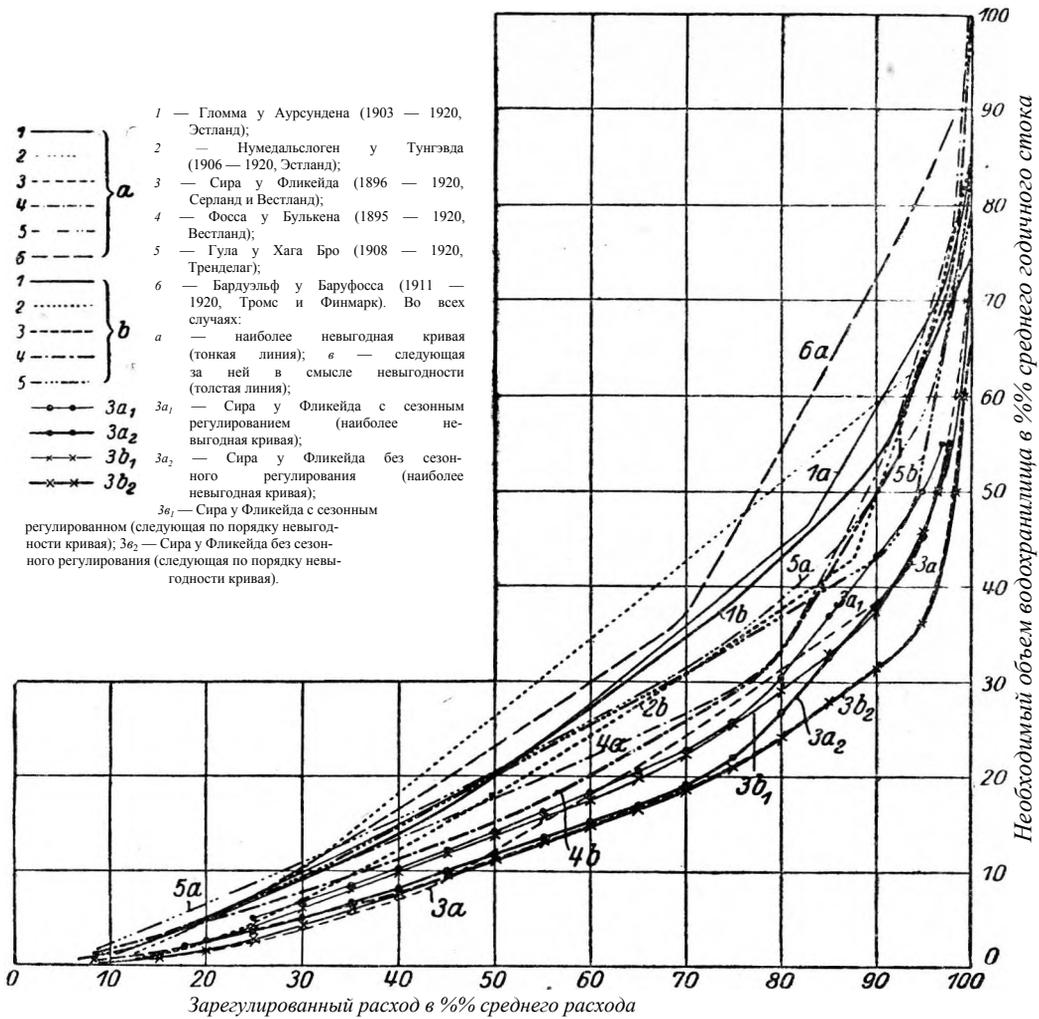
Январь — 130%,	Июль — 70%,
Февраль — 120%,	Август — 75%,
Март — 107%,	Сентябрь — 90%,
Апрель — 95%,	Октябрь — 105%,
Май — 84%,	Ноябрь — 120%,
Июнь — 74%,	Декабрь — 131%

среднегодового потребления.

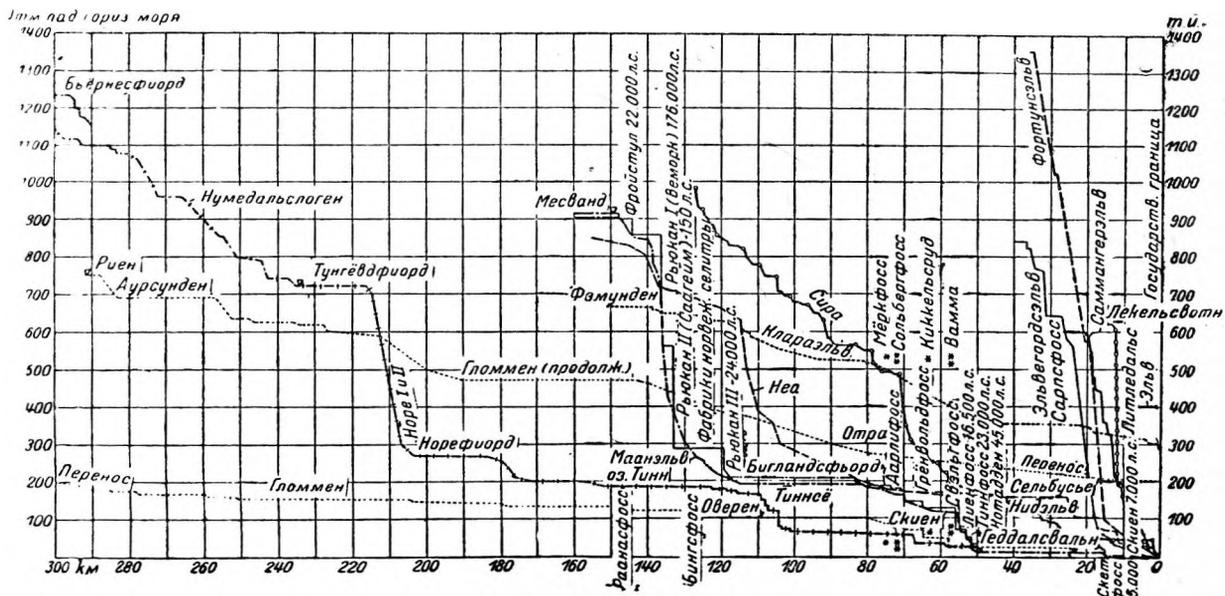
При господствующем в Норвегии альпийском режиме стока объем водохранилищ, потребных для утилизации определенного среднего расхода, при «сезонном» регулировании, естественно, больше, чем при сплошной равномерной добыче энергии. Как и следовало ожидать, в самой южной части Норвегии мы встречаем некоторые исключения, например, р. Фэдеэльв, для которой кривые использования водохранилищ сопоставлены на фиг. 22 с кривыми р. Сира.

Влияние регулирования стока изучалось и для таких случаев, когда водохранилища расположены сравнительно далеко от пунктов потребления энергии. При этом различаются: зарегулированный сток с «охваченного» водохранилищем бассейна и нерегулированный сток с площади бассейна лежащей ниже водохранилища. Смотря по соотношению величины этих стоков, кривые необходимых объемов водохранилищ, разумеется, изменяются, и для сравнительно длинного участка реки получается ряд кривых.

О з е р а . Многие озера представляют для практического проведения регулирования стока очень благоприятные возможности. Многие из этих озер не очень велики (только 6 имеют площадь свыше 100 км<sup>2</sup>), но они в общем расположены гораздо выше, чем, например, шведские озера. Самое крупное озеро Норвегии — Мьесен, площадью 300 км<sup>2</sup>, отметка его зеркала + 121 над уровнем моря, отметка его дна — 332 м (ниже уровня моря). Через это озеро, чрезвычайно ценное для гидроэнергетического хозяйства Норвегии, протекает р. Бермен, — самый крупный приток р. Гломмена. Второе по величине озеро — Фэмунден (площадь 203 км<sup>2</sup>); через это озеро протекает р. Клара (в Швеции она именуется Кларэльв). Это большое озеро, расположенное довольно высоко (+ 663 м над уровнем моря),



Фиг. 22. Кривые необходимых объемов водохранилищ норвежских рек.



Фиг. 23. Продольные профили норвежских рек (по данным проф. Хегстада).

Гидроустановки Норвегии мощностью свыше 5000 л. с. Наиболее важные установки меньшей мощности заключены в скобки

№ по которому помещена установка на фиг. 20	Название установки	Название водотока	№ под которым помещена установка на фиг. 20	Название установки	Название водотока
5а	Гломмен Треслаперн Кикельсруд	Гломмен	62f	Рьюкан I (Веморк)	Мэнеэльв
6а	Вамма Фоссеколт	"	9g	Арендаль	Нидеэльв
7а	Сольберггрфосс	"	22g	Ри ен	"
18а	Зангбрукфоренниг	Фредрикхальдс-Восдраг	11h	Номеланд	Огра
52а	Боррегард	Гломмен	31h	Крингся	"
54а	Хавслунд	"	32h	Хунсфосс	"
19b	Раанафосс	"	33h	Внегеландс	"
1с	Рена	Оза-Рена-Гломмен	34h	Мандаль	Триландсэльв
14с	Эльверум	Гломмен	7i	Флорли	Флорлибах
73с	(Станге)	Виксельф, Фоссеэльв, Мьосса, Гломмен	12i	Ставингер	Олтедальсэльв
69d	[Раидсфьорд (писчезумажи и целлюлозн. фабр.)]	Раидсэльв	36i	Заудефальдене, Дальеватн-сторлифт, Хольмефт-Далефт	Иорнеландзэ
70d	(Кистефосс)	"	45i	(Рифильке)	Беркдальсэльв
89d	Лилле Хаммер	Месна	10k	(Дале)	Литледальсэльв
12e	Хакавик	Х кавик эльсв	13k	Этне	Херландсэльв
34e	Хонефосс	Эдальсэльв	33k	Херландсфосс	Бельво
36e	(Консберг)	Нумедальс логен	42k	Бьельвфоссен	Тисса
48e	Гревфосс	Драмсэльв	53k	Тиссефалленс	Квитингэльв
50e	Эмбретсфосс	"	55k	Самнангер	Свелгевадраг
64e	(Фоллум)	Эдальс эльв	7m	Бремангер	Бреймсэльв
69e	(Конефосс)	Эзаэльв	16m	(Эйдсфосс Глоппен)	Ойре - ог - жетландсэльв
74e	(Норе) (вспомог. станция)	Нумедальс логен	29m	Хойангфаллене	Тафиордальф
80e	Драмменс (Лабро)	"	27n	Тафиорд Норд далсфьорд (Скар Ханхеймзвати)	Скогдэльв
81e	Драмменс Сколденборг	"	51n	Овре Лерфосс	Нидэльв
84e	Виттингфосс	"	64o	Недре Лерфосс	"
14f	Свелгфосс	Тиннэльв	65o	(Меракер Смелтверк)	Копоре
15f	Эрлифосс	"	40p	(Меракер Брук Пустадфосс)	Стиордальсэльв
32f	Ауст-Агдер	Ниссерэльв	41p	(Меракер Брук Турифосс)	"
33f	Лиенфосс	Тиннэльв	42p	Норд Тронделаг Фоллафосс (Нарвик)	Фолла
34f	Тиннфосс	"	68p	(Бодо)	Хэвникэльв
37f	Дальсфосс	Крагер-Васдраг	1g	(Бодин)	Брейнад Бертнессэльв
37f	Дальсфосс	Фаррисэльв	3g	(Сули Тнелма)	Хеггмюэльв
44f	Хогстад	"	5g	Гломфьорд	Бальмэльв
46f	Кисте	"	11g	(Дундерленд Пилггрубфосс)	Биванэ
58f	Скотфосс, Даммфосс, Клостерфосс	Скпенэльв	21g	(Сямавик Тромс)	Тверэ
61f	Рьюкан II (Захойн)	Мэнеэльв	23g	(Скарсфьорд Тромсе)	Тверэльв
			7s	(Зудварингер Тэрнат Яр-фьорд)	Скардсфьордэльв
			8s		Торнелльв
			5t		

имеет довольно скромное значение для водного хозяйства Норвегии, так как на ее территории река Клара не имеет крупных водопадов; зато для гидроэнергетического хозяйства западной Швеции это озеро могло бы иметь гораздо более крупное значение. Третье по величине норвежское озеро — Рэсвандет, площадь около 90 км<sup>2</sup> (+374 м над уровнем моря), расположено в северной половине страны. Через это озеро протекает довольно короткая, но богатая гидроэнергетическими ресурсами р. Рэсо.

Довольно большое значение для водного хозяйства имеют многие мелкие норвежские озера. Назовем оз. Мэсванд (55 км<sup>2</sup>; + 915 м над уров-

нем моря) и Тиннсё (54 км<sup>2</sup>; + 190 м над уровнем моря), расположенные на р. Скьен, которые регулируют крупные гидросиловые установки Рьюкан, Свэльгфосс и т. д.

На других важных реках Норвегии утилизируют вместо отдельных больших озер целый ряд мелких, например, р. Нумедаль (Нумедальслаген).

В силу высокой отметки норвежских озер суммарная накапливаемая ими мощность приближается к мощности некоторых более крупных шведских озер, оказывающих свое действие на гораздо более обширные бассейны. К тому же широкие меры регулирования облегчаются для

многих норвежских озер тем обстоятельством, что они расположены в мало населенных и пустынных местах. С другой стороны, возведение регулирующих установок сопряжено в глухих отдаленных горных местностях со сравнительно высокими издержками.

Фиг. 23 дает отчетливое представление о характере падения норвежских рек, на которых часто преобладают высокие и крутые перепады.

Вышепомещенная (на стр. 24) табл. 4 дает перечень наиболее крупных установок Норвегии.

## Глава третья.

### ФИНЛЯНДИЯ

#### § 1. География страны.

По своей площади (388 000 км<sup>2</sup>, включая Ладожское озеро) Финляндия занимает среднее место между Швецией и Норвегией. Ее вытянутая береговая линия омывается с двух сторон Балтийским морем, т. е. водами Ботнического и Финского заливов, а на крайнем севере — Ледовитым океаном. Короткое северное побережье оказалось после войны связанным с подлинной Финляндией «коридором». Сухопутные границы, отделяющие Финляндию от Норвегии и Швеции с одной стороны и от СССР — с другой много длиннее ее береговой линии. Финляндия тянется с юга на север от 60-го до 70-го градуса, центр тяжести ее контура расположен еще северней, чем у какого-либо из других скандинавских государств (фиг. 4, 5, 6).

В геологическом отношении Финляндия замечательна тем, что черты, характеризующие Феноскандию в целом, выявляются в ней особенно резко и полно, т. е. преобладают докембрийские отложения, среди которых доминируют массивные архейские породы (граниты и гнейсограниты) и более редкие древние сланцы. В южной Финляндии широко распространены встречающиеся только здесь граниты ранакви (гнилой камень), т. е. порфировидные граниты, выдвинувшиеся на земную поверхность в более позднюю эпоху; далее, мы находим здесь диориты, диабазы, габбро и сиениты. В северной Финляндии на обширных площадях встречаются породы, не принадлежащие к архейским, главным образом, метабазиты так называемого калевийского периода. Под этим термином понимают различные докембрийские образования, которые относят к метаморфическим основным породам, главным образом к диабазам. Нет недостатка и в морских отложениях того же геологического возраста. Зато кембрийские и послекембрийские (силурийские) образования в Финляндии почти совершенно отсутствуют: их уничтожили позднейшие геологические процессы (задолго до ледникового периода).

Преобладание очень твердых кристаллических архейских пород в южной половине Финляндии очень отчетливо отзывается на ее рельефе и на конфигурации ее водной сети (фиг. 2).

Разница вертикальных отметок вообще очень невелика. За исключением совершенно маловажных областей крайнего севера вся Финляндия расположена ниже отметки + 500 м самая же главная часть страны, и к тому же территориально самая обширная, лежит сплошь ниже отметки + 250 м. Большое озерное плато внутри южной части страны почти целиком лежит на отметках между +70 м и +150 м. Это плато, состоящее почти сплошь из древнейших вулканических пород, отличается особенно характерными чертами северного пейзажа. Вода не смогла размыть закругленных в ледниковом периоде скалистых холмов, и мы видим здесь, так же как и в шведской области Мэларен, сильно волнистую полуравнину, контрастирующие элементы которой выражаются не в форме гор и долин, а в форме холмов (островов) и котловин (озер). Поэтому отдельные бассейны стока резко не отграничены друг от друга, а нередко переходят один в другой почти незаметно, образуя болотистые участки, или же гидравлически соединены между собой посредством разветвлений.

На всем озерном плато почти не встречается четвертичных образований, кроме морен; балтийская граница морских отложений расположена на скатах этого плато; прибрежной полосе вдоль Финского и Ботнического заливов эти морские отложения, главным образом глины, придают несколько иной характер, и здесь черты северного пейзажа выражены не так отчетливо; озер здесь то же меньше. На довольно гористом севере мы встречаем формы рельефа, также отличающиеся от типичной полуравнины и скорее напоминающие северную Швецию. Север Финляндии, за исключением средней части р. Пасвикэльва — тоже сравнительно беден озерами.

Условия растительности в Финляндии родственны шведским; большая часть морен покрыта лесами; части страны, расположенные ниже балтийской черты морских отложений, в большинстве случаев пригодны для земледелия и частично возделываются. Из общей площади Финляндии (388 483 км<sup>2</sup>) 12,5% приходится на озера (считая часть Ладожского озера), 65% — на леса (преобладают сосна, ель, береза, осина), около 9% на возделанные поля, луга и пастбища, остальное — 14% — на пустоши, болота и, в меньшей части,

Таблица 5  
Условия стока Финляндии

№	Водоток	Бассейн стока в км <sup>2</sup>	Относительная площадь озера %	$m_{\max}$ Наибы́ший максимум м <sup>3</sup> /сек и л/сек с 1 км <sup>2</sup>	Средний максимум м <sup>3</sup> /сек и л/сек с 1 км <sup>2</sup>	$m_{\text{ср}}$ Средний сток		$m_{\text{меж}}$ Средняя межень м <sup>3</sup> /сек и л/сек с 1 км <sup>2</sup>	$m_{\text{min}}$ Наи́зший расход м <sup>3</sup> /сек и л/сек с 1 км <sup>2</sup>	Отноше-ние $\frac{m_{\max}}{m_{\text{ср}}}$ $\frac{m_{\text{min}}}{m_{\text{меж}}}$
						м <sup>3</sup> /сек и л/сек с 1 км <sup>2</sup>	мм			
1a	Вуокса, у Иматры . . .	60 220	20,8	886	669	570	298	470	320	2,8
	—	—	—	15	11	9,5	—	7,8	5,3	1,2
1	То же . . . . .	60 220	20,8	765	620	569	298	464	331	2,3
	—	—	—	13	10	9,4	—	7,7	5,5	1,2
2a	Климменэльв у Перно .	36 017	20,7	565	432	297	260	166	87	8,5
	—	—	—	16	12	8,2	—	4,6	2,4	1,8
2b	То же . . . . .	36 107	20,7	530	410	286	250	166	96	5,5
3	Карисо у Ландсбро . . .	1 975	9,7	72,1	47,4	19,9	318	10,7	8,8	8,2
	—	—	—	37	24	10,1	—	5,4	4,5	1,9
4	Кумозэльв у Харья Вальта	25 160	10,7	840	540	220	276	103	60	14,0
	—	—	—	33	21	8,7	—	4,1	2,4	2,1
5	Кирезэльв у Скатилы . .	4 810	0,9	833	30,6	37,3	245	1,8	1,1	333,1
	—	—	—	90	64	7,8	—	0,4	0,3	20,7
7	Лестюки у Каннуса . . .	1 400	6,3	200	146	9,5	214	1,1	0,4	500,0
	—	—	—	143	104	6,8	—	0,3	0,3	8,6
9a	Улзэльв у Ваалы . . . .	20 110	11,8	696	482	226	354	86	50	13,9
	—	—	—	35	24	11,2	—	4,3	2,5	2,6
9b	То же . . . . .	20 110	11,8	696	456	213	334	92	63	11,0
	—	—	—	35	23	10,6	—	4,6	3,1	2,3
	Кимингизэльв . . . . .	4 000	1,8	374	315	50	394	6,5	5,8	64,5
	—	—	—	93	79	12,5	—	1,6	1,4	7,7
10	Иозэльв . . . . .	14 083	3,6	977	731	165	369	40,1	23,7	34,0
	—	—	—	69	52	11,7	—	2,8	2,0	4,1
11	Кемпэльв у Тайвалькоски	49 303	1,5	3 190	2 396	550	352	162	157	20,3
	—	—	—	65	49	11,2	—	3,2	3,2	3,4
	Торнеэльв у Торнео . . .	40 180	4,6	2 510	2 145	350	275	110	77	32,6
	—	—	—	62	53	8,7	—	2,7	1,9	3,2
12	Пасвикэльв у Биоржундет	18 832	72,7	777	495	169	283	71	61	12,7
	—	—	—	41	26	9,0	—	3,8	3,2	2,4

Период наблюдения: 1/XI. 1900 по 31/X. 1920: № 1a, 4 и 9a.

1/I. 1901 „ 31/XII. 1919: № 2a.

1/I. 1912 „ 31/XII. 1920: № 1b, 2b, 3, 5, 7, 9b, 10, 11, 12.

на «фьэлль». Фьэлль, т. е. площади, на которых холодный климат не позволяет произрастать лесам, составляют около 3% всей территории страны. Относительно доли лесов и болот литература дает противоречивые указания. Это объясняется отчасти тем, что некоторые тощие перелески растут на болотах.

Общая площадь болот, включая покрытую лесом, составляет около 26% всей территории Финляндии. В настоящее время особое исследовательское общество изучает вопрос о распространении и о практическом использовании пустошей.

В 1922 г. использование торфа на топливо составляло 20 000 т, тогда как общие запасы торфа, годного для топлива, считая в воздушно

сухом виде, оцениваются в 2 млрд. т. Из площадей, расположенных ниже балтийской черты морских отложений, береговая область Ботнического залива сравнительно богата пахотными землями, тогда как на южном побережье и преимущественно на озерном плато преобладают леса. На севере земледелия вообще почти нет, это сплошное царство лесов с небольшими вкрапленными участками фьэлля. Почти половина лесных угодий принадлежит казне, особенно на севере и востоке Финляндии.

Климат Финляндии, подобно шведскому, занимает средину между чисто морским климатом западной Норвегии и чисто континентальным климатом СССР. Судя по январским изотермам (фиг. 24), зима Финляндии в среднем

еще несколько суровее, чем в Швеции. Доступность плоской низины для ветров с океана (кроме Балтийского моря) оказывает на климат сильно смягчающее действие.

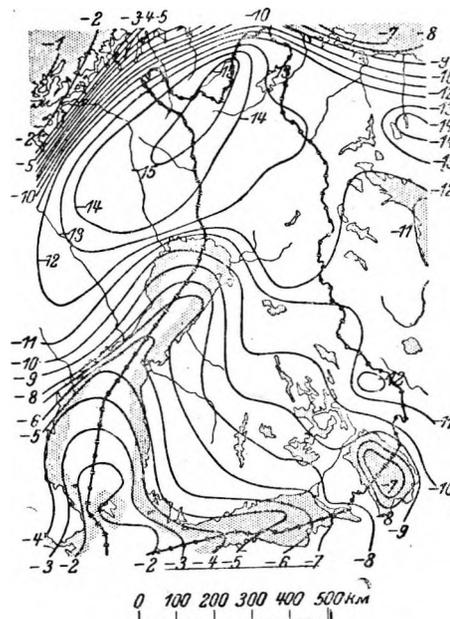
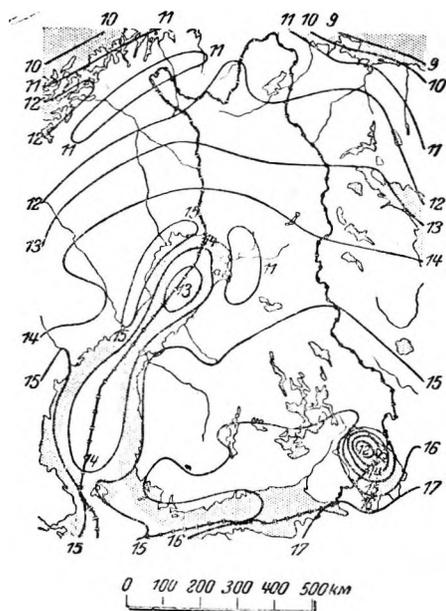
Статистика продолжительности лежания снежного покрова (фиг. 24а) показывает, что даже вблизи побережья и на островах снеговой покров держится свыше 3 мес., на озерном же плато еще гораздо дольше.

Условия осадков в Финляндии сильно наминают шведские. Средняя высота осадков едва ли превышает 600 мм (т. е. она несколько ниже, чем в Швеции). Так же как и в Швеции, западное

ный нами нижний предел. Средний коэффициент стока для всей Финляндии можно оценить в 0,40 — 0,45, т. е. он значительно ниже, чем в Швеции, где большая часть осадков падает на водонепроницаемый фьелль. Водная сеть Финляндии носит совершенно специфический отпечаток благодаря богатству страны озерами, которых насчитывают до 35 500.

## § 2. Гидрография Финляндии.

Озера большей частью имеют очень плоские берега и связаны между собой короткими стремнинами или участками почти стоячей воды,



Фиг. 24. Изотермы Финляндии. Слева — июль; справа — январь.

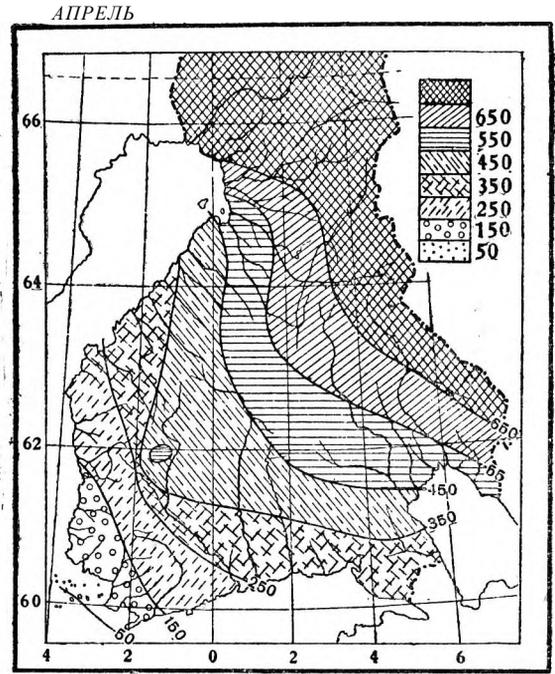
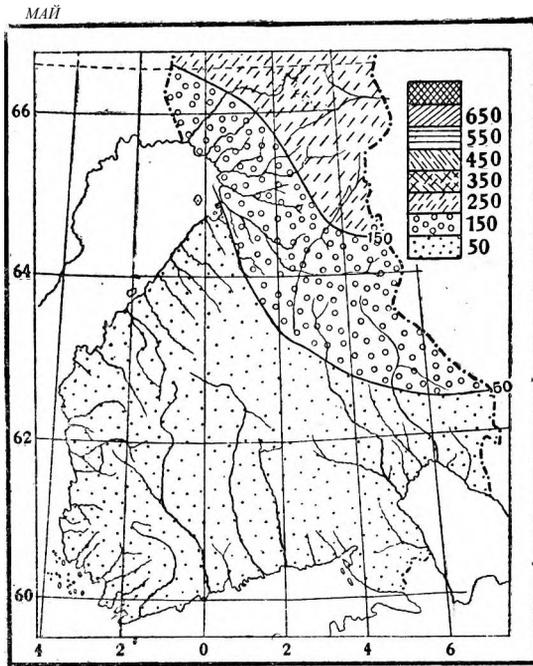
и южное побережья страны относительно богаты осадками, потому что последние преимущественно приносятся западными ветрами; особенно беден осадками север, главным образом, область Торнэльва. Согласно фиг. 24а, значительная доля годовых осадков накапливается в форме снега: на озерном плато примерно  $\frac{1}{4}$ . Накопленная в этой форме масса воды достигает своего максимума во всей Финляндии около 25 марта. Высокая доля снега в общем количестве осадков очень выгодно отражается на коэффициентах стока. В этом же направлении влияет и геологическое строение страны; обширные леса и болота оказывают очень сильное противоположное действие. Сравнение величины осадков с модулями стока (табл. 5) показывает, что коэффициент стока колеблется между 0,35 и 0,50; на востоке озерного плато коэффициент стока близок к верхнему пределу, тогда как на побережье в четвертичных пластах потери на просачивание в грунт и транспирацию довольно значительны, так что здесь иногда не достигается даже указан-

так что иногда водотоки на большом протяжении можно назвать скорее цепью озер.

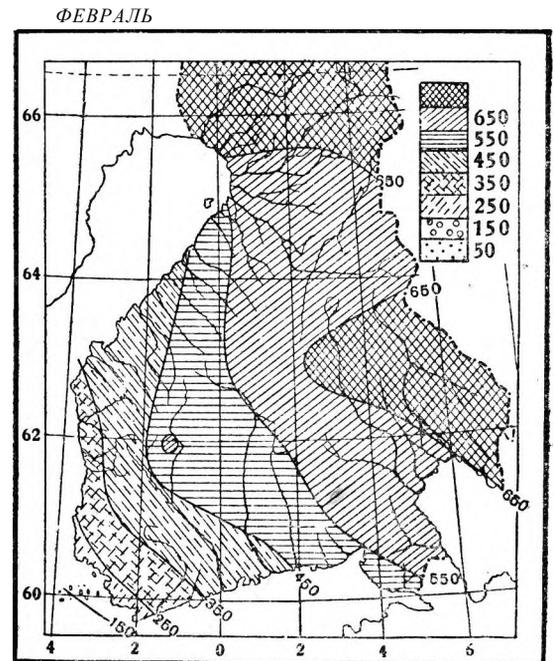
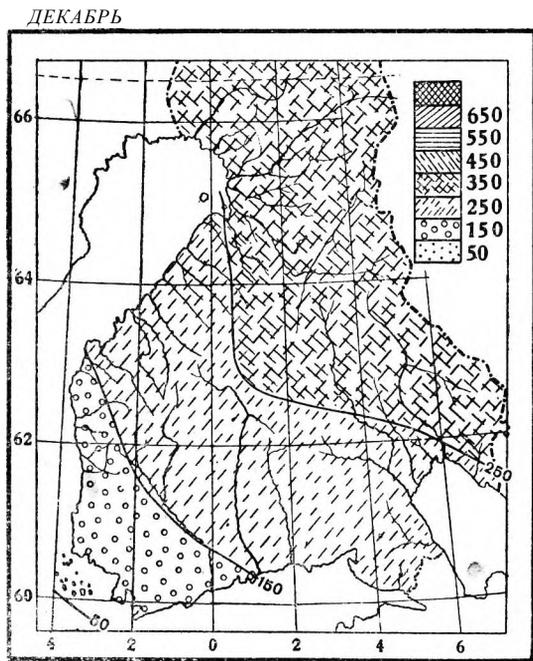
Вся совокупность рек Финляндии при более внимательном рассмотрении распадается на ряд отдельных групп, которые во многих отношениях, разграничены друг от друга (фиг. 25).

Первая и с точки зрения водного хозяйства наиболее важная группа охватывает четыре больших водотока, стекающих с озерного плато: Вуокса, Кимменэльв, Кумозэльв и Улеэльв. В общей сложности эти четыре бассейна имеют площадь около 160 900 км<sup>2</sup>. Все эти четыре бассейна чрезвычайно богаты озерами (табл. 5).

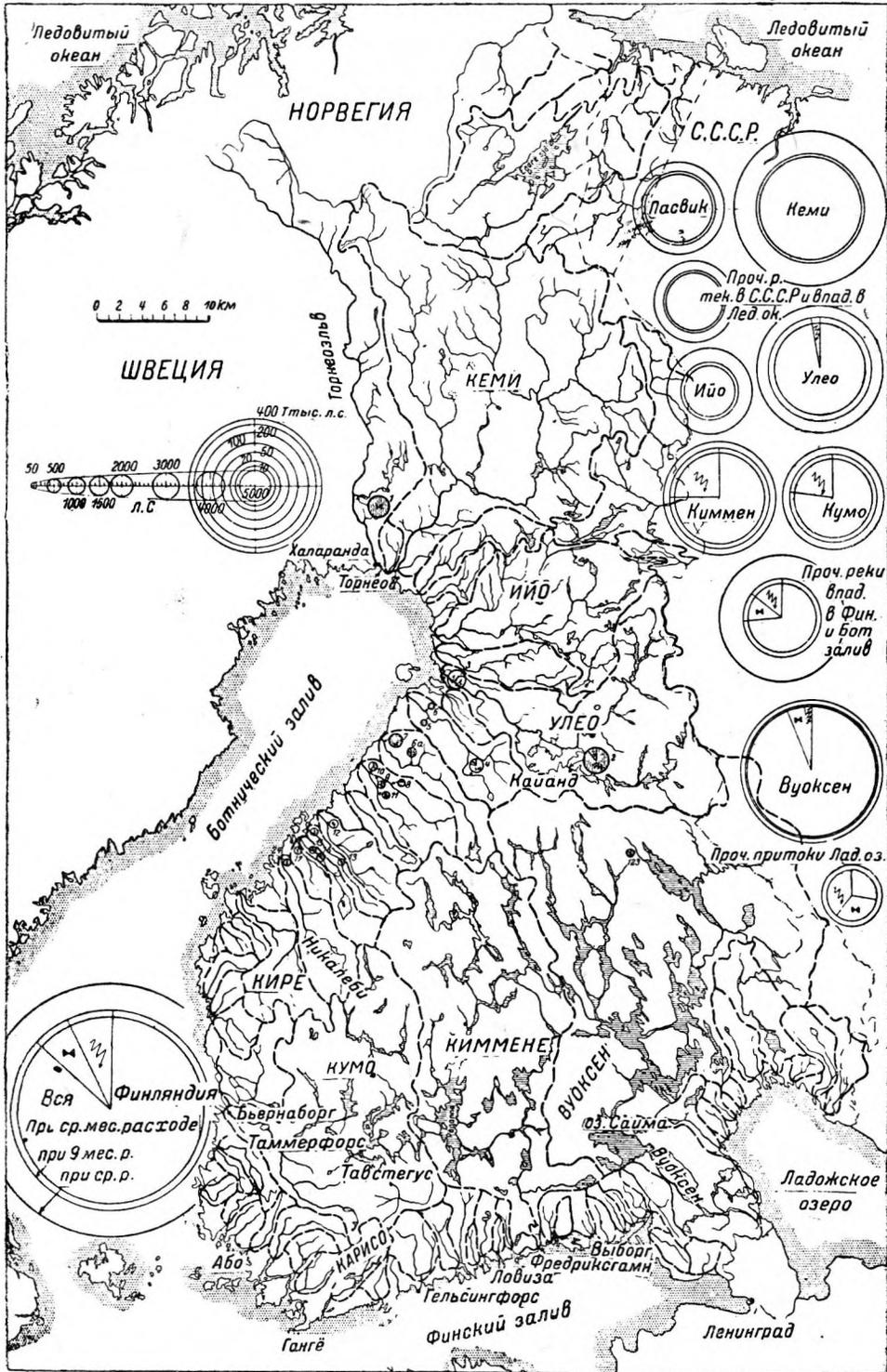
Поэтому вся эта речная группа характеризуется исключительной равномерностью расходов. Наиболее благоприятное положение занимает в этом отношении р. Вуокса. На фиг. 26 и 26а детально показаны благоприятные условия продолжительности расходов главной реки речной системы — р. Вуоксы; они объясняются, наряду со значительной долей озерных площадей, также и их благоприятным распределением:



МАСШТАБ  
км 100 0 100 200 км



Фиг. 24 а. Высота снежного покрова в Финляндии (среднее за период 1896—1905 гг.)  
(В условных обозначениях цифра, стоящая у соответствующего обозначения указывает верхний предел, таким образом верхнее обозначение соответствует высоте снежного покрова от 650 м.м и выше, нижнее — от 0 до 50 м.м, следующее — от 50 до 150 м.м и т. д.).



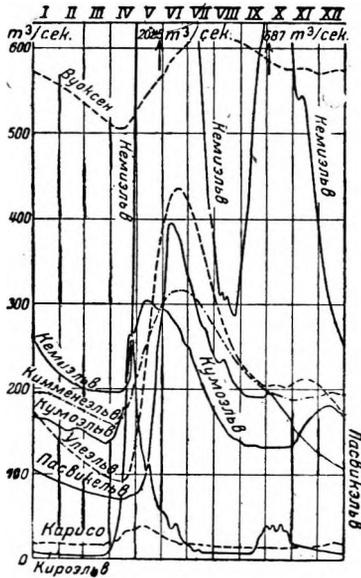
Фиг. 25. Гидрографическая карта Финляндии с указанием гидроэлектрических установок.

преобладающая часть всей области стока расположена выше самого большого озера Саймы; ниже этого озера в реку уже не впадает никаких крупных притоков. Для р. Кимменезьльва, где доля поверхности озер приблизительно такая же, но где распределение этих поверхностей совершенно иное, условия стока заметно менее благоприятны; еще менее благоприятны они для рек Кумозьльва и Улезьльва. Средний сток меньше всего у р. Кимменаэльва (около 8), больше всего у Улезьльва (около 11), средняя цифра для всего озерного плато округленно равняется 9 л/сек с 1 км<sup>2</sup> (цифра сама по себе низкая, близкая к стоку областей северо-востока Германии).

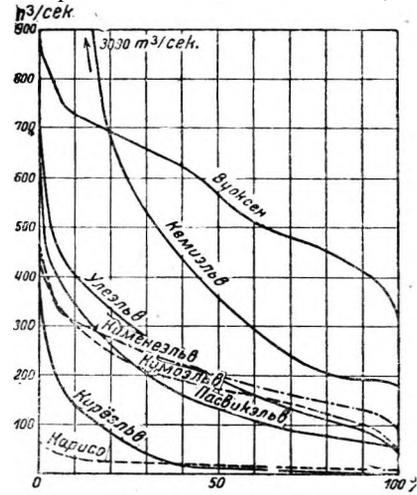
Главные озера — так называемые центральные, — расположены, за исключением оз. Улет-

рэска, сплошь на отметках от + 75 до + 80 м; оз. Улетрэск лежит на отметке примерно 123 м. Как мы видим, полезная высота падения в общем невелика. Общий характер падения, в особенности ступенчатая форма тальвегов, усматривается из фиг. 27.

Вторую группу образуют прибрежные реки, области стока которых полностью или в преобладающей части расположены ниже «балтийской» черты. Сюда относятся реки и ручьи, которые частью впадают в Ботнический или Финский залив, частью в Ладожское озеро. Почти у всех этих рек небольшие области стока площадью меньше 5 000 км<sup>2</sup>. Зато общая площадь этой речной системы очень значительна и намного превышает 100 000 км<sup>2</sup>. Водотоки этой группы имеют большей частью малые коэффициенты стока, а поэтому особенно на юге, несмотря на значительную высоту осадков, в общем не очень большие расходы. Озер также значительно меньше, чем

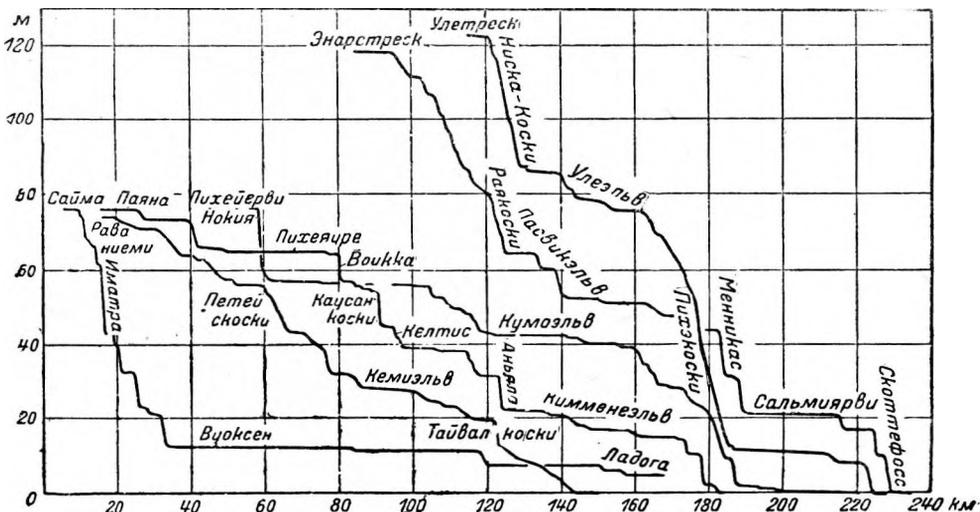


Фиг. 26.



Фиг. 26а.

Фиг. 26—26а. Графики расходов и кривые обеспеченности для рек Финляндии (по Бломквисту).



Фиг. 27. Продольные профили рек Финляндии (по Бломквисту).

в первой группе, хотя в этом отношении наблюдаются большие различия. Предельные цифры мы видим у самой крупной реки морского побережья р. Кирезльв — меньше 1% доли озер — и у гораздо менее значительной р. Карисо — почти 10% доли озер. Влияние относительной поверхности озер отчетливо сказывается на кривых (многолетних средних) продолжительности расходов (фиг. 26 и 26а). Для р. Кирезльв высшие и низшие ординаты средней кривой продолжительности расходов относятся одна к другой как 170 : 1, для р. Карисо как 4,5 : 1. Большинство рек этой группы, однако, ближе к неблагоприятным условиям расходов р. Кирезльв. В силу этого и благодаря малой общей высоте падения и часто неблагоприятному распределению падения, эти мелкие речные области имеют почти исключительно чисто местное значение (мелкие гидроэнергетические установки); часть из них — вообще мало пригодна для утилизации. Очень многие прибрежные реки, особенно северные, до настоящего времени с точки зрения гидрографической не были детально изучены.

Третью группу водотоков образуют 3 большие реки, впадающие в северную часть Ботнического залива; они все бедны озерами, вдаются глубоко в глубь страны и их водоразделы захватывают горные хребты, большей частью довольно высокие. Сюда относятся реки Иоэльв (бассейн стока — 14 000 км<sup>2</sup>, доля озер 3,6%), Кремиэльв (49 000 км<sup>2</sup>, доля озер 1,5%), Торнеэльв (40 000 км<sup>2</sup>, из них 25 000 км<sup>2</sup> под шведским суверенитетом; доля озер 4,6%). Все три реки в смысле модулей стоков близки к рекам озерного плато, но отличаются от них менее благоприятными цифрами продолжительности расходов. Отношение высших ординат к низшим для всех трех рек колеблется примерно от 10 до 20 по средней кривой продолжительности.

Четвертую группу самостоятельно образует р. Пасвикэльв; для нее характерны северное местоположение и обилие озер (19 000 км<sup>2</sup>, из которых примерно 1 000 км<sup>2</sup> норвежской территории; доля озер 12,5%). Несмотря на это, условия продолжительности расходов не особенно благоприятны, потому что благодаря северному расположению осенняя волна паводков еще менее отчетливо выражена, чем у остальных финских рек, а накопление осадков в форме снега начинается очень рано, ввиду чего расход зимней межени очень невелик.

Пятая группа охватывает те финские водотоки, часть бассейна стока или низовья которых расположены за пределами Финской территории. Сюда относятся: р. Танаэльв (бассейн стока 16 000 км<sup>2</sup>, из них только 1/3 приходится на долю Финляндии), большая река Гуланкойоки, из общего бассейна которой только 6 000 км<sup>2</sup> лежит на финской территории, и р. Кудаэльв с 11 000 км<sup>2</sup> бассейн стока в пределах Финлян-

дии. Эти три реки, впадающие в Ледовитый океан или в Белое море, имеют малое значение для водного хозяйства Финляндии, хотя бы в силу их отдаленного местоположения.

К шестой группе можно причислить незначительные бассейны рек побережья Ледовитого океана, которые впадают в него частью уже только на норвежской территории и бедны гидроэнергетическими ресурсами.

### § 3. Гидроэнергетические ресурсы Финляндии.

Гидроэнергетические ресурсы Финляндии систематически исследованы Бломквистом. В помещенной ниже таблице 6 сгруппированы его главные выводы применительно к приведенному нами подразделению речных систем. При своих вычислениях, которые признаны авторитетными специалистами в том числе и Управлением водных сил, вполне надежными, Бломквист руководился следующими принципами.

Учтены все отчетливо выраженные быстрины и пороги, даже те, которые не могут быть использованы самостоятельно в силу малой высоты падения; зато совершенно не учитывалась высота падения участков течения с равномерным уклоном. Возможно, что, с одной стороны, благодаря этому отдельные низкие пороги (между озерами), которые едва ли когда-нибудь смогут быть утилизированы, исказили конечный результат в благоприятную сторону и что, с другой стороны, пренебрежение участками с равномерным падением, особенно там, где они часто перемежаются с мелкими порогами, отразилось на результате в неблагоприятном смысле. Со всем тем, конечный вывод, однако, достаточно точно соответствует действительности. Сводка показывает (и это не может казаться неожиданным после всего вышесказанного), что в речной системе озерного плато в каждом отдельном случае подавляющая часть гидросиловых ресурсов выпадает на долю главной реки ниже «центрального озера» и очень незначительная часть на долю притоков. Поэтому центральные озера играют в деле регулирования гидроэнергетического хозяйства исключительно важную роль. Таблица 6 выявляет дальше, что свыше двух третей всех гидроэнергетических ресурсов принадлежит водотокам первой группы. Это обстоятельство тоже весьма благоприятно для развития гидроэнергетического хозяйства Финляндии и для снабжения страны энергией, так как речные области этой группы расположены недалеко от важнейших сельскохозяйственных районов; кроме того, реки данной группы являются важными магистралями сплава и имеют крупное значение для лесобработывающей промышленности. Второе место занимает северофинская группа III, располагающая только 20% всех гидросиловых ресурсов. Остальные группы в смысле объема своих ресурсов

Таблица 6

Используемые и могущие быть использованными гидроэнергетические ресурсы Финляндии.  
По наблюдением I/XI 1900—31/X 1920 гг.

Обозначение речной области	Бассейны стока в устье в км <sup>2</sup>	Финская часть в км <sup>2</sup>	Полезная мощность на валу турбины в л. с. при:			Установленная мощность турбин 1922 и (1929)			
			среднем меж-нем расходе	расходе с продол-житель-ностью 9 мес.	среднем годовом расходе	л. с.	% полезной мощности		
							от мощно-сти при девятиве-сячном расходе Q <sub>9</sub>	от мощ-ности при 1,4 Q <sub>9</sub>	от всех устано-вленных турбин страны
<b>Группа I</b>									
Речные системы озерного плато . . . . .	155 000	148 000	698 300	858 600	1 247 900	149 950			
Вуокса, гл. река . . . . .	68 000	61 500	318 000	322 000	386 000	32 850	8,2	5,85	17,3
Притоки р. Вуоксы . . . . .			50 000	78 000	112 000	(122 150)			
Кимменезльв, гл. река . . . . .	36 700	36 700	111 500	141 600	195 500	70 400	41,7	30,0	37,2
Притоки р. Кимменезльва . . . . .			15 500	27 0 0	52 000	(96 364)			
Кумозльв, гл. река . . . . .	26 700	26 700	58 000	80 000	115 000	42 400	39,00	27,8	22,3
Притоки р. Кумозльва . . . . .			21 000	29 000	58 400	(69 903)			
Улеэльв, гл. река . . . . .	23 600	23 100	105 000	153 000	273 000	4 300	2,4	1,7	2,3
Притоки р. Улеэльва . . . . .			19 300	28 000	55 500	(4 430)			
<b>Группа II</b>									
Мелкие области стока (прибрежные реки) Ладожского озера, Финского и Ботанического заливов . . . . .	окр. 110 000	окр. 110 000	77 400	106 400	355 100	39 700	—	—	—
Карисо с притоками . . . . .	—	окр. 2 000	3 200	4 600	6 100	—	—	—	—
Киреэльв с притоками . . . . .	—	5 000	700	1 100	14 000	—	—	—	—
Прочие реки, впадающие в Финский и Ботаниче-ский залив, включая долю Торнеэльва . . . . .	—	—	50 500	75 700	293 000	22 200 (28 500)	—	—	11,7
Прибрежные реки Ладожского озера . . . . .	—	—	23 000	25 000	42 000	17 500 (22 102)	70,0	50,0	9,2
<b>Группа III</b>									
Большие реки, бедные озерами, впадающие в Ботнический залив . . . . .	64 000	64 100	214 000	238 000	712 000	—	—	—	—
Иозльв с притоками . . . . .	14 000	окр. 14 100	25 000	35 000	110 000	—	—	—	—
Кемизльв с притоками . . . . .	50 000	50 000	181 000	203 000	602 000	—	—	—	—
<b>Группа IV</b>									
Пасвикэльв . . . . .	—	—	54 700	71 000	135 500	—	—	—	—
Гл. река . . . . .	окр. 18 900	17 000	44 700	56 000	102 000	—	—	—	—
Притоки . . . . .			10 000	15 000	33 500	—	—	—	—
<b>Группы V и VI</b>									
Прочие области стока Ледовитого океана; финская часть областей стока Белого моря . . . . .	—	окр. 26 000	31 000	40 000	90 000	—	—	—	—
<b>Итого . . . . .</b>	—	окр. 380 000 <sup>1</sup>	1 059 400	1 314 000	2 540 500	189 500	14,4	10,3	100,0

<sup>1</sup> Без доли Ладожского озера.

сильно отступают на задний план; однако некоторые реки группы II имеют довольно важное значение для малых местных гидроэнергетических установок ввиду своего особо благоприятного местоположения.

Определение вероятной реальной мощности станции по девятимесячному расходу, помноженному на 1,4, коучно, очень произвольно; со временем, по-видимому, во многих местах будут достигнуты и более высокие цифры, так как для регулирования зачастую имеются очень хорошие возможности. Цифра 1,4 заимствована из исследования Саррандера над реальным када-

страми Швеции. Такого исследования, какое произвел Экваль, учитывавший возможности применения различных видов энергии, в отношении Финляндии еще не производилось, и только для некоторых важных речных участков существуют детальные проекты развития с указанием достижимой и могущей быть экономически использованной мощности турбин. Весьма выгодны для использования финских рек относительно небольшие различия в мощности для среднего межлетнего расхода, девятимесячного расхода и среднегодового расхода (см. таб. 6).

## ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

### Гидротехнические сооружения и их детали

#### Глава первая.

#### ЗАДАЧИ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА, В ЧАСТНОСТИ, РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА

##### § 1. Общие положения.

При регулировании всего водотока одним водохранилищем, практикующимся преимущественно на севере и на западе Норвегии, где забор воды происходит из больших озер, и где нижним бьефом служит большая река или фиорд, схемы водного хозяйства отличаются ясностью и простотой.

При непосредственном заборе воды из озера получается даже автоматическое регулирование забора воды в зависимости от потребности в энергии, изменяющейся в течение суток и на протяжении недели. Совершенно иное положение создается, когда на длинном участке реки последовательно имеется несколько ступеней падения, а между ними нет озер со сколько-нибудь значительной площадью, что встречается в большей части Швеции, Норвегии и часто и в Финляндии. В этом случае задача водного хозяйства, естественно, распадается на две части. С одной стороны необходимо регулировать расход воды в зависимости от колебания нагрузки в течение суток и на протяжении недели для каждой силовой станции; если несколько станций расположены непосредственно друг за другом, то для каждой такой цепи станций регулирование расхода воды происходит с помощью водохранилища, служащего для суточного и недельного регулирования; расположение этого водохранилища имеет тесную связь с последовательностью ступеней падения.

С другой стороны задача приспособления к годичным колебаниям нагрузки возлагается на большие озера или группы озер (годовое регулирование). При этом стремятся по возможности самостоятельно регулировать с помощью озера каждый отдельный приток или, по крайней мере, каждый более крупный приток; в западной Норвегии это зачастую достигается

посредством отвода воды из одной речной долины в другую, в Швеции же за последнее время преимущественно с помощью параллельного соединения станций или гидроэлектрического регулирования.

##### § 2. Суточное и недельное регулирование.

Не приводя конкретных примеров, мы дадим здесь только общие указания и методы, базируясь на опыте и расчетах северян.

При составлении проекта и при эксплуатации отдельной силовой станции с водохранилищем, регулирующим суточный расход (где обычно водохранилище является в то же время верхним бьефом) необходимо учитывать то обстоятельство, что накопление запаса воды сопряжено с колебанием горизонтов верхнего и нижнего бьефов, и, следовательно, при этом происходят потери напора и энергии. Остальные потери энергии в водоподводящих устройствах, решетках, машинах и трубопроводах обычно также более значительны при эксплуатации с переменной нагрузкой, нежели при равномерной работе. Наиболее важны потери от изменения горизонтов бьефов, по крайней мере, в средне- и низконапорных установках. Франсен доказал, что можно вывести общие правила о влиянии колебаний горизонта верхнего бьефа на энергоотдачу; для того чтобы потери, вызванные понижением горизонта, не превысили выигрыша энергии благодаря накоплению ночного расхода (фиг. 128), необходимо, чтобы площадь зеркала водохранилища превышала известный минимум. Этот минимум тем больше, чем продолжительней период годового регулирования и чем больше отношение между количеством рабочей воды и высотой падения. Различные слои накопления воды имеют различную ценность для энергетического хозяйства

в зависимости от их высотного расположения, в особенности при пологих склонах водохранилища (фиг. 29).

Если, исходя из различных количеств имеющейся в распоряжении (суточной) воды, вычислить подведенную к водохранилищу энергию  $E_a$  и нанести количество используемой в результате сработки водохранилища энергии  $E_n$ , изменяющееся в зависимости от понижения горизонта, в виде функции  $E_a$  (фиг. 30), то получится очень поучительная картина: полный к. п. д. водохранилища  $\eta_s = E_n/E_a$  непосредственно определяется тангенсом угла между радиусом, вектором и горизонталью, равно как и к. п. д. отдельных слоев воды

$$\eta_p = \frac{\Delta E_n}{\Delta E_a}$$

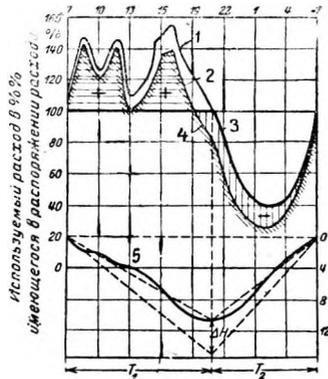
которые Франсен называет частичными к. п. д. водохранилища и которые определяются тангенсом между касательной к кривой и горизонталью<sup>1</sup>.

При упрощенных предположениях работы, изображенных на фиг. 28 (внизу), можно вывести для частичного коэффициента общую приближенную формулу:

$$\eta_p = \frac{F \cdot H - 3 \cdot 600 \cdot f_1 \cdot T_1 \cdot Q}{F \cdot H + 3 \cdot 600 \cdot f_2 \cdot T_2 \cdot Q}$$

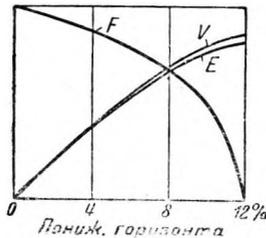
в том предположении, что водохранилище равномерно опорожняется в течение  $T_1$  час. и наполняется в течение  $T_2$  час. Здесь  $f_1$  и  $f_2$  обозна-

<sup>1</sup> Под величиной  $E_n$  автор, по-видимому, понимает действительное приращение отдачи энергии благодаря сработке водохранилища, с учетом колебания напора и влияния последнего на выработку энергии в том числе и естественным расходом  $Q_1$ . Величина  $E_n$  представляет идеальную работу, совершаемую срабатываемым объемом водохранилища в предположении постоянства напора. Прим. ред.



Фиг. 28. Суточное регулирование расхода с помощью водохранилища, понижение горизонта и действительный выигрыш энергии (+ и —), по сравнению с работой без регулирования (по Франсену).

1 — действительный используемый расход; 2 — используемый расход, отнесенный к постоянной отметке верх. бьефа; 3 — полезная мощность при работе без регулирования; 4 — полезная мощность при работе с регулированием; 5 — понижение горизонта верхнего бьефа — в процентах от полного напора.



Фиг. 29. Характеристика водохранилища: площадь —  $E$ ; объем —  $V$  и его энергия —  $E$  как функции понижения горизонта в процентах полного напора по Франсену.

чают соответствующие средние колебания зеркала в долях полного колебания, приближенно равные  $1/2$  (где  $F$  — площадь зеркала «последнего» слоя воды в  $m^2$ ,  $H$  — суммарная высота падения для этого слоя в  $m$ ,  $Q$  — имеющееся в распоряжении количество воды в  $m^3/сек$ ). На фиг. 31 показан частичный к. п. д. водохранилища в виде функции наименьшей площади зеркала водохранилища, причем последняя выражена в единицах  $Q \cdot H$  (для суточного регулирования принято  $T_1 = 10$  и  $T_2 = 14$  час., для недельного  $T_1 = 60$  и  $T_2 = 108$  час.). Оптимальная минимальная площадь пониженного зеркала будет поэтому для суточного регулирования  $25\,000 \cdot Q/H$  ( $m^2$ ), для недельного —  $225\,000 \cdot Q/H$  ( $m^2$ ). Учитывая упомянутые выше прочие потери энергии при регулировании, Франсен дает для практики цифры: 70 000 и 500 000  $Q/H$ .

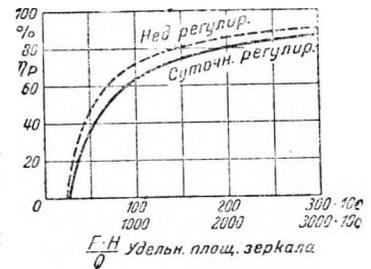
Если принять во внимание экономический момент, т. е. стоимость сооружения водохранилища, то вероятно получатся еще более высокие предельные цифры.

Другой важный комплекс вопросов возникает при наличии нескольких силовых станций на одной и той же реке в связи с влиянием, которое оказывает неравномерный расход верхней станции на работу нижней. Временем движения воды от одной силовой установки до другой и различием кривых потреблений, как известно<sup>1</sup>, определяется необходим ли перерегулирующий бассейн ниже верхней установки, имеющей суточную регулировку или же можно обойтись без него. Яркий пример — силовая установка Норе,

На севере неоднократно пользовались возможностью работы электрически параллельно нескольких силовых установок, расположенных друг за другом, для исключения промежуточных бассейнов. Благодаря этому оказывалось достаточным иметь только один регулирующий резервуар выше верхнего конца «цепи силовых установок» и один перерегулирующий бассейн ни-



Фиг. 30. Полезная производительность водохранилища суточного регулирования как функции энергии накопления (по Франсену).



Фиг. 31. Гидравлический к. п. д.  $\eta_p$  регулирующего водохранилища как функция удельной величины зеркала ( $T_1^* : (Q/H)$  при суточном и недельном регулировании (по Франсену).

<sup>1</sup> Ср. Ludin, Betriebsplan Ausbauentwurf f. W. K. Werke mit Tagesspeichern, Z. f. B., Bd. 67, S. 387. ff.

же низового конца (транзитное регулирование)<sup>1</sup>. Если электрически соединенные силовые станции следуют одна за другой с большими промежутками, то мы встречаемся с подгруппами, при которых суточное и недельное регулирование возлагается только на те установки, которые образуют тесную цепь, тогда как одиночные или неблагоприятно расположенные установки работают равномерно круглые сутки.

Как пример назовем окончательный проект утилизации гидроэнергии р. Нидэльва для городской электрической станции Трондхем. Из интересных примеров транзитного регулирования или начинаний в этом направлении на севере Европы назовем работу на реках Гломмене (Норд), Далэльве (Форсхмвуд-Домнарвет), Гэтэльве (Трольхеттан-Лилла Эдет) и Лагане (Южно-шведская силовая акц. компания).

Карл Шмидт опубликовал эксплуатационные данные и проекты планомерного развития параллельной электрической работы силовых станций и сетей различных предпринимателей с целью замены гидравлического регулирования электрическим выравниванием нагрузок. Так как в гидроэнергетическом хозяйстве европейского материка намечаются аналогичные тенденции, то концепция Шмидта, на которую мы здесь указали, не вдаваясь в подробности, заслуживает полного внимания.

Льонгдаль приводит интересные наблюдения и теоретические выкладки относительно фактических условий расхода при регулировании для покрытия пиков потребления в цепи силовых станций.

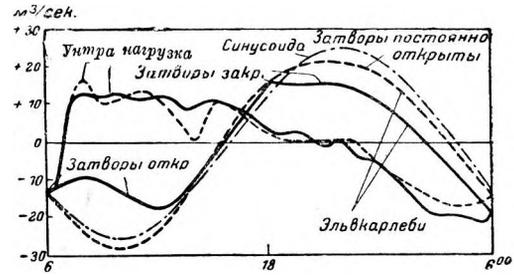
Льонгдаль приводит интересные наблюдения и теоретические выкладки относительно фактических условий расхода при регулировании для покрытия пиков потребления в цепи силовых станций. Так, после пуска в эксплуатацию силовой станции Унтра на р. Далэльве, в Эльвкарлеби стали наблюдаться колебания расхода, которые примерно соответствовали суточному синусоидальному колебанию с амплитудой  $\pm 25 \text{ м}^3/\text{сек}$  ( $1/2$  первичных колебаний расхода силовой станции Унтра) при сдвиге фаз на неполные 6 час. Постройка плотины в виде шпунтовой стенки с отверстиями, снабженными щитовыми затворами, выше Ланфорса (в то время еще не утилизированного) повысила естественную аккумулирующую способность уширенного участка реки, или, по крайней мере, дала возможность более значительного регулирования. При этом создались условия расхода согласно фиг. 32. Исходя из этих наблюдений, Льонгдаль показал, что вполне допустимо оперировать с кривыми нагрузки, как с простыми или сложными синусоидами, причем можно пренебрегать наблюдающимися на верхней установке высшими гармониками колебаний, так как они при сколько-нибудь значительных регулирующих площадях зеркал быстро сходят на-нет.

Далее, Льонгдаль выводит общую формулу регулирования, вводя допустимые упрощения:

$$Q_0 dt = Q_u dt + F dh = f(h) dt + F dh \approx (A + bh) \cdot dt + F dh$$

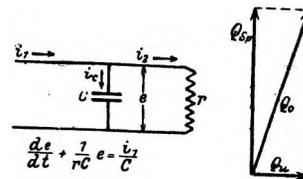
( $Q_0$  — приток в регулирующий бассейн, — истечение из этого бассейна,  $F$  — площадь зеркал, ( $dh$  — колебания уровня) и получает

$$\frac{dh}{dt} + \frac{bh}{F} = \frac{Q_0}{F} - \frac{A}{F}.$$



Фиг. 32. Колебание нагрузки станции Унтра, расхода р. Эльвкарлеби в сравнении с синусоидой (Льонгдаль).

Это дифференциальное уравнение согласно Франсену совпадает по форме с дифф. уравн. электрического контура по



фиг. 33, поэтому, настоящую гидравлическую проблему можно трактовать с точки зрения теории переменных токов с помощью векторного анализа. При синусоидальной форме кривой притока  $Q_0$  дифференциальное урав-

нение разрешается следующим образом:

$$h = \frac{Q_0}{\sqrt{b^2 + (\omega F)^2}}; \quad Q_u = bh; \quad Q_{\text{водохр}} = \omega F \cdot h,$$

где  $\omega = 2\pi\nu$  — частота.

Построение векторной диаграммы с учетом четырех уширений реки (фьердов) между Унтра и Эльвкарлеби выявило близкое совпадение с наблюдавшимися явлениями.

Этот ход расчета применим и для случаев, когда вместо сосредоточенных бассейнов регулирующее действие выполняют одни только длинные участки реки (фиг. 34), нормальной ширины, между силовыми станциями, а равно и в случаях смешанных (фиг. 36).

Из фиг. 36, на которой изображены две группы силовых станций, расположенные на одной и той же реке, по принадлежащие разным предприятиям, усматривается, что электрического соединения между обеими группами не требуется, потому что результирующие векторы работы обеих групп лежат в одинаковых фазах.

<sup>1</sup> Cp. L u d i n, *Wasserkräfte*, 1913. S. 525 u. S c h w e i z, *Wasserwirtschaft*, 1924. S. 1 — 10.

Интересующихся подробностями мы отсылаем к обширному оригинальному труду Льюнгаля.

Вместо суточного или недельного регулирования путем непосредственного накопления воды, которое на севере Европы часто осуществимо только в ограниченном масштабе и, наряду с ним, здесь тщательно используют аккумуляцию произведенной энергии во всех ее других современных

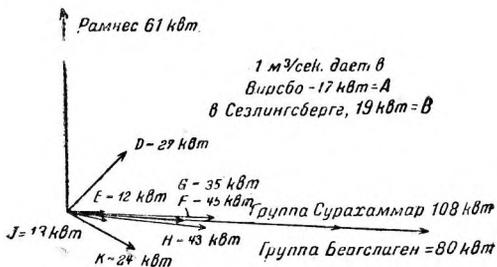


Фиг. 34. Колебание во времени расхода в системе последовательных водохранилищ, при внезапном изменении пуща у верхнего водохранилища 1. (Льюнгаля).

формах, так, например, в виде применения электрических паровых котлов в соединении с паровыми аккумуляторами Рута, практикуемого многими производствами, потребляющими энергию.



Фиг. 35. Схема нижнего течения Кольбексон (Льюнгаля).



Фиг. 36. Векторы производительности силовых станций на нижнем течении Кольбексон, относенные к расходу  $1 \text{ м}^3/\text{сек}$  в р. Рамнес (Льюнгаля).

Далее, применяется электрическая аккумуляция; в централизованной форме и в большом масштабе мы встречаем ее только на электростанции Осло, вообще же она особенно пригодна в автомобильном деле. Следует упомянуть также о термоаккумуляторах для электрификации домашнего хозяйства. Так как первоначальные издержки на аккумуляторные приборы сравнительно высоки, то эти приборы редко могут полностью компенсировать частичный недостаток регулирующего объема на реке.

Поэтому многие электростанции общественного пользования все еще пользуются паровыми или дизель-моторными машинами, не только в качестве резерва на случай порчи в электропередачах, но и для удовлетворения максимума суточного спроса, главным образом, конечно, в течение зимнего полугодия, бедного водой. Это особенно часто наблюдается на шведских и финских установках, в Норвегии же замечается упорная тенденция совершенно исключить из электрического хозяйства потребление (ввозного) топлива.

В качестве поучительного примера важной роли паросиловых станций, в дополнение к гидроэнергетическим установкам, назовем силовую установку Унтра. В засушливые годы эта крупная, непрерывно работающая станция покрывает зимой не больше  $1/4$  стокгольмских максимумов потребления, и, тем не менее, она дает в среднем за такой год около 90% всей потребности в энергии. Однако и в северной Европе понимают, что покрытие непродолжительных максимумов с помощью паровой энергии неэкономично и что гораздо рациональнее привлекать к этому гидроэнергетические установки, имеющие суточное регулирование. Основательнее всего, вероятно, проводит этот принцип в своей обширной сети Южно-шведская силовая акц. компания, о чем Веландер сообщает интересные подробности.

Искусственное регулирование с помощью насосных станций на севере еще не практикуется нигде, но уже имеется в этом направлении несколько проектов и предложений. Предполагалось, например, использовать силовую установку Мотала в качестве насосной станции, работающей в ночное время и в определенные периоды года для поднятия воды в оз. Вэттерн. Инж. Кинк разработал для станции Осло проект использования избыточной энергии для перекачивания воды в горное внутреннее озеро. Этот проект не был осуществлен, так как для избыточной энергии нашли другое применение.

### § 3. Годичное регулирование.

1. Общие положения. К задаче регулирования расходов в течение более или менее продолжительных периодов во всех северных странах всегда относились с чрезвычайным вниманием. В Швеции и Норвегии, по крайней мере, всякий водоток, утилизируемый для силовой установки, подвергается более или менее широкому регулированию расходов («регулирование межених вод»). Естественное богатство озерами, с одной стороны, бедность топливом в самой стране, — с другой, сыграли, разумеется, в этом направлении немалую роль. Но наряду с иногда грандиозными практическими разрешениями данной задачи, скандинавские инженеры занимались и теоретическим изучением и углублением проблемы.

Наряду с ценными гидрографическими трудами в виде диаграмм использования водохранилищ, разработанных Водным департаментом севера (фиг. 22), следует отметить прежде всего работы шведских инженеров по планированию и экономике водного хозяйства. Из обширной литературы<sup>1</sup> по данному вопросу, отличающейся уклоном в сторону уточнения практических задач регулирования стока, можно извлечь следующие указания для разработки проектов и эксплуатации водохранилищ и участков реки, находящихся под влиянием этих последних.

Ход во времени и степень понижения горизонта водохранилища, совершающегося во время маловодья одного какого-нибудь «периода регулирования», главным образом зависят:

1. От кривой спроса на энергию, которому должна удовлетворять силовая станция, связанная с водохранилищем; форма, этой кривой зависит также от степени использования силовой установкой расхода реки<sup>2</sup>.

2. От естественного притока с бассейна, не охваченного регулирующим действием водохранилища (незарегулированной части бассейна стока).

3. От естественного притока в водохранилище.

4. От времени наступления маловодного периода в областях, указанных под п. 2 и 3 и его предполагаемой продолжительности.

5. От полезного объема воды в водохранилище, которым можно располагать в момент наступления маловодья.

При данной кривой спроса на энергию и данной степени использования расхода силовой установкой, и, наконец, при данной величине и форме естественного суммарного притока к силовой установке, план эксплуатации и проект сооружений в первую очередь зависят:

а) От относительного расположения водохранилища и силовой установки или от соотношения площади бассейна, охваченной водохранилищем (регулируемой) и суммарной площади бассейна данной силовой установки, — это отношение называют «коэффициентом охвата бассейна».

б) От отношения полезного объема водохранилища, к среднему годовому притоку с регулируемой или полной площади бассейна силовой установки. Это отношение называют «коэффициентом объема водохранилища».

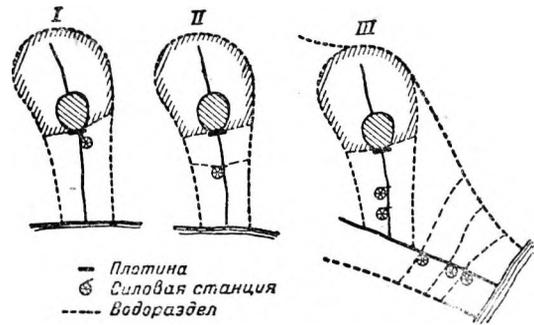
**К о э ф ф и ц и е н т о х в а т а б а с с е й н а .**  
Его значение усматривается на фиг. 37 (схематически изображенное здесь водохранилище может быть, конечно, распределено между несколькими озерами и искусственными бассейнами одного и того же или нескольких притоков).

<sup>1</sup> К которой относится и ряд трудов автора, частью неопубликованных.

<sup>2</sup> От продолжительности стояния расчетного расхода. *Прим. ред.*

В случае I коэффициент охвата равен единице, Общая отдача водохранилища (естественный приток + сработка водохранилища) равна рабочему расходу воды и должна по возможности согласоваться с кривой потребления энергии: непрерывная отдача из водохранилища.

В случае II коэффициент охвата несколько меньше единицы, отдача водохранилища, учитывая нерегулированный приток из неохваченной регулируемой части бассейна, менее равномерна, чем в случае I, но она остается «непрерывной», пока неохваченная область не достигнет такого размера, что ее естественный сток в период обилия вод становится достаточным, чтобы самостоятельно покрыть потребность установки в воде. В этом случае становится выгодным (если это не противоречит другим интересам водного хо-



Фиг. 37. Относительное расположение водохранилищ и гидростанций (Якобсов).

зяйства) временно совершенно разобщиться с водохранилищем, чтобы в периоды маловодья пользоваться более обильным притоком: «периодическая» (перемежающаяся) отдача.

В случае III, часто встречающемся на практике, приходится учитывать потребность многочисленных силовых установок на реке, приток коей имеет водохранилище. Коэффициент охвата бассейна данного водохранилища в отношении отдельных силовых установок будет различным, а для «основного участка падения», расположенного на главном течении, довольно мал. Поэтому лучше всего было бы обслуживать этот последний участок с помощью отчетливо выраженного периодического забора из водохранилища; силовые установки, расположенные на самом притоке, конечно, тем более страдали бы от такой системы, чем меньше (относительно), их незарегулированный бассейн. Если силовые установки на притоке не совсем незначительны, то необходимо прибегнуть к компромиссу, устанавливая, например, какой-либо постоянный минимум забора из водохранилища, который должен быть меньше расхода, используемого при непрерывной отдаче из водохранилища, если владельцы силовых установок на главном потоке в соответственной доле участвуют в покрытии издержек по его сооружению. Сбереженные таким

образом запасы воды могут пойти для форсированной отдачи для нужд силовых установок на главном потоке в период маловодья.

Указанный нами чисто хозяйственный компромисс, учитывающий интересы силовых установок с различными коэффициентами охвата бассейна, конечно, еще довольно далек от идеала полного использования энергии притекающей и накапливаемой воды. Совершенным разрешением вопроса является «гидроэлектрическая компенсация». Она заключается в том, что расходование воды из водохранилища регулируется исключительно соответственно с нуждами силовых установок на главном потоке без внимания к водному режиму притока (не считая сплава и других обязательных видов попусков). Силовые установки главного потока компенсируют нехватки в энергии на станциях притока, снабжая их электроэнергией. Эта система применима и для установок различных предпринимателей, если имеются соответствующие соглашения хозяйственного и технического характера (последнее относится к установлению единого числа периодов, единого напряжения и однородной конструкции сети). В области р. Далэльва в будущем предвидится такого рода гидроэлектрическое уравнение расходов, для которого требуется еще несколько дополнительных сооружений. Приведенные нами указания применимы к обыкновенному годовичному регулированию, но их основное значение естественно лежит в области многолетнего регулирования. Как указано выше, коэффициент объема водохранилища есть отношение между полезным объемом водохранилища (объем между высшим и низшим подпорными горизонтами) к среднему годовичному притоку водохранилища; он представляет собою отвлеченное число и так именно его и понимают в Норвегии. В Швеции, напротив, объем водохранилища относят к охваченному бассейну и ведут расчет, принимая  $м^3/км^2$  за единицу измерения относительного объема водохранилища. Так как эта величина представляет собою измерение длины, то автор рекомендует называть ее «высотой (слоем) регулирования» (по примеру высоты стока и высоты осадков). Применение этого второго измерителя для выражения коэффициента объема водохранилища допустимо, конечно, только в случаях сравнения между собой бассейнов примерно одинаковых по модулю стока.

Коэффициент объема водохранилища является одним из основных отличительных признаков при установлении принципов водного хозяйства. При низком коэффициенте объема водохранилища (годовые водохранилища) можно ежегодно с достаточной уверенностью рассчитывать на совершенное наполнение бассейна, опорожненного в период маловодья, поэтому в целях возможно более хозяйственного использования водохранилища и притока, в него рекомендуется по возмож-

ности опорожнять водохранилище в период маловодья до конца. Зарегулированный расход бывает различен из года в год [верхним пределом малых значений коэффициента объема водохранилища считают ту «высоту регулирования», которая позволяет почти полностью регулировать расход на протяжении отдельных лет].

Согласно данным Якобсона в речных областях центральной Швеции эта величина равняется от 100 000 до 200 000  $м^3/км^2$  (100—200 мм высоты слоя регулирования). Для Далэльва у Бамсарвета (немного выше Форсхувудфорса, область стока 20 970  $км^2$ ), где средний сток равен 13 л/сек на 1  $км^2$ , а высота стока равна округленно 400 мм в год, это дает коэффициент объема от 25 до 50%.

При высоком коэффициенте объема водохранилища (многолетнее водохранилище, многолетнее регулирование) полезный объем водохранилища настолько велик, что после опорожнения нельзя с уверенностью рассчитывать на полное заполнение его в течение одного периода паводков. Поэтому, как правило, не следует опорожнять его до конца за один период маловодья. Таким образом естественно создается различие между годовичным объемом водохранилища, который может быть использован в течение года более или менее до конца, и резервным фондом, или страховым запасом, к которому следует прибегать только в годы исключительного маловодья. Средний сток отдельных лет свободно регулируется водохранилищами с высоким коэффициентом объема, так называемое «многолетнее регулирование». Использование общего объема водохранилищ при этом уменьшается, но использование стока увеличивается. При высоком и при низком коэффициенте объема водохранилищ можно установить общие указания и приближенные методы для наиболее экономичного ведения водного хозяйства, хотя и невозможно дать простые и непосредственные формы расчета. Руководясь этими указаниями, можно систематизировать необходимые расчеты и упростить нахождение наиболее выгодного решения задачи.

Шведская техническая литература богата в этом отношении руководящими трудами, из которых мы приведем несколько выдержек.

2. При низком коэффициенте объема водохранилища решающее значение для отдачи имеют почти исключительно ожидаемый (расчетный) естественный приток и время года, (при высоком коэффициенте объема преобладающую роль играет то или иное содержимое бассейна в данный момент). При этом получается два по существу различных решения задачи, смотря по тому, является ли целью энергетического хозяйства: а) максимальная отдача энергии или, что одно и то же, максимально возможная продолжительность «нормальной» или полной производительности, или б) максимально возможная, безусловно постоянная производительность — «осно-

вная мощность», и в крайнем случае с тем ограничением, что в исключительно засушливые годы допустимо некоторое небольшое, но строго ограниченное снижение этой производительности.

На фиг. 38 схематически изображена принципиально различная сущность обоих видов эксплуатации.

а) Эксплуатация, имеющая целью добычу максимума энергии, должна стремиться к ежегодному (по возможности многократному) опорожнению и новому заполнению водохранилища. Естественно, что водохранилище будет при этом нередко опорожняться преждевременно. Это допустимо, конечно, только в том случае, если питаемые водохранилищем гидроэлектрические установки электрически связаны с тепловыми установками, или с



Фиг. 38. Схема двух принципов (родов) регулирования (кривые продолжительности, Людин).

другими гидроустановками, имеющими собственные водохранилища (электрическая или гидроэлектрическая компенсация) или, если снабжаемые потребители могут довольствоваться уменьшенной подачей энергии (ток по выбору, вместо обязательного тока). Мы не учитываем того особого случая, когда напор водохранилища, являясь полезным напором непосредственно примыкающей силовой установки, имеет существенное влияние на продукцию энергии, так как в условиях севера этот случай является скорее исключением<sup>1</sup>.

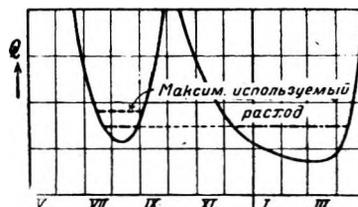
б) Эксплуатация, целью которой является максимально возможная постоянная производительность (максимум генерации обязательного тока) требует более экономичного расходования содержимого водохранилища, с тем чтобы до конца периода маловодья остаток был несколько больше, нежели требуется при работе, рассчитанной на максимальную добычу энергии. Если период маловодья окончится раньше, чем предполагалось, то окажется наличие остаток, который впоследствии уже не сможет быть использован

<sup>1</sup> Cp. Ludin, Wasserkräfte, S. 556 ff.



Фиг. 39. Стоимость 1 кВтч как функция продолжительности отдачи электроэнергии (Якобсон).

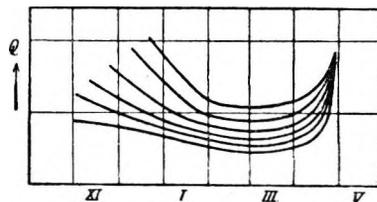
(и будет спущен) или будет использован с неполной оплатой (избыточная — сезонная энергия). Произведя экономическую оценку способов пуска из водохранилища при различных указанных выше условиях, следует исходить из того, что ценность единицы энергии (киловаттчас) возрастает соответственно устойчивости и продолжительности ее отдачи. Это соответствие можно в каждом отдельном случае представить в виде кривой (фиг 39 и 61). С помощью такой диаграммы, пользуясь хотя бы предварительно установленной кривой продолжительности зарегулированного расхода, можно выводить заклю-



Фиг. 40. Водный режим в годы с осенним паводком (Якобсон).

чения относительно экономических последствий каких-либо намеченных изменений в водном хозяйстве, о чем речь будет ниже.

Особенно трудно установить режим регулирования для таких водотоков, период маловодья которых в некоторые годы прерывается промежуточным паводком (в центральной Швеции — осенний паводок) — фиг. 40, причем наступление или выпадение осеннего паводка и время его не могут быть предсказаны. Установление экономически совершенного режима затрудняется еще и внешними побочными обстоятельствами, как, например, ограничение допустимого максимума



Фиг. 41. Нормальные кривые зимнего месячного расхода (Якобсон).

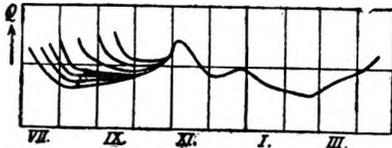
спуска воды, пропускной способностью русла реки или обязательный минимум спуска и т. д.

Якобсон приводит математические формулы, определяющие основы наиболее экономичного использования водохранилищ.

Прежде всего необходимо точно установить величину притока в маловодный период. В области р. Далэльва различают, например, годы двух типов: 1) годы с промежуточным паводком, 2) годы без промежуточного паводка.

В водообильные годы (с дождливым летом) наблюдается иногда один сплошной период паводка

с весны до начала зимы (то же тип I). Требуется возможно точный прогноз притока в период маловодья. Для более равномерного зимнего периода маловодья легко вычертить нормальные кривые расходов (фиг. 41), причем неопределенна только конечная точка кривых: наступление весеннего паводка. Летний и осенний расходы гораздо более неопределенны, поэтому нормальные кривые расходов следует строить по годам, не имеющим промежуточных паводков (фиг. 42), причем лет-



Фиг. 42. Нормальные кривые летнего меженного расхода (Якобсон).

ний режим регулирования необходимо, однако, соотносить с возможностью наступления осеннего паводка и с его максимальным использованием. Затруднение заключается в том, что интенсивный забор воды летом повышает суммарную добычу энергии, но, в случае ненаступления осеннего паводка, возникает риск непокрытой зимней потребности. При заданной кривой потребности (последнюю мы для простоты принимаем равномерной) и при кривой ценности энергии, независимой от времени года (фиг. 51), для годов без осеннего паводка выгоден равномерный забор (пунктир на фиг. 43); для годов с осенним павод-



Фиг. 43. Режим регулирования в год без осеннего паводка.

ком — сильно ступенчатый забор. При неопределенности прогноза рекомендуется остановиться на средней между этими двумя линиями. Окончательный выбор обусловлен соображениями экономики.

Летний забор. Повышение летнего забора на  $dQ$  дает в  $n_1$  лет с осенним паводком (предполагая возможность соответствующего пополнения) абсолютный избыток рабочей воды  $V_1 = n_1 \cdot t_1 \times$

$\times dQ$ . В  $n_2$  лет без осеннего паводка получается только сдвиг рабочей воды в годовом итоге  $t_2 \cdot dQ$  с зимнего на летнее время. Это связано с денежной потерей, так как происходит сдвиг с более низких уровней наличия энергии, на более высокие (на кривой продолжительности  $\mathfrak{W}_1$  расходов), со стоимостями единицы энергии (фиг. 44).

Экономический предел находится там, где прибыль и убыток балансируются, т. е. при

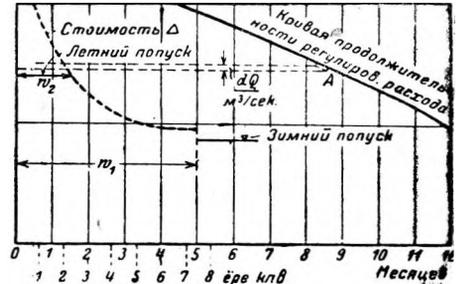
$$\mathfrak{W}_1 \cdot n_1 \cdot t_1 \cdot dQ = (\mathfrak{W}_2 - \mathfrak{W}_1) \cdot n_2 \cdot t_2 \cdot dQ,$$

или

$$\frac{\mathfrak{W}_2 - \mathfrak{W}_1}{\mathfrak{W}_1} = \frac{n_1 \cdot t_1}{n_2 \cdot t_2}$$

или

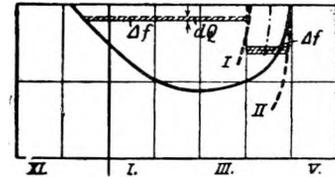
$$\frac{\mathfrak{W}_2}{\mathfrak{W}_1} = \frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2}{n_2 \cdot t_2}.$$



Фиг. 44. Определение наиболее выгодного режима регулирования (Якобсон).

Вопрос разрешается на основе диаграммы ценности энергии и предварительного плана расходования воды, который дает для годов с недостатком воды в летнее время приближенные цифры для  $n_1, n_2, t_1, t_2$ . Исследование оз. Сильян дало, например  $n_1 = 4n_2, t_1 = 0,55 t_2$  или  $\frac{\mathfrak{W}_2}{\mathfrak{W}_1} = 3,2$ .

Этот метод расчета дает важные директивы для летнего расходования воды в отдельные годы;



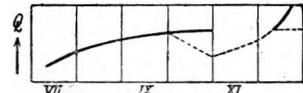
Фиг. 45. Зимние попуски (Якобсон).

так, например, при запоздании начала летнего периода маловодья рекомендуется повышение забора выше нормального. Для определения пропорции распределения этого повышения па лето и зиму следует пользоваться вышеприведенным уравнением.

Зимняя отдача (на севере наиболее важная часть водного хозяйства). Здесь затруднительно только определение момента наступления весеннего паводка. В области р. Далэльва этот момент находится в промежутке между кривыми I и II на фиг. 45. Если соразмерять отдачу воды таким образом, чтобы она была безусловно обеспечена до наступления периода II, то иногда получается плохое использование водохранилища и притока в него; если же соразмерять отдачу с продолжи-

тельностью периода  $I$ , то часто может произойти преждевременная недостача.

Правильн средний путь; достаточная отдача до окончания периода  $I$ , умеренная — после его окончания. Повышение зимней отдачи, до окончания периода  $I$ , на



Фиг. 46. Нормальные начальные попуски (Якобсон).

$\Delta f$  (квтч) отнимает у отдачи в конце зимы (после периода  $I$ ) в крайнем случае то же самое количество энергии, в среднем же — только  $1/2$ . Если учесть еще и разницу в цене тока, то уравнение, разрешаемое с помощью кривых продолжительности расходов и определяющее соотношение величины обеих отдач, будет

$$(\mathfrak{W}_1 - 0,5 \cdot \mathfrak{W}_2) \cdot \Delta f = 0$$

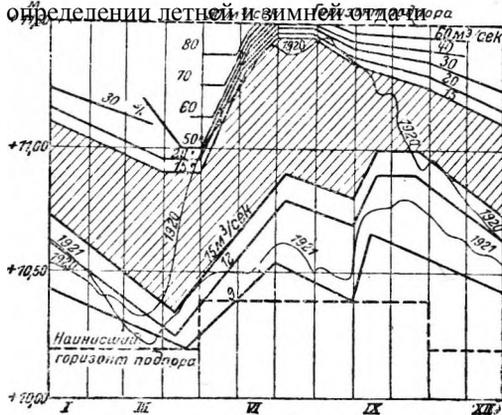
таково:

$$\mathfrak{W}_1 = 0,5 \cdot \mathfrak{W}_2.$$

или

Величина отдачи получается путем деления

$\Delta f$  на соответствующую продолжительность. При определении летней и зимней отдачи



Фиг. 47. Диаграмма пусков (регулирование одного из шведских озер).

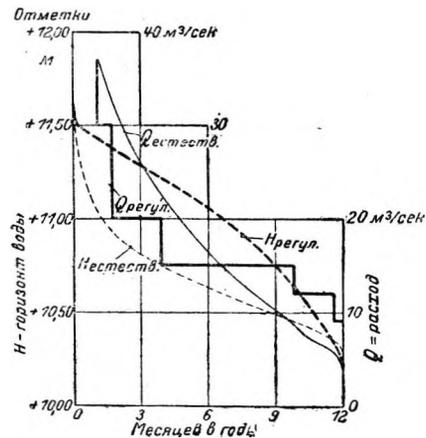
но указанным методам наиболее правильные начальные расходы, по-видимому, получаются в виде функций времени, как показано на фиг. 46 (область р. Далэльва). Как только кривая естественного притока пересечет эту нормальную линию сверху вниз, необходимо начинать спуск водохранилища. После этого нужно время от времени корректировать забор соответственно с отклонением действительного притока и содержания водохранилища от принятых в основу при построении нормальной кривой.

Самсон разработал для этого метода полную графическую подсобную таблицу (фиг. 47, 48, 54). Действительные колебания горизонта воды, нанесенные в виде кривой, дают в точках пересечения с основными кривыми сигнал об изменении по-

пуска из водохранилища согласно соответствующей характеристике ( $m^3/сек$ ) пересеченной кривой. Первая редакция таких таблиц составляется интуитивно, на основании опыта других водохранилищ или же согласно расчетам по Якобсону, затем сверяется с графиками фактического регулирования за несколько истекших лет, исправляется и впоследствии перерабатывается согласно дальнейшего опыта.

Желательно, и, по-видимому, не бесцельно, попытаться особо выявить влияние количества снега для средних снежных и бесснежных годов с помощью таких же таблиц. Имеется также возможность внести коррективы согласно прогнозов Валлена.

3. При высоком коэффициенте объема водохранилища и многолетием регулирования, наряду с правильным ведением водного хозяйства за отдельные годы, необходимо озаботиться сохранением достаточного, но не чрезмерного, резервного фонда, его своевременной сработкой и возможно полным использованием в исключительно засушливые периоды.



Фиг. 48. Кривая продолжительности к диаграмме пусков (фиг. 47).

Колебания притока в пределах одного года не имеют существенного значения для ведения водного хозяйства в течение одного периода маловодья; решающее значение имеет наличный остаток воды, т. е. горизонт воды в водохранилище.

На фиг. 49 показано различие между водным хозяйством без резервного фонда и с таковым. В первом случае (сплошные линии) водохранилище и приток используются широко, но в особо засушливые годы водохранилище дает отказ. Во втором случае в особо многоводные годы могут наблюдаться потери на перелив, но в засушливые годы работа идет без перебоев.

Формы ведения водного хозяйства отражаются, стало быть, 1) на размерах общей добычи энергии и 2) на экономической ценности (постоянстве) отдаваемой энергии, с учетом расположения отдельных

потребителей энергии в общем календарном плане производительности и принимая во внимание соответствующую кривую ценности (ср. фиг. 39, 51).

Задача заключается в налаживании работы таким образом, чтобы потери водохранилища на перелив были доведены до минимума и, вместе с тем, была по возможности ограничена необходимость реализовать энергию при невыгодной конъюнктуре. Эти два требования в известной мере противоречат друг другу, и нужно найти наивыгоднейший компромисс. При разрешении этого вопроса важное значение имеют расположение водохранилища внутри речной системы (коэффициент охвата бассейна) и условия утилизации основного участка падения.

Якобсон разработал и для водохранилищ с высоким коэффициентом объема руководящий метод приближенного расчета, чтобы упростить задачу разработки подробных сравнительных смет. Он решает за дачу следующим образом: для каждого года необходимо найти наивыгоднейшее распределение предполагаемого общего объема водохранилища на: 1) часть  $v_{ax}$  (с соответственным понижением зеркала па  $h_{ax}$ ), которая мыслится уже израсходованной к началу периода маловодья, 2) на годичное понижение (дальнейшее понижение зеркала  $x$  на фиг. 50) и 3) на резервный фонд

$$v_{max} - v_{ax} - v_x (H_{max} - h_{ax} - x).$$

$H_{max}$  и  $H_{min}$  ( $v_{max}$ ,  $v_{min}$ ) обозначают наибольшее и наименьшее пополнение, возможное в течение одного периода наполнения.

Прибыль, имеющую максимальное значение, Якобсон определяет следующей формулой:

$$G = k_1 v_x + k_2 (v_{max} - v_{ax} - v_x) -$$

непосредственная возможная прибыль будущих лет благодаря пополнению резервного объема

$$- k_3 (v_{max} - v_{ax} - v_x) = \text{максимум}$$

Потеря вследствие риска сброса при сохранении резервного объема

Определение коэффициентов  $k$ :

1)  $k_1$  — стоимость единицы энергии, добытой в период маловодья при простом опорожнении водохранилища, определяется по кривой продолжительности стоимости (фиг. 39), если отдача окажется расположенной между пределами

$Q_1$  и  $Q_2$

$$1) k_1 = \frac{T}{v_x} \left[ Qz_0 \cdot w_1 + w_2 \cdot \frac{2 \cdot Q_e - \frac{v_x}{T} + Qz_0}{2Q_e} \left( \frac{v_x}{T} - Qz_0 \right) \right]$$

где  $w_1$  — стоимость единицы основной;

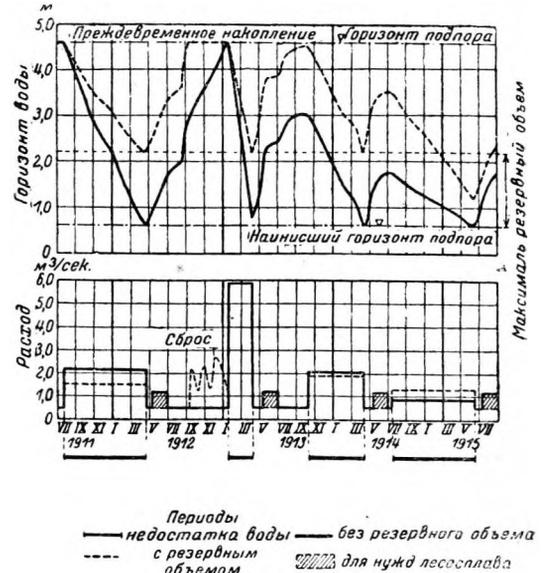
$T$  — продолжительность периода попусков;

$Qz_0$  — расход воды, на который приток в период попусков меньше верхнего предела ( $Q_{\alpha}$ ) основной мощности;

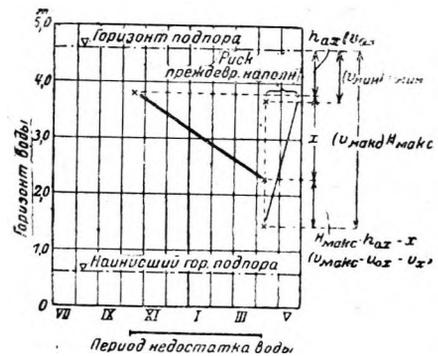
$Q_e$  — верхний предел в упрощенной диаграмме стоимости, при котором стоимость  $1 \text{ kvh} = 0$ ,

2)  $k_2$  — стоимость единицы резервного объема: При правильном предположении, что резервный объем затрачивается только в исключительно засушливые годы ( $n$  лет из общего числа  $N$ ),

$$k_2 = \frac{n}{N} \cdot w_1;$$



Фиг. 40. Режим регулирования (с резервным объемом и без него).



Фиг. 50. Диаграмма по Якобсону.

3)  $k_3$  — риск сброса; он непосредственно соответствует возможности пополнения между двумя периодами попусков. Исследования на основе кривой притока за 20 лет, для р. Далэльва показало, что отдельные пополнения, расположенные

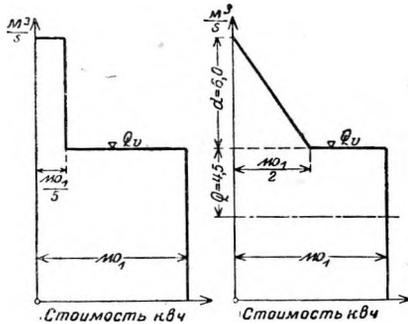
в порядке величин, чаще всего лежали на прямой линии, соединяющей

$v_{\max}$  и  $v_{\min}$ . Поэтому риск сброса при опорожнении объема годичного регулирования на величину  $v_x$  равен

$$\frac{v_{\max} - v_{ax} - v_x}{v_{\max} - v_{\min}} = r_x,$$

если  $k_4$  — ценность единицы энергии, теряющейся при бесполезном сбросе при преждевременном наполнении, то

$$k_3 = k_4 \cdot r_x.$$



Фиг. 51. Двойкая зависимость между стоимостью 1 квч и расходом (Якобсон).

Так как потеря энергии при сбросе воды, если бы ее можно было удержать, была бы по преимуществу полезна в периоды сравнительно больших расходов воды, то ее средняя ценность примерно равна

$$\frac{w_2 + w_4}{2} = k_4;$$

отсюда

$$k_3 = \frac{w_2 + w_4}{2} \cdot r_x$$

и, наконец,

$$G = T \left[ Q_{z0} \cdot w_1 + w_2 \frac{2Q_e - \frac{v_x}{T} + Q_{z0}}{2Q_e} \left( \frac{v_x}{T} - Q_{z0} \right) \right] + \frac{n}{N} w_1 (v_{\max} - v_{ax} - v_x) - \frac{(v_{\max} - v_{ax} - v_x)^2}{2(v_{\max} - v_{\min})} \times \frac{w_2 + w_4}{2}.$$

Приравняв нулю производную по  $v_x$  и упрощая, мы получаем:

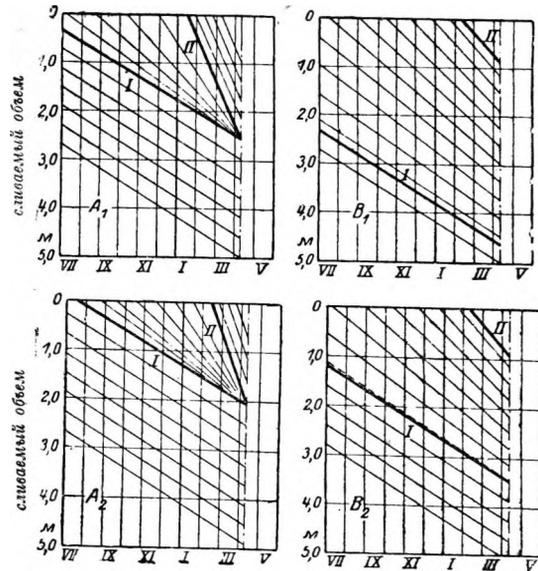
$$0 = v_x \left( \frac{w_2 v_x}{T \cdot Q_e} + \frac{w_2 + w_4}{2(v_{\max} - v_{\min})} - w_2 \frac{Q_e + Q_{z0}}{Q_e} + \frac{n}{N} w_1 - \frac{v_{\max}(w_2 + w_4)}{2 \cdot (v_{\max} - v_{\min})} + \frac{v_{ax}}{2} \times \frac{w_2 + w_4}{2(v_{\max} - v_{\min})} \right).$$

Примеры зависимости резервного объема от сделанных допущений; кривая стоимости энергии в двух предположениях — см. фиг. 51.

$Q_v$  обозначает верхний предел возможной основной мощности.

Величины остальных постоянных уравнений — см. фиг. 52.

В группе *A* примеров (кривая стоимости на фиг. 51 слева).  $Q_e = \infty$ ;  $v_x$  и  $x$  становятся независимыми от  $Q_{z0}$  и  $T$ , т. е. от среднего притока в период понижения зеркала и от продолжительности периода понижения. В группе *B* этого не наблю-



Фиг. 52. Наивыгоднейшее понижение при многолетнем регулировании (Якобсон).

Основные величины	Случай	
	$A_1, A_2$	$B_1, B_2$
$H_{\min}$	0,90	0,90
$H_{\max}$	3,15/2,5	3,15/2,5
$N$	8	8
$n$	2	2
$Q_e$	8	6,0
$V_2/V_1$	0,2	0,5
$V_4/V_1$	0,2	0
$k = \frac{v}{XT}$	—	3,9
$Q_{z0}$	—	4,5

дается. Например, показанные на фиг. 52 основные величины в этом случае дают:

$$A_1: X = 2,27 - h_{ax}$$

$$B_1: X = 1,5 = 0,136h_{ax}^1.$$

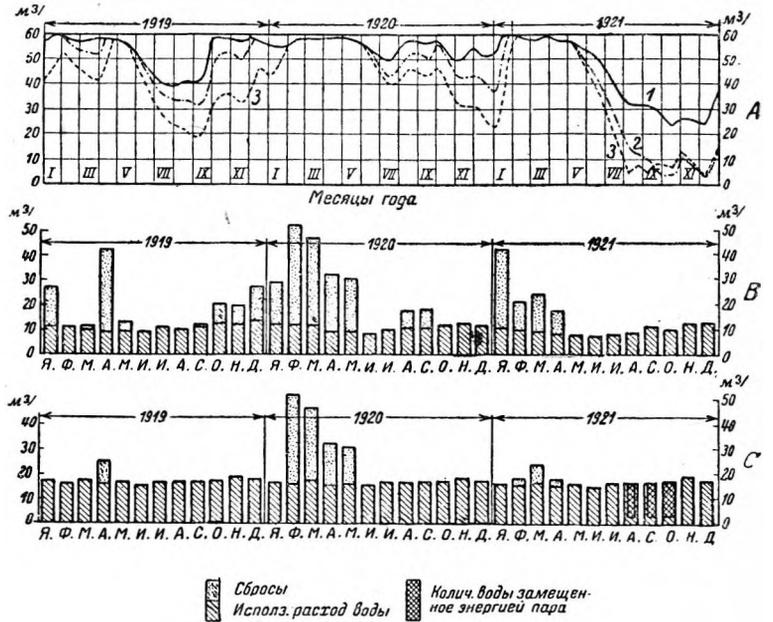
Толстая линия *I* в случае  $A_1$  показывает процесс понижения, которого следует придерживаться при средних условиях, чтобы достигалась производительность полной основной мощности ( $Q_v$ ). Линия *II* соответствует среднему процессу понижения, когда спускают максимальный расход, допустимый при местных условиях. Если начальный горизонт воды ( $h_{ax}$ ) расположен выше линии *II*, то понижение происходит параллельно *II*; если он расположен ниже линии *I*, то постоянно спускается расход  $Q_v$ , соответствующий полной основной мощности ( $\parallel$  линии *I*). Если начальный

<sup>1</sup> Цифры Якобсона неверны, мы даем исправленные.

горизонт воды расположен между I и II, то следует спускать расход соответственно сходящимся тонким линиям. Вообще, чем выше первоначальный горизонт, тем больше спускаемый расход, однако с тем ограничением, что резервный фонд будет обесцениваться в усиливающейся прогрессии. Уменьшение возможности пополнения после периода маловодья (случай  $A_2$  с  $H_{\max} = 2,5$  вместо 3,15 в случае  $A_1$ ) приводит к увеличению резервного объема. Увеличение притока в период маловодья  $Q_{\pm 0}$  связано с увеличением страхового запаса и т. д.

4. Примеры из практики. Типичное водное хозяйство, ставящее себе целью выработку максимума энергии, проводится с помощью зарегулированных озер Оре и Толькен па силовых станциях Хаби и Гульга в Слоттсоне (фиг. 53). Эти две гидроустановки работают параллельно с более мелкой гидроустановкой Хэггорда и крупной паросиловой станцией в Борсе. Обе гидроустановки в Слоттсоне работают с полной нагрузкой, пока в водохранилищах достаточно воды. При максимальных нагрузках, превышающих производительность гидроустановок, вступает в действие паросиловая станция. Когда содержимое водохранилищ исчерпано до определенного небольшого остатка, порядок работы меняется, и паросиловая станция начинает работать полной нагрузкой (на основную нагрузку потребления) и только максимумы нагрузки,

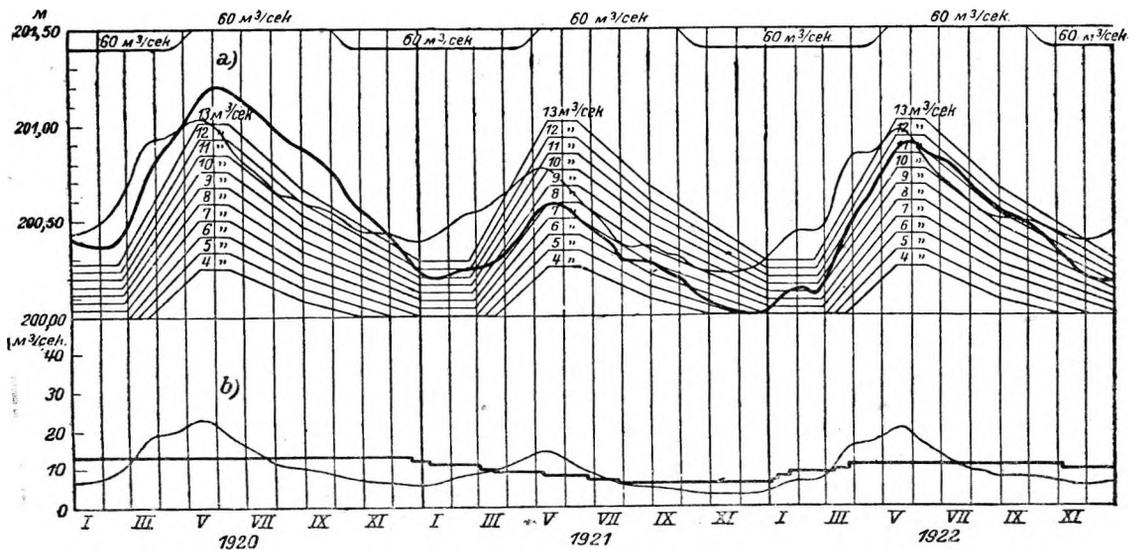
превышающие максимальную мощность паросиловой станции, покрываются гидроустановками. Естественного минимального притока озер и не-



Фиг. 53. Водный режим озер Эре и Толькен (Самсио).

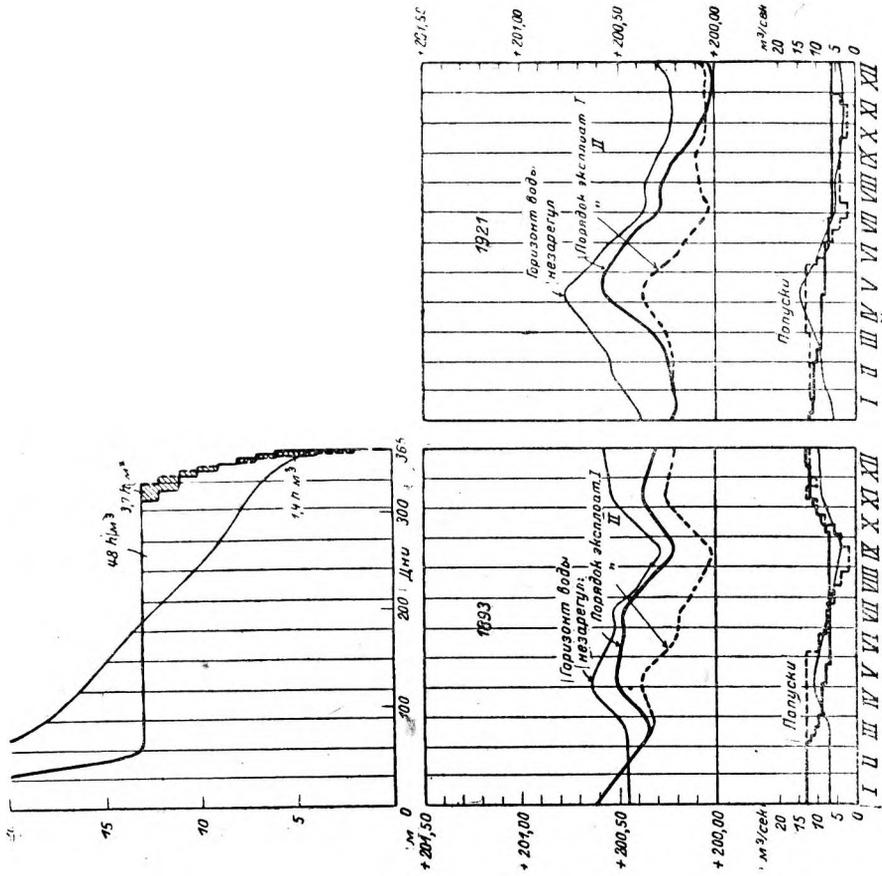
- А. Объем водохранилища и попуски для установок Габн и Гульга. 1 — при современных попусках; 2 — при годичной выработке электроэнергии на установках Борос, равной 16,5 млн.квт.ч; 3 — то же при выработке 19,5 млн. квтч. (во всех случаях с тепловым резервом).  
 Б. Месячный используемый сток в установках Гульга и Габн при современных условиях эксплуатации.  
 В. Проектируемые месячные используемые стоки при общей выработке энергии 19,5 млн. квтч. на установках Борос.

большого остатка воды в водохранилище для этого безусловно достаточно. Как только горизонт воды в озерах благодаря усиливающемуся



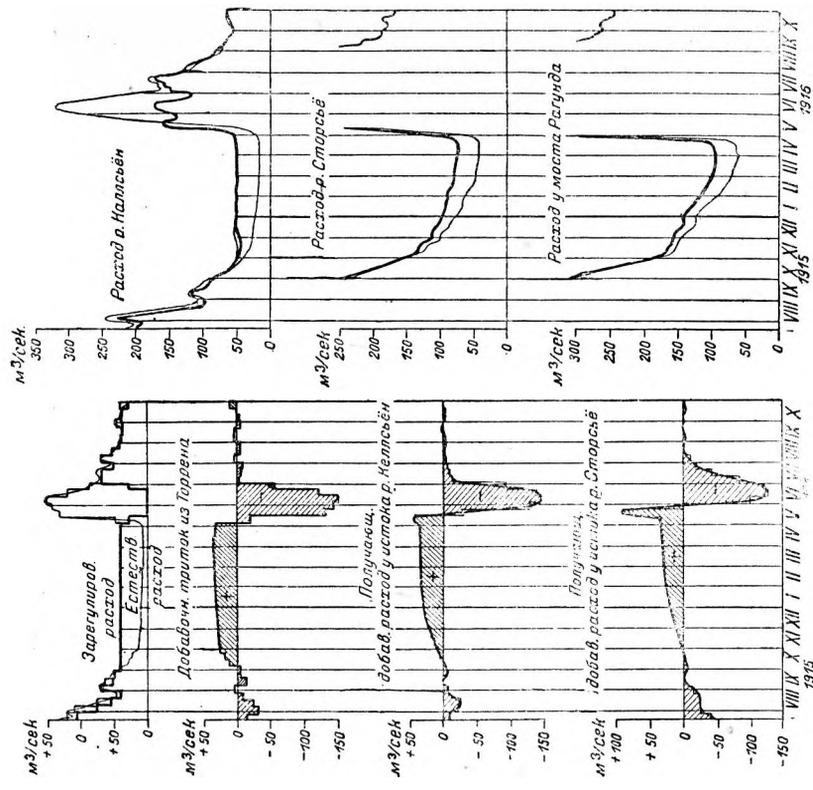
Фиг. 54. Водный режим озера Соммен: незарегулированный сток и планомерно регулируемый (Самсио).

Наверху — горизонты воды; внизу — расходы.



Фиг. 55. Сравнение отдачи энергии при затоплении оз. Сомен и эксплуатации его с целью: 1) получения наибольшего минимального стока; 2) максимальной отдачи энергии.

Внизу — кривые горизонтов воды и попусков. Наверху — кривые продолжительности естественных и затопленных расходов.



Фиг. 56. Изменение графика расхода благодаря зарегулированию озера в истоке (Торрен, Индальсэльв).

Среднее годовое увеличение используемого стока:

- У истоков р. Торрен — 588 • 10 ед. з
- „ „ Бальсе — 450 • 10 ед. з
- „ „ Сторе — 350 • 10 ед. з
- У моста Рагунда — 305 • 10 ед. з

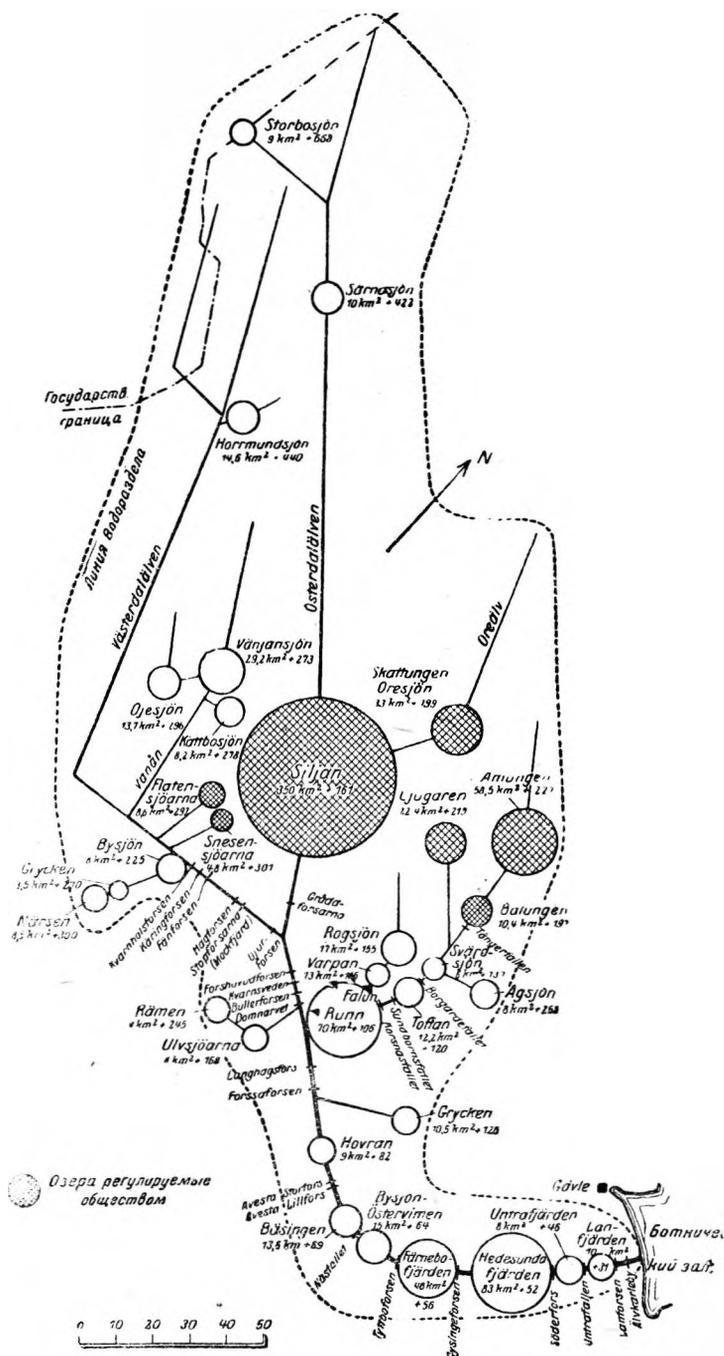
притоку опять достигнет определенного уровня, снова переходят па первоначальный порядок работы.

Наряду со многими другими примерами слабо зарегулированных рек, мы нередко встречаем на севере более или менее совершенное многолетнее регулирование. Так, например, на оз. Соммен (фиг. 54 и 55) мы имеем довольно высокий коэффициент объема водохранилища; план водного хозяйства разработан в предположении регулярного забора воды в  $13 \text{ м}^3/\text{сек}$  и минимального в  $6 \text{ м}^3/\text{сек}$  (удвоенная межень).

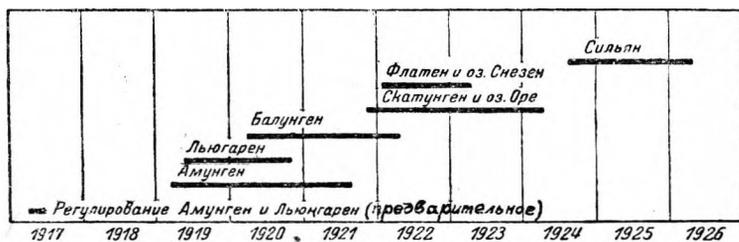
Еще более высокий коэффициент объема водохранилища в отношении бассейна самого озера представляет зарегулированное озеро Торре в области р. Индальсэльва (фиг. 56); однако основным пунктом регулирования здесь является исток, расположенный много ниже большей реки — Калльсе. Забор из оз. Торре во время весенних паводков прекращается (перемежающаяся отдача), в остальное нее время года он соответственно больше, благодаря чему, в совокупности со стоком из неохваченной регулируемым части бассейна р. Калльсе в пункте выравнивания создается правильно регулированный суммарный расход.

Самым ярким примером регулирования значительных расходов с сильно расчлененного бассейна является регулирование р. Далэльва средствами Союза Dalälvens Reglerigsförening (основан 1916 г.). Мы приводим здесь только несколько общих данных о плане водного хозяйства. Среди озер области р. Дальэльва, регулируемых Союзом, озера Сильян и Скатунген-Эро (фиг. 57, 58) имеют низкий коэффициент объема водохранилища; зато у всех остальных регулируемых озер он довольно высок, главным образом, в области р. Свардсье (озера Амурнген и Льюгарен); несколько ниже он у озер области Вэстерадэльв. Так как водные запасы бассейна р. Свардсье утилизируются еще сравнительно слабо, то водное хозяйство планировали следующим образом.

В многоводные годы слабо регулируемые озера выравнивают расходы ниже оз. Сильян большей частью самостоятельно. Из «перерегулированных» озер в такие годы ограничиваются таким забором, которого достаточно для потребности в энергии силовых установок, расположенных на соответствующем притоке. Остальное сберегают в виде резервного объема для особо маловодных лет.



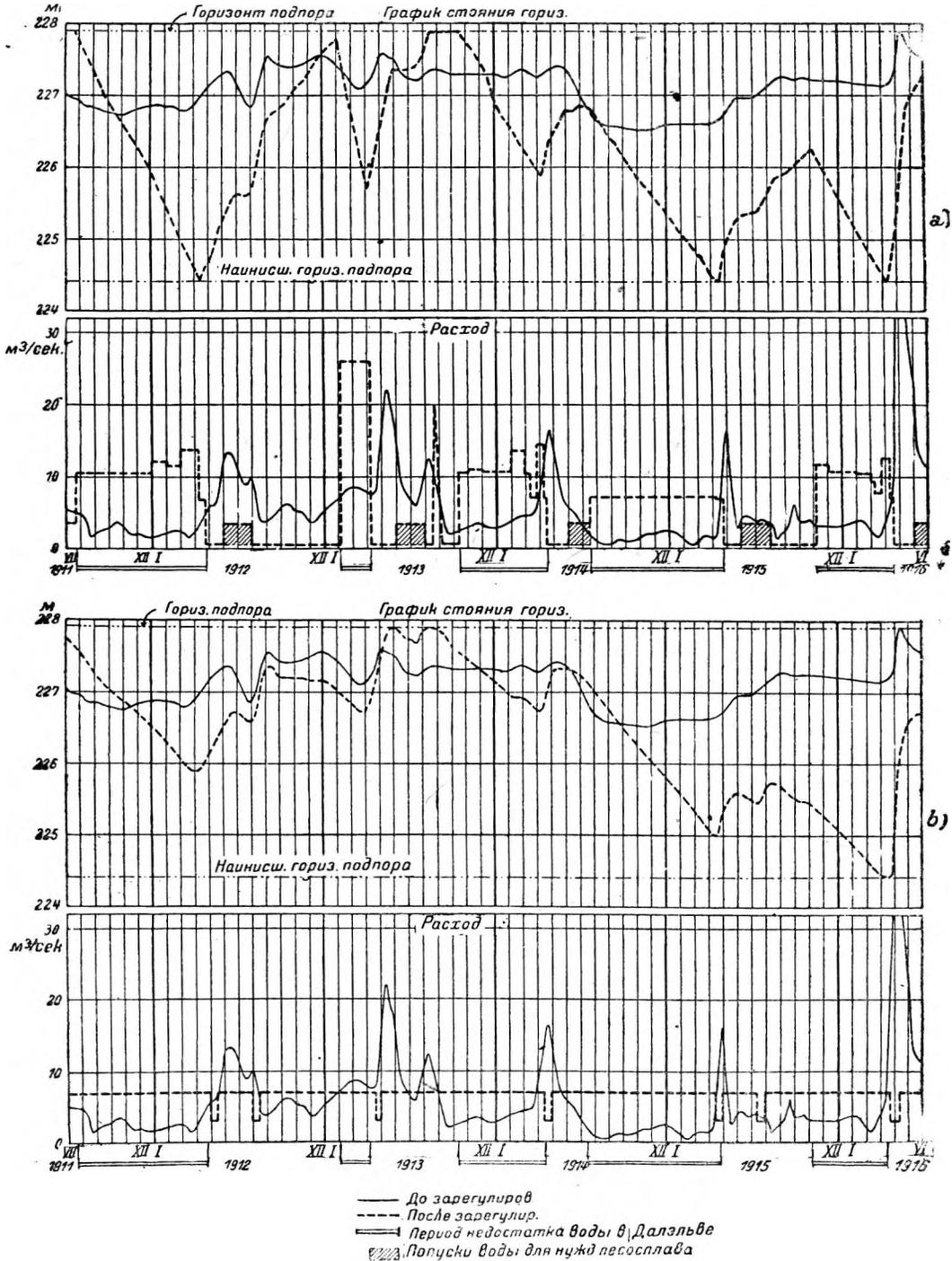
Фиг. 57. Схематическая карта крупных озер в бассейне Далэльва.



Фиг. 58. Календарный график последовательного зарегулирования бассейна Далэльва.

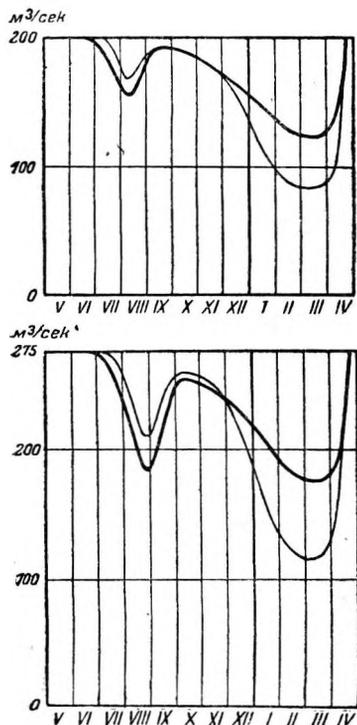
Так как между оз. Амунгенем и самой верхней силовой станцией на р. Овардсье расположена обширная область без водохранилищ, то вместо первоначально намеченного непрерывного забора оказалось возможным ввести периодический забор воды, при котором водохранилище оз. Амунген утилизируется гораздо лучше, и становится возможным образование резервного объема для засушли-

вых лет. Этот резервный объем перерегулированного оз. Амунген (и отчасти оз. Льюгарен и др.) позволил эксплуатировать озера с низким коэффициентом объема на максимум отдачи энергии и достигнуть в озерах Сильян и Скаттунг коэффициента использования водохранилищ в 95%. На более зарегулированных озерах Вэстерадэльва, Флатене и Снезене, лежит, хотя и менее отчетливо, выра-



Фиг. 59. Регулирование оз. Амунген — первоначальный план забора воды и план гидроэлектрического регулирования (Союз регулир. Далэльва).

женная, та же задача, как и на озерах Амунген и Льюгарен. На будущее время, когда спрос на энергию возрастет, предусмотрена параллельная работа силовых установок в области р. Свардсье и установок главной долины р. Далэльва, Это позволит гораздо более периодически срабатывать оз. Амунген и более полно использовать воду. На фиг. 59 сопоставлен первоначально намеченный равномерный забор (нормально 7,0; вре-



Фиг. 59а. Наверху — нормальный график расхода р. Далэльв у Дьюроса (при естественном режиме — тонкой линией, после зарегулирования в 1926 г. — толстой линией).

Внизу — то же у Эльвкарлеби.

менами при необходимости — 3,5 м³/сек) с предусмотренным на будущее совершенным гидроэлектрическим регулированием; в последнем случае забор воды в течение всего лета (исключая период лесосплава) снижается до 0,5 м³/сек, а установки долины р. Свардсье пользуются вспомогательным электрическим током от гидроустановок главной долины. Фактически проводившийся в 1927 г. план водного хозяйства занимает середину между обеими предельными возможностями, но, вероятно, через несколько лет полностью перейдут на второй метод. На фиг. 59а изображены результаты регулирования при нынешнем порядке работы для воображаемого «нормального среднего года», отнесенные к установкам Дьюрос (на главной реке непосредственно после впадения р. Вэстерадэльва) и Эльвкарлеби (нижнее течение

главной реки). Действительные кривые расходов за отдельные годы весьма сильно разнятся от кривых нормального года; выше впадения перерегулированной р. Свардсье это различие отдельных лет сохраняется почти без изменения и в зарегулированных расходах, как показывают графики расходов у Дьюрос (фиг. 60) для нескольких характерных лет.

Такая параллельная электрическая работа многочисленных силовых установок одного бассейна стока, какая проектируется в области р. Далэльва, уже осуществлена, например, в р. Кларэльве между силовыми установками концерна Уддельхольм.

Условия здесь проще, чем при запроектированном регулировании р. Далэльва; регулируются только 2 озера боковой долины Уфон; забор воды в различные времена года не так сильно разнится, как при намеченной гидроэлектрической компенсации в области р. Далэльва, так как местная обстановка не позволяет такого высокого регулирования озер Уфона.

Иногда можно достигнуть еще больших выгод, если осуществить параллельную электрическую работу нескольких водотоков с различными кривыми расхода и различными возможностями накопления воды. Выдающимся примером является проектируемая, начиная с 1940 г., параллельная работа Шведской государственной центральной группы, с одной стороны, с крупными силовыми установками р. Индальсэльва (которые к этому времени уже будут пущены в ход) и с южношведскими установками компании Sydsvenska, с другой стороны. Озера Вэнерн и Вэттерн, являясь главным водохранилищем, будут зарегулированы на гораздо более высокий коэффициент объема, нежели требуется для регулирования стока рек Гэтаэльв и Мотала, вытекающих из этих озер.

Этот обширный проект в настоящее время осуществлен только частично: 1) налажена параллельная работа государственных силовых станций центральной Швеции, по без регулирования оз. Вэнерн, и с неполным регулированием оз. Вэттерн и 2) акц. компании Sydsvenska и две акц. компании Hemsjö Kraft u. Finsjö kraft слились в южношведский концерн, который объединил работу почти всех электростанций южной Швеции, т. е. примерно 50 гидро- и паросиловых установок.

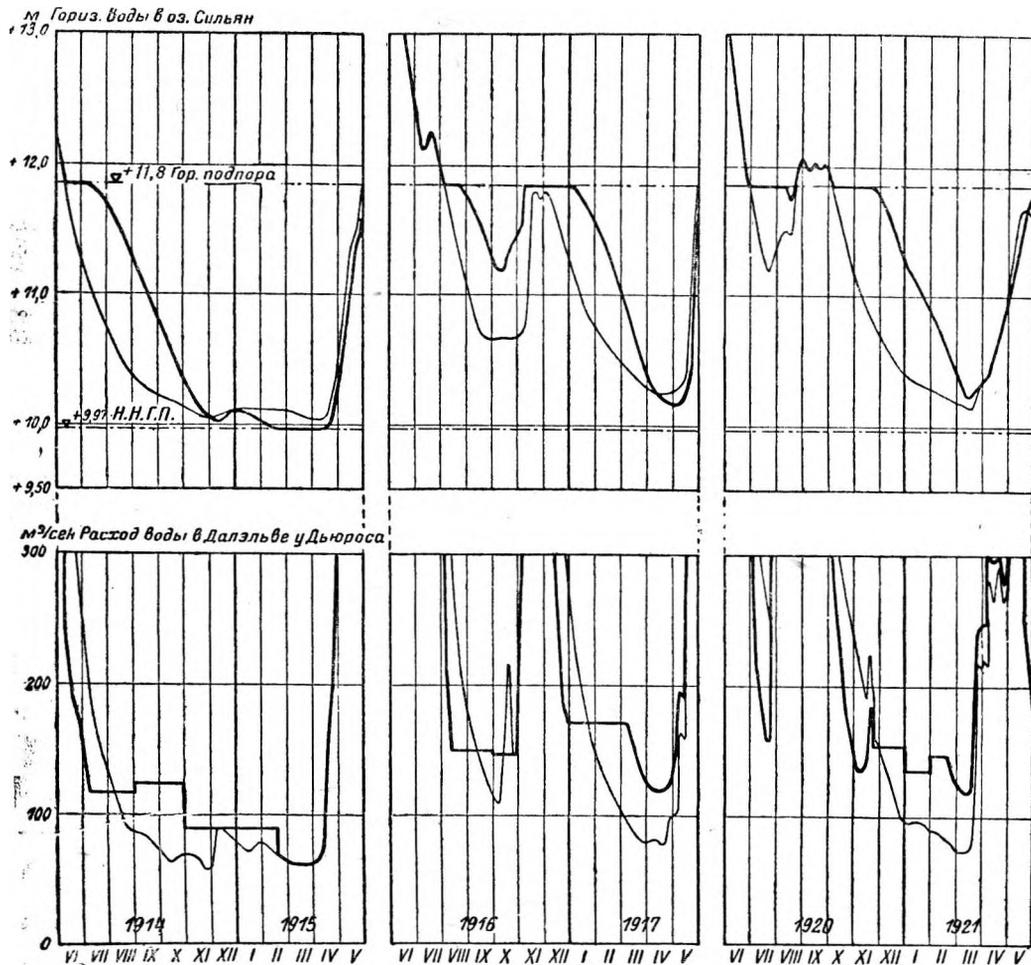
Водное и энергетическое хозяйства южношведского концерна дают практический пример рациональности объединения мелких сетей для параллельной работы. Боргквист и Веландер приводят следующие преимущества объединения:

а) Экономия в мощности благодаря наложению друг на друга различных кривых нагрузок. Размеры экономии по сравнению с тем воображаемым порядком, при котором каждая из 50 станций работала бы самостоятельно, по вполне понятным причинам вообще с точностью не определимы. Ве-

ландер оценивает фактическое уменьшение максимальной мощности, достигнутое благодаря объединению трех сетей, в 5—10%, что довольно близко совпадает с данными таблицы наложения кривых (фиг. 61), составленной Лундгольмом. Если ориентировочно принять нагрузку компаний: Sydsvenska равной 7, нагрузку Hemsjö—2 и нагрузку Finsjö—1 и задаться для всех трех коэффи-

наличными тепловыми ресурсами на всей сети и значительно рациональнее утилизировать имеющиеся водохранилища (приближение к водному хозяйству, стремящемуся к максимуму добычи энергии).

d) Благодаря повышенному использованию водохранилищ и стока вода в течение большей части года имеет ценность, равную ценности угля;



Фиг. 60. Фактические графики горизонтов оз. Сильян и расходов Далэльва у Дьюроса в характерные годы (при естественном режиме — тонкой линией, после зарегулирования — толстой линией).

циентом использования 50%, то по таблице Лундгольма получается сбережение мощности около 8%.

b) Взаимное компенсирование колебаний стока объединенных водотоков.

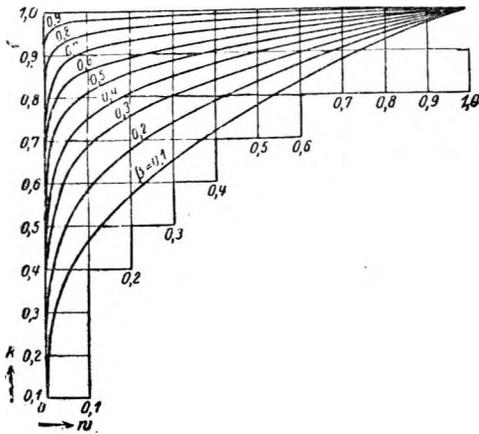
В пределах южной Швеции различия, впрочем, невелики и ограничиваются небольшими сдвигами при наступлении минимумов расхода.

с) Улучшенная утилизация озер водохранилищ и нерегулированных водных источников с соответствующим уменьшением расхода горючего. Так как снижение максимума нагрузки уменьшает потребность в резерве, то можно пользоваться

поэтому рекомендуется не только в период половодья, но и почти всегда заставлять работать турбины с максимальным к. п. д. Оказалось возможным одновременно давать каждой турбине такую нагрузку, которая в худшем случае лежит в пределах 5% отклонения от нагрузки, соответствующей наивысшему ее к. п. д. Эта возможность па-лицо, потому что очень много турбин работает на одну и ту же сеть; Веландер разработал особые, преимущественно графические, методы для возможного полного расчета использования этих экономических возможностей. В результате такой работы средний к. п. д. всех турбин обычно отстает

от наивысшего к. п. д. наилучшей турбины только на несколько процентов.

f) Слияние предприятий позволяет, наконец, заставить работать при малой потребности в те-



Фиг. 61. Коэффициенты одновременности при параллельной работе различных сетей (Лундгольм-Борквист).

$w$  — отношение отдельного пика нагрузки к сумме всех отдельных пиков;  $\beta$  — коэффициент нагрузки отдельных слагающих;  $k$  — коэффициент одновременности отдельных слагающих нагрузок;  $\Sigma_{\text{об}}$  — отношение пика общей объединенной нагрузки к сумме всех отдельных пиков.

пловом резерве только те паросиловые станции, у которых наивысший к. п. д. (в Южношведской сети современная большая паросиловая станция Мальма). Кроме того, благодаря водохранилищам возможно эксплуатировать резерв равномерно в течение более продолжительного времени. Та-

ким образом благодаря объединению повышается средний к. п. д. гидравлических и паросиловых установок.

g) Благодаря тому, что некоторые центральные пункты потребления можно питать с разных сторон, отпадает значительная часть перерывов питания, вследствие ревизий и повреждении магистралей. Это выгодно для потребителя и для поставщика энергии, так как повышается надежность подачи тока, а стало быть, и ценность присоединения к сети; одновременно улучшается использование распределительной сети во времени.

В Финляндии тоже усвоили важность регулирования расходов. Обилие озер и природно-равномерный расход воды главнейших рек, вероятно, позволяет здесь во многих местах достигнуть идеала многолетнего регулирования среднего расхода.

Наряду с требованиями гидроэнергетического хозяйства очень важную роль играют и потребности сельского и лесного хозяйств и лесосплава. Хомен (1930 г.) отчетливо формулировал крупные предстоящие в этой области задачи с привлечением подробных расчетов, между прочим, для р Кимменеэльва и большого озера Пейенне.

#### БИБЛИОГРАФИЯ:

1. Vilander, Wirtschaftliche Vorteile beim Zusammenarbeiten mehrerer Kraftwerke. Wasserkraft, 1926 г., S. 194 und «T. T. El.», 1926, S. 19 und 50.
2. Schmidt C., Some principles of Lake Storage with special reference to Swedish conditions. Weltkraftkonferenz. Basel 1926, № 28.

## Глава вторая.

### ПОДПОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.

#### § 1. Земляные и подобные им плотины.

Вместо плотин из каменной кладки для небольших подпорных сооружений на севере нередко строят земляные и смешанного типа плотины, даже на твердой скале. В отдаленных местностях, где нет песка и куда очень трудно доставлять цемент и машины, эти простые сооружения и в наше время имеют еще большое значение, особенно для регулирования горных озер. Из большого разнообразия конструкций мы выделим здесь только несколько особенно интересных типов. Сухая каменная кладка с заполнением швов па напорной грани цементным раствором (так называемые жирные швы) очень распространена в Норвегии. При неслишком тщательном исполнении плотине обычно придают поперечный профиль с двухсторонними откосами; при тщательном же выполнении, с правильной перевязкой швов на напорной грани, эту грань делают вертикальной или почти вертикальной, так что плотину можно скорее отнести к гравитацион-

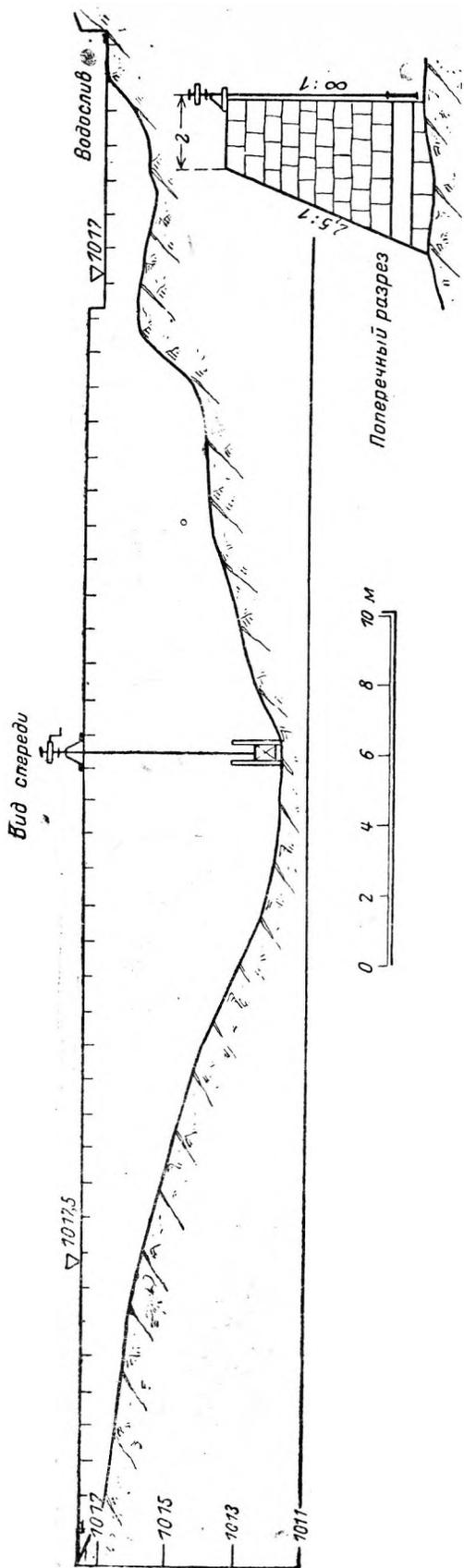
ному типу, нежели к плотинам из сухой кладки. Из примеров назовем:

1. Маленькая плотина Морванд — наибольшая высота 5—6 м (фиг. 62), грунт — филлит; бут в каменоломнях плохой; песка, годного для раствора, нет; на напорной грани швы на глубину 10—15 см заполнены раствором; на напорной стороне имеется частичная глиняная подсыпка. Вместимость водохранилища 2  $\text{км}^3$ <sup>1</sup>. Плотина работает исправно.

2. Водосливная плотина у Квилестен, отметка 893 м над уровнем моря; профиль приблизительно такой же; для водонепроницаемости устроена деревянная шпунтовая стенка (фиг. 63); грунт — филлит, глина и мелкая галька; песка нет; бут плохой.

Обе плотины обслуживают небольшие сельские гидроэлектрические станции в западной Норвегии. Плотина у Квилестен временная и в будущем предполагается заменить ее многоарочной плотиной высотой 20 м.

<sup>1</sup> 1  $\text{км}^3 = (100 \text{ м})^3 = 1\,000\,000 \text{ м}^3$ .



Фиг. 62. Плотина Морванд.

Более значительной высотой отличается плотина из сухой кладки у Гарлебе (фиг. 64—68). Напорные швы кладки уплотнены раствором. Только что выстроена плотина из сухой кладки в Харделансватн (фиг. 69—70) высотой 10 м, обслуживающая силовую станцию Литледальс; напорный откос уплотнен железобетонной плитой (проект проф. Хегсдат, Трондъем). Инж. Бонде (Берген) работает над усовершенствованием плотин из сухой каменной кладки. Для того чтобы обратная сторона уплотняющей плиты была доступна для осмотра и ремонта, он предлагает накладывать на готовую плотину из сухой кладки ребристую железобетонную плиту, покрытую водонепроницаемой штукатуркой, таким образом, чтобы в промежутки между ребрами оставался свободный доступ. Сможет ли эта технически очень изящная, но дорогая конструкция, напоминающая плотину Муш<sup>1</sup> и Амбурсеновские плотины, отвоевать первенство у простой, тонкой, в известной мере гибкой железобетонной плиты — довольно сомнительно.

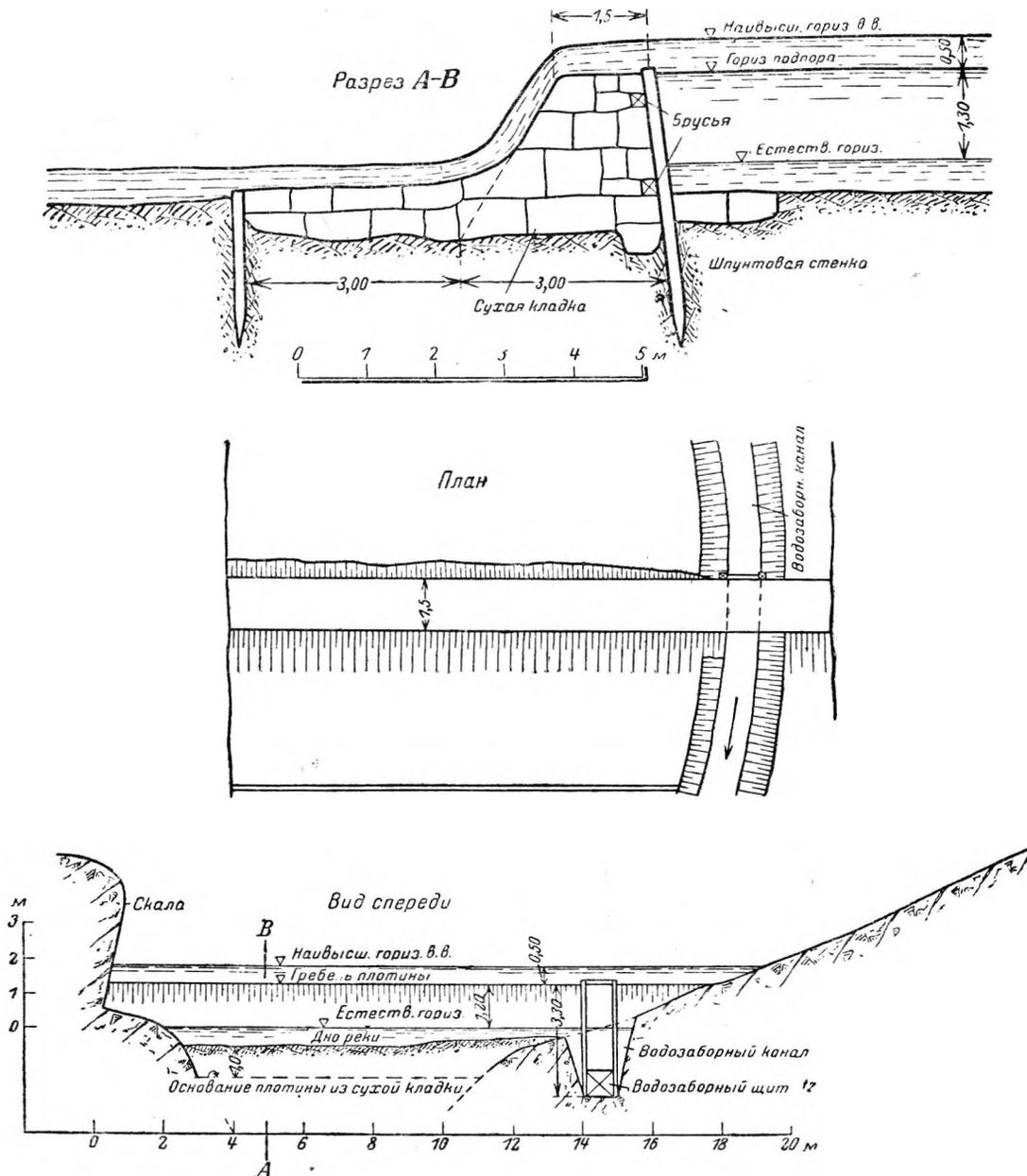
Более примитивны плотины из сухой кладки и каменной наброски с торфяным ядром, которые хорошо работают при небольшой высоте подпора. Они принадлежат к древнейшим видам подпорных сооружений; родина их Гарц.

В Норвегии их ввели немецкие горняки (в окрестности Конгсберга и в наше время можно еще встретить шахты с немецкими названиями, вроде «Готтесгабе» и т. д.). Уже в начале XVIII столетия было построено несколько плотин этого рода для создания водохранилищ, питающих водяные колеса Конгсбергских серебряных рудников; торф первоначально являлся не только уплотняющим слоем, но и несущей частью конструкции с трапецидальным профилем (откосы 1,3 : 1), покрытым каменной наброской, которая образовала защитный слой (фиг. 71, наверху). При этой конструкции получались неравномерные осадки и недостаточная водоупорность. Поэтому перешли к другому виду конструкции, применяемому в Норвегии еще и в наше время (фиг. 71, внизу); здесь торфяное ядро толщиной 1—4 м заключено между двумя стенками из сухой кладки, совершенно гладкими внутри, учитывая осадку торфа. Таких (и более древних) плотин в районе Конгсберга насчитывается 28. Самая длинная плотина имеет длину 156 м; 11 плотин имеют длину свыше 100 м. Общее протяжение всех этих плотин 2 200 м; причем расходы на текущее содержание выражаются в несколько сотен крон в год на всю совокупность плотин. (Интересная подробность: в водохранилища, общей вместимостью 1,5 гм<sup>3</sup>, вода подводится, как в Гарце, небольшими канавами, вырытыми в косогоре; общее протяжение канав 14 км). Очень много таких плотин, хотя несколько меньших размеров, с

<sup>1</sup> L u d i n, Wasserkräfte, стр. 942.

давних пор обслуживают в районе Бергена нужды снабжения питьевой водой. В 1910 г. там построена для фабрики Сальхус плотина из сухой кладки с подпором 12 м (фиг. 72—74). Ядро и обе стены заложены здесь на материке (скала).

чительную затрату камня, может оказаться экономически более выгодной, чем современная гравитационная плотина. Осложнения, обусловленные болотной водой, разъедающей цементные растворы, о чем мы будем говорить ниже, дают

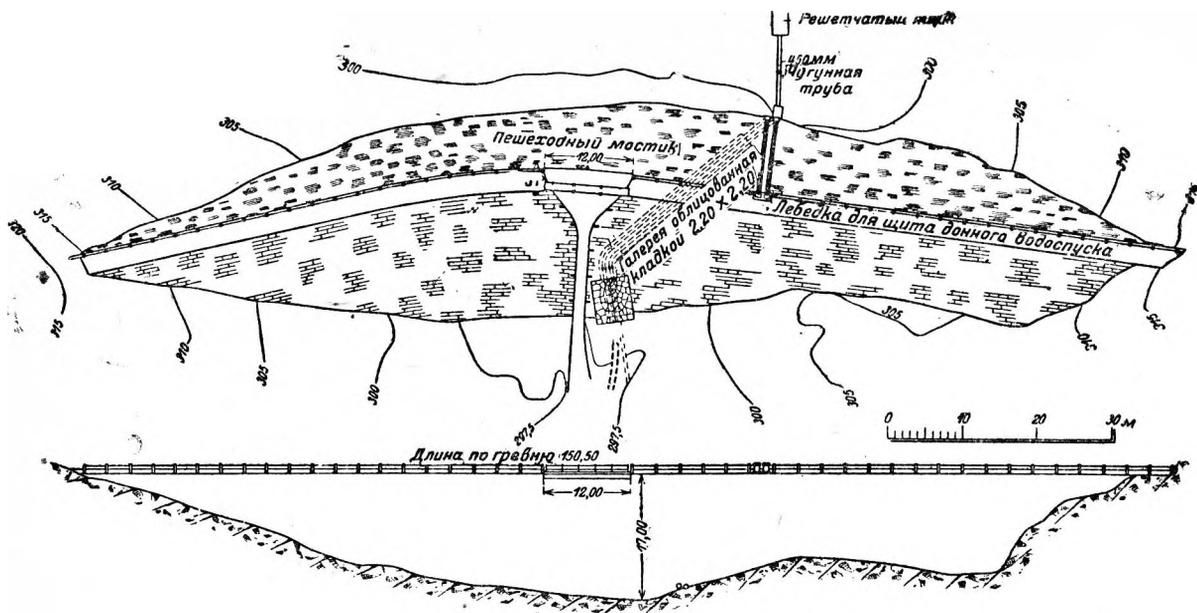


Фиг. 63. Плотина Квилестен (разрезы и план).

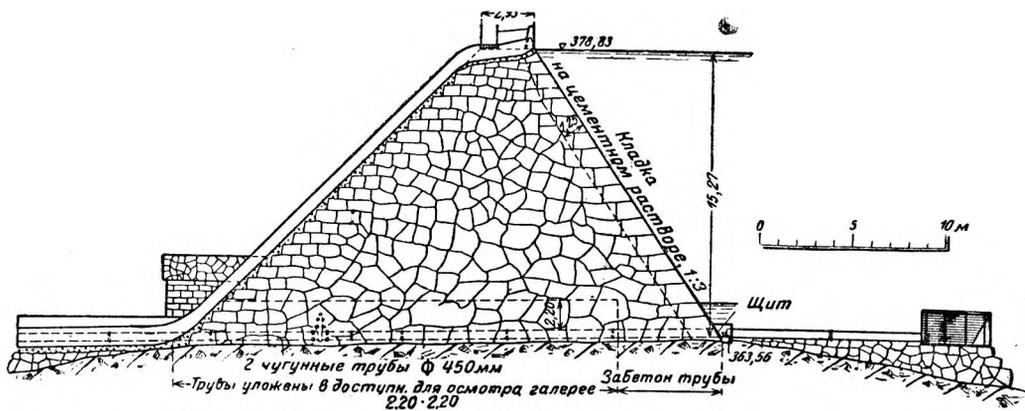
У маленьких плотин этого рода водослив занимает иногда всю длину гребня, иногда же он сосредоточен в нескольких секциях, возведенных в таких случаях на цементном растворе. При неумелом выполнении эта конструкция может дать неудачные результаты, что и наблюдалось на практике. В условиях севера такая простая конструкция в горных местностях, несмотря на зна-

таким плотинам даже известное техническое превосходство.

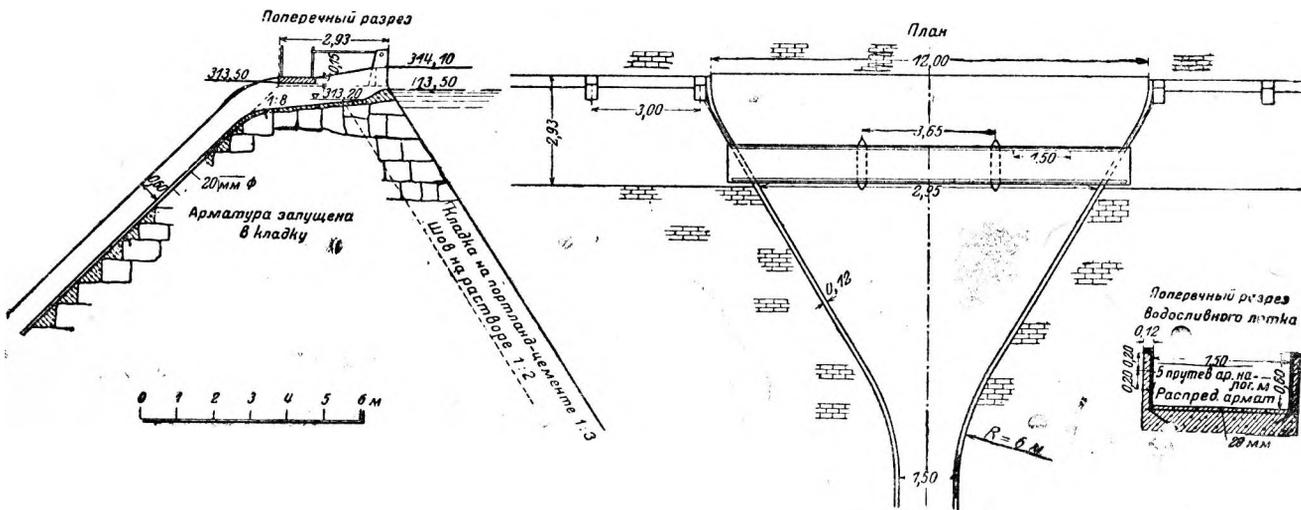
Более современна плотина из каменной наброски с железобетонной плитой, уложенной поверх сухой кладки откоса — плотина Викватн (фиг. 75—77). Наряду с упомянутыми новыми и старыми видами конструкций, которые на севере применяются параллельно, назовем еще



Фиг. 64.



Фиг. 65.



Фиг. 66.

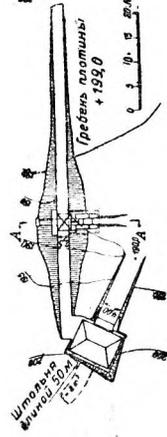
Фиг. 64—66. Плотина Торлебе (план, вид опереди, разрезы).



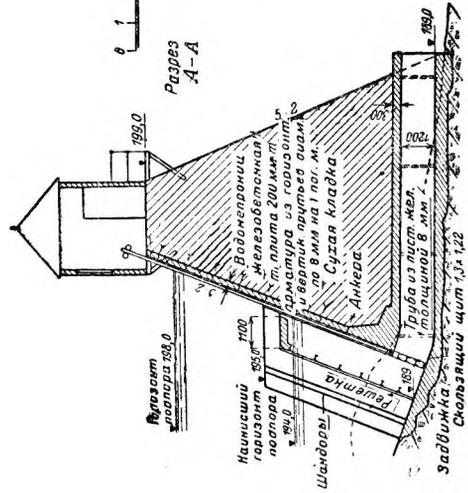
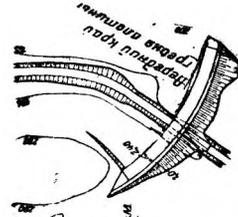
Фиг. 67. Вид законченной плотины Торлебе.



Фиг. 68. Производство сухой кладки плотины Торлебе.

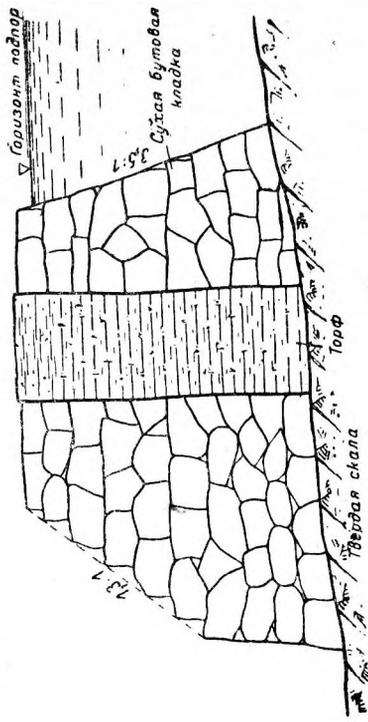
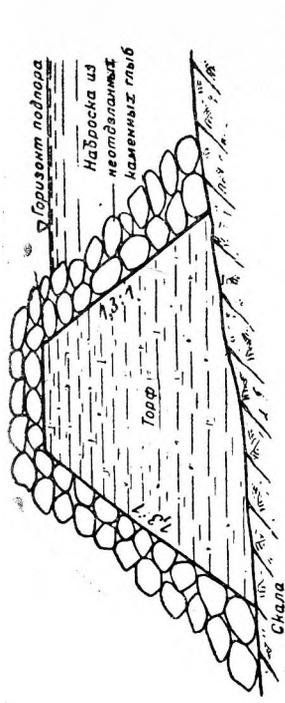


Фиг. 69.

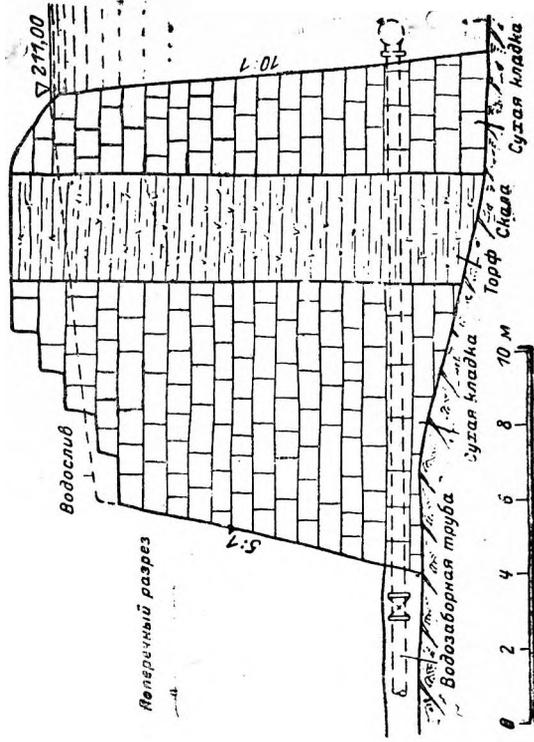


Фиг. 70.

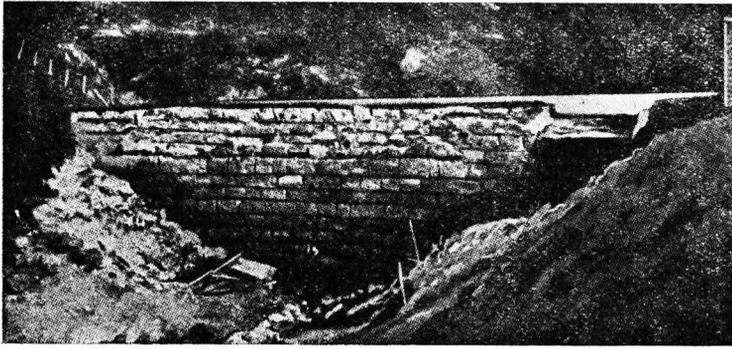
Фиг. 69—70. Плотина Хардланд (план и поперечные разрезы).



Фиг. 71. Старая и новая форма (поперечный разрез) плотины из сухой кладки с торфяным ядром.



Фиг. 72. Плотина Сальхус. Поперечный разрез.



Фиг. 73. Вид со стороны нижнего бьефа.

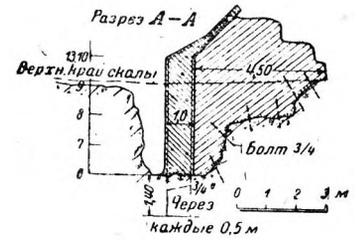


Фиг. 74. Сид сбоку.

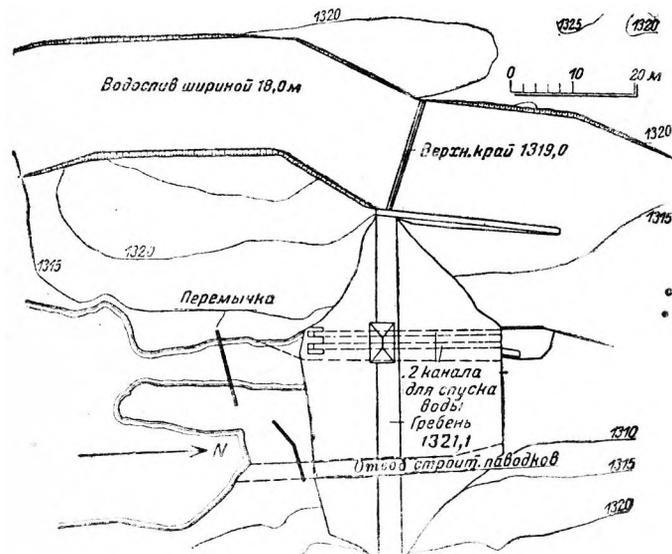
Фиг. 73—74. Плотина Сальхус.



Фиг. 75. Поперечный разрез и донный водоспуск.

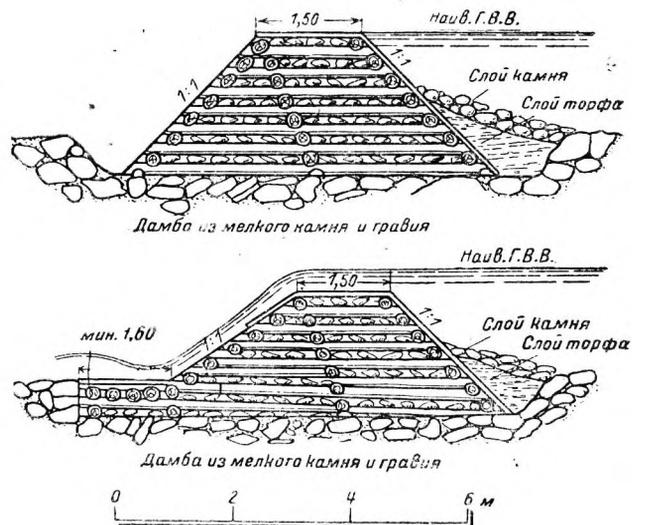


Фиг. 70. Уплотнение основания.



Фиг. 77. План.

Фиг. 75—77 Плотина Викватн.



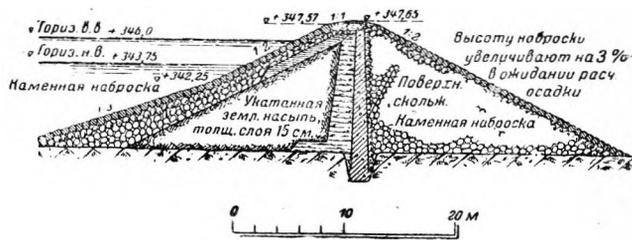
Фиг. 78. Водосливная ряжевая плотина с каменным заполнением.

ряжевые плотины с каменным заполнением; на фиг. 78 изображен пример такой плотины, основанной на морене с торфяным уплотнением основания. Очень распространены, особенно у мелких гидравлических установок и старых сплавных сооружений, плотины из земли или моренного грунта. При тщательном выполнении и в особенности при постройках на скалистом грунте обычно применяют водонепроницаемое ядро (фиг. 79—81). Материалом для ядра служат торф, глина, шпунтовые стенки и в новейшее время бетон. Торф в качестве материала рекомендуется укладывать не по середине плотины, а у напорного откоса (фиг. 82); для защиты от механических воздействий его покрывают слоем камня.

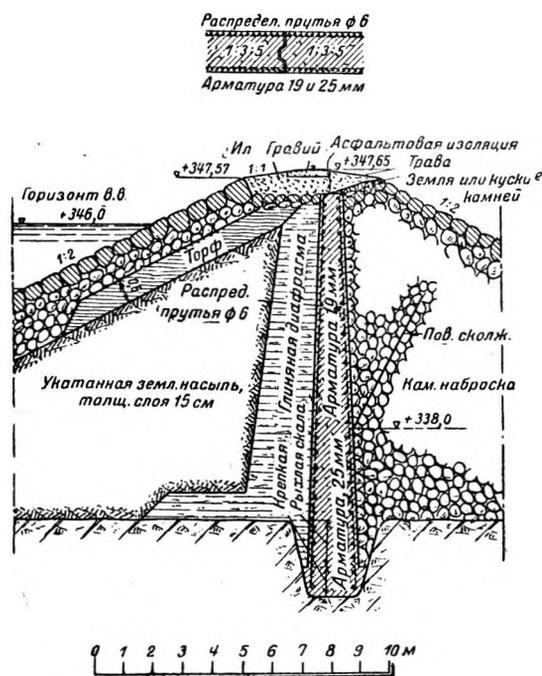
На крупной гидросиловой установке Гейангфальдена (Норвегия) (фиг. 83) имеется плотина смешанного типа из земли и каменной наброски с торфяным ядром и внутренней шпунтовой стенкой. Для большей надежности иногда кроме ядра из бетона или шпунта устраивают еще глиняный экран (фиг. 84); если экран одновременно служит защитой откоса, то его выполняют из каменной кладки с разделкой швов. Это мы видим, например, у длинных подпорных сооружений и дамб капала силовой станции Унтра (фиг. 193), где швы напорной стороны тщательно разделаны цементным раствором; глиняное ядро связано со скалистым основанием посредством бетонного зуба. Плотина Порьюс является примером крупного подпорного сооружения с железобетонной диафрагмой (фиг. 79 и 80). Поперечный профиль береговой части этой плотины (не водосливной) тщательно спроектирован в виде комбинации из армированной бетонной диафрагмы с глиняной набивкой впереди и плотной земляной насыпи на напорной и водопроницаемой каменной наброски на низовой стороне. Земляная часть на напорной стороне защищена толстым слоем каменной наброски, покрытой мостовой из циклопической кладки, служащей одновременно нагрузкой и предохранительной одеждой. Очень своеобразная деталь — торфяной слой толщиной 0,6 м, задуманный в виде упругой подушки для уменьшения давления льда; в каменной наброске с низовой стороны устроен искусственный «шов скольжения» с целью отчетливого фиксирования нагрузок на диафрагму соответственно расчетным предположениям, принятым в основу при проекте железобетонной диафрагмы. В железобетонной диафрагме устроены вертикальные температурные швы. Эта плотина работает безупречно.

На севере применяют обвалование нередко для защиты сельскохозяйственных культур и заселенных площадей, расположенных в низинах; вода из таких обвалованных мест отводится либо посредством канализационных штолен (Мотала, городская канализация), либо с помощью насосных установок (Иматра). Очень своеобразно

устройство береговой дамбы у установки Мотала (фиг. 85, 86, 87, 88, 89), где водопроницаемый слой гравия большой мощности и залегающий очень глубоко был встречен при заложении глиняного ядра по первоначальному проекту. Ввиду этого удовлетвоались тем, что защитили береговой откос реки до горизонта меженных вод



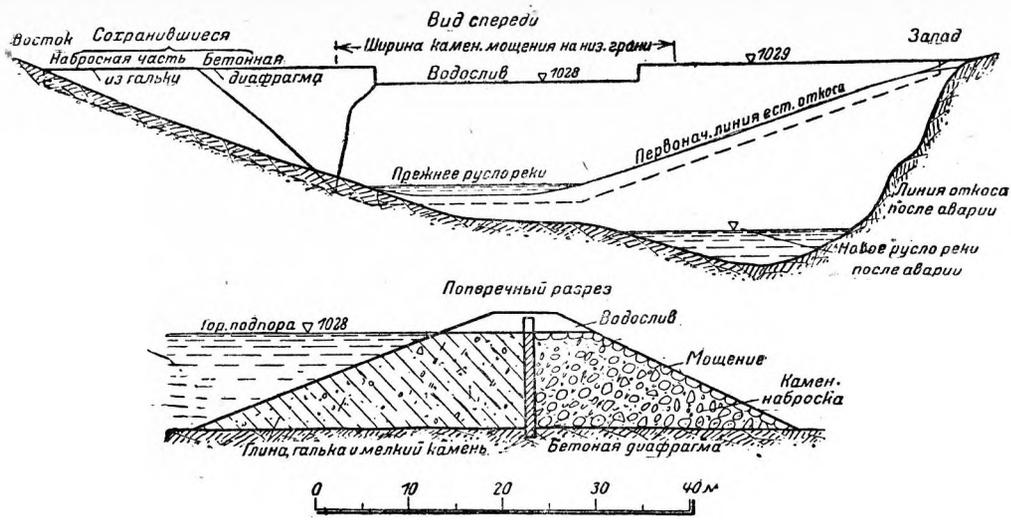
Фиг. 79. Поперечный разрез.



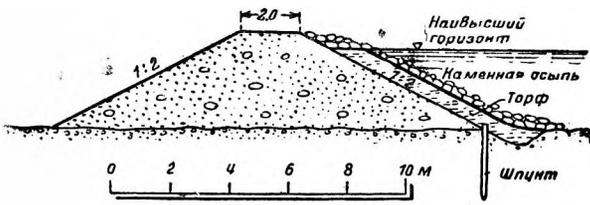
Фиг. 80. Разрез диафрагмы плотины.

Фиг. 79 и 80. Гидросиловая установка Порьюс.

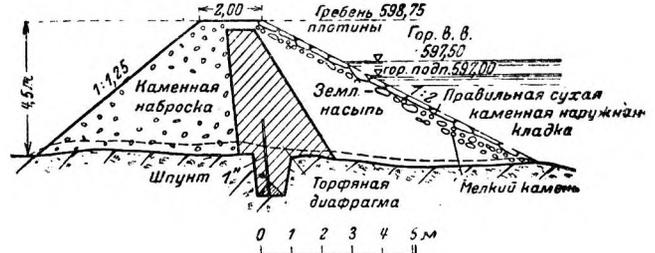
глиняным пластырем и связали тело дамбы с уплотняющей одеждой откоса посредством пологового слоя из глиняной набивки. С фильтрацией через слой песка и гравия, выходящей в русло реки, сознательно мирились, убедившись па основании тщательного наблюдения режима грунтовых вод и соответствующих расчетов, что нет оснований опасаться ни размывов, ни чрезмерной потери воды. Для ожидавшейся просачивающейся воды уложили собирательную дренаж длиной около 130 м из перфорированной снизу цементной трубы, переходящей в железную трубу с крутым уклоном, проведенную через более плотные слои



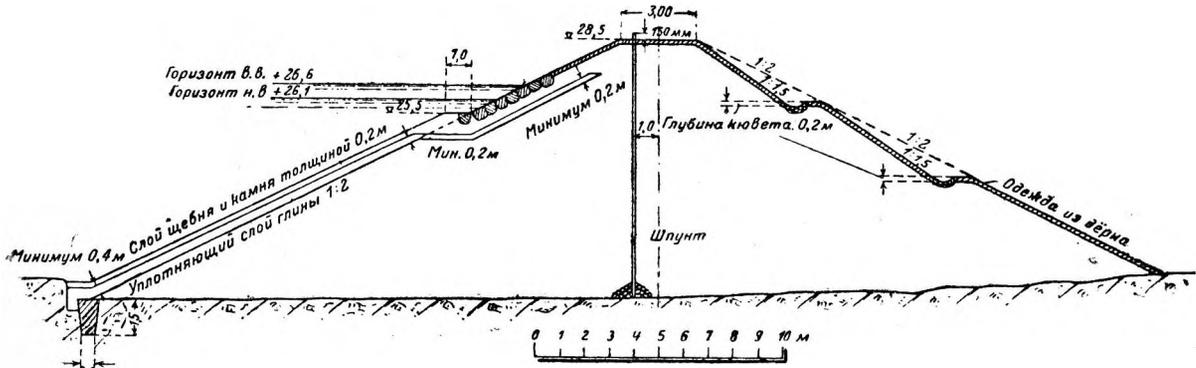
Фиг. 81. Разрушенная плотина Будаль.



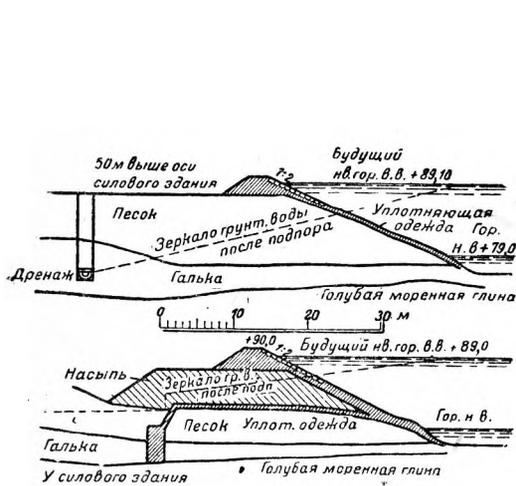
Фиг. 82. Поперечный разрез земляной плотины с торфяным уплотнением напорной грани, защищенным каменной одеждой.



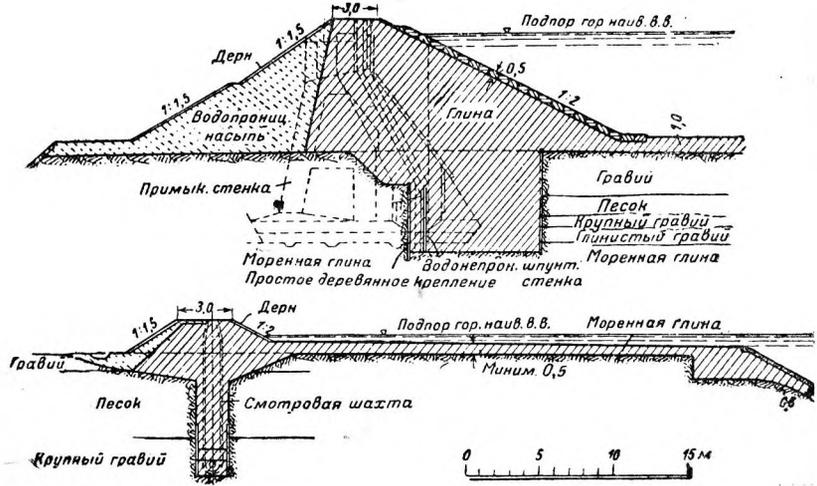
Фиг. 83. Поперечный разрез плотины Гейангер



Фиг. 84. Кнэред — земляная плотина.



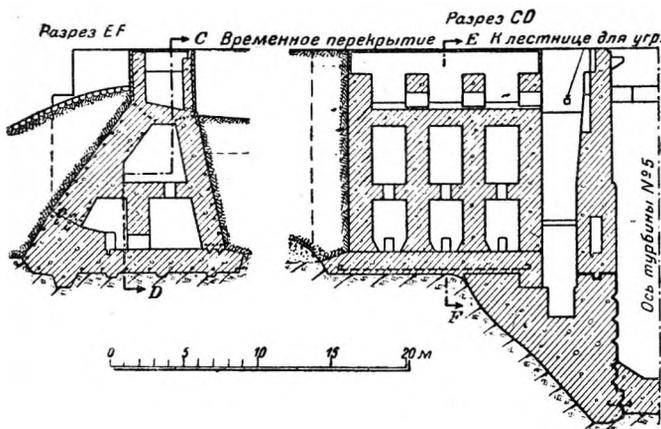
Фиг. 85 и 86. Первый вариант проекта.



Фиг. 87 и 88. Исполненный проект.

Фиг. 85—88. Левобережная дамба выше плотины Мотала.

грунта. Наблюдённые количества фильтрующей воды близко совпали с ожидавшимися, и пет оснований опасаться превышения расчетной цифры 60 л/сек при будущем полном подпоре.



Фиг. 89. Левобережное примыкание подпорного сооружения в Мотала.

## § 2. Аварии земляных плотин.

Аварии искусственных сооружений вообще очень поучительны, и мы поэтому приведем несколько примеров разрушения плотин, наблюдаемых на севере, хотя, разумеется, причины здесь те же, как и везде, а именно недостаточно заботливое устройство основания. Среди ряда других погибла, например, подмытая небольшая плотина Индвик, по высоте едва достигавшая 4 м; в другом случае перелив через плотину, не рассчитанную на это, наряду с некоторыми другими причинами, явился главной причиной Будальской катастрофы в западной Норвегии (недалеко от Бергенской ж. д.). Эта плотина с  $H = 6$  м из каменной наброски со слабо армированной бетонной диафрагмой (фиг. 81) была построена для небольшой деревенской силовой установки и подпирала воду озера с отметкой 1023 м над уровнем моря и площадью  $\frac{1}{3}$  км<sup>2</sup>, (емкость водохранилища 4,1 гм<sup>3</sup>). Водослива устроено не было, предполагалось, что вода будет просто стекать по воздушному откосу, защищенному каменным мощением. Как и следовало ожидать и как предсказывали специалисты, переливающиеся наводки снесли воздушный откос, смывая камень за камнем, и перегруженная, к тому же недостаточно прочно связанная с основанием железобетонная диафрагма проломилась. Материальные убытки во много раз превысили стоимость силовой установки и напорного сооружения, вместе взятых. Если в приведенном примере несколько причин действовало одновременно, то авария плотины Оза<sup>1</sup> в долине Рена (юго-восточная Норвегия), речной системы Глом-

мен-Эстердален, была вызвана исключительно недостаточной пропускной способностью водослива. Авария произошла при катастрофическом наводке в мае 1916 г., наделавшем бед во всей области Эстердален. Плотина состояла из 2 секций, одной — водосливной, железобетонной типа Амбурсена, другой — вододержательной, насыпанной из гравия. Эта часть была размыва паводком. Водосливная часть была снабжена двумя затворами: автоматическим клапаным и обслуживаемым щитовым. В надежде на клапан смотритель оставил щит закрытым, а при начавшемся ночью паводке клапан один не справился. Глубина образовавшейся вымоины заставила перенести плотину выше по течению, где всюду можно было достигнуть до скального основания.

## § 3. Гравитационные плотины.

Гравитационные плотины на севере строились в большом количестве и значительных размеров. То обстоятельство, что высота их в среднем — умеренная (изредка превышает 35 м, доходя до 48 м). — объясняется рельефом местности. Наиболее выдающиеся примеры — плотина на оз. Тунхевд в Нумедальской области (фиг. 90—91), плотина на оз. Рингедаль в области Тиссебах (фиг. 92), плотины Мэркфосс-Сольбергфосс (фиг. 93, 94, 95), Брэкке (фиг. 96) и, наконец, маленькая плотина Месванд в области Монеэльва (область Скиена), все в Норвегии. В Швеции можно назвать плотину Порьюс и ряд крупных дамб на каналах, которых мы коснемся первыми ввиду их тщательно продуманного выполнения и их значения в истории развития строительства плотин на севере.

Конструкции дамб на силовом канале Тролльхэттан (1906—1910 гг.; но материалам обширного официального труда о канале Тролльхэттан, ч. III, т. 1).

а) Конструкции из бутовой кладки.

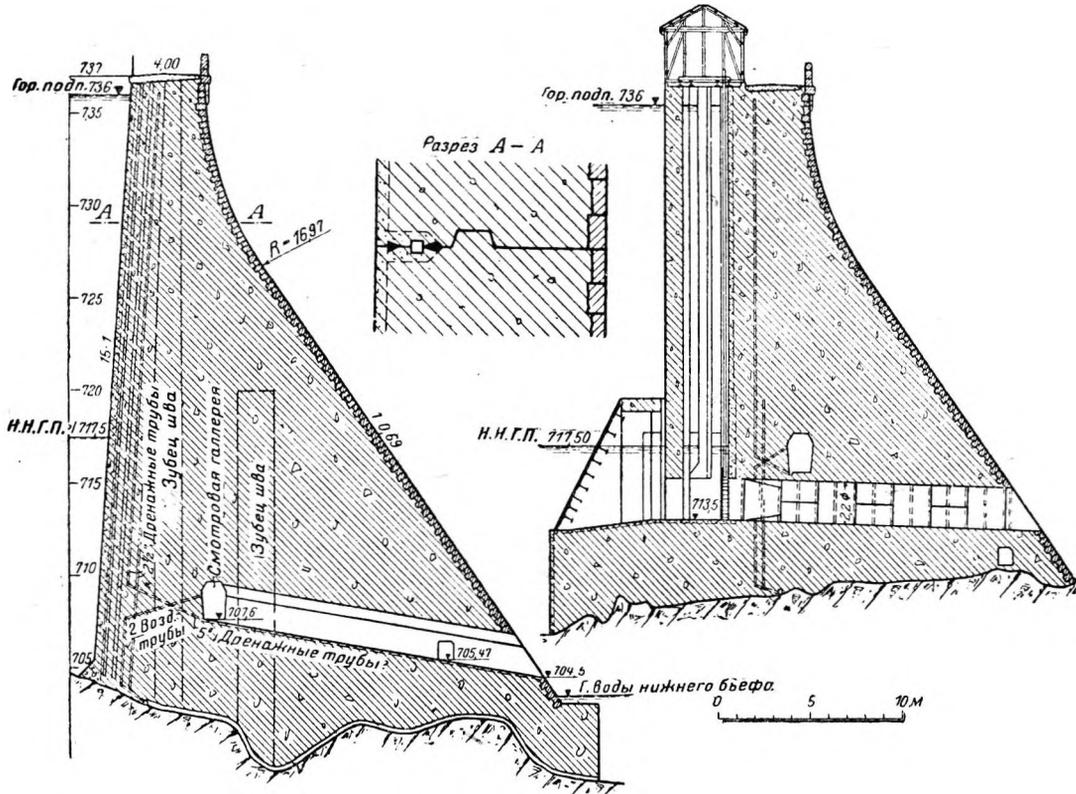
Учитывая отличное качество бута из карьеров, дамбу (фиг. 97) на участках с высотой меньшей 7 м строили из бутовой кладки. От дренирования тела дамбы отказались и при статическом расчете, исходя из  $\gamma = 2,2$  т/м<sup>3</sup>, принимали во внимание взвешивающее гидростатическое давление в швах и на подошву (на напорной стороне — полное, на воздушной стороне — равное 0).

Сначала на очищенную скалистую подошву клали 2-см слой цементного раствора 1:1 $\frac{1}{2}$ , затем 10-см бетона на мелком щебне 1:2:2 $\frac{1}{2}$  в качестве уплотняющего слоя. Кладку вели с тщательной перевязкой швов на цементном растворе 1:3 и надлежащей притеской камней размера от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{2}$  м<sup>3</sup>; швы заботливо расщепивали. На напорной стороне укладывалась облицовка из тесаной кладки на растворе 1:1 $\frac{1}{2}$ . Высота тесаной каменной 20 см, ширина 18—22 см, глубина тычков 28—32 см, максимальная длина камней 60 см; таким образом один человек мог свободно

<sup>1</sup> Не смешивать со строящейся крупной силовой установкой в западной Норвегии.

манипулировать камнем. Толщина швов 12 мм. Позади облицовки был уложен уплотняющий слой бетона толщиной 10 см состава 1:2:2 $\frac{1}{3}$ , а между этим слоем и главным массивом стены — выравнивающий слой бетона 1:3:5. Полная толщина облицовки достигала 0,5 м, не считая зубцов, запущенных в главную стену. Температурных швов не устраивали в том предположении, что расширение распределится между многочисленными швами кладки. На воздушной стороне имеется

для экономии бетона. На напорной стороне в температурных швах укладывался слон жирного бетона 1:2:2 $\frac{1}{2}$  толщиной 15 см, и кроме того, от основания до высоты на 3,45 м ниже горизонта воды при остановленной станции поверх жирного бетона наносился слой штукатурки, гладко железненный. На участках, где глубина воды, при остановленной станции превосходит 9 м, уплотняющий слой усилен заложением в бетон железным листом толщиной 5 мм и доходящим



Фиг. 90. Норе. Плотина Тунхевд. Разрезы и шов расширения (температурный).

каменная отсыпь. В Эльвкарлеби (фиг. 69), где бутовая кладка применялась до высоты 10 м (1911—1917 гг.), было обнаружено, что вопреки предположениям все-таки образовались отдельные трещины в расстоянии 12—15 м.

б) Б е т о н н а я к л а д к а (фиг. 98, 99, 100, см. также фиг. 101). При статическом расчете гидростатическое давление не учитывалось ни в подошве, ни в швах, так как устроена обширная, дренирующая тело сеть. Через каждые 10 м (в Эльвкарлеби через каждые 10—15 м) устроен температурный шов (фиг. 102). У основания напорной грани пробита траншея до прочной скалы и залита бетоном 1:2:2 $\frac{1}{2}$ . Остальная площадь подошвы покрыта уплотняющим слоем, так же как и при бутовой конструкции. Бетонную кладку вели на высоту до 1 м в составе смеси 1:3:5; выше состав был 1:5:7. При обоих составах смеси укладывался «изюм» весом 50—100 кг

от низа шпоры до высоты 9 м ниже статического горизонта. (В Эльвкарлеби, где высота кладки достигает 16 м, железного листа не закладывали). Для защиты от течения и от мороза поверхность дамбы у уреза воды одета тесаной кладкой по примеру бутовых дамб, но с бетонным заполнением (1:3:5) позади. Эта облицовочная стенка связана с телом главной стены железными анкерами. Учитывая опасность отслоения под действием температурных изменений, бетон укладывали одновременно с облицовкой.

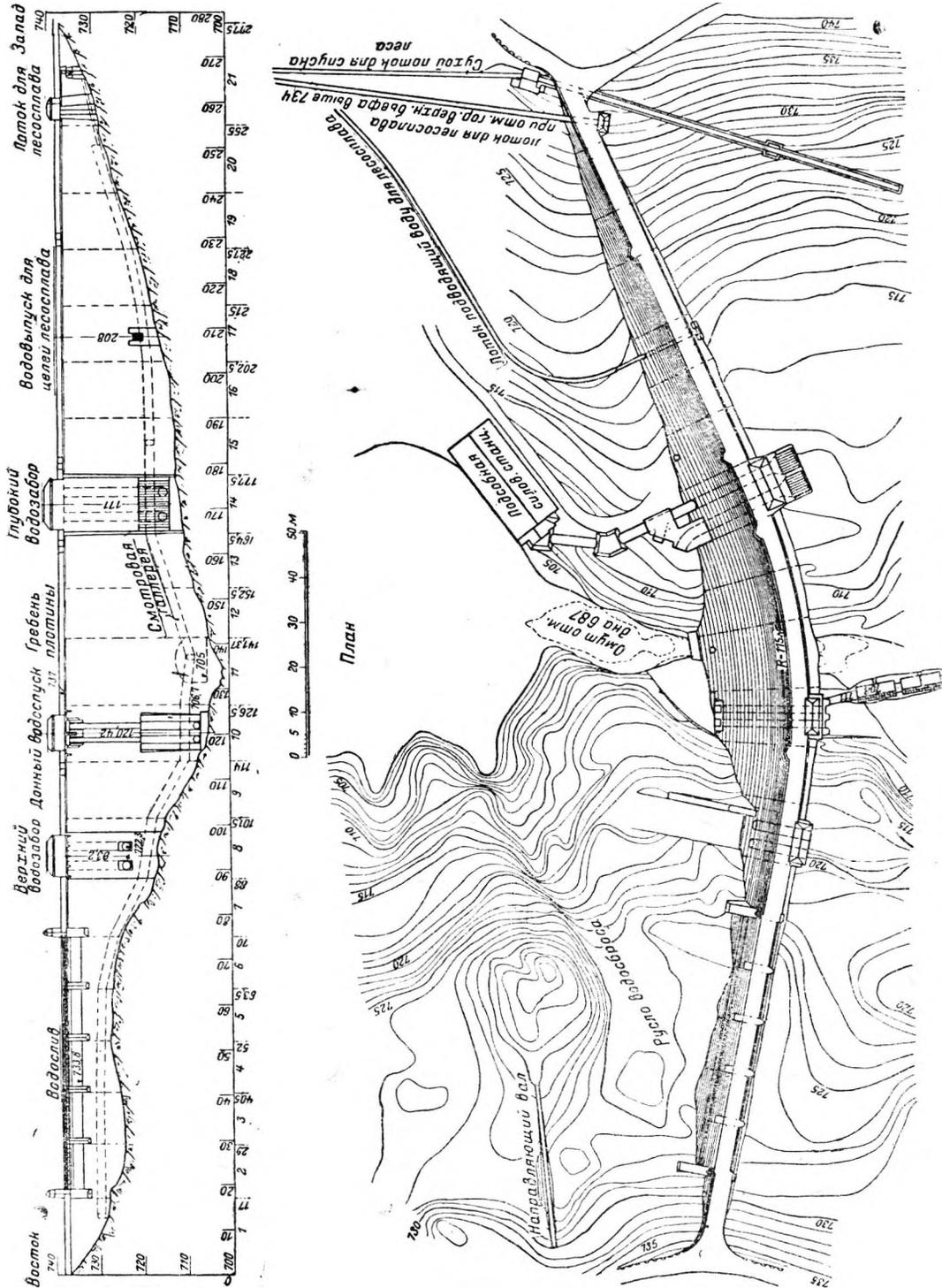
Дренажная система состоит из двух частей: верхней (доходящей до высоты 4 м ниже гребня) и нижней. Каждая часть состоит из 5-см гончарных труб, расположенных на взаимном расстоянии 50 см и в 30 см от поверхности стены, с коллекторами 10-см цементными трубами. В каждом 10-м массиве эти коллекторы имеют по несколько выходов к низовой грани. Обе системы

труб связаны с наружным воздухом посредством железных оцинкованных труб диаметром 25 мм.

Температурные швы (фиг. 102) снабжены пазом и гребнем и выложены двойным слоем асфальтированного войлока, настилаемого в горячем состоянии. В шов вгоняют просмоленную веревку и снаружи разделяют начисто; затем, в клиновидный конец шва закладывается асфаль-

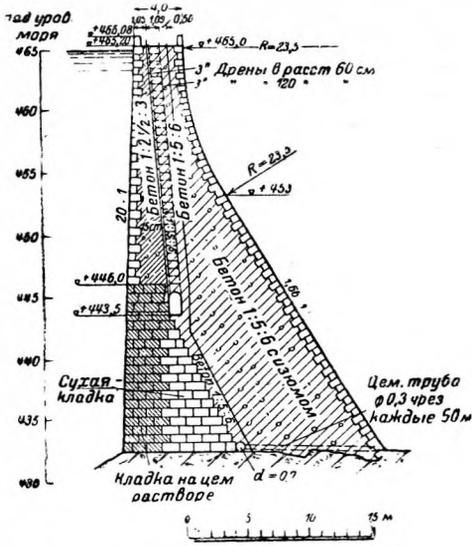
товая полоса, и наконец, впереди кладут и заделывают в кладку полосу асфальтированного войлока шириною 30 см. Эта конструкция шва оправдала себя в течение 20 лет.

Мы приводим изображение ряда других устройств температурных швов, примененных в северных подпорных сооружениях: фиг. 90 (Тунхевд); фиг. 96 (Брекке) с деталью на фиг. 98;



Фиг. 91. Норс. Плотина Тунхевд. Фасад и план.

фиг. 319 (Гуллспонг); фиг. 317—318 и 327 (в турбинных камерах).

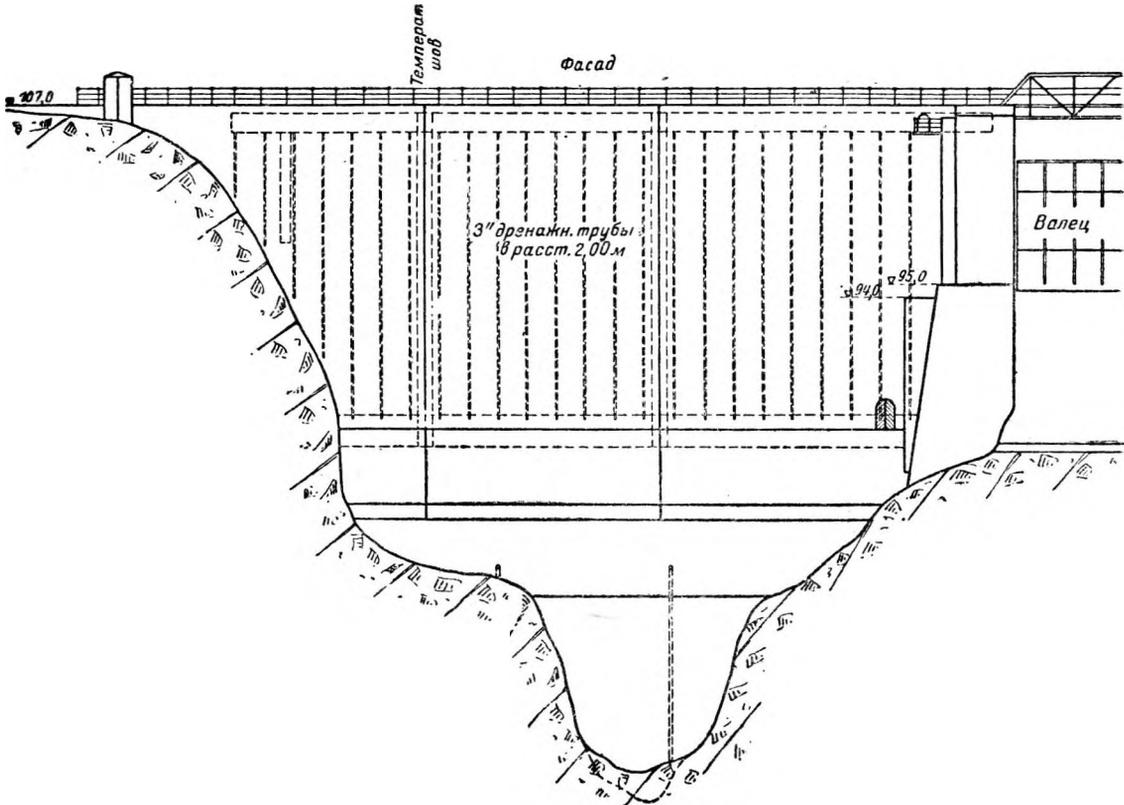


Фиг. 92. Тиссе. Плотина Рингедаль. Поперечный разрез.

Для плотин и одежды каналов вообще теперь предпочитают бетонную кладку. В Гуллспонге, Вассальте и Кнереде бетонные стены возводились по примеру вышеописанной.

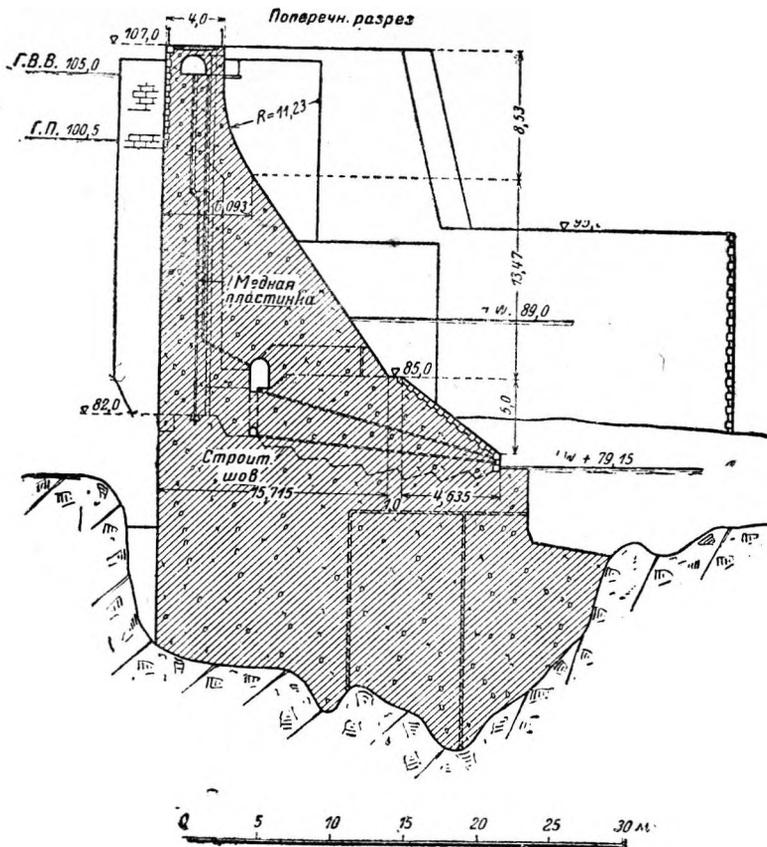
Плотина Порьюс. Эта гравитационная плотина строилась вскоре после Тролльхэттанской (1910—1914 гг.); ее максимальная высота равняется 15,5 м. Плотина является частью подпорного сооружения.

Она построена по образцу Тролльхэттанской. Главная масса состоит из трамбованого бетона 1 : 5 : 7 с изюмом. На напорной стороне уложен уплотняющий слой бетона 1 : 2 : 2 $\frac{1}{2}$ , покрытый слоем раствора 1 : 2. После снятия опалубки поверхность бетона покрыли асфальтовой краской, заделав раковины бетоном. Начиная от 1,5-м подпора (от горизонта на 4,5 м ниже гребня), кверху устроена тесаная (гранитная) облицовка из камней высотой 25 см на цементном растворе 1:1 $\frac{1}{2}$  с заделкой задней поверхности уплотняющим бетоном 1 : 2 : 2 $\frac{1}{2}$ . Каждый бетонный массив между двумя швами (10 м) укладывался самостоятельно по возможности без перерывов; если последних избежать было невозможно, то поверхность бетона при возобновлении кладки обрабатывали кир-

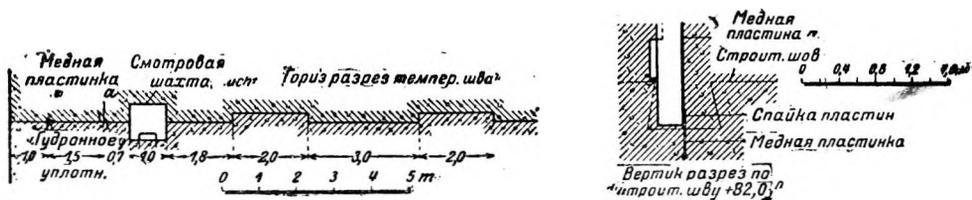


Фиг. 93—95. Установка Мærкфосс-Сøльбергфосс.

Фиг. 93. Фасад со стороны нижнего бьефа.



Фиг. 94. Разрез плотины.



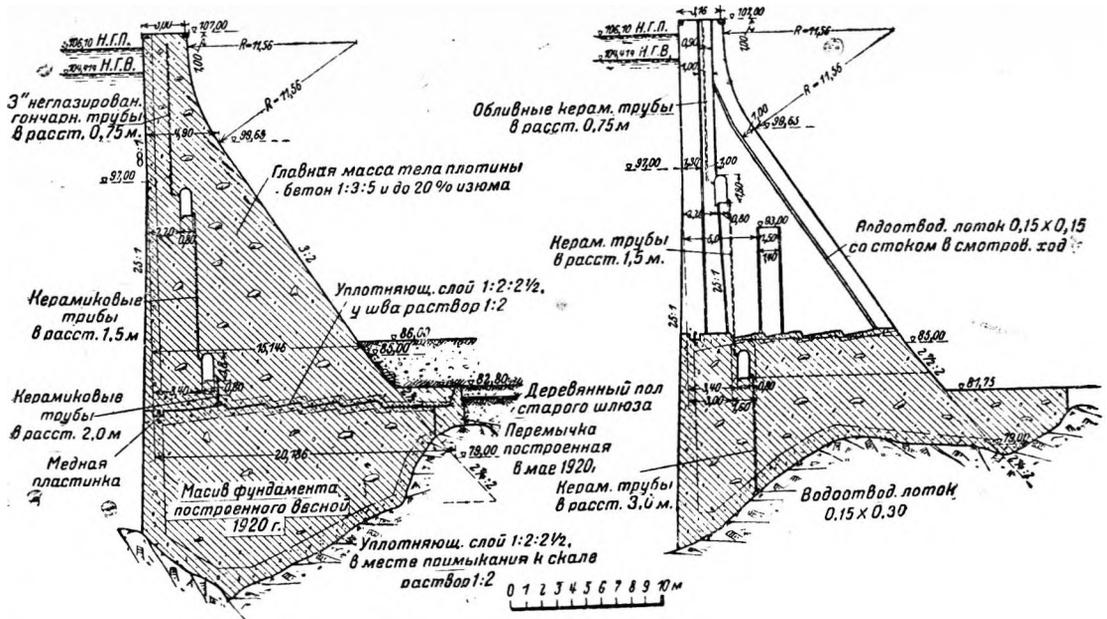
Фиг. 95. Шов расширения у силового здания.

кой, очищали и смазывали цементным раствором 1:2. Изюму, положенному в бетон для экономичности кладки, всегда давали выступать наружу, чтобы обеспечить хорошую связь между последующими слоями бетона. Эта плотина, особенно в своей верхней части, была недостаточно водонепроницаема. В большинстве швов гранитной облицовки обнаружались волосные трещины. Причина в том, что стена, вплоть до наполнения водохранилища водой, стояла сухой в течение 2 лет. При наполнении бетон разбух, а камень сохранил свой объем. Поэтому в облицовке и в сравнительно топком слое бетона позади образовались трещины. Новая разделка швов всей по-

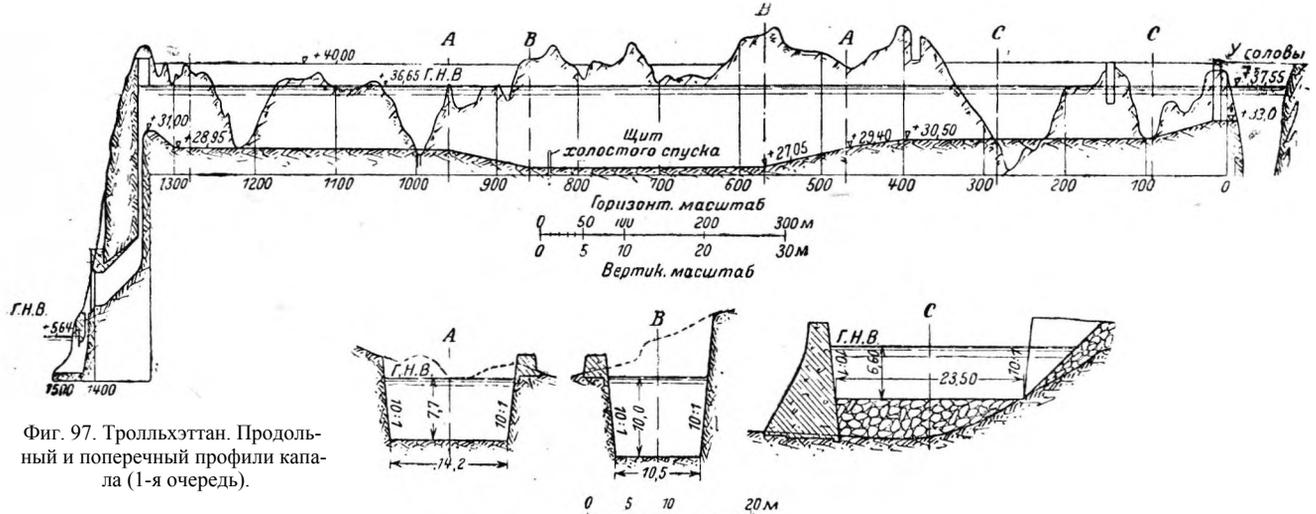
верхности облицовки не увенчалась полным успехом<sup>1</sup>.

Мы переходим к описанию ряда плотин, преимущественно норвежских, в которых обнаружались повреждения бетона иногда очень поучительные. Особенно интересна плотина Рингедальсванд в силу тех затруднений, которые типичны для норвежского строительства плотин в прошлом. Это сооружение довольно значительной длины (520 м) основано сплошь на доброкачественной скале (главным образом гранит). Плотину строи-

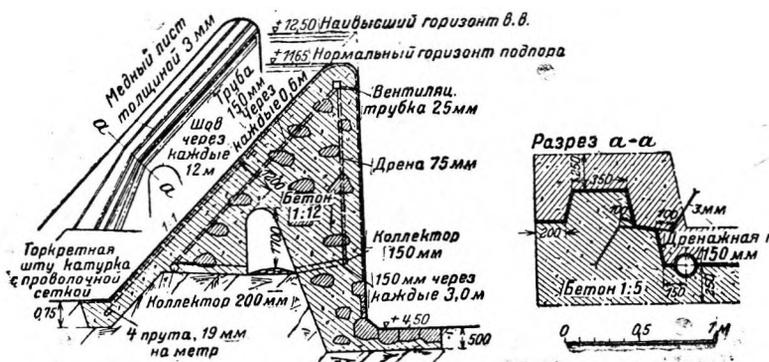
<sup>1</sup> Ср. Р о й е н, Данные из практики облицовки гидротехнических сооружений камнем, «Ветон», 1927, 3.



Фиг. 96. Брэкке. Плотина (поперечные разрезы и деталь опалубки шва расширения).



Фиг. 97. Тролльхэттан. Продольный и поперечный профили капала (1-я очередь).

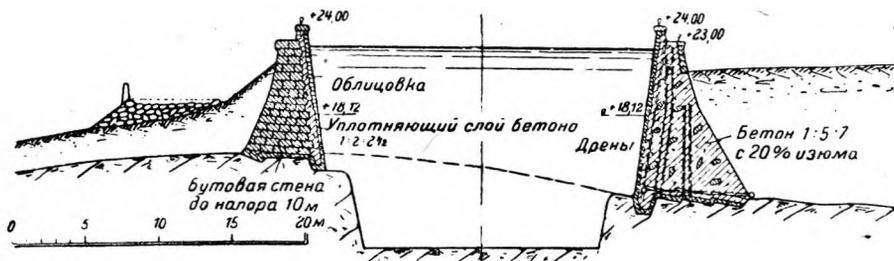


Фиг. 98. Бергсброн-Хавет. Южная стена подводящего канала.



ли не в один прием, но ступенями, чтобы увеличивать полезный объем водохранилища по мере надобности. Нижняя часть (построена 1910 г.) состоит из сухой кладки с уплотнением напорной

сшивается водопроницаемостью. При осмотре автором настоящего труда (1921 г.) обоих главных коллекторов дренажной сети, уложенных в смотровых галереях, из них при заполнении бас-



Фиг. 101. Эльварлеби.

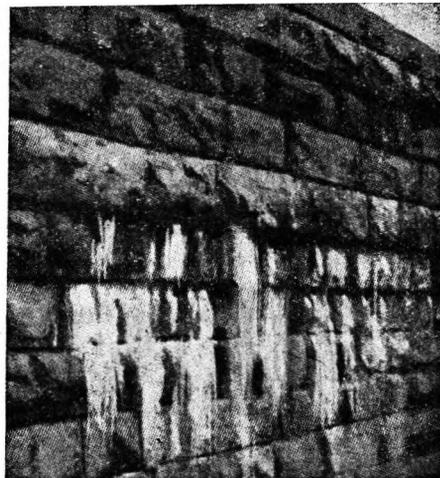
Нормальное поперечное сечение подводящей канала (слева бутовая стена до 10 м высоты; справа бетонная стена свыше 10 м).

стороны 3-м слоем тесаной кладки на цементном растворе. С 1915 до 1918 г. уже во время эксплуатации высоту плотины увеличивали, причем новую часть плотины построили из бетонной кладки с облицовкой напорной и воздушной стороны тесаным камнем на цементном растворе. Позади облицовки напорной стороны уложен слой уплотняющего бетона 1:2½:3 толщиной от 1 до 3 м. Дренажные трубы, которые на севере почти неизменно укладываются даже в гораздо более низких плотинах, уложены позади уплотняющего слоя в бетоне 1 : 5 : 6. Остальная часть бетонного массива состоит также из бетона 1 : 5 : 6, но для экономии в него положен изюм. Инертной составляющей при возведении новой Части плотины служил исключительно щебень и песок, полу-

ной опасности для устойчивости сооружения (Первоначально проектировалась цементная инъекция в уплотняющей бетон, или кладка ребристой железобетонной плиты на всю напорную



Фиг. 102. Температурный шов (подвижный).



Фиг. 103. Тиссе. Плотина. Рингдаль (фильтрация на воздушной стороне).

ченные при дроблении гранита. Б смысле водопорности конструкция первоначально работала не слишком удовлетворительно. Пытались бороться с обнаружившейся с самого начала водопроницаемостью посредством разделки швов облицовки напорной стороны и покрытия их предохранительной асфальтовой массой, но без особенного успеха. Напорная сторона обращена на юг, и весной, когда в водохранилище нет воды, она подвержена сильному солнечному нагреву. Это обстоятельство, в соединении с резким охлаждением ночью вызывает сильные термические напряжения у поверхности, тогда как внутренний массив имеет довольно равномерный температурный режим. Благодаря этому образуются трещины и увели-

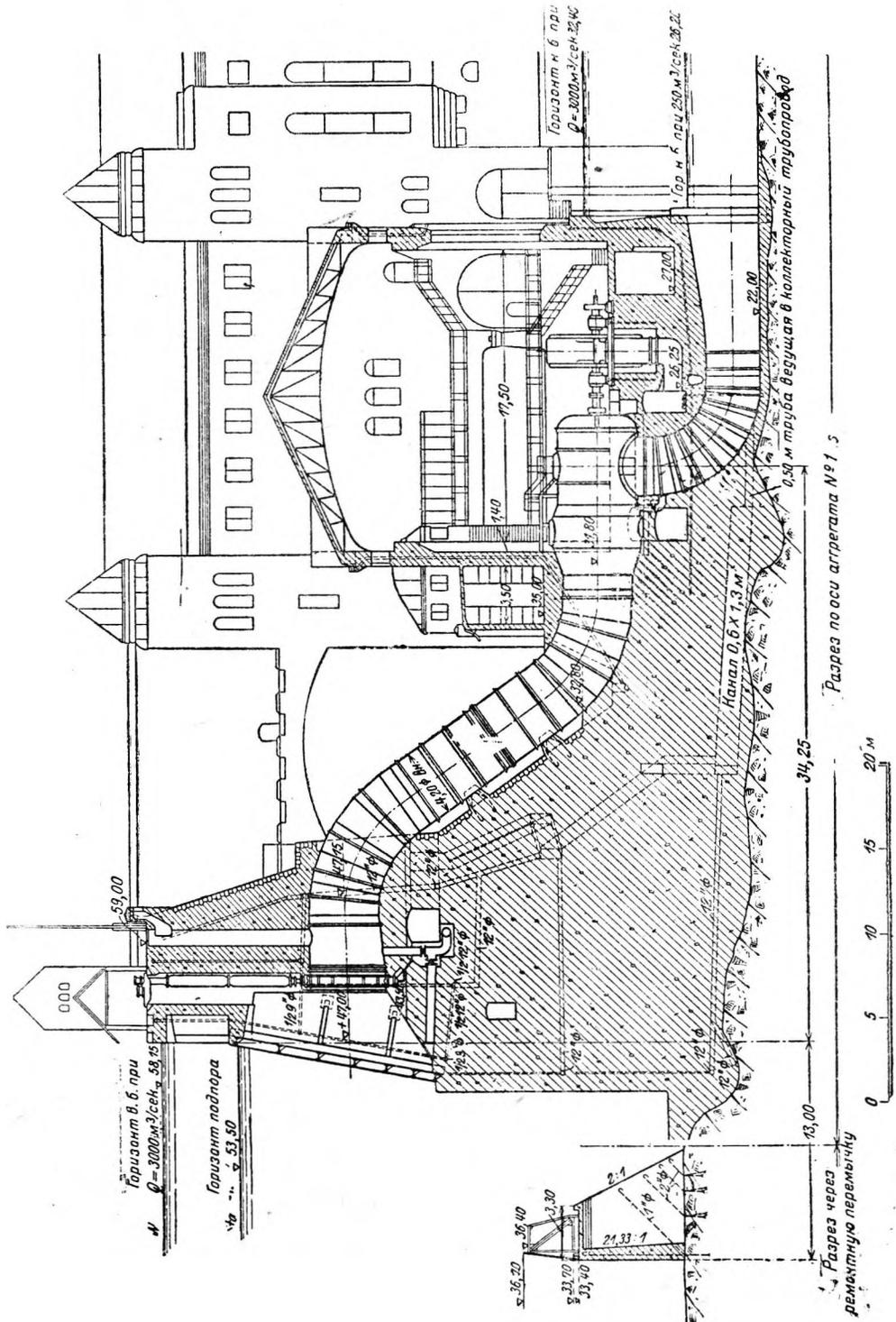
поверхность.) К середине 1928 г. окончательного решения еще не было принято (фиг. 103).

В ряде других плотин в Норвегии выявились такие же и даже еще более неблагоприятные явления; наиболее важный и уже получивший известную популярность случай наблюдался в плотине Месванд в Телемаркене (часть крупной Рьюканской установки, фиг. 104). В этой плотине (расположенной на отметке 900 м над уровнем моря длина 180 м, высота 25 м), бетонной с каменной облицовкой, меньше чем через год после принятия в эксплуатацию, обнаружили потери на фильтрацию, которые выразились в форме обильного течения в водоотводящем канале, явной «течи» через кладку на воздушной стороне и характерных



Гидрат извести, образующийся при схватывании бетона, легко растворяется в фильтрующейся воде и увлекается ею. При соприкосновении с наружным воздухом, содержащим углекислоту, часть растворенной извести выделяется в виде углекислого кальция, который нерастворим в щелочной фильтрующейся воде и трудно растворим

в кислотной. Эти характерные осаднения углекислого кальция на воздушной стороне бетонных гидротехнических сооружений прочно пристаю к поверхности, и Экваль делает отсюда вывод, что путем аэрации фильтрующейся воды, которой посредством растворения гидрата извести придана щелочность, можно искусственно вызывать на



Фиг. 105. Вадма. Здание силовой станции (в разрезе).

наружной поверхности бетона усиленное осаждение углекислого кальция, уплотняющего эту поверхность. Одна бетонная плотина была настолько водопроницаема, что палец при соприкосновении становился влажным, и вода стекала по ее поверхности; в продолжение 3 мес. ее подвергли обдуванию нагретой струей воздуха, настолько интенсивному, что вся вода испарилась, и течь совершенно прекратилась. Разрез воздушной стороны отчетливо выявил тонкий наружный покров, который проникал и в поры поверхности бетона.

Эквалль на основании своих исследований настаивает на важности изготовления водоупорного бетона и указывает удовлетворительную для большинства случаев пропорцию смеси 1:4  $\frac{1}{2}$  и крайний предел 1:6. Хотя бетон с влажностью земли (трамбованный) теоретически менее водопроницаем, но он рекомендует применять и литой бетон, который в условиях строительной практики получается более водоупорным. Из необходимости применять, водонепроницаемости ради, более жирные смеси бетона, высокие качества прочности которых не могут быть использованы в массивных стенах, Эквалль выводит заключение, что пустотелые конструкции экономически выгодны, тем более, что они лучше вентилируются и, стало быть, более устойчивы против выщелачивания.

Новейшие, частью еще более углубленные исследования Государственного управления водоподами, при которых в обширном масштабе изучалось состояние многочисленных гидротехнических сооружений, выявили следующие существенные факторы, влияющие на плотность бетона (которая в свою очередь признается решающим фактором его сопротивления выщелачиванию): 1) качества цемента, 2) загрязнение песка растительной землей, 3) чистота воды для цементного раствора, 4) пропорция смеси, 5) величина и градация зерна, 6) добавки (известь, трасс и т. п.).

Исследования показали, что и. 3 мало влияет на водоупорность, а пп. 2, 5, 6 и особенно 4 — очень сильно. Качество воды, соприкасающейся с готовым бетонным сооружением при достаточной водоупорности бетона, играет, как оказалось, гораздо меньшую роль, чем обычно предполагают. Выло выявлено, что массивные бетонные сооружения на тощем растворе, снабженные уплотняющим слоем штукатурки и т. п. при прочих равных условиях сопротивляются хуже, чем тонкие сооружения, возведенные на однородных жирных растворах.

Приведенные выше мнения выдающихся норвежских и шведских социалистов заслуживают всяческого внимания, даже если не соглашаться всецело с их осуждением массивного типа конструкций. Так напр. в Германии часто указывают на непригодность пустотелой конструкции для хо-

лодного климата, ссылаясь на отдельные случаи повреждений от мороза, вызванные, впрочем, плохим производством работ (например, Джем Лэк, Соединенные Штаты.) Автор настоящего труда, базируясь на опыте и информации других мест, придерживается в вопросе о причинах значительных повреждений, наблюдавшихся в Норвегии, следующего мнения: безусловно непригодна и отчасти повинна в разрушениях тесаная облицовка в качестве внешнего покрытия (вместо сплошного слоя бетонной штукатурки или поверхности бетонного слоя), как это находят и Гренер. Одной из существенных предпосылок повреждений является, далее, химический состав воды очень мягкой, богатой углекислотой и болотной кислотой (серная кислота, ульминовая кислота). Кроме того, повинны и недостатки выполнения строительных работ. По-видимому, прежде в Норвегии слишком экономили на цементе (см. у Гренера<sup>1</sup>). Пропорция смеси 1 : 2  $\frac{1}{2}$  : 3, какая раньше в большинстве случаев применялась для уплотняющего слоя, слишком близка к пределу водонепроницаемости, чтобы дать достаточную гарантию против возможных дефектов производства работ. Применявшаяся иногда значительная толщина таких уплотняющих слоев не может служить компенсацией; более тонкий, но достаточно жирный слой предпочтителен и экономически и технически. Упомянутые выше добавки и предохранительные окраски (Бонде) необходимы в случае более или менее агрессивной воды. Одежда из кладки толщиной 80—100 см, введенная в немецком строительстве плотин по инициативе Интце, является в таких трудных случаях, как, например, Рингедальсванд, очень хорошей защитой уплотняющего слоя напорной грани против температурных повреждений. Качества вод горного массива Баденского Шварцвальда очень схожи с норвежскими и, тем не менее, крупные повреждения бетона наблюдались здесь только в самых исключительных случаях. Немаловажную роль в норвежских неудачах играет и неподходящий состав песка (песок, получаемый при дроблении гранита), и промывание его, иногда ненужное а иногда излишне усердное и удаляющее слишком большой процент мельчайших частиц. Автор убедился, что в одной из очень значительных норвежских гидроэнергетических установок часть бетона в турбинном здании пропускала воду «как решето»<sup>1</sup>.

Приведенные выше примеры имеют общий интерес еще и потому, что они выявляют тот факт,

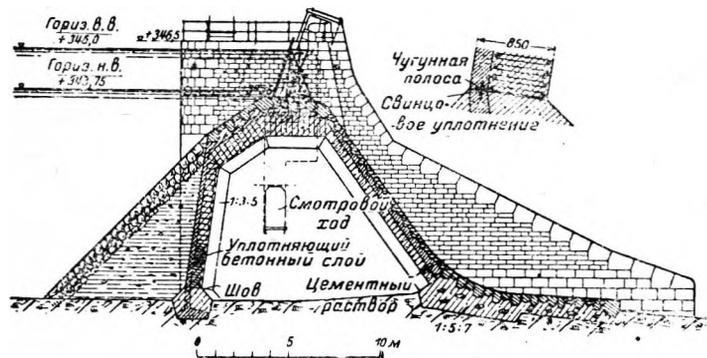
<sup>1</sup> По-видимому, скандинавские инженеры еще не вполне оценили к моменту издания книги роли водноцементного фактора в водонепроницаемости бетона. По этому вопросу см. Беляев, Метод подбора состава бетона. В выщелачивании бетона также может играть роль недостаточность обжига цементного клинкера.

*Прим. ред.*

что устройство смотровых штолен в крупных плотинах само по себе не дает гарантии своевременного обнаружения наступления, характера и объема разрушений бетона, чтобы можно было избежать необходимости значительных работ по ремонту.

#### § 4. Плотины пустотелой конструкции с плоской напорной плитой.

Основная форма современных пустотелых плотин разработана в Северной Америке норвежцем Амбурсеном; есть основание предполагать, что идею их он почерпнул из деревянных кровлеобразных перемычек, очень распространенных па севере (фиг. 442—444). Не говоря, однако, об этом косвенном и скрытом сходстве форм, скан-



Фиг. 106. Порьюс. Разрез железобетонной плотины.

динавские инженеры и у себя дома много поработали над введением в практику и над дальнейшим развитием полой железобетонной плотины.

Первой по времени конструкцией этого рода на севере нужно, по-видимому, считать водосливную плотину гидроэлектростанций Порьюс (1912 — 1913 г.). Хотя эту конструкцию (фиг. 106) с точки зрения современной техники и нельзя уже признать очень экономичной, но для своего времени она знаменовала крупный шаг вперед. С внешней стороны — это простое подражание конструкции Амбурсена, по фактически — это сооружение уже является плотинной из арок секций, хотя и с очень пологими сводами. Ее строители, инженеры Государственного управления водопадов, ее как таковую и рассчитывали. Напорная плита снаружи плоская, изнутри — сводчатая. Благодаря этому в продольном направлении возникает распор, который с обеих сторон воспринимается прибрежными секциями плотины, сконструированными в виде массивных гравитационных стен. В целях достижения возможно отчетливого распределения усилий и во избежание возможных продольных температурных трещин вдоль основания напорной плиты устроен температурный шов со свинцовым уплотнением. Железная арматура требовалась, собственно говоря, только на время твердения бетона, потому что

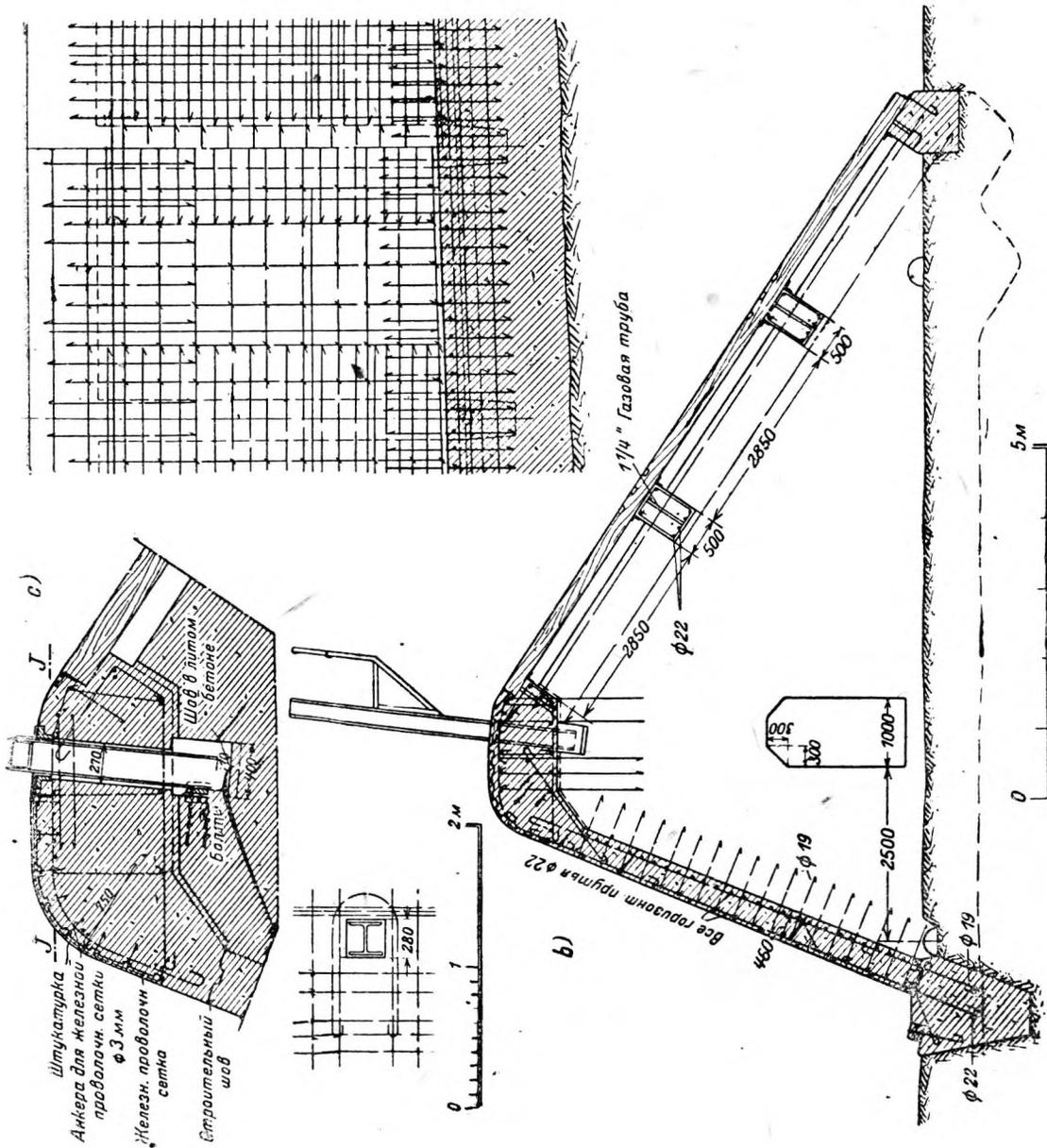
этот последний даже после полного заржавления арматуры будет подвергаться согласно расчету сжимающему напряжению но свыше  $20 \text{ кг/см}^2$ . Конструкция по настоящее время работает безупречно, но местами она недостаточно водоупорна: при осмотре создается впечатление, что причина кроется в чисто местных дефектах техники бетонных работ (трамбований бетон с арматурой). Неплотность обнаружилась через год после наполнения водохранилища и с тех пор заметно не увеличилась. Пропорция смеси для сводов  $1 : 3 : 5$ ; на напорной стороне имеется 20-см уплотняющий слой  $1 : 2 : 2\frac{1}{2}$ , в который запущена арматура. Поверх уплотняющего слоя наложен еще слой штукатурки на растворе  $1 : 2$ , покрытый асфальтом. Пропорция смеси для контрфорсов  $1 : 5 : 7$ , в напорные части их заложены дренажные трубы.

Регулирующая плотина гидроэлектростанции Норрфорс в Умельве построена Государственным управлением водопадов в самые последние годы в виде полого крышеподобного тела с дальнейшим развитием амбурсеновского типа.

Здесь (фиг. 107, 144, 145) порог водослива сконструирован в виде мощной железобетонной балки, и подпорную стену можно было армировать накрест как сплошную плиту, заделанную внизу в тело шпоры и опирающуюся наверху на балку порога водослива. Нормальное расстояние между контрфорсами  $3,92 \text{ м}$  в панелях, компенсирующих температурное расширение, —  $1,96 \text{ м}$ . Температурные швы расположены в расстоянии  $17 \text{ м}$  в среднем друг от друга и уплотнены сплошными медными листами толщиной  $2 \text{ мм}$  (ср. аналогичное устройство в местах соединения с береговыми откосами плотины силовой станции Металла, фиг. 89 и плотины Кронгфорсен).

Описанные шведские железобетонные подпорные сооружения представляют собой водоподъемные плотины для забора воды. Для вододержательных плотин пустотелая железобетонная конструкция с плоскими плитами до настоящего времени применена в Норвегии с успехом в трех случаях. Все три сооружения спроектированы инж. Гренером: это плотина Фьрген (1916/17 г.) высотой  $12 \text{ м}$ , длиной (по гребню)  $195 \text{ м}$ , обслуживающая три гидроэлектростанции компании Меракер Брук; далее, плотины Гольмеванд и Финлаат (1919/20 г.), оба обслуживают гидроэлектростанцию в Саудельфальдене в западной Норвегии и имеют по  $18 \text{ м}$  высоты.

Плотина Фьрген (фиг. 108, 109, 110, 11, 112) представляет типичную амбурсеновскую конструкцию с расстоянием между контрфорсами в  $4,5 \text{ м}$  и швами расширения в каждом третьем контрфорсе. С воздушной стороны устроена железобетонная плита для защиты плотины



Фиг. 107. Норрфорсен. Железобетонная плотина.

а — конструктивные детали, б — общий поперечный разрез, в — деталь гребня.

от мороза. Пропорция смеси бетона 1 : 2½ : 3, в контрфорсах — 1 : 3 : 5; в качестве инертных материалов применяли натуральный песок и щебень из-под дробилки. Плотина оштукатурена цементным раствором. За 10 лет своего существования она по общему отзыву проявила отлич-

ную водонепроницаемость. Льдообразованию на напорной стороне мешает изолирующая плита, так как температура в полом пространстве между напорной плитой и защитной плитой почти не опускается ниже 0°.

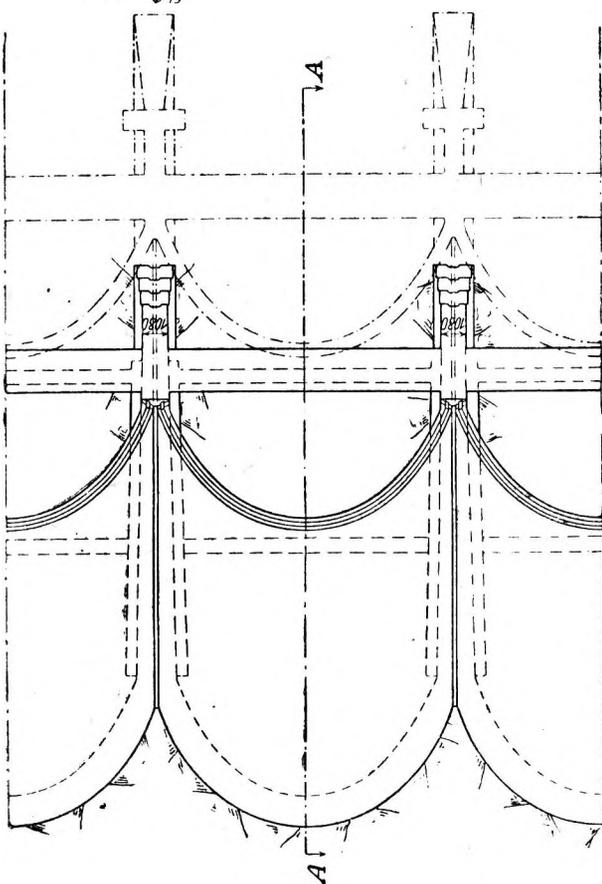
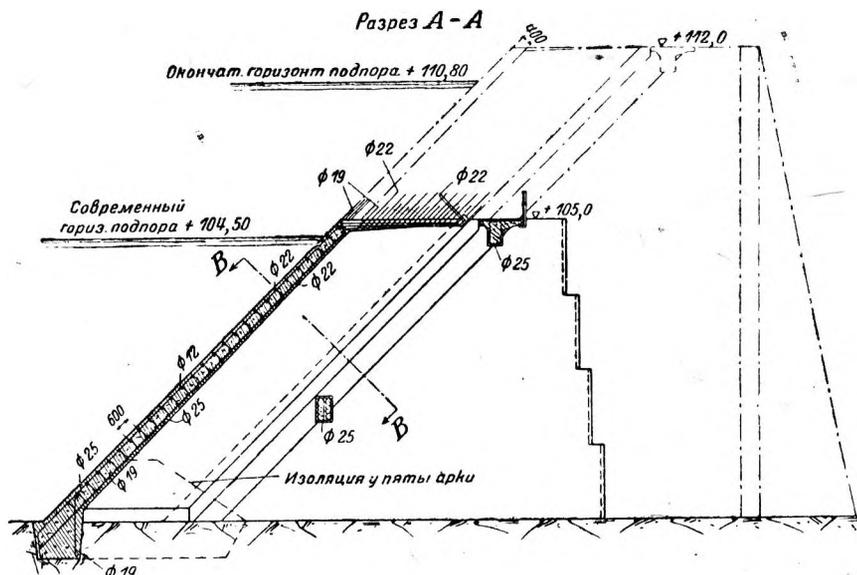
Две остальные плотины Гренера, расположенные на отметке 740 м выше уровня моря, запроектированы по тому же принципу. Песок для плотины Гольмеванд (фиг. 113, 114) добывался посредством размалывания гранита. Были произведены специальные опыты, чтобы определить самую плотную консистенцию смеси. Штукатурка на напорной стороне покрыта прототектолом, хотя у двух последних из вышеназванных плотин по причинам второстепенного характера защитные плиты еще не устроены, но обе по настоящее время работают безупречно. Из предосторожности, однако,

со временем будут построены и защитные стенки, что можно только приветствовать, учитывая местные климатические условия.

### § 5. Многоарочные плотины.

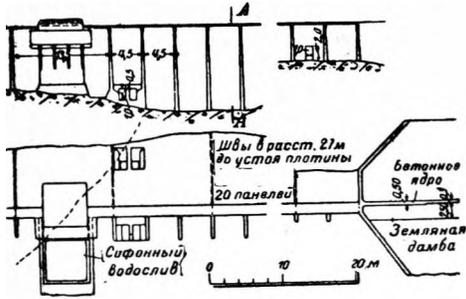
Первые многоарочные плотины, построенные в Скандинавии, были в то же время одними из первых представительниц этого типа в Европе вообще. Это две совершенно одинаковые плотины у Суорвы, построенные Государственным управлением водопадов в 1921—1923 гг. для регулирования родниковых озер Стора Лулезльв в северной Швеции на ту сторону полярного круга.

Максимальная высота этих плотин (фиг. 115—118) временно равняется 14 м (над поверхностью скалы); арки и контрфорсы рассчитаны на предполагаемое позднее поднятие подпора на 7 м. Так как гранит основания местами сильно выветрился, то приходилось вести выемку скалы на Шубину до 10 м. Арки имеют форму коробовой кривой и имеют наклон в 45° (такой необычайно пологий уклон образован с возможным давлением льда). Контрфорсы построены из литого бетона 1 : 4 : 6, пропорция смеси для арок — 1 : 2½ : 3. Характерным отличием этой конструкции является то, что контрфорсам не придана жесткость посредством балок, работающих на сжатие, но что распор каждой арки компенсируется двумя железобетонными затяжками. Могущий возникнуть распор передается затяжкам посредством устроенных у пят арок ребер жесткости контрфорсов.

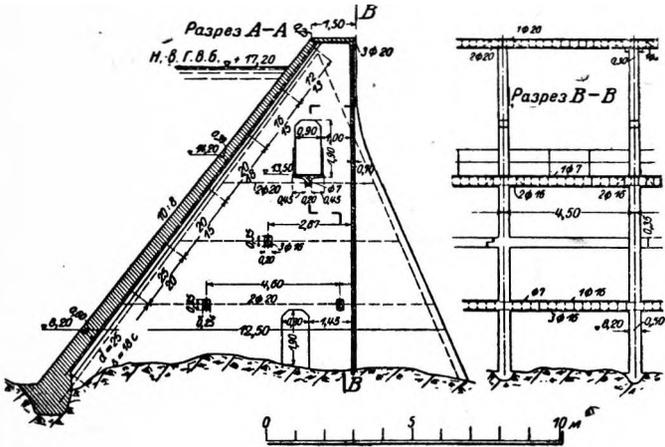


Фиг. 115 и 116. Разрез и план арок.

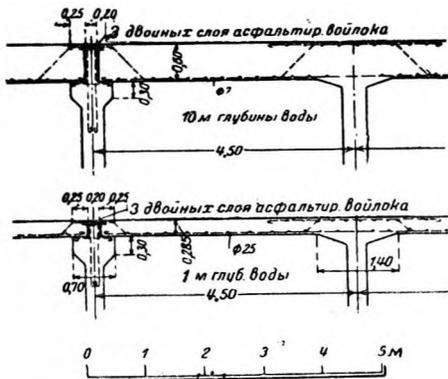
Фиг. 115—118. Плотина Суорва.



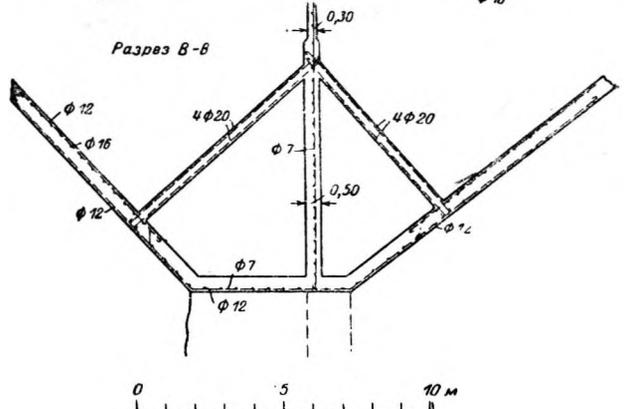
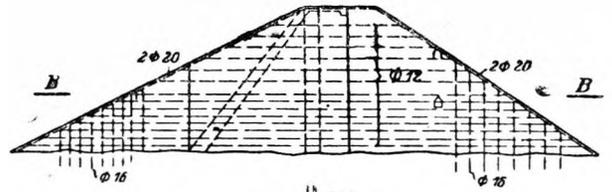
Фиг. 108. Общий вид.



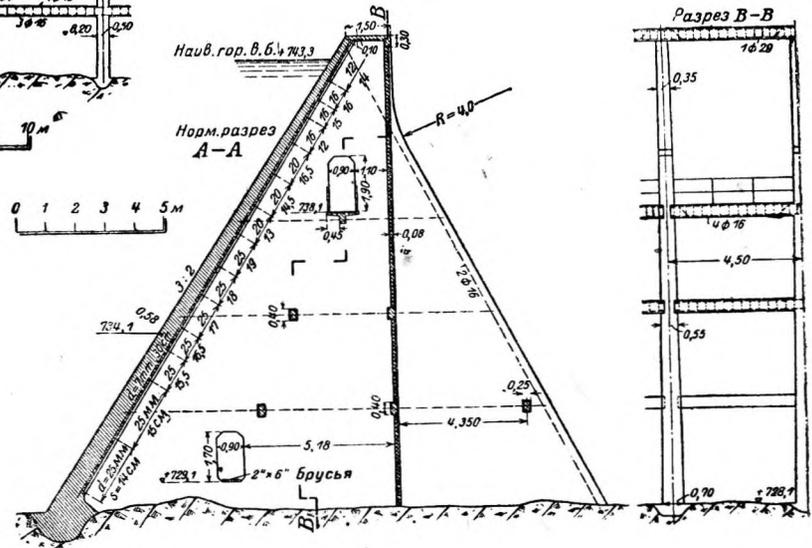
Фиг. 109. Разрез и фасад.



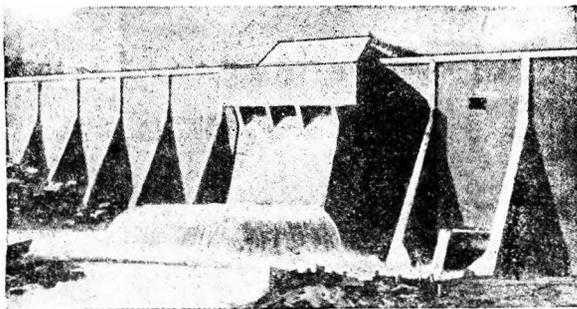
Фиг. 110. Арматура.



Фиг. 111. Сопряжение с земляной дамбой

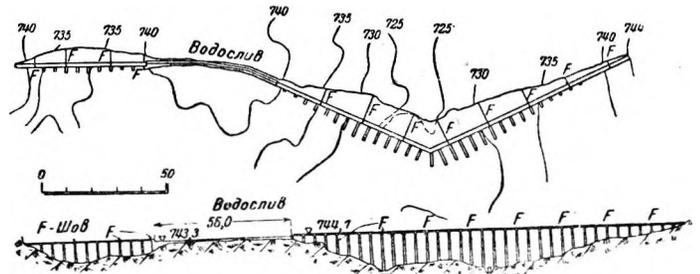


Фиг. 113. Разрез и фасад



Фиг. 112. Плотина Фьергенталь. Вид со стороны нижнего бьефа.

Фиг. 108 — 112. Плотина Фьергенталь.



Фиг. 114. Общий вид.

Фиг. 113 — 114. Плотина Гольшеванд.

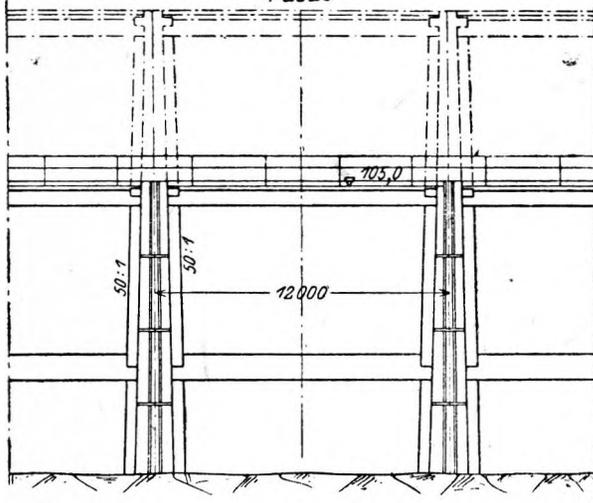
Таблица 7

		Средняя температура				Разница температур верховой и нижней поверхности арок
		горизонтальное сечение на отметке +112		горизонтальное сечение на отметке +98		
		летом	зимой	летом	зимой	
Арка без земляной засыпки	Порожнее водохранилище	+25°	-25°	+17,5°	-17,5°	—
	Полное водохранилище	+25°	-6°	+7,5°	-6°	12,5°
Арка с земляной засыпкой	Порожнее водохранилище	—	-6,5°	+7,5°	-6,5°	—
	Полное водохранилище	—	-6°	+7,5°	-6°	12,5°
	Растяжки . . . . .	+20°	-20°	—	—	—

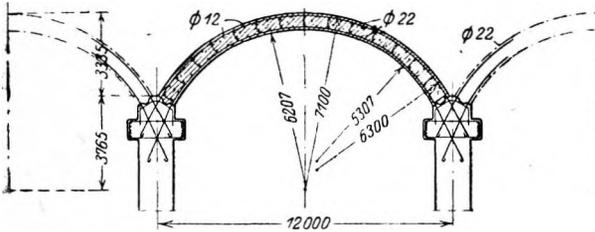
Температура стройки +4° С (Работы производились зимой в отапливаемом бараке с подогреванием воды (30—50°) и инертных материалов, при температуре укладываемого бетона +10° С и температурах воздуха от 0° до +12° С).

Это расположение имеет целью сделать отдельные панели совершенно независимыми друг от друга, чтобы при неравномерном давлении льда

*Фасад*



*Разрез В-В*



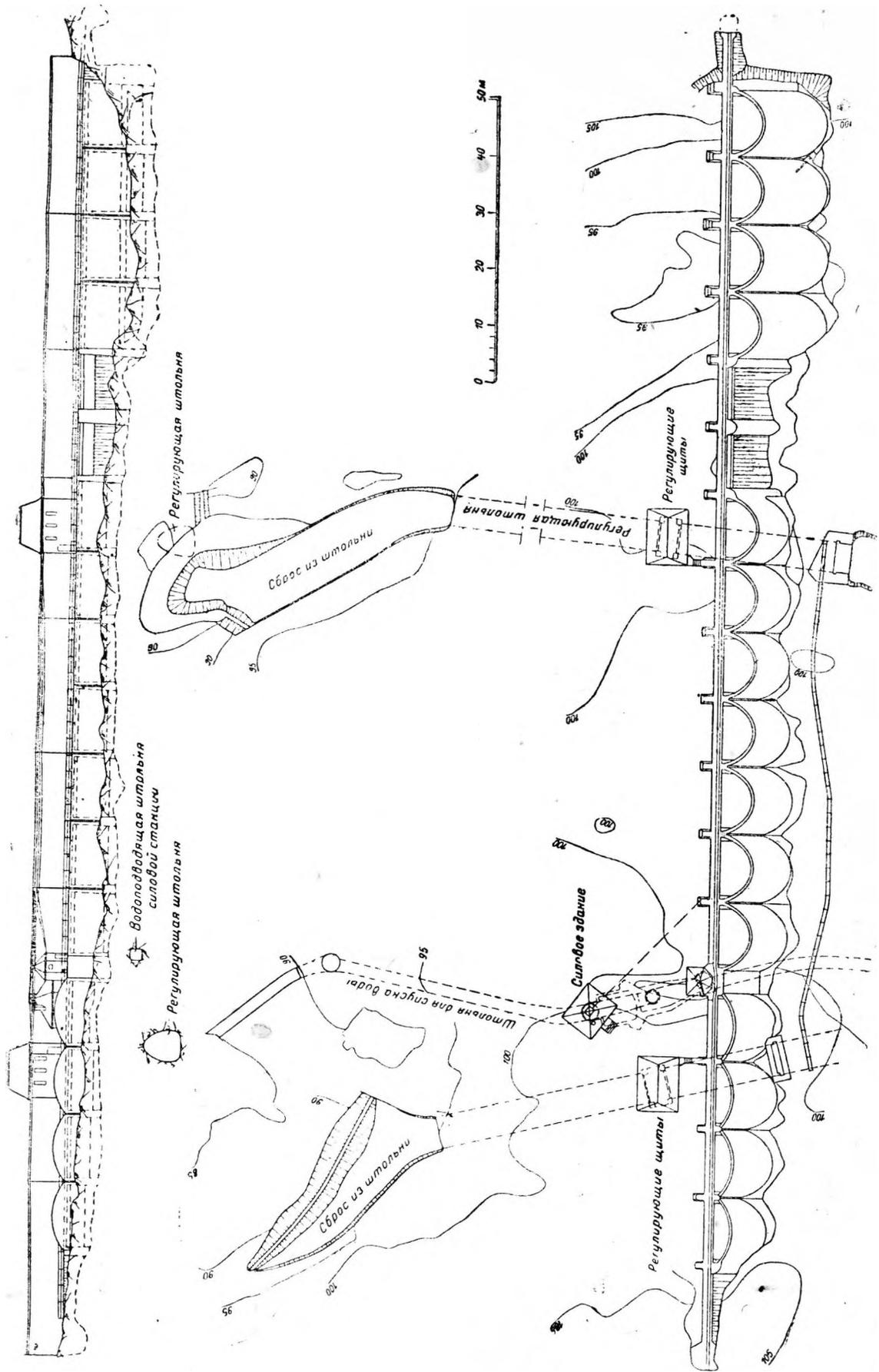
*Пята арок с изоляцией на стороне нижнего бьефа.*



Фиг. 116. Разрез и план арок.

или в случае злонамеренного разрушения одной из арок остальные могли бы беспрепятственно работать. Упомянутые ребра жесткости контрфорсов армированы и притом, не только в расчете на напряжения изгиба, возникающие благодаря распору арок, но и с таким расчетом, чтобы арматура могла воспринимать возникающие на напорной стороне контрфорсов косые главные растягивающие напряжения. Остальная часть контрфорсов не имеет арматуры. При статическом расчете принималось во внимание не только давление воды, но и давление льда (60 т/м) и притом в зависимости от того, имеется ли налицо или не имеется земляная засыпка на напорной стороне. «Нормальные напряжения, вызванные только собственным весом и давлением воды, допускались следующие: в бетоне — сжимающее напряжение при изгибе +35, равномерно распределенное сжимающее напряжение 30; в железе — растягивающее напряжение 1 000 кг/см<sup>2</sup>. При добавлении напряжений, вызванных температурой и усадкой, допускались напряжения на 50% большие. При дальнейшем добавлении давления льда нормальные напряжения в арках принимались увеличенными на 60%, а в контрфорсах — на 100%. Принималось, что температура колеблется в приводимых пределах (табл. 7).

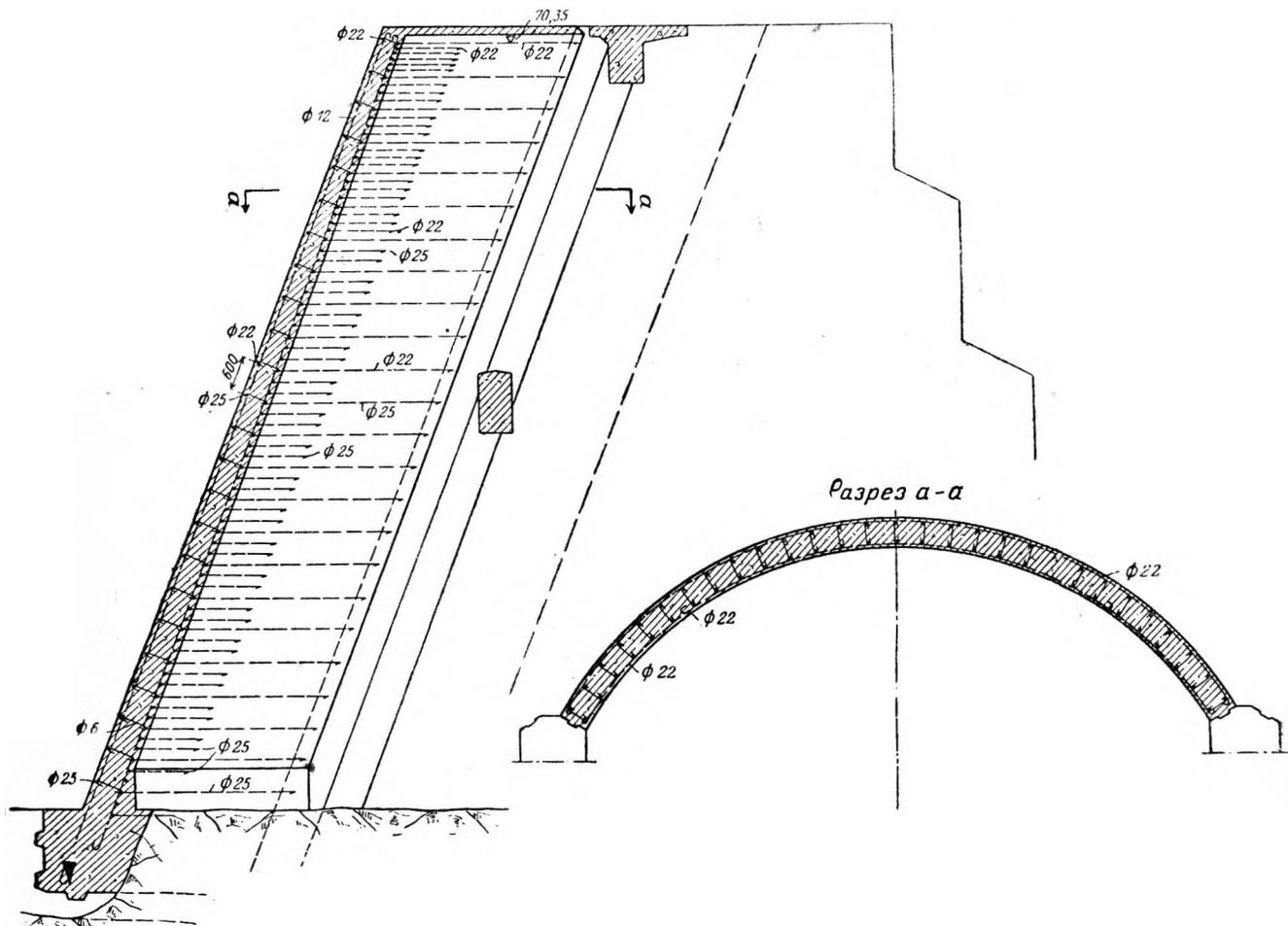
Влияние усадки бетона вводилось в расчет в форме понижения температуры только на 5°, исходя из того соображения, что бетон в течение первых 2—3 мес. держали во влажном состоянии посредством обливания водой. Благодаря этому общая мера усадки несколько понижается, главным же образом замедляется темп усадки, и полная мера усадки может наступить только тогда, когда бетон уже достиг прочности на разрыв, существенно превышающей 28-дневную. Для полной водонепроницаемости напорная сторона покрыта двумя слоями торкретной штукатурки толщиной по 10 мм. Так как поверхность бетона благодаря жирной смеси оказалась очень гладкой, то ее до торкретирования взбороздили с помощью пескоструйного прибора. Хотя, как указано вы-



Фиг. 117. Общий план и фасад.

ше, температурные напряжения и были учтены в достаточной мере, но для предохранения от чрезмерного охлаждения заделанное напорное основание арок защищено с воздушной стороны низкой дамбой из камня, земли и торфа. Согласно имеющейся информации плотина за все время своего существования оказалась практически совершенно водонепроницаемой и сухой с воздушной стороны. В немногих местах замечаются волосные трещины слегка влажные, но

зонтالي. В горизонтальном разрезе арка представляет дугу круга с центральным углом в  $120^\circ$ . Кольцевая арматура для большей простоты конструкции уложена в горизонтальных плоскостях. Статический расчет в отношении напряжений, вызванных температурой и усадкой, базируется почти на тех же самых допущениях, как и в Суорве; зато давление льда принято согласно новейшим исследованиям гораздо меньшим — только  $20 \text{ т/м}$ , хотя здесь климат почти так-



Фиг. 118. Конструктивные детали арок

просачивания в среднем происходят не быстрее, чем испарение. Несколько явных трещин образовалось вследствие мороза, раньше чем бетон успел схватиться в этих местах.

В 1926 г. дирекция водных сил построила возле главного сооружения установки Норрфорс многоарочную плотину (фиг. 119 и 120) по тем же принципам, как и в Суорве. Так как в Суорве укладка бетона была довольно сложна вследствие сравнительно пологого наклона арок и так как засыпка на напорной стороне, предполагавшаяся там, оказалась излишней, то в Норрфорсе применили более экономичный наклон около  $60^\circ$  к гори-

же суров, как и в Суорве. Конструкция в общем очень схожа с примененной в Суорве, но замечается прогресс в том смысле, что вместо затяжек устроены распорки, которые посредством конструктивных швов (расположенных вразбежку в продольном направлении) отделены от арок, чтобы с уверенностью предупредить образование трещин, вызванных усадкой, какие, согласно информации с мест, в отдельных случаях замечались в Суорве.

Внутренняя часть контрфорсов и здесь не имеет арматуры, однако, кроме необходимой арматуры в ребрах жесткости на напорной сто-

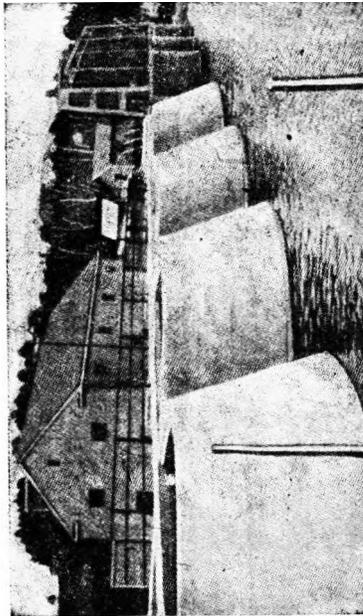


роне из конструктивных соображений заложены еще по несколько железных стержней как в подошву, так и по низовой грани контрфорсов.

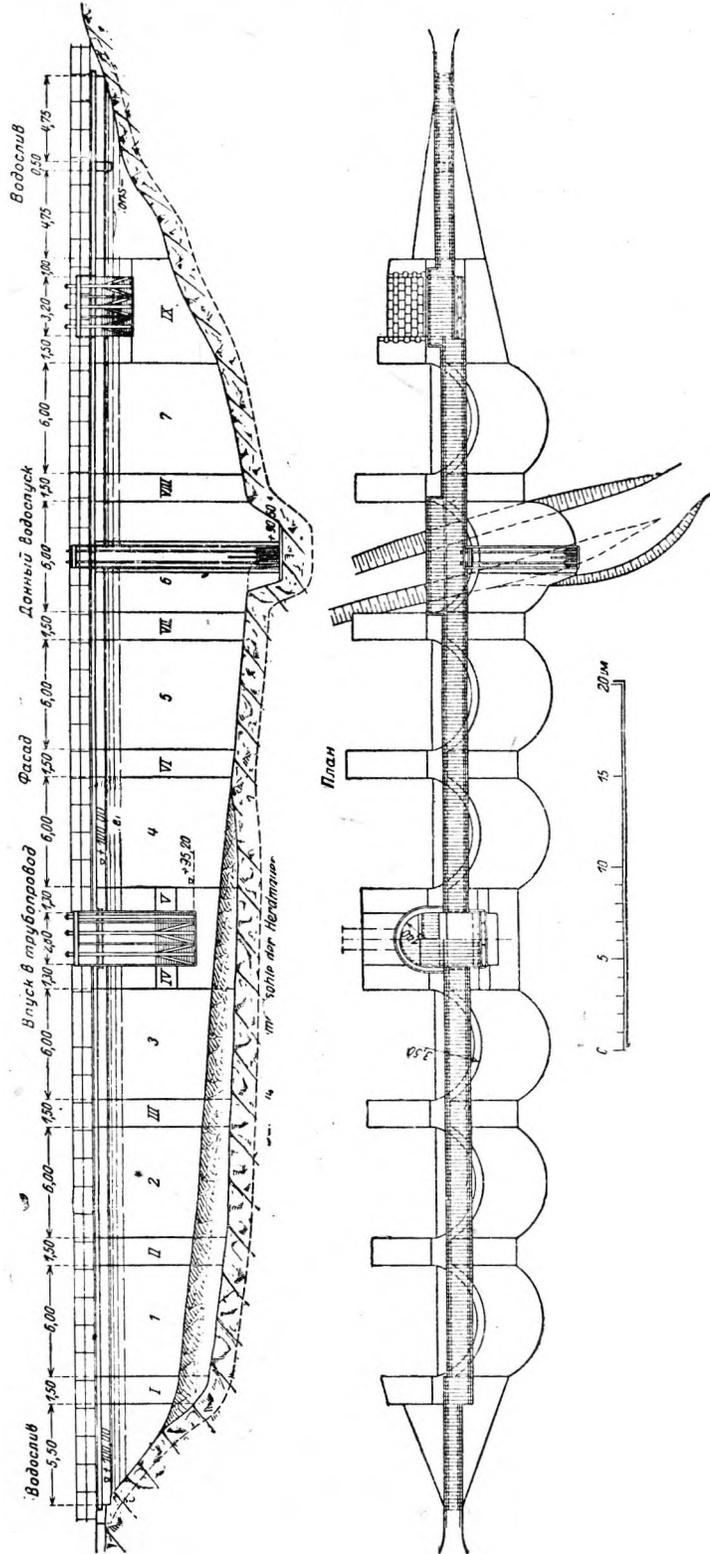
Кроме этих многоарочных плотин, построенных шведским Государственным управлением водных сил, можно еще упомянуть о плотине головного сооружения гидроэлектростанции Мельби в южной Швеции (фиг. 121, 122, 276). Длина 78 м, высота 8 м, наклон производящей арки 2 : 1 ( $63\frac{1}{2}^\circ$ ). Конструкция имеет очень мощную арматуру, арки заделаны в контрфорсы. Между контрфорсами нет ни затяжек, ни балок жесткости, что для таких низких плотин, пожалуй, всего рациональней. Основание арки и здесь защищено от чрезмерных температурных влияний земляной засыпкой.

В Норвегии и Финляндии на настоящее время многоарочных плотин еще не строилось, но разработано уже несколько крупных проектов. Среди них можно отметить проект плотины названного типа для силовой станции Аэнсире в южной Норвегии, одобренный экспертами. Мы приведем здесь только основы статического расчета. Климат там сравнительно мягкий, ввиду чего нормальными пределами температурных колебаний приняты:  $+20^\circ$  и  $-10^\circ$  С. Учи-

тывая возможность интенсивного действия солнечных лучей для верхней части стены на высоту 9 м приняты несколько более широкие пределы, а именно  $+25^\circ$  и  $-15^\circ$  С. Температура



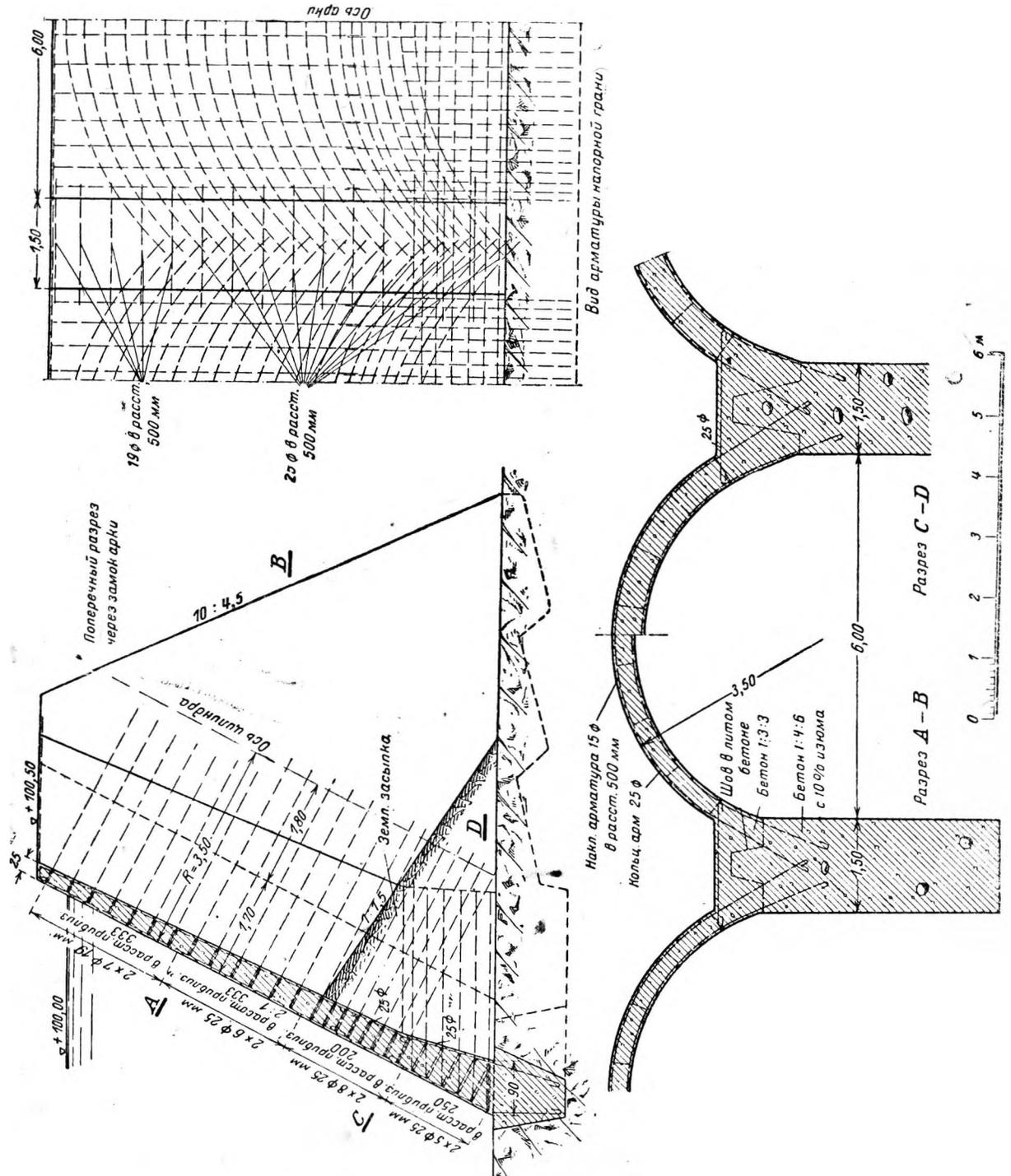
Фиг. 120. Порфорсен. Вид со стороны верхней бьефа.



Фиг. 121. Плотина Мельби. Фасад и план.

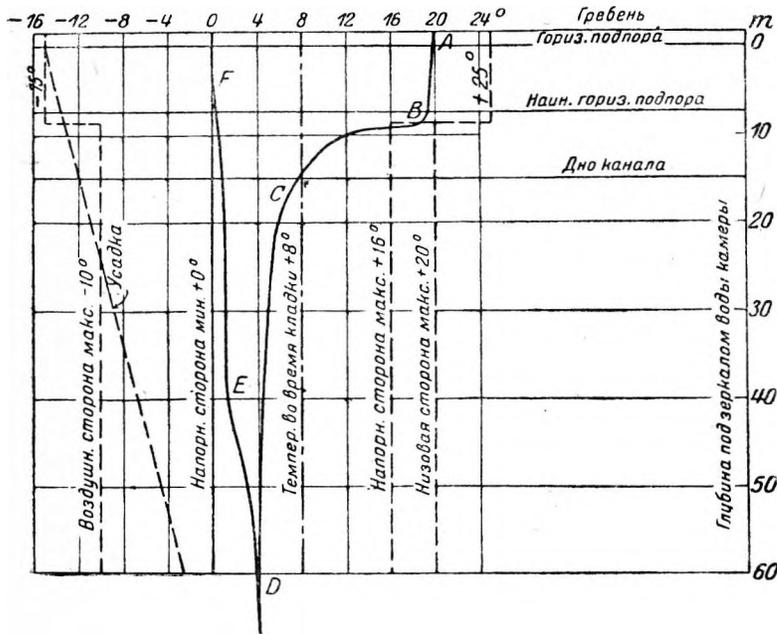
стройки принята равной  $+8^{\circ}$  С. Температуру воды определяли, исходя из следующих соображений: если бы плотина строилась непосредственно у оз. Лунден, то температура воды колебалась бы между кривыми *ABC* и *DEF* фиг. 123. Наиболее неблагоприятное предположение допускает, что только верхний слой воды притекает через водохранилище к силовой станции. Соответ-

ственно этому предположению предельными температурами при расчете принимались  $+16^{\circ}$  и  $-0^{\circ}$ . Зато температурные колебания, к которому приравнивается влияние усадки, принято существенно убывающим сверху вниз, так как нижняя часть арки с ее значительной толщиной схватывается и твердеет гораздо медленней тонкой верхней части. Допущенные благоприятные условия



Фиг. 122. Плотина Мельби. Конструктивные детали.

усадки предполагают постоянную влажность бетона в периоде схватывания. На том же чертеже, который воспроизводит действительные температурные условия оз. Лунден, нанесены графически



Фиг. 123. Плотина Аэнсире. Основы термического расчета.

все вышеприведенные допущенные условия температуры и усадки. С давлением льда для данной плотины считается почти не приходится и при расчете оно не учитывалось.

### § 6. Арочные плотины.

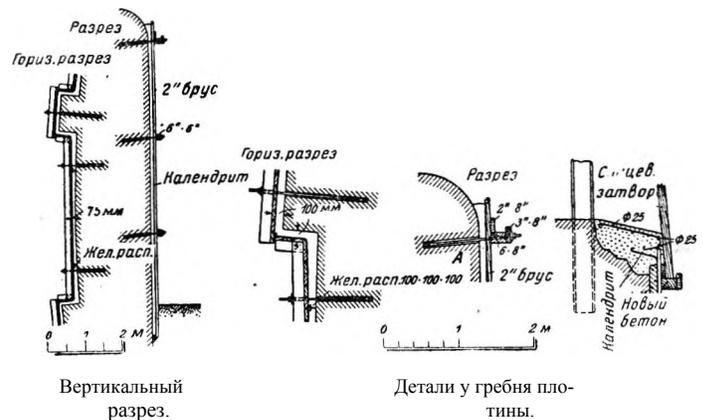
Плотина Гульеспонг в Швеции (область Гэтаэльва) является старейшей одноарочной плотиной на севере Европы. Арка с одной стороны упирается в естественную скалу, с другой стороны в массивную подпорную стену. Пролет арки 40 м, радиус 36 м. Конструкция имеет мощную арматуру только в своей верхней части; пропорция смеси здесь 1:2:3. Арматуре придана особая мощность, так как учтено действие заделки промежуточных бычков для щитовых затворов. Нижняя часть арочной стены не имеет арматуры; пропорция смеси 1:3:5. Плотина построена в 1907 г. Постройку вели при очень неблагоприятной погоде, и бетон скоро оказался недостаточно водонепроницаемым. В дальнейшем выщелачивание цемента продолжалось, и в 1921 г. пришлось приступить к обширному ремонту, причем применили следующий своеобразный метод: на напорной стороне примерно в 10 см от поверхности арки поставили опалубку, уплотненную каллендритом (род асфальтового картона) (фиг. 124, 125); пространство между ними залили цементным раствором, очень богатым водой; этот

раствор проник и в пустоты поврежденной бетонной кладки. Таким образом была достигнута полная водонепроницаемость. Предполагается и на воздушной стороне устроить оболочку из

армированного бетона таким же способом, причем опалубка будет сохранена, так как она защищает от холода.

Плотина Гидеабакк (фиг. 126—130) в северной Швеции построена в 1907—1908 гг. Это вполне современная арочная плотина. Так же как и в Гульеспонге, на гребень плотины поставлен сплошной ряд щитов между армированными и заделанными в арку бычками. Арка в основном сконструирована по принципу неизменного центрального угла, но по местным условиям пришлось значительно отступить от теоретически правильного центрального угла в  $134^\circ$ <sup>1</sup> и получились углы между  $74$  и  $78^\circ$ . Радиус оси арки колеблется между 21 и 29 м. Высота гребня над самой глубокой точкой основания 26 м, наибольший пролет арки около 40 м. Толщина арки возрастает с 2 и приблизительно до 5 м. Вся кон-

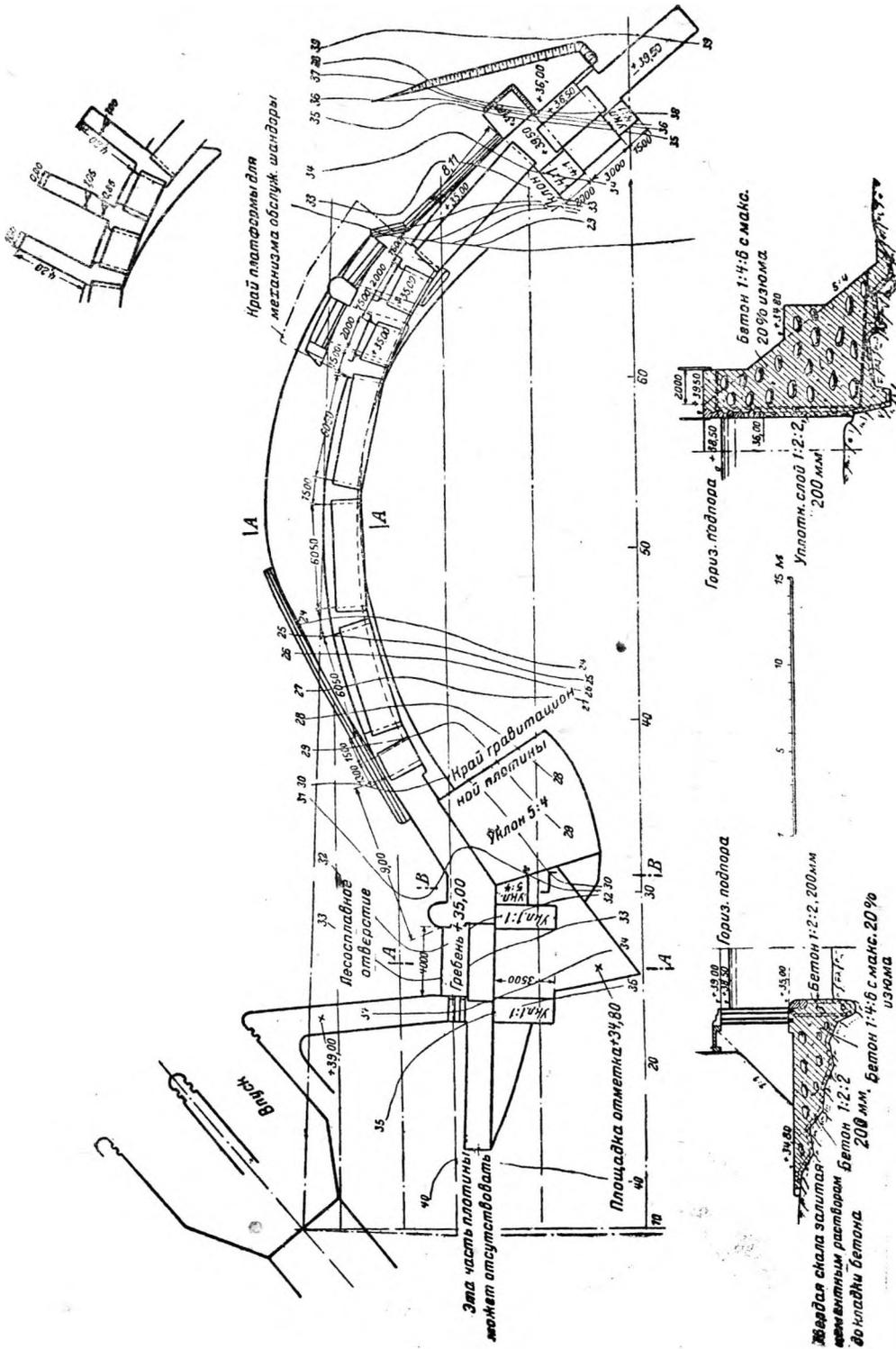
струкция, исключая фундаменты, имеет мощную арматуру. Из предпосылок статического расчета приведем только одну, а именно: давление льда в 15 т/м принято распределенным на верхние 4 м арки, но без равномерного распределения по высоте, а с эпюрой в виде треугольника, обчищенного вершиной книзу.



Фиг. 124—125. Ремонт арочной плотины Гульеспонг.

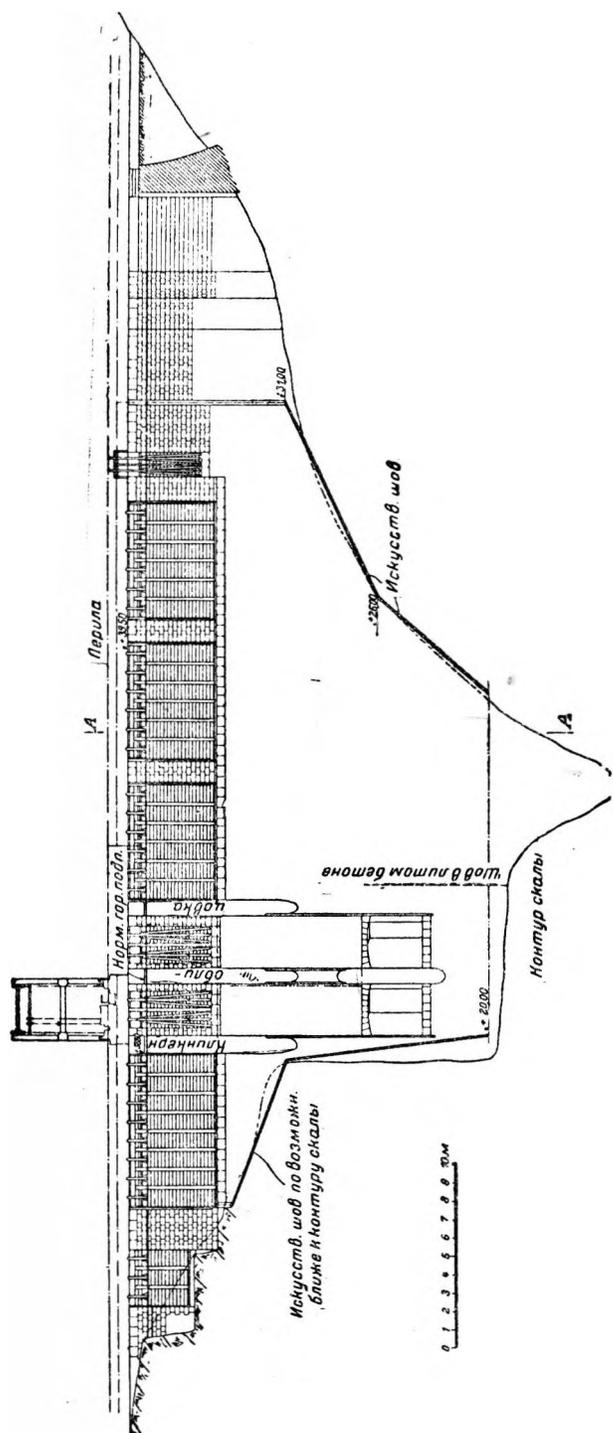
Так как казалось невозможным гарантировать совершенно надежную заделку в скалу, то решили устроить па напорной стороне вертикаль-

<sup>1</sup> О фактическом центральном угле, наиболее выгодном с точки зрения общей экономичности конструкции, см. Kelen, Staumauern, Berlin, J. Springer, 1926.



Фиг. 126—130. Плотина Гидебакк. План.

ные уплотненные швы, чтобы предупредить возможность образования вредных беспорядочных трещин. На воздушной стороне таких швов не устраивали, так как в основных случаях на-



Фиг. 127. Плотина Гидеабакк. Фасад с низи, бьефа.

шарнирная арка, но при армировании опять считались с фактической частичной заделкой. Пропорция смеси 1 : 3 : 4, вблизи поверхности — 1 : 2 : 2. Плотина Гидеабакк в конструктивном отношении интересна еще тем, что в отличие от многоарочных плотин она имеет дренаж (в предупреждение вредного всасывающего действия она наверху снабжена вентиляционными трубами). Кроме того, она уплотнена посредством зажелезненного слоя штукатурки.

На гидроустановке Норрфорс, где представлены все типы пустотелых и арочных железобетонных подпорных сооружений, имеется также арочная плотина, построенная Государственным управлением водопадов; эта плотина замыкает ложбину на острове Твэрен (фиг. 131—133). Максимальная величина пролета 48 м, максимальная высота сначала 11 м, впоследствии 16 м, радиус 30 м, центральный угол 106°, толщина арки от 0,45 до 1,2 м. При расчете арки и здесь исходили из различных колебаний температуры на различной высоте. Сравнительно тонкая арка (литой бетон 1 : 2, 6 : 2, 6) сильно армирована и на напорной стороне покрыта торкретной штукатуркой в два слоя толщиной по 10 мм. Основные плотины на воздушной стороне защищены земляной подсыпкой высотой 2 м. Во время стройки предупреждали возникновение напряжений усадки, возводя арку тремя самостоятельными секциями, отделенными друг от друга швами шириной 1 см. Эти швы залили три месяца спустя, после того как уже успела сказаться усадка, и кладка простояла несколько недель при температуре 0° С.

Наибольшее растягивающее напряжение (собственный вес, давление воды, температура от +15 до —8° С) определено расчетом 28 кг/см<sup>2</sup>, максимальное сжимающее напряжение в арочных кольцах — 37 кг/см<sup>2</sup>, в элементах подпорной стены — 63 кг/см<sup>2</sup>.

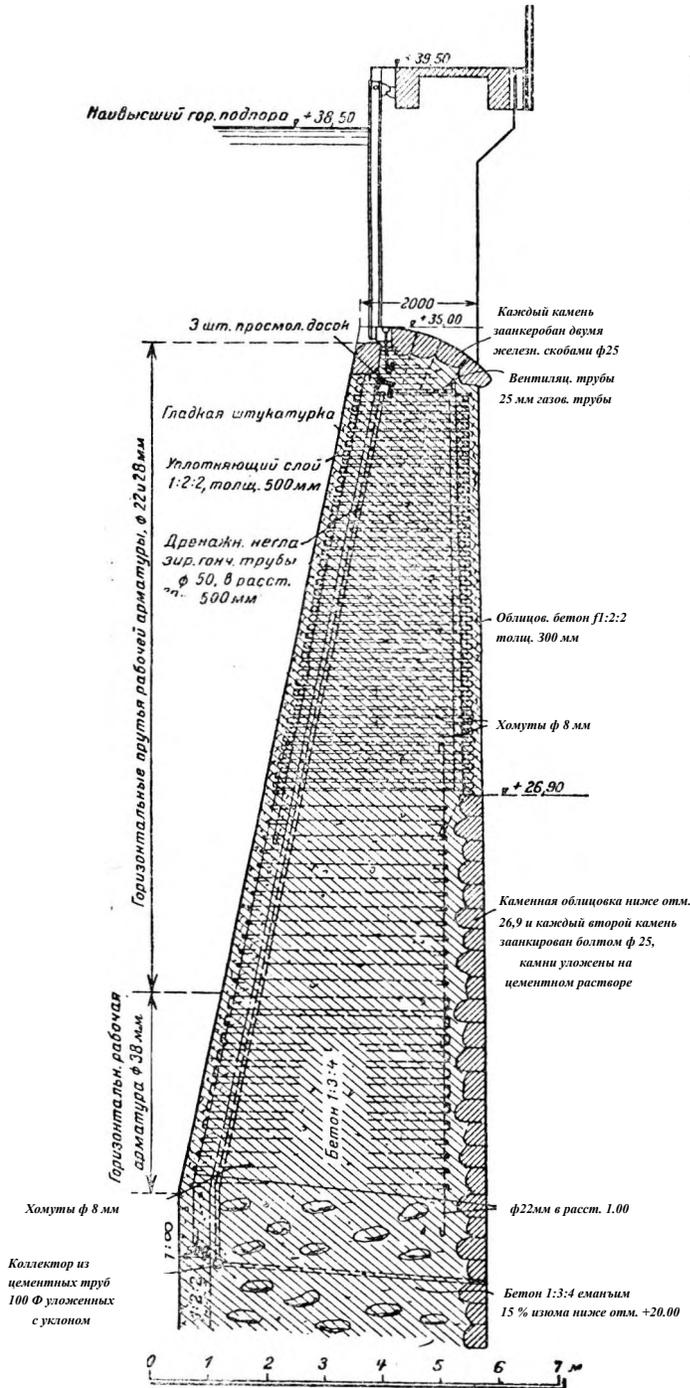
В Норвегии арочные плотины построены в двух местах. Одна — в области Скиен (плотина Аарлифосс). Так как здесь проектировался пальцевый затвор значительного пролета в свету, то глухой части плотины пришлось придать центральный угол исключительно малый с точки зрения статической прочности; кроме того, пришлось построить вторую арку с горизонтальной производящей для поддержания порога водослива. Тот факт, что, несмотря на эти удорожающие детали, плотина этого типа оказалась все-таки дешевле массивной гравитационной конструкции, говорит в пользу высокой экономичности арочного типа (фиг. 134).

Другая арочная плотина регулирует горное озеро в области Саудефальдене (построена летом 1924 г.). Высота ее 10 м, радиус гребня 15,5 м, пролет 25 м, центральный угол 110°, максимальный пролет 25 м. Толщина железобетонной арки от 0,5 до 0,8 м. Плотина построена

грузки здесь возникают сжимающие напряжения. Таким образом конструкция является чем-то средним между двусторонне защемленной и двухшарнирной аркой. Рассчитывалась она как двух-

инж. Гренером и оказалась совершенно водонепроницаемой.

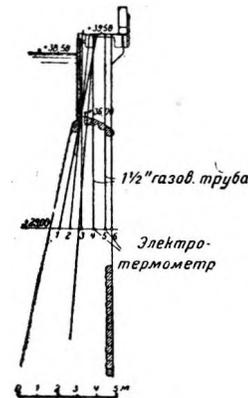
Этим исчерпывается перечень арочных плотин на севере. Из проектов можно назвать проект плотины для озера Сакарля в области Тафиорда (Норвегия), постройка которой еще не санкционирована, и проект плотины Харепронгет, составленный Государственным управлением водопадов (Швеция); максимальная высота 35 м.



Фиг. 128. Плотина Гидеабокк. Поперечный разрез.

В заключение несколько слов о принципах расчета пустотелых плотин, построенных на севере. Мы видели, что в большинстве случаев приходится учитывать очень сильно различающиеся предельные температуры. Эти пределы можно значительно сузить, если для изоляции устраивать на напорной стороне подсыпку (имеющую, впрочем, свои особые практические недостатки) или ставить на воздушной стороне предохранительную стенку. Другая особенность расчета, которой мы уже коснулись, — учет давления льда. Здесь приходится устанавливать большие различия. В Порьюсе давление льда приняты во внимание косвенно, но с достаточным запасом, устанавливая низкие допустимые напряжения; в Суорве в основу клали 60 т/м, в новейших арочных плотинах Гидеабакк и Норрфорс, на основании более современных исследований (см. ниже) приняты значительно меньшие нагрузки — 15 и 20 т/м. Наконец, в пустотелой плотине с плоской напорной плитой в Норрфорсе совершенно не считались с давлением льда и применили новое устройство, предупреждающее льдообразование; это устройство, с одной стороны, служит паровым отоплением (фиг. 135, 136 и 137), с другой — облегчает обслуживание спицевых затворов (в дальнейшем его применили в Порьюсе). Это — по образцу плотины Кеокук на Миссисипи — система пневматических труб с небольшими соплами; с помощью этой системы выдувают воздух под водой непосредственно перед верхней частью напорной плиты и тем вызывают вертикальную циркуляцию воды, предупреждающую замерзание.

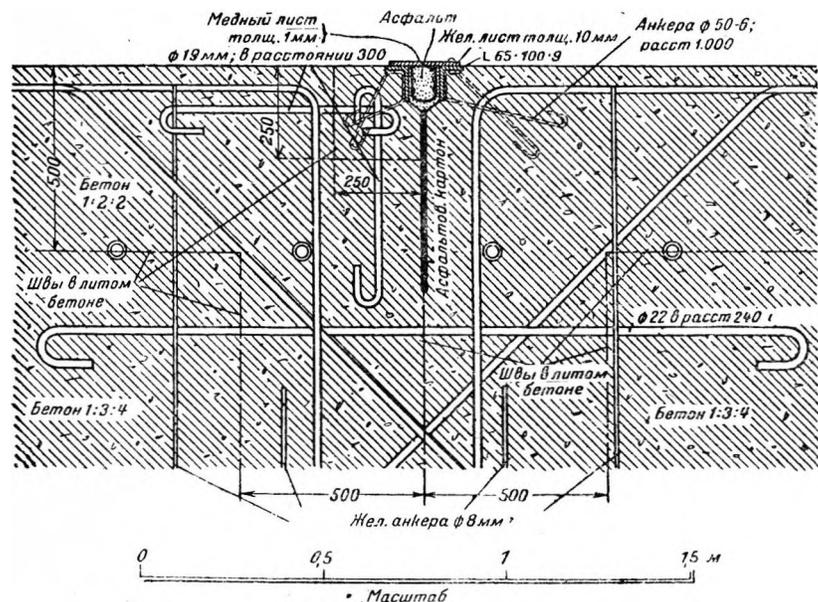
В Норрфорсе производились также опыты с двумя вертикальными пластинками, опускаемыми в лед на расстоянии 10 мм и нагреваемыми электрически. В 1928 г. это само по себе очень эффективное устройство еще не было окончательно испытано.



Фиг. 129. Плотина Гидеабакк. Расположение термометров (термопар).

Описанные большие арочные плотины Швеции, о которых речь была выше, расположены все в особенно суровом Норрланде; во многих других областях северной Европы давления льда либо не наблюдается вовсе, либо оно наблюдается в очень незначительных размерах (ср. плотину Аэнсире).

Данные о величине расчетного давления льда (в общемировом масштабе) до недавнего прошлого колебались в очень широких пределах (между 70 т/м и нулем). Одной из заслуг управления водных сил Швеции является поощрение исследований для выяснения этого вопроса. Ройен,



Фиг. 130. Плотина Гидеабакк. Пяты арки.

который проводил эти исследования и использовал их результаты наряду с трудами других исследователей, дал в статье, приуроченной к юбилею Гензена, стройную теорию давления льда, в которой приняты во внимание, с одной стороны, сопротивление кристаллического льда сжатию, его прочность на продольный изгиб и упругость, а с другой стороны, главным образом, его пластичность, как функция напряжения, сжатия, температуры и продолжительности таяния, далее, его теплоемкость и теплопроводность. Ройен приходит к очень важному выводу, что возникающее при самых невыгодных условиях давление льда не может превышать 30 т/м при толщине льда в 1 м и 22 т/м — при толщине 0,75 м (тогда как сопротивление льда сжатию в направлении поперек зеркала воды определилось в пределах между 450 и 800 т/м<sup>2</sup>)<sup>1</sup>.

В вопросе оценки допустимых напряжений

<sup>1</sup> В настоящее время опубликованы новые исследования в этой области, принадлежащие инж. Комаровскому, в которых сделан дальнейший шаг в направлении изучения действия льда на сооружения.

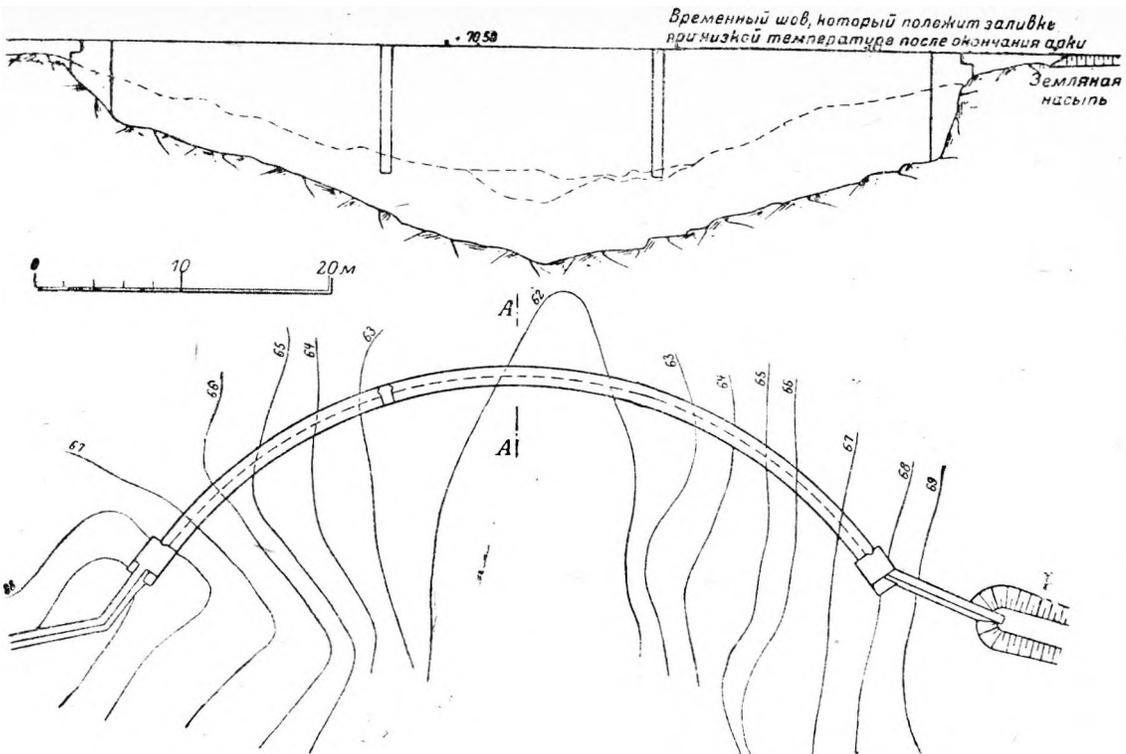
бетона за среднее десятилетие замечается значительная эволюция: кровлеобразная водосливная плотина Порьюс (фиг. 106) рассчитывалась лет 20 назад как чисто бетонная конструкция, причем допустимое напряжение сжатия бетона принималось равным 20 кг/см<sup>2</sup> без учета арматуры, считавшейся только конструктивной мерой предосторожности. Пропорция смеси была 1 : 3 : 5. Такой запас прочности был вполне обоснован при тогдашнем уровне статики, конструктивной техники и, главным образом, методов стройки пустотелых бетонных плотин (на крайнем севере). При нынешних успехах в методах

расчета действительных напряжений, главным образом, вызванных усадкой и колебанием температуры, уже нет никаких оснований допускать более низкие напряжения, нежели в других железобетонных сооружениях, а тем более, совершенно не учитывать влияние арматуры. Если принимать во внимание все, даже наиболее невыгодные комбинации нагрузки и температуры, то, по-видимому, можно, с полным правом пойти даже дальше и допустить для сравнительно мало вероятных условий, в худшем случае продолжающихся очень недолго, более высокие напряжения, нежели допускаемые нормально (ср. основания расчета плотин Суорва). В арочных плотинах Норрфорс и Гидеабакк также допущены для различных условий на-

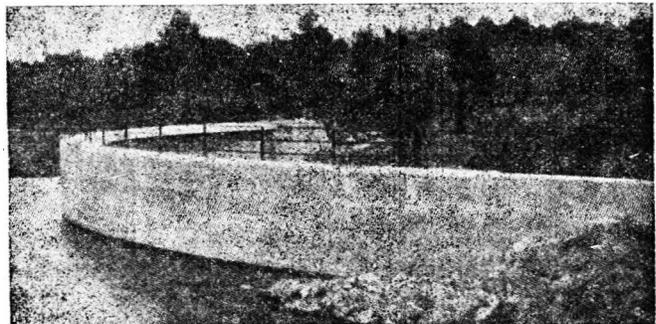
грузки различные напряжения. В Норрфорсе напряжение бетона при самых невыгодных условиях принято равным 63 кг/см<sup>2</sup>, растяжение арматуры равным 1 500 кг/см<sup>2</sup>. В Гидеабакке напряжение сжатия бетона принято равным 60 кг/см<sup>2</sup>, растяжение арматуры — равным 1 800 кг/см<sup>2</sup>.

Исходя из той неизбежной предпосылки, что основы статического расчета строго соблюдены при конструктивной проработке проекта и при процессе строительства, можно считать, что вышеприведенные допускаемые напряжения не отзываются на безопасности сооружения в невыгодном смысле. С другой стороны, излишние и слишком повышенные требования безопасности искусственно тормозят применение в области плотиностроения таких методов, которые уже давно приобрели право гражданства в других областях строительства арок.

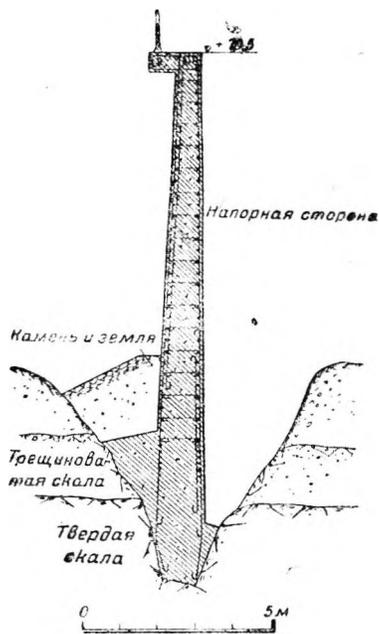
Некоторые исследования открывают новые перспективы для будущего, например, относительно влияния изменения окружающей температуры на условия температуры и напряжений



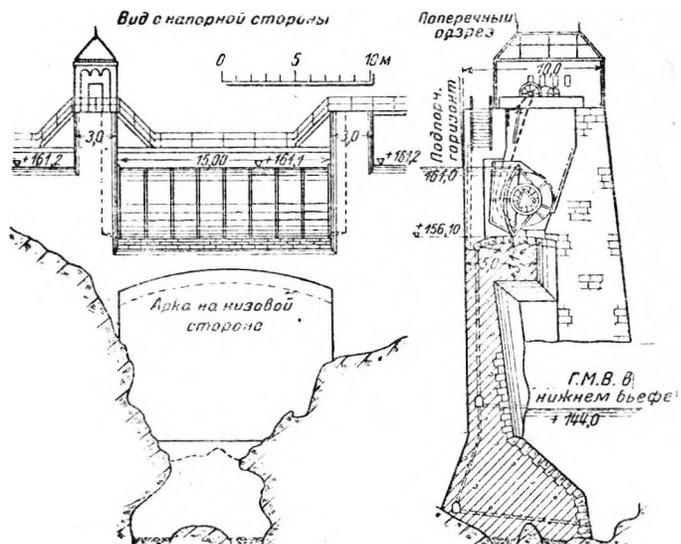
Фиг. 131. Фасад и план.



Фиг. 133. Вид со стороны верхнего бьефа.  
Фиг. 131—133. Норрфорсен. Арочная плотина.

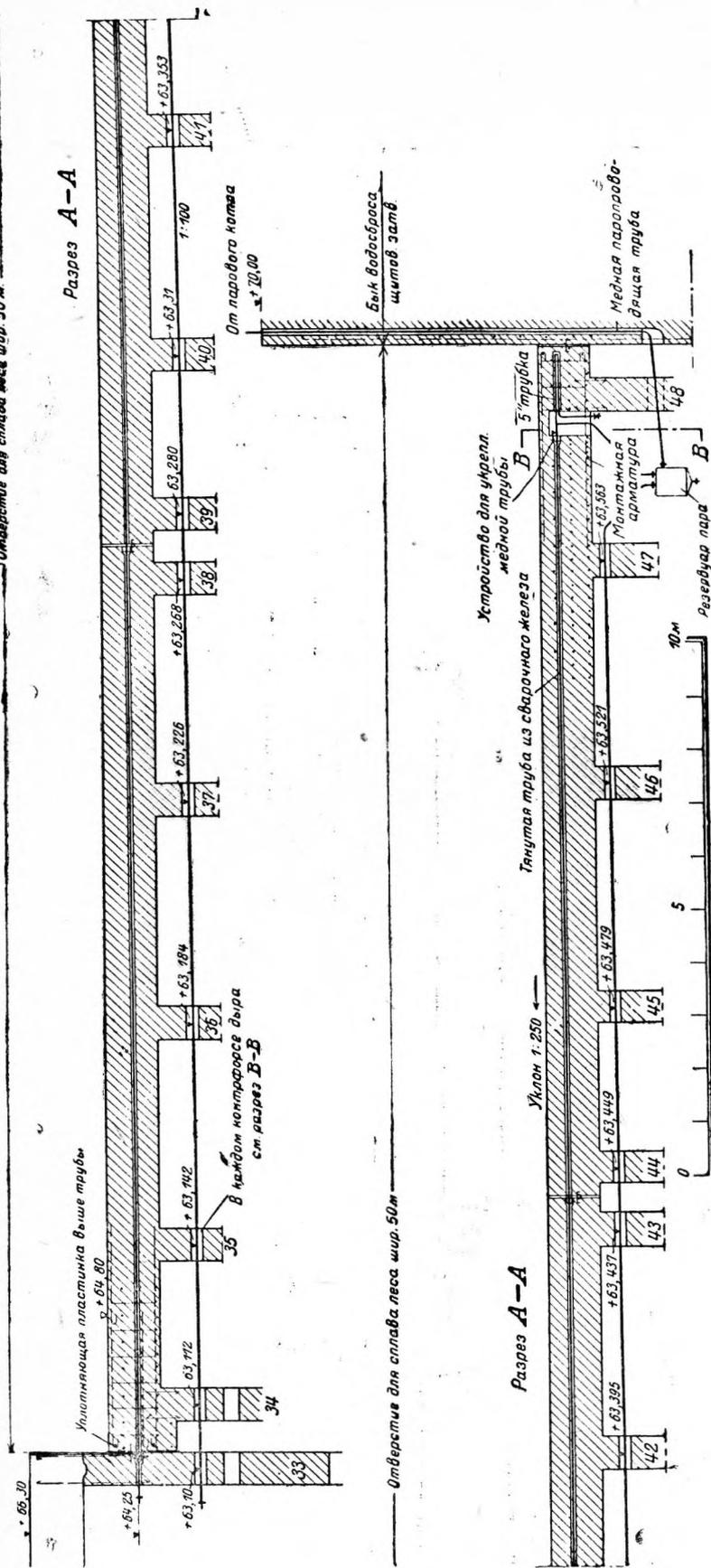


Фиг. 132. Разрез.

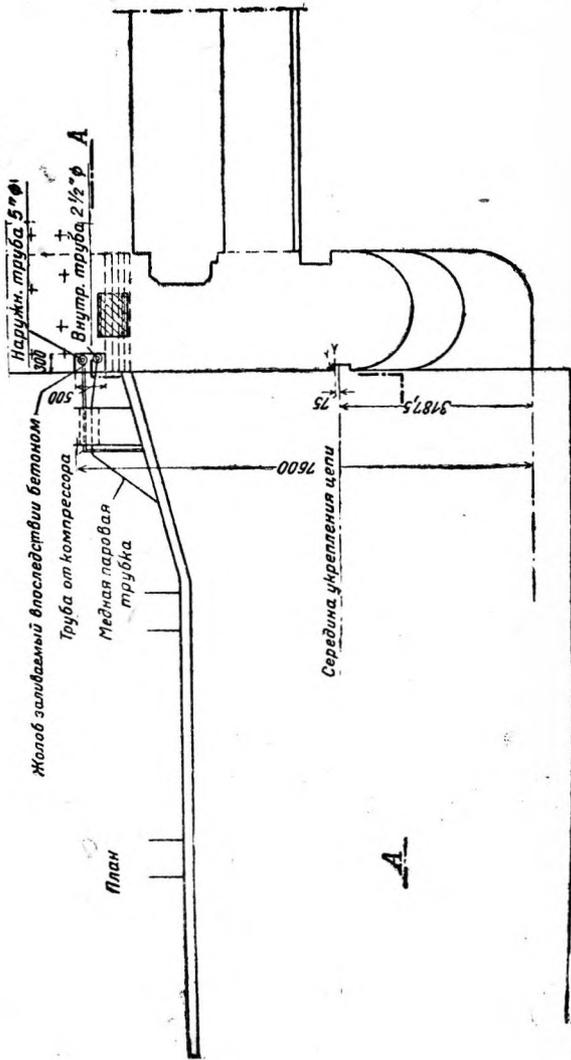


Фиг. 134. Ларлифоссен. Фасад и разрез плотины.

Отверстие для сплава леса шир. 50 м.



Фиг. 135. 1. Табл.



Фиг. 136. Деталь

Abb. 665.

Фиг. 187. Деталь.

внутри арок<sup>1</sup>, относительно температурных изменений в бетоне<sup>2</sup> и относительно деформации скалистого основания плотин<sup>3</sup>.

Упомянем вкратце и о сифонных водосливах. Их на севере немного, но зато они значительны по своим размерам. Старейшая и самая крупная конструкция — железобетонная батарея из 7 сифонов, построенная Греготти у впуска в канал Кикельсруд; она пропускает 250 м<sup>3</sup>/сек при напоре 7,5 м. Более новая конструкция — сифонный водослив в долине Фьерген (фиг. 112).

#### БИБЛИОГРАФИЯ.

1. Bo Hellström, Recent Swedish Arch, Dam Designs «Труды Лондонского конгресса», т. II, стр. 667.

2. Sundblad u. P l a s s, Construction of Dams of the Norrfors Power Plant in Sweden, «Труды Базельского конгресса», № 29.

3. Плотины Суорви, официальный отчет Строительного бюро Государственного управления водопадов.

4. Fredrik Vogt, Über die Berechnung der Fundamentdeformationen, Осло 1925.

5. Силовая установка Форсхувудфорсен (Mauritz Serrander u. Gottfried Berg в Svenska Vattenkraftföreningens Publikationer, 1925).

6. Конструкция, возведение и содержание высоких подпорных сооружений в Швеции (Ekwall-Stockholm в Svenska Vattenkraftföreningens Publicationer, 1928).

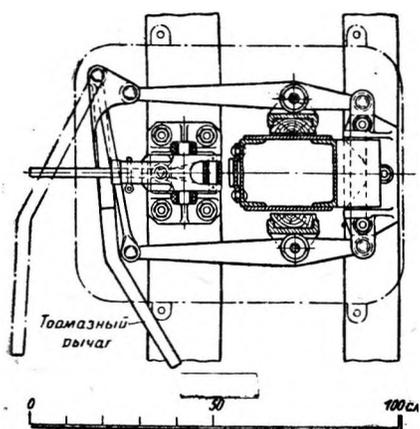
7. Bergvall-Hallström, Om temperaturvariationer och temperatur Spänningar i betongkonstruktioner, Stockholm, № 121 1921.

### Глава III.

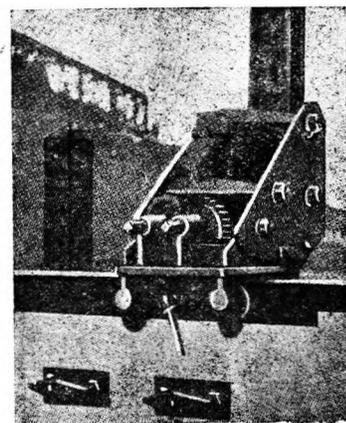
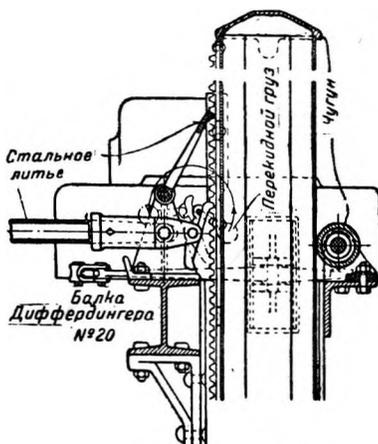
#### ЗАТВОРЫ.

Старые, обычные на севере срицевые затворы, уже редко отвечают требованиям современного

Особенно подходящая область применения этих более старых конструкций — это на многочислен-



Фиг. 138. Рычажный подъемник для щитов на плотине Торсебро.



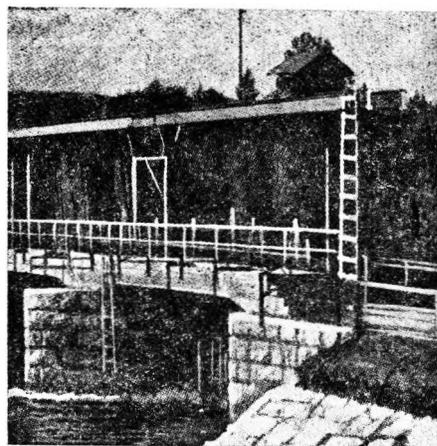
Фиг. 139. Плотина с "крестьянским затвором" и передвижным мотором.

водного хозяйства крупного масштаба. Это в особенности относится к большим рекам, с их большими массами льда и сплава леса. Эти старые дешевые конструкции применяются при новом строительстве только на незначительных водостоках, иногда с современными, хорошо продуманными усовершенствованиями, например, крестьянские щиты, прежде передвигавшиеся с помощью простых железных подъемных штанг, теперь чаще всего поднимаются с помощью небольших лебедок или кранов, устроенных наподобие передвижных тележек (фиг. 138, 139, 140, 187, общее расположение — см. фиг. 121, 126—128, 141).

<sup>1</sup> Berwald-Hallströmu. Sveyn N y c a n d e r «T.T.V.o.V.» № 11, 1916.

<sup>2</sup> Крейгер в статье, опубликованной в монографии к юбилею Ганзена, 1922 г.

<sup>3</sup> Фогт в «Трудах Северной академии наук в Осло», 1925.



Фиг. 140. Плотина выше Гидебакк с „крестьянскими затворами“, регулирующая озеро.

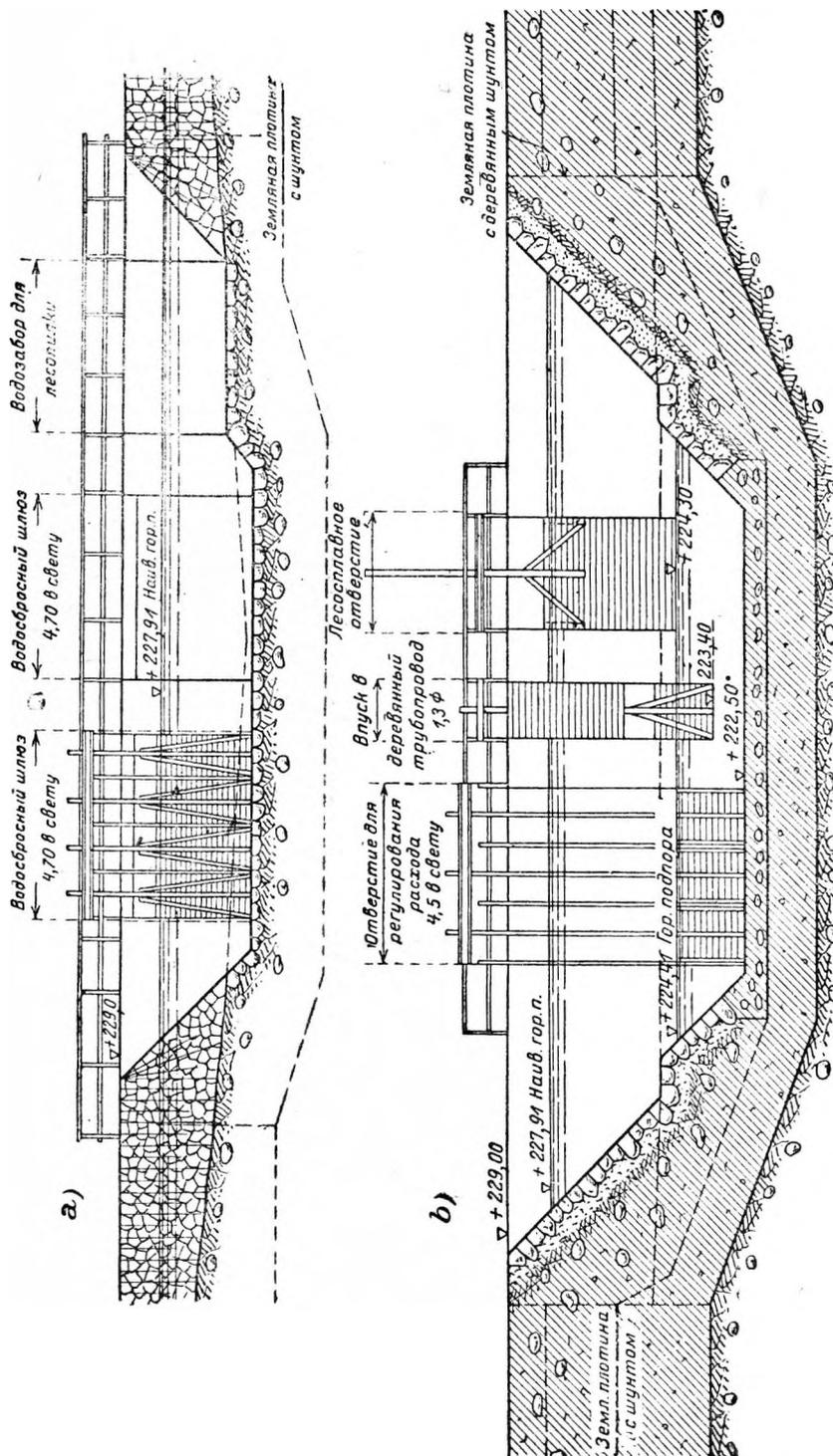
ных мелких установках для регулирования озер, где, с одной стороны, не предъявляется таких высоких требований в смысле поспевания за быстрым ростом паводков и в смысле водонепроницаемости, как на реках, а с другой стороны, необходимая, в силу природных условий, большая длина замыкающего сооружения, часто невысокого, вынуждает к особой экономии.

Современные спицевые затворы применяются, впрочем, иногда и для плотин силовых станций на более крупных реках, но только в соединении с более крупными щитовыми или вальцовыми затворами, которые выполняют задачу суточного регулирования.

Так, например, плотина Норрфорс,

длинная регулирующая как и плотина Порьюс (фиг. 142), снабжена согласно проекту шведского Государственного управления водопадов расположенными по гребню спицевыми затворами. В обеих установках интересна экономичная конструкция складных ферм, штампованных из стальных листов. Многочисленные круглые пробитые дыры диаметром около 10 см уменьшают вес ферм, и сопротивление их движению в воде. Своеобразно приспособление для опускания и установки ферм с помощью кабельного крана (фиг. 143, 144, 145). Другая плотина с спицевыми затворами и складными фермами современной конструкции расположена у «Вильгельмины» в северной Швеции (фиг. 146, 147).

Для повышения подпора в Снилсаватне (175 м над уровнем моря) на 2 м в целях регулирования расходов Тайфборда (Норвегия) применено существенное усовершенствование: именно исключены промежуточные фермы и устроена между двумя массивными быками свободно висящая опора для спиц. Здесь только быки и устои плотины основаны на скале, флютбет же плотины и нижняя опора для спиц сконструированы в виде свободно висящей железобетонной балки: верхняя опора для спиц — двутавровая балка с уширенными полками. Против фильтрации под порогом флютбета в моренный грунт запущена бетонная шпора. Малая глубина заложения этой



Фиг. 141. Плотина, регулирующая озеро Амунген (Датэльв).

шпоры делает всю конструкцию несколько рискованной; тем не менее, она, по-видимому, оправдала себя (на опыте четырехлетней эксплуатации).

Схожая конструкция, однако, не для речной плотины, а для запасного затвора канала, находящегося на Тролльхэттанской установке: здесь устроены щиты Булэ на свободно переставляющихся стойках и ригелях.

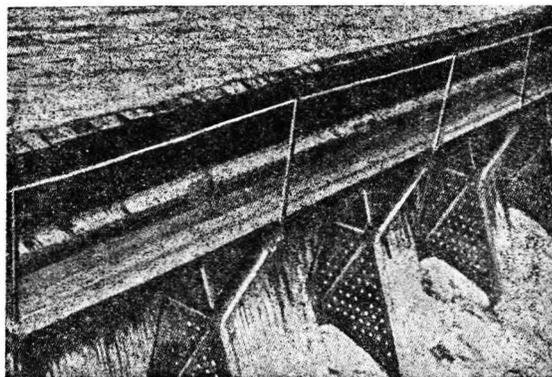
В новейших конструкциях опоры для спиц связаны с подъемным или поворотным мостом; преимущество то, что при подпоре опорная конструкция может располагаться ниже уровня высоких вод, особенно при подъемном устройстве. При постройке в 1927 г. установки Кронгфорсен Бюро гидротехнической консультации предложило проект спицевой плотины с вращающейся вокруг продольной оси и подвешивающейся опорой для спиц (фиг. 148). Для установки Хаммарфорсен названное бюро спроектировало для трех отверстий плотины, которые впоследствии намечалось снабдить Катковыми щитами, временные спицевые затворы с подъемной, достаточно прочной против скручивания, опорой для спиц. При последующем поднятии подпора на 1,60 м и после установки щитов нынешний мостик, поднятый на 2,5 м, будет служить опорой для запасного затвора (фиг. 149, 150, 151).

Помимо таких конструкций, со сравнительно ограниченной сферой применения, общая эволюция на севере шла по линии применения более крупных затворных органов значительной ширины в свету и нередко значительной высоты — по образцу средней Европы, главным образом, Швейцарии и Германии. Таким образом мы встречаем по преимуществу большие железные щиты с катками, прикрепленными к щиту или независимыми от щита, секторные и сегментные затворы и главным образом вальцевые затворы системы MAN. При этом, однако, не довольствовались простым заимствованием образцов, но самостоятельно развивали их в целом или в деталях, с особым уклоном в сторону возможной экономичности конструкции и особенно в сторону учета специфических северных затруднений, вызываемых льдом.

При сильном морозе из водяных брызг образуется лед, особенно в пазах промежуточных стоек и быков, так же как и на поверхности переливающейся воды (фиг. 153, 152). Скользящие щиты и уплотняющие бруски примерзают к опорным железным частям, катковые рамы современных больших щитов покрываются льдом. Открытые образования льда, препятствующие движению щитов, легко можно удалить с помощью ломов, труднее выбивать лед из пазов, из-под щитов и т. д. Первые опыты над большими щитами на севере были произведены в Тролльхэттане. Попытки направлять пар с помощью подвижной трубки из специально установленного котла на заледенелые места пришлось оставить, так

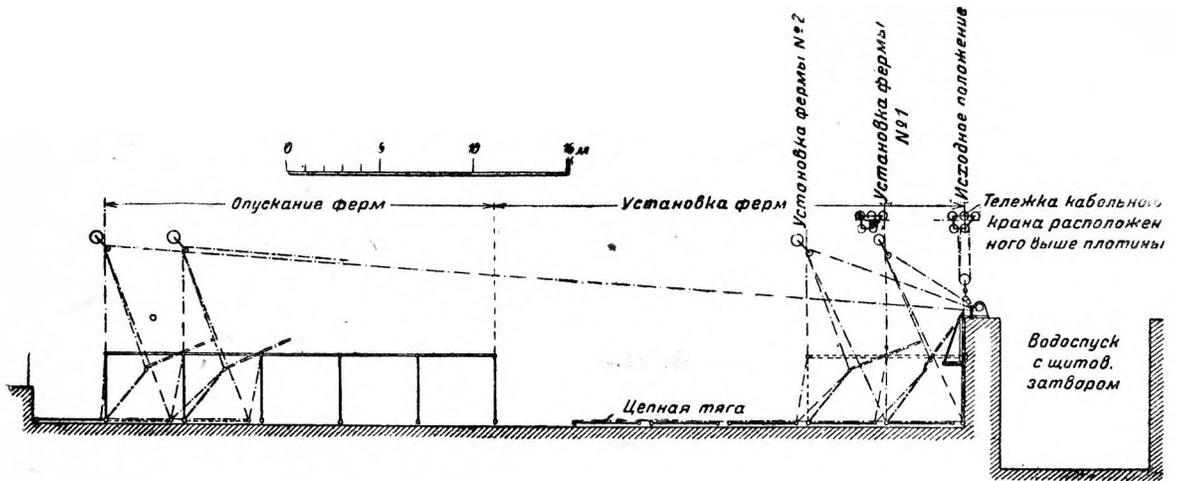
как они не обещали успеха. Поэтому современные щитовые плотины снабжают хорошо доступными нишами достаточной глубины, чтобы повсюду можно было проводить горячую воду или пар для разрыхления льда. Поверхности скольжения уплотнения чаще всего обогревают электрически. Чтобы предупредить обледенение напорной верховой поверхности щита, воздушную низовую сторону его защищают деревянной обшивкой от действия холодного воздуха, а получающееся благодаря этому закрытое пространство обогревают коксовыми или электрическими печами.

В остальном, однако, при возможности сильных морозов предпочитают вальцевые затворы

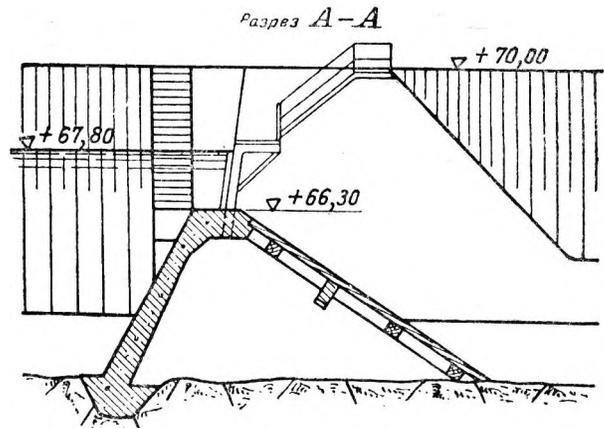
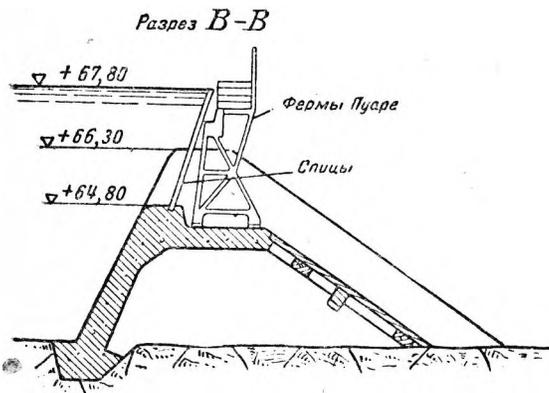
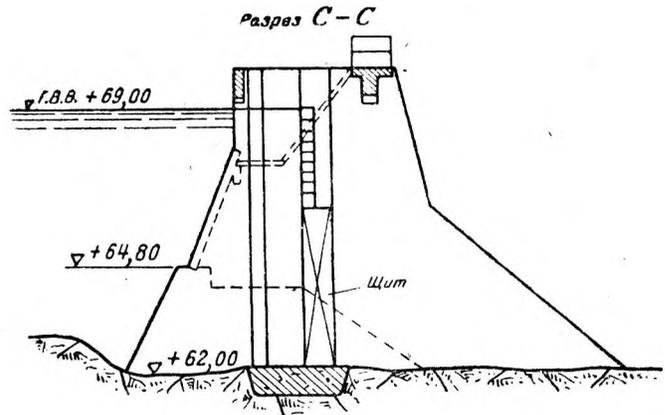
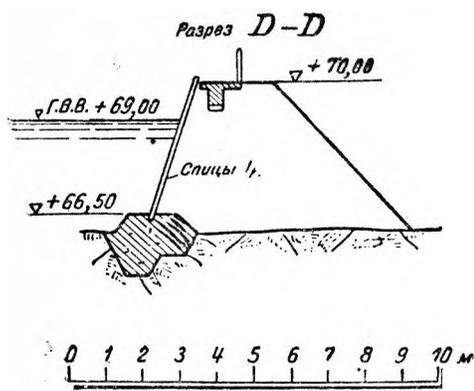


Фиг. 142. Порьус. Фермы спицевой плотины, штампованные из листовой стали.

(а в последнее время — сегментные и секторные), после того как в Эпсо (Финляндия) и позднее в Тролльхэттане вальцевые плотины, построенные с принятием вышеуказанных мероприятий, блестяще себя оправдали. С помощью коксовых печей, свободно подвешенных внутри вальцев, проводки пара, горячей воды или нагретого воздуха из силового здания (Форсхувуд) и посредством околки ломом удаётся удалить лед до приведения вальца в движение в течение каких-нибудь 2 час. Зубчатым ободам и рейкам придают такой профиль, чтобы лед легко выдавливался, а современные уплотняющие бруски уменьшают количество у водяных брызг; остальные затруднения преодолевались с помощью электрического нагрева обшитых железом уплотнений быков (изобретение инж. Хольмгрена в Тролльхэттане). Первоначально в Тролльхэттане применили одежду из чугунных плит, в которых были оставлены каналы (через них предполагалось проводить горячую воду, по эта мера себя не оправдала). Затем, в эти каналы вставили хорошо изолированные термоэлементы, которые питали переменным током в 110 или 190 У, меняя порядок включения, что позволяло достигать четырех ступеней эффективности и нагревать по мере надобности только определенные части



Фиг. 148. Норрфорсен. Спицевая плотина (Поаре) и устройство для подъема фермы.



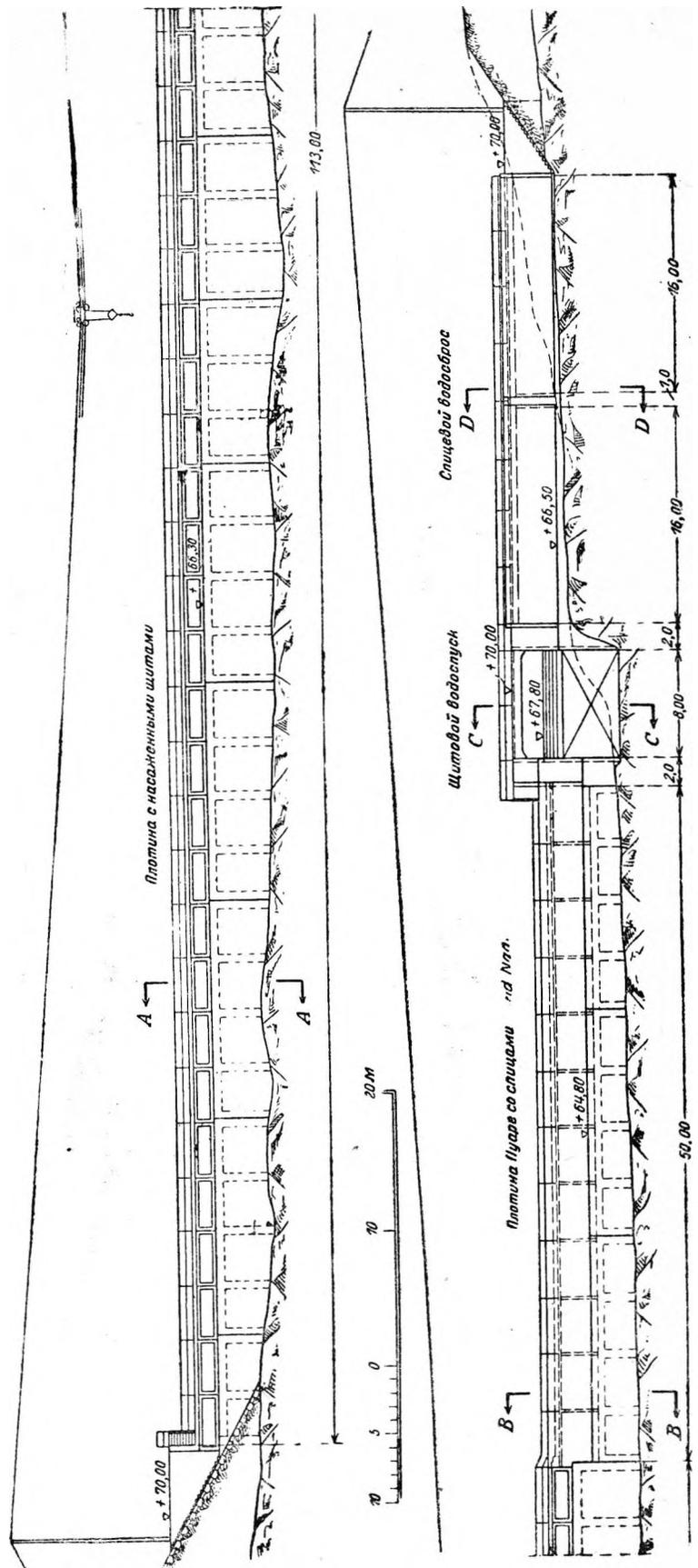
Фиг. 144. Норрфорсен. Разрезы.

упорной плоскости (у зеркала воды или выше). С помощью этого устройства оказалось возможным держать упорную плоскость свободной от льда при температуре воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  и при ветре, с расходом энергии в  $1,7 \text{ kW}/\text{m}^2$ . Элементы состоят из хромоникелевой проволоки  $0,35 \text{ мм}$  со слюдяной изоляцией между плоскими железными пластинками и в новейших конструкциях их можно сменять из ниши. Все новейшие северные вальцевые затворы оборудованы приборами для электронгрева. В Эльварлеби и Порьюсе железную обшивку кладки сконструировали в виде элемента нагрева, разделив ее на две изолированные полосы от 30 до  $46 \text{ см}^2$  в поперечном разрезе (фиг. 155, 156), которые будучи включены последовательно, образуют электрическую цепь. От установленного у плотины трансформатора ток поступает с напряжением 13, 15 и или 17 V, что соответствует мощности его 22,5; 30;  $38,5 \text{ kVA}$ . В обоих случаях это устройство вполне себя оправдало; даже совершенно замерзшие вальцы можно с помощью указанных устройств привести за 2 часа в полную готовность к движению.

С спицевыми затворами возникло то осложнение, что лед, примерзающий к спицам в верхнем бьефе, при поднятии горизонта воды приподнимает спицевую стенку и открывает отверстие. Поэтому у таких затворов, а учитывая давление льда и у других затворов с плоской вертикальной напорной поверхностью, лед стараются окалывать, прорубая ледяную кору или нагревая ее пневматическим способом (впервые этот способ применен в Кеокук, Соединенные Штаты).

Для характеристики тяжелых северных условий эксплуатации приведем выдержку из годового отчета городской электростанции Скельфтео за 1923 г.:

«В начале ноября 1923 г. сильный мороз и обильный снегопад вызвали необычайно интенсивное скопление льда и шуги в водохранилище гидроустановки Финнфорсен. Плавающие запаны были прорваны, и верхний бьеф плотины запол-



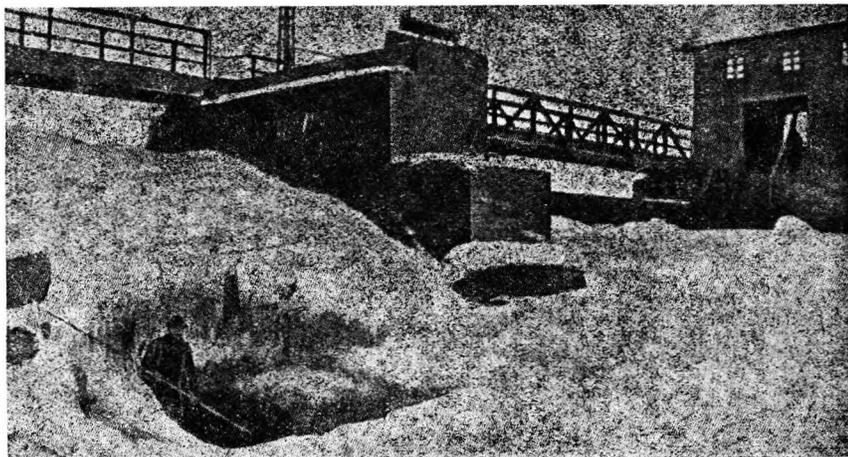
Фиг. 145. Норрфорсен. Вид плотины.



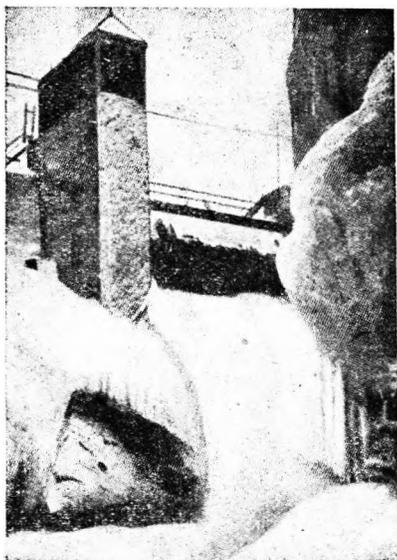
нился шугой, частично также и голова штольни. Сильное давление отдельных плавающих тел на шарниры затвора «Бэртреп» заставили последний захлопнуться. После понижения уровня воды верхнего бьефа, усилившееся благодаря этому течение нанесло такие мощные массы льда и шуги, что эксплуатацию уже нельзя было поддерживать, и работу всей установки пришлось приостановить с 10 до 16 час. для освобождения водозабора. Толстый слой донного льда еще в течение двух недель чрезвычайно затруднял эксплуатацию. После этого отверстие плотины было закрыто шпунтом, и с большой затратой времени и денежных средств поставили новый секторный затвор, который хорошо оправдал себя впоследствии».

Что касается больших щитовых конструкций, то бросается в глаза редкое применение статически определенных щитов большого пролета на катках (колесах), прикрепленных к щиту; двойные щиты избегают применять ввиду их неудобства в условиях сильного льдообразования и лесосплава; кроме того, регулируемая высота подпора обычно бывает незначительна. В отношении больших щитов с катками, не связанными со щитом,

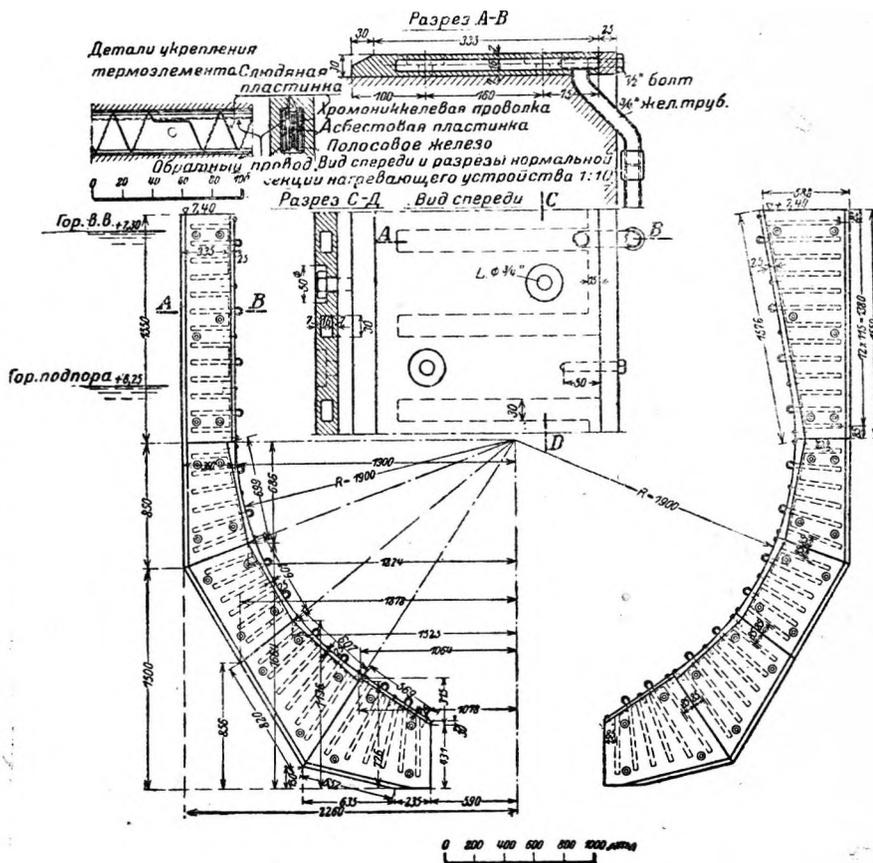
мнения шведских инженеров сильно расходятся. Опыты со щитами Стонея (независимая катковая рама), поставленные Государственным управлением водопадов на канале первой очереди строительства Трольхэттанской установки, дали мало благоприятные результаты. Причина — та, что щиты Стонея работают хорошо только при чрез-



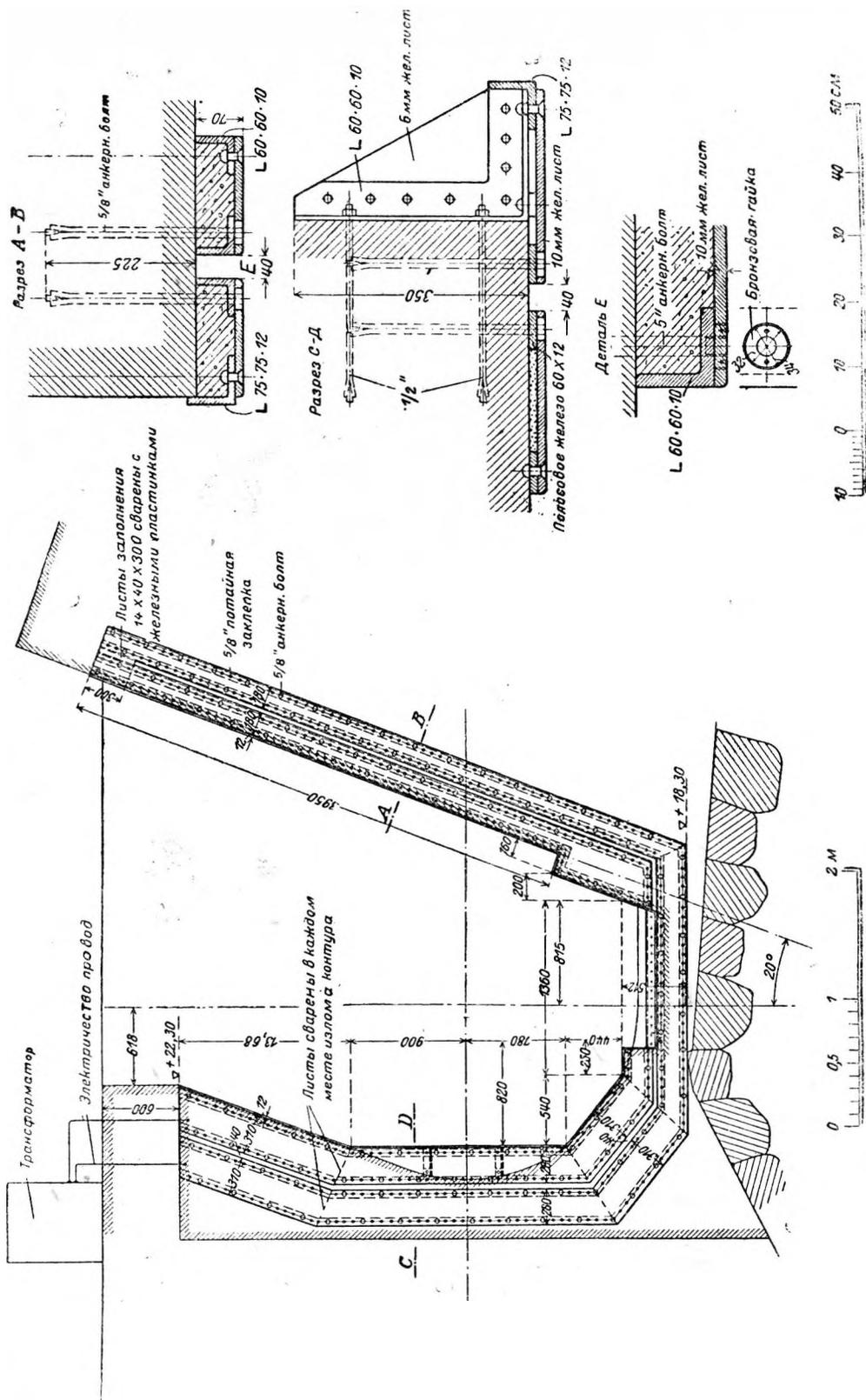
Фиг. 152. Этсэ. Обледенелая плотина; вид со стороны нижнего бьефа.



Фиг. 153. Аарлифоссен. Вид плотины со стороны нижнего бьефа зимою.



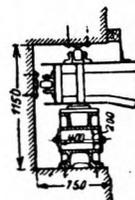
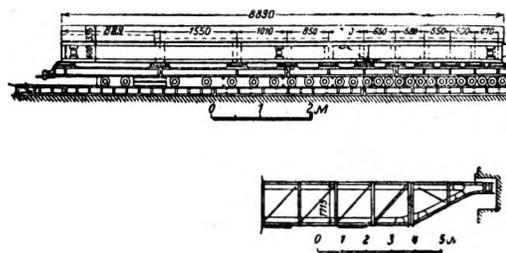
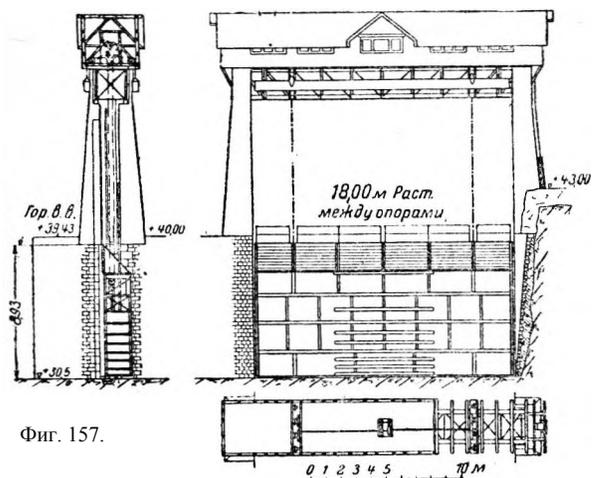
Фиг. 154. Лилла Эдет. Вальцевый затвор, устройство для электронного нагрева боковых уплотнений (у Восточного кольца).



Фиг. 155—156. Эльвкарлеби. Вальцевый затвор, устройство для электронатрена бокового уплотнения.

вычайно тщательной выделке катков и плоско-стей катания, в противном же случае сильно изнашиваются, а также и то обстоятельство, что катковые рамы Стонея при поднятом щите не

поднимают, то нижняя пара катков, поднимающаяся вдвое медленнее щита, остается над протекающей водой, пока щит не будет приподнят примерно на половину, причем сможет протекать уже



Фиг. 157.

Фиг. 158.

Фиг. 159.

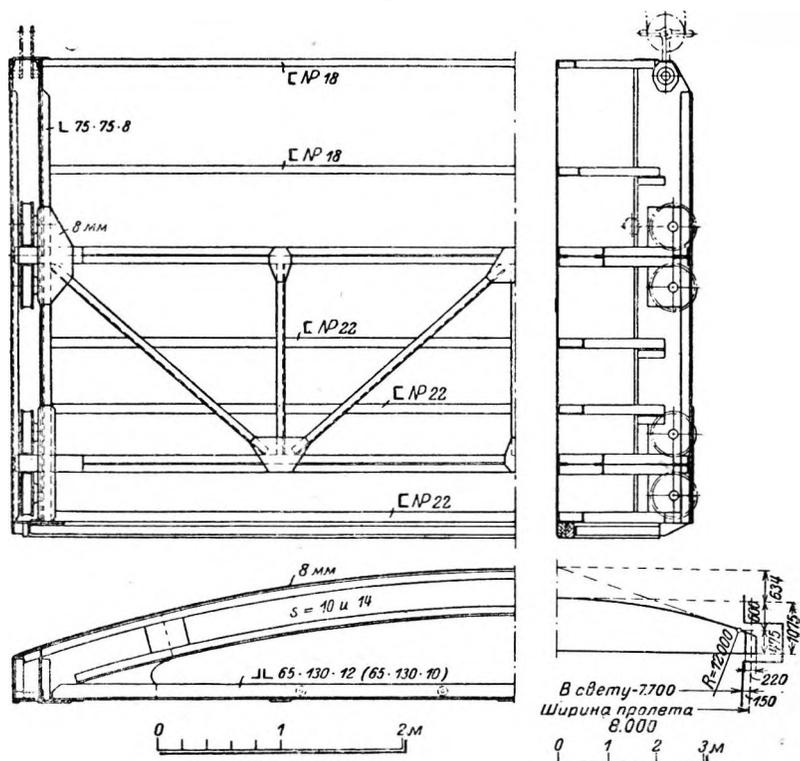
Фиг. 157 — 159. Тролльхэттан. Большие щиты Стонея старой конструкции.

защищены от действия льда и течения воды. Кроме того, наблюдалась сильная вибрация щита при приближении к конечному положению, невидимому потому, что только самый нижний ригель был сделан решетчатым (всасывающее действие потока, фиг. 157, 158, 159).

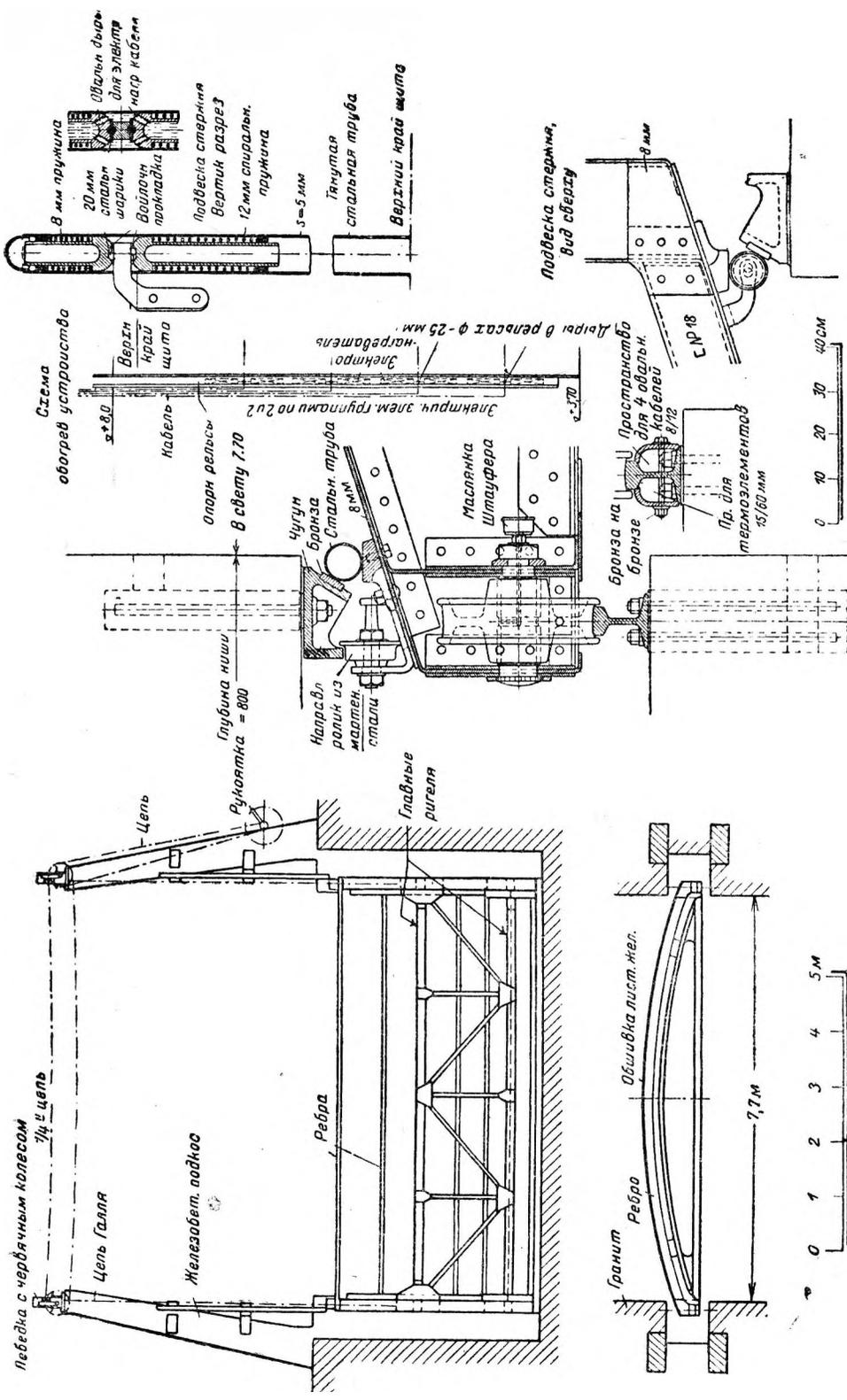
Ввиду этого Государственное управление водопадов с тех пор применяет для щитовых плотин только щиты с колесами, прикрепленными к самому щиту (по примеру немецкого строительства щитов большого пролета).

Однако размеры больших щитов, построенных на севере, не достигают размеров, встречающихся в новых установках юга Германии. Государственное управление водопадов выработало особые принципы постройки больших щитов, о которых мы будем говорить, когда коснемся забора воды в силовое здание. Что касается Бюро гидротехнической консультации (специалист по затворам инж. Карлссон), то оно пытается усовершенствовать систему Стонея, располагая нижнюю пару каткой на такой высоте, чтобы она при закрытом щите находилась над порогом плотины минимум на  $\frac{1}{6}$  высоты щита. Благодаря этому водяные брызги при закрытом щите могут стекать, не касаясь катков и плоскости катания. Когда щит

почти все количество воды, на которое щит рассчитан. Одновременно с этим высоким расположением катков, число их значительно уменьшено и, что особенно важно, — ниши просторны и удобно доступны. Карлссон полагает, что при такой



Фиг. 160. Плотина оз. Скаттунг. Современная конструкция больших плоских щитов.



Фиг. 161—162. Плотина оз. Скагуаг. Современная конструкция больших плоских шлюзов.

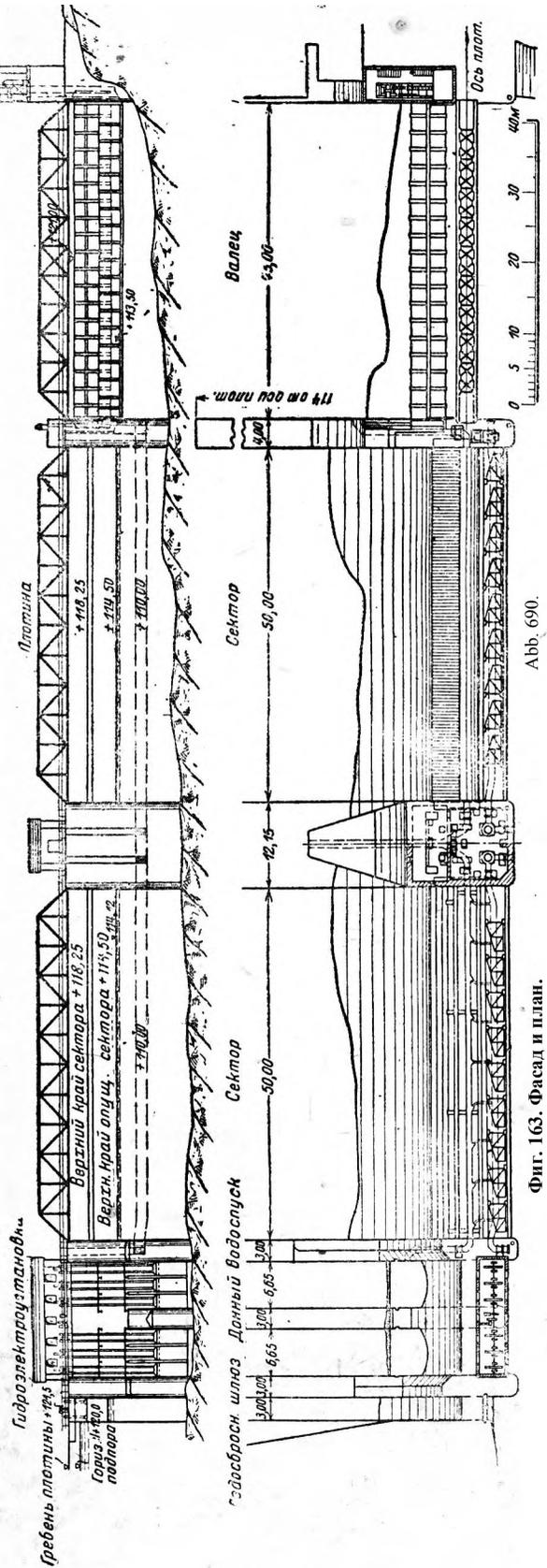
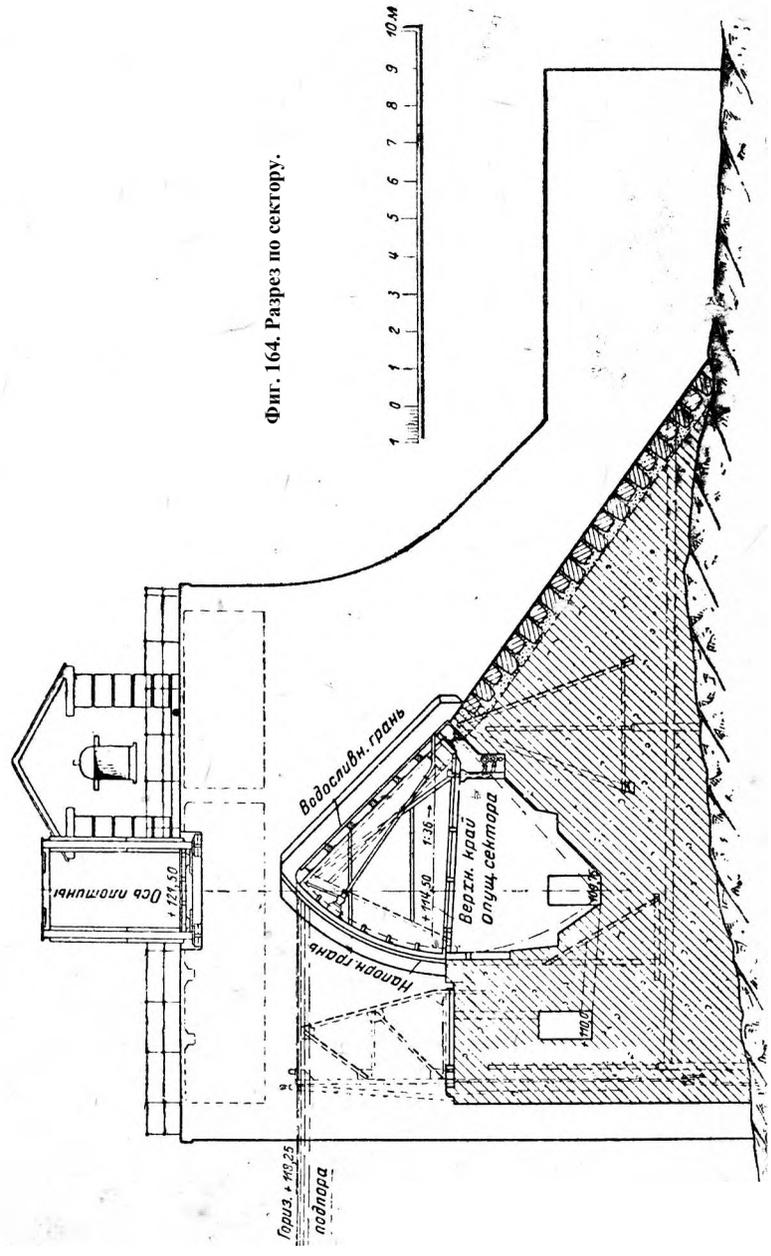


Abb. 690.

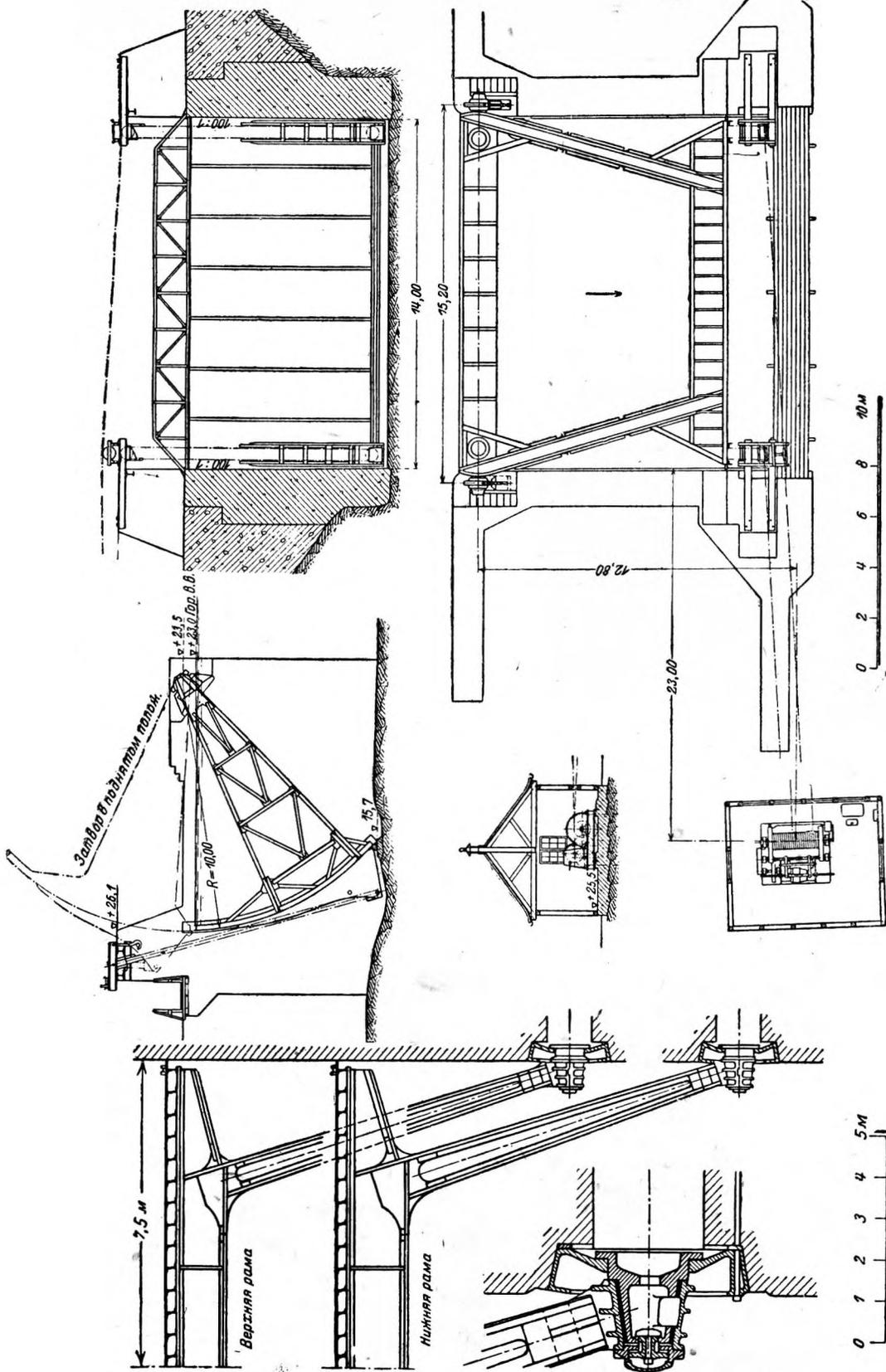
Фиг. 163. Фасад и план.



Фиг. 164. Разрез по сектору.

Фиг. 163—164. Затворы плотины Раанасфосс.



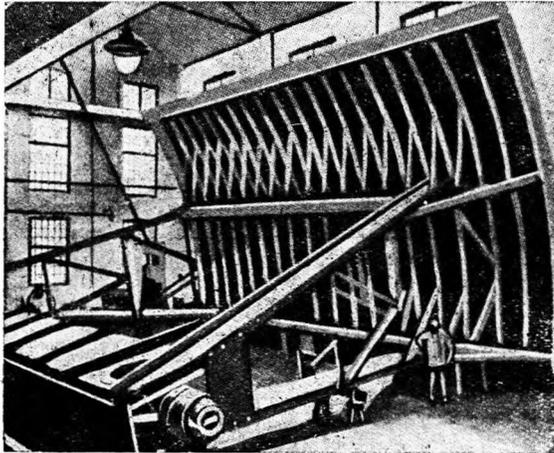


Фиг. 170.

Фиг. 169-170. Сегментный затвор установки Гюльеспонг.

Фиг. 169.

конструкции щит Стоinea может работать хорошо, даже когда длина ниш ограничена. По этим новым принципам наряду с щитами водозабора в силовые здания построено несколько затворов для плотин, в том числе щиты Стоinea в Синкфорсе ( $B = 16,2$ ;  $H = 5,7$  м). Здесь на каждой стороне имеется только 4 катка  $D = 0,4$  м! Наряду с вышеприведенными принципами обращалось особенное внимание на особо мощную конструкцию катковой рамы, и несмотря на очень суровый климат, эксплуатация вполне оправдала ожидания. Сам Карлссон, впрочем, во многих случаях пользуется катками, прикрепленными к щиту (колеса), как например в плотине

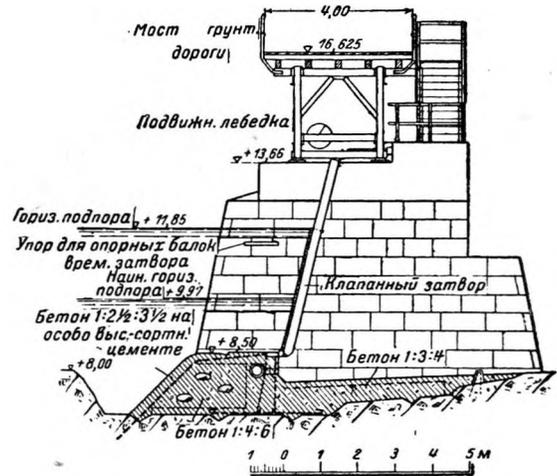


Фиг. 171. Сегментный затвор установки Гюльсонг.

консультантом при постройке установки в Раанасфоссе.

Такие же благоприятные результаты, как и в Раанасфоссе, выявились при работе затвора в Недансье в Швеции (Недре Норрланд, фиг. 166). в Плотины построена по проекту Бюро гидротехнической консультации на р. Льюнган в 1921 г.,  $B = 15$ ;  $H = 3,9$  м. По своему общему расположению над высоким полым порогом интересен затвор в Кронгфореен. Проект для Аэнсире предусматривает установку железобетонного секторного затвора.

Сегментные затворы до настоящего времени строились только для умеренных пролетов,



Фиг. 172. Плотина Сильян.

Лилльгисинге (строитель Эйлер, Ганновер) и далее для впускных щитов установки Вергсбронг Хавет (Норркэпинг). На фиг. 160—162 показано, что такие щиты можно оборудовать электронагревом (в приведенных примерах этого не сделано). Ток проводится через медные прутья, расположенные непосредственно рядом с уплотняющим брусом и опорным рельсом для катков.

Секторные затворы значительных размеров (длина 50 м, высота регулирования 3,75 м); применены в двух отверстиях плотины Раанасфоссе (фиг. 163, 164), главным образом, для возможной экономии воды при сплаве плотов при высокой воде. Приборов электронагрева нет ввиду наличия вальцевого затвора (фиг. 165) с высотой 6,5 м, которым и можно регулировать воду зимой в случае примерзания секторных затворов. Для ремонта предусмотрено аварийное закрытие фермами Поаре.

Опыт эксплуатации показал, однако, что работу секторных затворов нетрудно поддерживать и зимой. Эти первые норвежские секторы построены по образцу схожей плотины па Везере у Бремена<sup>1</sup>, строитель которой инж. Келле был

поэтому они на севере редки. Очень большие для своего времени и замечательно легкие и сегментные затворы ( $B = 11,94$ ;  $H = 5,0$  м) построены Карлссоном для затвора плотинообразного головного сооружения силовой станции Унтра (фиг. 167, 168). Сохранив консольную конструкцию ригелей, он предложил особо благоприятную статическую конструкцию затвора для установки Вифорсен (косые ноги рамы, фиг. 169 и 170). На Льюснана у Арбро поставлен сегментный затвор, управляемый электрически на дальнем расстоянии ( $H = 3,0$ ;  $B = 5,0$  м).

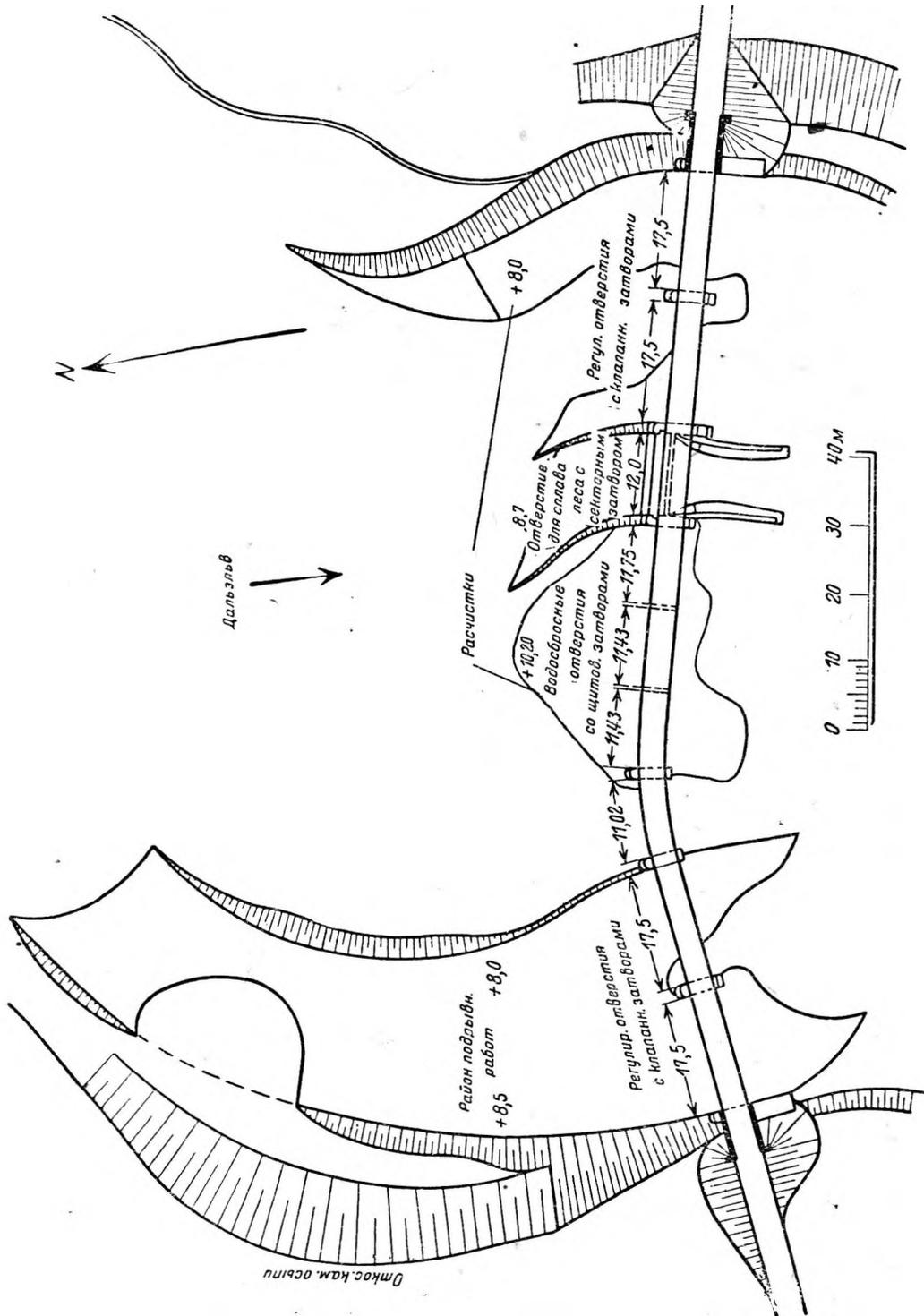
Карлссон считает, что, если не применять электронагрева, то из всех типов затворов сегментные и секторные затворы наиболее пригодны для зимней работы в суровом климате; они превосходят все другие системы подъемных щитов, в том числе даже и вальцевые. Это сходится и с германским опытом, поскольку и здесь сегментный затвор за последнее время в конструктивно-экономическом отношении отвоевал значительную долю популярности у вальцевого затвора. Сомнительно, однако, чтобы валец, превосходно оправдавший себя в смысле прочности, мог быть превзойден в этом отношении сегментным затвором в тяжелых условиях льдообразования,

<sup>1</sup> L u d i n Wasserkrafte, стр. 837/838.

и, главное, сомнительно, сможет ли последний обойтись без нагрева в противоположность вальцу.

Все вышеописанные новшества являются дальнейшим развитием немецких, американских и швейцарских типов затворов. Совершенно новый и в известных случаях, несомненно, очень

целесообразный тип затвора спроектирован и построен заводом Кристнегамп для новой плотину Гульеспонг в западной Швеции в 1926 г. Вопрос касался щита большого верхнего канала, который вместе с боковыми устоями пришлось строить во время работы установки полным ходом. Кроме того требовалось, чтобы



Фиг. 173. Плотина Сильян.



вся конструкция при поднятом щите была доступна. Этим условиям удовлетворили, построив, так сказать, перевернутый сегментный затвор с несущими цапфами, расположенными с напорной стороны, и с вогнутой стороной, обращенной к верхнему бьефу (фиг. 171). Давление цапфы направлено здесь вниз в сторону кладки, что очень благоприятно в смысле напряжения быков и в смысле работы кладки. Давление цапфы равняется примерно 460 т, вес затвора размером 14,0/7,3 м равен 50 т. Для поднятия — служат стальные тросы и электрическая лебедка. В открытом положении затвор подвешен на 2 крюках. Для уплотнения служит пенковый рукав.

Интересным прогрессом в деле выбора материала для затворов является применение богатой никелем нержавеющей стали для катковых рельс и для катков в установке Хетмофоре.

Клапанные затворы (на севере «клапанные щиты») встречаются редко, в большинстве слу-

чаев они небольших размеров. Фиг. 172, 173, 174 изображают деревянную конструкцию для новейшей шведской озерной регулирующей установки. Несколько железных клапанов (с электронагревом отдельных панелей железной обшивки) поставлены у ледяного спуска верхнего канала в Трольхэттане (фиг. 175, 176, 177).

#### БИБЛИОГРАФИЯ.

Karlsson, On the Design of Movable Dams, Stockholm Vattenbyggnadsbyrån.

Письменные сообщения, проекты, фотографические снимки, сообщенные Бюро гидротехнической консультации, заводом Kristinehamn, инж. Альбертом (Трольхэттан), Машиностроительными заводами: Аугсбург Нюрнберг, (MAN), Густавсбург и Луи Эйлера в Ганновере.

Karl I. Karlsson, Dammluckor vit Untraverket (в Svenska Vattenkraft föreningens Publikationer № 138).

A. Westerlind, В сборнике, посвященном юбилею Гансена, «Nagrefarenheter Fran Konstruktionez av Svenska Statens Vattenkraftverk».

### Г л а в а IV.

#### ОСНОВАНИЕ ПЛОТИН.

Все более крупные северные плотины, за редкими исключениями, например, в Лагане, фиг. 178, и Мотала, фиг. 89, и у Лонгеда, где плотину высотой 9 м подмыло со стороны нижнего бьефа, основаны на прочной скале.

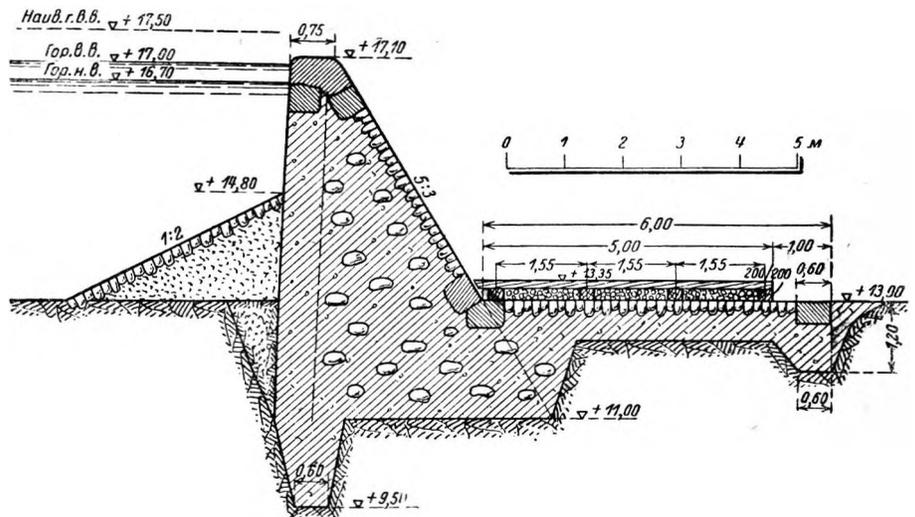
В отдельных случаях требовалось и рытье глубоких выемок (например в Суорве — 10 м), но условия работы основания были всегда ясны и определены. Замечательна та заботливость, которую проявляют в отношении дренажа основания (Форсхувуд, фиг. 179, Эльварлеби, фиг. 180).

Тщательно дренируют и верхние части сооружения.

Своеобразна конструкция плотины Тиннос в Норвегии (фиг. 181). Ее основание — глубоко залегающая морена. Устойчивость против скольжения, имеющая важное значение, обеспечена многократным зубчатым соединением плиты основания с грунтом; устойчивость против опрокидывания достигнута наложением бетонного массива, служащего нагрузкой поверх опорных ферм для щитов (по образу перемычек). Под водобоем каждой панели регулирующей плотины у Селльбесье (Трондъем) уложены трубчатые манометры, наблюдение за которыми дало уверенность, что благодаря трем шпунтовым стенкам забитым впереди,

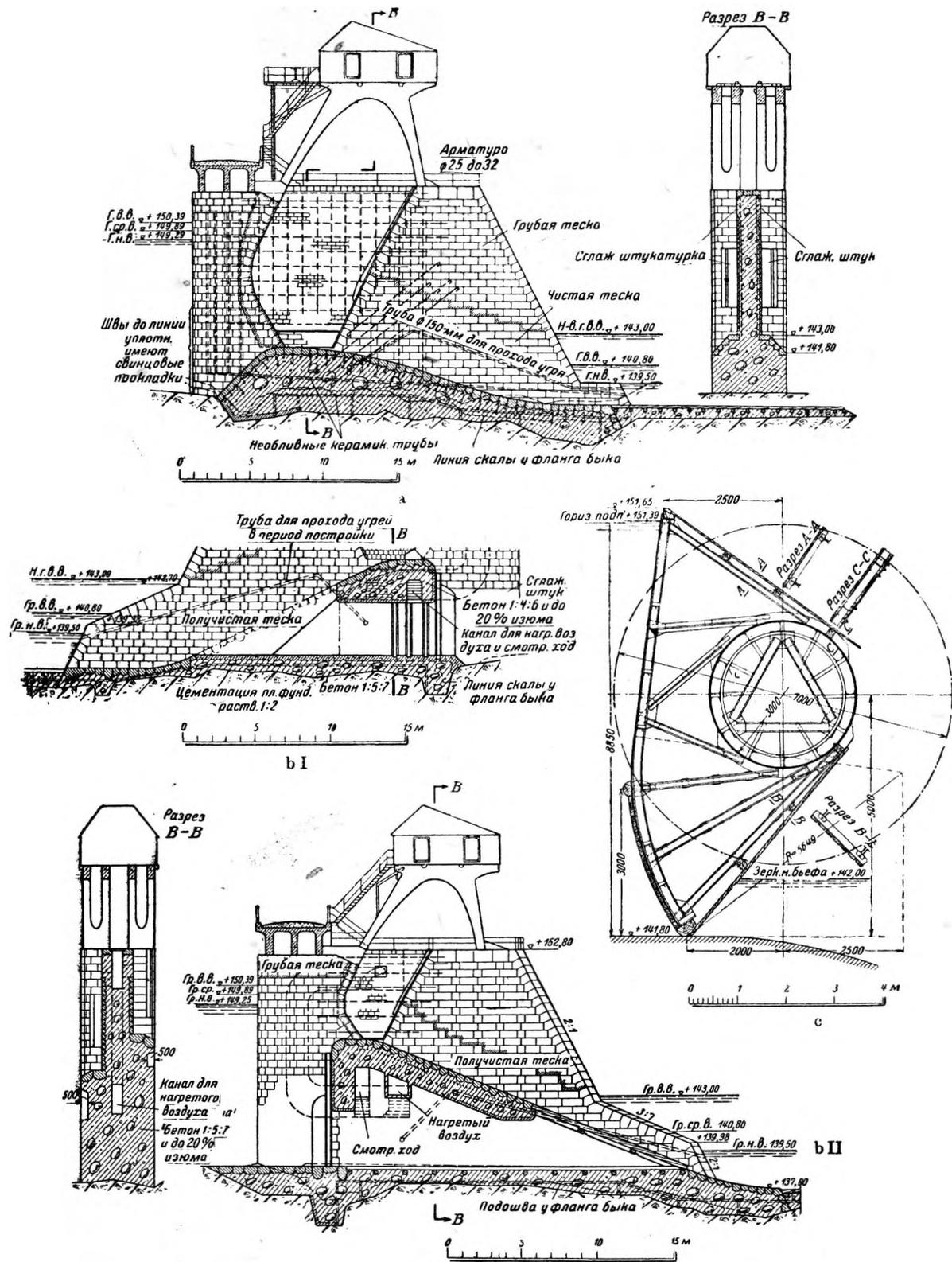
устраняется всякое взвешивающее давление на подошву.

Поверхности флютбетов, а также быков, устоев и порогов водосливов очень часто защищаются



Фиг. 178. Боковые водосливные стенки канала Эвре-Кнэред (лаган).

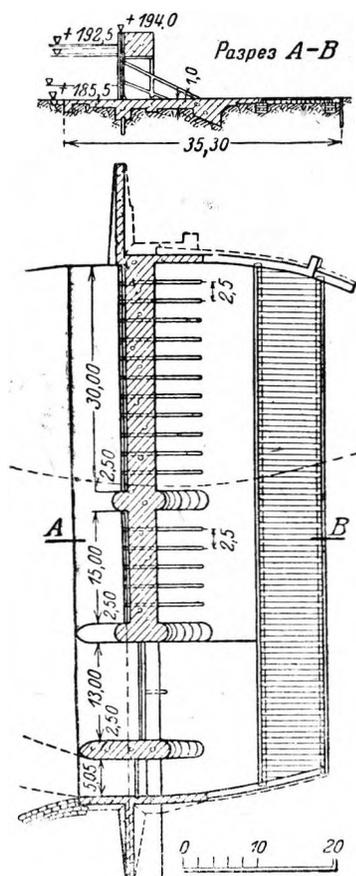
от ударов плавучих тел и сплавного леса и от действия мороза хорошей облицовкой из тесаного камня, имевшегося в изобилии; эту облицовку тщательно закрепляют анкерами (фиг. 182, 183). Во многих новых конструкциях мы встречаем также деревянную обшивку, исполненную в соответствии с многолетним опытом (ср. ниже). При постройке плотины Кронгфорс (фиг. 184) и Лилла Эдет оказалось возможным изучить сопротивление этой деревянной обшивки



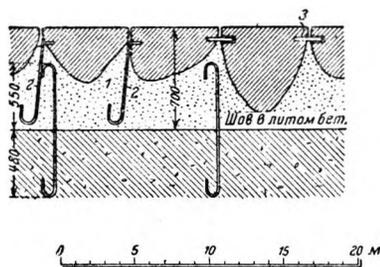
Фиг. 179. Форсхувудфорсен. Разрезы по отверстиям, а — водосброс с бычком № 2; б — регулирующее отверстие с бычком № 4; с — вальцевый затвор.



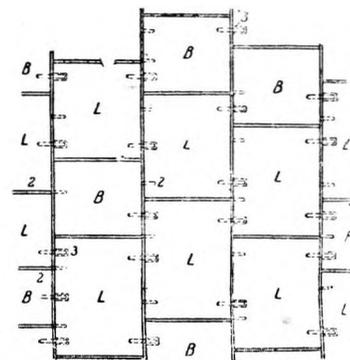
действию воды и наносов при высоких скоростях. Что касается водонепроницаемости, а следовательно и устойчивости против мороза, каменная облицовка, естественно, не всегда оказывалась удовлетворительной, к тому же она довольно дорога. Поэтому за последнее время (так же как и в Центральной Европе) перешли



Фиг. 181. Плотина Тиннос.



Фиг. 182. Форсхувудфорсен. Анкерное крепление облицовки водобойного пола.



163). На фиг. 185, 186 иллюстрирован остроумный способ осушения порога вальцового затвора в Раанасфосс (ширина 45 м), местами поврежденного благодаря морозу и температурным расширениям. Посредством деревянных труб длиной 5 м, уложенных на плоту, а затем загруженных песком и опущенных в воду с плотной заделкой торцов водолазами, прозор, образовавшийся при поднятии вальца, автоматически уплотнился с сохранением необходимой высоты подпора и оказалась возможным отремонтировать порог с воздушной стороны.

В особенно тщательно сконструированных плотинах Форсхувуд (фиг. 179) и Вамме (скорее относящейся к вододержательным плотинам фиг. 105) мы встречаем смотровые галереи и каналы для нагретого воздуха для защиты затворов от льда.

Вопрос защиты от размыва дна при указанных выше геологических условиях северных рек: часто имеет меньшее значение, чем в других странах. Встречаются, впрочем, отдельные установки, например в Лагане, с обширными предохранительными устройствами, большей частью возведенными дополнительно. У одного из щи-

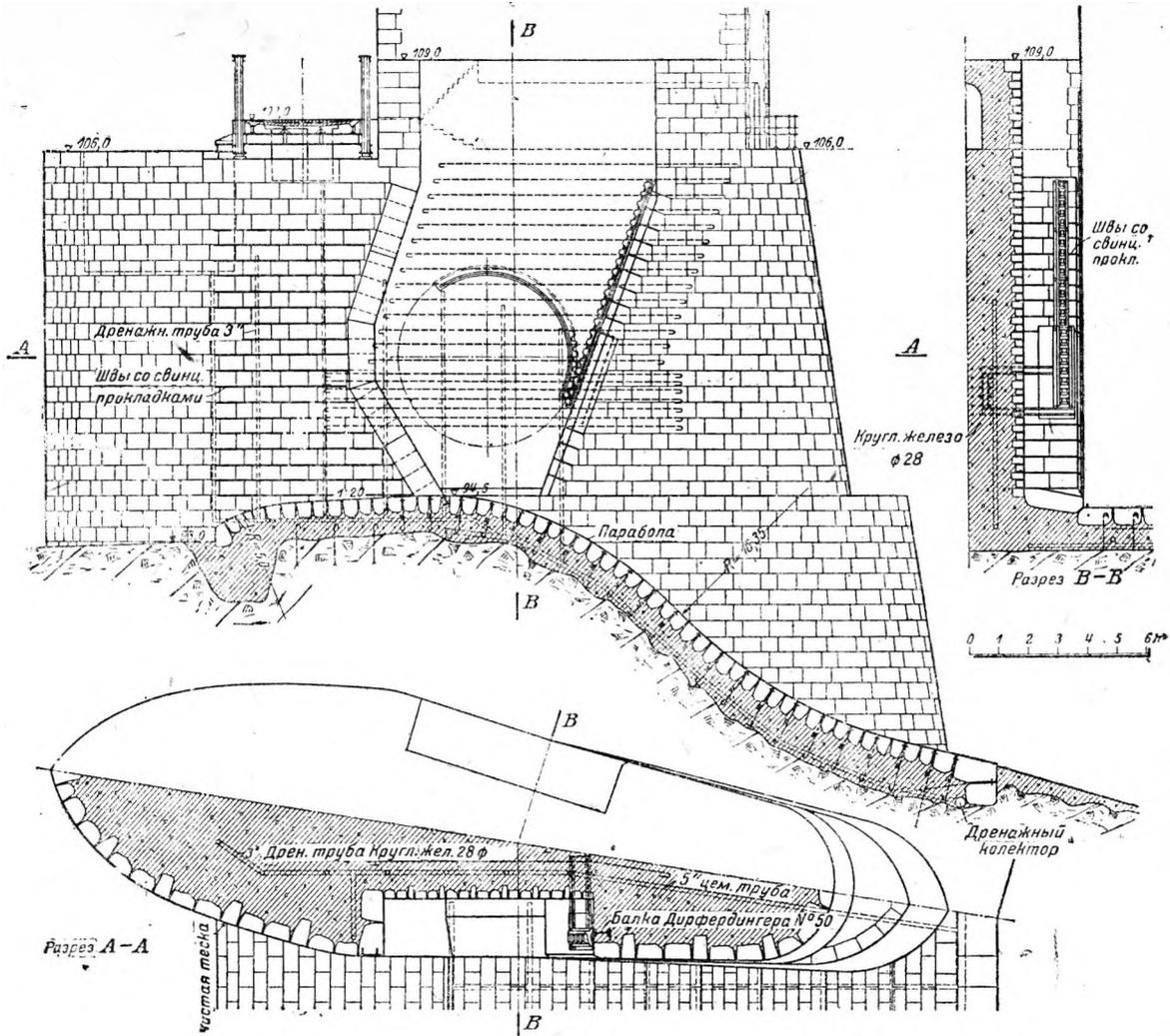
к чисто бетонным конструкциям с соответствующей отделкой поверхностей. Поверхности, подверженные действию сильного течения, обшиваются стальными листами.

Интересными конструкциями, самостоятельно развившимися из естественных возможностей железобетонного строительства, являются стойки подъемных механизмов в Форсхувуде (фиг. 179) и выступающие стойки щитов на фиг. 161. Наряду с ними мы часто встречаем решетчатые железные башни в качестве опор служебного моста на щитовых плотинах; эта система дешевле среднеевропейских конструкций с массивными бычками, но архитектурно менее красива.

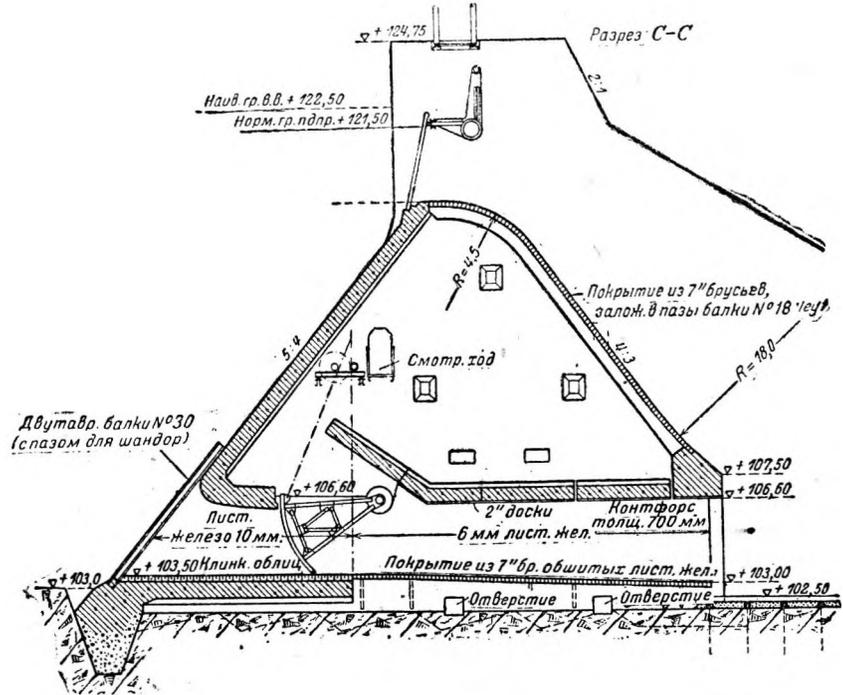
Вопрос „осушения“ пролета при ремонте нередко разрешают довольно удачно, оставляя в периоде стройки несколько открытых донных водоспусков, которые впоследствии закладываются шантрапами, не заделывая их бетоном (фиг. 179,

товых отверстий в Кнэреде (фиг. 187) позади плотины выведен из кладки низкий порог, чтобы образовать возможно глубокий (хотя слишком короткий) водобойный колодец. У бокового водослива капала выше Эвре-Кнэред уложена такая же низкая стенка перед сбросом переливающейся воды в естественное русло реки (фиг. 190). Водобойный пол установки Бассальт защищен удлинением из деревянных рьяей (фиг. 189).

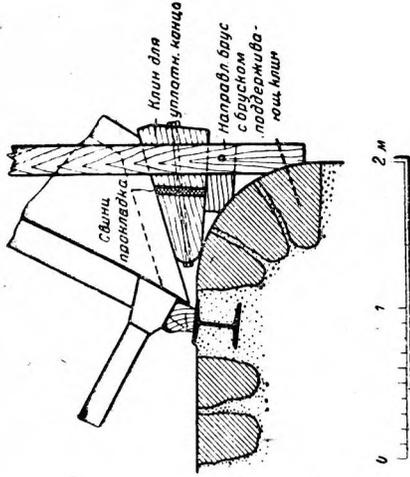
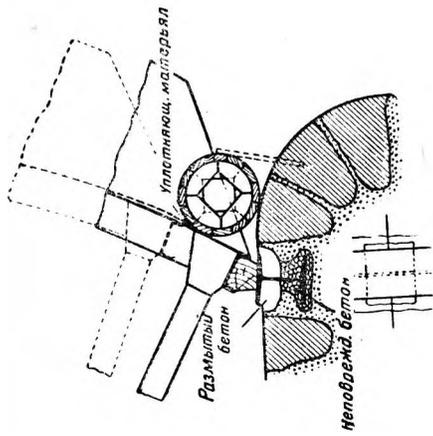
Несмотря на принятие предохранительных мер, у гидроустановок в Лагане местами наблюдаются очень значительные вымоины. Так, например, автор обнаружил в Бассальте в одном месте плотины, где никаких специальных защитных устройств не имеется, довольно значительную вымоину длиной 30—40 м, в которой тяжелые валуны, вымытые из морены дна, вынесло от пяты плотины до конца вымоины.



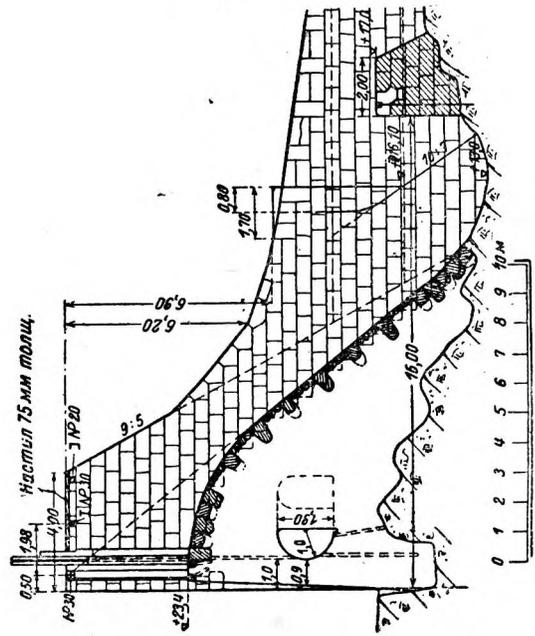
Фиг. 183. Меркфос-Сольбергфос. Бык для вальца и облицовка оголовка водослива.



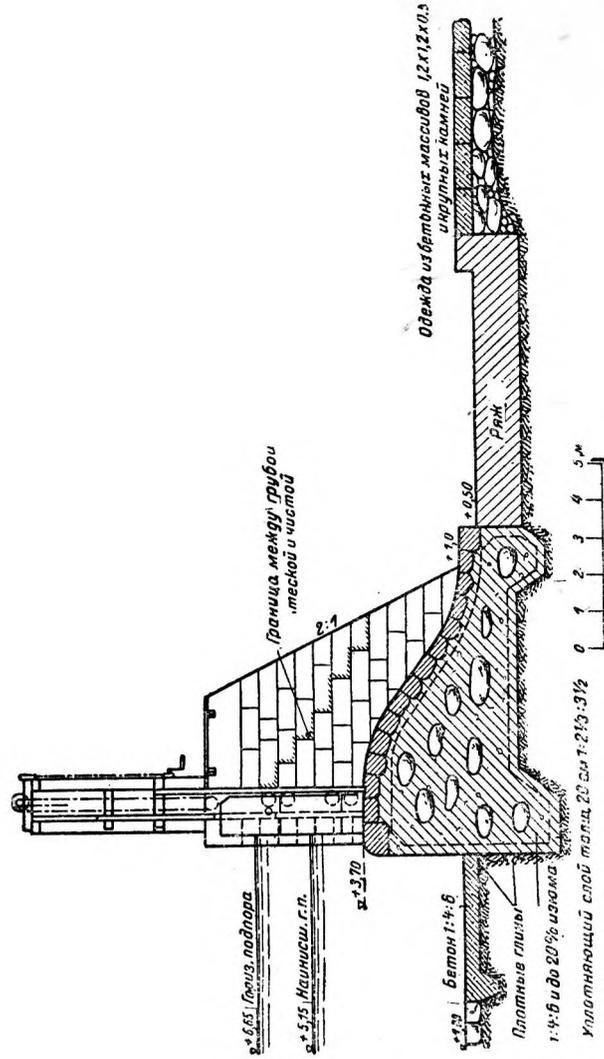
Фиг. 184. Крангфорсен. Разрез плотины.



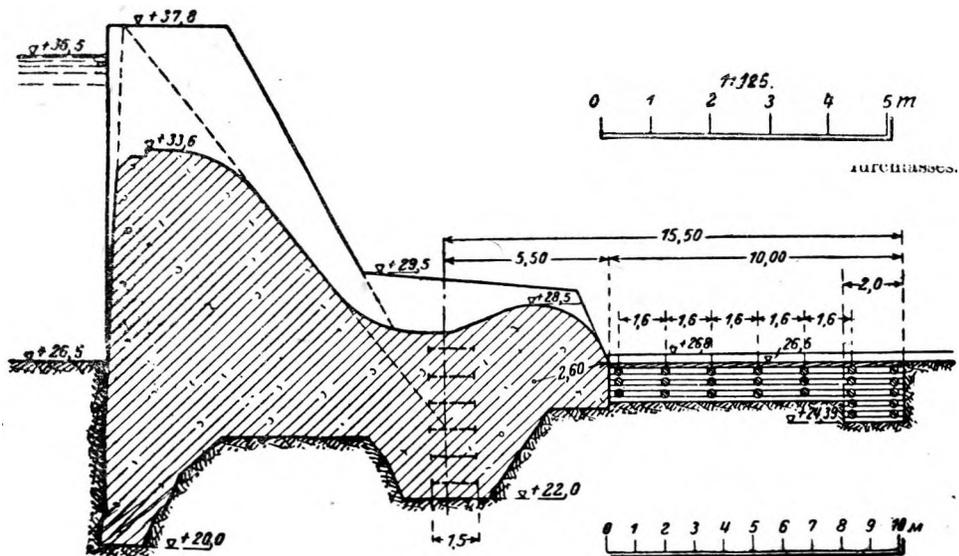
Фиг. 185—186. Раанасфосс. Разрушение и починка водосливного порога.



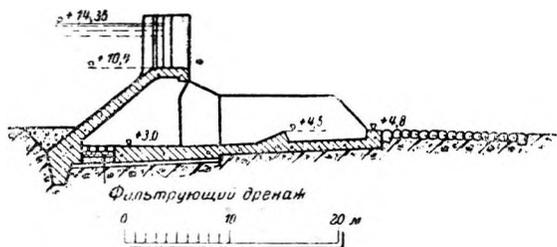
Фиг. 187. Кнэрэд. Волослив с водобойным колодез.



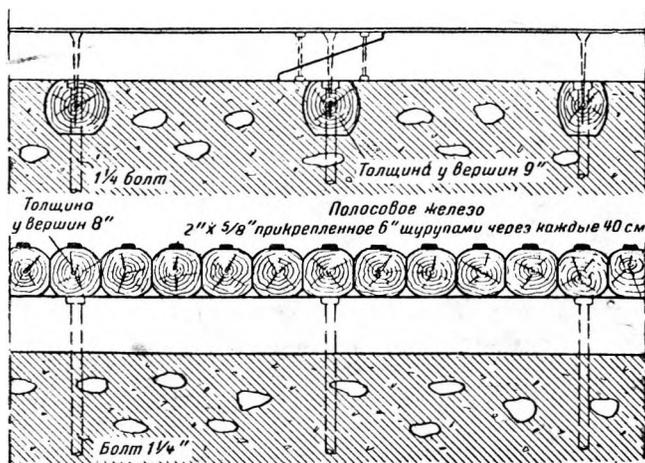
Фиг. 188. Плотина оз. Скаунген



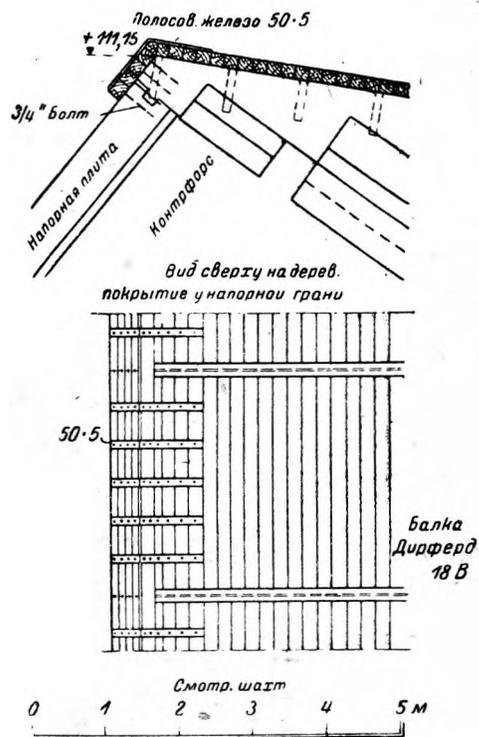
Фиг. 189. Бассальт. Разрез водосливной плотины.



Фиг. 190. Плотина с клиновидным порогом.



Фиг. 191. Форсхувудфорсен. Водобойный пол. Наверху продольный разрез; внизу поперечный разрез.



Фиг. 192. Кропгфорсен. Первоначальное покрытие плотины Амбурсена.

Упомянем также о защите от вымоин в виде ряжевых флютбетов с каменным заполнением (фиг. 188).

Опыты над моделями для изучения вопроса о вымоинах велись, между прочим, в гидротехнической лаборатории ВТУ в Стокгольме Феллениусом и Линдбоэ. Клиновидный порог, предложенный автором настоящего труда,<sup>1</sup> принят Бюро гидротехнической консультации для его новейших крупных проектов (фиг. 190).

Кроме размывающего действия воды в некоторых гидроэнергетических установках севера приходится учитывать действие лесосплава, причем приходится оберегать как русло реки, так и сплавляемый лес. Последний момент особенно важен, и во многих случаях водобойную часть ограничивают сходящимися вниз по течению стенами, чтобы ниже плотины создалась достаточная глубина воды. Ниже настоящей водобойной части, которая составляет одно целое с телом плотины и защищена прочной одеждой, мы часто встречаем плоский сливной пол, который

должен иметь солидную конструкцию, принимая во внимание действие сплавляемого леса; при этом следует учитывать не только действие массы леса, но и чисто местные напряжения и удары. Замечено, что при интенсивном лесосплаве, когда, например, в тощий бетон заделаны подошвой кверху старые рельсы, притом хорошо заанкеренные, они подолгу не могли сопротивляться ударам сплавляемого леса. Поэтому, в Форсхувуде применили особое устройство (фиг. 179, 191). Плотная железная оковка деревянных балок имеется, впрочем, только в тех отверстиях плотины, через которые сплавляемый лес пропускается при малом расходе воды. Часто встречающуюся па горных реках средней Европы комбинацию из железа, дерева и бетона, нередко можно встретить и на севере (фиг. 192).

Гидравлическая нагрузка отверстий плотины часто очень велика, так, например, в Мэркберг-Сольбергфосе она равна  $66,7 \text{ м}^2/\text{сек}$  (3 отверстия;  $B = 20$ ;  $T = 10,5$ , для каждого отверстия).

## Глава V.

### ВОДОВОДЫ.

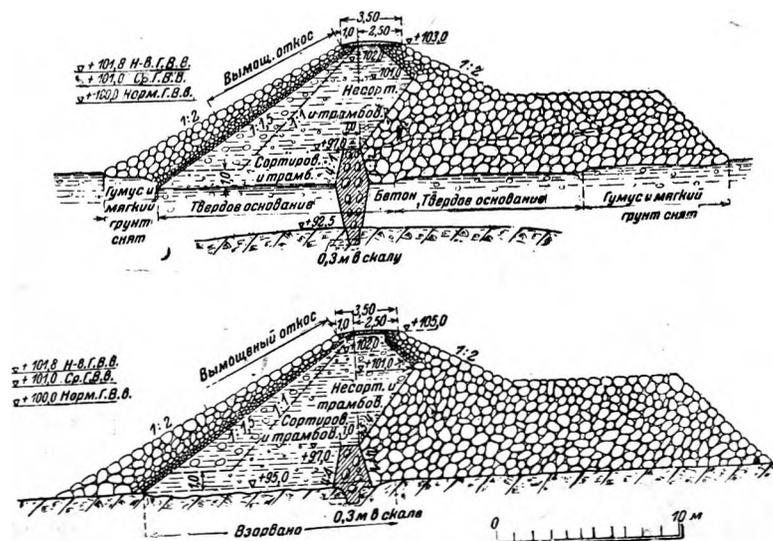
#### §. 1 Каналы.

Местные условия крупных северных рек в общем и целом благоприятствуют утилизации низконапорной энергии воды в сравнительно недоро-

меры силовых станций при плотинах: Лилла Эдет, Форсхувуд, Раанасфос, Вамма, Сольбергфос, Этэс).

Некоторое среднее положение занимают нередко встречающиеся установки, в которых выправленное русло реки путем целого ряда обширных мероприятий (землечерпание, взрывные работы, устройство запруд) преобразовано в искусственный энергетический водовод. Выдающийся пример этого рода — Унтра.

Здесь большая часть гидротехнических сооружений состоит из объемистых дамб, которые обуславливают значительное увеличение естественного бассейна суточного и недельного регулирования Унтра Фьэрден, и одновременно образуют воронкообразный водовод с прыжкающим к нему каналом верхнего бьефа, проложенным в насыпи. Часть русла реки в верхнем и нижнем бьефах углублена посредством землечерпания. На фиг. 193 показаны приуроченные к местным условиям нормальные поперечные профили дамб, которые в основном пришлось возводить на моренном грунте и из этого же материала. Дамбы уплотнялись с помощью пропуски вагонных составов с паровой тягой; значительных осадков впоследствии обнаружено не было.



Фиг. 193. Унтра. Поперечные сечения дамбы верхового канала.

гой форме силовой станции при плотине в более или менее чистом виде. Поэтому крупные деривационные установки довольно редки (при-

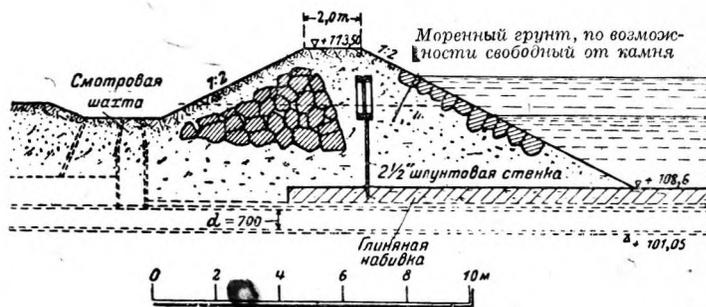
<sup>1</sup> Информационный бюллетень I гидротехнической лаборатории ВТУ в Берлине 1927 г.

Одежду из крупного камня на напорной стороне укладывали с тщательной разделкой начисто: промежутки между крупными камнями заполняли мелочью и оставшиеся швы заполняли бетоном 1 : 4 : 4. На фиг. 193 следует отметить, что верхний слой морены под подошвой дамбы удалили, нижние же слои были достаточно водонепроницаемыми, так что сравнительно тощий бетон дал удовлетворительное уплотнение без всякой штукатурки. Полная длина дамб в Унтре 6 км, пин хорошо оправдали себя в работе.

Что касается другой большой дамбы канала верхнего бьефа в Рингдалене в Норрланде, то она оказалась неудовлетворительной. Она построена из мелкого песчаного материала, и имеет диафрагму из деревянной шпунтовой стенки (наподобие фиг. 194). Так как дамбу не удалось сделать водонепроницаемой, то вместо канала решили уложить деревянный лоток (по проекту Бюро гидротехнической консультации) наподобие изображенного на фиг. 195. Что касается других дамб, конструкций родственных фиг. 194, то отрицательных отзывов о них слышать не приходилось (лучший грунт, лучшее уплотнение грунта).

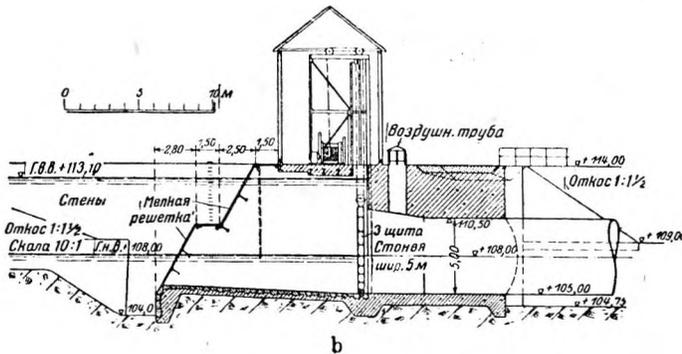
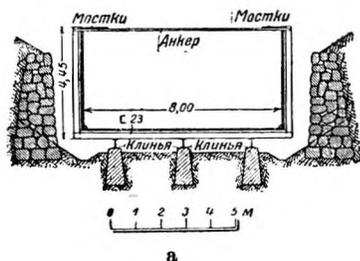
У подводных каналов мы часто встречаем подпорные стенки значительной высоты

Каналы, вырытые в земле и скале, встречаются в Скогаби, Кнэред, Эльвкарлеби (фиг. 101), Мункфорсе, па Иматре, Киккельсруде (фиг. 198, 197). В Эльвкарлеби замечательно то, что ребро береговой стены смещено в отношении ребра выемки в скале для улучшения водонепроницаемости. Обе береговые стены, поскольку



Фиг. 194. Подводящий канал Торсебро. Пересечение с дренажным коллектором.

они выше 10 м, бетонные, подразделены температурными швами на отдельные массивы длиной 10 — 15 м и дренированы. Уплотнение и защита от мороза подпорной стены исполнены по методам, примененным в Тролльхэттане. Устроенная в нижней части защитная одежда из слоя бетона с гладкой штукатур-



Фиг. 195. Установка Льюнга. а — разрез канала с устроенным впоследствии дотком; б — разрез водоприемного устройства трубопровода.

и длины (Эльвкарлеби — фиг. 101, Тролльхэттан — фиг. 97, 99). На фиг. 98 изображена бетонная стенка канала Бергсбропп-Хавет, частью, сконструированная в виде водослива. Скалистый грунт здесь сравнительно плохой: гнейс со слабым сцеплением, содержащий слюду и сильно дислоцированный в позднейшую геологическую эпоху. В предупреждение утечки воды и взвешивающего давления на подошву, стены почти на всю длину снабжены шпорой, глубоко врезанной в грунт; в стенах, высотой выше 6 м, устроен смотровой ход, позволяющий осматривать скалу. В отношении состава бетона и защиты поверхностей этих стен применяли те же способы, как и в Тролльхэттане.

кой поверхности укладывалась и на скале, поскольку в ней наблюдалась значительная трещиноватость. В остальном уплотняли и дренировали только отдельные расщелины. Мощная облицовочная стена потребовалась в выемке потому, что очень мелкий песок не обещал устойчивости даже под простой одеждой откоса.

Каналы в земле на севере до настоящего времени чаще всего снабжались тяжелой мощной одеждой из естественного камня, обычно без раствора, для защиты откосов при значительных скоростях течения. Интересен по своим размерам нижний канал в Скогаби (южная Швеция, 1921 г.) — 900 000 м<sup>3</sup> выемки, где сравнительно рано были в большом масштабе механизированы экскаваторные работы; интересен так-

же способ мощения (фиг. 200) с помощью передвижного крана с укосиной.

## § 2. Штольни.

Безнапорные штольни в качестве подводящих каналов встречаются на севере сравнительно редко, например, у установки Ховрестром; чаще всего они применяются для отводящих каналов, (фиг. 117), так, например, в Бьеркасене и Осе; обычно они строятся без всякой одежды.

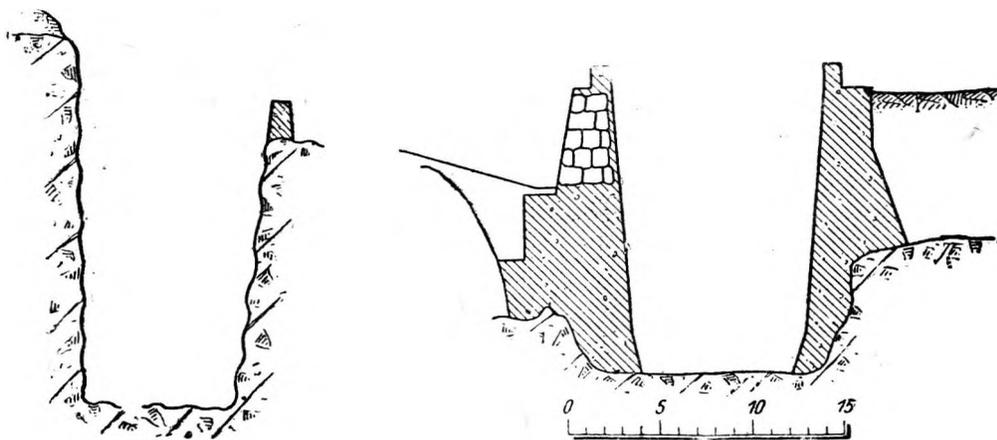
Напорные штольни особенно часто встречаются в Норвегии (реже в Швеции), причем нередко значительных размеров. Они служат не только для подвода воды к станции; во многих случаях регулирования стока озерами они яв-

работки; по видимому «воздушные мешки» образующиеся вследствие этого, не вызывают, однако, затруднений при эксплуатации.

Тот факт, что штольни с такой высотой напора можно почти повсеместно строить без облицовки и с успехом эксплуатировать, объясняется исключительно благоприятными геологическими условиями северной Европы.

Интересно попутно упомянуть о резервуаре для сжатого воздуха (для нужд фабрики), вырытом и успешно работающем в плотной скале без всякой облицовки (проект проф. Форселя, Стокгольм).

Поперечному сечению таких штолен среднего напора почти всегда и притом без каких-либо



Фиг. 196. Киккельсруд. Поперечные профили подводящего канала.

ляются также водовыпускными штольнями; обычно они соединяют обе задачи. Рабочий напор в штольне в большинстве случаев равен 20 — 30 м, иногда и больше. Напорные штольни в Норвегии при хорошей скале обычно строятся без одежды и только в особенно плохих местах облицовываются кладкой или бетоном. Так, например, главная штольня Скарсфиорда (северная Норвегия) работает под напором 20 м в довольно трещиноватом граните с утечкой только  $\frac{1}{4}$  л/сек<sup>1</sup>. Высокую потерю напора в штольнях без облицовки (в полном согласии с калифорнийским опытом. — Прим. автора) экономически выгодно компенсировать соответственным увеличением выемки и облицовкой. Формула потери напора:

$$i = 0,00664 Q + 0,00656 Q^2 \text{ м/км}$$

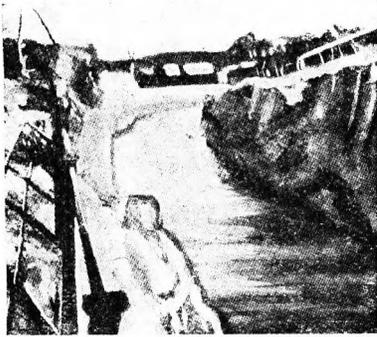
(что приближенно соответствует коэффициенту шероховатости в формуле Гангилье-Куттера:  $n = 0,047$ . — Прим. автора). Интересны частые переломы уклона продольного профиля штольни Фоллофосс, вызванные только условиями раз-

неблагоприятных последствий придают почти прямоугольную или подковообразную форму, исходя из соображений технической целесообразности тоннельных работ (фиг. 198, 199, 201). Настоящие высоконапорные штольни и шахты (свыше 60 м гидростатического давления) строились в Норвегии крайне редко (в трех местах), главным образом, в связи с затруднениями в получении железных напорных труб в военное время. Все три строились без одежды. Опыт постройки имеет общий интерес; из трех конструкций одна (Бремангер) удалась вполне, вторая (Герландс-Фоссен) — частично, третья (Скарфорс) оказалась совершенно неудачной. Приводимое ниже описание опирается, главным образом, на ценное критическое резюме, опубликованное геологом проф. Фогт и инж. д-ром Фр. Фогт, Трондъем. Первый произвел в 1921 г. по поручению Норвежского государственного института геологии обследование всех трех высоконапорных штолен на месте. Его выводы пополнены инж. Фогтом статическими расчетами общего характера. Установка Бремангер (Свэльгенвадраг) расположена в той сравнительно небольшой части Скандинавии, где грунт состоит из послесилурийских отложений. Причем в Бре-

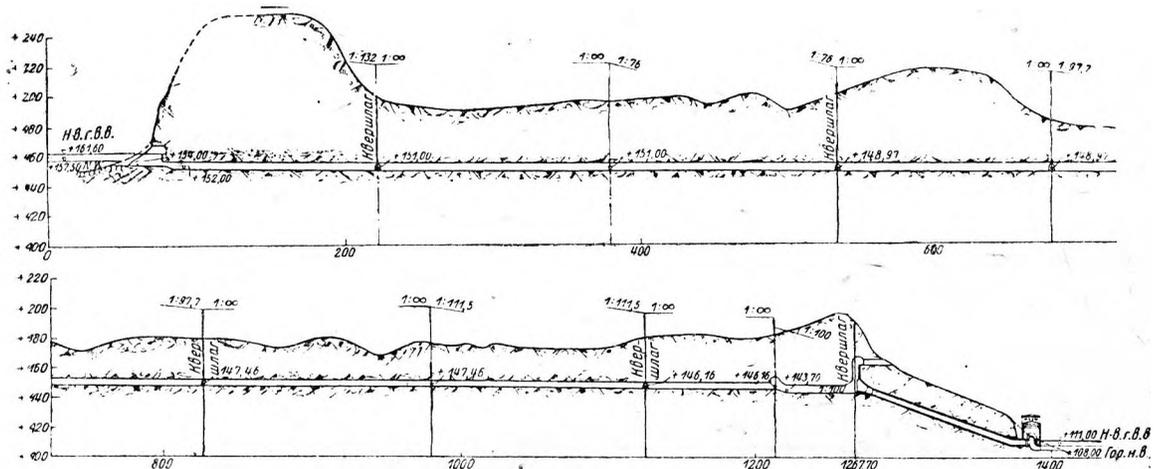
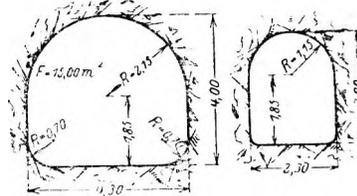
<sup>1</sup> Письменное сообщение инж. д-ра Фр. Фогта, Трондъем.

мангере преобладает песчаник, обозначенный как «девонская формация Бремангерского горного хребта». Залегание пластов (фиг. 202 — 204) спокойное и без складок; среднее направление, падения  $OSO\ 26^\circ$  при простирании  $NO\ 23^\circ$ . Характерный серо-зеленый песчаник довольно крупнозернист, компактен и тверд, он состоит из зерен кварца и отлично сохранившихся кристаллов полевого шпата, содержит мусковит к отдельные зерна магнетита и тита-

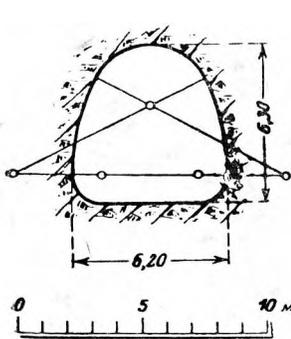
нита. Далее, он содержит отдельные, равномерно расположенные, очень тонкие прослойки песчанистого глинистого сланца, очень плотного, твердого и компактного. В слоях песчаника встречаются тонкие трещины в плоскостях, почти перпендикулярных к направлению слоев, сгруппированные в два взаимно сопряженные направления. Ближе к поверхности песчаник, благодаря выветриванию по этим трещинам, разделен на отдельные массивы, внутри



Фиг. 197. Киккельсруд. Подводящий канал. Вид вверх по течению.



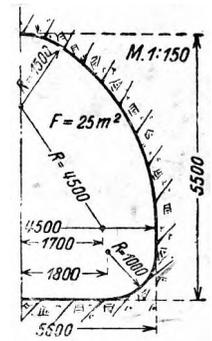
Фиг. 198. Гиттерфоссен. Установка первой очереди. Продольный и поперечный разрезы по тоннелю и напорный трубопровод.



Фиг. 199. Рjukan I. Поперечный профиль штольни.



Фиг. 200. Скогаби. Отводящий канал. Вид вниз по течению.



Фиг. 201. Торсебро. Поперечный профиль штольни.

которых он плотен, несмотря на трещины. Трещины проявили себя при разработке штольни в форме незначительной ступенчатости.

При постройке штольни из одного из упомянутых слоев глинистого сланца выскребли глину и заменили цементом, так как опасались размягчения сланца. Кроме этой незначительной це-

ризональную. При последующей цементации мест фильтрации, так же как и при изготовлении пробки, за бетонный свод толщиной 0,5 м, армированный против наружного давления воды, нагнеталось цементное тесто под давлением 7 ат. Испытание под напором по окончании этих работ выявило потерю на фильтрацию только в 2 л/сек, а последующее освидетельствование штольни показало, что все в полном порядке и нигде не видно отделившихся камней. Два дня спустя установка была окончательно принята в эксплуатацию и с тех пор работает без всяких перебоев.

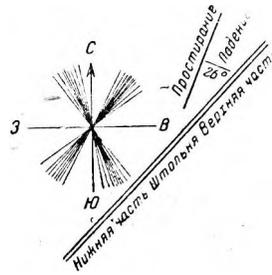
Отметим в заключение, что первоначально предполагалось довести весь турбинный напорный трубопровод вплоть до силового здания в виде напорной штольни с максимальным напором 225 м, и только плохие результаты, выявившиеся при работе установки Герландсфоссен, заставили применить более осторожно выбранную конструкцию. В остальном устройство напорной шахты было в Бремангере тем более экономично, что местами очень крутая

трасса не допускала прокладки открытого напорного водопровода.

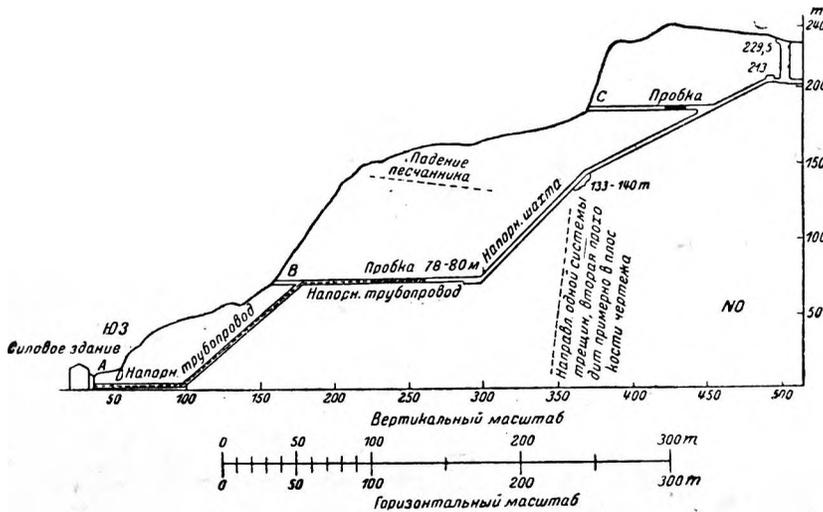
В Герландсфоссене геологические условия были существенно иные, чем в Бремангере; недостаточное ознакомление с ними заставило впоследствии внести крупные изменения в конструкцию водовода турбинной установки. Порода — сплошной сланец, притом преимущественно роговообманковый; встречается только несколько слоев слюдястого сланца. В зоне штольни напластование очень правильное, простираение сплошь N, W 48° падение от 46° до 48° SW (фиг. 205 — 206). Наклонная и горизонтальная часть штольни расположены в одной вертикальной плоскости, образующей угол в 25° с вертикальной плоскостью, проходящей через линию падения пластов. Геологический продольный профиль построен в виде проекции штольни на последнюю из названных вертикальных плоскостей. Пласты выклиниваются на поверхность земли почти точно по линиям горизонталей; геологический разрез является, следовательно, также и нормальным поперечным разрезом местности. Качества двух перемежающихся пород (роговообманкового и слюдястого сланца) здесь весьма различны. Слюдистый сланец залегает топкими пластами и в глубине горного хребта сильно сланцеват



Фиг. 202. Напластование по оси верхнего колена.



Фиг. 203. Простираение, падение и системы трещиноватости.



Фиг. 204. Общий схематический разрез (продольный профиль).

Фиг. 292—204. Напорная штольня Бремангер.

ментации, штольня одета бетоном только на протяжении двух коротких участков и притом впоследствии. При первом испытании под напором штольня не имела никакой одежды, и выявились только мелкие потери на фильтрацию (9—10 л/сек = 1 1/2% расхода воды). Большая часть потерь обнаружилась на отрезке с отметкой 133—140 м над уровнем моря, где при напоре 100 м расстояние от земной поверхности достигает только 35 м в среднем. Немного воды просочилось по трещинам в скале на земную поверхность. Источник остальных потерь обнаружился непосредственно выше места перехода наклонной штольни в го-

тикальной плоскости, образующей угол в 25° с вертикальной плоскостью, проходящей через линию падения пластов. Геологический продольный профиль построен в виде проекции штольни на последнюю из названных вертикальных плоскостей. Пласты выклиниваются на поверхность земли почти точно по линиям горизонталей; геологический разрез является, следовательно, также и нормальным поперечным разрезом местности. Качества двух перемежающихся пород (роговообманкового и слюдястого сланца) здесь весьма различны. Слюдистый сланец залегает топкими пластами и в глубине горного хребта сильно сланцеват

и мало тверд, так что почти везде можно легко открывать пальцами тонкие пластинки. Рогово-обманковый сланец, наоборот, очень тверд и крепок в отдельных пластах. Перпендикулярно к плоскости напластования в нем наблюдаются две линии трещин под углом  $+35^\circ$  к направлению падения пластов, но отдельные части крепко сцементированы, во многих местах хорошо скреплены известковым шпатов и хлоритом вторичного происхождения и на поверхности земли нигде не замечается открытых трещин. Прочность роговообманкового сланца на сжатие в направлении поперек пласта впоследствии была определена в  $2\ 100\ \text{кг/см}^2$  (округло); но один пробный образец выявил сопротивление только  $1\ 300\ \text{кг/см}^2$ . При сжатии параллельно направлению напластования выявились сопротивления в 1089, 920 и  $720\ \text{кг/см}^2$ . Объемный вес 3,08, удельный — 3,11. Относительно слюдястого сланца точных данных не имеется.

Согласно фиг. 205, выше горизонтального участка штольни проходит небольшая ложинка. Выходящий на дневную поверхность слюдяной сланец очень сильно выветрился. Первоначально штольню довели почти до силовой станции, перед железным трубопроводом устроили защитную стенку от оползней. В сомнительных местах выемку делали более просторной в предвидении бетонных креплений.

В апреле 1919 г. установка была готова для испытания под напором. Соответственно уровню зарегулированного озера напор оказался равным 123 м. Потери на фильтрацию в продолжение нескольких часов выросли очень сильно и спусти

5 час. после достижения полного напора в вышеупомянутой ложбинке выступила вода. Фильтрация была так сильна, что скоро началось падение напора. При осмотре опорожненной штольни непосредственно у начала железного трубопровода обнаружили скрытую трещину примерно в 5 мм, которая постепенно начала закрываться и, наконец, обозначилась в виде простой линии. После этого участок длиной около 59 м перед началом металл трубопровода, казавшийся с самого начала несколько ненадежным, одели железобетоном. При определении размеров исходили из статического давления в 139,5 м и рассчитывали напряжения согласно часто применяемого приближенного допущения, что разница между давлением воды и сопротивлением оболочки воспринимается упругим отпором породы. Толщину оболочки определили в 50 см; в местах, где в скале наблюдались трещины, толщина была 75 мм (с соответственным уменьшением свободного пространства в свету). Пропорция смеси бетона — 1 : 3; напряжение арматуры —  $1\ 000\ \text{кг/см}^2$ . В ожидании потерь на фильтрацию устроили дренаж, долженствовавший одновременно отводить воду, притекававшую из горной породы. Поверхность бетона.

соприкасающуюся с водой, тщательно уплотнили попеременно слоями штукатурки и защитной окраски, также тщательно уплотнили место соединения с трубопроводом. Пустоты между скалой и бетонной оболочкой заполнили цементной инъекцией под давлением 1 ат с помощью железных трубок.

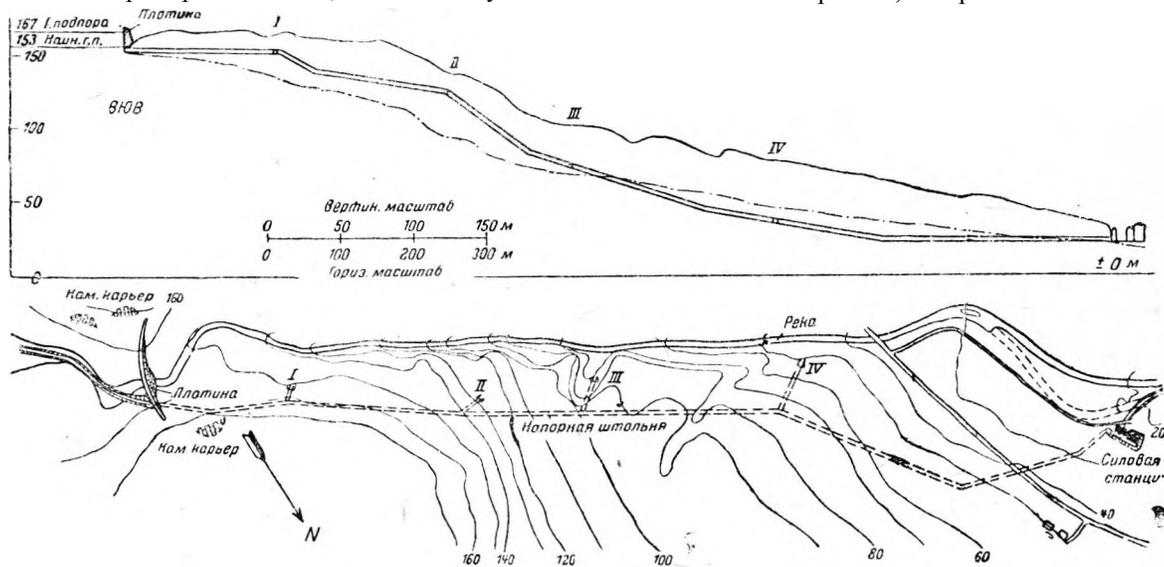
По окончании работ (исключая части штукатурных работ) 17 августа 1919 г. штольню подвергли напору, который повысили до 120 м и поддерживали в течение одного дня; потери на фильтрацию оказались незначительными. После второго периода испытания, продолжавшегося месяц, штольню снова опорожнили и произвели необходимые мелкие ремонтные и штукатурные работы. Эксплуатация открылась 15 октября, и вплоть до 20 декабря установка работала безостановочно при напоре 119—128 м с незначительными потерями на фильтрацию (5—6 л/сек). Когда 21 декабря повысили напор, то сначала никаких угрожающих явлений не наблюдалось, но на следующий день около 6 час. утра неожиданно начались значительные потери воды; одновременно на поверхности земли над забетонированным участком выступила вода. Напор понизили до 115 м и утечка заметно уменьшилась; при напоре 90 м фильтрация почти совершенно прекратилась. Поэтому вплоть до 1 июня 1920 г. штольня эксплуатировалась под напором 90 м, после чего ее опорожнили для большого ремонта. При значительных утечках воды наибольшее количество ее всегда выступало в ложбинке, проходящей поперек штольни. Очевидными причинами потерь при напоре в 132 м оказались две большие открытые продольные трещины в облицовке шириной 10—20 см (фиг. 206—207), которые по обеим сторонам проходили примерно в  $\frac{2}{3}$  высоты штольни.

Вышеприведенное изложение фактов построено на подробных донесениях инж. Шьербена, геологические же данные заимствованы у проф. Фогта. Инженер-консультант при постройке установки проф. Кольдеруп развил несколько иную теорию геологических условий и причин прорыва штольни; но его мнению, небольшая ложбинка объясняется геологическим сдвигом, а прорыв штольни произошел потому, что во время пробной работы незабетонированной штольни связь между частицами материала в зоне сброса настолько ослабела, что после забетонирования штольни давлением воды сопротивлялся только пласт ниже плоскости сброса, так что бетонная оболочка, армированная в расчете на полную высоту нагружающей породы, оказалась перенапряженной. Эта теория хорошо согласуется с прекращением фильтраций при понижении напора до 90 м. Проф. Кольдеруп объясняет, между прочим, неожиданное наступление значительной утечки небольшим землетрясением, наблюдавшимся 21 декабря в полдень. Остается



открытым еще один важный вопрос, была ли предшествовавшая цементная инъекция полностью эффективной или же она повредила горной породе благодаря примененному высокому давлению. Этот пример доказывает, во всяком слу-

Скаранскую установку построили с напорной штольной, рассчитанной на максимальный напор в 150 м; нормальный напор примерно — 142 м, расход воды — 1 м<sup>3</sup>/сек. Штольня проложена в гнейсо-граните, который в большей



Фиг. 212. Установка Скар. Напорная штольня: продольный профиль и план местности. Первоначальный вариант напорной деривации.

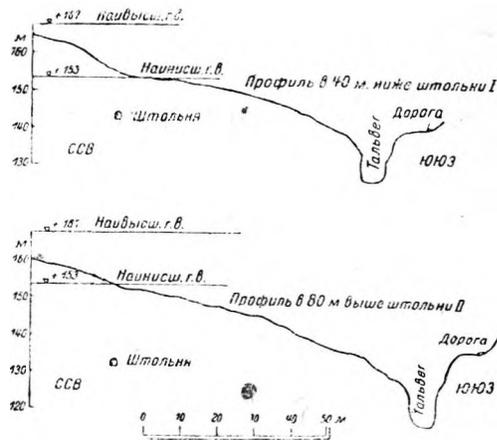
Пунктиром на (разрезе) показано ложе реки.

чае, что расчет на разницу между внутренним давлением воды и весом нагружающей породы приводит к неправильным выводам, если пренебрегают условиями прочности и водонепроницаемости скалы.

Ремонт свелся к совершенному уничтожению железобетонной оболочки и замене ее обыкновенными железными напорными трубами почти на полную длину горизонтального участка штольни (фиг. 208—211). Из соображений экономии, третий, т. е. холостой водоотвод не удлиннили, а соединили с главными трубами особой системой задвижек, отказавшись, впрочем, от возможности полного опорожнения. Интересна уплотняющая пробка в начале последнего участка трубопровода. Длина ее около 20 м, сторона, обращенная к воде, уложена из бетона 1 : 2½, пропорция смеси воздушной стороны — 1 : 2½ : 3; бетон не армирован; в бетонную постель уложены бутовые камни и имеется дренаж. Между обеими половинами вставлена железная листовая мембрана, внутреннее ребро которой приклепано к трубам, а наружное впущено в желоб, аккуратно высеченный в скале.

Все эти меры полностью оправдались, потерь воды до времени выхода в свет отчета проф. Фогта (январь 1919—1922 гг.) не наблюдалось; не наблюдались они, по-видимому, и позднее.

или меньшей степени выветрился на большую глубину, местами до 25 м и более, иногда до полного разрыхления. Большинство пробных образцов выявило прочность на сжатие



Фиг. 213. Установка Скар. Поперечные профили у вспомогательных подходов штолен I и II.

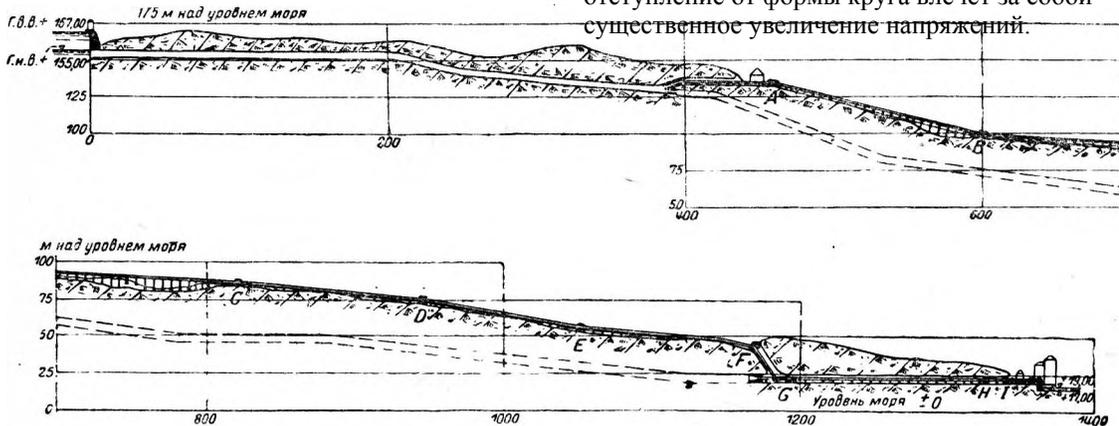
между 1 280 и 1 980 кг/см<sup>2</sup>, только один — 345 кг/см<sup>2</sup>. Бодопоглощающая способность большинства образцов в процентах веса равнялась от 0,14 до 0,28%; для вышеупомянутого особенно рыхлого образца она составляла 4,4%. Таким образом скала, сама по себе, была не особенно пригодна для прокладки напорной штольни.

Особенно неблагоприятна была, трассировка, тесно приуроченная к профилю местности (фиг. 212—214). Даже в самой пониженной части, где напор достигает до 150 м, мощность скалы над штольной не достигает 30 м. Когда штольно без всякой одежды испытали под напором 80 м, выявились значительные потери на фильтрацию. После этого ее выложили деревянными трубами со слабой железной арматурой и забетонировали пространство между ними и скалой. Как и следовало ожидать, потери на фильтрацию оказались снова очень значительными. После этой второй неудачи ограничили рабочий напор турбин напором всего лишь в 100 м и сохранили штольню только на протяжении верхних

штольне без одежды, он делает предпосылку об однородном изотропном материале и о линейном законе деформаций с различными модулями упругости для сжатия и растяжения. При круглом поперечном сечении штольни растягивающее напряжение  $\sigma_t$  определяется в:  $0,7 \times$

$\times (p - \gamma h)$  в замке штольни и  $0,7 \times (p - \gamma v)$  на середине высоты поперечного сечения. Здесь

$\gamma$  — удельный вес породы;  $v$  — вертикальная высота залегающего над штольной массива;  $h$  — величина, зависящая от рельефа поверхности массива и горного давления, во всяком случае меньшая, чем  $p$  — давление воды. Всякое отступление от формы круга влечет за собой существенное увеличение напряжений.



Фиг. 214. Установка Скар. Современное расположение.

37 м высоты напора, на остальном же участке заменили ее железным трубопроводом, частично уложенным открыто. После этих радикальных мероприятий установка работает без перерывов.

Проф. Фогт следующим образом резюмирует факторы, обуславливающие водонепроницаемость напорной штольни:

1. Капиллярная пористость породы.
2. Зоны выветривания.
3. Трещины вдоль плоскостей напластования, сброса и взброса.
4. Химическое действие воды (выщелачивание).
5. Эффект гидростатического давления.
6. Недостаточная заделка кладкой у промежуточных штолен (окончив местах соединения с трубопроводами).

Наибольшее значение он (вполне правильно) придает пп. 2, 3 и 4, а в качестве примера неожиданно глубокого выветривания приводит тоннель Оркла на Дуврской ж. д.

Важный и многократно обсуждавшийся вопрос о влиянии гидростатического давления на геологически-безупречную скалу инж. Фр. Фогт подверг тщательному исследованию. Для установления исходной точки определения растягивающих напряжений, возникающих в напорной

При исследовании штольни с одеждой д-р Фогт приходит к заключению, что иногда железобетонную оболочку можно рассматривать как часть скалы, и следовательно, рассчитывать арматуру,

исходя из уравнения  $\sigma_t = 0,7 \cdot p \cdot (r_0/r)$  действительного для однородной скалы ( $r_0$  — радиус в свету).

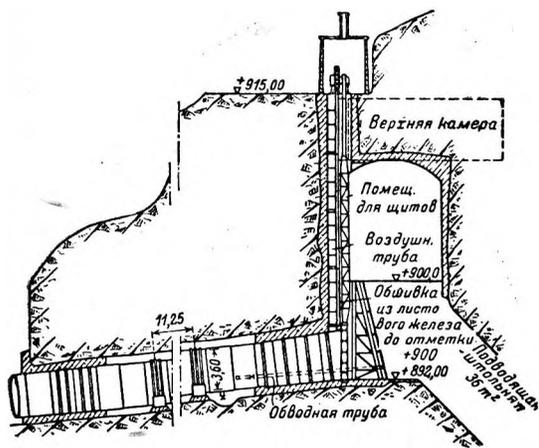
(На европейском континенте при строительстве штолен руководствуются, главным образом, гидравлическим испытанием отдельных пробных участков предпочтительно перед расчетными формулами — П р и м. а в т о р а.)

Что касается предельного допускаемого напора, то нельзя не согласиться с мнением д-ра Фогта, что штольни с бетонной одеждой и без нее, даже при самых благоприятных геологических условиях, не следует подвергать Давлению выше достигнутого в настоящее время предела 151 м вод. ст., максимальная высота напора на европейском континенте в штольне без одежды 75 м (штольня Барберин).

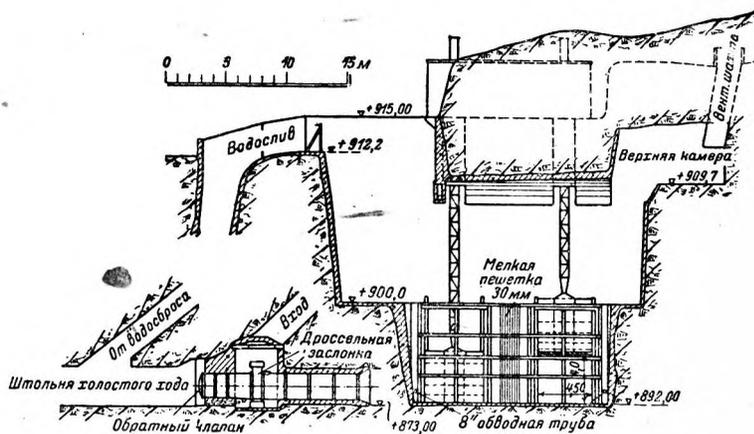
При очень большой высоте напора и благоприятных геологических условиях Фогт стоит за применение совсем тонких труб из листового железа в виде оболочки с заполнением простран-

ства между стенкой трубы и скалой бетоном; самая существенная предпосылка заключается в том, что бетон должен насухо дренироваться, так как скопившаяся в нем напорная вода при осушении штольни может продавить железную оболочку (аналогичные идеи применяются и в европейском строительстве штолен: в напорной шахте Хандек,  $H > 500$  м, железная листовая оболочка подвергается напряжениям, равным половине временного сопротивления, если рассчитывать ее на разрыв без учета сопротивления скалы).

Родственный по существу тип конструкции применен Государственным управлением гидроэнергетических установок Швеции в Трель-



Фиг. 215. Фрейстул. Уравнительная башня, продольный разрез.



Фиг. 216. Фрейстул. Уравнительная башня, поперечный разрез.

хэттане, Порьюсе и Норрфорсе, хотя с меньшими высотами напора. Формально железная листовая оболочка рассчитывалась на полную высоту напора, но в новейших трубопроводах, учитывая участие скалы (упругий отпор допущены более высокие напряжения. Так, например, в Порьюсе (высота напора 55 м) для прежних трубопроводов допускалось напряжение  $1\ 250$  кг/см<sup>2</sup>, для новейших частично даже  $2\ 000$  кг/см<sup>2</sup><sup>1</sup>. Первоначальная неудача напорных шахт в Свэлльгфосе 1, обшитых железными листами, но не дренированных, доказывает необходимость дренажа, и прочного заанкерования железной обшивки в бетоне.

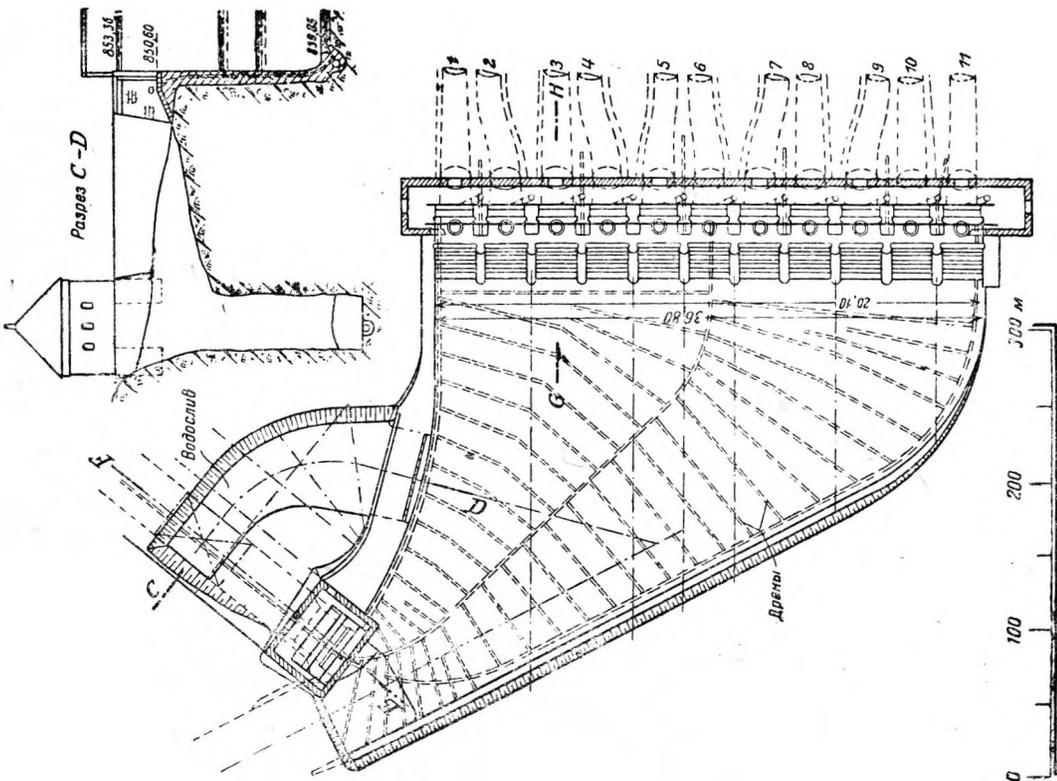
### § 3. Уравнительные башни.

Шахтные уравнительные башни в конце подводящих трубопроводов скандинавских высоконапорных установок вообще строятся в виде шахты в скале, часто без всякой одежды, и одновременно конструктивно способствуют переходу к напорным трубам турбин. Примеры: Рьюканские установки, фиг. 215, 216, 217—220, Глом-

фиорд, Тиссе, фиг. 222, 223. В отличие от европейских установок мелкая решетка нередко устанавливается внутри уравнительной башни; при этом, однако, промежуточная стенка со щитовым затвором (фиг. 224, 225, 226) легко может оказать неблагоприятное гидравлическое влияние при внезапном включении нагрузки. Как правило, из уравнительной башни устраиваются водосбросы (фиг. 227—231). Интересны различные детали оборудования помещения затворов (фиг. 232—233). Совершенно или на половину свободные уравнительные башни из железобетона или железа встречаются в Швеции часто (конечно, чаще всего в мелких установках), например, в Хаби (фиг. 234, 235, 236); цилиндри-

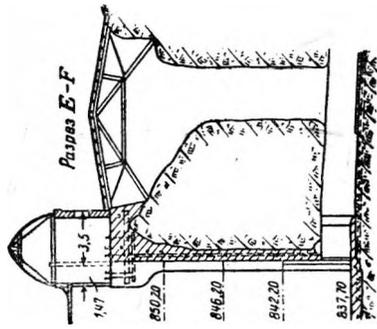
ческой железной листовой оболочке придана жесткость только с помощью уголка у подошвы и решетчатого кольца наверху. При значительном расходе воды и значительной длине трубопровода в месте перехода от горизонтального участка трубопровода — деривации — к наклонному — одной уравнительной башни обычно бывает недостаточно, чтобы обеспечить регулирование турбины, и необходимо расположить в непосредственном соседстве с турбинной установкой второе специальное гидравлическое уравнительное устройство. В Швеции с ее многочисленными средненапорными установками с деривацией мы находим ряд примеров такого расположения: на гидроэлектростанции Льюнга длина трубопровода достигает почти 2 500 м, из которых 1 800 м уложено горизонтально, а 700 м — с падением. В конце горизонтального участка расположена уравнительная башня своеобразной железной конструкции в форме ящика со сбросом (фиг. 237). У силового здания имеется второй бассейн в виде башни (фиг. 237, 238). Наибольший диаметр воронкообразного надземного резервуара находится на высоте наиболее часто наблюдающегося горизонта зеркала. Решетчатая опора этой верхней части служит

<sup>1</sup> Вестерлинд 1, Лондонская мировая энергетическая конференция, т. II, стр. 347.



Фиг. 220.

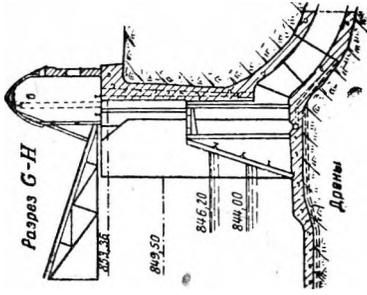
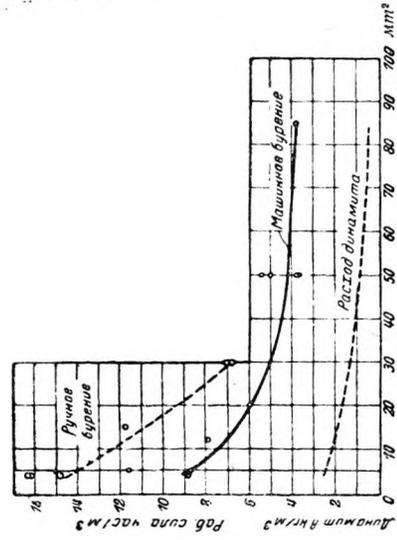
Фиг. 217—220. Рьюкан I (Веморк). Уравнительная башня.



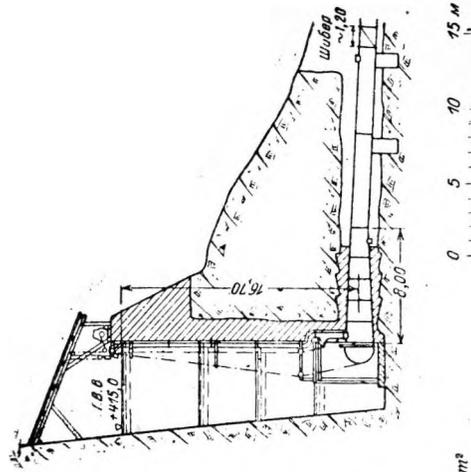
Фиг. 217.

Фиг. 218.

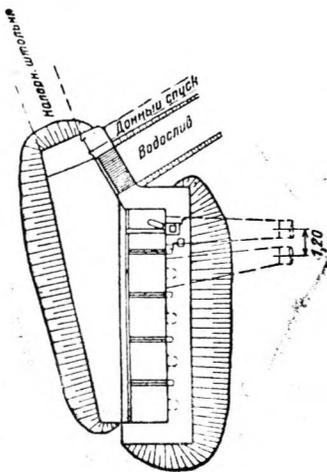
Фиг. 221. Расход рабсилы и динамита при проходе штолен в Швеции.



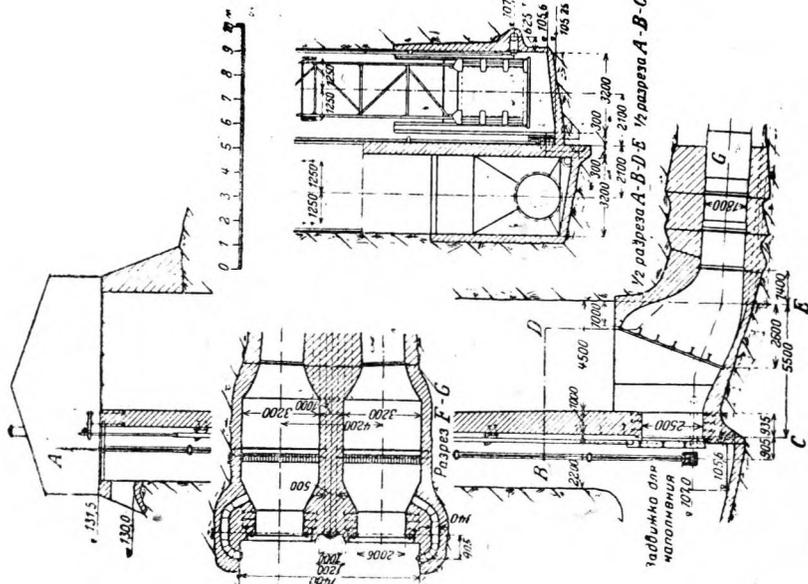
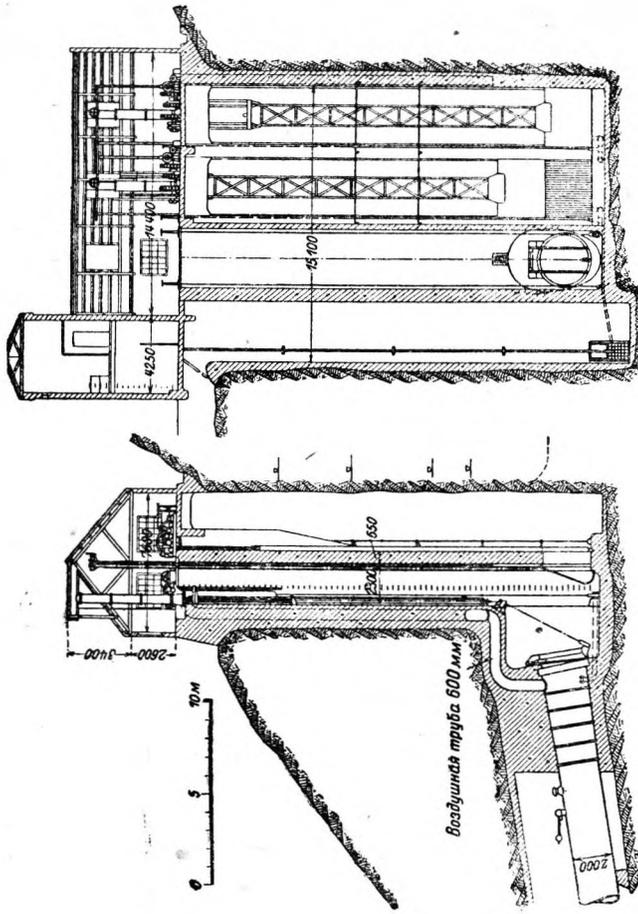
Фиг. 219.



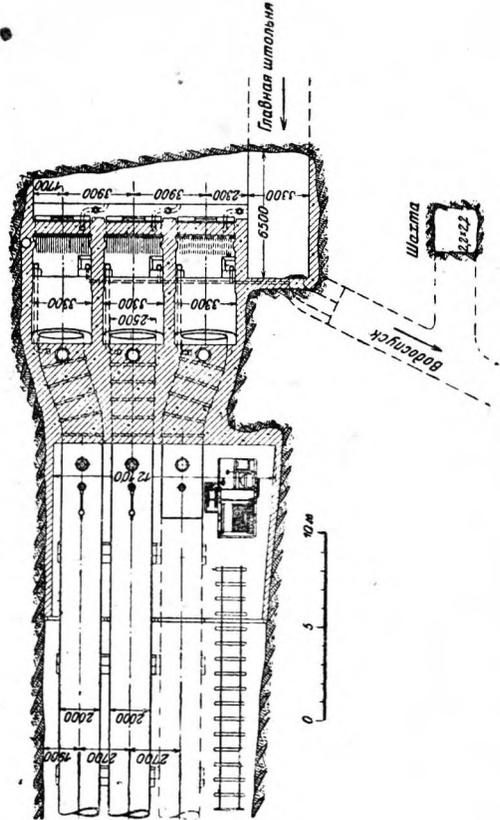
Фиг. 222. Тиссе. Разрез уравнительной башни.



Фиг. 223. — План уравнивательной башни.



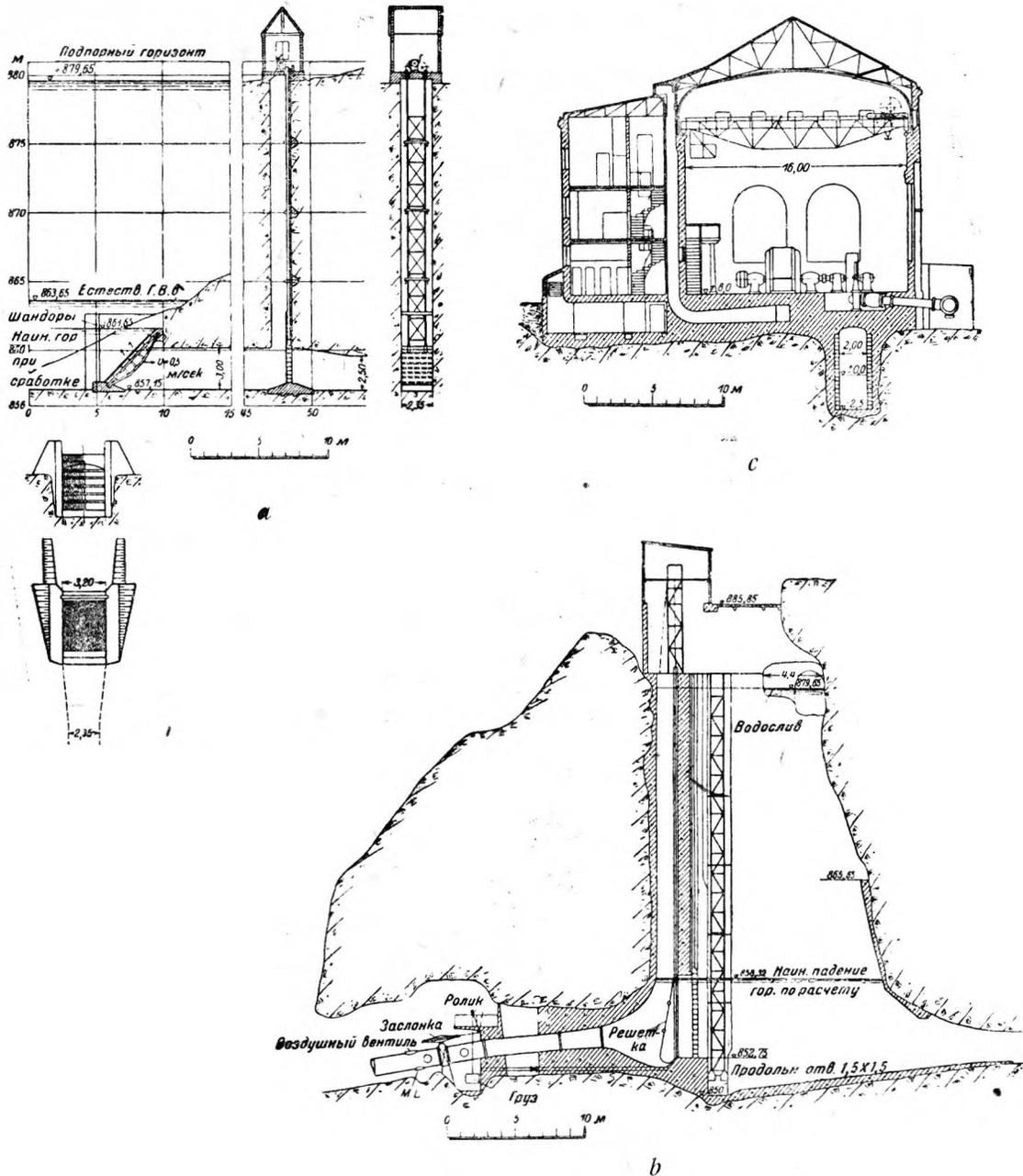
Фиг. 224. Бодин. Уравнивательная башня.



Фиг. 225. Гломфиорд. Уравнивательная башня.

одновременно для придания жесткости нижней части резервуара. Трубчатый воронкообразный водослив расположен центрально. Так как при исключительно сильных морозах в этой местности вода в уравнильной башне замерзала и продавливала трубу водослива, то всю башню

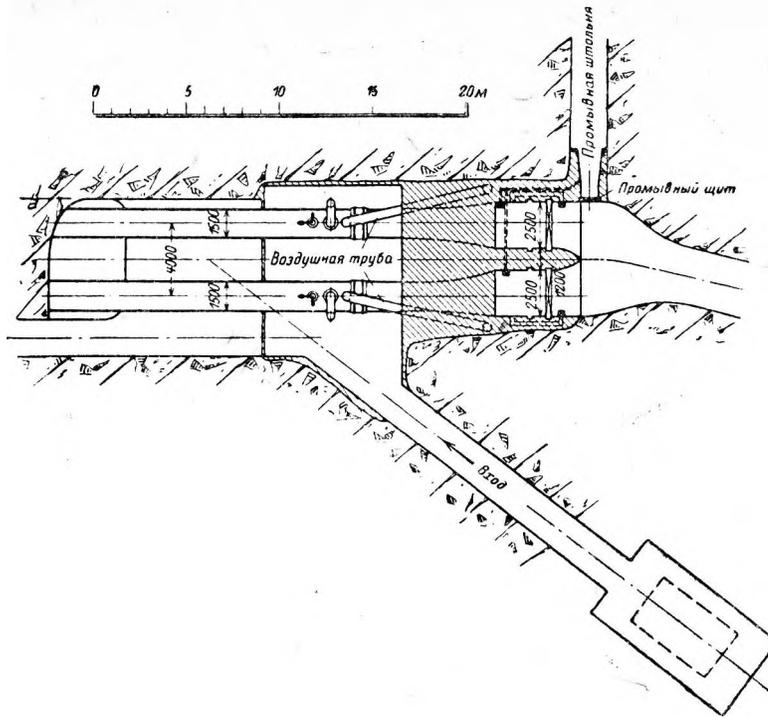
центральный трубчатый сброс, но конструктивные формы ее совершенно другие. Уравнильная башня в Эльверуме (фиг. 240) поставлена непосредственно впереди разветвления трубопровода. Трубчатый сброс и здесь расположен центрально, но верхнюю его часть можно под-



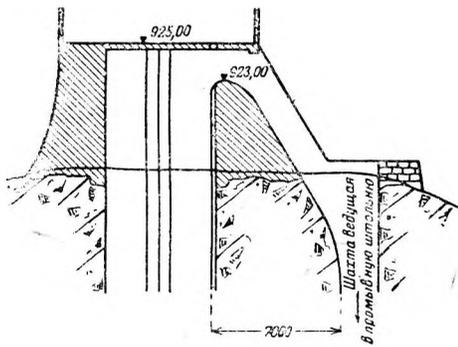
Фиг. 226. Бельвю. *a* — водоприемник; *b* — уравнильная башня; *c* — силовое здание.

впоследствии обшили деревом; кроме того, вокруг нижней части восходящей трубы уложили паровой змеевик. По таким же принципам построена и уравнильная башня в Сикфорсе (фиг. 239), т. е. она имеет соединительное отверстие с гидравлическим сопротивлением и

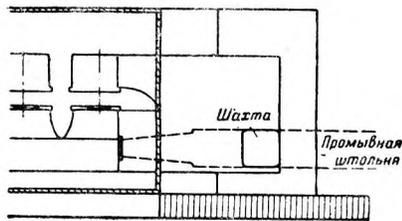
нимать и опускать, чтобы приспособить высоту сброса к горизонту воды в верхнем бьефе. Уравнильные резервуары в нижнем бьефе необходимы в дополнение к уравнильным башням, если отработанная вода отводится по штольне или трубопроводу. В северных установках мы ви-



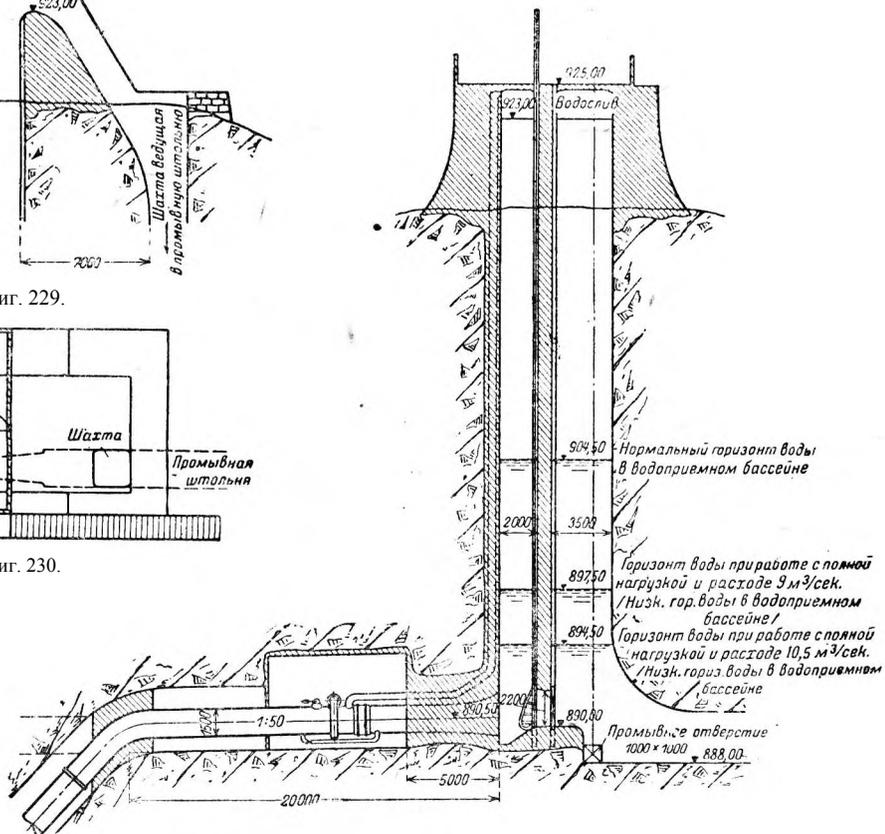
Фиг. 227.



Фиг. 229.

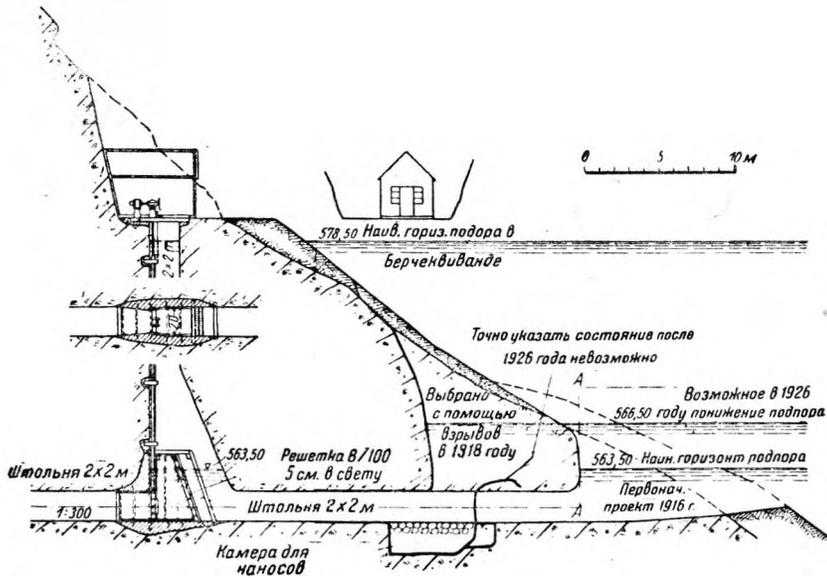


Фиг. 230.

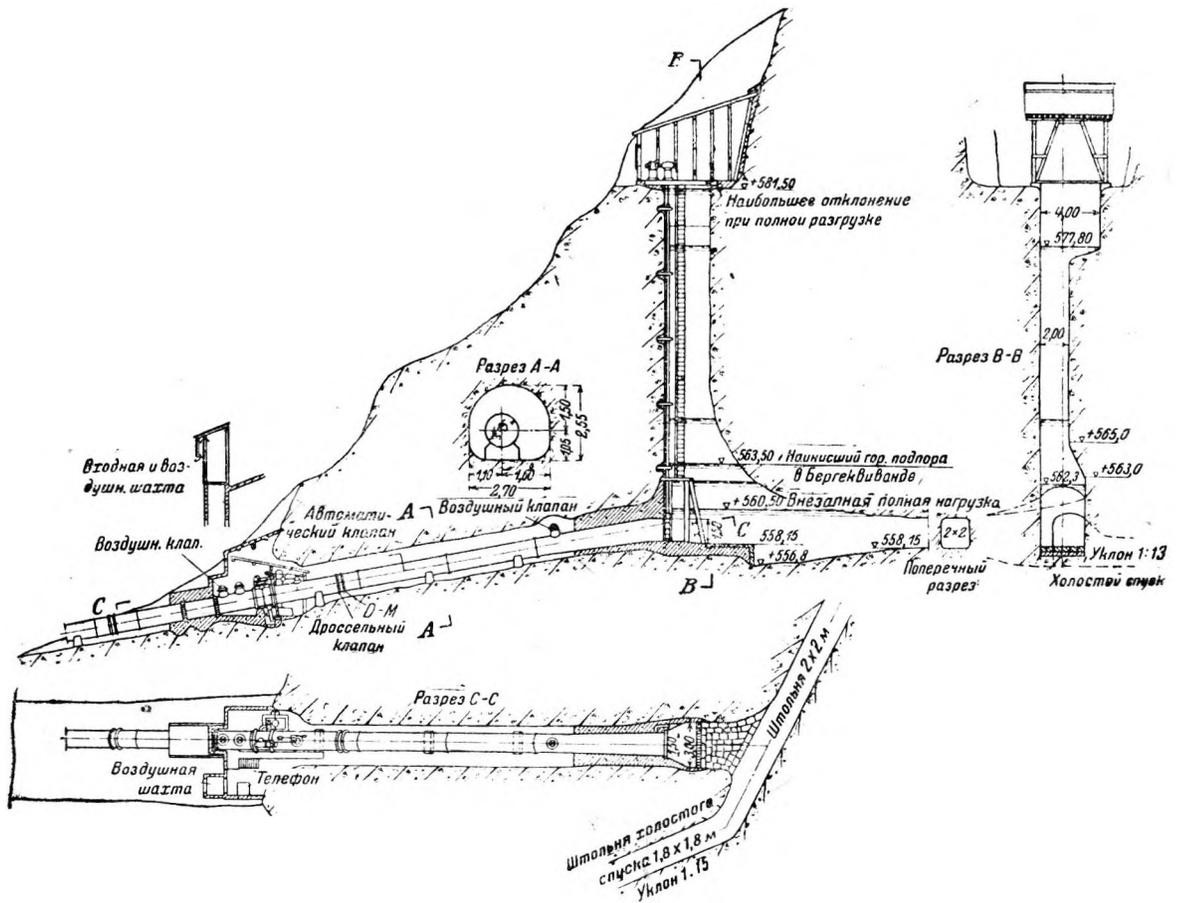


Фиг. 228.

Фиг. 227—230. Оза. Уравнительная башня с водосливом. План и разрезы.

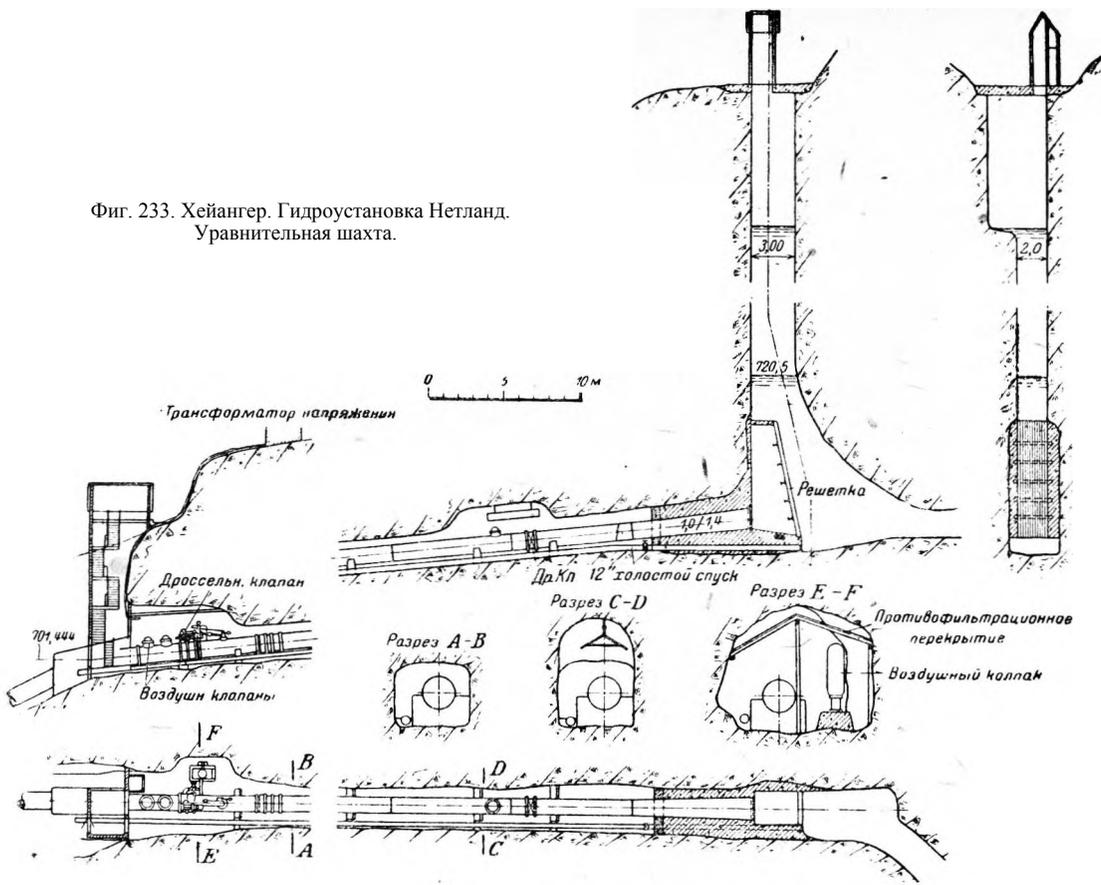


Фиг. 231. Хейангер. Гидроустановка Эре. Водоприемное устройство с щитовой шахтой.

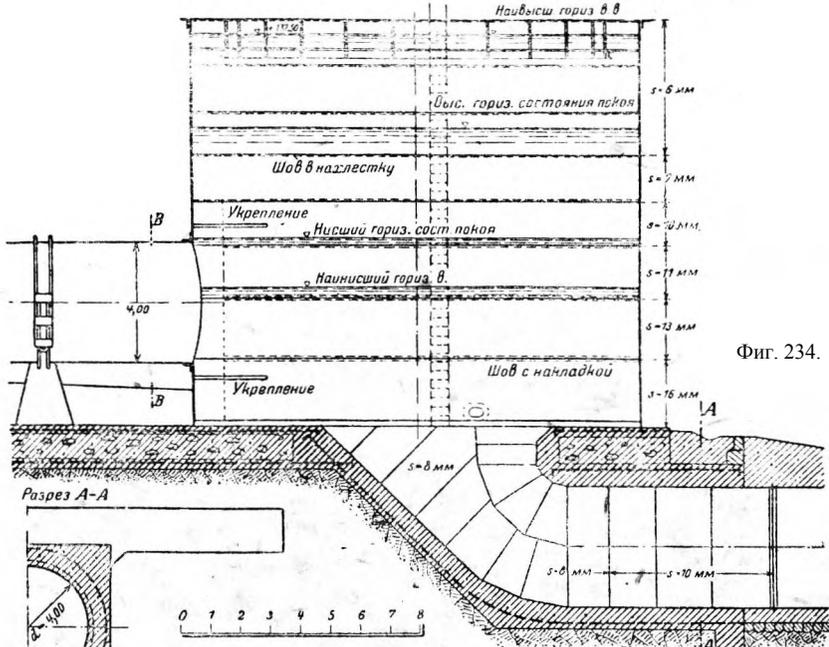
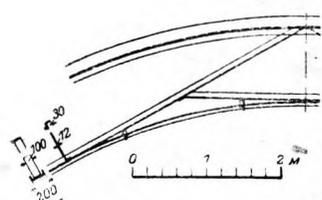


Фиг. 232. Хейангер. Гидроустановка Эре. Уравнительная шахта.

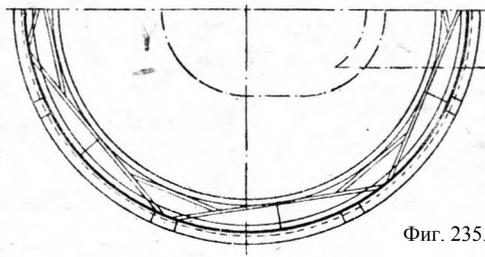
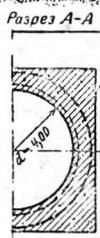
Фиг. 233. Хейангер. Гидроустановка Нетланд.  
Уравнительная шахта.



Фиг. 236.



Фиг. 234.

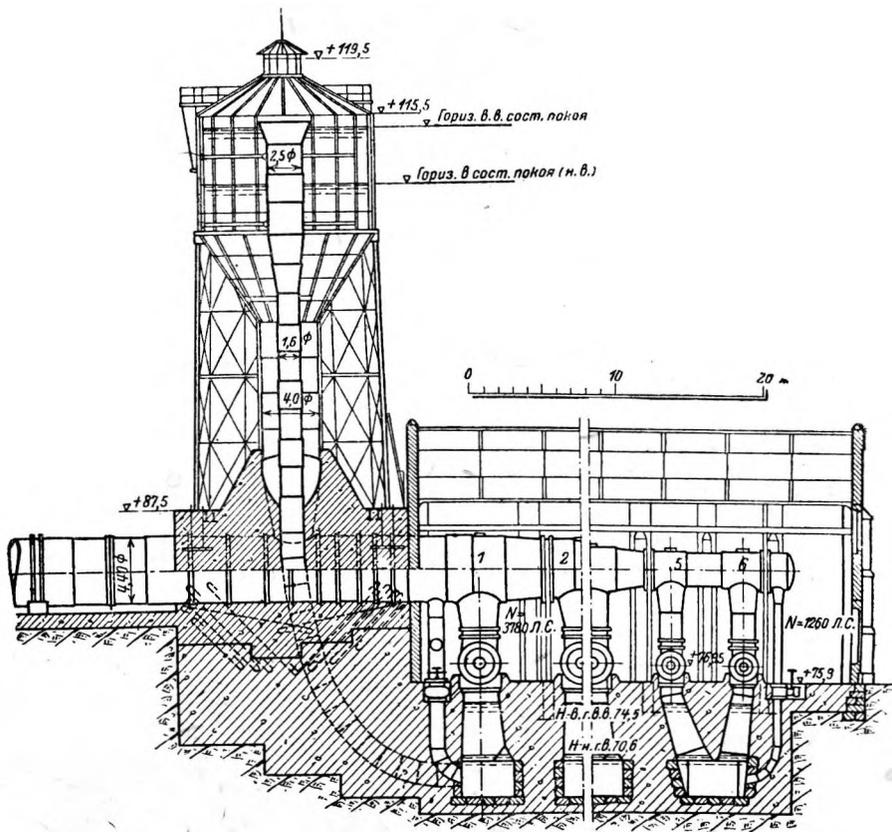


Фиг. 235.

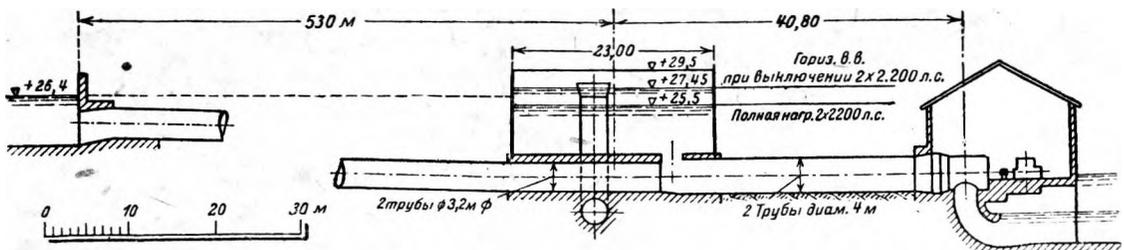
Фиг. 234—236. Хаби. Уравнительная башня.



Фиг. 237. Установка Льюнга. Вид уравнительной башни.

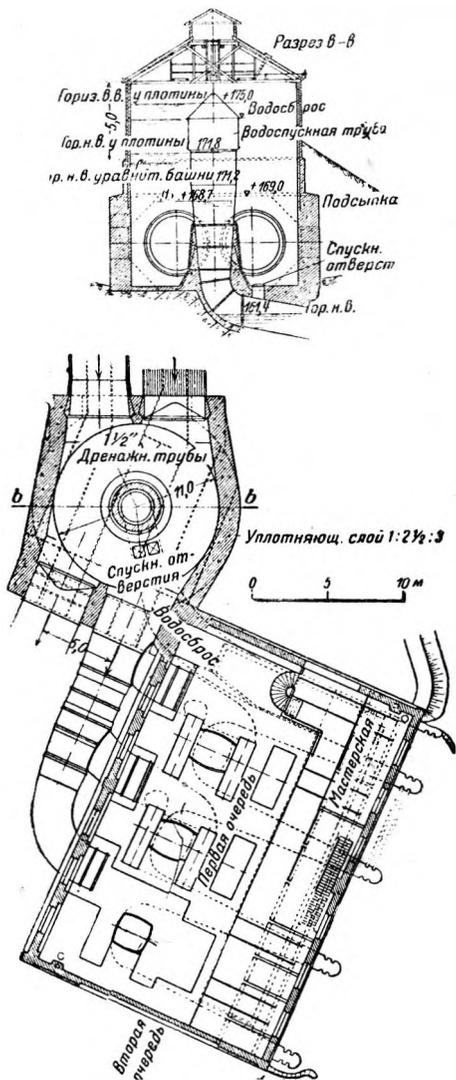


Фиг. 238. Льюнга. Вторая уравнительная башня у силового здания.



Фиг. 239. Сикфоре. Схема водовода с уравнительной башней.

дим ряд таких примеров. Самый значительный — установка Порьюс с двумя огромными боковыми камерами, высеченными в скале, причем поперечное сечение штольни впереди и позади



Фиг. 240. Эльверум. Уравнильная башня и силовое здание.

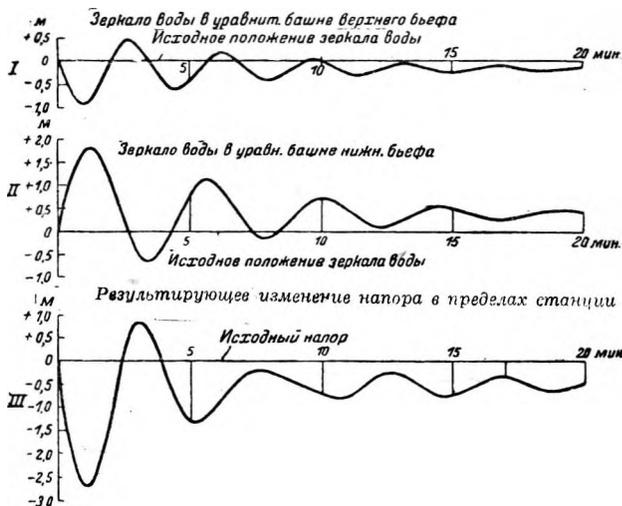
камеры увеличено и с обеих сторон плавно переходит в нормальное —  $50 \text{ м}^2$ . Приводимая ниже в перечне литература содержит много интересных подробностей. На фиг. 241 изображены кривые колебаний горизонтов воды и напора при «нормальном» изменении нагрузки с  $70$  до  $100 \text{ м}^3/\text{сек}$ , при котором сброс еще не начинает действовать.

В виде курьеза следует упомянуть об установке Скар, совсем не имеющей уравнильной башни, что объясняется, своеобразной историей ее возникновения.

«Открытые» уравнильные шахты — напорные бассейны — помещаются в конце безнапорных штолен и каналов, смотреть например установку

в Тролльхэттане, фиг. 242, Свэльгфосс, Киккельсруд, Типфоссе.

Здесь вопрос сброса поверхностного льда имеет особую важность и интересны меры, принятые в Тролльхэттане, чтобы уже после постройки улучшить условия течения и неудачное расположение в плане ледяного щита в мертвом пространстве слитком рано ушеренного напорного бассейна). Согласно фиг. 243—247 в стены и подошву вделали частью искривленные, частью поставленные наискось направляющие стенки, приводящие притекающую воду



Фиг. 241. Порьюс. I — кривые колебаний горизонта воды в уравнильных шахтах верхнего и нижнего бьефов и напора на турбинах при внезапном увеличении расхода воды с  $70$  на  $100 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

во вращательное, движение, так что как вода, так и лед на поверхности могут быть направлены в желательную сторону (фиг. 248). Сначала таких стенок было 4 (а, б, с — железные, d — деревянная). Они заставили поверхностные слои воды направиться к левой трети ширины канала, в сторону ледосборных щитов. Для усиления действия на дне устроили еще пять стенок 1 — 5, причем № 1 целиком из глиноземистого цемента 1 : 3 (при спущенной воде), а № 2 — 5 — на цементном фундаменте, на который водолазы при наполненном канале, установили железные стенки, с помощью заделанных в фундамент болтов с винтовой резьбой. В 1927 г. предполагалось удалить бортовые стеуки (а, б, с), сохранив только стенки на дне.

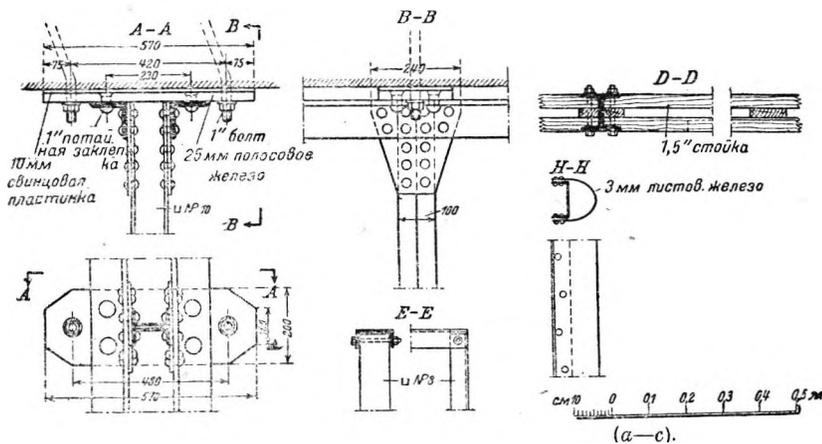
#### § 4. Железные напорные трубопроводы.

Понимание существенного различия в статических условиях работы низко- и высоконапорных трубопроводов, почерпнутое, главным образом, из шведских научно-исследовательских работ, дало на севере уже сравнительно давно

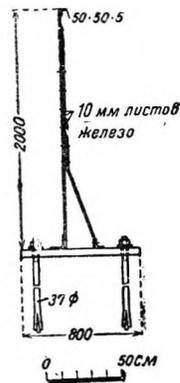


практические результаты. Как известно, в низконапорных трубопроводах частичное наполнение может оказаться тем случаем нагрузки, который имеет решающее значение, и в качестве важного предельного случая следует выделить прохождение пьезометрической линии примерно на уровне верха трубы.

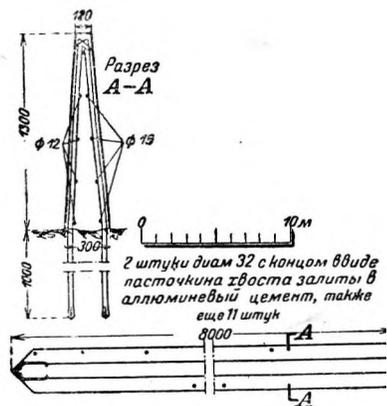
речными сечениями труба должна быть минимально жесткой, чтобы изгибающие напряжения были возможно малы. Так как, однако, частичное наполнение вызывает неблагоприятные напряжения, то нельзя избежать размещения легких ребер жесткости и между опорами. Точные исследования, построенные на принци-



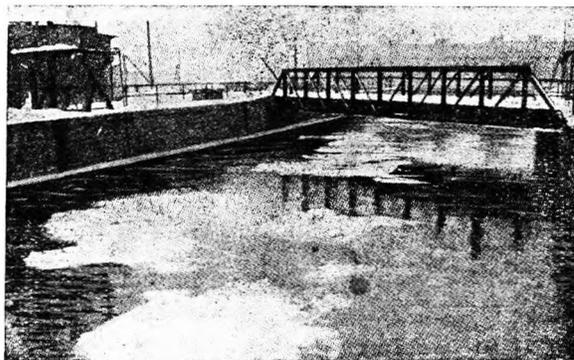
Фиг. 245. Детали железных направляющих стенок а по с.



Фиг. 246. Разрез направляющих стенок 2, 3, 4, 5 и d.



Фиг. 247. Стенка 1.



Фиг. 248. Действие направляющих стенок.

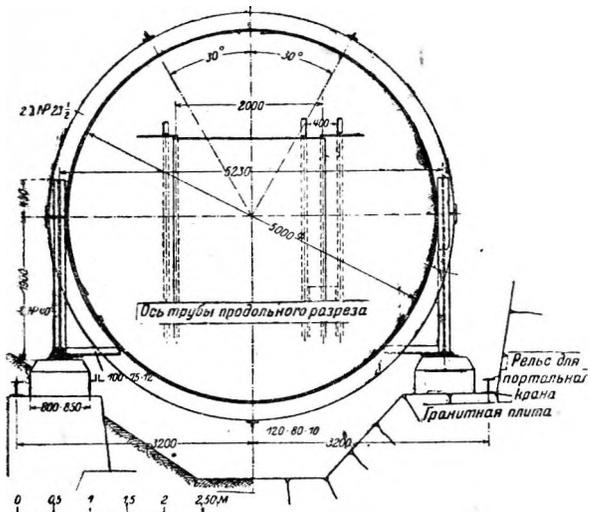
Фиг. 245—248. Напорный бассейн установки Тролльхэттан.

Здесь неравномерность давления воды имеет решающее значение для статического расчета. Для чисто низконапорных трубопроводов в Швеции выработана новая очень ценная конструктивная форма, главным образом, трудами проф. Карлсона (Бюро гидротехнической консультации, Стокгольм) на основе углубленных статических исследований, а именно трубопровод с большим пролетом<sup>1</sup>.

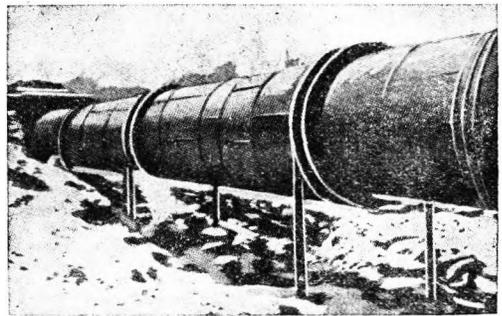
Существенная основная идея этой конструкции заключается в том, что наиболее неблагоприятные напряжения возникают в опорных сечениях, почему здесь и ставят мощные ребра жесткости; зато между двумя опорными попе-

пах теории упругости, выявили наиболее выгодный род опор, а именно совершенно жесткие сплошные кольца; внутри этих колец свободно подвешена трубчатая оболочка, которой легкие ребра жесткости из уголков, в промежутке между опорами, придают некоторую жесткость. Выгоднее всего, когда опорное кольцо опирается в двух точках, расположенных симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось. Эта конструкция с ее большими расстояниями между опорами и топкой листовой оболочкой труб имеет еще и ту большую выгоду, что вся наружная поверхность железных труб доступна и что покраску можно легко возобновлять и возле опор. Опыты над большим трубопроводом гидроэлектростанции Льюнга доказали, что жесткое действие опорных колец распространяется на

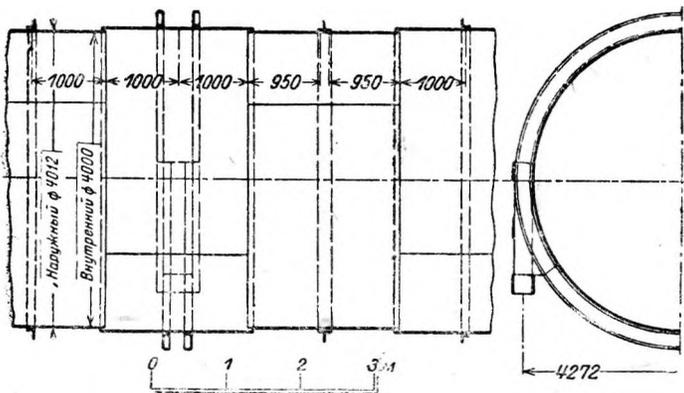
<sup>1</sup> Почти одновременно аналогичные успехи были достигнуты и в Германии, ср. статью Д. Тома, в «Zeitschr. f. T.», 20/II 1920.



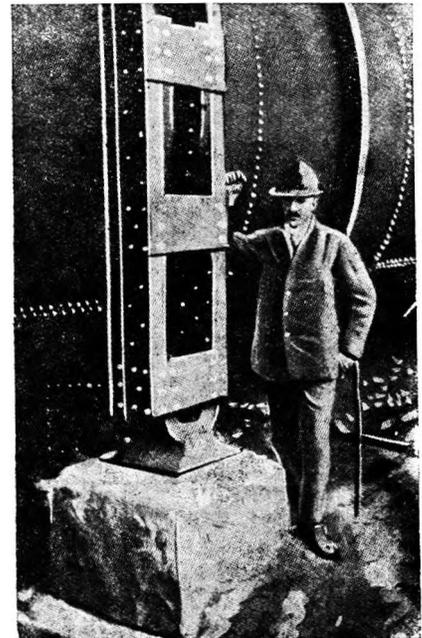
Фиг. 249. Льюнга. Напорный трубопровод (поперечный разрез и деталь продольного разреза).



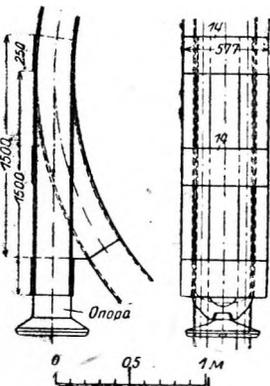
Фиг. 253. Общий вид.



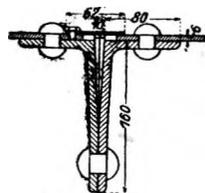
Фиг. 250. Продольный разрез.



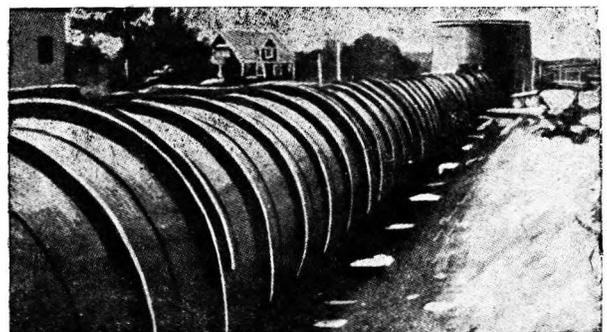
Фиг. 254. Устройство опоры для опорных колес.



Фиг. 251. Опорное кольцо.



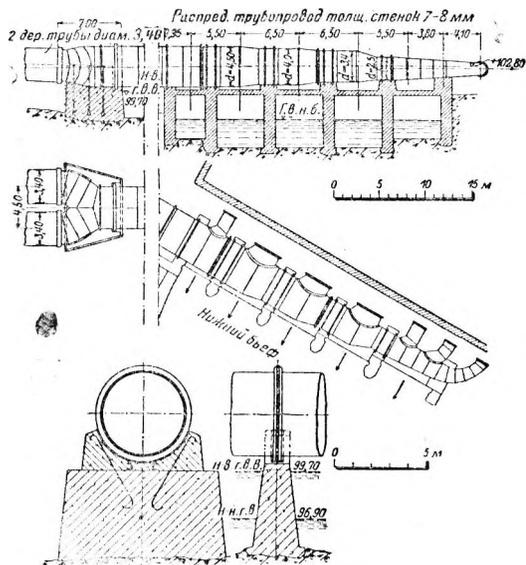
Фиг. 252. Тарельчатый компенсатор.



Фиг. 255. Кунгфорс. Трубопровод с большими пролетами.

Фиг. 250 — 254. Хаби. Напорный трубопровод.

очень значительное расстояние и что при пролетах не слишком большой длины промежуточных ребер жесткости вообще не требуется. Тем не менее, 5-м трубопровод в Льюнге (фиг.



Фиг. 256. Эггфорсен. Напорный трубопровод с низовой стороны здания гЭС.

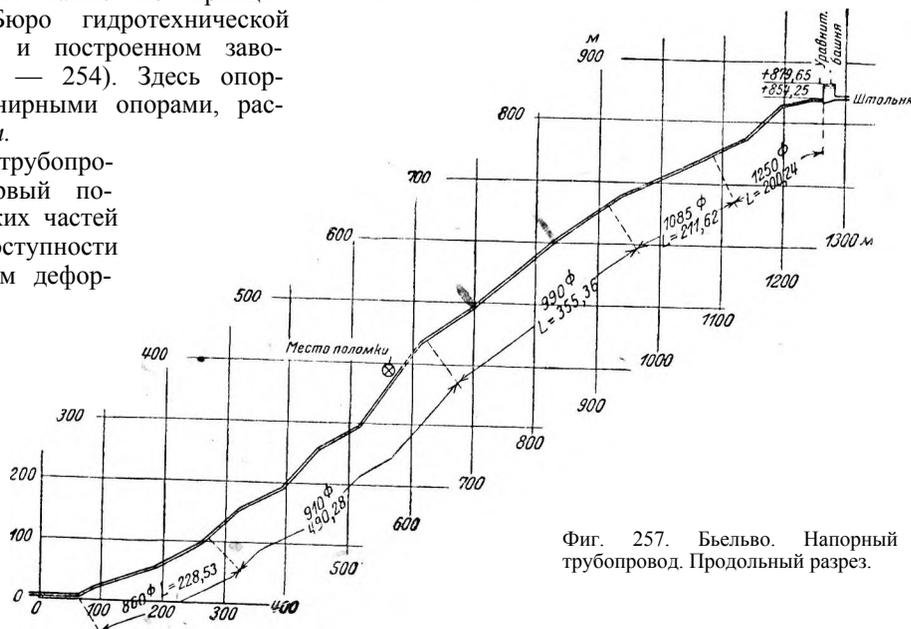
249) снабжен промежуточными кольцами жесткости. Еще более отчетливо выражена конструктивная идея в 4-м трубопроводе в Хаби (южная Швеция), спроектированном также по принципам проф. Карлсона (Бюро гидротехнической консультации, Стокгольм) и построенном заводом в Мотала (фиг. 250 — 254). Здесь опорные рамы снабжены шарнирными опорами, расстояние между опорами 10 м.

Особенно интересны трубопроводы в Кунгсфорсе. Первый построен в 1900 г. без жестких частей у опор; благодаря недоступности опорных частей и местным деформациям в нем постоянно обнаруживались неплотности и ржавление, несмотря на то, что опорную площадь увеличили. Поэтому Бюро гидротехнической консультации разработало проект необходимой перестройки по принципам проф. Карлсона.

Позднее здесь же построили второй трубопровод диаметром 3,3 м с расстоянием между опорами 12,5 м. Толщина стенок 6 мм. Промежуточных ребер жесткости нет, опорные кольца состоят из коробчатого железа № 22 (фиг. 255).

В трубопроводе в Эггфорсене (Недре Норр-

ланд, фиг. 256) соблюдена основная идея в смысле придания трубе значительной жесткости над опорой, но не соблюден принцип свободно покоящегося опорного кольца, вероятно, в силу очень значительной нагрузки. Оба турбинных трубопровода установки соединены в один диаметром 4,5 м в целях пропуска через реку шириной 60 м. Расстояние между опорами 19 м., так что каждый промежуточный бык несет нагрузку примерно в 350 т. Толщина стенок трубы 10—12 мм. Над опорой трубе придана жесткость с помощью колец из двутаврового железа, склепанных так, что они одновременно образуют расширительный фланец. Эти кольца жесткости покоятся на прокладках из листового железа на армированных бетонных подушках. В каждом пролете между опорами имеется три промежуточных кольца жесткости. Эта конструкция, спроектированная и выполненная заводом Кристинегамн, работает с 1914 г. и показала совершенную водоупорность. Упомянем еще о Бодинской установке (Норвегия), где конструкция трубопровода с большими пролетами хотя и не в полной мере отвечает теории, но хорошо оправдала себя на практике. Этот трубопровод, пересекающий реку и соединяющий между собой две штольни, имеет диаметр 1,8 м; пролет 9 м; два угольных кольца приклепаны к трубе по обе стороны бетонной подушки; другими словами, именно та часть поверхности трубы, которая выдерживает наибольшие местные на-



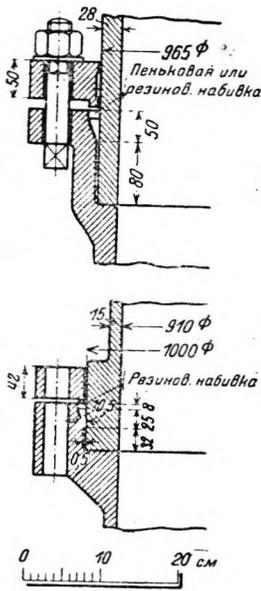
Фиг. 257. Бьельво. Напорный трубопровод. Продольный разрез.

пряжения, непосредственно не укреплена никакими частями жесткости.

## § 5. Высоконапорные трубопроводы.

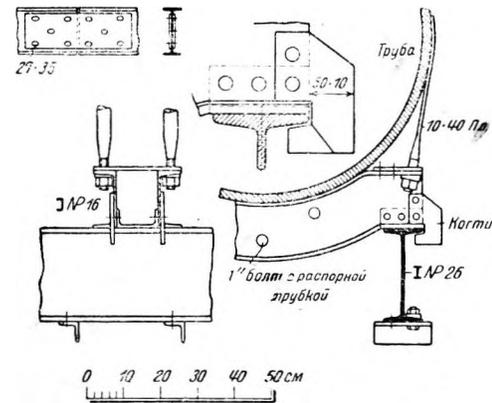
Высоконапорные трубопроводы на севере конструктивно не отличаются существенно от та-

ких же трубопроводов в других странах. Сварные трубы, которые требуются при значительном напоре, изготавливаются за границей, главным образом, немецкими фирмами. Особенно трудные условия топографии привели, однако, к ряду разрывов трубопроводов, которые повлияли на эволюцию их строительства. Самый серьезный разрыв произошел в установке Бьельво, которая при  $H = 875$  м статической высоты напора является самой высокой напорной установкой на всем севере Европы. Трубопровод длиной 1 518 м (фиг. 257, 258) состоит из сварных труб длиной 6 м; ниже отметки 391 они бандажированы, диаметр их 850 — 1 250 мм. Стыки в пролетах соединены высоконапорными муфтами, патент «Феррум» (фиг. 259). Набивочным материалом для бандажированных труб служит резина, для гладких — препарированный пеньковый канат.



Фиг. 258. Бьельво. Напорный трубопровод. Высоконапорная муфта для гладких и бандажированных труб.

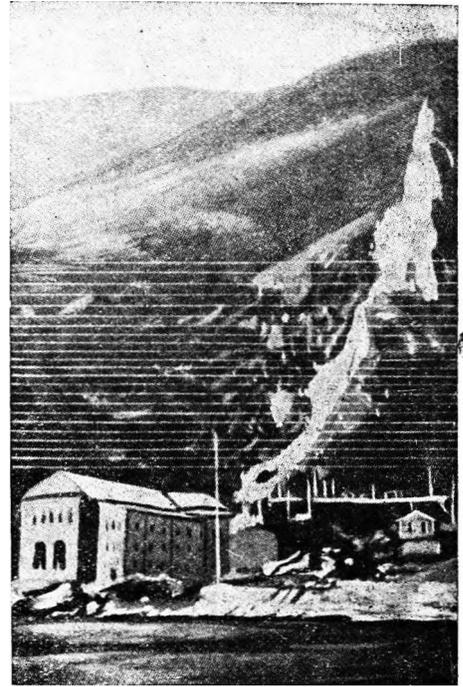
Бандажированные трубы покоятся неподвижно на опорных подушках, так что изменения длины вследствие температурных колебаний равномерно распределяются между всеми муфтами. Только на самых крутых участках VI, VII, VIII, и IX для восприятия общего удлинения от изгиба устроены особые сальники; трубы



Фиг. 260—262. Напорный трубопровод Бьельво. Устройство опор на крутых склонах и неподвижная опора.

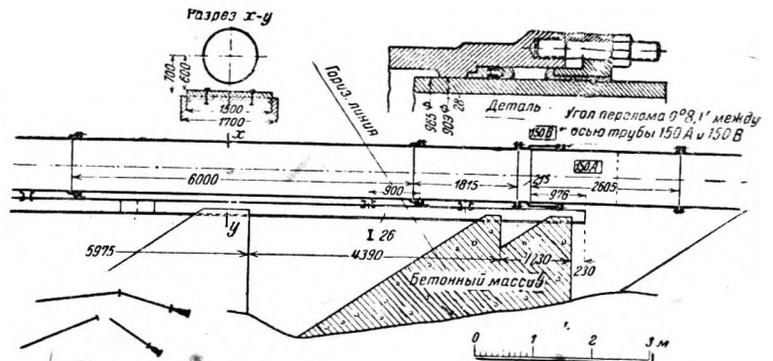
покоятся на железных подушках, лежащих на тавровых балках. Стыки этих продольных 6-м балок были выполнены с продолговатыми дырами (фиг. 260, 261, 262), но результат, которого добивались, т. е. чтобы изменение длины балок по длине не вызывало продольного изгиба, был све-

дены к нулю благодаря тому, что соединительные болты были слишком сильно затянуты. Еще неправильнее было применение слишком сла-



Фиг. 259. Бьельво. Напорный трубопровод. Тотчас же после аварии.

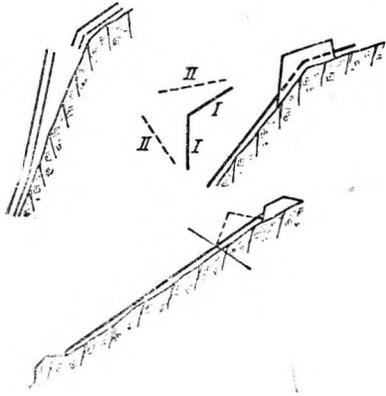
бых (10 мм) скоб из плоского железа для закрепления коробчатых подушек на продольных балках и неаккуратная сборка этих скоб с боковой игрой, которая на одной стороне доходила до 30 мм, хотя предписан был предел



в 1 мм. К тому же именно в этом же месте фундаменты отдельных подушек уложены не по проекту. Наконец, серьезной ошибкой проекта было слишком большое расстояние между опорными точками VI и VII (168 м) при большой крутизне трубопровода и при муфтовом соеди-

нении. Кроме этих ошибок в проекте, конструкции и исполнении наблюдались еще с несомненностью установленные дефекты материала (военное и послевоенное время), а когда после принятия в эксплуатацию были обнаружены незначительные отклонения в сторону от намеченной трассы, то в дополнение ко всему совершенно произвольно стали устраивать укрепления: и без того уже неотчетливое распределение сил стало еще запутанней.

Все эксперты, участвовавшие в расследовании причин аварии, были единодушны в оценке этих ошибок, но в отношении роли их в произошедшей катастрофе и самого ее процесса мнения разошлись.



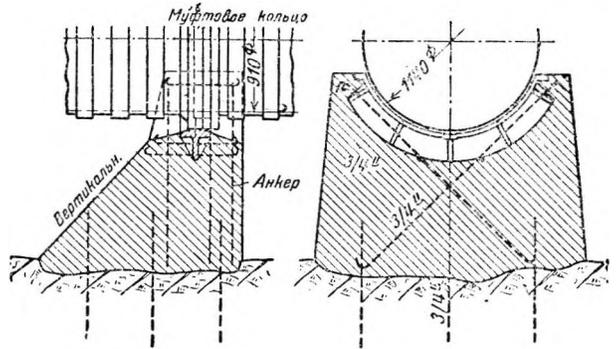
Фиг. 263. Опыт объяснения причины аварии.

Фиг. 263 — 665. Напорный трубопровод Бельево.

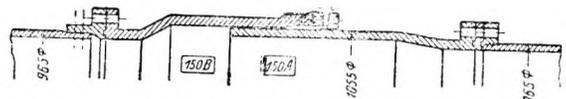
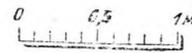
Проф. Рейхель считает дефекты материала главной причиной, вызвавшей разрыв муфты 150-а, с которой, по его мнению, все и началось. После этого, как он полагает, неуравновешенный напор и (как мы добавим) сильная вибрация при истечении воды вызвали прогиб трубопровода, который совершенно разошелся в стыках. Эксперты Флейхер и Серби, со своей стороны, видят первичную и главную причину в конструктивных дефектах, главным образом, в плохом устройстве и сборке опор. По их мнению часть трубопровода длиной около 100 м, начиная от муфты 750-я, и под действием напора сильно отклонилась в сторону благодаря первоначально небольшой неточности сборки. Этому способствовали неправильная конструкция и неточная сборка, внезапное же сильное падение температуры заставило трубу выскользнуть из муфты 150-а (фиг. 263). Хотя многое и говорит в пользу объяснения Рейхеля, но изложение других экспертов все же заслуживает полного внимания постольку, поскольку оно дает важные указания относительно конструктивных требований, которым должны удовлетворять трубопроводы такого рода.

Последствия разрыва трубопровода были, впрочем, особенно серьезны еще и потому, что дрос-

сельный клапан сверху трубопровода бездействовал; проводка слабого тока для управления из силового здания была разрушена с самого начала, а автоматическое затворное приспособление (маятниковый автомат) в критический момент дало отказ, так как было неправильно сконструировано.



Фиг. 264:



Фиг. 265.

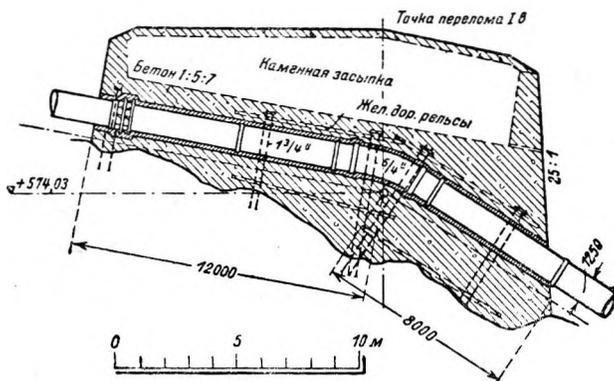
Фиг. 264 — 265. Конструкция опор и муфты после восстановления.

При восстановлении опоры компенсационных муфт устроили по-новому, так что возможность бокового отклонения была устранена (фиг. 264, 265). Дроссельный клапан снабдили автоматом новой конструкции, провод для управления затвором на расстоянии провели по новой надежной трассе и, наконец, в виде третьего предохранительного устройства поставили автомат с реле, с рабочим током, провод которого расположен непосредственно возле трубопровода; при разрыве последнего разрывается и провод, и отсутствие тока вызывает закрытие дроссельного клапана.

Аналогичный разрыв трубопровода произошел и в установке Флэрли. Здесь трубопровод — фабрикат фирмы Феррум; стальные листовые трубы сварены водяным газом;  $\delta = 30\text{—}100\text{ мм}$ , диаметр — 660 — 1 010 мм: соединения: — высоконапорные муфты Феррум нормальной конструкции с клиновидным паракаучуковым кольцом; длина трубопровода 1 623 м, вес около 600 т. В нижней части максимальное статическое давление 763 м.

Во всех точках изгиба профиля обычным способом уложены анкерные опоры, на которые поверху опирается звено трубы; на верхней опоре труба имеет компенсационную муфту с ла-

зами. Приблизительно через 2 года после принятия в эксплуатацию 6/VI 1920 г. произошел разрыв трубопровода непосредственно ниже точки изгиба 6 и на отметке 208 м над уровнем моря. Две трубы отклонились вбок, может быть, потому, что часть каучуковой набивки вынесло. Конец трубы был совершенно вытянут из муфты, но так как автоматически дроссельный клапан немедленно закрылся, то повреждения ограничились указанным. Это происшествие послужило поводом для прочного закрепления на опорах каждой трубы в отдельности одним



Фиг. 266. Рыюкан I. Неподвижная опора трубопровода (анкер).

или несколькими хомутами вплоть до статического давления 80 м (снизу вверх). Таким образом удлинение должно происходить в каждой муфте. От водозаборного бассейна и до этого места (сверху вниз) закрепили только каждую 4-ю и 6-ю трубу. Вероятно, в связи с катастрофой в Бьельво опорные подушки повысили в последующем порядке и в трубопроводе установки Эре почти до середины трубы. Кроме того, здесь по возможности вплотную к муфтам уложили вокруг каждого конца трубы хомут из круглого железа. В периоды особенно быстрых колебаний температуры (конец зимы) трубопровод ежедневно освидетельствуется на ненормальные сдвиги в муфтах посредством измерительного крючка, который вставляется в нарезки, сделанные кернером по обе стороны муфты. Трубопровод в Гейангере с технической стороны ничем не замечателен, разве тем, что за исключением колеи компенсационных муфт, где применены флянцы, он всюду снабжен не высоконапорными муфтами, а клепаными стыками. Все бетонные опоры на стороне, обращенной к скале и особенно подверженной действию снега и конденсационной воды, а также на поверхности, снабжены защитным слоем гудрона во избежание повреждения морозом.

Напорный трубопровод в Фрейстуле замечателен тем, что является первой высоконапорной установкой с устройством опор по системе

больших пролетов, до тех пор применявшейся только к низконапорным установкам.

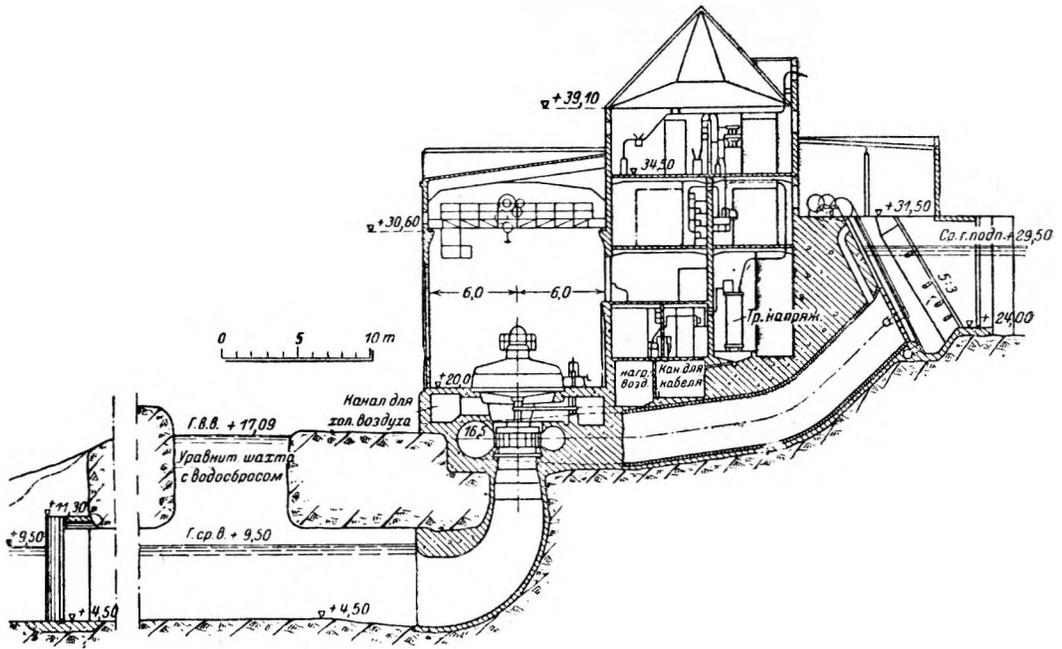
Устройство постели для труб чаще всего на неодетой, грубо обделанной скалистой породе ничем не отличается от европейских конструкций; для экономии цемента в точках закрепления часто устраивают пустотелые опоры с каменным заполнением (фиг. 266). Трудные места профиля обходят, или же трубы укладывают в таких местах сплошь или частично в штольнях (так же и для защиты от холода), или, наконец, трубы прокладывают на фермах, железобетонных рамах или железных эстакадах.

## § 6. Железобетонные трубы.

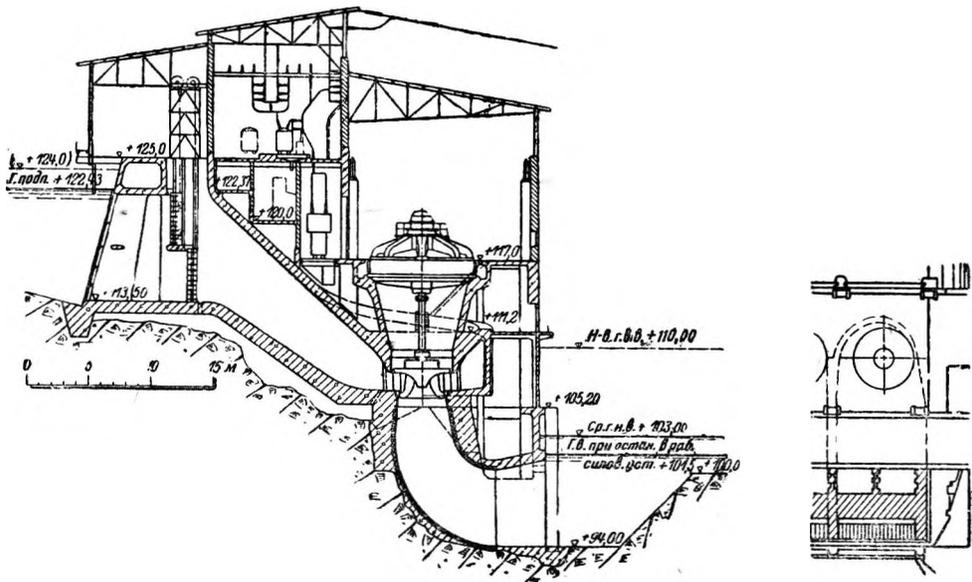
В строительстве трубопроводов железобетон применяется на севере сравнительно реже, чем в строительстве подпорных сооружений и силовых установок, если не причислять сюда все чаще применяемые железобетонные водозаборные устройства средненапорных установок. Виттингфоссен (фиг. 267) и Хаммарфорсен (фиг. 268) представляют собой крупные северные установки, оборудованные железобетонными напорными трубами. Гидроустановка фабрики сернистокислых солей Макмира на р. Гэфлеон (фиг. 269) имеет железобетонную напорную трубу диаметром 3,1 м с общим падением 11 м. Труба подразделена усадочными и простыми температурными швами на секции длиной около 12 м и разветвляется вблизи силового здания. Труба сплошь уложена на постели из трамбованного бетона, внутри гладко оштукатурена, армирована и покрыта двойным слоем инертного материала. Со времени постройки (1921 г.) труба работает вполне исправно.

На установке Эльверум (Гломмен, Норвегия) имеется железобетонный трубопровод длиной 417 м и диаметром в свету 3,60 м. Наибольшее давление 10 м. Труба не имеет постоянных температурных швов и сплошь уложена на постели из трамбованного бетона таким образом, что труба и постель образуют одно целое. Мощная продольная арматура способна воспринимать все температурные и усадочные напряжения. Учитывая суровый континентальный климат у Эльверума, трубу совершенно закрыли (отчасти и для защиты от паводков). Уплотнение такое же, как в Макмире.

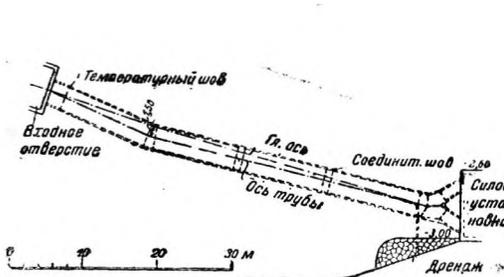
Описанный трубопровод построен в 1909 г. Ближе к реке уложен в 1916 г. второй трубопровод диаметра 4,0 м (фиг. 270). О конструктивных формах этого трубопровода точных данных не имеется. Старый трубопровод через 6 лет после укладки выявил снаружи значительные повреждения, которые объясняются скоплением сернистой поверхностной воды вследствие недостаточного дренажа покрытия трубы. Плохой бетон тщательно вырубил и залили новым: дренажное устройство основательно отремон-



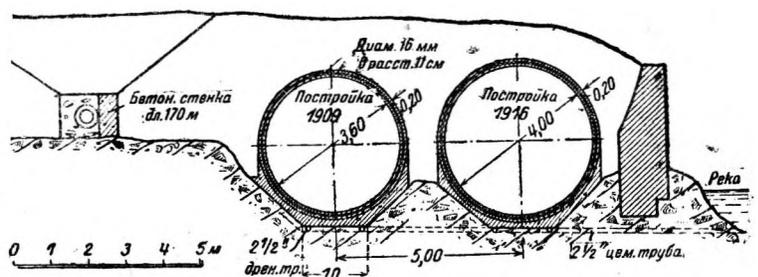
Фиг. 267. Виттингфоссен. Разрез здания силовой станции.



Фиг. 268. Хаммерфорсен. Разрез здания силовой станции.

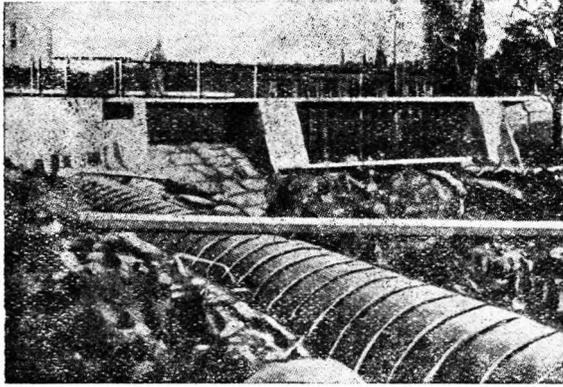


Фиг. 269. Макмира. План напорного трубопровода.

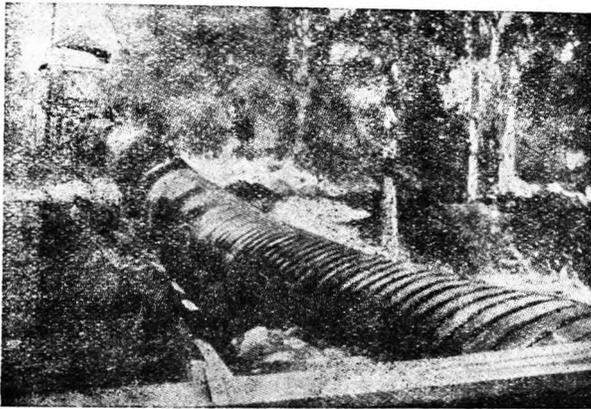


Фиг. 270. Зльверум. Железобетонный напорный трубопровод.

тировали. Несколько лет тому назад после 14 — 15 лет работы тот же трубопровод выявил ряд других повреждений и притом на внутренней стороне, в местах, где наружная поверхность была еще здорова. Эти повреждения объяснили тем, что вода снаружи просачивается в бетон, арматура ржавеет, и бетон отслаивается. Неплотности внутренней поверхности вызваны тем, что



Фиг. 271.



Фиг. 272.

Фиг. 271 — 272. Вифорсен. Деревянный напорный трубопровод  $d = 1,40$  м.

трубы укладывались исключительно из бетона с влажностью, равной влажности земли (с добавкой трасса), тогда как (согласно современным техническим данным) для сильно армированных частей требуется тестообразная смесь, более богатая водой.

Третьим крупным железобетонным трубопроводом на севере является пологий подводящий трубопровод в Гидеабакка, построенный в 1916—1918 гг. Длина его 376 м, диаметр в свету 4,0 м, напор вверх 6 м, у уравнильной башни статический — 20 м, плюс динамический — 6 м. Постройка очень осложнилась в связи с условиями грунта, так как трубы приходилось укладывать на мелком песке, местами переме-

жающемся со слоями глины и содержащем много воды. После того как вырыли выемку, уложили слой махадама и по испытании его пробной нагрузкой покрыли его слоем трамбованного тощего бетона, снабдив его дренажем. Только после этого приступили к бетонировке напорной трубы. Она имеет круглое поперечное сечение, толщина стенок 38 см; через каждые 8 м устроен усадочный шов. Для защиты от температурных колебаний труба засыпана песком на  $1\frac{1}{2}$  м выше замка.

Интересен по своему прямоугольному поперечному сечению короткий напорный канал, изображенный на фиг. 355.

### § 7. Деревянные трубы.

На богатом лесами севере трубы из деревянной кленки уже 30 — 40 лет тому назад нашли довольно широкое распространение. В настоящее время прежние методы постройки уступили место новым методам, заимствованным из Северной Америки, более точным и экономически совершенным. Непрерывные трубы и трубы машинной обмотки встречаются часто; обыкновенно они малых диаметров, но бывают и крупные — до 2,0 м<sup>1</sup>, например, в Вифорсен (Недре Норрланд), с деревянной уравнильной башней (фиг. 271, 272), также гидроустановка электростанции Бодэ — внутренний диаметр 2,0 м, высота напора 20 м.

Трубопроводы крупных размеров встречаются преимущественно в Норвегии, в Швеции, в большинстве случаев при значительных размерах пользуются железными трубами. Из крупных конструкций назовем еще деревянную трубу гидроэлектростанции Рейкьявик в Исландии (акц. коми. Скандинавией Трэрор), внутренний диаметр 1,5 м, напор 40 м, длина 1,1 км.

В дальнейшем мы сообщим некоторые данные об опыте с деревянными трубами обыкновенной конструкции и опишем уже осуществленные или запроектированные нововведения.

Трубопровод временной гидроэлектрической установки международной компании Тафиорд Крафтсельскан имеет напор 68 м, диаметр в свету 0,6 м; труба непрерывная. На протяжении 230 м имеется падение в 8 м, остальные 60 м падения сосредоточены па протяжении 100 м. Этот участок трубы местами имеет очень крутой уклон. У главного места перелома уклона из предосторожности поставлен вертикальный предохранительный стояк высотой 11 м с поперечным сечением напорной трубы. Соединительное колено между пологим и крутым участком, включая стояк, образовано железобетонной камерой. В отверстия этой камеры трубы вставлены с пеньковой набивкой, чтобы разбухающее

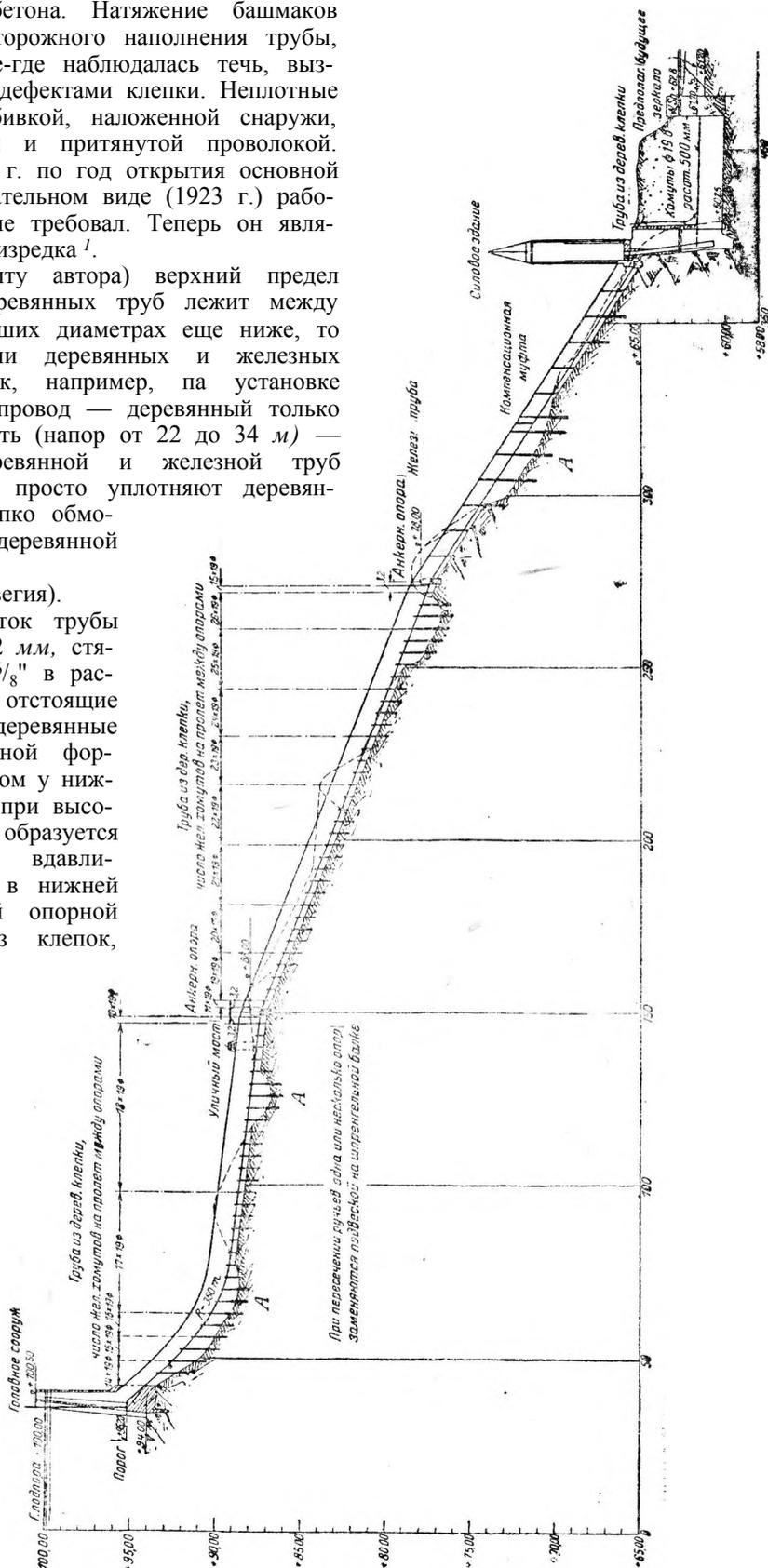
<sup>1</sup> Cp. L u d i n, Z. f. d. g. W., 1921, № 6, 1920 и Gesundheitsingenieur, 1928, № 26.

дерево не разорвало железобетона. Натяжение башмаков бандажей произвели после острого наполнения трубы, и только в нижней части кое-где наблюдалась течь, вызванная трещинами или иными дефектами клепки. Неплотные места заделали резиновой набивкой, наложенной снаружи, покрытой железными листами и притянутой проволокой. Напорный трубопровод с 1918 г. по год открытия основной силовой установки в ее окончательном виде (1923 г.) работал без перерыва и ремонта не требовал. Теперь он является только запасным и работает изредка <sup>1</sup>.

Так как (судя и по опыту автора) верхний предел рационального применения деревянных труб лежит между 50—60 м напора, а при больших диаметрах еще ниже, то часто встречаются комбинации деревянных и железных труб по зонам напора. Так, например, на установке Мельби (фиг. 273—276) трубопровод — деревянный только до напора 22 м, остальная часть (напор от 22 до 34 м) — железная. Место стыка деревянной и железной труб (фиг. 277) на севере обычно просто уплотняют деревянными клиньями и дегтем, крепко обмотав надвинутый конец деревянной трубы.

Гидроустановка Аавелла (Норвегия). Верхний очень пологий участок трубы состоит из клепок толщиной 42 мм, стянутых железными бандажами  $\frac{6}{8}$ " в расстоянии 18 см. Подушки, отстоящие друг от друга на 3 м, деревянные 4×6". Благодаря неблагоприятной форме продольного профиля (перелом у нижнего конца деревянной трубы) при высоких нагрузках станции легко образуется вакуум, и нередко клепка вдавливалась внутрь. Для усиления в нижней половине длины над каждой опорной подушкой уложили раму из клепок, которая препятствовала вдавливанию. Лучше было бы поставить в месте перелома профиля уравнительную башню (ср. выше — установка Тафиорд).

Деревянные трубы в Мельби покоятся на горизонтальных балках на бетонном фундаменте; другая обычная в Норвегии конструкция (фиг. 277 а) также не представляет собою ничего существенно нового. Зато система подвески в кольцах, заимствованная от карлсоновской системы трубопроводов с большими пролетами и разработанная

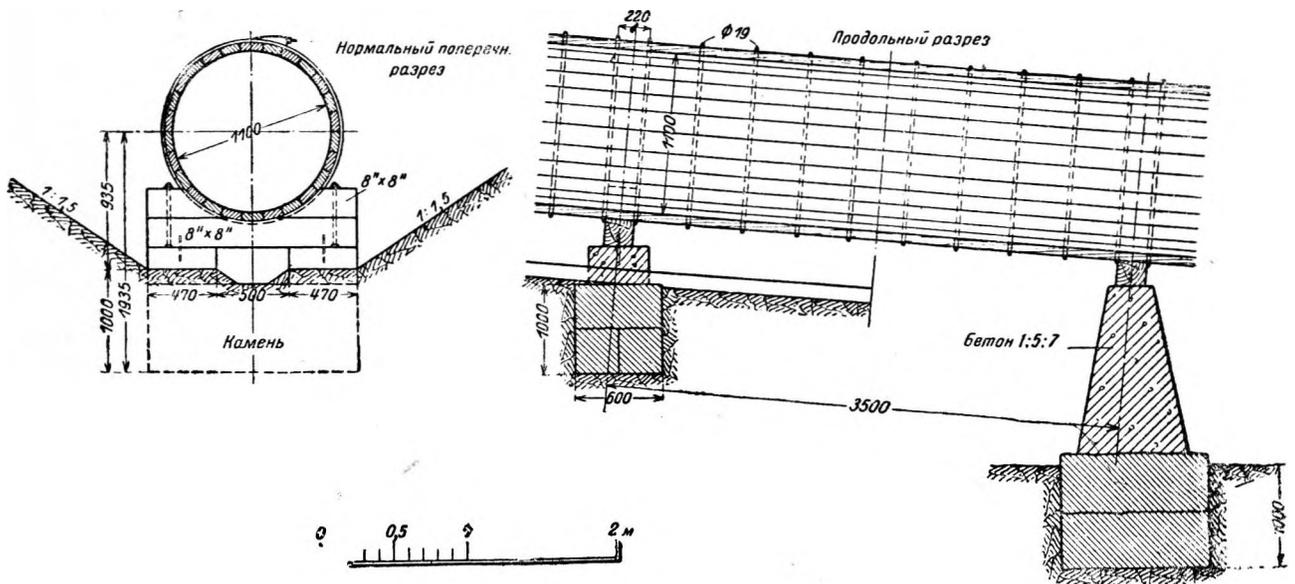


Фиг. 273. Мельби. Деревянный напорный трубопровод. Схематический продольный профиль.

<sup>1</sup> Письменное сообщение компании Тафиорд Крафтсельскап.

Бюро гидротехнической консультации (фиг. 278, 279) является действительным прогрессом. Все деревянные трубопроводы, о которых говорилось выше, подпираются только в отдельных

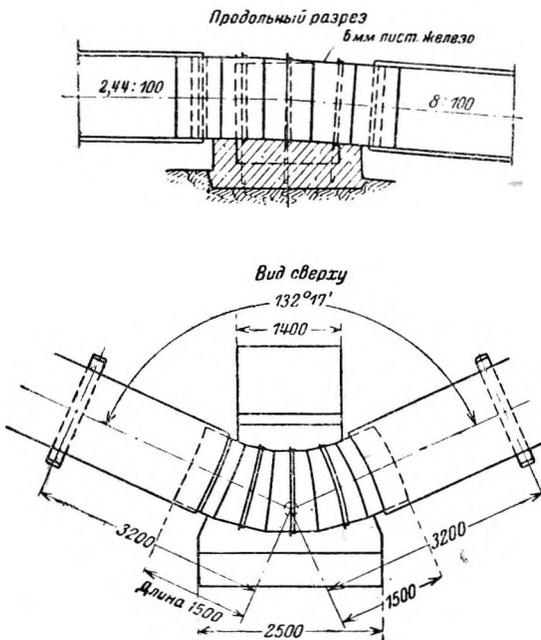
Результаты этих исследований можно резюмировать следующим образом: сопротивление дерева поперек волока очень мало и особенно сильно убывает при пропитывании водой



Фиг. 274. Мельби. Деревянный напорный трубопровод. Нормали отдельных деталей.

поперечных сечениях, сплошной постели из махадама или бетона не устроено ни в одном случае. Ценное исследование гражданского инж. Самсио (Бюро гидротехнической консультации) трактует именно об этом виде постели и о прочности сопротивления дерева вообще, причем автор базируется на своих трудах в лаборатории испытания материалов Стокгольмского ВТУ.

(фиг. 280). В связи с этим жесткость деревянной трубы на сплошной постели зависит в основном от деформации кругового поперечного течения и возникающих из этого напряжений. На больших низконапорных трубах Самсио предлагает ставить на известном расстоянии кольца жесткости из дерева или железа, что опять-таки является рациональным применением принципа Карлсона на практике (фиг. 281).



Фиг. 275. Мельби. Деревянный напорный трубопровод. Конструкция колена.



Излагается также метод придания трубе с самого начала небольшого сплющивания, т. е. слегка эллиптического поперечного сечения для достижения более благоприятного распределения моментов (разумеется только при сплошной постели).

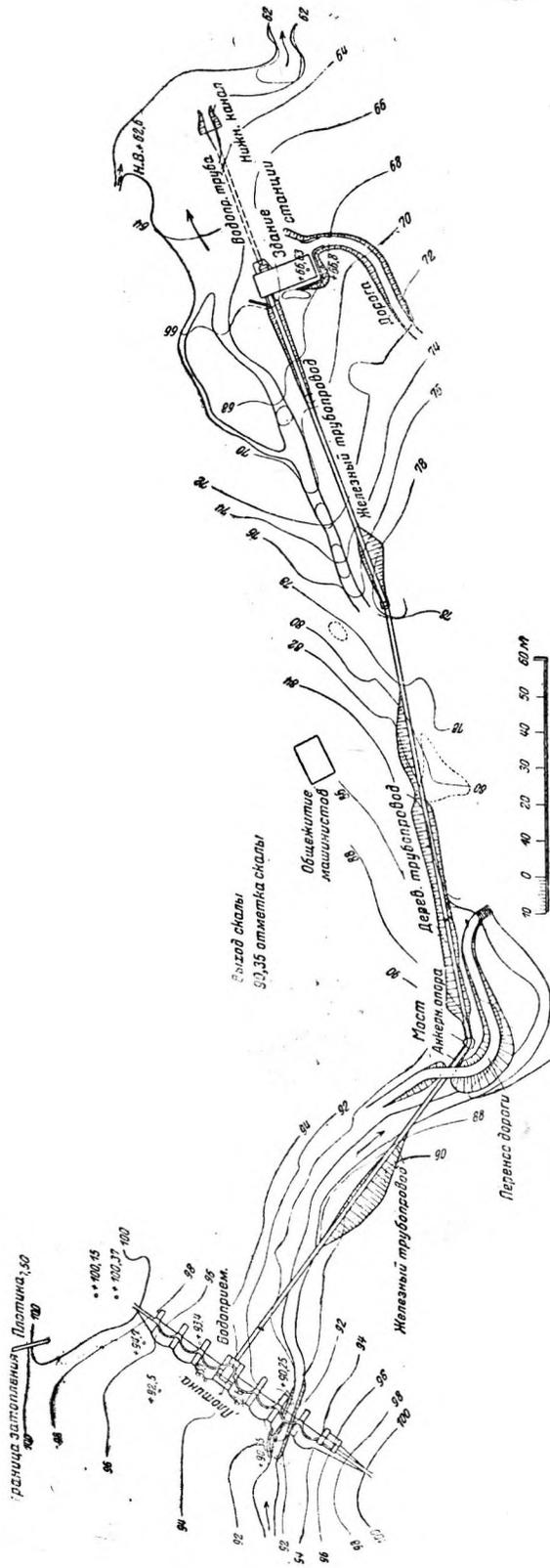
### БИБЛИОГРАФИЯ

к § 3.

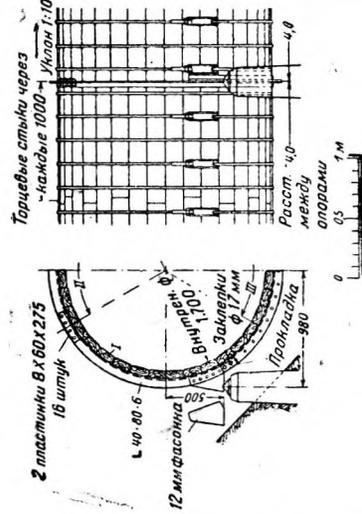
Holm. Moderna Vattenturbiner, Teknisk Tidskrift, 1914, № 7. — Kinck. Elverums Electricitetsverks Vandkraftanlag i Glommen. — Porjuskraftverk og Rigsgransbanans Elektrifiering, Teknisk Ukeblad, 1913 № 14/15.

к § 5.

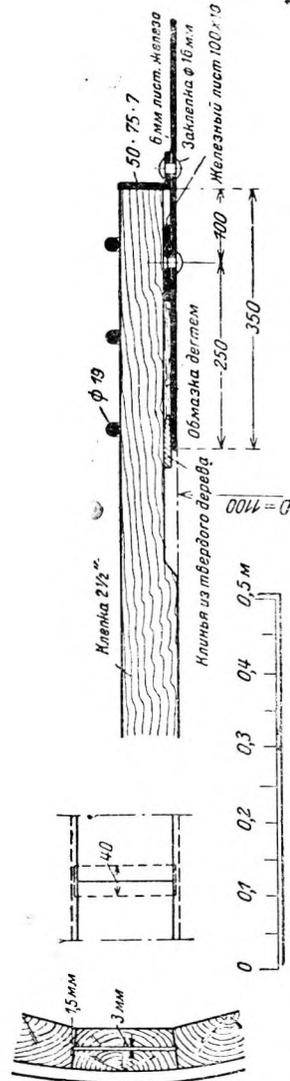
Карссон, О напряжениях, вызванных силой тяжести в трубопроводах большого диаметра и о рациональной конструкции последних (рукопись).



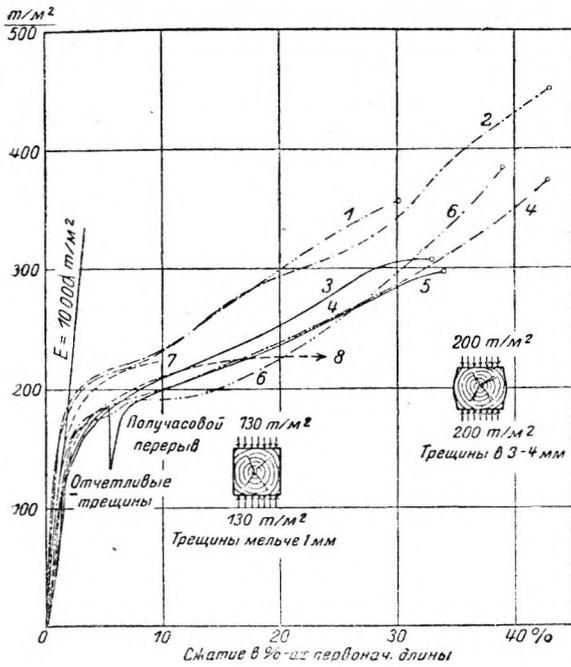
Фиг. 276. Общий план расположения деревянного трубопровода в Мельни.



Фиг. 278. Линейное. Деревянный трубопровод, опирающийся на кольцевые рамы.



Фиг. 277. Прямаякание деревянного трубопровода к железному, Фиг. 277а. Старая конструкция опоры (деревянная).



**Фиг. 280. Испытание на сжатие деревянных кубиков перпендикулярно волокнам с длиной ребра 20 см (сосна, давностью рубки полгода).**

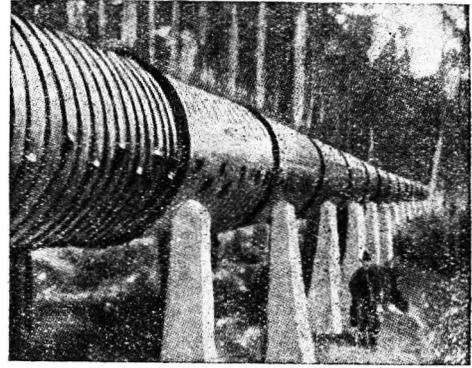
1 — пролежавшая в воде 60 дней; 2 — пролежавшая в воде 21 день; 3 — то же 1 день; 4 — то же 21 день; 5 — то же 1 день; 6 — то же 60 дней; 7 — то же 7 дней; 8 — то же 7 дней; концевые точки обозначают разрушение.

Fleicher und S o r g b u e, Röhrbrudet ved Bjölvo Kraftanläg.—Rästed, Fröistul Kraftanläg, Teknisk Ukeblad, 1926, стр. 376 — 378.

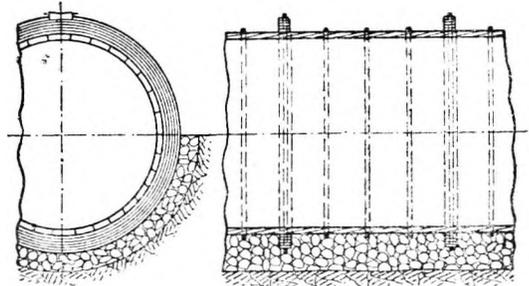
Grange, Bidrag till kännedom om tubers bo-räkning (оттиск из Т. Т.).

**к § 6.**

Письменные сообщения сульфитной фабрики Макмира и электростанции Эльверул, — Журнал «Betong», Kinck. — Elverums Elektricitetsverks Vandkraftanläg



**Фиг. 279. Деревянный трубопровод опирающийся на кольцевые рамы.**



**Фиг. 281. Деревянный трубопровод на сплошной постели (жесткость усилена ребрами) по предложению Самсно.**

i Glommen, Teknisk Ukeblad, 1913, № 14/15. — Adner & Gidea. Husums Kraftanläggningar i Gedeålv, Svenska Vattenkraftförening, Publ. 114.

**к § 7.**

Сообщения Тафиорд Крафтсельскан (Норвегия), Бюро гидротехнической консультации (Стокгольм, силовой станции Лавелла и проф. Хеггстада; Самсно. Om Trätuber. — инж. Энгер, Греггерин и Хлорт (Осло): Om Uttnyttelse av Mindre Vandfald.

**Глава шестая**

**СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ.**

**§ 1. Водозаборные устройства низконапорных установок.**

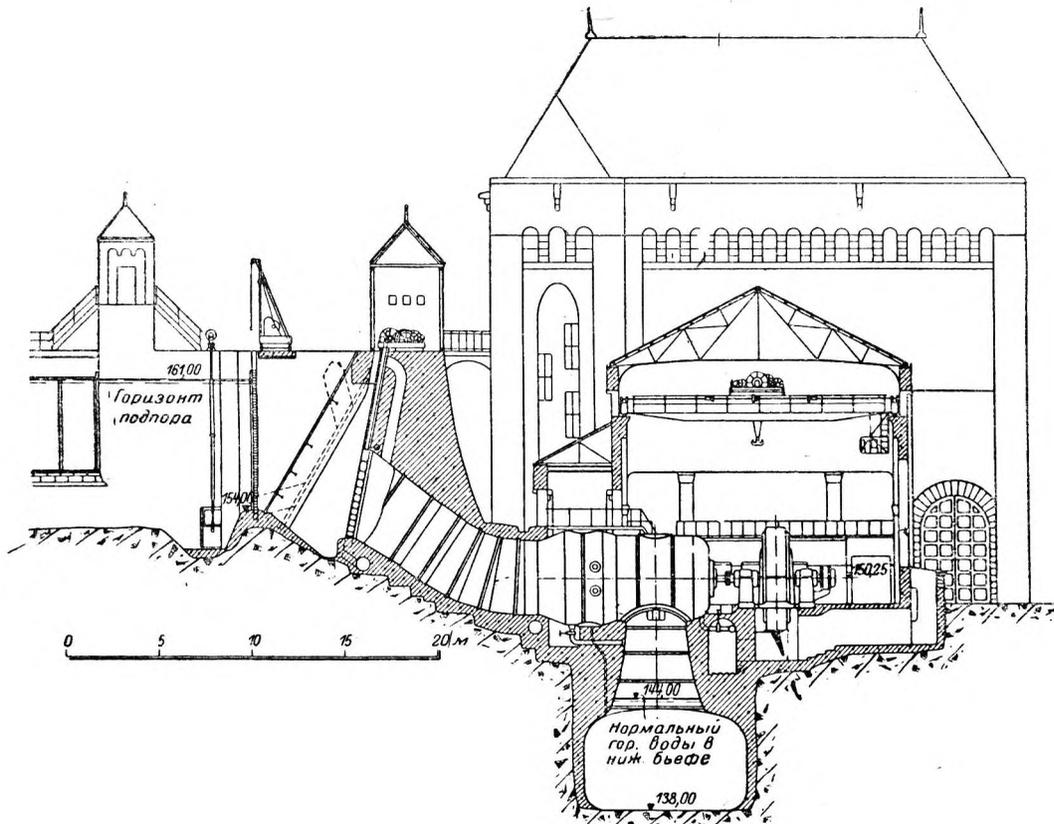
Хорошие примеры типично северного общего расположения водозаборных устройств показаны на фиг. 282, 283, 291, 358. Решетка и в более старых конструкциях имеет сильно наклонную поверхность и в большинстве случаев для предохранения ото льда расположена позади запасного, а иногда даже позади рабочего затвора, причем все устройство нередко заключается в здание, обогреваемое воздухом генератора.

Материалом для затворов водозаборных устройств в крупных установках на севере почти исключительно служит железо; исключение —

Этсэ (Финляндия), где верхние щиты деревянные (фиг. 352). Поэтому ничто не препятствует применять такие же большие одиночные щиты, какие встречаются на крупных европейских установках, например, в Германии. На самых крупных низконапорных установках севера (Форсхувуд, Лилла Эдет) мы видим, однако, предпочтительное применение подразделенных щитов, потому что они требуют менее мощных подъемных механизмов и вес щитов получается значительно меньше. Отдельные щиты обычно строят в виде катковых щитов (с катками, прикрепленными к щиту) и возможно легкой конструкции (что допустимо, так как в отличие от щитов плотин они никогда долго не оста-

ются в положении, преграждающем доступ воде, а, стало быть, мало подвержены переменному действию ударов текущей воды). В случае заключения решеток в особое здание электронагрева не требуется даже и на севере. Насколько разнообразны детали конструкции при различных условиях, усматривается из более под-

струировать в виде простых скользящих щитов. Зато верхние щиты снабжены колесами, приделанными к щиту, и ими можно работать под напором. Данное расположение не позволяет сбрасывать щиты для быстрого закрытия в случае разноса какой-либо турбины, но так как применены не особенно быстроходные турбины, то



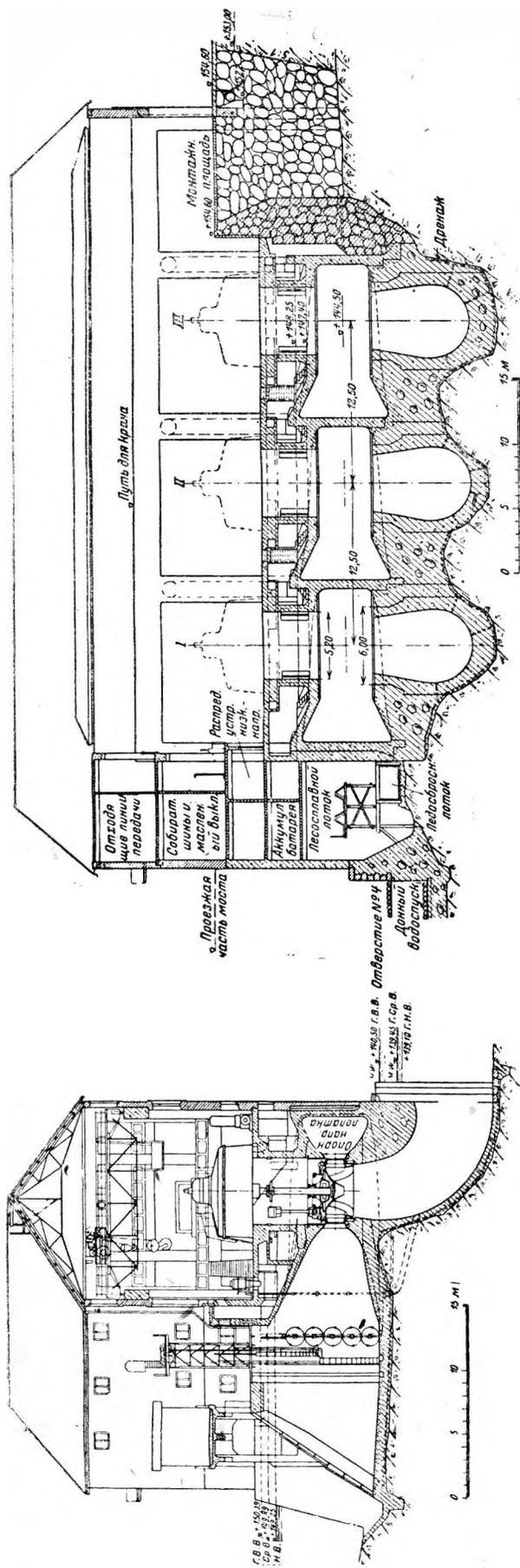
Фиг. 282. Аарлифоссен. Разрез здания силовой станции.

робного ознакомления с установками Форсхувуд и Лилла Эдет (ср. фиг. 284, 285—290 и 291, 292). В Форсхувуде применены три панели двойных (по вертикали) щитов самой легкой сводчатой конструкции с затяжкой или распоркой, работающей на растяжение или соответственно на сжатие. Между вершинами обеих встречных сводчатых поверхностей оставлено пространство, а уплотнение шва достигается с помощью горизонтальной мощной балки. Это расположение позволило пустить обе части щита в отдельных, а потому неглубоких пазах, благодаря чему промежуточные бычки получились чрезвычайно тонкими. Для нижних щитов отказались от возможности передвижения под давлением воды, и их можно было поэтому скон-

число оборотов при разносе не превышает допустимого.

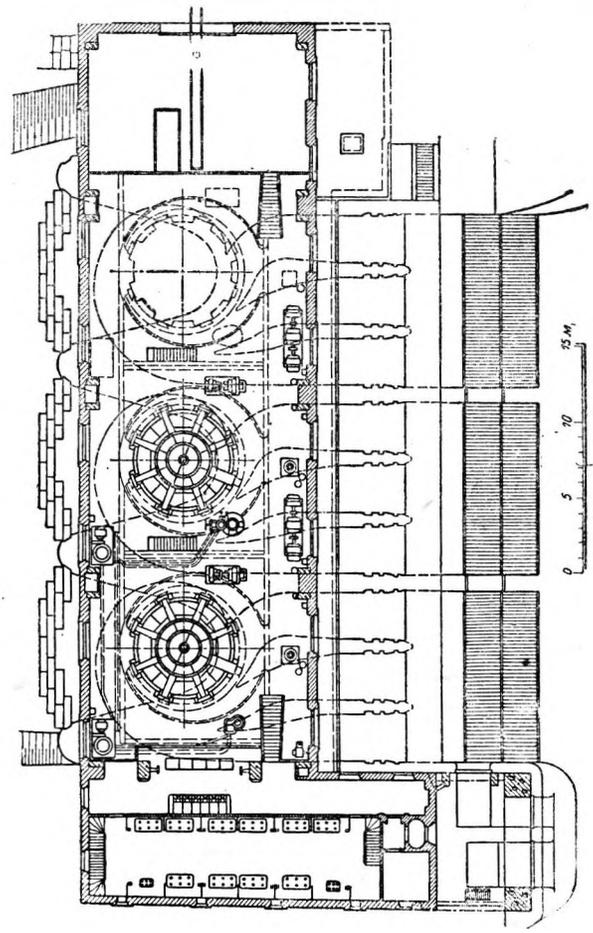
В Лилла Эдет применены турбины Каплана и Лавачека, число оборотов которых при разносе превышает удвоенное нормальное, почему возможность быстрого закрытия стала настоятельно необходимой. Это обстоятельство и значительно большие размеры напора потребовали принципиально иного разрешения задачи. И здесь первоначально намечалось использовать подразделение турбинных камер одной горизонтальной и двумя вертикальными промежуточными стенками, для устройства нескольких щитов, независимых друг от друга у каждого впускного отверстия. Этот проект и еще три других, рассмотренных одновременно, пришлось, однако,





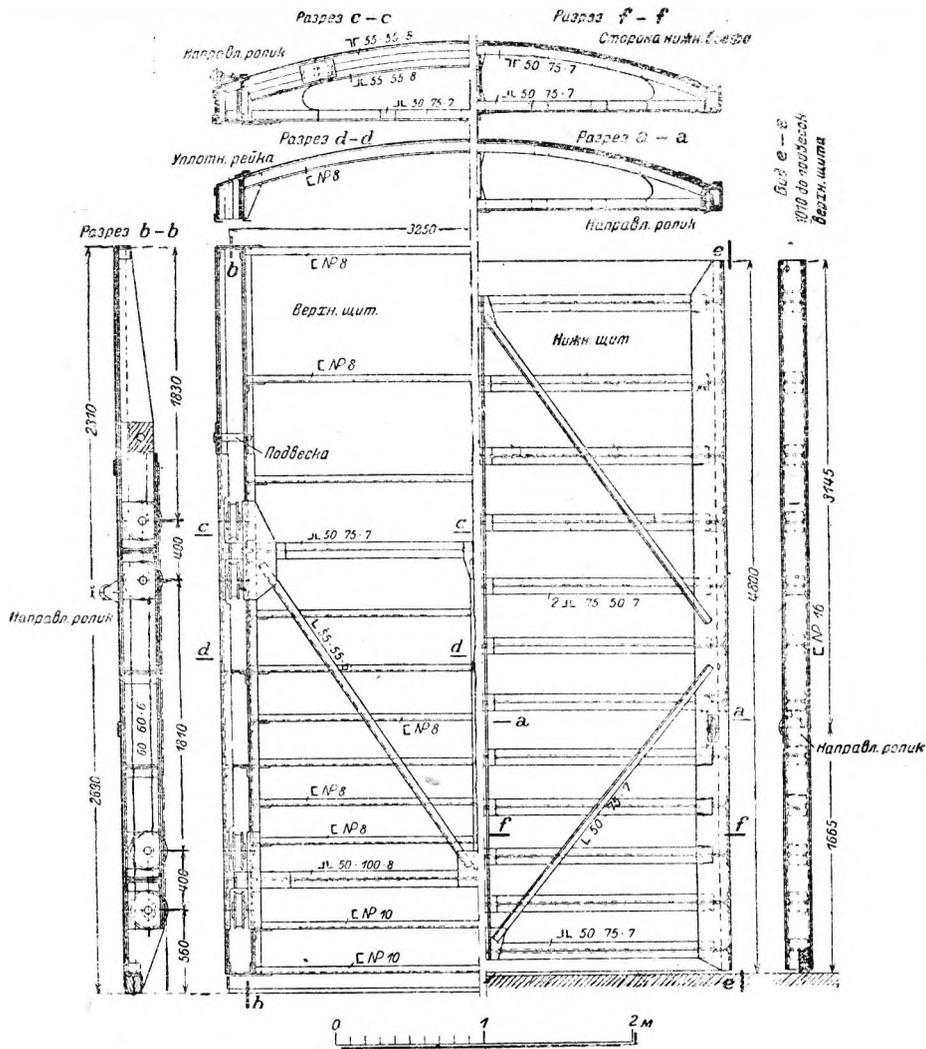
Фиг. 286. Разрез силосного здания.

Фиг. 287. Поперечный разрез здания силовой станции.

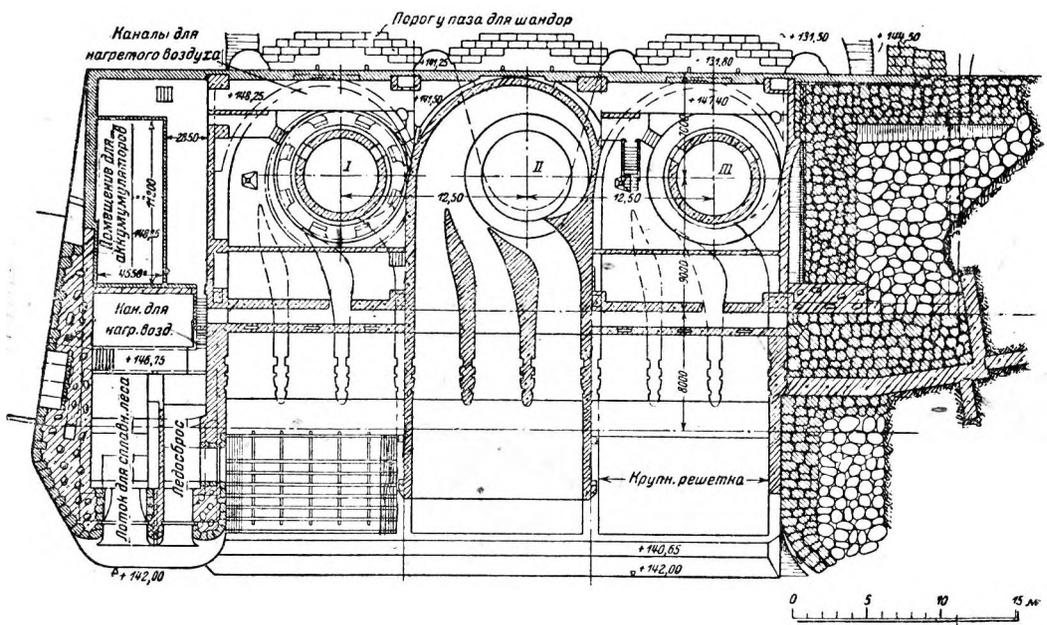


Фиг. 288. План машинного здания.

Фиг. 286—288. Форсхувудфорсен. Силовая установка.

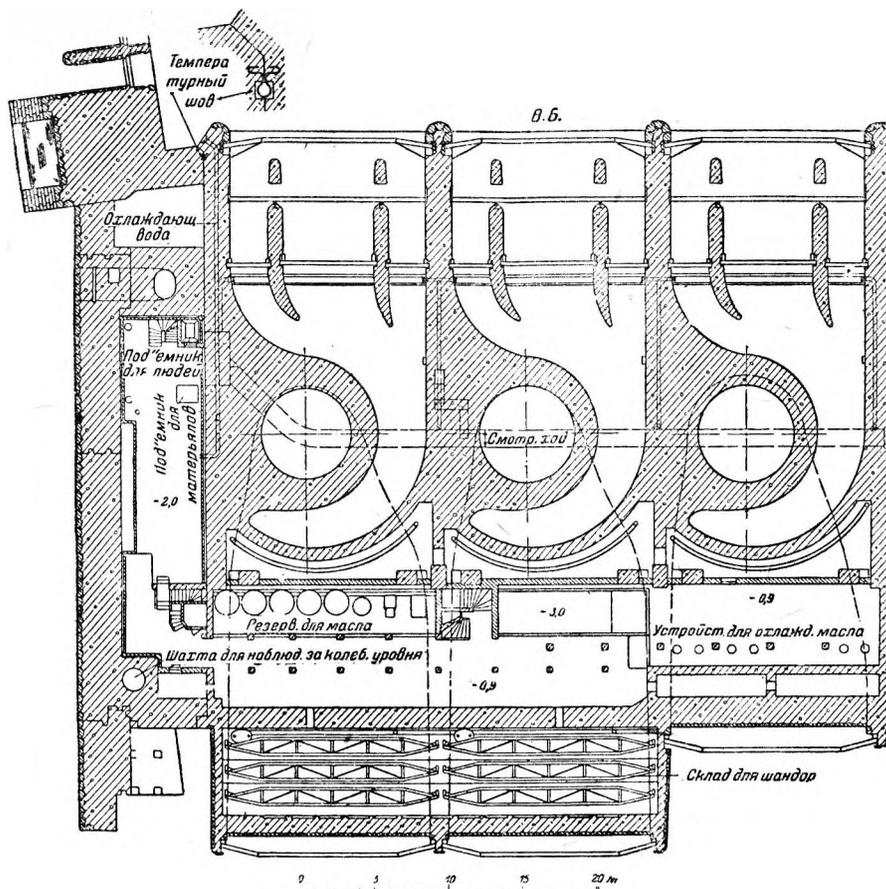


Фиг. 289. Конструкция щитов турбинной камеры.

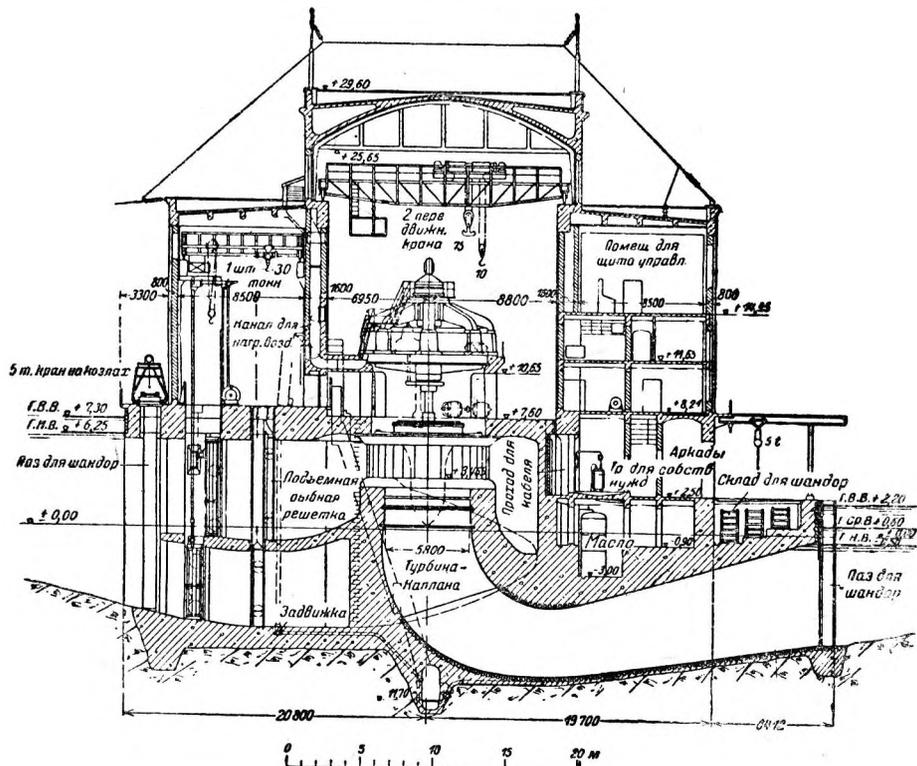


Фиг. 290. Горизонтальный разрез ниже пола машинного зала.

Фиг. 289 — 290. Форсхувудфорсен. Силовая установка.



Фиг. 291. Горизонтальный разрез на высоте рабочего колеса.



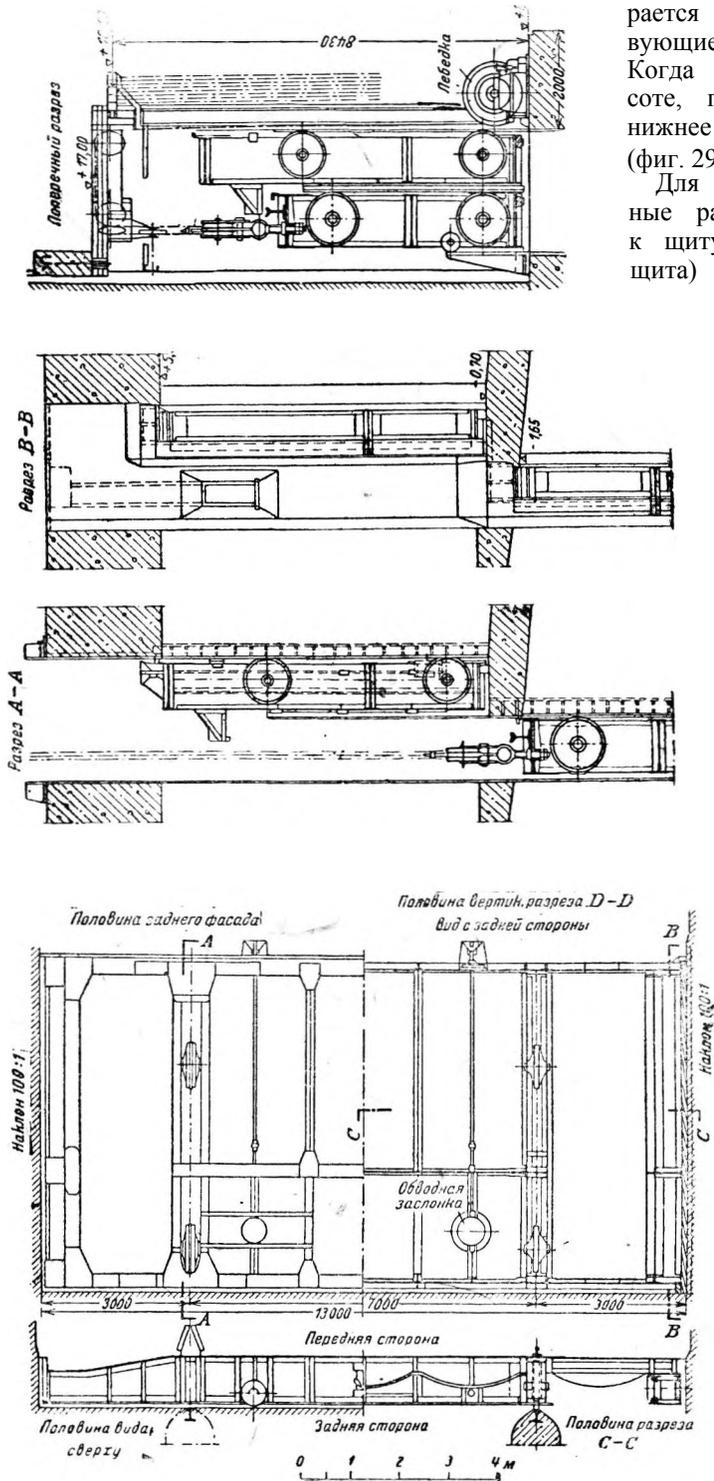
Фиг. 292. Продольный разрез.

Фиг. 291 — 292. Лилла Эдег. Силовое здание.

отбросить и всю ширину входа, в турбинную камеру перекрыли одним щитом, подразделенным на две части по высоте. Для того чтобы конструкция этого щита была простой и легкой,

а разделительные бычки отдельных турбинных камер возможно тонкими, щит построили в виде консольной балки, опирающейся только на две вертикальные промежуточные стенки камеры. Нижнее полотнище, которое приходится поднимать первым, проходит по верхнему и опирается при этом своими катками на соответствующие ведущие рельсы в верхнем щите. Когда оба полотнища находятся на одной высоте, происходит автоматическое зацепление, и нижнее полотнище тянет за собой верхнее (фиг. 293, 294).

Для этой конструкции характерны крупные размеры катков — колес, прикрепленных к щиту. У этих колес (по четыре у каждого щита) обод имеет посередине клиновидный выступ, входящий в соответствующий желоб ведущего рельса. Клиновидная форма выступа облегчает раздавливание возможного слоя льда. Для облегчения спокойного хода против катков уложены направляющие контррельсы. Давление на отдельный щит составляет при самом высоком горизонте воды 802 т для нижнего щита и 485 т для верхнего. Необычайно высокая нагрузка колес требовала большого диаметра и особых качеств материала (что, однако, не вызвало значительного повышения цены). Уплотнение двойное: грубое — посредством деревянных балок, привинченных к щитам и оставляющих прозор в 10 мм, и точное — из каучука с проложенной тканью. Это каучуковое уплотнение прикрепляется к щиту уже на месте (фиг. 295). Опусканием щитов управляют на расстоянии, согласно неоднократно применявшегося принципа Бюро гидротехнической консультации, что гарантирует большую надежность работы. Тормозной магнит, приводимый в действие из помещения распределительного устройства, поднимает удерживающее приспособление, после чего щиты начинают опускаться силой собственного веса с заранее определенным замедлением скорости по мере приближения к конечному положению. Возможность сильного удара о порог, таким образом, исключена. Начальная скорость (2 — 2,75 м/сек) убывает по мере опускания очень быстро, так как избыточный вес щита при погружении в воду убывает, а сопротивление трению возрастает вследствие возникающего давления воды. Для поднятия щитов служат электромоторы, дающие скорость подъема в 1 м/мин. Подня-



Фиг. 293. Лилла Эдет. Щиты турбинных камер

тие можно производить вручную. При автоматическом опускании щита мотор вращается, не выключаясь, почему его прочность рассчитала на значительно более высокую скорость опускания. Наконец, имеется тормоз для удержания щита в любом положении; при превышении допущенных скоростей тормоз начинает работать самостоятельно.

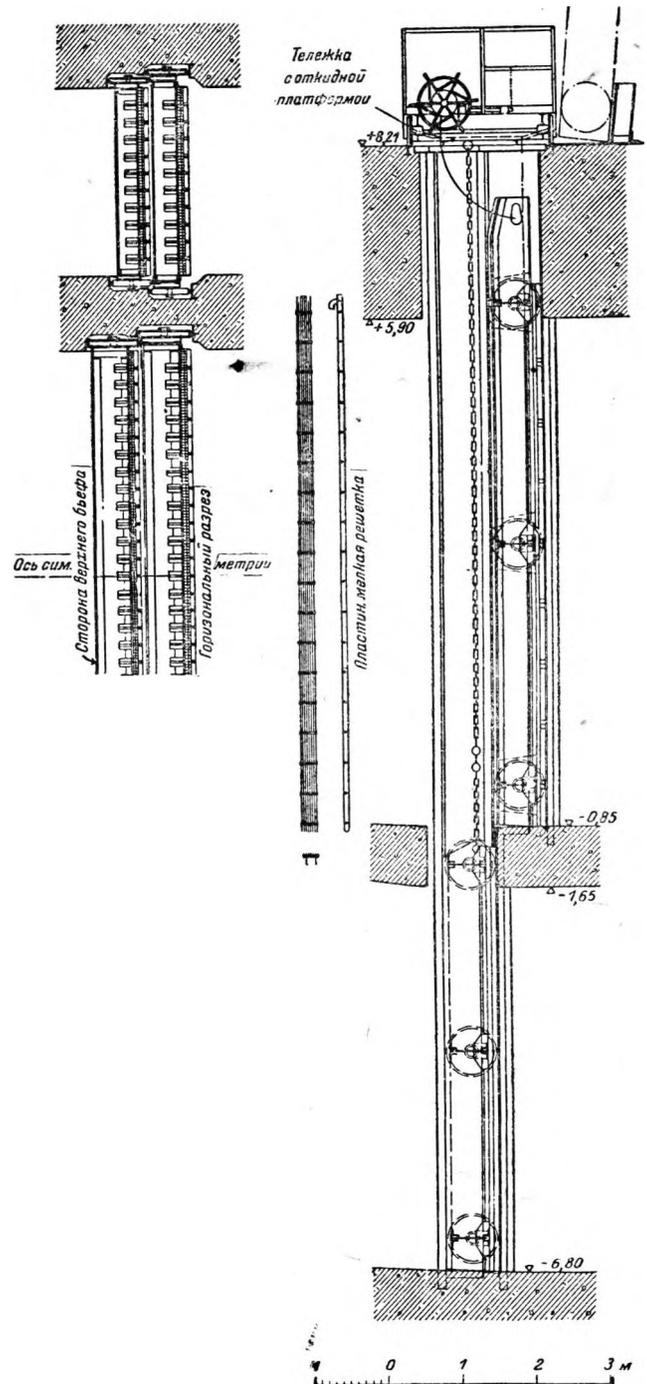
При конструировании запасного закрытия со стороны верхнего бьефа от подразделения отказались. В связи с этим пролет его (13,60 м) несколько превосходит обычные размеры; это громоздкая и дорогая конструкция. Число имеющих шандор позволяет (как обычно) запираеть одновременно только один турбинный впуск. Чтобы не прибегать к работе водолазов при постановке, имеется специальная захватная балка (фиг. 296). Для облегчения снятия шандор в разделительных бычках отдельных камер устроены отверстия наполнения, запираемые щитками.

Старая идея использования батопорта в качестве запасного затвора нижнего бьефа возродилась в установке Хегфорс (Финляндия) в новой усовершенствованной форме.

Решетка в прежние времена вызывала максимум затруднений в работе северных гидроустановок, так как она при длительных периодах сильных морозов постоянно забивалась шугой и донным льдом и временами приходилось приостанавливать работу. Эти осложнения привели к тому, что, в отличие от большинства современных установок в средней Европе, решетку делают не проходящей насквозь впереди всего силового здания, но подразделяют ее на части и ставят их внутри отдельных турбинных камер в особом здании для решеток. Кроме того, на севере стараются прежде всего защитить отдельные прутья решеток посредством соответствующих мер от соприкосновения с холодным наружным воздухом и нагревать их искусственно.

Как доказано опытом, достаточно повысить температуру на несколько десятых градуса выше нуля, чтобы предотвратить всякое обледенение прутьев. Первоначально пытались, как, например, в Киккельсруде, нагревать решетку с полыми прутьями посредством проведенного пара, но это не удалось; недостаточно оказалось и работы одной только машины для соскребания льда. Зато полного успеха достигли введением электрического нагрева решеток по образцу Трольхэттанской установки, где старший инженер Хольм грен с помощью этого способа впервые добился бесперебойной зимней работы. Прутья решетки для этой цели соединяют в узкие пачки, взаимно изолированные и попеременно соединенные электрически вверху и внизу, так что линия прохождения тока получает форму меандра. Напряжение тока обычно выбирают

между 125—225 в. Расход мощности довольно значителен и колеблется, согласно полученной автором информации, если отнести его на 1 м поверхности решетки, от 0,7 до 5 квт, смотря по расположению решетки и по местным климатическим условиям, а также в зависимости от конструкции и близости прутьев решетки. При отнесении на 1 м<sup>3</sup>/сек расхода рабочей воды это соответствует 1—8 квт или для всей

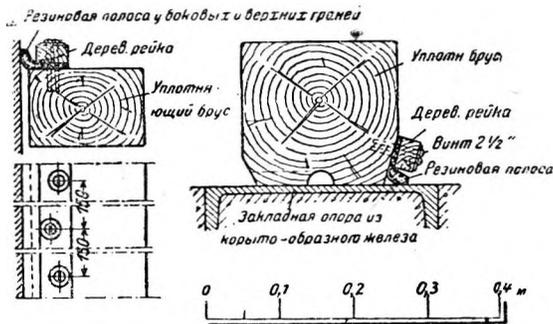


Фиг. 294. Лилла Эдег. Решетка перед турбинами.

установки в делом от 0,15 до 1,2 м полезного напора<sup>1</sup>.

Наибольшие затруднения всегда возникают там, где вода подвержена интенсивному перемешиванию и сильному охлаждению, т. е. на порогах и в больших открытых каналах гидростановок. Там же, где воду можно забирать непосредственно из обширных спокойных бассейнов, искусственный нагрев решеток даже в самом суровом климате всегда оказывался ненужным. Таковы, например, сообщения из Порьюса, где следует отметить сплошь подземное ведение воды. Также не замечается, например, значительных затруднений в связи со льдом и в Номеланде (южная Норвегия), хотя нагрева решеток там и не практикуется, так как эта установка расположена непосредственно ниже озера и соблюдены все вышеприведенные конструктивные принципы.

За последнее время ввиду весьма значительного расхода энергии на электронагрев, особенно

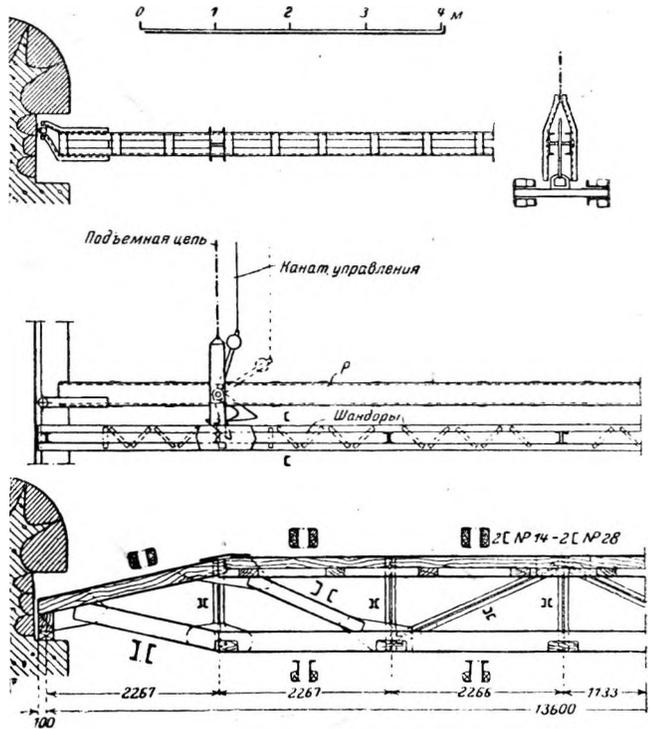


Фиг. 295. Лилла Эдет. Уплотняющий брус щитов турбинных камер.

ощутительного для низконапорных установок, избрали другой путь и пользуются для нагрева горячим воздухом генераторов. В Форсхувуде устроен для этой цели у верхней стороны силового здания продольный канал, через который горячий воздух направляют частью в распределительное помещение, частью в пиши плотины и под брусчатый пастил турбинного впуска,

<sup>1</sup> Приведенные данные основаны на сообщениях о борьбе со льдом на норвежских установках (сообщения Рута) и на шведских установках (сообщения Самсио), ср. также I Мировая энергетическая конференция в Лондоне, т. II, стр. 785 и 805; далее, — на письменной информации, полученной от гидроэлектростанции Этсэ (Финляндия). Данные, опубликованные Государственным управлением водопадов Швеции, согласно которым на электронагрев решеток в Лилла Эдет израсходовано якобы 15 000 квт, т. е. около 40 квт на 1 м<sup>3</sup>/сек расхода воды, оставлены автором при ориентировочном определении вышеуказанных границ без внимания, как неправдоподобно преувеличенные, тем более что часть установок, к которым относятся вышеприведенные цифры, имеют не менее суровый климат, чем область Гётаэльва, так, например, Лерфосс в Трондёмском бассейне (Лерфосс расходует 60к квт на 2 турбины общей мощностью 2 500 л.с. = 3,5%, или 1,06 м высоты падения при  $Q_c = 10;5 м^3/сек$ ).

благодаря чему решетки и щиты предохраняются от обледенения. В Вамме и Сольбергфоссе также удается, за исключением очень дурной погоды расплавлять поверхностный лед на ширину 4,5—7,5 м впереди решеток, выдувая горячий воздух генераторов па зеркало воды перед решеткой. Таким образом электронагрева не требуется.



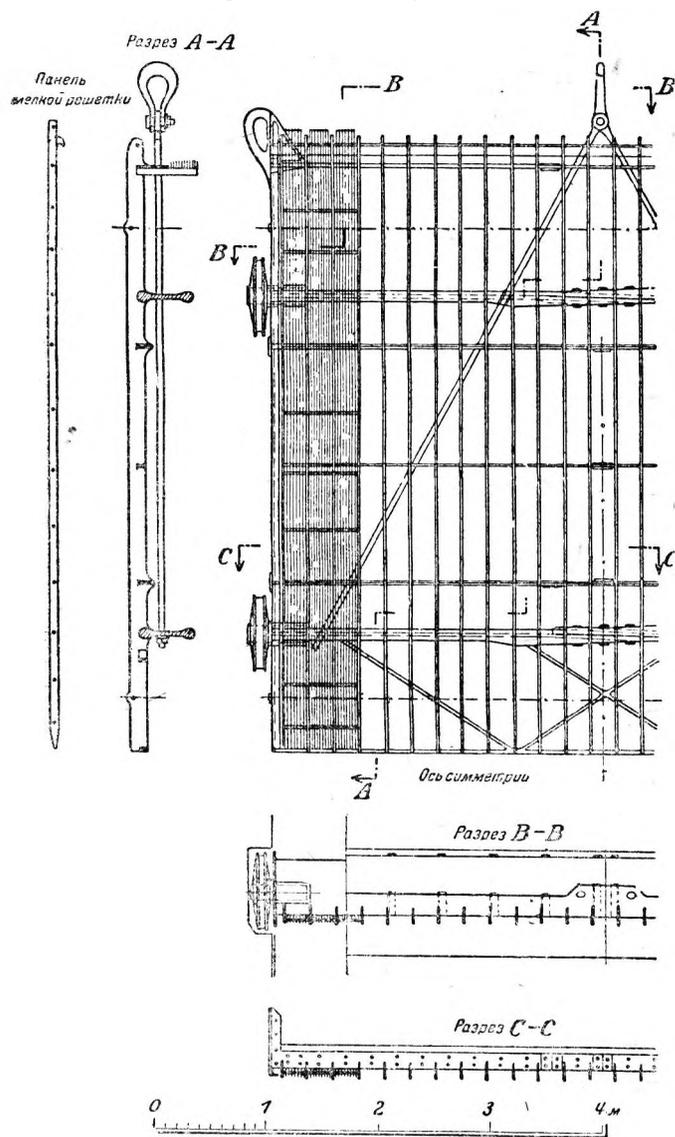
Фиг. 296. Лилла Эдет. Шандоры для турбинных камер. (Прим.: P — захватная балка).

Одновременно в последнее время пытаются радикально устранить опасность обледенения, удалив мелкие решетки. Основанием для этого мероприятия послужило введение все более крупных турбин с «безлопаточным» промежуточным пространством: эти турбины не боятся мелких кусков льда и дерева и допускают применение решеток с расстоянием между прутьями в 10—25 см.

Настоящая мелкая решетка (с прозорами от 25 до 35 мм) является при работе с такими турбинами только приспособлением для защиты рыбы, и на севере ее называют «рыбной решеткой». Так как шведский закон о рыболовстве требует применения таких рыбных решеток только в летнее время, в период миграции рыбы, то в Швеции вошло в практику устраивать мелкие решетки съёмными, сохраняя кроме них только одну крупную решетку. Прутьям и ригелям этой последней придают контуры, согласованные со струями течения, и всю решетку рассчитывают так, чтобы она могла выдерживать полное одностороннее давление воды при высоком напряжении материала. Мелкие решетки, напро-

тив, рассчитываются, исходя из нескольких дециметров избыточного давления, и придают им легкую конструкцию.

Самый порядок подразделения на крупные и мелкие решетки еще не установился: в Лилла



Фиг. 297. Лилла Эдет. Подъемная крупная решетка со вставными панелями частой решетки.

Эдет (без электронагрева решеток) обе решетки комбинированы (фиг. 294, 297). Крупная решетка из бульбового железа образует опору для свободно-вставляемых секций мелкой решетки. Перед каждой турбиной, соответственно горизонтальному подразделению поперечного сечения впуска, установлено  $3 \times 2 = 6$  отдельных вертикальных секций крупной решетки, которые, каждая в отдельности, покоятся на четырех колесах и могут быть подняты кверху. Отдельные секции мелкой решетки можно удобно снимать о крупной решетки и очищать. При этом их под-

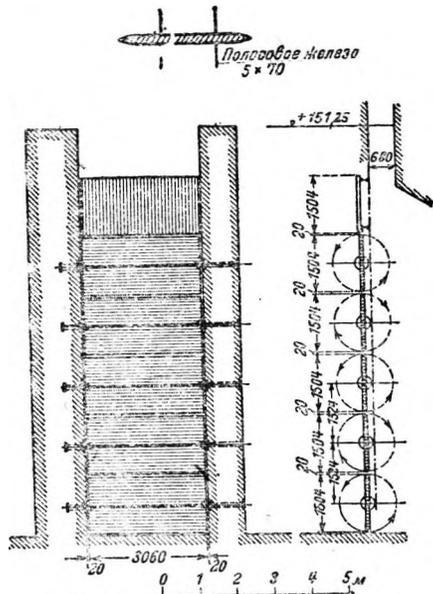
вешивают к специальным крюкам, вделанным в конструкцию, несущую подъемные механизмы щитов. Крупные решетки оставляют в воде и зимой для защиты турбин от крупных плавающих тел; при ширине прозоров в 23 см они не рискуют забиться льдом и заледениться, тем более что их помещают под хорошо отапливаемым помещением для щитов. В Форсхувуде крупные и мелкие решетки разделены и поднимать можно только мелкую решетку. Плавающие тела, собирающиеся у крупной решетки, проталкивают через особое отверстие в небольшой канал (так называемый «льдосбросный лоток»), и оттуда их уносит в нижний бьеф. Каждая отдельная мелкая решетка подразделена на ряд секций, могущих поворачиваться на  $180^\circ$  по образцу дроссельных клапанов; их освобождают от мелких плавающих тел простым поворачиванием, и наносы проходят через турбины в канал нижнего бьефа (фиг. 298—300). Это новшество вполне себя оправдало. В Хегфорсе может подниматься как одно целое только мелкая решетка, крупная решетка, как в Форсхувуде, неподвижно заделана перед головами быков впускных отверстий (возврат к среднеевропейскому способу установки решеток).

Следующим шагом вперед будет, вероятно, полный отказ от мелких решеток в больших низко- и средненапорных установках. Опыты улавливания рыб и дополнительные опыты с переменной напора над рыбой, впущенной в верхний бьеф или в особый резервуар с переменным напором у Лилла Эдет (фиг. 301, 302), доказали (в полной аналогии с немецкими и швейцарскими опытами этого рода), что по крайней мере при больших пропеллерных турбинах и при высоте падения, меньшей 20 м, даже крупная рыба редко повреждается, проходя через турбины. После этого шведское Министерство сельского хозяйства разрешило не вставлять в Лилла Эдет мелких решеток даже летом и строить новые гидроэлектростанции Кронгфорс и Хаммарфорс без мелких решеток<sup>1</sup>.

Так как решетки в остальном тем легче держать свободными от льда, чем лучше они защищены от отдачи своего тепла наружному воздуху, то на севере стараются укладывать крупные решетки по возможности целиком под водой, или (как в альпийских странах) применяют деревянные решетки там, где это допускают напряжения. Так, например, в Хиттефосс I крупная решетка состоит из деревянных брусьев 40/150 мм с отверстиями в 200 мм.

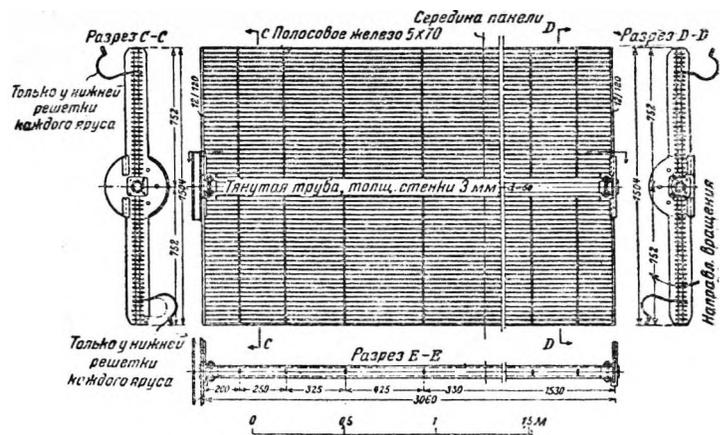
Очистка решеток машинами (в отличие от средней Европы) до настоящего времени почти не практиковалась. Там, где решетка слишком высока, чтобы ее можно было очищать граблями вручную, поступают, как

<sup>1</sup> Ср. заметку автора в "ETZ" за 1928 г.

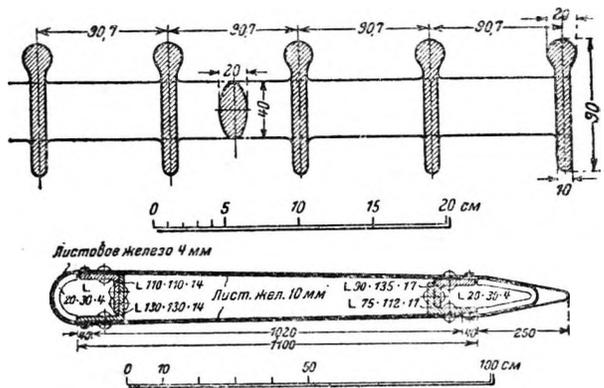


Фиг. 269.

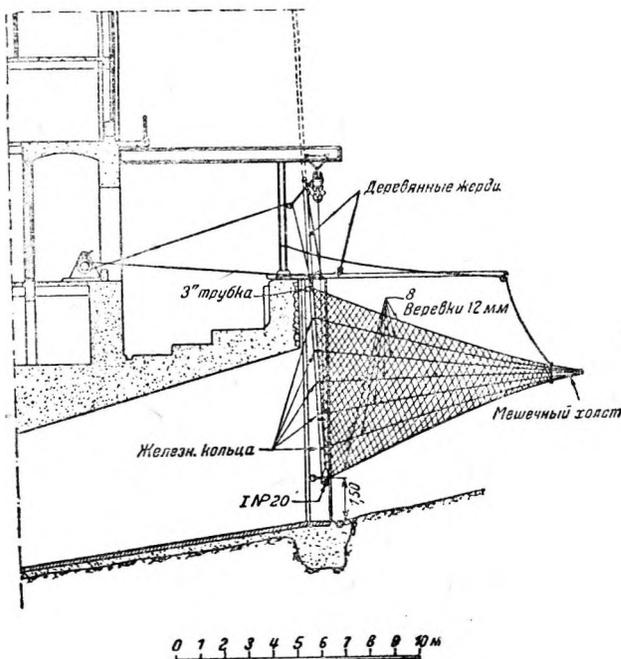
Фиг. 298 — 299. Форсхувдфорсен. Поворотные панели частой решетки.



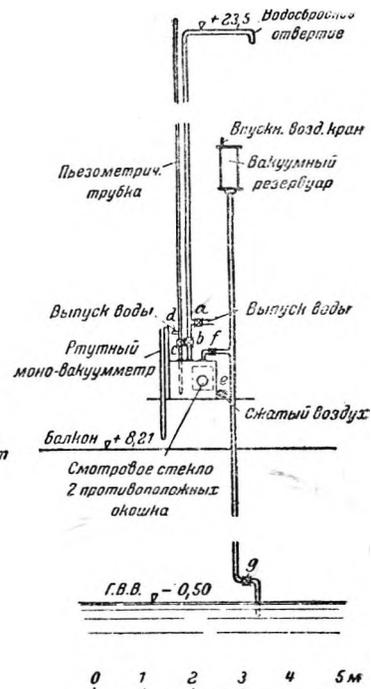
Фиг. 298.



Фиг. 300. Форсхувдфорсен. Опоры крупной решетки, прутья крупной решетки и пластины частой решетки

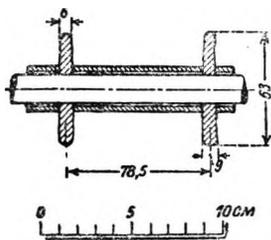


Фиг. 301. Лилла Эдет. Пробное улавливающее рыбу устройство ниже всасывающих труб установки.



Фиг. 302. Лилла Эдет. Опыт над влиянием изменения давления на рыбу.

в Лилла Эдет или Форсхувуде (см. выше). Из других специальных конструкций решеток, облегчающих их очистку, можно назвать: вращающуюся мелкую решетку в Форсхувуде (подробностей не сообщено) и могущую поворачиваться кверху решетку в форме сегментного затвора с выступающими наружу задерживающими крючками, позволяющими извлекать принесенный водою сплавный лес (Ингеройс—Финляндия). Затруднительность ручной очистки, в особенности при значительном количестве леса, несомного северными реками, приводит и здесь доволь-



Фиг. 303. Свэлгфосс. Деталь решетки.

но часто к нежелательному засорению решеток. Автор самолично обнаружил на Лагане решетку, настолько забитую, что потеря напора достигала до 0,5 м. В Меркфос-Сольберсфос пользуются для очистки решеток передвижным краном (фиг. 304); решетка имеет здесь необычную высоту — 14 м.

В последнее время на севере уделяют большое внимание форме нот речного сечения отдельных частей решетки, правильной с гидродинамической точки зрения (фиг. 300, 303). Поперечные сечения главных балок крупной решетки в Форсхувуде, Виттингфоссе и т. д. сделаны по форме обтекания; отдельные прутья, как в Лилла Эдет, — из бульбового железа. Прутья мелкой решетки в Форсхувуде имеют симметричное поперечное сечение (фиг. 298 и 300); в Лилла Эдет острое переднее ребро заменено полукруглым профилем лобовой части, чтобы не повредить рыбе, которую течение часто прижимает к мелкой решетке. Задняя грань и здесь клинообразна.

Таблица 8

Поперечное сечение прута	Ширина прозора в мм	$K_{90^\circ}$	$\frac{K_{75^\circ}}{K_{90^\circ}}$	$\frac{K_{60^\circ}}{K_{90^\circ}}$	$\frac{K_{45^\circ}}{K_{90^\circ}}$
<i>A</i>	19,2	2,29	0,944	0,826	0,700
<i>B</i>	19,8	2,66	0,964	0,870	0,711
<i>C</i>	19,7	2,48	0,880	0,775	0,621
<i>D</i>	19,7	2,27	0,895	0,785	0,648
<i>E</i>	19,8	2,46	0,983	0,830	0,614
<i>F</i>	19,9	1,79	0,883	0,777	0,643
<i>G</i>	19,9	1,18	0,966	0,865	0,678

Проф. Феллениус (Стокгольм) произвел в 1923 г. опыты на предмет установления зависимости между потерей напора в решетке и формой поперечного сечения прутьев, главные результаты которых мы приводим ниже (фиг. 305).

Опыты производились в натуральную величину и при скоростях течения от 0,5 до 1,5 м/сек. Решетки устанавливались частью вертикально, частью под различными углами (75°, 60°, 45°). По наблюдаемому подпорку по формуле

$$h = K \cdot a \cdot \frac{v^2}{2g}$$

вычисляли коэффициент сопротивления  $K$  (см. табл. 8). Здесь  $a$  — относительное стеснение, по Ребоку равное ширине прута, деленной на расстояние между осями прутьев, и  $v$  — скорость течения до решетки.

На основании этих опытов было произведено несколько расчетов для определения наиболее экономических условий при новом строительстве и при замене неудовлетворительно работающих решеток. Проф. Феллениус продолжает и расширяет свои опыты<sup>1</sup>.

## § 2. Расположение и установка турбин.

Наряду с традиционной установкой низконапорных турбин Френсиса в открытой шахте на севере одновременно с введением вертикальной одноколесной конструкции сильно распространен и способ установки в закрытых спиральных камерах. При этом предпочитают железобетонные камеры, в отличие от Америки и центральной Европы, где стальные камеры охотнее заделывают в бетон целиком, чтобы упростить строительные работы, что, впрочем, при крупных единицах идет в ущерб экономичности. Свен-Любек внес предложение называть новый тип конструкции, при котором фундамент силового здания частично образует камеру для современных турбин, достигших колоссальных размеров, «полукрытым», в отличие от чисто «закрытого» типа прежних установок с турбинами в кожухах, которые стоят на полу силового здания как самостоятельное целое (высоконапорные установки). В дальнейшем мы будем придерживаться этих обозначений.

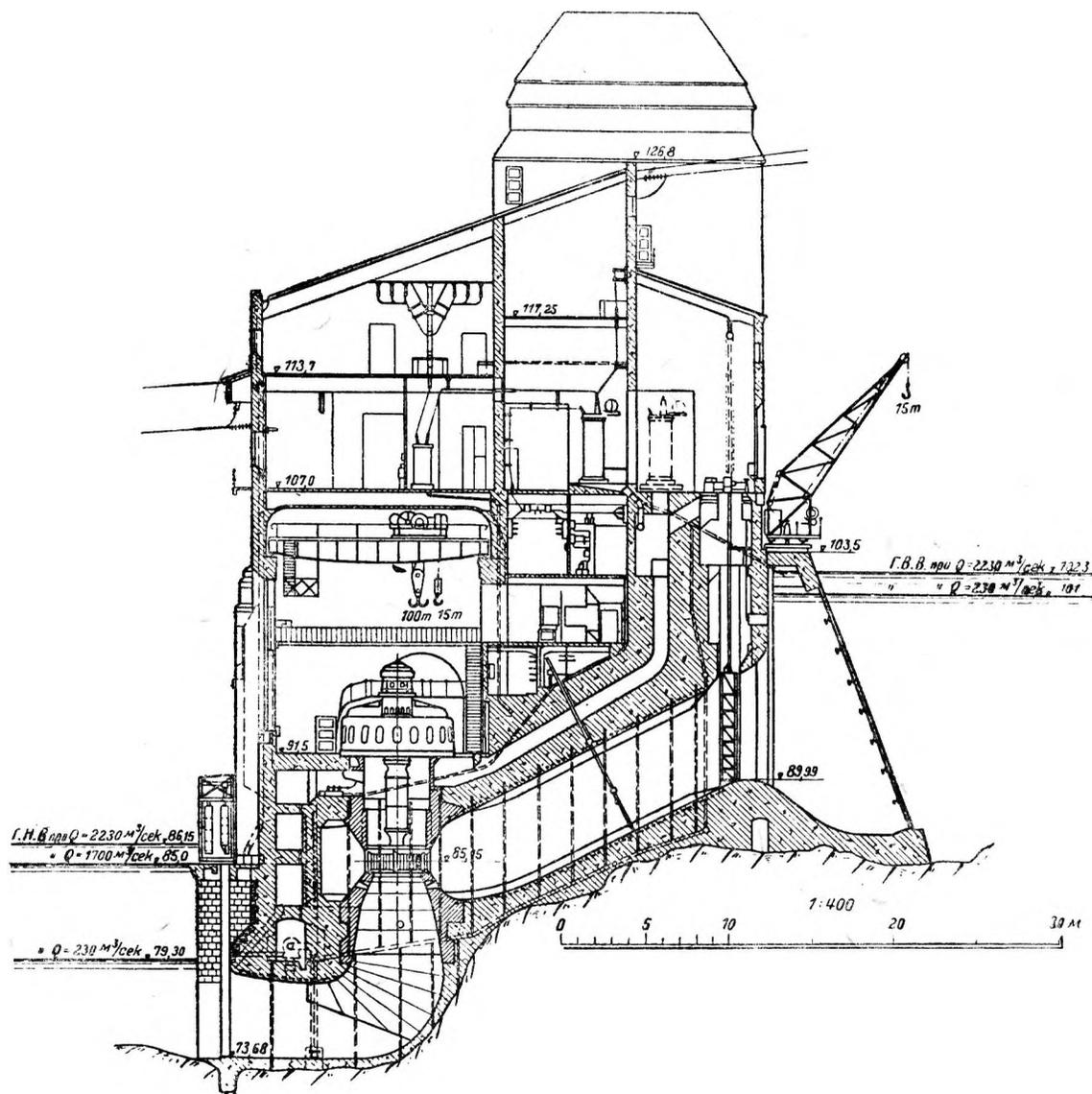
Открытый тип применяется в северных крупных установках вплоть до значительного напора (около 20 м — Гульспонг, Эльварлеби, фиг. 306). Таких же и даже несколько больших напоров достигают и при полукрытой установке; характерные примеры: Хаммарфорс (фиг. 268,  $H = 20$ ); Мункфорс, (фиг. 351) и т. д.; при еще большем напоре на севере за последнее время

<sup>1</sup> Ср. «Wasserbaulaboratorien Europas» De Thierry и C. Matschoss, стр. 401 — 402, Берлин 1926; также L u d i n, Wasserkräfte, 1913, стр. 1235.

предпочитают закрытую установку (напорная труба или шахта, железная спираль), например, в Норрфорсе (фиг. 347) в отличие от более старого Порьюса (фиг. 315).

При высоте напора свыше 150 м и до 200 м активная турбина начинает вытеснять турбину

Детали расположения. Вертикальная одноколесная турбина с открытой или полукрытой установкой не так быстро и радикально вытеснила в северных низко- и средненапорных установках горизонтальную многоколесную турбину с ее более простой кон-

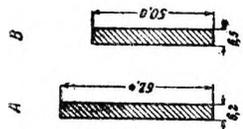


Мэркфос-Сальбергфос. Разрез силового здания.

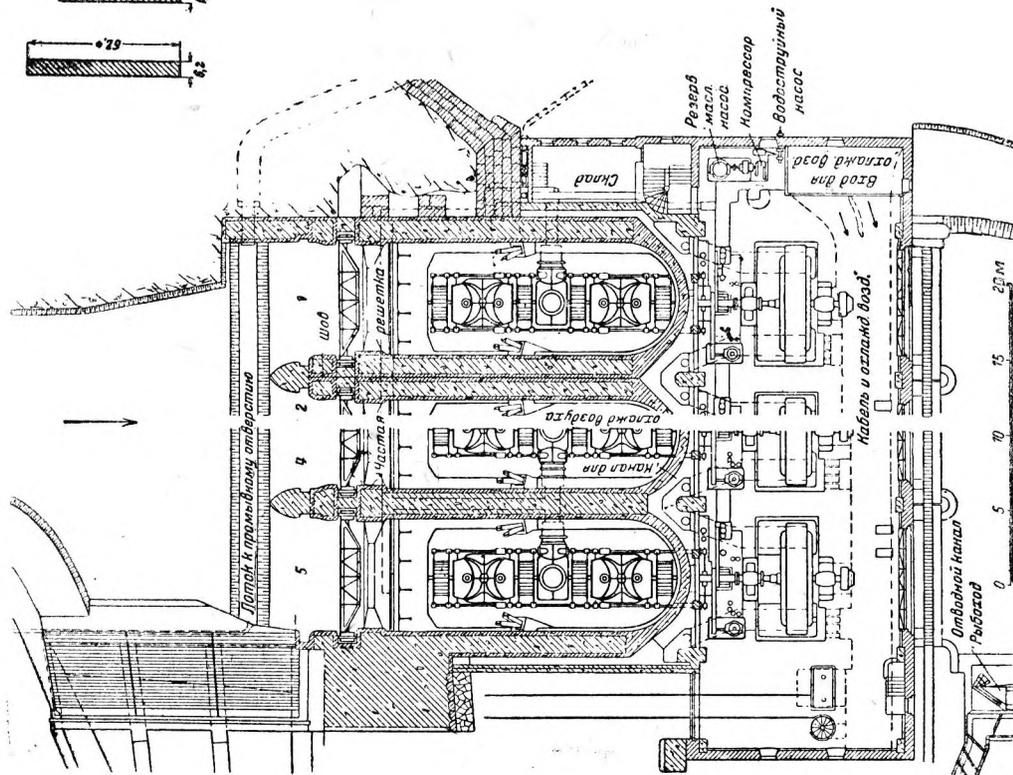
Фрэнсиса и на севере, причем и здесь замечается тенденция расширить область применения турбины Фрэнсиса кверху. Двенадцатый агрегат установки Рьюкан I является спиральной турбиной Фрэнсиса со следующими характеристиками:  $H = 280,5\text{—}290$  м;  $N = 17\,500$  л. с.,  $n = 600$ ;  $n_8 = 70$  (Эшер Висс и К<sup>0</sup>)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ср. Эстерлен в "ZVDI" № 48, 1928.

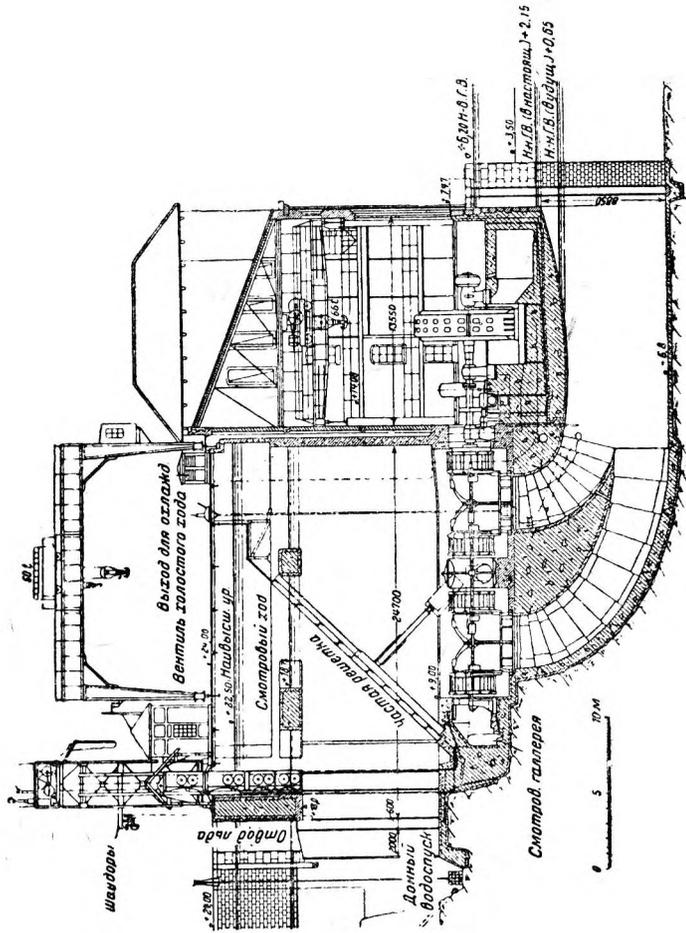
струкцией машин и сооружении, как в других странах. Еще в течение десятилетия, 1916—1926, построен ряд очень крупных установок с горизонтальными сдвоенными турбинами в открытой камере, например: в Швеции — Унтра, Бергсброн Хавет, Мотала, в Норвегии — Ранасфосс, и из средних установок, например, Хульта. Расположение турбин обычно нормальное, т. е. вал параллелен плоскости симметрии



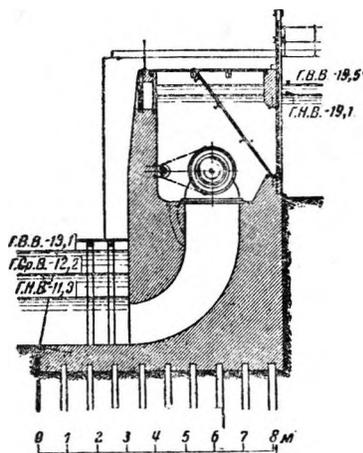
Фиг. 305 Поперечные сечения стержней решетки испытывавшиеся проф. Фелленуусом.



Фиг. 300. Эльвкарлеби. План и разрез силового здания.

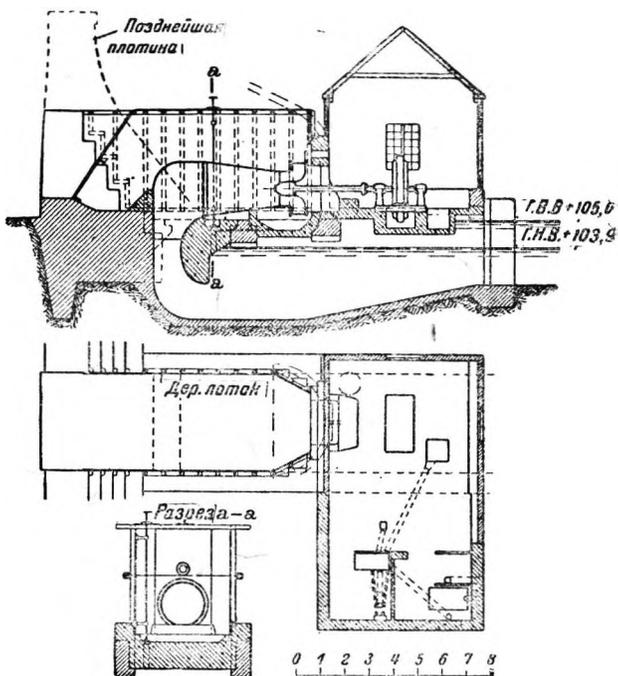


камеры. Нередко встречается, впрочем, в связи с особыми условиями поперечный вал, например на фиг. 307, где непосредственно от нала приводится в движение построенная сбоку фабрика, или, например, в Хультта. Следует вообще отметить умелое приспособление установки турбин к трудным местным условиям (фиг. 313, 314, 355). Число рабочих колес на одном валу обычно 2 или (при малой высоте падения, фиг. 306)—4

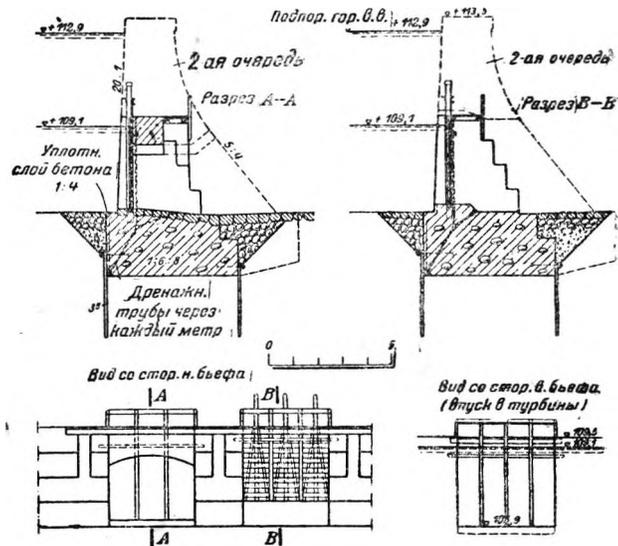


Фиг. 307. Иттерфорс. Разрез силовой установки.

чем у вертикальных турбин Каплана, и своеобразная конструкция всасывающих труб объясняется вышеприведенными особыми обстоятельствами<sup>1</sup>.



Фиг. 308.



Фиг. 309.

Фиг. 308—309. Малая гидроустановка Дэлари.

Колеса при этом большей частью соединяют попарно с одной шахтой всасывающей трубы (двойкосоенное соединение). В виде исключения крайним рабочим колесам отводят отдельные всасывающие трубы, а двум средним — одну общую (Рэмнинге, фиг. 315). На маленькой финляндской установке Варкауc шестиколесная турбина Фрэнсиса (Фойт) установлена с тройкосоенным соединением ( $H = 4,7$  м;  $N = 1\ 000$  л. с.). Одноколесные турбины с горизонтальным валом и с открытой установкой встречаются, конечно, только как исключение. В этом смысле интересна, главным образом, с исторической точки зрения, маленькая установка Делари в Хегеоне (южная Швеция). Предварительную высоту напора 4,8 м предполагается в будущем повысить путем увеличения подпора до 8,6 м, причем рабочее колесо будет сменно. В соответствии с этим временным характером пока установлено только одно рабочее колесо Каплана с горизонтальным валом (фиг. 308 и 309). Непригодная для турбин Каплана горизонтальная установка была избрана в данном случае только потому, что первоначально предполагалось поставить горизонтальную турбину Фрэнсиса, и фундамент был уже частью готов; однако хорошие результаты работы турбин Каплана, в особенности при сильном переменном используемом расходе, заставили изменить решение в пользу турбин этого типа. Во избежание кавитации лопаткам рабочего колеса пришлось придать существенно иную форму.

Открытая установка вертикальных одноколесных турбин представлена несколькими исключительно удачными примерами, хотя и на сравнительно небольших гидроэлектростанциях,

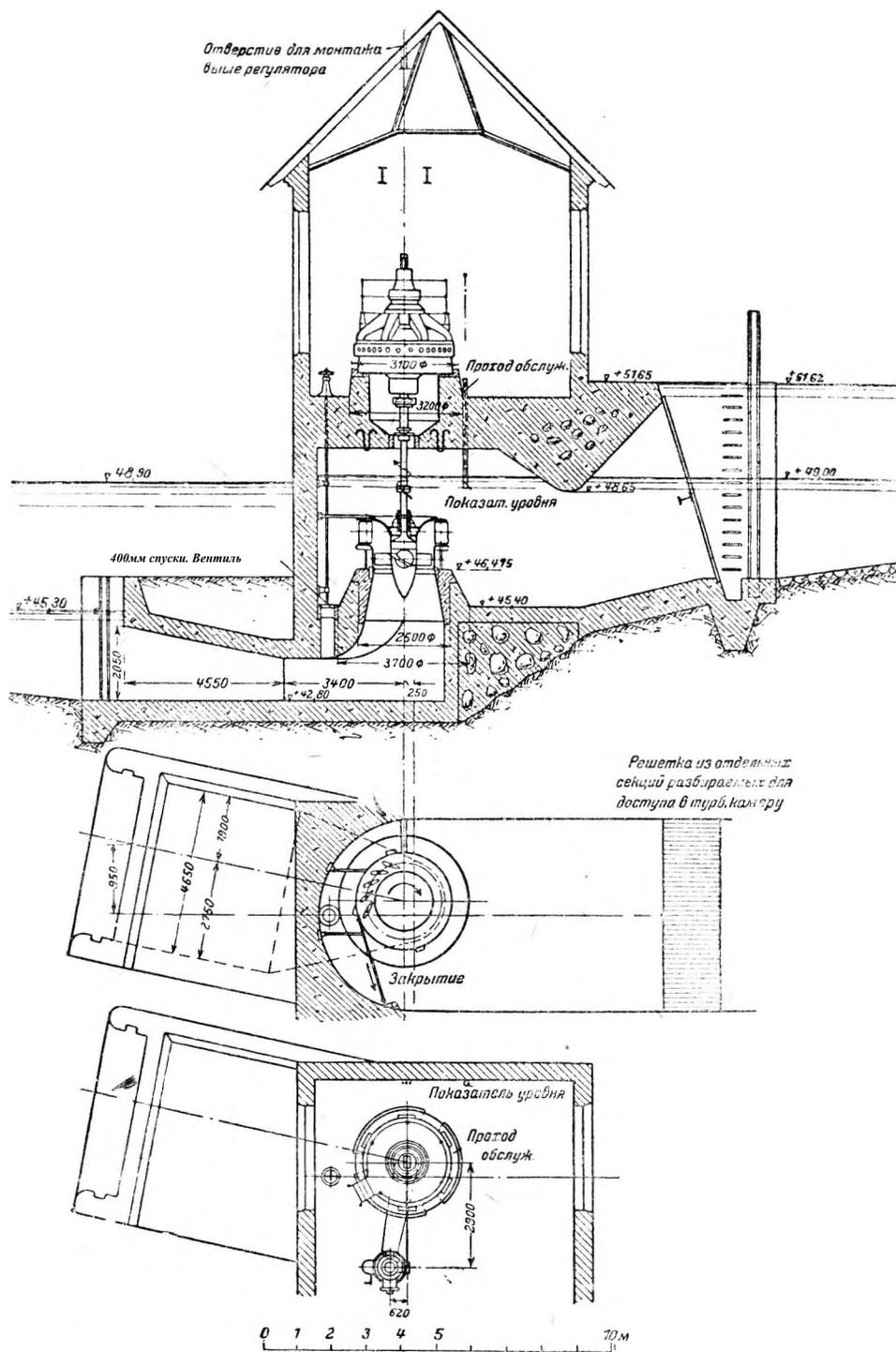
<sup>1</sup> Общий проект установки гражданского инж. Самуэльсона, Никёпинг; турбина конструкции завода Кристинегамн.



например, в Толльфорсе (фиг. 310, 311) (турбина Каплана,  $H = 6,5 \text{ м}$   $N = 700 \text{ л. с.}$ ) и в Ландафорсе (фиг. 312) (турбина Каплана,  $H = 4,2 \text{ м}$ ;  $N = 600 \text{ л. с.}$ ).

Важнейшим вопросом с точки зрения строительства является при открытой установке тур-

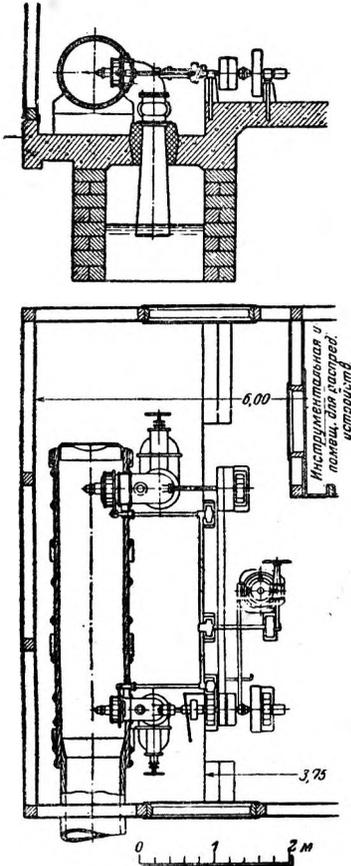
бин конструкция стен, ограничивающих турбинные камеры или шахты. Промежуточные стенки многокамерных установок должны выдерживать одностороннее давление воды, и это привело к применению железной арматуры и к подразделению на ребра и плиты. Задняя стена



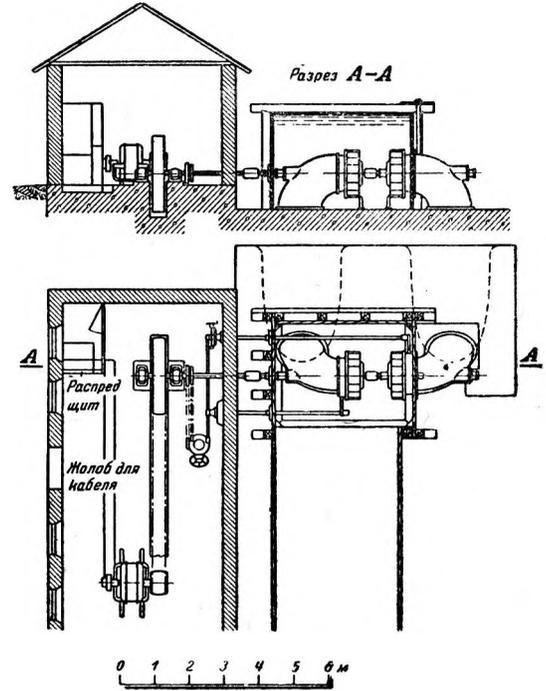
Фиг. 312. Ландафорсен. Разрез и планы.

камеры в небольших установках еще и в новейшее время является одновременно стеной силового здания и снаружи тщательно уплотняется; верхнюю часть стены здания для надежности, однако, чаще всего изолируют от нижней части (фиг. 316). На более крупных установках этого

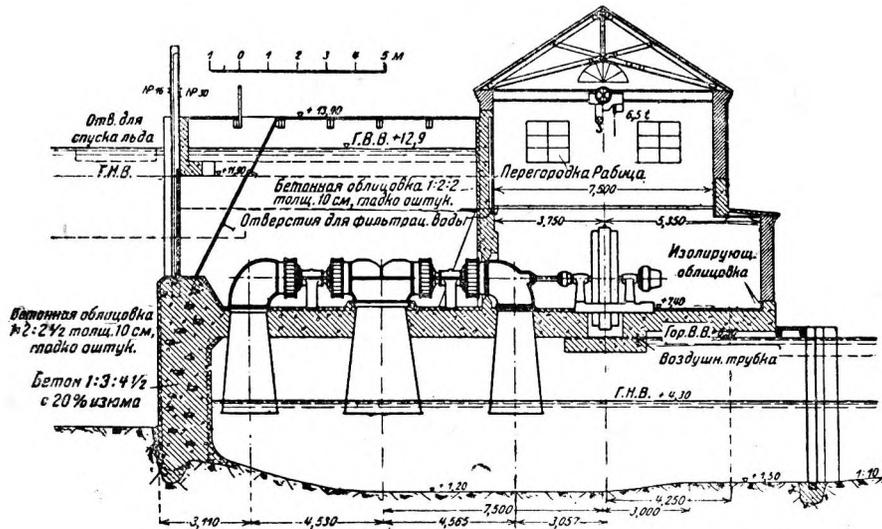
простого расположения уже давно избегают отчасти в связи с трудностью достичь совершенной водоупорности и изоляции, отчасти же, и главным образом, благодаря невыгодным статическим напряжениям, которые заставили применять в среднеевропейских установках арматуру. На севере уже давно и с образцовым успехом стремятся сделать турбинную камеру по возможности конструктивно независимой от силового здания. Интересным примером на пути этой эволюции является Гульспонг (фиг. 316). Турбина помещена здесь в глубокую цилиндрическую шахту



Фиг. 313. Гэдедален. Маломощная гидростанция.



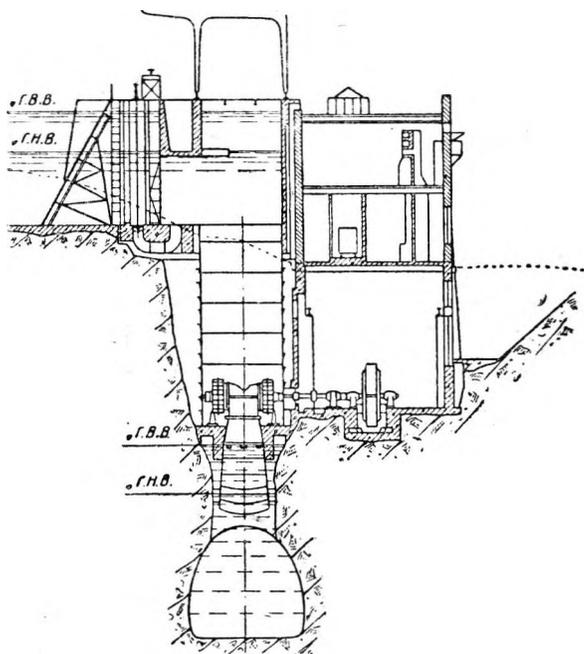
Фиг. 314. Гранас. Маломощная гидростанция.



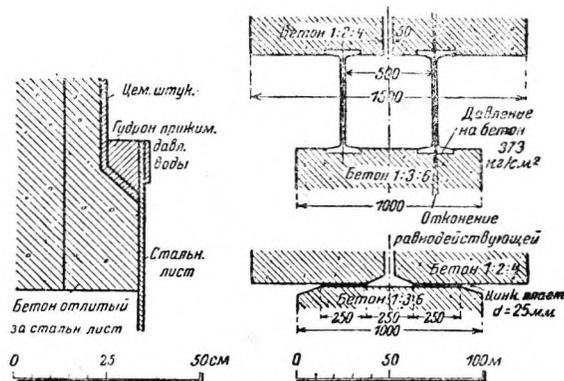
Фиг. 315. Рэмнинге. Разрез силового здания.

из листового железа, усиленную железными уголками жесткости; вверху на уровне речного дна она с помощью железобетонного кольца переходит в железобетонную камеру, открытую со стороны входа воды. Заделки основания сводчатой задней стены железобетонной камеры при

лее широкой удобоприменимостью (фиг. 320—323). Основная форма возникла из статических расчетов: боковые стены и передняя часть камеры

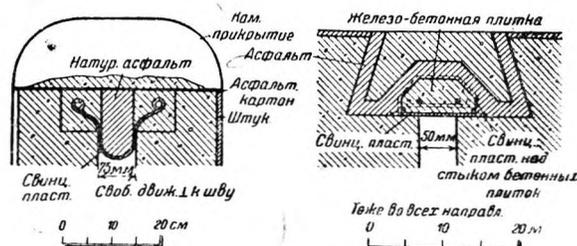


Фиг. 316. Продольный разрез и план станции.

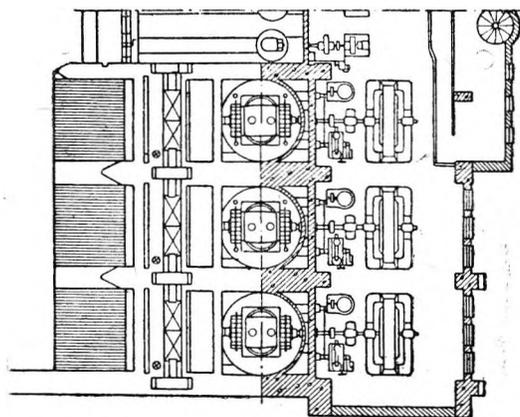


Фиг. 317. Уплотнение шва между цилиндрической поверхностью и бетоном.

Фиг. 318. Устройство опор стен к камеры. Наверху — качающаяся опора (максимальное давление 373 кг/см<sup>2</sup>); внизу — неподвижная опора.



Фиг. 319. Шов со свинцовой прокладкой (свободное движение, перпендикулярно шву) и шов со скользящим уплотнением (свободное движение во всех направлениях).



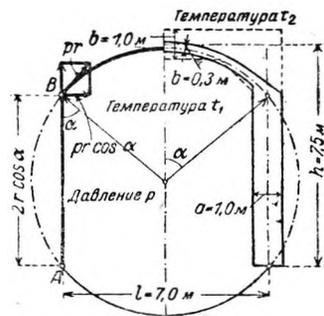
Фиг. 316 — 319. Гидроустановка Гульеспонг.

этом сумели избежать, и создались статически простые условия. Тщательно продуманные детали устройств швов (фиг. 317, 318, 319) и в наши дни еще заслуживают полного внимания. Описанное расположение сообразовано с особенными местными условиями.

За последнее время (также трудами Бюро гидротехнической консультации) разработано новое расположение, которое отличается гораздо бо-

льшой удобоприменимостью. В плане задуманы как рама с шарнирным креплением стоек и затяжкой. Чтобы создать распределение сил, выгодное для задней стены, эта последняя сконструирована как круговой цилиндр, проходящий через шарниры крепления. Задняя стена работает при этом в горизонтальной плоскости на чистое растяжение без изгиба.

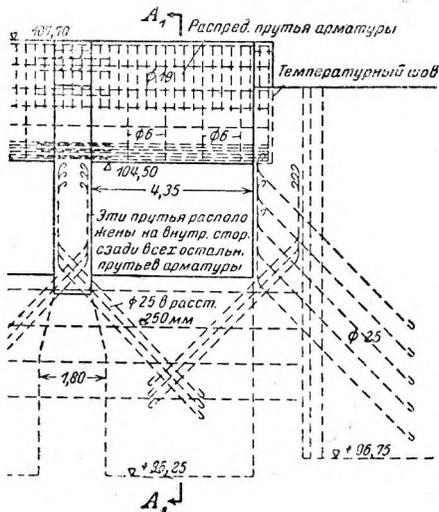
Этот принцип применен уже в целом ряде низконапорных установок. Разумеется, наряду



Фиг. 320. Железобетонная турбинная камера. Конструкция бюро гидротехнической консультации.



с передачей сил в горизонтальной плоскости должна существовать и «вертикальная» заделка



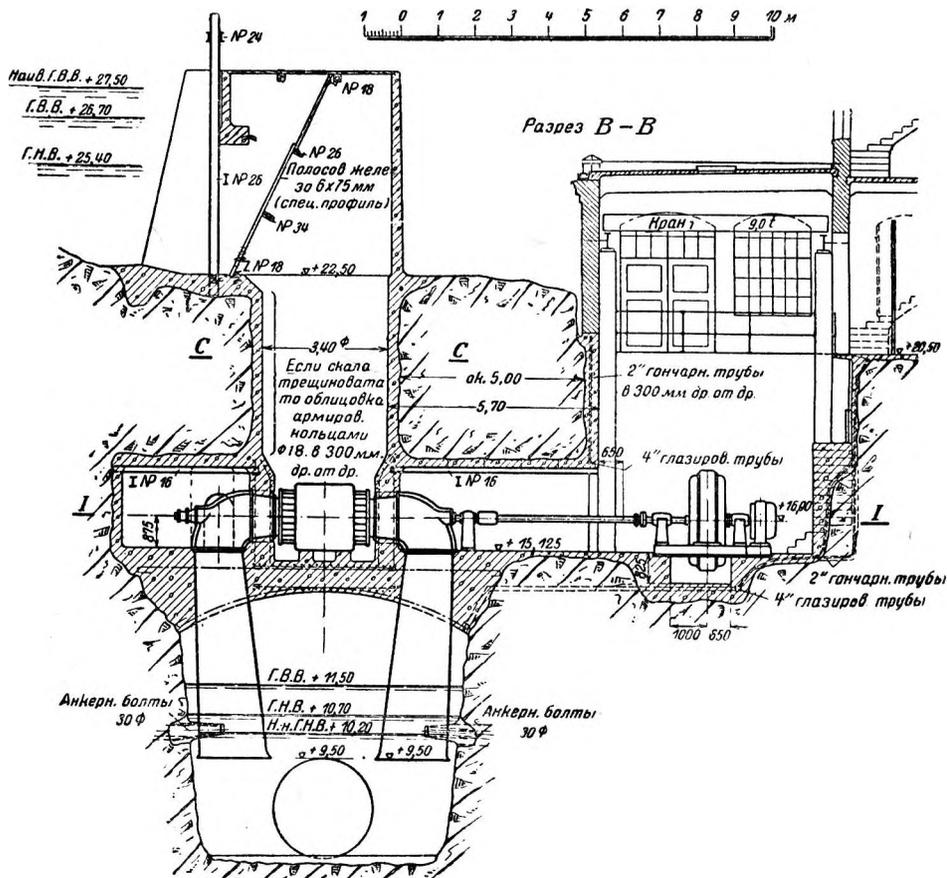
Фиг. 328. Хульта. Детали железобетонной конструкции турбинной камеры.

в фундамент, требующая соответствующей арматуры.

Та же самая статически-конструктивная основная идея применима и в том случае, когда

турбина помещается не во входной камере, а в шахте, расположенной ниже последней. Круговая цилиндрическая стена шахты переходит при этом наверху в сводчатую заднюю стену камеры, которая благодаря этому оказывается упруго заделанной в основании. Таким образом при чисто внешнем сходстве создается интересный контраст с расположением в Гульспонге (фиг. 316), где задняя стена камеры и шахта сконструированы возможно независимыми друг от друга. Такая же связная конструкция турбинной камеры и шахты применена в Хорпсе (Альстербон, южная Швеция) (фиг. 324 — 329). В этой установке интересны кроме расположения шахты также и установка турбин на двусторонне-закреплением своде и расположение всасывающих труб.

При полуоткрытой установке необходимо предпосылать статически-конструктивным расчетам серьезное исследование гидравлически-наивыгоднейшей формы спиральной подводящей камеры. В большинстве случаев эти исследования бывают преимущественно экспериментальными; так, например, постройке турбинных камер в Лилла Эдет и Меркфосс-Сольбергфосс предшествовали обширные опыты над моделями. Зато форма спиральной камеры в Форсхувуде, точно



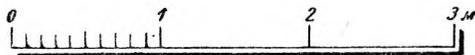
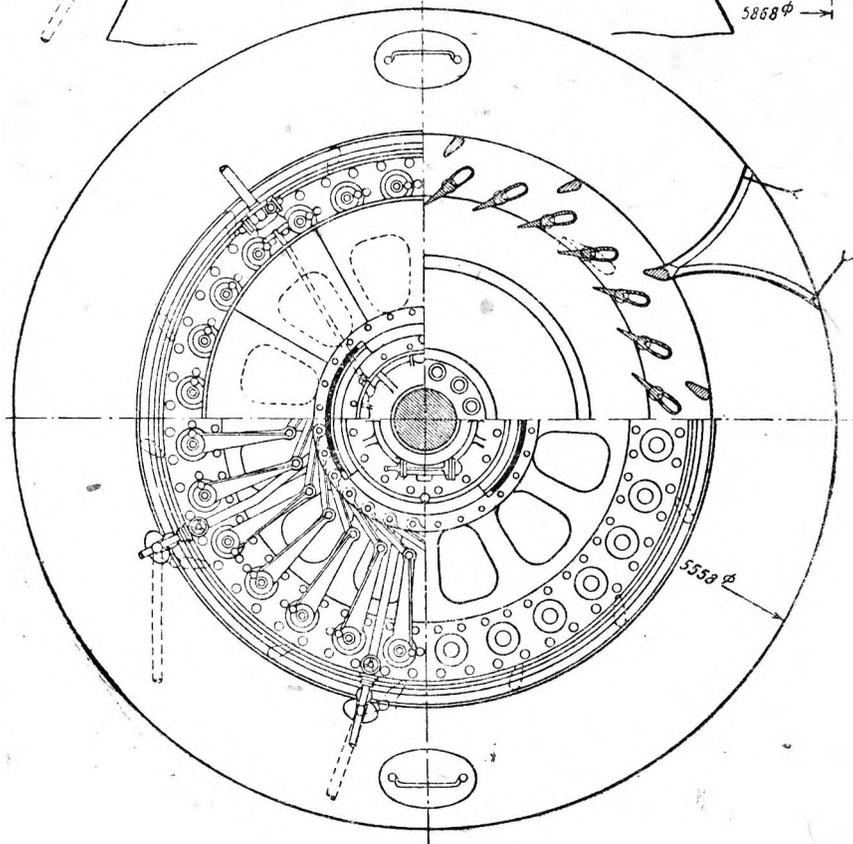
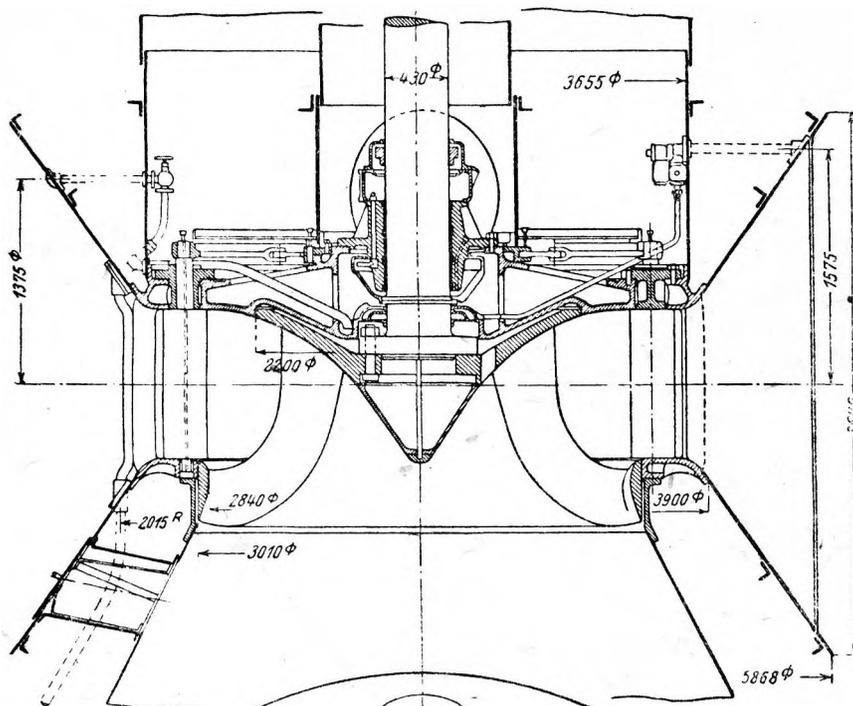
Фиг. 324. Хорпсе. Силовая установка. Разрез.





симметричная относительно горизонтальной плоскости, была спроектирована проф. К. И. Карл-

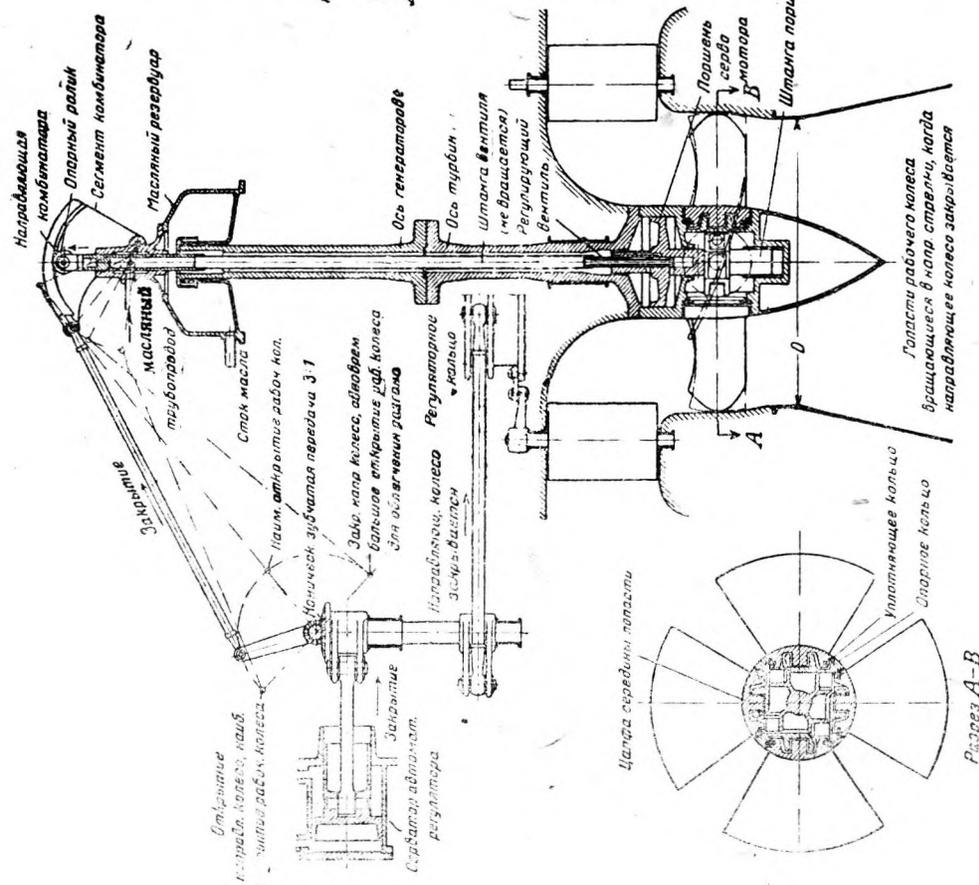
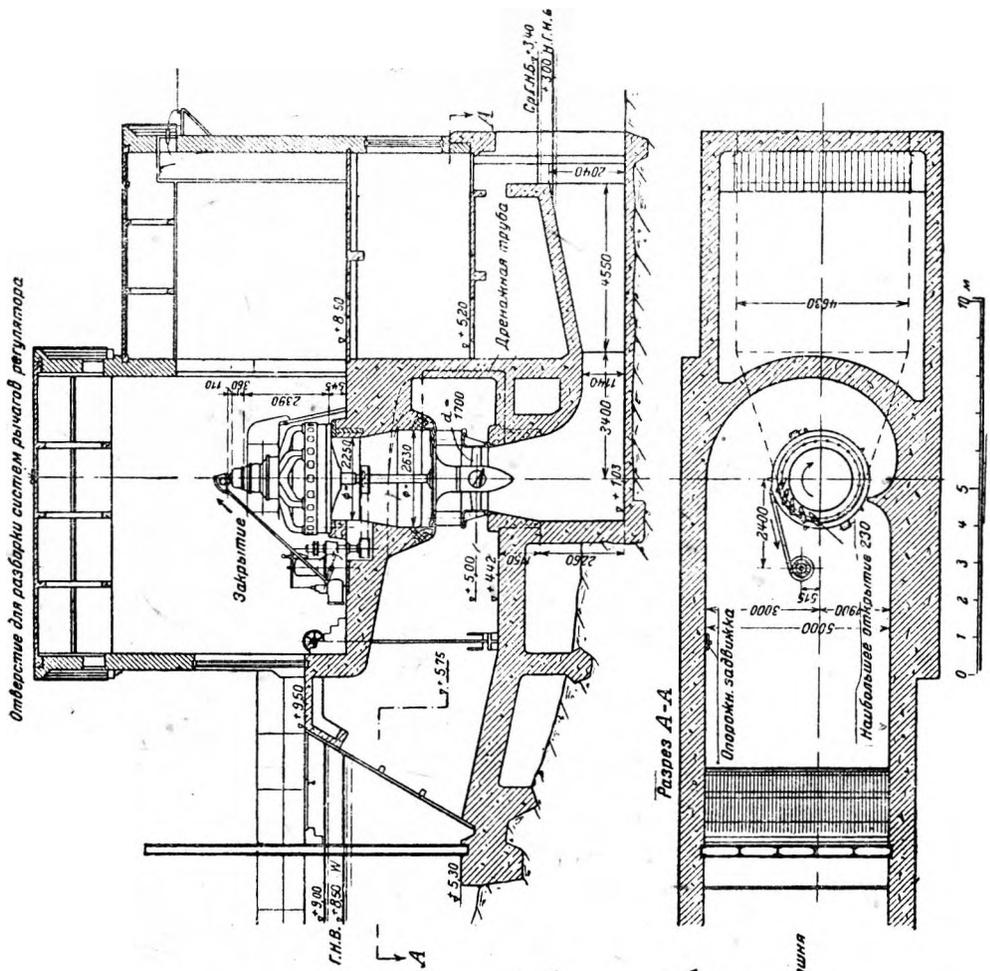
соном преимущественно расчетным путем. Сконструированная Карлсоном спираль имеет в сечении по меридиану форму



Фиг. 331. Турбина Сольбергфос.

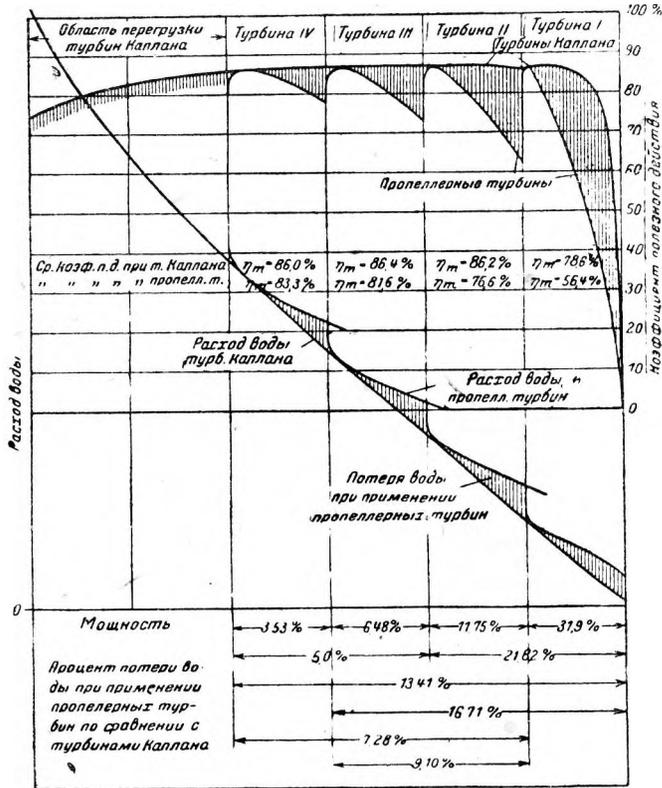
по меридиану форму симметричной трапеции (с закругленными углами), ограниченной сверху и снизу не прямыми линиями, а гиперболами. Центр этих гипербол расположен на оси турбины. Карлсон доказывает, что согласно исследованиям Празиль-Лоренца для этой формы поперечного сечения невыгоднейшей горизонтальной проекцией является развертка круга (фиг. 290; ср. также Хаммарфорс, фиг. 330).

Статически - конструктивное оформление этих спиралей ставит перед инженером-строителем интересные задачи. Перекрытие спиральной камеры должно выдерживать и передавать фундаменту кроме давления воды и собственного веса еще и тяжелую нагрузку статора и вращающихся частей и, наконец, часть нагрузки пола машинного помещения. Так как в перекрытии камеры выше крышки турбины приходится делать смотровое отверстие, то, чтобы не придавать перекрытию чрезмерной толщины, необходимо либо опирать его в отдельных точках по окружности направляющего колеса, либо усиливать его посредством балок. 13 самых крупных установках севера до сих пор прибегают к первому способу. Опоры, которые передают большую часть нагрузки генераторов фундаменту, минуя перекрытие спирали, и, с другой стороны, работают на растяжение, сопротивляясь внутреннему давлению воды, всегда изготавливаются из стали, чтобы уменьшить их поперечное сечение. Опоры могут иметь либо профиль обтекания, как в Форсхувудфорсене (опорные лопатки), либо, в крайнем случае, форму круглых цилиндров. Их всегда располагают так, чтобы они находились перед какой-либо лопат-



Фиг. 332. Канганкоски. Силовая установка.

кой направляющего колеса и вместе с нею занимали бы с гидродинамической точки зрения возможно выгодное положение (фиг. 331).



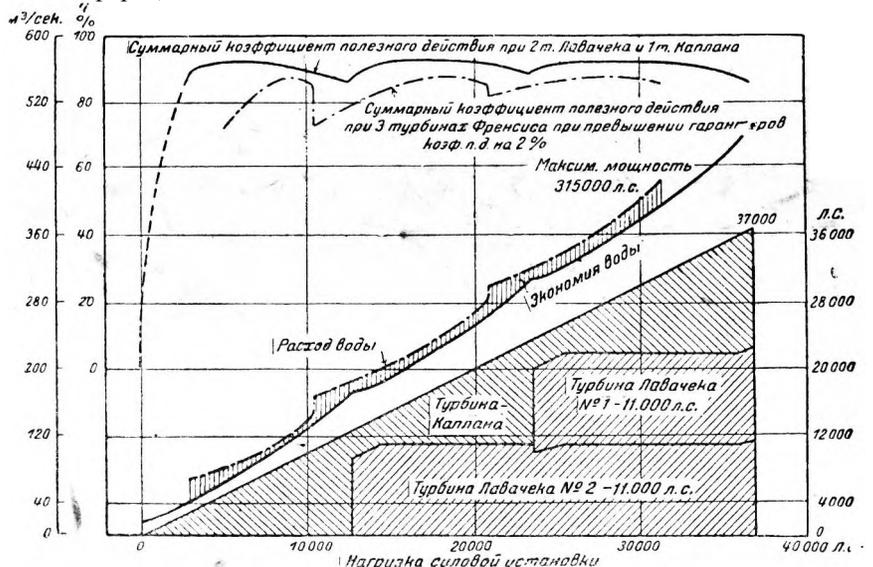
Фиг. 333. Сравнение к. п. д. силовой установки с турбинами Каплана и пропеллерными.

Второе расположение, т. е. передача нагрузки на прогоны (как, например, в Германии на установке Кахлет: большое число клепаных балок из листового железа), встречается в Льюсфорсе, где применены железобетонные балки. При малых турбинах потолочная плита спиралей может выдерживать нагрузку тяжести генераторов без усиления прогонами, передавая ее боковым стенкам (Канганкоски, Финляндия, фиг. 332).

### § 3. Турбины.

Одноколесная турбина с вертикальной установкой внутри спиралей имеет на севере такое же широкое распространение, как и в остальной Европе. Сдвоенных турбин со спиральными камерами на севере не встречается, хотя им было уделено внимание при разработке предварительного проекта установки Лилла Эдет. Среди одноколесных турбин

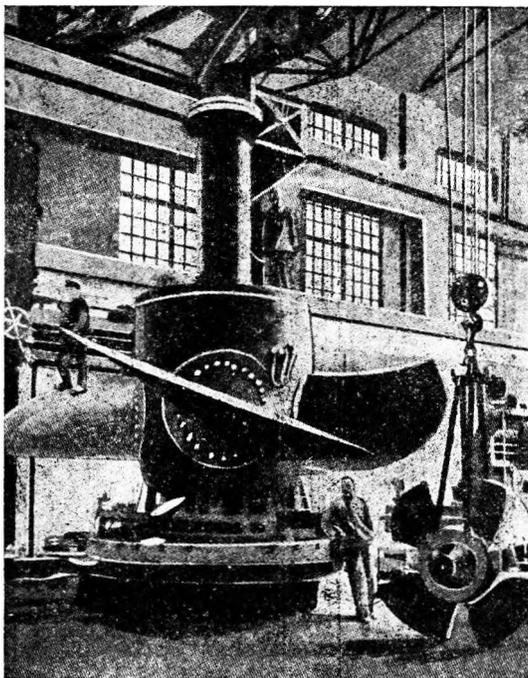
предпочтение отдается, главным образом, быстроходной турбине Фрэнсиса (Форсхувуд, Мэркфосс-Сольбергфосс, Куханкоски). В новейшее время стали применять пропеллерные турбины, турбины Каплана и Лавачека. Инж. Энглессон в своем сравнительном исследовании видит преимущества вертикальной одноколесной турбины со спиральным подводом воды перед сдвоенными турбинами в том, что первые, во-первых, позволяют достигать несколько более высокой к. п. д. (по его мнению примерно на 1%) благодаря большим размерам колес и лучшим условиям движения воды, в особенности в начале всасывающей трубы, а во-вторых, и, главным образом, в том, что вертикальные турбины с спиральным подводом воды применимы и при сильных колебаниях горизонта верхнего бьефа, тогда как при горизонтальных турбинах возникает опасность всасывания воздуха. Так, например, в Унтра наблюдаются значительные вихри, которые гасятся довольно успешно, при помещении в каждую камеру плавучей рамы из балок. Так как незначительное повышение к. п. д., установленное Энглессоном, в переводе на капитал в большинство случаев не покрывает разницы в первоначальных издержках, то вертикальная одноколесная турбина, по его мнению, вообще предпочтительна только тогда, когда наблюдаются сильные колебания горизонта воды в верхнем бьефе. К выводам Энглессона можно добавить еще то соображение, что размеры турбинного здания существенно отзываются на строительных издержках, причем при одноколесной турбине глубина заложения обычно бывает больше, длина лее камеры обыкновенно меньше. Кроме того, можно выгодно использовать заднюю часть всасывающей трубы, поместив над ней надстройку



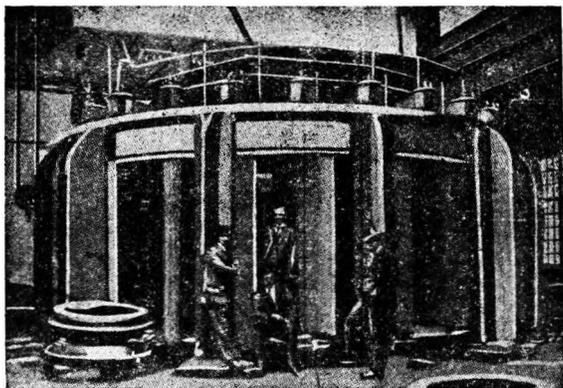
Фиг. 334. Сравнение коэффициента полезного действия существующей установки Лилла-Эдет с проектировавшейся установкой с горизонтальными турбинами Фрэнсиса.

для распределительного устройства. Ризница в величине к. п. д. обычно на 1—1,5% больше предполагаемой Эглессоном.

Турбина Каплана, быстрое распространение и общее развитие которой являются неоспоримой мировой заслугой Управления водных сил Швеции и шведской турбиностроительной промышленности



Фиг. 335.



Фиг. 336.

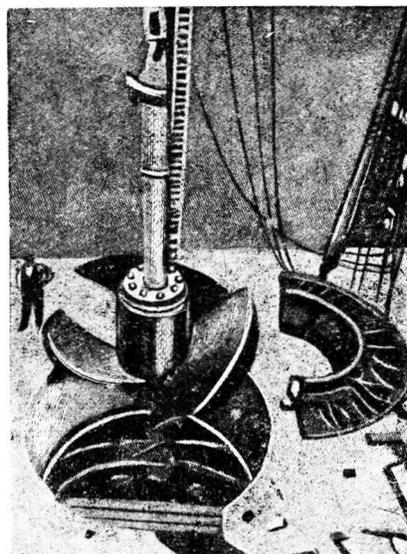
Фиг. 335—334. Турбина Каплана для установки Лилла Эдет (в мастерской).

ленности, отличается своей широкой приспособляемостью к колебаниям напора и расхода. Благодаря поворотным лопастям рабочих колес к. п. д. остается почти неизменным при колебаниях расхода в очень широких пределах (фиг. 332—334).

Чем меньше число машин, тем больше превосходство турбины Каплана: средний к. п. д.

установки с одной машиной при турбине Каплана 78,6%, при пропеллерной турбине — 56,4%. Кривые построены Эглессоном на основании упрощенных предположений общего характера; при наблюдении же за фактическим ходом работы определенных установок он установил еще большее различие в к. п. д. обоих видов турбин. Это объясняется тем, что при временном ослаблении нагрузки выключение лишнего агрегата происходит не сразу.

Соединение турбин Каплана с другими более дешевыми типами одноколесных турбин в такой пропорции, чтобы на 2—3 турбины Каплана приходилась одна турбина другой конструкции, дает по мнению Эглессона на практике



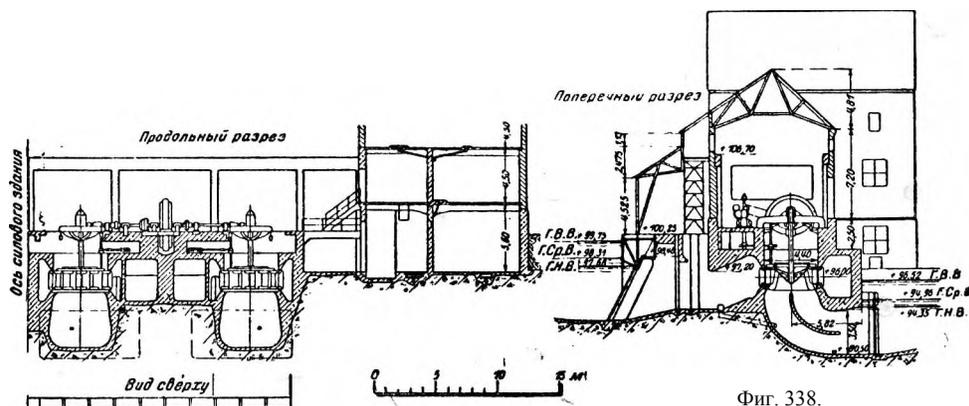
Фиг. 337. Турбина Лавачека для установки Льюсфорсе.

такой же высокий общий к. п. д., как исключительное применение одних турбин Каплана. Можно даже на практике еще больше уменьшить долю этих последних. Так, например, в Лилла Эдет на одну турбину Каплана (фиг. 335—336) приходится две турбины Лавачека, и достигается очень благоприятный к. п. д. (фиг. 334 — Сравнение с горизонтальными сдвоенными турбинами). Кроме того, за последнее время в Льюсфорсе (фиг. 337) и Форсхувудфорсе также поставлены турбины Лавачека.

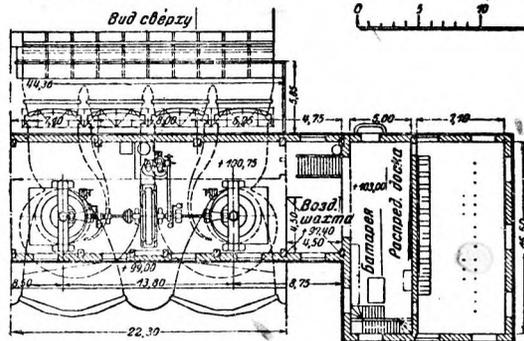
Благодаря введению турбин Каплана и Лавачека возможности утилизации часто встречающихся в Швеции, и особенно в Финляндии, малых высот падения заметно повысились. В виде исторического интересного примера можно указать на турбинную установку Куханкоски (Финляндия), где обыкновенные быстроходные турбины Фрэнсиса с редукторам «Цитроэн» попарно приводят в движение один горизонтальный генератор (фиг. 338—389).

Турбины с металлической камерой — спиральные — на севере при средней высоте падения чаще всего горизонтальные — с горизонтальным валом. Вертикальные турбины до 1928 г. являлись

дач, которые возникают перед северными конструктурами турбин, назовем условия, предъявленные установкой Хакави. Турбины этой железнодорожной силовой станции (по 5 000 л. с.)

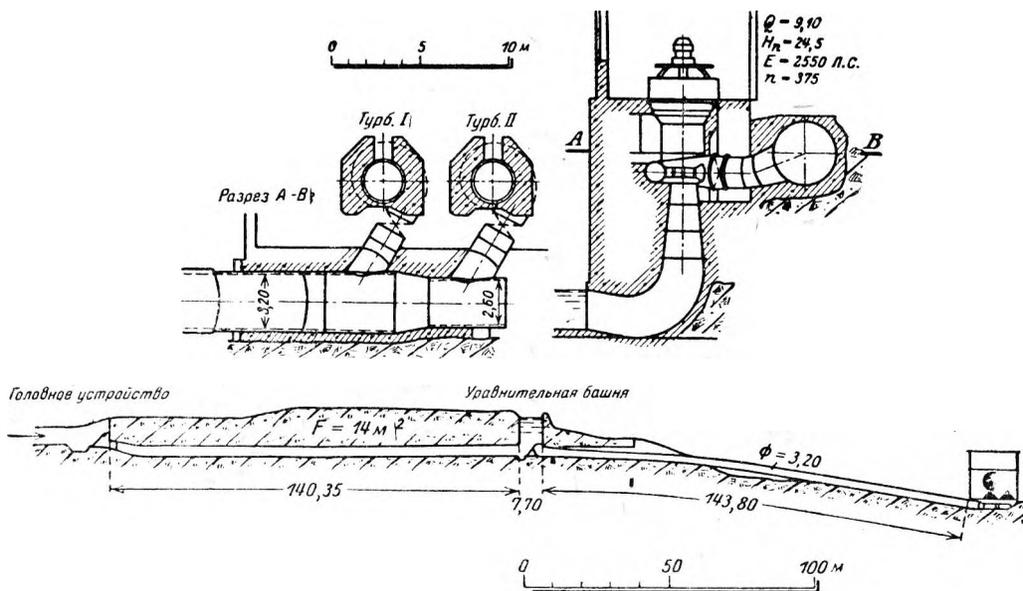


Фиг. 338.



Фиг. 130.

Фиг. 338—339. Иле-Куханкоски. Разрезы силового здания.



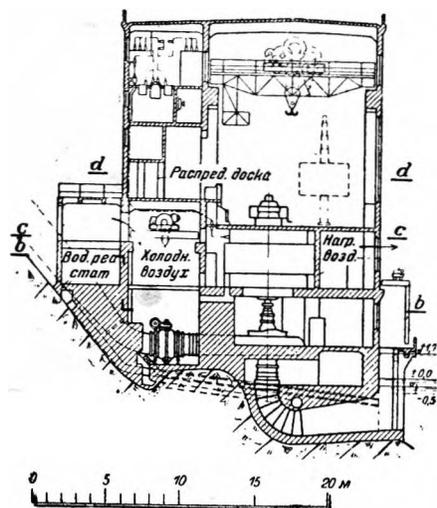
Фиг. 310. Рейнфоссен. Продольный профиль установки и разрез через здание станции.

исключением (например, установка Рейнфоссен в Северной Норвегии, фиг. 340). В будущем они, вероятно, будут встречаться чаще (фиг. 341—343).

Активные турбины строятся, особенно в Норвегии, очень крупных размеров. Из особых за-

( $H = 357—387$ ,  $n = 300$  или  $333$ ) работают часто с малой нагрузкой, почему требовался максимальный к. п. д. при сравнительно низких нагрузках (фиг. 344). В сдвоенной ступенчатой установке Хейанфальдене средняя турбина Пель-

тона соединена с напорными трубами как ступени Эре (550 м), так и ступени Иетланд (700 м) и, смотря по наличному запасу воды, попеременно работает при обоих напорах.

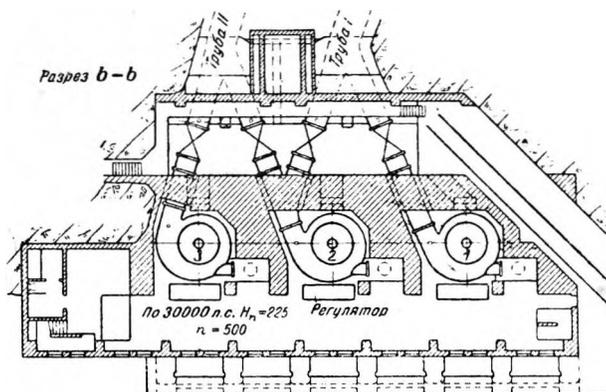


Фиг. 341.

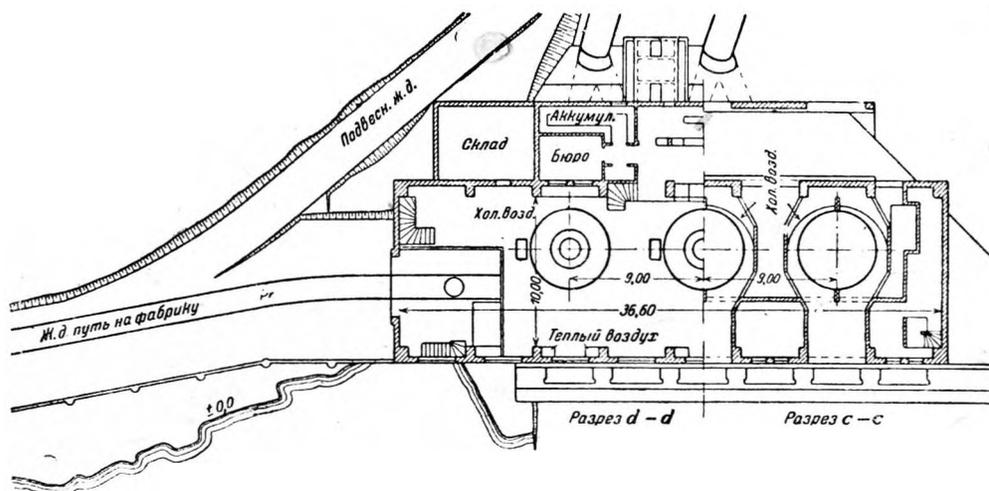
нами Фрэнсиса мощностью всего по 5 000 л. с. или новая установка г. Гэфле у Тольфорс с 3 машинами по 700 л. с. и т. д.

#### § 4. Всасывающие трубы.

В целях достижения более высокого к. п. д. очень часто и при горизонтальных турбинах применяется вместо свисающей в нижний бьеф



Фиг. 342.



Фиг. 343.

Фиг. 341—343. Гидроустановка. Сауде III. Силовое здание.

В вопросе о числе машин эволюция на севере идет по линии установки возможно крупных отдельных агрегатов, что значительно снижает строительные издержки, особенно для низконапорных установок. Примеры: Лилла Эдет, Тийн, Норрфорсен, Хегфорс. При сильно изменчивой нагрузке, когда важна постепенность включения машин и отсутствует соединение с местной сетью, имеющей разнообразные резервы энергии, можно, однако, при известных условиях прибегать и к установке большого числа мелких единиц. Этим, вероятно, объясняется, что в некоторых современных установках мы видим сравнительно небольшие турбинные агрегаты. так, например, Хиттефоссен с 8 турби-

железной прямой всасывающей трубы всасывающая бетонная труба с коленом, которая вообще



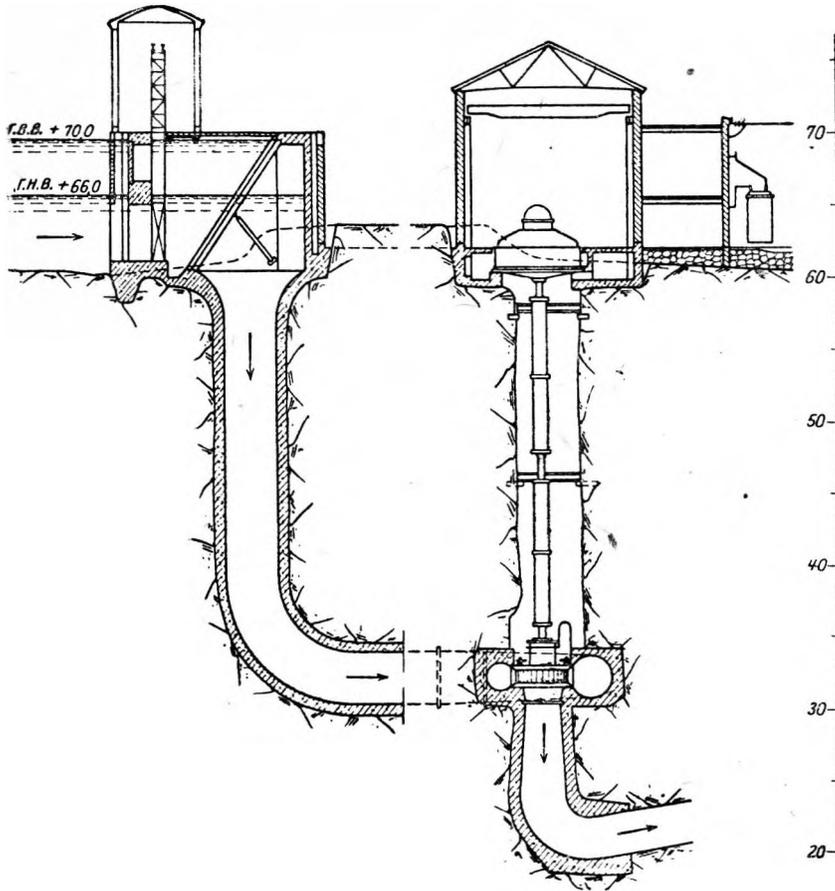
Фиг. 344. Хакави. Кривая к. п. д.

применяется при больших турбинах с закрытой или полуоткрытой установкой. Пример такой формы всасывающего устройства — Мотала. Чет-



столько мощным, чтобы он мог выдерживать удары отдельных глыб, отрывающихся от скалы. Но это обошлось очень дорого, а так как риск

такой нагрузки довольно значителен, то во второй стадии постройки усиленную защиту устроили только

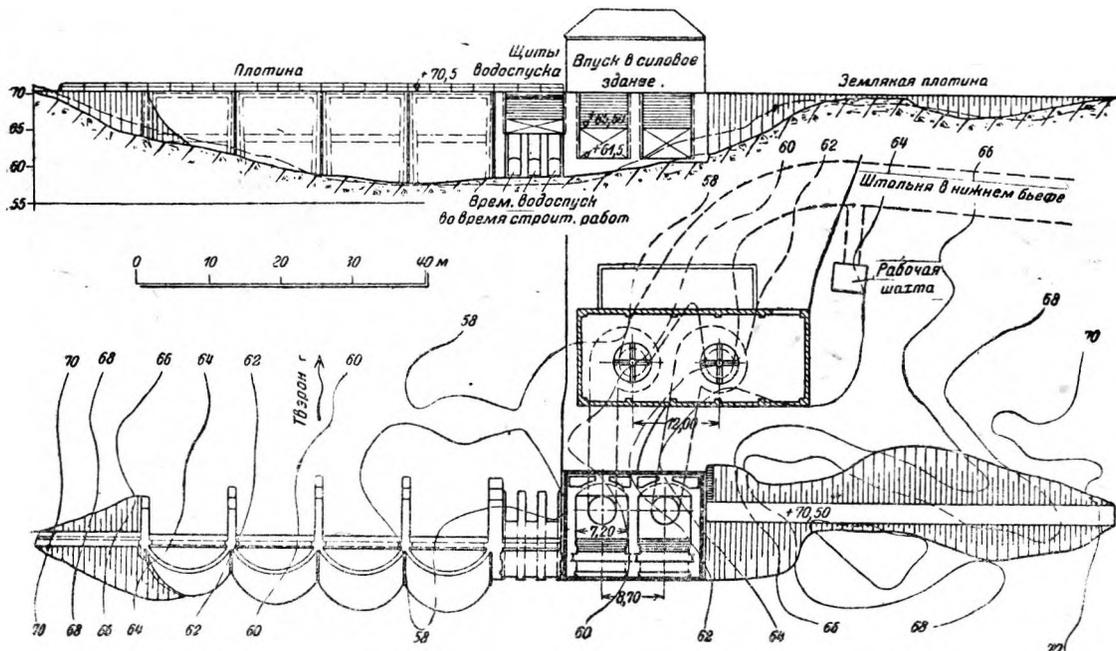


Фиг. 347. Норрфорсен. Разрез силовой установки.

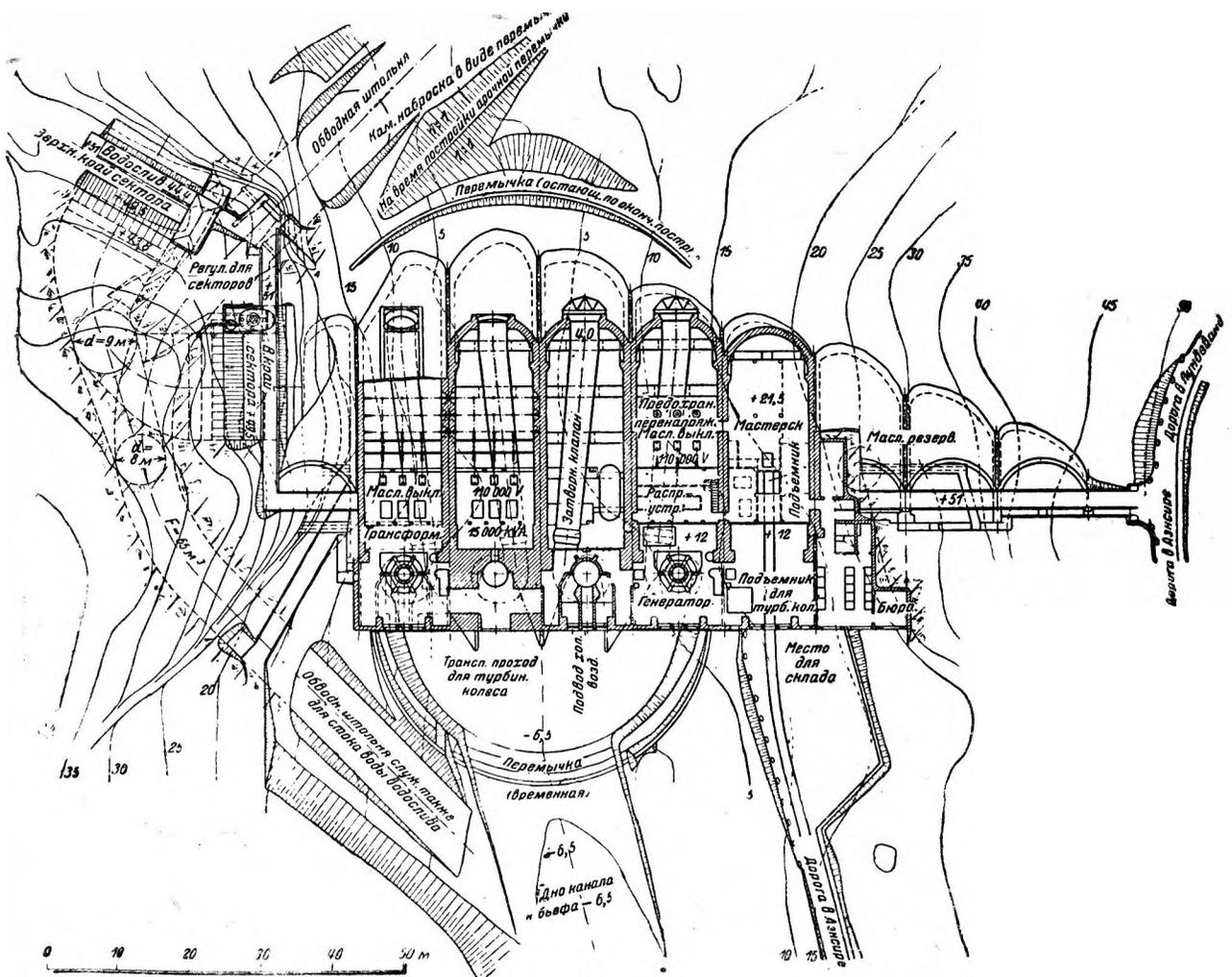
в виде отдельных зон над машинами, в остальном же применили более легкую конструкцию кровли. В новейшее время вернулись к способу, примененному уже на Ниагарской установке, т. е. к надземному расположению генераторов с использованием вертикального длинного вала (Норрфорсен, фиг. 347, 348).

Другое своеобразное и довольно распространенное расположение силового здания — непосредственное примыкание последнего к высокому подпорному сооружению (плотине). Самые крупные примеры на севере: Ваммафосс (фиг. 105) и Брэкке — силовые установки с напорными трубами позади гравитационных плотин. Проектирующая силовая установка Сира (фиг. 349—350) имеет силовое здание очень своеобразной конструкции, являющееся частью многоарочной плотины.

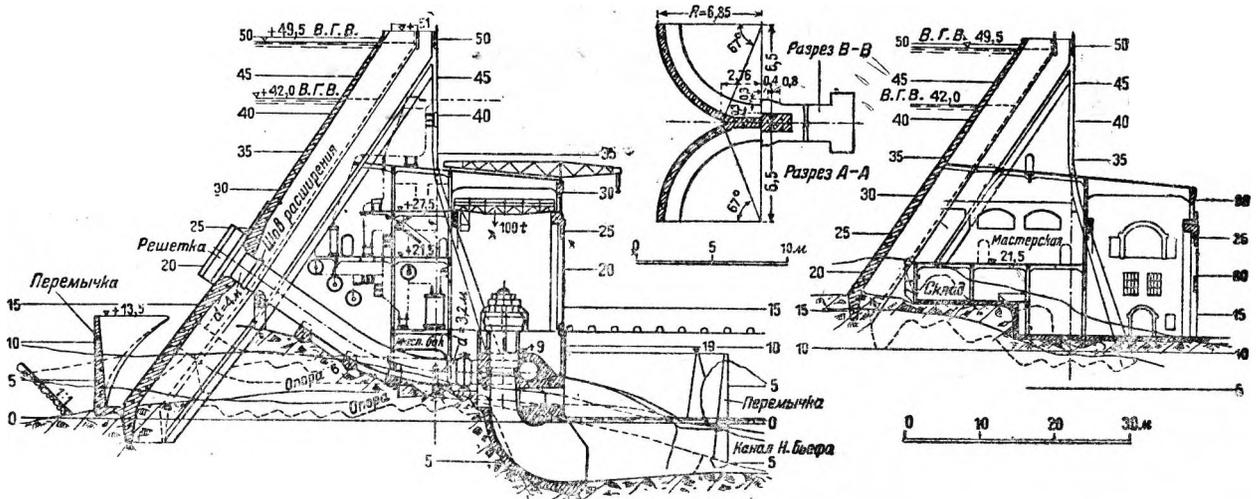
Теснее всего слияние водоприемного сооружения с напорной трубой и фундаментом турбин при «средненапорном» типе силового здания. Многие новейшие гидроэлектростанции севера являются очень яркими тому



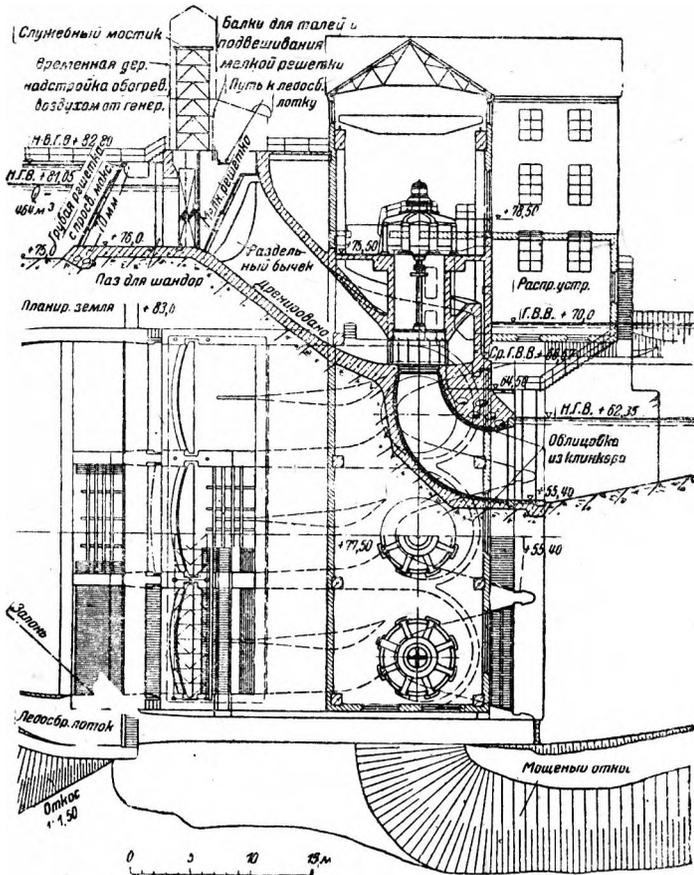
Фиг. 348. Норрфорсен. Плотина и силовое здание. Фасад и план.



Фиг. 349. Аэсире. План силовой установки. (Проект)



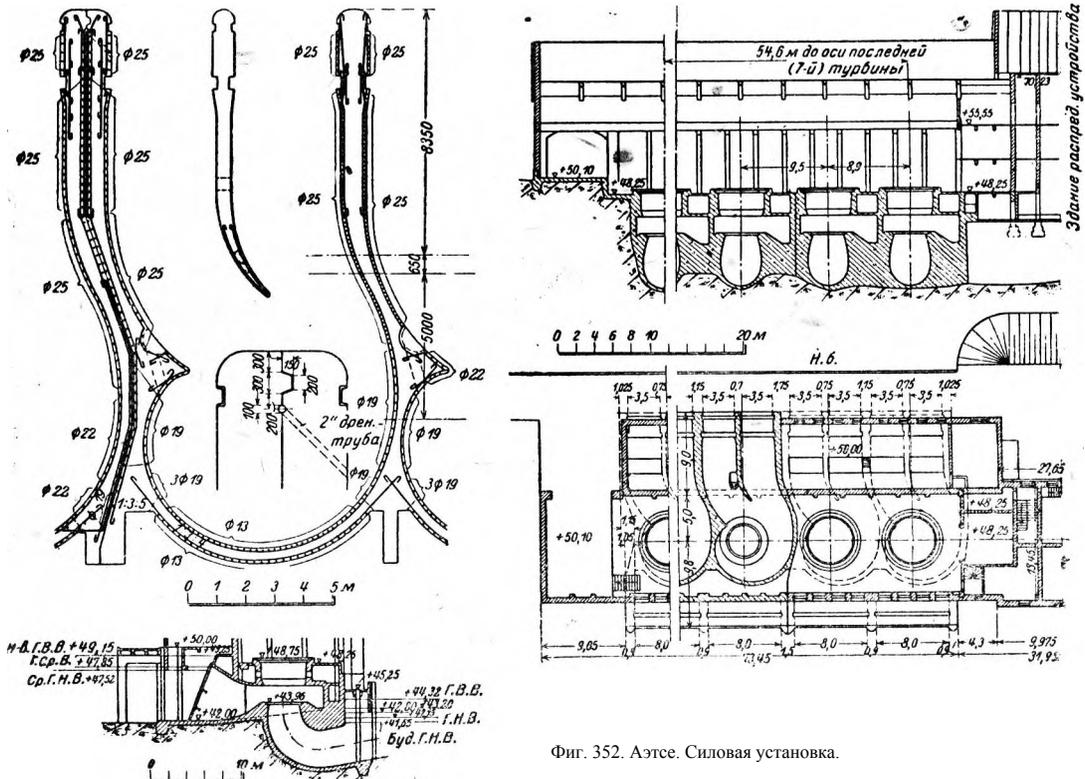
Фиг. 350. Аэсире. Плотина. (Проект)



Фиг. 351. Минкфорс. Силовая установка.

примерами (фиг. 361). Подводящая часть чаще всего (по образцу Америки) используется как нижнее строение для помещения распределительного устройства высокого напряжения.

При статическом расчете общей конструкции современных турбинных зданий для вертикальных турбин, как доказывают новейшие примеры, в широкой мере учитываются возможности высоко-развитой техники железобетонного строительства, в особенности в новых низко-напорных установках с большим расходом воды па отдельные машины (фиг. 286, 291, 352), но также и в высоконапорных установках, как, например, Тийн, Фрейстул и др. В Лилла Эдет интересна система опор для машинного помещения и повышающей подстанции. Для ближайшего окружения турбины задача передачи нагрузки на фундамент разрешена с помощью опорных лопаток (см. выше). Впереди этой зоны, т. е. над выходом в спираль, передача нагрузок должна осуществляться, конечно, совершенно иначе. Здесь, где приходилось считаться с щитами и решетками, устроены вертикальные промежуточные стенки и притом по две в каждом подводе к турбинам. Кроме того, отчасти из гидравлических соображений, т. е. считаясь с решетками, устроена горизонтальная перегородка. Промежуточ-

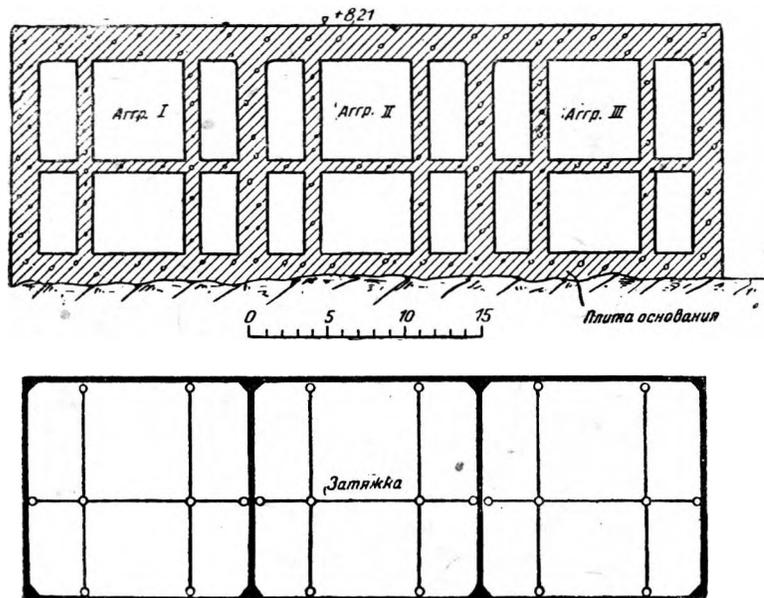


Фиг. 352. Аэтсе. Силовая установка.

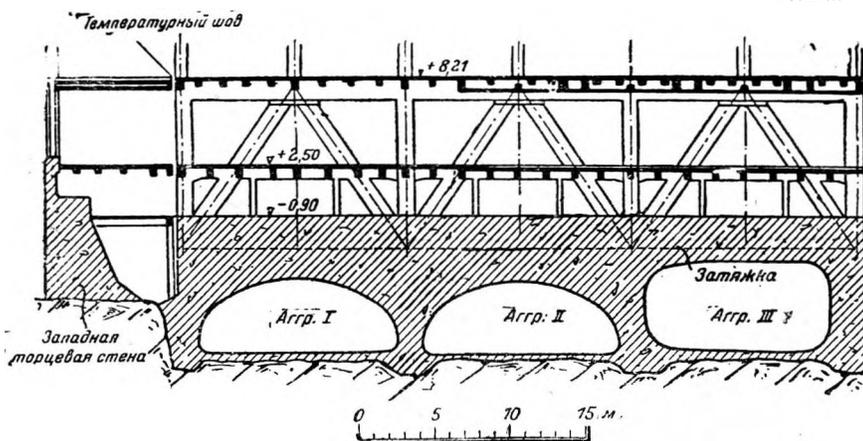
ные бычки смежных турбинных камер, потолки, полы камер и уже упоминавшиеся промежуточные стенки образуют одну рамную опорную конструкцию, причем при расчете (см. эскиз фиг. 353) все промежуточные стенки считались элементами с шарнирными закреплениями. Со-

сывающей трубы. Что касается нагрузки более легкого промежуточного потолка, то она передается рядом столбов на сводчатый потолок всасывающей трубы (фиг. 354).

Другие интересные железобетонные опорные конструкции (также и при горизонтальном расположении машин) встречаются на установках Мотала, Бергсброт Хавет и др. (фиг. 355, 356).



Фиг. 353. Лилла Эдет. Схема передачи нагрузок на основание под водозаборными частями.



Фиг. 354. Лилла Эдет. Передача нагрузок от колонн машинного здания на фундамент под всасывающими трубами.

вершенно иначе происходит передача нагрузок генераторного помещения у всасывающих труб, которые из гидравлических соображений нельзя было прерывать промежуточными стенками. Здесь нагрузка потолка и промежуточных стоек стены машинного помещения передается на стойки главной камеры посредством системы шпренгелей. Затяжка этой системы помещена в потолок вса-

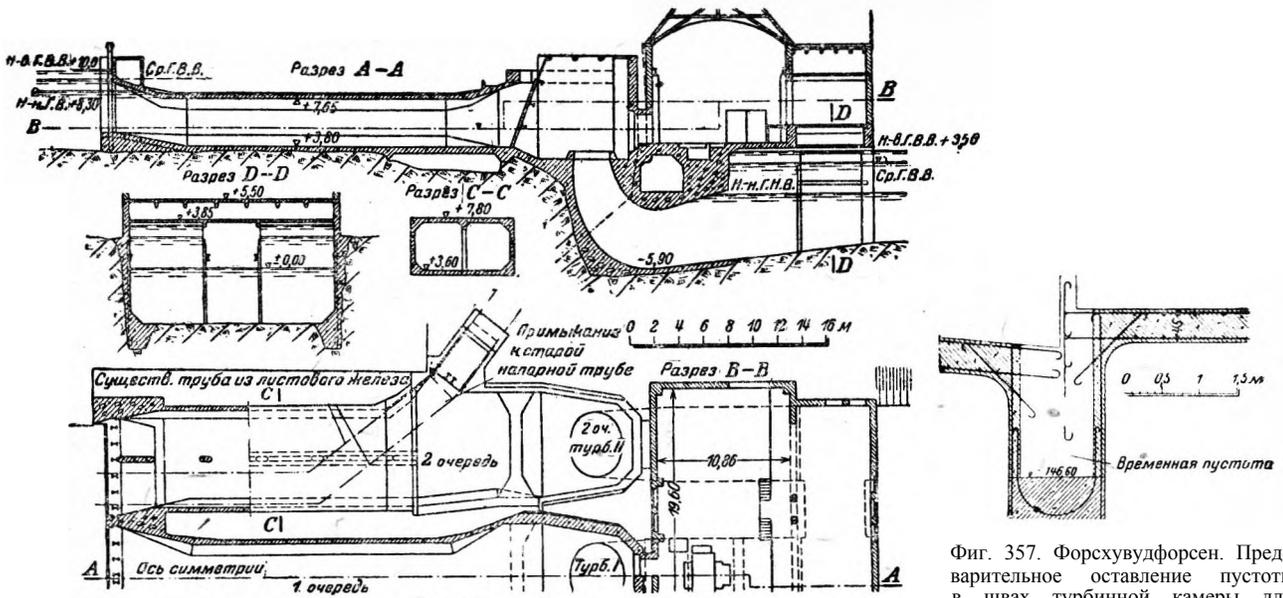
сывающей трубы. Конструктивные и постоянные температурные швы устраиваются, особенно в фундаментах, из литого бетона, в достаточном количестве и располагаются рационально (фиг. 287, 317—319, 354—456 и 357).

Верхнее строение более мелких установок чаще всего строится из бутовой или кирпичной кладки, иногда же в виде железобетонной рамной конструкции, изредка — из дерева (фиг. 313, 355, 356). В больших силовых установках преобладает железобетонная конструкция (американская железная каркасная конструкция встречается еще редко).

Кровельная конструкция в большинстве небольших установок — деревянная или железная; в крупных установках — железная и (реже) железобетонная (Лилла Эдет, Меркфосс-Сольбергфосс, проект установки Эпсо, фиг. 358). Вопросу термоизоляции потолка, имеющему особую важность на севере, уделяется большое внимание (промежуточные потолки или полные потолки).

Расположение низконапорных силовых зданий в плане отличается в новых крупных установках севера от преобладавшего до последнего времени в Швейцарии и Германии (Шверштадт на Верхнем Рейне) тем, что нередко отказываются от аванкамеры, огражденной решеткой или головным сооружением. Силовое здание ставят предпочтительно свободно у реки или в русле реки, даже без порога для

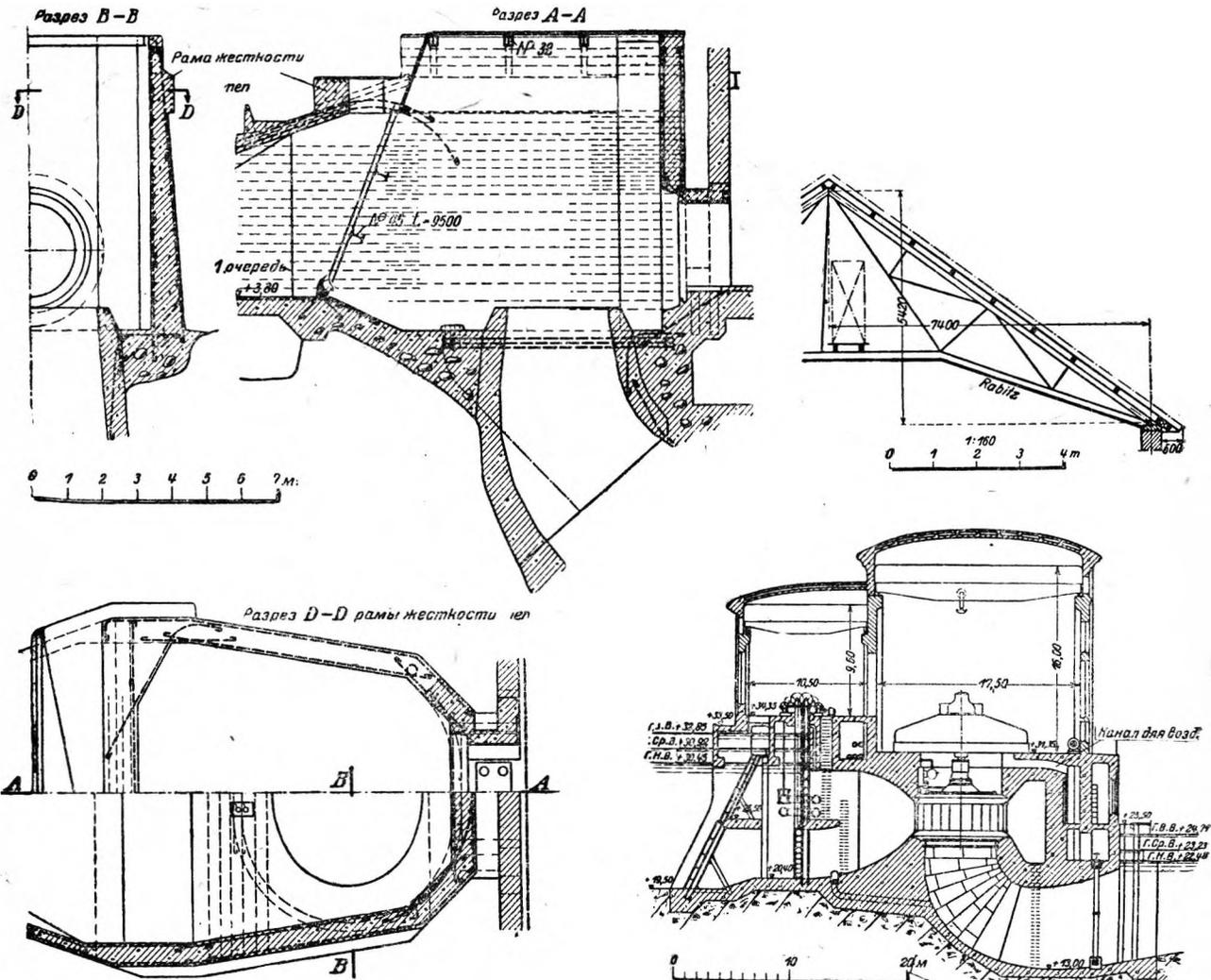
устранения наносов, что гораздо дешевле и способствует подведению воды без потери напора (фиг. 359, 360). Плавающий лед и сплавной лес отводятся от водоприемных отверстий посредством свободно плавающих запоней, иногда с погруженными стенками, притянутыми стальными тросами (фиг. 465 и 466). Так как ввиду большого веса машин силовое здание должно быть доступно для под-



Фиг. 355.

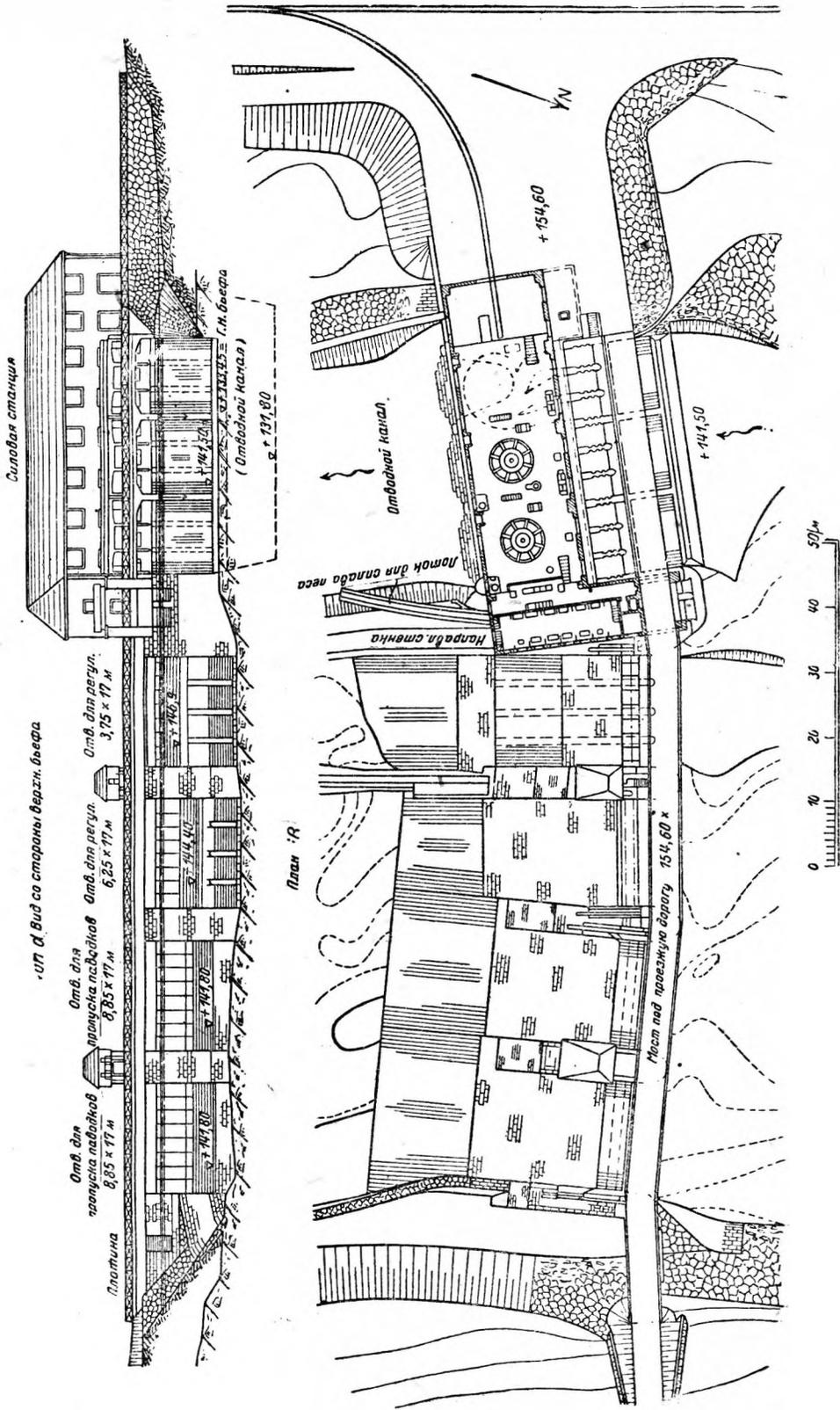
Фиг. 355—356. Авеста Сторфорс. Детали силовой установки

Фиг. 357. Форсхувудфорсен. Предварительное оставление пустоты в швах турбинной камеры для избежания трещин при усадке.



Фиг. 856.

Фиг. 858. Энсофорс. Разрез через здание станции. (Проект)



Фиг. 359. Форсхвудфорсен. Фасад и план.

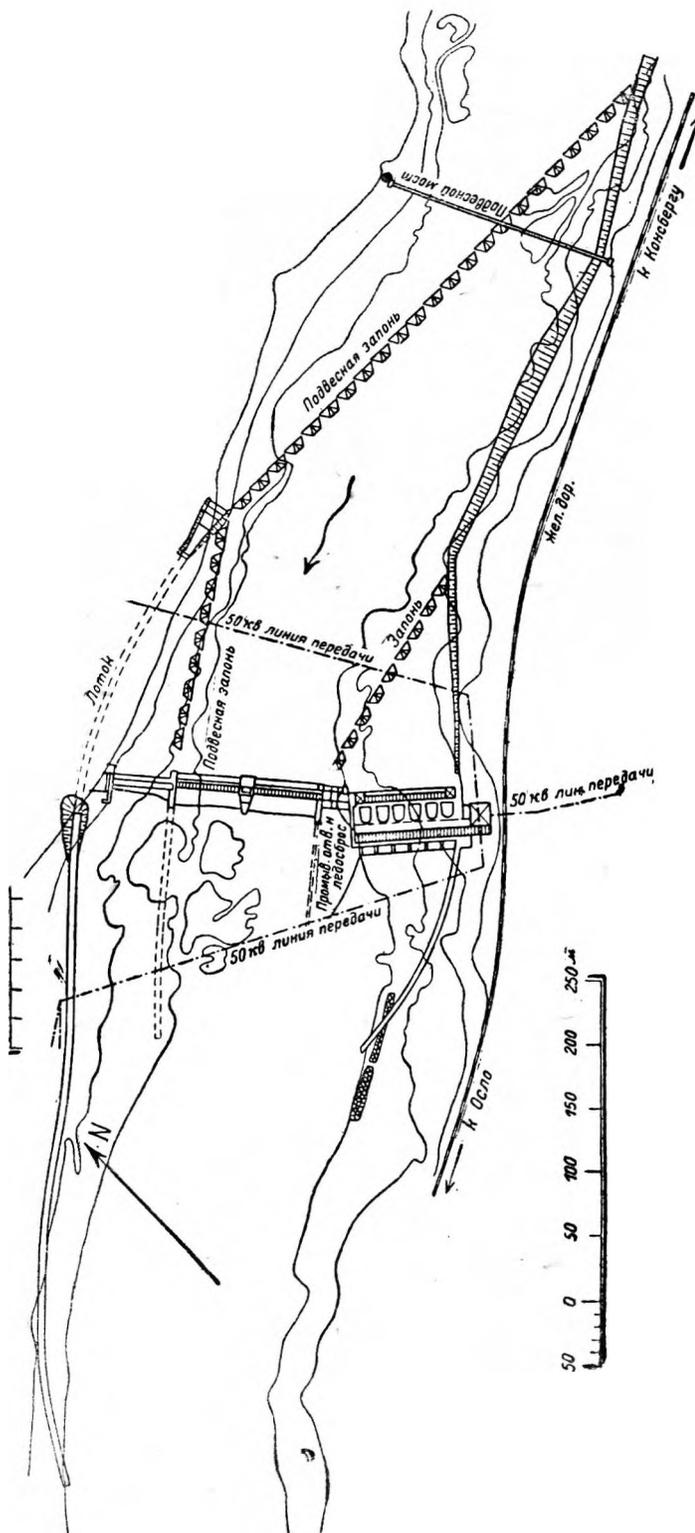
воза тяжеловесных предметов, то там, где нельзя осуществить примыкание железнодорожных линий широкой колеи, приходится прибегать к соединению с водными путями.

## § 6. Архитектурное оформление гидроэнергетических установок.

В целом ряде гидроэлектростанций конструктивная форма сооружений исключительно удачно подчеркивает своеобразие окружающего северного пейзажа, так, например, установки Тролляхэттан (фиг. 360а) и Херландсфосс, плотины и силовые здания в Телемаркене (фиг. 361), здание коммутаторов в Порьюсе и т. д.

Особое впечатление от этих сравнительно старых построек (и многих других) обуславливается применением крупного, грубоотесанного естественного камня. В новейших сооружениях достигают сильных и глубоких эффектов более простыми средствами: обширные поверхности неотделанного или слегка отделанного бетона строго координированы и ясно выражают основную конструктивную идею (Лилла Эдет, Бергсброн-Хавет, фиг. 362). В малых силовых установках использованы более легкие конструктивные формы, часто заимствованные от северного деревянного жилого дома (фиг. 363). В низконапорных установках плотина и силовое здание нередко очень удачно сливаются в одно архитектурное целое, чего удается достигнуть даже при одновременном применении самых разнообразных строительных материалов (фиг. 364). Гораздо труднее задача архитектурного оформления высоко- и средненапорных установок, где трубы турбин являются чуждым элементом среди окружающего пейзажа. В Тролляхэттане и при постройке временной установки Хиттефосс это соображение отчасти повлияло на подземное устройство трубопровода.

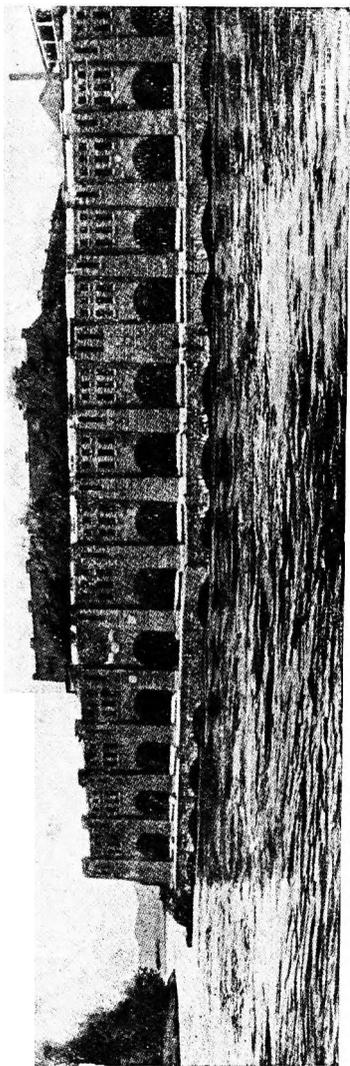
Однако со всем тем всякое длинное деривационное или подпорное сооружение страдает тем недостатком, что оно лишает северный пейзаж одной из его характерных особенностей — бурно пенящихся или свободно ниспадающих с огромных высот масс воды, и даже самые совершенные архитектурные формы не в силах заменить красоты ничем не стесненной природы. Это соображение уже часто вызывало протест населения против регулирования озер, так как ослабление притока туристов в связи с уничтожением природных красот вызывало довольно обоснованные опасения; поэтому в понятии охраны природных красот во многих местностях севера, например, в горных долинах восточного Гломмена (Эстердален), наряду с эстетически-этическим моментом довольно



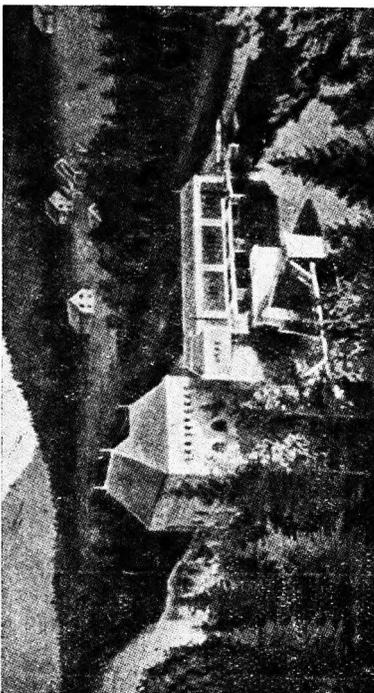
Фиг. 360. Установка Раанасфос. План.

определенно сказывается чисто экономический интерес. Неоднократно уже поднимался вопрос, рационально ли допускать в этой области случайный произвол и не лучше ли объявить опре-

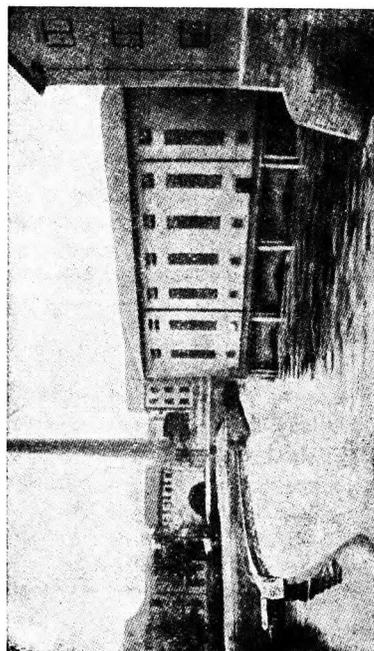
деленные озера и водопады, или, вернее, известное число небольших водных артерий, навсегда неприкосновенными для утилизации водной энергии в крупном масштабе.



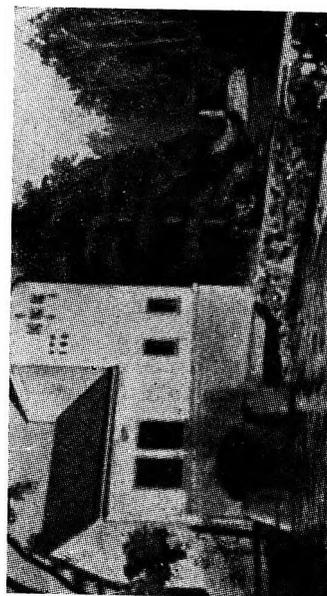
Фиг. 360а. Трольгеттан. Вид на здание станции с нижнего бьефа.



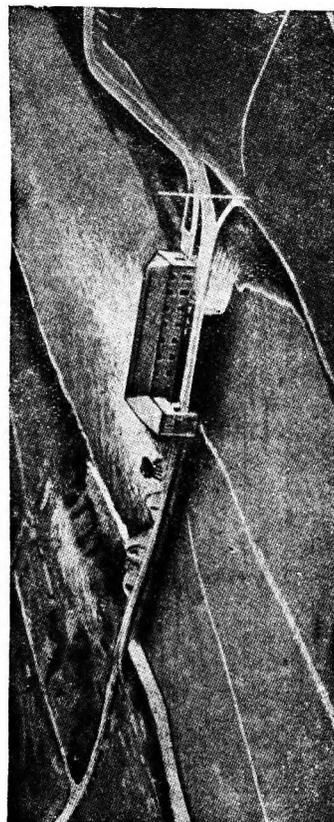
Фиг. 361. Аарлифоссен. Вид на здание станции с верхнего бьефа.



Фиг. 362. Бергсброн-Хавег. Вид на здание станции с нижнего бьефа при наводке.



Фиг. 363. Вифорсен. Здание станции.



Фиг. 361. Форсхувудфорсен. Вид установки с птичьего полета.

## РЫБОХОДЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛЕСОСПЛАВА.

## § 1. Рыбное хозяйство.

Наиболее важное значение среди рыб северных вод имеет кочующая рыба: угорь и лосось. Мальки угря переключиваются из тропической части Атлантического океана, где они вышли из икры, по Гольфштрему к рекам и озерам северной Европы, чтобы, созрев до оплодотворения, вернуться в океан. Странствование лосося короткое: из североευропейских морей оплодотворенная рыба поднимается по рекам во внутренние озера, где мечет икру и остается жить. Мальки лосося после 2—3 педель уходят в океан, где созревают до оплодотворения. Оба вида рыб кочуют только один раз в жизни.

Защита естественных запасов угря требует устройства особого лотка для мальков, который позволял бы им странствовать вверх по реке. Расход воды на эти лотки невелик — максимум 100 л/сек. Для защиты взрослого угря, спускающегося по рекам, и мальков лосося, тоже спускающихся по рекам, необходимо ставить решетки перед впуском в каналы силовых станций.

По шведскому закону расстояние в свету между прутьями решеток не должно превышать 2 см. Согласно Нордквисту в установках с длинным верхним каналом эти решетки ни в коем случае нельзя ставить у впуска в турбины, а надлежит располагать у входа в канал, так как иначе рыба не находит обратного пути в реку; сильное течение прижимает ее к решетке, и она гибнет. Относительно успешных новейших попыток всецело заменить мелкие решетки у низконапорных установок грубыми — смотреть выше. Проходов для угря, спускающегося вниз по реке на севере, по-видимому, не устраивают, так как весной и летом, когда происходит это переселение, через плотины и без того спускают избыточную воду.

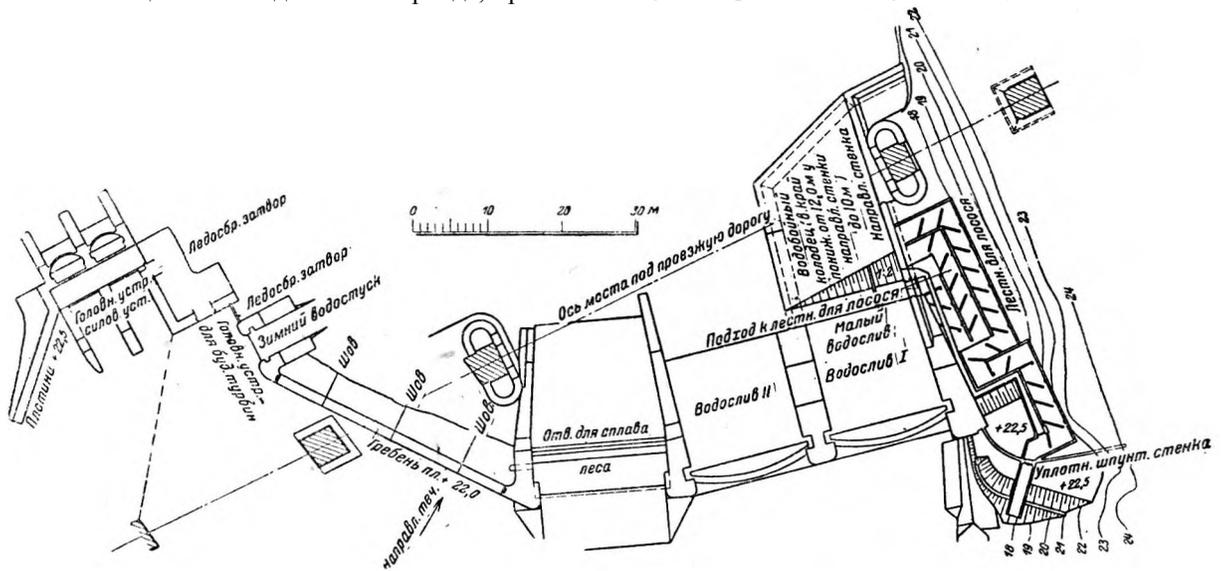
Относительно конструктивных форм лестниц для мальков угря мы подробно будем говорить ниже, здесь же укажем только на то, что в известных случаях (главным образом, при особо высоких ступенях падения) лестницы лучше заменить коллектором для сбора мальков в нижнем бьефе. Собравшихся здесь мальков отправляют по железной дороге, погрузив их в специальные вагоны с баками или с помощью каких-либо иных транспортных средств, в озера, расположенные выше по течению для посадки. Таких коллекторов для мальков угря устроено в Швеции несколько, самый крупный пример — Трольхэттанская станция для сбора мальков. Самая станция состоит из 4 отдельных бетонных бассейнов с широким регулируемым донным водоспуском. Регулирование происходит сообразно с уровнем воды в бассейне, причем стремятся установить постоянную умеренную скорость те-

чения, так как слишком быстрое течение вредно для малька. Самую крупную часть установки образует, однако, лестница для мальков, служащая входом в эти бассейны. Лестница начинается у естественного русла реки в форме двух открытых лотков, заполненных камнем, с порогами, затем лотки проходят по сводчатому тоннелю и входят в бассейн, заполненный камнем, в который вода подводится сверху. От этого бассейна начинается деревянный лоток с каменным заполнением и поперечными стенками. Наверху лоток разветвляется для подвода малька в 4 вышеупомянутых сборных бассейна (разумеется, у устья этих лотков должна быть устроена западня, не позволяющая мальку вернуться вспять). В год на этой станции собирают 5 000—6 000 кг мальков угря, из которых, однако, только около половины идет на посадку в озера области Гетаэльва, чтобы компенсировать естественный уход мальков по этой реке. Остаток продают для посадки в различные другие озера страны.

Гораздо труднее поддерживать естественные запасы лосося в северных реках. Трудность заключается в том, что даже самые лучшие лестницы (подробности см. ниже) всегда создают известные препятствия для подпития рыбы, так что фактически поднимается только часть лосося. Еще труднее становятся условия в том случае, когда для нужд энергетического хозяйства утилизируется не какой-нибудь один, а все пороги реки. Благодаря этому почти совершенно разрушаются привычные места метания икры и созревания лосося. Систематическая застройка реки подпорными сооружениями, перемежающимися с деривационными сооружениями, значительно ухудшает возможности размножения рыбы и роста мальков. Часто применяемая мера создания в низовьях некоторых рек искусственных мест оплодотворения икры, откуда мальки лосося в самом нежном возрасте могли бы пересаживаться в реку, или еще лучше в соответствующие, еще не утилизируемые воды (в Эльвкарлеби устроена шведская государственная станция этого рода), не вполне оправдалась, так как горные воды обычно бедны соответствующим кормом для рыбы, а утилизируемые главные водотоки полны опасностей для молодняка. Поэтому Нордквист предложил устраивать гораздо более обширные станции для культуры лосося, где молодняк мог бы в течение 2—3 лет питаться соответствующим кормом, пока он не сможет предпринять своего странствия вниз по реке. Для этой цели посадка мальков лосося должна происходить в реку ниже самой нижней плотины. Такая станция для культуры лосося, необычного в Европе типа и только в виде опыта применен-

ная в Англии и в Америке, намечается к устройству по вышеуказанному проекту у Эльвкарлеби Брук (недалеко от Эльвкарлеби). Подготовительной стадией для этой станции по проекту Нордквиста, технически разработанному Шмидтом, являются существующие шведские государственные опытные культурные станции на реке Мотала и в Кэларне (Иэнтланд), где молодняк лосося откармливается в течение первого лета или еще более долгого периода, раньше

водства (главным образом, научно-исследовательского дела). Расход воды на лестницы для лосося довольно значителен и составляет в Швеции от  $0,3 \text{ м}^3/\text{сек}$  (в небольших водотоках) до  $1,2 \text{ м}^3/\text{сек}$ , каковые цифры должны учитываться при расчете полного расхода воды. К этому часто приходится добавлять еще около  $1 \text{ м}^3/\text{сек}$  на пополнение осушенного русла реки между нижним бьефом силового здания и плотиной (в случае деривационной установки). Лестницы для



Фиг. 365. Сикфорс. Плотина и лестница для мальков. План.

чем его высаживают в реку. В ближайшем будущем намечается постройка более крупных опытных станций этого рода у Хитте Брук (нижнее течение Далэльва) и на низовьях Льюнгана, где также будет исследовано, можно ли питать молодняк лосося естественной или искусственно посаженной флорой и фауной без постоянного подвоза кормовой фауны. Если такое откармливание лосося до зрелого возраста переселения окажется биологически и экономически осуществимыми, то это вызовет радикальную перемену в рыбном хозяйстве всей страны, так как улов, конечно, будет производиться только в низовьях рек. Отдельные частные рыболовства на среднем течении и на верховьях рек будут компенсироваться за всецело отпавший улов лосося либо деньгами, либо путем культуры неkochующей рыбы (речная форель и т. п.). Строителям гидроэнергетических установок уже не придется заботиться об устройстве и содержании дорогостоящих лестниц для лосося, их будут только облагать денежным сбором, выручка от которого пойдет на устройство станций культуры лосося и на компенсацию рыболовства верховий рек. В настоящее же время в Швеции и Финляндии постройка лестниц еще обязательна везде, где наблюдается миграция лосося; кроме того, и теперь уже взимаются небольшие сборы на поощрение рыбо-

лосося обычно оставляют открытыми только от весеннего паводка до конца периода метания икры (октябрь). В межень (зимой) таким образом экономят воду (нередко рыболовствам уплачивается денежная компенсация за понесенный ими наибольший ущерб, вызванный слабым движением рыбы в зимнее время).

На рыболовстве отражается не только строительство гидроэнергетических установок, как таковых, но и регулирование озер, и притом, главным образом, косвенно, так как изменение горизонтов имеет доказуемое, очень существенное, влияние на фауну, питающую рыб. Так, например, при регулировании горного озера Тунхевд (установка Норе), в котором ловилась только форель, для поддержания рыболовства устроили станцию культуры форели, которая ежегодно высаживает около 30 000 мальков. (Будет ли этой меры достаточно для сохранения полного объема прежнего богатого улова форели на этом озере, еще в точности не выяснено, так как в первом периоде регулирования благодаря ряду невыясненных юридических вопросов велось интенсивное хищническое рыболовство, так что создалась большая неустойчивость естественных запасов рыбы.) При разрешении Союзу по регулированию Далэльва приступить в 1914 г. к регулированию озера Сильян тоже было по-

требовало устройство рыбоводной станции (в Селлерёне).

Ущерб рыболовству приносит, впрочем, не только индустриализация водотоков, сопряженная с постройкой гидроустановок и регулированием озер, вредят ему и лесосплав и, главным образом, отравляющие воду промышленные стоки

(на севере, в первую очередь очень вредные стоки сульфатной промышленности).

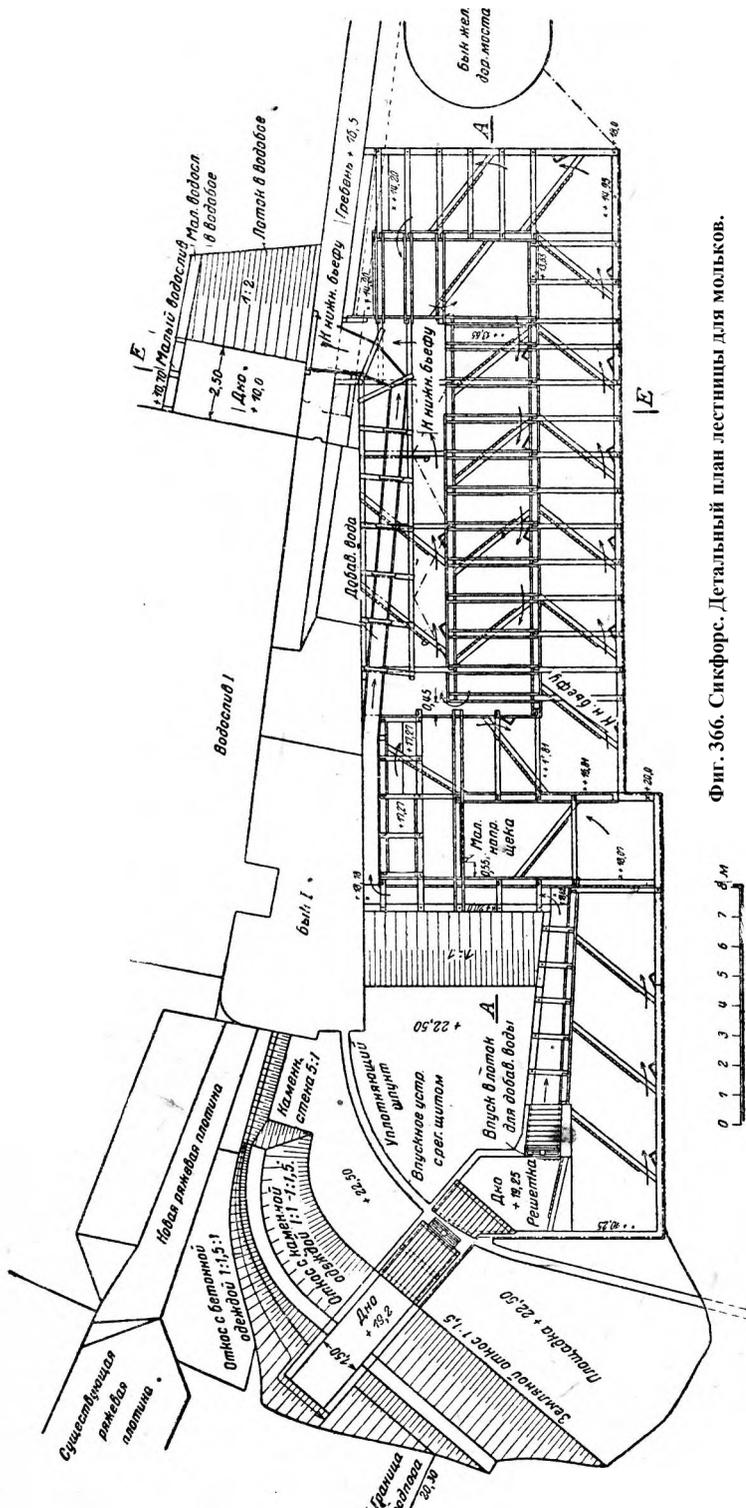
## § 2. Рыбоходы.

Использованный здесь наряду с литературными источниками обширный оригинальный материал о рыбоходах касается, главным образом, Швеции

и предоставлен в распоряжение автора инженером по государственному рыболовству К. Шмидтом (Бюро гидротехнической консультации). В Швеции рыбоходы преимущественно строятся из дерева. Среди конструкций, применяемых для прохода лосося, крутой лоток Дениля встречается редко (например, посредине малых низких плотин, фиг. 382). Чаще всего применяется лестница из бассейнов, т. е. простой лоток с падением около 1:8—1:12, подразделенный параллельными стенками, поставленными наклонно к оси лотка и занимающими около  $\frac{4}{6}$  его ширины; вместе с установленными сбоку от проходов деревянными отводящими призмами, они замедляют течение и образуют небольшие ступени падения.

Ниже мы приводим ряд примеров удачно построенных рыбоходов для лосося.

У Сикфорса (Питэльв, Эвре Норрланд, фиг. 365—367) пришлось преодолеть только одну ступень падения, образованную самой плотиной, так как в периоде переселения рыбы русло реки между плотиной и устьем нижнего канала никогда не пересыхает. Когда лосось в начале июля подходит к плотине, подъем воды успевает уже настолько ослабеть, что избыточную воду пускают только через секторный затвор у левого берега. У правого берега перед секциями плотины, закрытыми щитами Стонея, образуются при этом тихие заводи, в которых собирается лосось и тем легче замечает лестницу, что к нижнему бассейну и к водосливу у выпускного отверстия подводят заманивающую струю воды по особому лотку. Интересно конструктивное разрешение задачи устройства опор для этого подводящего лотка с помощью пространственной шпренгельной системы. Недостаток свободного места для размещения лестницы в длину между быком железнодорожного моста, береговым устоем плотины и берегом обусловил сильно изломанную горизонтальную проекцию лестницы, но, по-видимому,



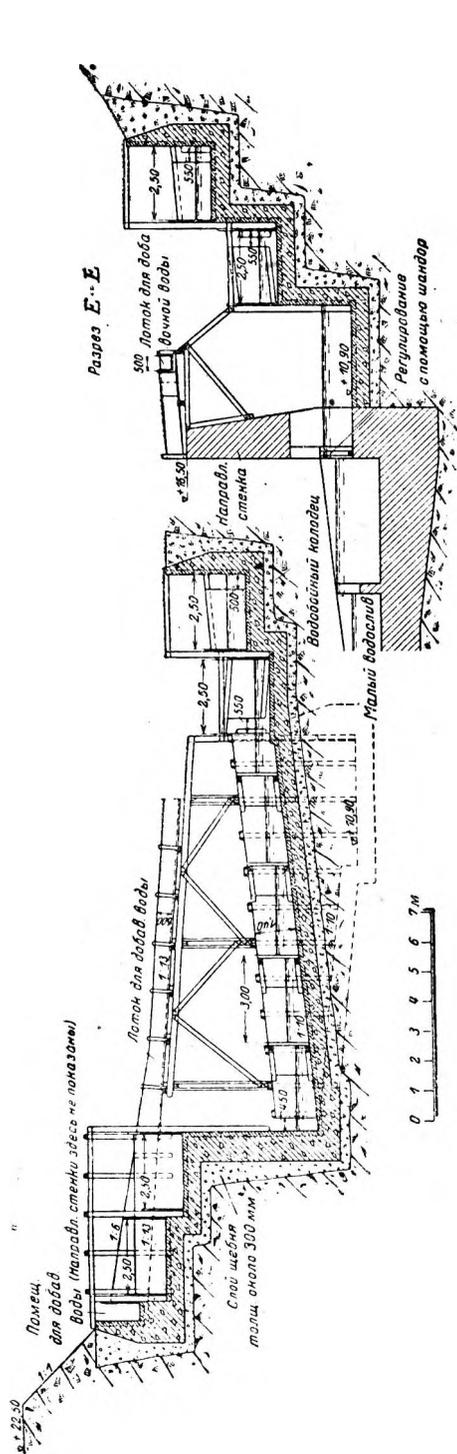
Фиг. 366. Сикфорс. Детальный план лестницы для мольков.

это несколько не препятствует лососю подниматься по ней.

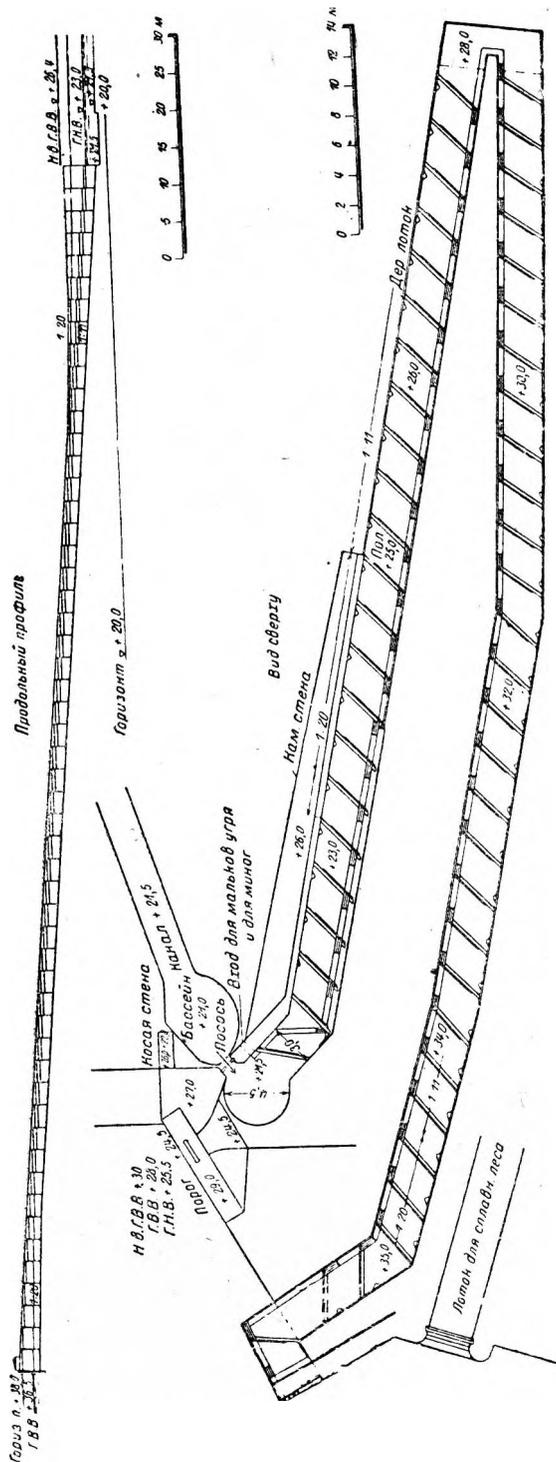
У Гидеабакка (фиг. 368, 369, 370) свободного пространства было сколько угодно, почему проекция лестницы получилась простая, с одним единственным изломом. Благодаря ровной форме речного русла в плане лосось легко находит

лестницу, и заманивающей струи не потребовалось. В одном углу поперечного сечения лотка устроена, кроме того, лестница для мальков угря (фиг. 369, 383), о чем речь будет ниже.

У Кракеруд (Кларэльв, Вермланд) сбоку от русла реки имеется нижний канал; поэтому пришлось раздвоить лоток вниз, чтобы гаран-



Фиг. 367. Сикфорс. Плотина и лестница для мальков. Разрез.



Фиг. 368. Гидеабакка. Рыбоход. План.

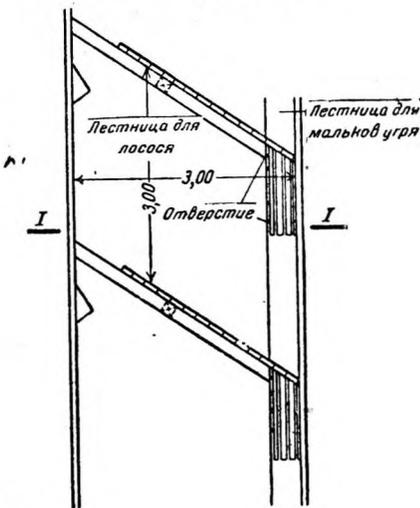
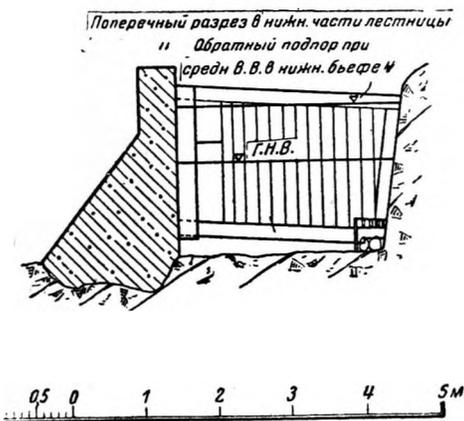
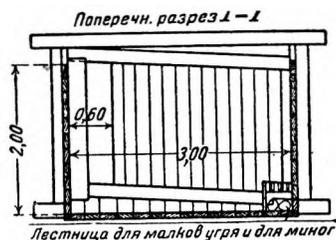
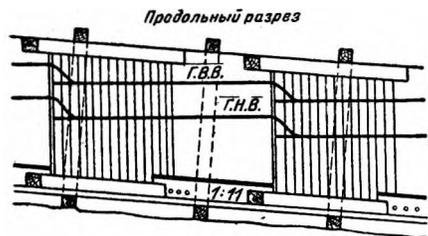
тировать поднятие лосося (фиг. 371, 372 и 373). Водопровод для заманивающей струи устроен в виде закрытой трубы, питающей как место разветвления, так и обе ветви. У выхода в свободное русло реки заманивающая струя рассеи-

ное русло использовано здесь под устройство лестницы для поднятия лосося из отводящего канала в верхний бьеф (фиг. 374—376). Путь для лосося состоит из трапециoidalного лотка, подразделенного V-образными и U-образными водо-

сливами. Лестница частью выбита в скале, частью же лоток проходит по выемке в гальке: поперечные пороги уложены насухо из моренного камня.

У Гюльспонга (фиг. 377, 378 и 379) участка лестницы для лосося, расположенный между плотиной и устьем нижнего канала, устроен таким же образом, причем естественному руслу реки приданы ступени с помощью низких водосливных плотин, уложенных из кладки на растворе с U-образным ребром водослива.

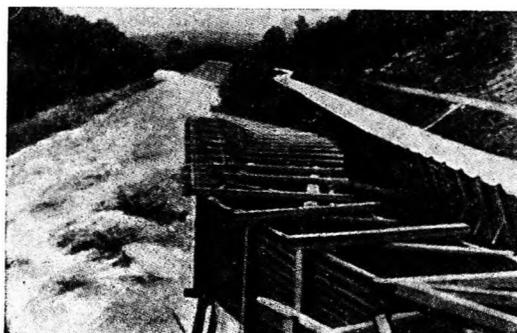
На гидроэлектростанции Унтра (фиг. 380) устроена лестница для лосося массивной конструкции, помещающаяся в тесном пространстве у крыла силовой станции. При малой высоте падения иногда встречаются и лестницы



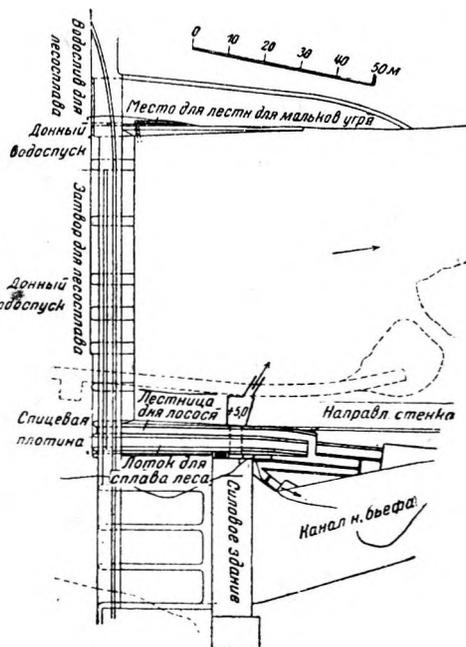
Фиг. 369. Гидеабакка. Рыбоход. Детали.

вается через наконечник, чтобы лосось скорее замечал ее. Наряду с общим расположением интересна и конструкция лотка: наклонные к оси лотка поперечные стенки отличаются от стенок первых двух примеров тем, что они просверлены, и отверстия заложены круглыми камнями.

У Форсхульты условия поднятия лосося совершенно иные, чем в вышеприведенных случаях, так как обычно русло реки между плотиной и устьем отводящего канала в период переселения рыбы совершенно пересыхает. Поэтому естествен-



Фиг. 370. Гидеабакка. Рыбоход. Общий вид.



Фиг. 171. Лестница для лососей у Кракеруд. План.

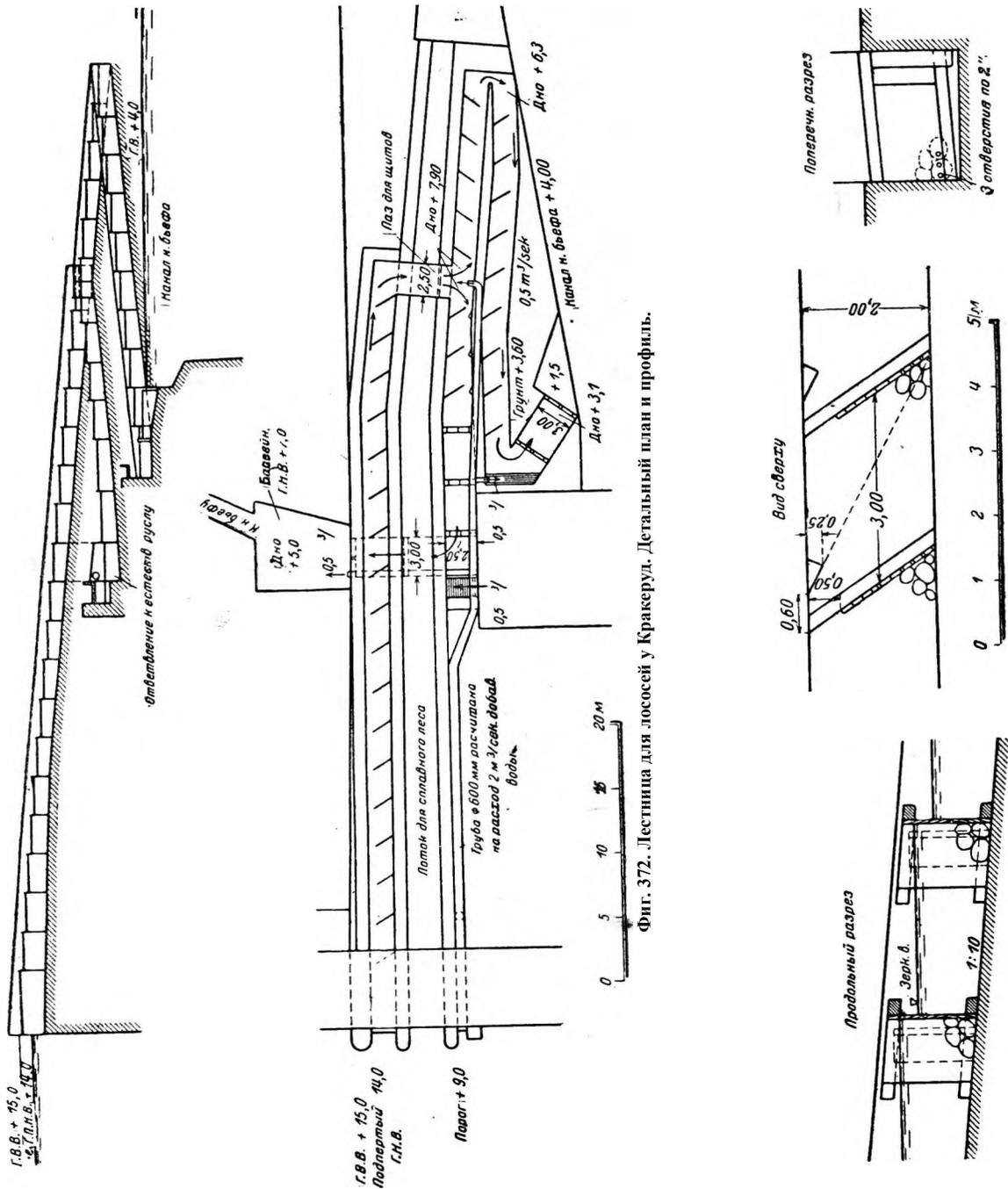
Дениля и притом деревянные, как, например, у Ионеерд в Сэвеоне (западная Швеция) (фиг. 381, 382).

В Финляндии часто встречаются обыкновенные лестницы для лосося (так называемой английской системы «Sail»), устроенные в быке плотины. например, плотина Энсо, построенная в 1910 г., и запроектированная установка Кельтис.

### § 3. Лестницы для мальков угря.

Если кроме лестницы для мальков угря требуется и лестница для лосося (что бывает срав-

нительно редко), то иногда их можно соединять в одно. Уже упоминавшаяся установка у Гидебакка (фиг. 369, 383) является типичным примером. Течение по лестнице для мальков угря замедляют таким же способом, как и по лестнице для лосося, т. е. с помощью стенок, наклонных к оси лестницы, но здесь эти стенки не все параллельны; кроме того, обычным порядком укладываются круглые камни. Лестница для мальков угря на отдельных участках совершенно закрыта (с помощью съемной крыши), а в промежутке между ними соединяется с лотком для лосося,



Фиг. 372. Лестница для лосося у Кракеруд. Детальный план и профиль.

Фиг. 373. Лестница для лосося у Кракеруд. Детали.



наверху — решеткой, с боков — просверленными досками, чтобы не создавалось давления воды, соответствующего высоте подпора.

Отдельные лестницы для мальков угря строят, конечно, совершенно иначе. Материалом чаще всего служит дерево (смоленые доски), реже — бетон. Нормальным примером является лестница мельничной плотины у Вексбо (Даларне, фиг. 384). Лоток с уклоном 1 : 5 подразделен поперечными стенками с отверстиями. Для выравнивания колебаний горизонта верхнего бьефа, верхней участок лестницы строится в виде более высокой камеры, с горизонтальной открытой наверху; в поперечных стенках пробиты большие отверстия. При высоком горизонте воды верхнего бьефа вода в уравнивательной камере тоже стоит высоко и переливается через нижние поперечные стенки.» Если колебания горизонта воды очень значительны, как, например, при годичном регулировании, то рекомендуется устраивать две камеры, причём при высоких горизонтах с верхним бьефом соединяют более крупную, вышележащую камеру, а при низких — нижнюю камеру. Такое расположение мы видим, например, на Сколоне (лестница для мальков угря в плотине, регулирующей исток из озера), в месте истока последнего из оз. Флорен (область Лагана) (фиг. 385, 386). Здесь предусмотрен также подвод заманивающей струи, которая часто бывает необходима.

#### § 4. Рыбоводные станции.

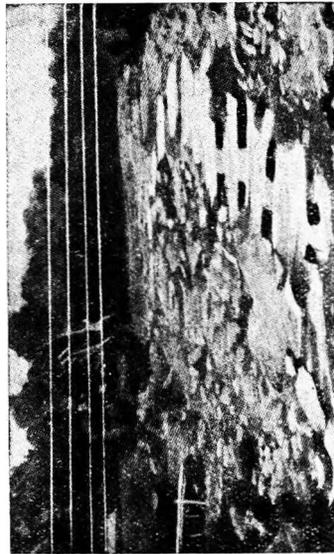
Соображения, изложенные в п. 1 настоящего раздела, возбудили и на севере очень серьезный протест против устройства рыбных лестниц с требованием замены их планомерной охраной естественных запасов рыбы. Эта охрана, как известно, требует создания рыбоводных станций для искусственного оплодотворения икры, взятой у пойманной рыбы, где мальки могли бы выкармливаться вплоть до положенного периода зрелости. В этой области, главным образом, в Швеции, ведется большая планирующая и подготовительная работа, отчасти уже с успехом проведенная в жизнь.

#### § 5. Лесное хозяйство и лесосплав.

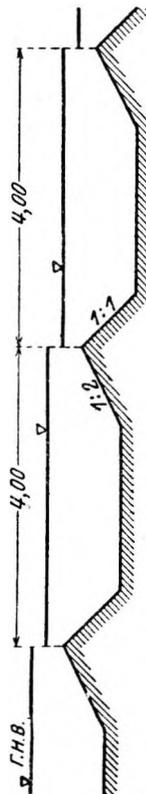
Утилизация гидроэнергии отражается на лесном хозяйстве, — одной из важнейших отраслей производства сырья на севере Европы, постольку, поскольку горизонт воды в озерах и на отдель-

ных участках рек изменяется в связи с регулированием и созданием суточных водохранилищ на водотоках.

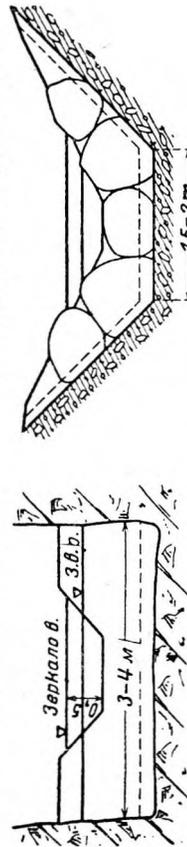
В связи с разработкой плана регулирования оз. Вэнерн в Швеции проф. Гэссельман по поручению Государственного упра-



Фиг. 376. Форсхульт. Лестница для лосося. Общий вид.

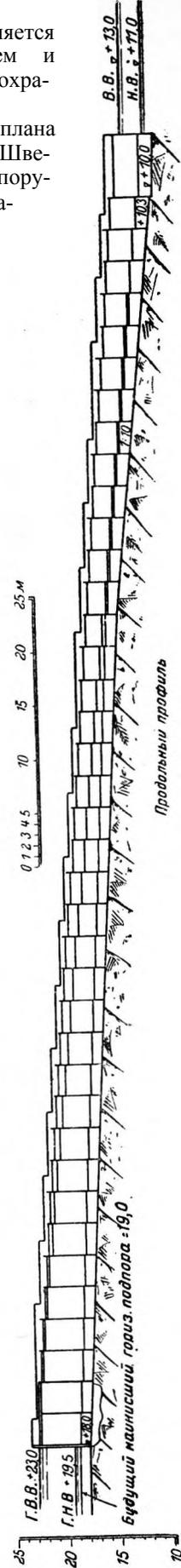


Норм. поперечный профиль в скале



Норм. профиль в морене и песке

Фиг. 375. Форсхульт. Лестница для лосося. Поперечные сечения.



Продольный профиль

Фиг. 377. Гольдспонг. Рыбоход для лосося.

Фиг. 377. Продольный профиль.

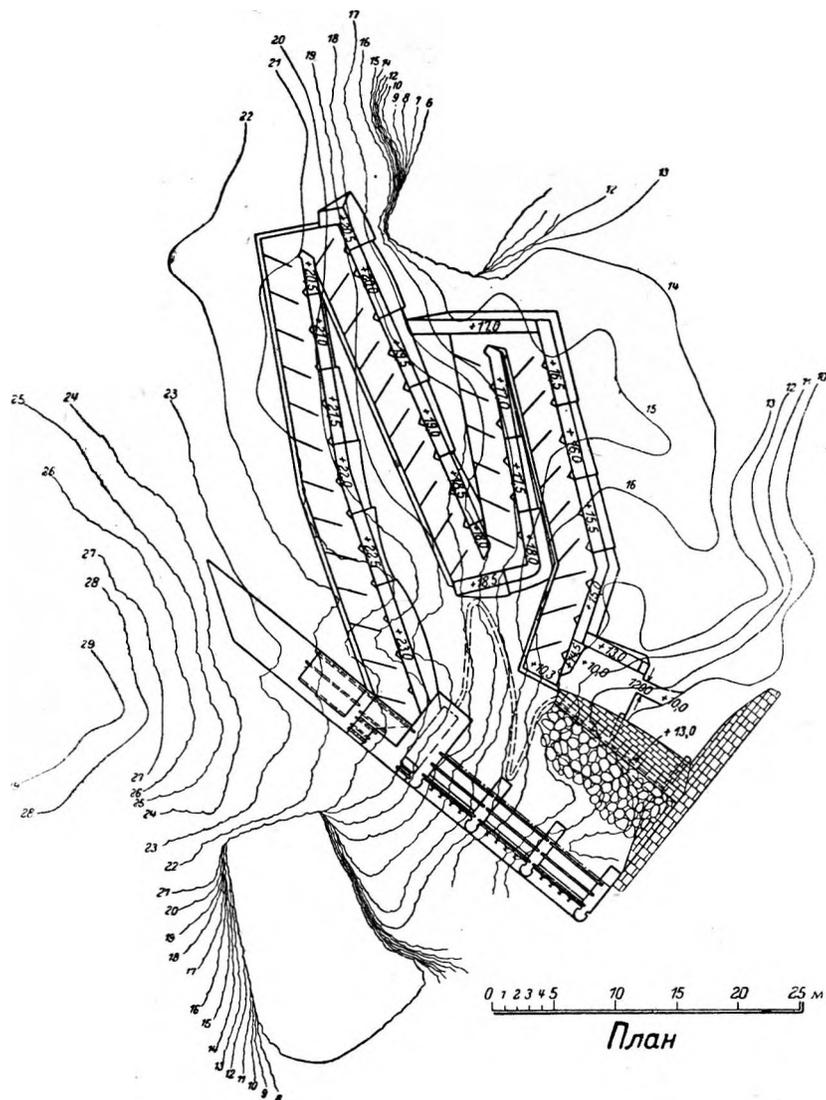
вления водопадов внимательно исследовал вопрос о влиянии регулирования горизонтов воды на режим лесов. Исследование, с одной стороны, коснулось влияния исключительно высоких горизонтов оз. Вэнерн в 1910 г., с другой стороны, влияния регулирования оз. Амунген (область Далэльва), начатого в 1917 г. За изменением роста следили с помощью отверстий,

Мы вкратце приведем главные результаты этих исключительно обширных исследований, так как вопрос, вероятно, нигде не изучался так углубленно и так как результаты имеют общее значение. Нужно сказать, что в условиях центральной Швеции понижение горизонта воды не оказывает неблагоприятного влияния на лесную растительность, так как понижение горизонта

в озерах с годичной регулировкой чаще всего происходит зимой или ранней весной, т. е. в такое время, когда либо потребность деревьев в воде невелика, либо грунт сравнительно сильно пропитан водой вследствие начавшегося таяния снегов. Зато повышение горизонта воды озер и идущее с ним рука об руку повышение уровня грунтовой воды весьма вредно, так как частично пресекается приток воздуха к земле, питающей корпи.

Относящееся к этому исследование в частности доказало, что лес, растущий на площадях с отметкой ниже горизонта подпора, рано или поздно обязательно должен полностью вымереть. На умирающие деревья нападают паразиты, которые переходят и на здоровый лес и портят его. Поэтому рекомендуется вырубать леса во всем районе, лежащем ниже горизонта подпора. (Это регулярно практикуется в Европе, не всегда в Америке, но от дорогого корчевания часто отказываются). Выше горизонта подпора идет зона, на которую подпор оказывает свое влияние через посредство грунтовой воды; ее называют зоной реакции. Она состоит из двух частей; на нижнюю, соответствующую высоте 40—50 см, влияние неблагоприятное, на

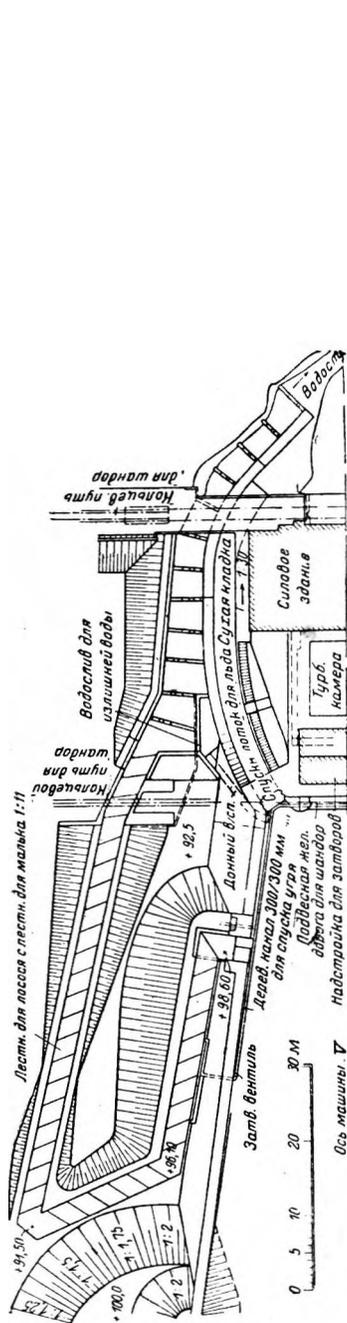
верхнюю — благоприятное. В нижней части деревья местами вымирают, для остальных создаются неблагоприятные условия роста; в верхней зоне, наоборот, наблюдается ускоренный рост. Это интересное влияние можно было наблюдать в почти одинаковом виде при создании подпора на оз. Амунгене и при необычном временном разливе оз. Вэнерн. Зато временный разлив оз. Вэнерна оказал на непосредственно залитый лесной грунт несколько иное влия-



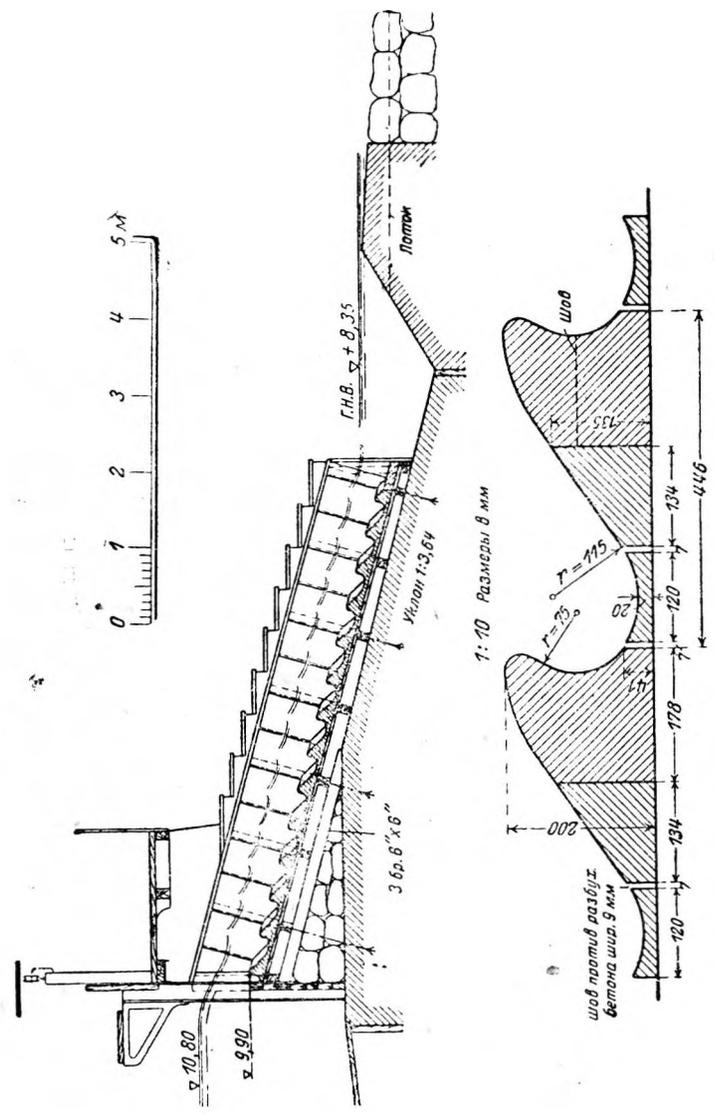
Фиг. 378. Гюльспонг. Рыбоход для лосося. План

высверленных в дереве на высоте груди человека; наряду с изменением толщины годовых колец, срубленные деревья выявили также существенное пропорциональное изменение роста дерева в высоту (другими словами: в противоположность прореживанию, которое дает гораздо большее усиление роста диаметра дерева, нежели его высоты, изменения водного режима грунта оказали равномерное влияние на рост дерева в высоту и в толщину).



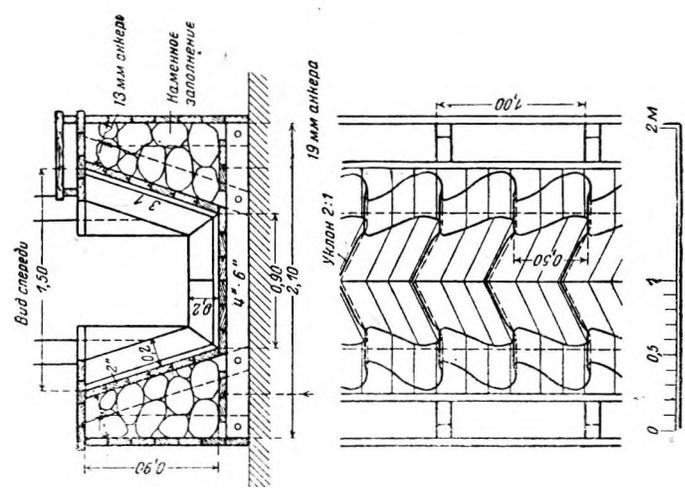


Фиг. 380. Унтра, Рыбоход для лосося.



Фиг. 382.

Фиг. 381—382. Ионсерд. Рыбоход Денгля. План, поперечный разрез, профиль.



Фиг. 381.

гулированию озер, но, конечно, только в течение того промежутка времени, который совпадает с периодом роста деревьев. Все наблюдаемые леса были преимущественно хвойные.

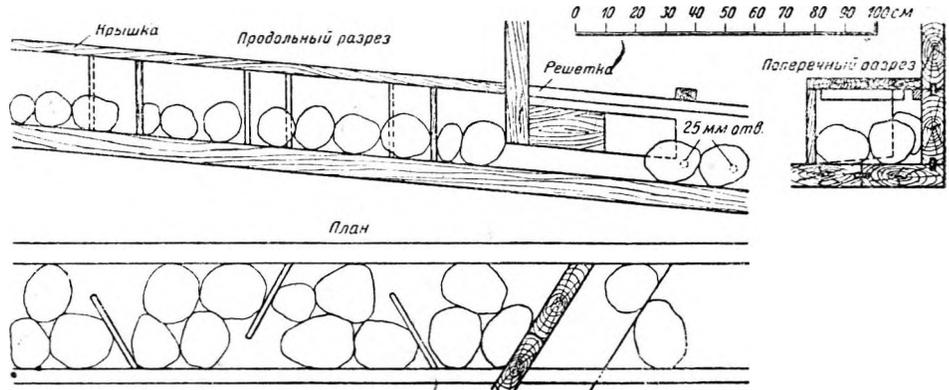
В общем из вышеприведенного вытекает, что ущерб, наносимый лесам регулированием озер, в итоге не так экономически серьезен, как предполагали до исследования Гэссельмана, так как он компенсируется частично благоприятным влиянием в верхней зоне реакции.

Труды Гэссельмана ценны тем, что они показывают, как можно в каждом отдельном случае определить убыток; в будущем можно будет избежать грубо приближенных оценок, часто перехватывающих через край. Далее при прежней, скорее ориентировочной, оценке убытков, суммы, которые включались в строительные сметы по регулированию, и по постройке силовых установок, как подлежащие возмещению лесохозяйственным органам, бывали сравнительно очень невелики.

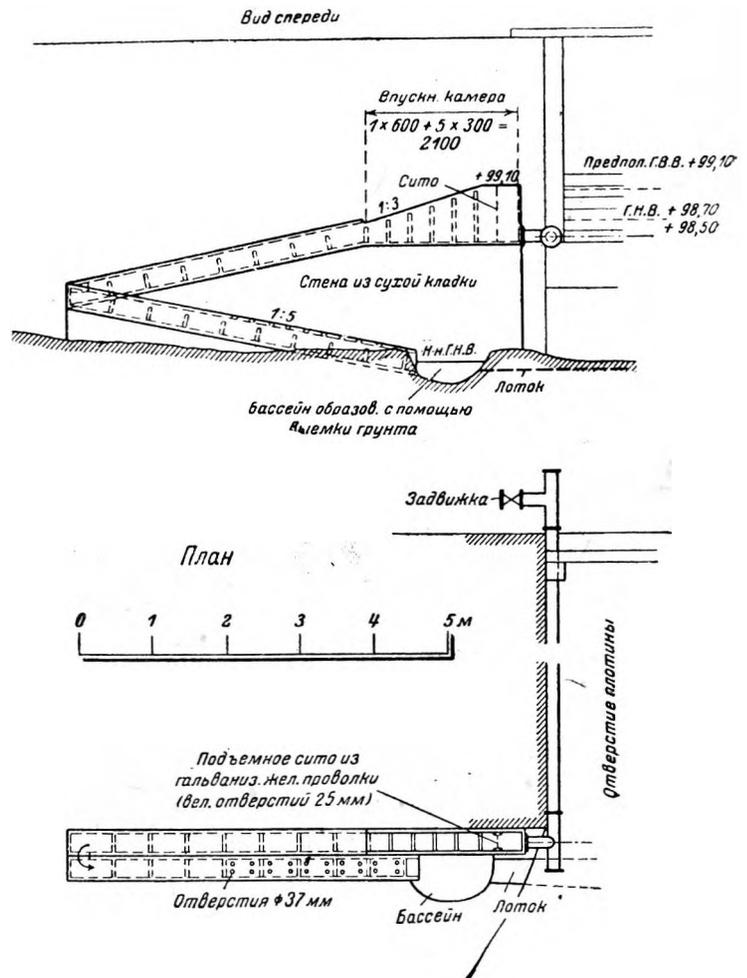
Гораздо теснее связь гидроэнергетического хозяйства и интересов регулирования расходов с вопросами лесосплава. Правильное удовлетворение требований обеих сторон в этой области является одной из насущных задач северной гидротехники и водного хозяйства.

Сплав происходит во всех частях северной Европы, исключая области стока Норвежского западного побережья (к югу от Дривы) и Сконс (Швеция); кроме того, он очень незначителен на крайнем юге Норвегии (где мало лесов) и во всей южной Швеции (Смоланд), где естественный водный режим не благоприятствует лесосплаву. Во всех остальных частях европейского севера реки почти на всю длину или, по крайней мере, па отдельных участках интенсивно утилизируются как сплавные пути. С точки зрения сплавного хозяйства, особенно выгодны местности с мощными весенними наводками. В том числе все водотоки Норланды (северная Швеция) и большая часть в Даларне и Вэрланде, где часто маленькие ручьи, зимою замерзающие и пересыхающие до дна, весной пропускают расходы, достаточные для лесосплава.

Для иллюстрации народнохозяйственного значения северного лесосплава, приведем следующие данные об условиях Швеции (заимствованные у Смедберга и Кинмана): 30 % экспорта Швеции состоит из изделий из сплавленного леса. Длина сплавных рек Швеции вдвое превышает длину ее железных дорог. Первоначальные издержки



Фиг. 383. Гидеабакка. Рыбоход для мальков угря.

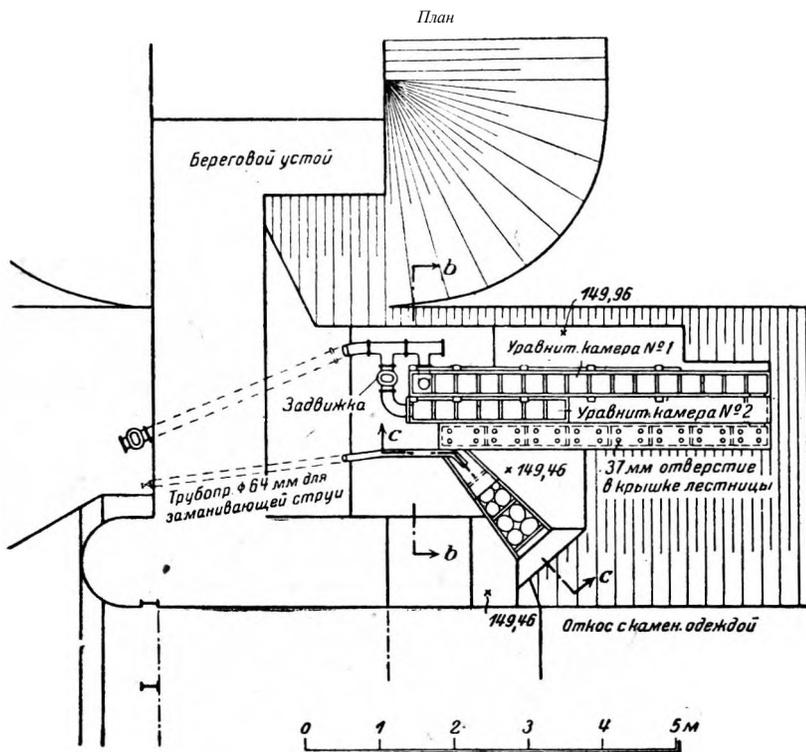
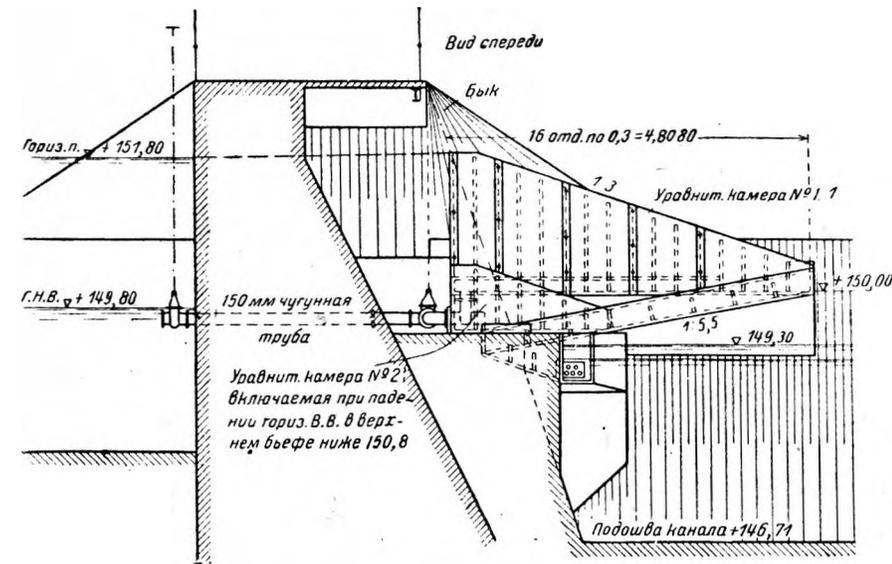


Фиг. 384. Вексбо. Рыбоход для мальков угря.

на 1 км железной дороги во времена устройства нынешних сплавных путей составляли 65 000—70 000 крон, издержки на 1 км сплавных путей равнялись 5 000 крон.

Количество леса, ежегодно сплаваемого по сплавным путям общественного пользования, достигает 116 млн. стволов. Средний пробег сплавленного леса равняется 120—160 км, а средние издержки сплава таковы, что они покрыли бы только перевозку на расстояние 40 км по железной дороге.

Лес на севере сплавляется преимущественно отдельными бревнами (сплав россыпью). Строевой лес самой разнообразной толщины и длиной, обычно не превышающей 10 м, бросают в реку по окончании зимы (после того как владелец снабдил его выжженным клеймом) и предоставляют его судьбе. Проплыв несколько сот километров, лес улавливается вблизи устья рек остроумно устроенными «сортировочными приспособлениями» (запаями), распределяется между владельцами и связывается в связки или в плоты или, наконец, его соединяют плавучей рамой в кошли и гонят по озерам или устьям рек на огромные лесопилки.



Фиг. 385. Сколон. Рыбоход для мальков угля.

Подготовка водотока к задачам лесосплава с давних нор заключалась в том, что у высокорасположенных озер строили небольшие регулирующие плотины, чтобы несколько удлинить продолжительность весенних паводков и соответственно понизить их расход. Самое русло реки выправляли посредством землечерпания у отелей и установкой направляющих полузапруд по берегам. Часто строили и обводные лотки. На фиг. 387, 401, 388—391 показано только несколько образцов необычайно высокоразвитой техники северного лесосплава; для ближайшего изучения рекомендуется обратиться к ценной специальной литературе по данному вопросу.

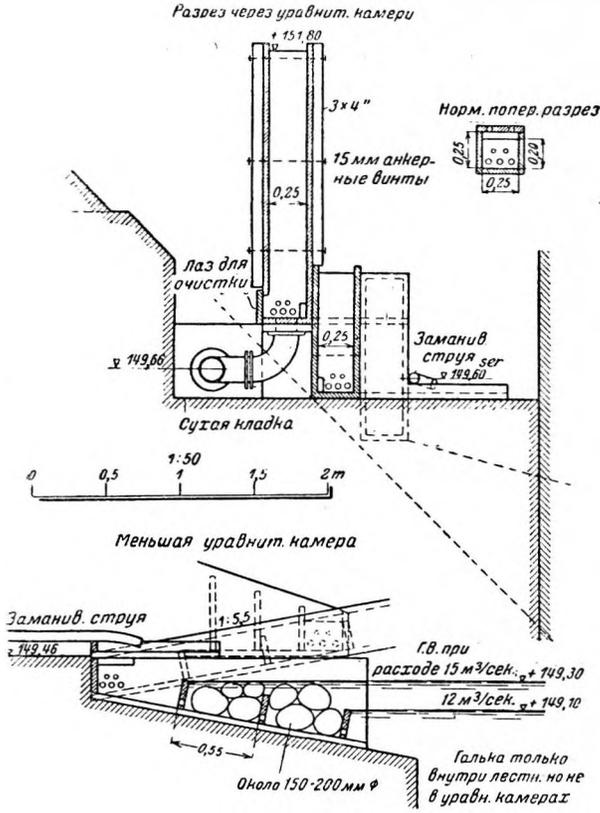
Регулирование озер для целей лесосплава большей частью велось без углубленной гидрографической подготовки и в довольно скромном объеме, так что во многих местах, в особенности в маловодные годы, межень наступала раньше, чем сплаваемый лес достигал места назначения; в этих случаях сплав продолжали следующей весной с того места, где лес задержался (двухлетний сплав). За последние 2 года, благодаря более углубленному ознакомле-

нию с гидрографическими условиями, сплавное дело значительно усовершенствовалось. В особенности в тех местностях, где ути-

виях лесных и водных богатств Норвегии и Швеции Норрланда снизить расход воды на нужды лесосплава приблизительно до 2% общего годового расхода. Эта цифра является, впрочем, предельной идеальной величиной, так как она выведена расчетом в том предположении, что одно и то же количество воды несет сплавляемый лес до пункта назначения, т. е. что путем устройства соответствующих подпорных сооружений приняты меры к тому, чтобы в случае задержек в лесосплаве, вода не вытекала бесполезно через сплавные водотоки, Современное положение еще очень далеко от этого идеала. В схеме утилизации Нидельва и Сельбусье (Норвегия, Трондхем) предусмотрено на лесосплав, например, 5% стока. Оборудование отверстий плотин устройствами, сберегающими воду, и постройка сплавных лотков окупается в гидроэнергетическом бюджете, в особенности при высоком коэффициенте регулирования озер и рек.

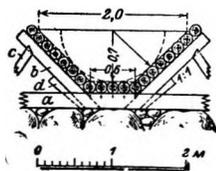
При низком коэффициенте регулирования такие дорогие устройства едва ли экономичны (ср. раздел: подпорные сооружения).

Постройка гидроэнергетических установок влечет за собой создание водохранилищ со слабым течением и концентрированные ступени падения, и то и другое служит препятствиями для лесосплава. Для их преодоления необходимы либо особые сплавные лотки, обходящие водохранилища, или ступени подпора, или же отдельные отверстия плотин делают низкими и широкими, сообразуясь с нуждами лесосплава, а телу плотины на низовой стороне придают форму, устраняющую удары. В последнем случае нужны особые направляющие, не допускающие леса к турбинам и подводящие его к сплавному отверстию; кроме того, необходимы особые мероприятия для обеспечения надлежащей скорости прохождения леса по подпертому бьефу.

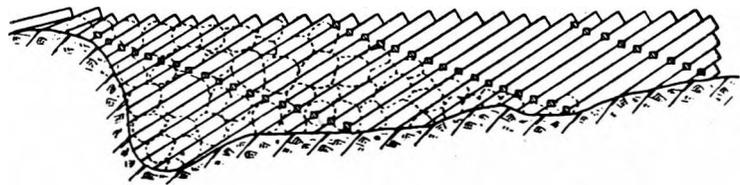


Фиг. 386. Скодон. Рыбоход для мальков угря. Детали.

лизация гидроэнергии начинала играть значительную роль, были найдены способы рационального регулирования расходов в интересах обеих заинтересованных сторон народ-



Фиг. 387. Сплавной лоток.



Фиг. 388. Типичные ряжевые запаны.

ного хозяйства. Для нужд лесосплава отводится заранее точно определенный постоянный расход в течение примерно 2 мес. (например, июнь — июль); кроме того, иногда в конце сплавного сезона устанавливается очень непродолжительная, но очень значительная подача воды. Впервые это, вероятно, было осуществлено при регулировании озера Скаттунг (область Далэльва).

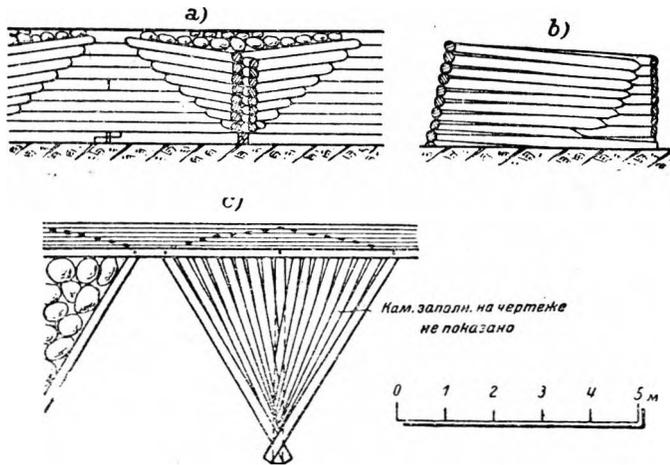
Серрандер доказал, что при строго планированном водном бюджете можно, например, в усло-

Для этой цели пользуются или силой ветра (парусные буксиры), или буксирами с бензиновыми моторами или электрическими аккумуляторами, заряжаемыми за ночь на силовой станции. Нередко за последнее время применяли и стационарные буксирующие устройства. Сплавные лотки и отверстия для лесосплава иногда устраиваются параллельно в одной и той же установке: при обильном притоке лес пропускают через плотину при

бедности воды — по сплавному лотку. Часто бывает, что для общего лесосплава устраивают большие отверстия в плотинах, для частной лесопилки — особый сплавной лоток.

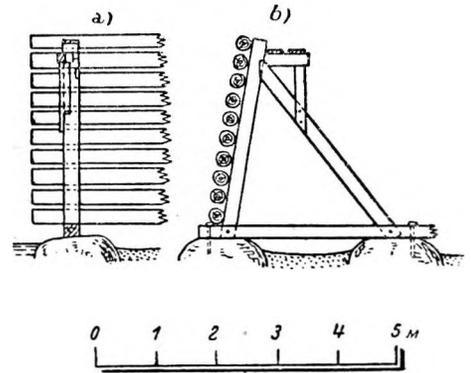
### § 6. Устройства для лесосплава и плотходы.

На севере сплаваются преимущественно крупные бревна, а конструкцию плотин на реках



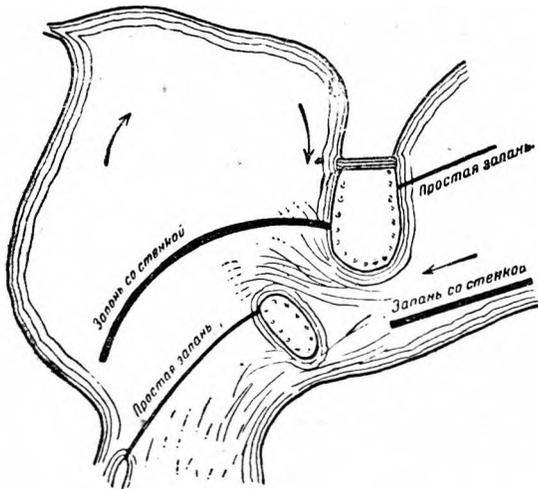
Фиг. 389—390. Типичные ряжевые запони.

ворами — фиг. 859). При убывающем расходе воды сплав постепенно переносят в более мелководные, так называемые регулирующие отверстия, причем из двух регулирующих вальцов одним пользуются для лесосплава, другим для точного регулирования. При наступлении периода межени более мелкое из двух регулирующих отверстий стесняют подпорными щитами



с большим годичным лесосплавом приходится приспособлять к требованиям сплавного хозяйства для возможности быстрой и беспрепятственной работы. Считаясь с нуждами гидро-

тами, поставленными с боков. В конце концов закрывают всю плотину, и лес пропускают по сплавному лотку, проходящему через силовое здание сбоку (фиг. 287, 290). Все вышеупомянутые плотходные отверстия в Форсхувудфорсе обслуживают так называемый общий сплав, но, кроме того, в плотине устроен еще впуск для второго сплавного лотка против здания коммутаторов для возможности создания второй частной линии лесосплава, принадлежащей исключительно компании — владелице силовой станции.



Фиг. 391. Плавающие запани на Киммене у Куусанкоски.

В Раанасфоссе лесосплав играет также очень большую роль. Здесь работа несколько иная и организована проще: весной при половодье приплывают огромные массы леса, и вся поверхность реки бывает покрыта бревнами. Тогда все три больших отверстия плотины (фиг. 163) открывают для сплава. При несколько уменьшившемся расходе сначала закрывают только вальцовый затвор, затем один из секторных, и точное регулирование производят с помощью вальца. Таким образом оба секторных затвора по существу обслуживают лесосплав. Когда расход падает до  $450 \text{ м}^3/\text{сек}$ , лесосплав полностью направляют по сплавному лотку, где он осуществим, пока расход не упадет до  $300 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Продолжительность работы этого лотка очень велика, и его поэтому снабдили регулируемым впуском для экономии воды (фиг. 392, 393). Секторные затворы выбраны здесь, главным образом, для удобств лесосплава (и, вместе с тем, ледосброса), так как они позволяют спускать воду при меньшей толщине струи воды, чем валь-

электростанции, пришлось, естественно, озаботиться разработкой самых разнообразных форм плотходов, сберегающих воду; простыми и яркими примерами являются Форсхувудфорс и Раанасфосс.

В Форсхувуде для лесосплава в первую очередь пользуются большими отверстиями для пропуска высоких расходов (с вальцевыми зат-

цы. Кроме того, они легко подвижны и хорошо обслуживают временное открытие отверстий для нужд лесосплава.

Эксплуатация дала удовлетворительные результаты, хотя удары миллионов бревен о заднюю поверхность секторов и вызывают известные повреждения, так что после осеннего паводка ежегодно требуется ремонт.

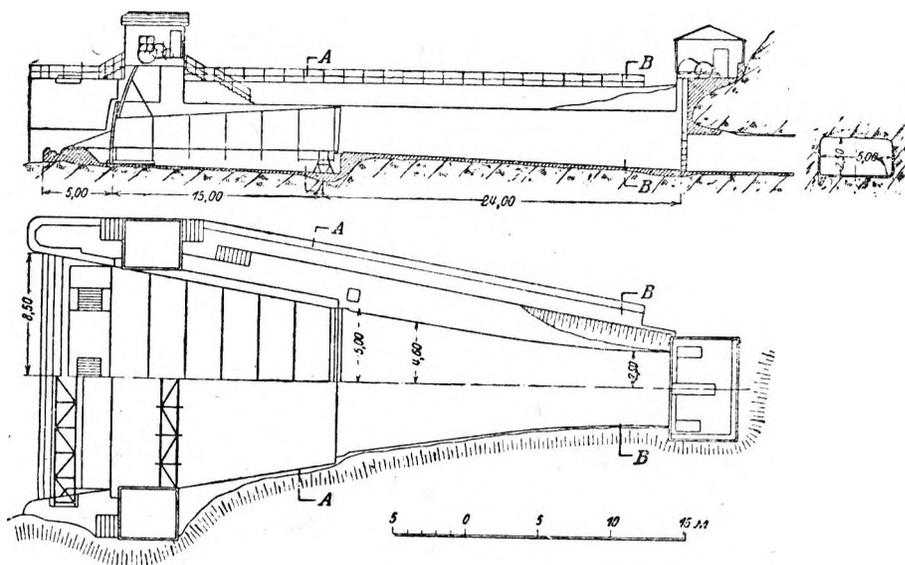
Сходные условия наблюдаются в Сикфорсе (Швеция), где открывается половина ширины плотины, оборудованная 2 щитами Стонея и 1 сектором. При существующем оборудовании оказалось возможным обойтись без сплавного лотка; предусмотрительно построено для него только впускное сооружение (фиг. 365).

Приведенные примеры дают отличные образцы конструктивных форм и размеров плотоходных плотин. Очень важно устраивать порог плотины в нижнем бьефе таким образом, чтобы лес по возможности не повреждался при падении. В Форсхувуде это удалось в такой мере, что потери на полонку леса теперь значительно меньше, чем при сплаве в естественном русле реки; это тем более замечательно, что Форсхувудфорс в своем естественном состоянии был довольно пологим потоком. Второй принцип, выявляющийся из приведенных примеров, заключается в том, что как только является необходимость сколько-нибудь экономить воду, следует немедленно устраивать сравнительно мелководные отверстия в плотине.

Размер отверстий в плотине, конечно, очень важен, если имеется только одно отверстие с подвижным затвором, как это чаще всего бывает в небольших установках. Конечно, экономию воды следует начинать уже с затворов, регулирующих озеро, и в условиях северной Швеции рационально устраивать очень широкие и мелководные отверстия в плотинах, особенно при высоком коэффициенте регулирования озер. Эта мера дает экономию на воде, несмотря на несколько более высокие первоначальные издержки. Выло бы совершенно ошибочным предполагать, что через одно отверстие может пройти только такое количество бревен, какое укладывается рядом на поверхности воды.

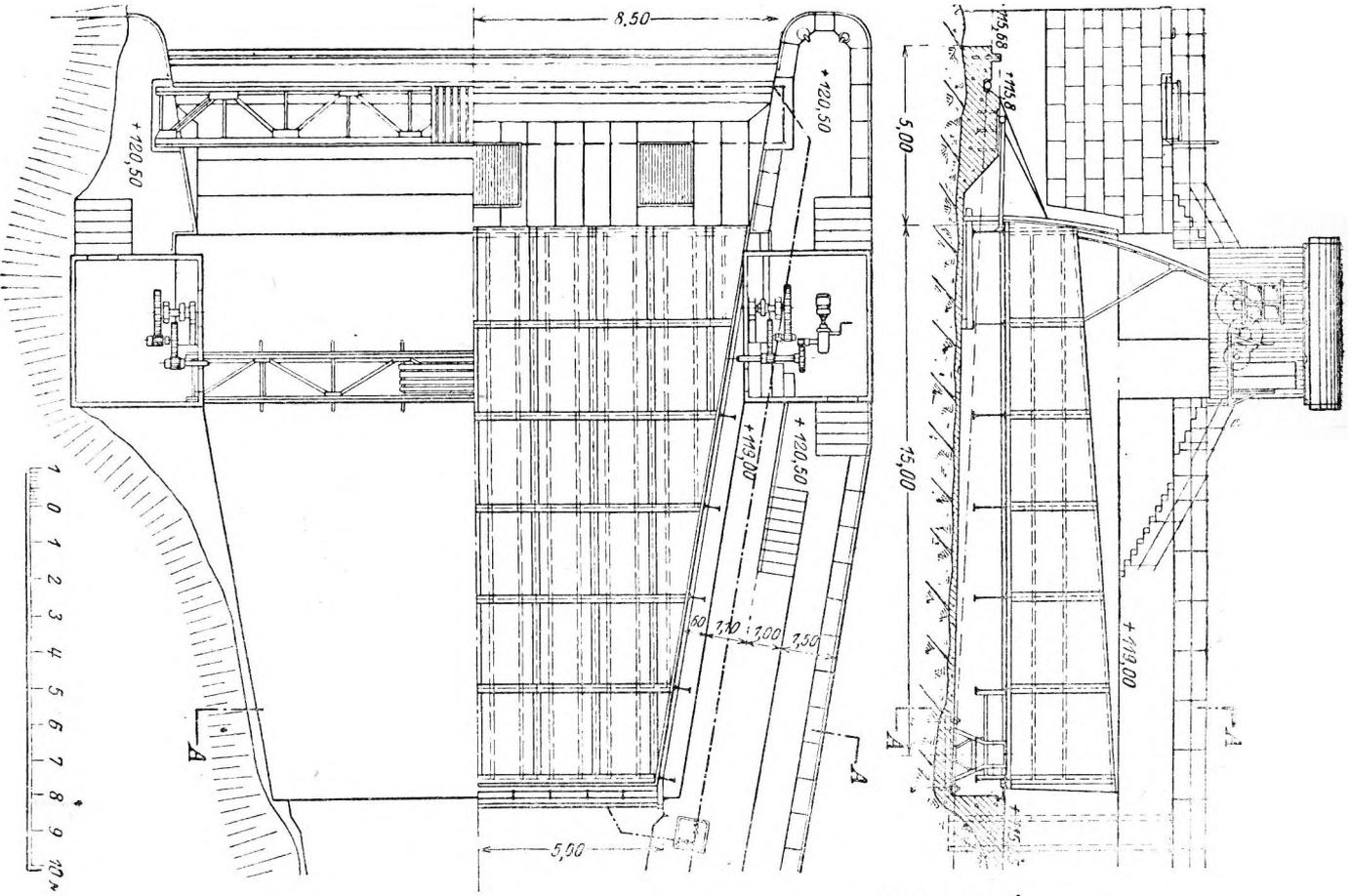
С другой стороны, установлено, что лесопропускная способность отверстия плотины при не-

изменной ширине очень медленно увеличивается по мере возрастания глубины. Вало Финне пытался разрешить эту своеобразную гидравлическую задачу с помощью формул. Он полагает, например, что отверстие плотины глубиною 0,6 м должно быть углублено на 75 см, если хотят повысить пропускную способность лотка на 50%, что обозначает увеличение расхода воды на 240%. При уширении, разумеется, потребовалось бы только уширить отверстие на 50% первоначальной ширины и соответственно уве-



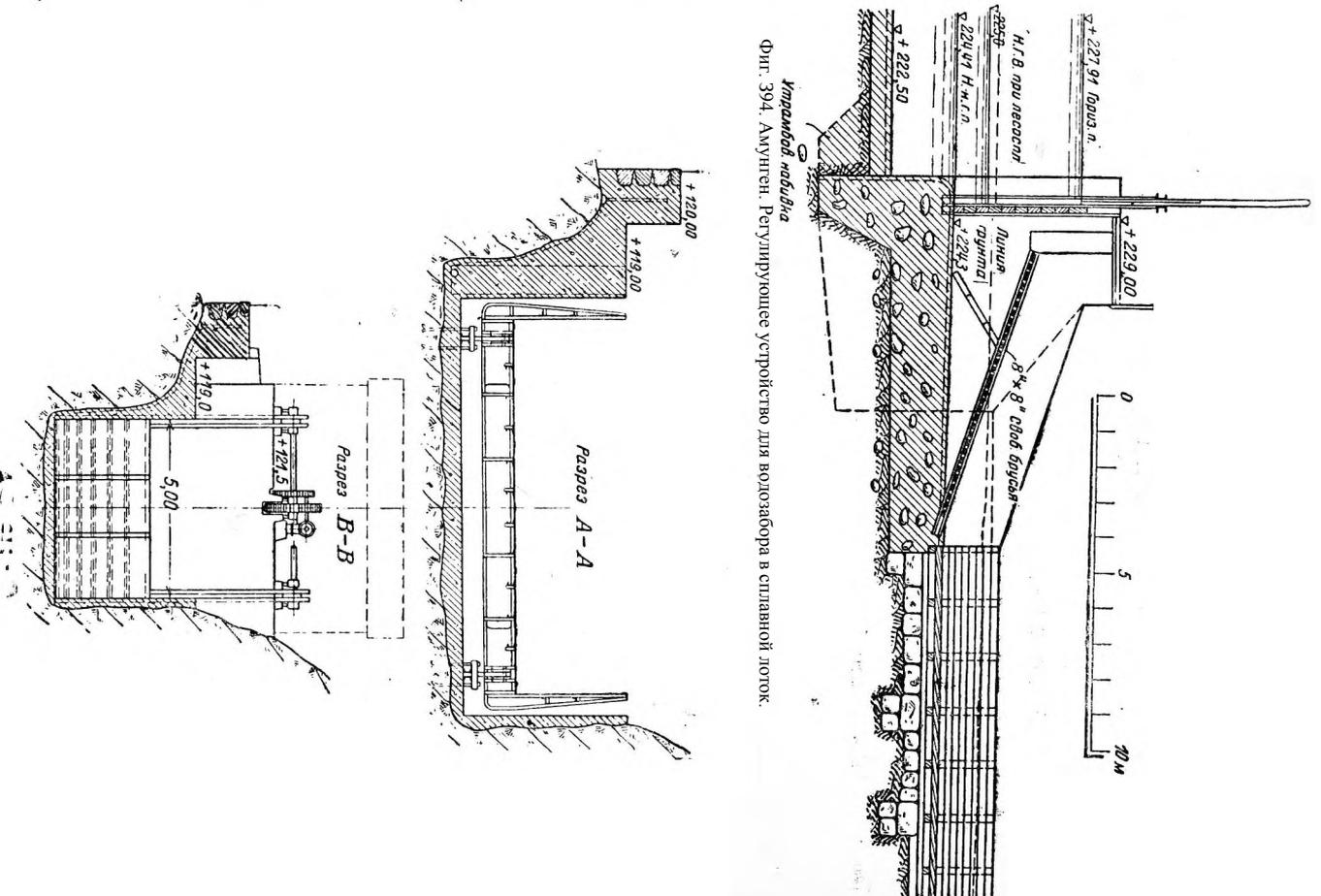
Фиг. 392. Раанасфосс. Впуск воды в сплавной лоток, экономящий воду.

личить расход только на 50%. Кроме того, Финне доказывает, что широкие отверстия плотин дают экономию на обслуживающем персонале почти в 50%. Такие экономические отверстия для регулирования озер применяются и рекомендуются, между прочим, и начальником лесосплава области Далэльва К. Эстберггом. На озерах области Далэльва, зарегулированных для лесосплава и получения гидроэнергии, мы встречаем особые впускные конструкции для экономии воды и притом не только на высоко зарегулированных озерах Амунге, Скаттунге и т. д., но и на отдельных озерах со сравнительно низким коэффициентом регулирования. На оз. Амунге применено устройство по фиг. 173, 174, 394. Проток регулируется шандорами, а в верхней своей части деревянным щитом в соответствии с изменениями горизонта воды. Стенка падения может быть также установлена на различную высоту, так как она состоит из шандор, уложенных в наклонный паз. Конструкция на Скаттунге — иного рода, фиг. 188, 395. Здесь для экономии воды устроено два сплавных отверстия; кроме того, можно регулировать приток с помощью шандор.



Фиг. 3936. План и Разрез продольн.

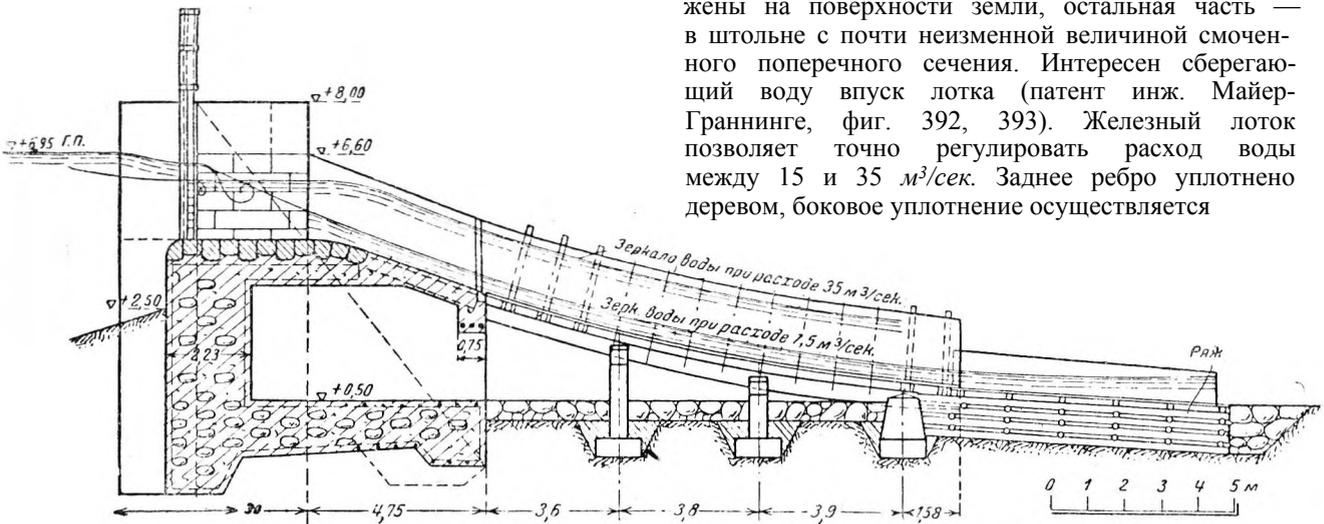
Фиг. 3934— 3936. Раанасфосс. Выпуск воды в сплавной лоток, экономящий воду.



Фиг. 394. Амунтен. Регулирующее устройство для водозабора в сплавной лоток.

Фиг. 393а. Разрезы.

Так как, однако, стена падения плотины должна иметь для сохранности леса пологую и изогнутую форму, то ее сделали очень длинной и, таким образом, создалось устройство наподобие плотоходного лотка, причем конструктивная задача разрешена с помощью деревянного сооружения па бетонных столбах.



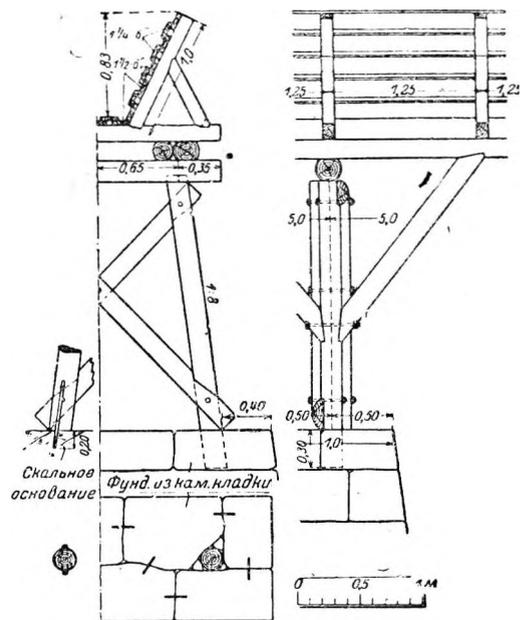
Фиг. 395. Скатунген-Оре. Регулятор для лесоспуска плотины.

### § 7. Лесосплавные лотки.

Настоящие сплавные лотки, не вделанные в тело плотины, по огибающие русло реки на большом протяжении, строились на севере до настоящего времени преимущественно из дерева. Прежде, главным образом, в Эвре Норрланде при избытке леса просто применяли кругляк (фиг. 387), но в настоящее время преобладает более экономическая стройка из пиленого материала. Досчатые стены, уложенные с припазовкой или без нее (фиг. 396) часто обшиваются листовым железом, как, например, у Меркфосс-Сольбергфосса (фиг. 397). Здесь сплавной лоток, проложенный па значительной части своей полной длины (700 м) в штольне, имеет часовую пропускную способность в 12 000 бревен, причем издержки на сплав не превышают по имеющимся сведениям  $\frac{1}{2}$  ёре на бревно. Очень своеобразный и солидный поперечный профиль лотка на столбах длиной почти 3 км мы встречаем у гидроэлектростановки Ауст-Агдер на юге Норвегии. В месте пересечения с рекой этот лоток построен как жесткий висячий мост. На одном берегу главный мостовой канат закреплен в высоком утесе, па другом — переброшен через деревянную качающуюся опору и закреплен за него в скалистом грунте. На другом участке лоток устроен в виде штольни, одетой бетоном с яйцевидным поперечным сечением. Для сплавного лотка в Раанасфоссе применен исключительно бетон. Этот, во многих отношениях интересный, лоток имеет длину

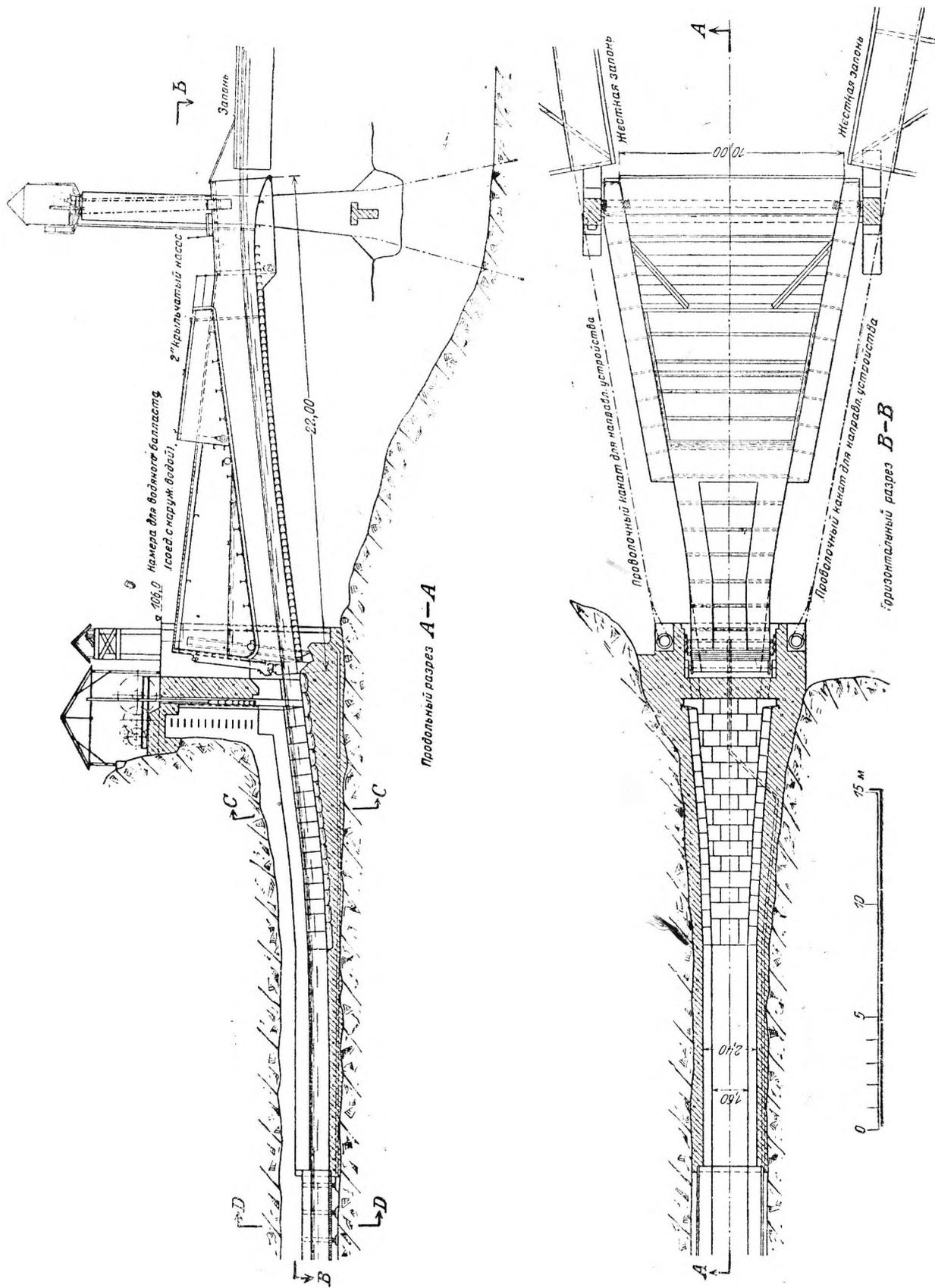
800 м; поперечное сечение у впуска прямоугольное, но скоро переходит в трапециoidalное с закругленными углами. Продольный профиль своеобразен в том отношении, что уклон лотка с 1 : 100 возрастает книзу до 1 : 70; увеличение скорости течения препятствует бревнам нагонять друг друга и стопориться. Около  $\frac{2}{3}$  лотка уложены на поверхности земли, остальная часть — в штольне с почти неизменной величиной смоченного поперечного сечения. Интересен берегающий воду выпуск лотка (патент инж. Майер-Граннинге, фиг. 392, 393). Железный лоток позволяет точно регулировать расход воды между 15 и 35 м<sup>3</sup>/сек. Заднее ребро уплотнено деревом, боковое уплотнение осуществляется

с помощью железных труб, которые прижимаются давлением воды к бетонным ступам. Пространство под лотком можно осушать с помощью



Фиг. 396. Хегефосс. Сплавной лоток.

спицевого затвора; 6-дюймовая дренажная труба обмотана изолированным проводом и зимой может обогреваться электрически. Впуск сплавного лотка схожей конструкции устроен и в Мэрк-



Продольный разрез А-А

Горизонтальный разрез В-В

Фиг. 397. Сольбертфосс, Впуск воды в сплавной лоток, экономиящий воду.

фосс-Сольбергфоссе (фиг. 397). Однородное устройство в Хитефоссе преследует цели приспособления к сильно изменчивому горизонту верхнего бьефа (забор воды происходит непосредственно из обширного годового водохранилища).

В новейшее время (1926 г.) у Ротгерос (Швеция) построен сплавной лоток длиной 175 м с падением в 31 м, целиком из железобетона.

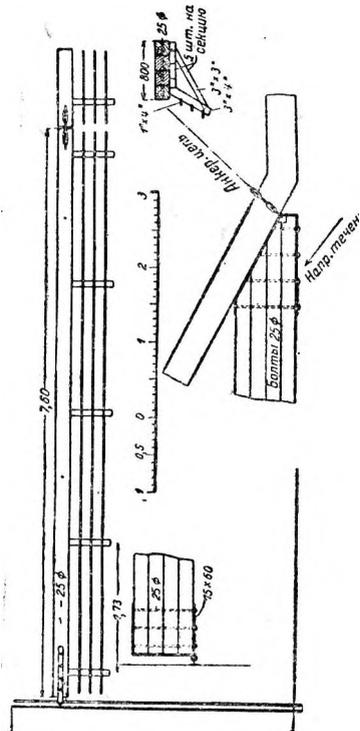
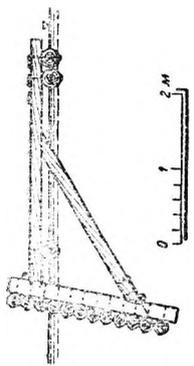
Смедберг отмечает, что деревянные сплавные лотки приходится для сохранности постоянно поливать водой вплоть до заморозков, что вызывает излишнюю трату воды. Изредка сплавные лотки строят также целиком из железа.

Обводные сплавные лотки иногда достигают значительной длины (Гидеабакка, Хенефосс, Унтра, фиг. 398).

## § 8. Направляющие устройства.

Направляющие устройства для сплавного леса применяются на севере в большом изобилии; они в особенности необходимы в местах выше сплавных отверстий в плотинах и выше впусков сплавных лотков, чтобы обеспечивать непрерывный подход бревен (фиг. 399, 400). В виде

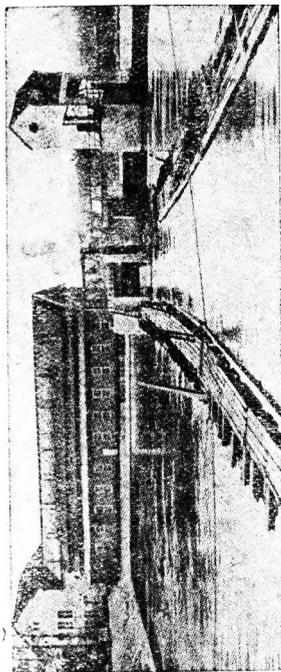
Фиг. 400. Хенефосс. Плавающая запон направляющего устройства.



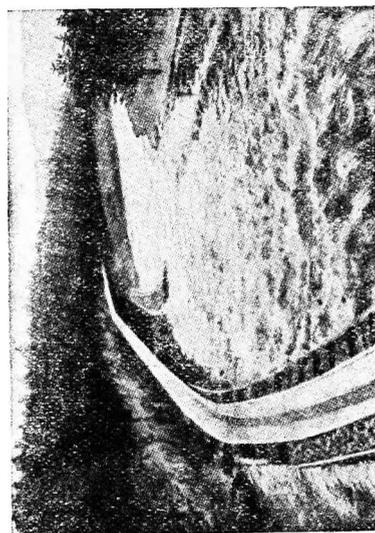
Фиг. 401. Установка Эскилстуна. Направляющее устройство.



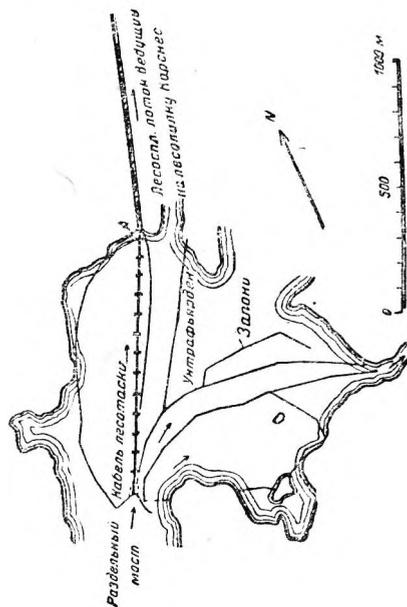
Фиг. 398. Установка Унтра. Лесосплавный канал. Вид вниз по течению.



Фиг. 399. Куанкоски. Направляющее устройство для лесосплава (в верхнем бьефе).



Фиг. 403. Гидеабакка. Впадение сплавного лотка в нижний бьеф установки.



Фиг. 402. Унтра. Расположение направляющих лесосплав устройств.

примера этих направляющих устройств, почти всегда устраиваемых плавучими (запони), мы опишем устройство, установленное впереди сплавного лотка в Раанасфоссе. Запонь состоит из отдельных деревянных жестких раскосных систем длиной 20 м (плоскость раскосов — поверхность воды) с опущенной на  $1\frac{1}{2}$  м в воду лобовой стенкой, слегка наклонной, чтобы затруднить продавливание сплаваемых бревен под запонью. Звенья длиной 20 м скреплены сплошным стальным тросом с прочностью на разрыв 60 т. Этот трос прикреплен у стены впуска в лоток таким образом, что его легко отвязать, благодаря чему при подходе больших партий леса можно открыть доступ на всю ширину плотоходных отверстий плотины; в этих случаях трос запони укрепляют у восточного берега. Типы постоянных направляющих устройств показаны на фиг. 388—390; способы их установки — на фиг. 391, 400, 402, 403.

Особый вид устройств представляют собою механические подъемные установки, встречающиеся у высоких подпорных сооружений.

Гражданский инж. Риббинг (Фалун) с полным правом указывает на то, что устройства лесосплава нельзя трактовать схематически, но необходимо тщательно согласовывать с местными условиями данного частного случая (с влиянием подпорных и силовых установок на условия течения).

#### БИБЛИОГРАФИЯ.

Serrander - Berg, Forshuvudforsens Kraftverk (Svenska Vattenkraftforeningens Publikationer 152); Naslund «Flottningsteknik», Stockholm (1915) — очень ценный и всеобъемлющий труд; Kinnmann, Om Flottleder och Flottning — с богатой библиографией; письменные сообщения, чертежи и снимки, сообщенные инж. К. Шмидтом (Бюро гидротехнической консультации, Стокгольм), проф. Юзелинсом и силовой установкой Ауст Аглер.

### Г л а в а VIII.

#### УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.

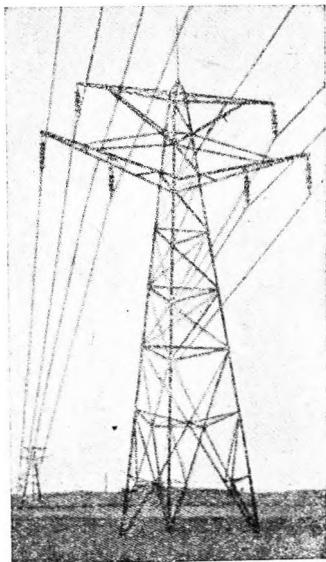
(Соответственно общему характеру этой книги вопрос трактуется преимущественно с точки зрения инженера-строителя, т. е. конструктора мачт.)

Самой крупной сетью электропередач, как в смысле общего протяжения, так и в смысле напряжений из всех северных энергетических

новой сети. Следует отметить применение деревянных мачт при таких высоких напряжениях, как, например, 40, 50, 70 кВ.

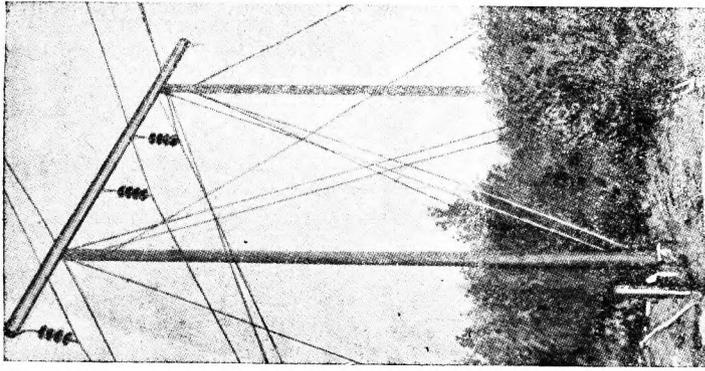
Деревянные мачты при этом чаще всего не вкопаны в грунт, а также, как и железные, свободно (шарнирно) установлены на бетонных фундаментах. Интересна также 50-кВ линия Трольхэттан-Готеборг с ее своеобразными железными мачтами, построенными в 1909 и переделанными в 1917—1921 гг.

Необходимость проведения второй линии Трольхэттан-Готеборг заставила Государственное управление предпринять в 1915 г. обширные исследования по вопросу о возможно-экономичной и надежной конструкции электропередач высокого напряжения вообще и для данной линии в частности. К работе привлекли экспертов со стороны, между прочим (ныне покойного) проф. Гулландера, проф. Крейгера и гр. инж. Веландера, в распоряжение которых представили экспериментальный материал Государственного управления и других крупных электропредприятий. В результате их обширных работ возникло 9 самостоятельных научных трудов, частью отчетного характера о произведенных опытах, частью характера теоретических исследований по вопросам строительства сетей электропередач дальнего расстояния. Работа частью доведена до конца, частью еще не вполне закончена, но на основании получившегося материала во всех деталях разработаны нормы для расчета и постройки новой линии высокого напряжения

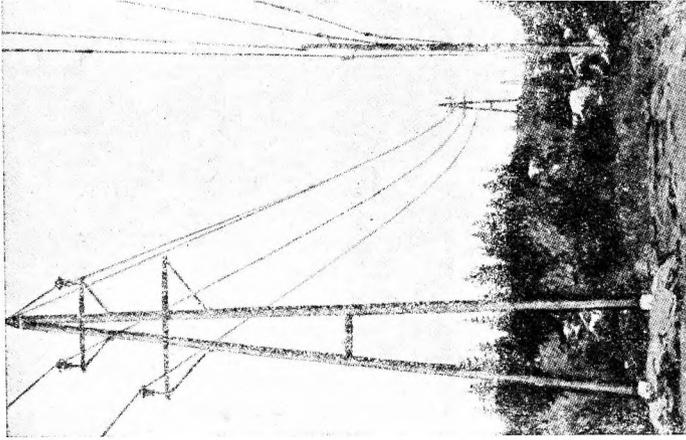


Фиг. 404 Мачта 70 кВ линии Эльварлеби-Взстерё.

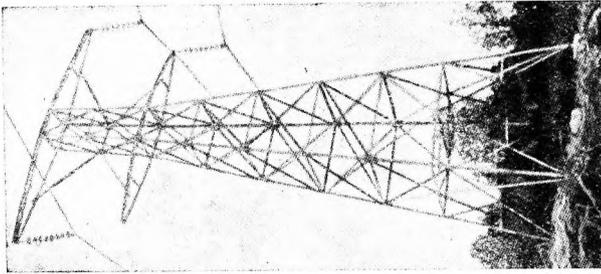
предприятий обладает Шведское государственное управление водных сил. На фиг. 404—410 изображены типичные образцы возникших с течением времени конструкций мачт государствен-



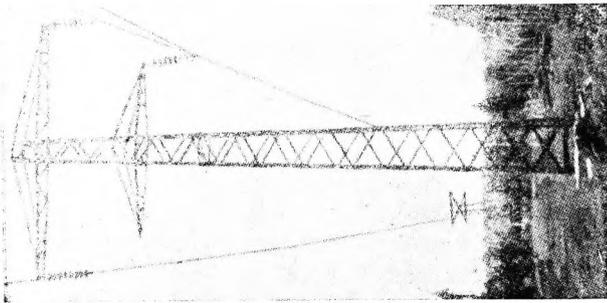
Фиг. 408. Анкерная мачта 50 кВ линии Аддингс—Сьермаркен,  $2 \times 3 \times 35$  мм  $2Cu$ , заземляющий провод 26 мм  $2Fe$ ; нормальный пролет 150 м.



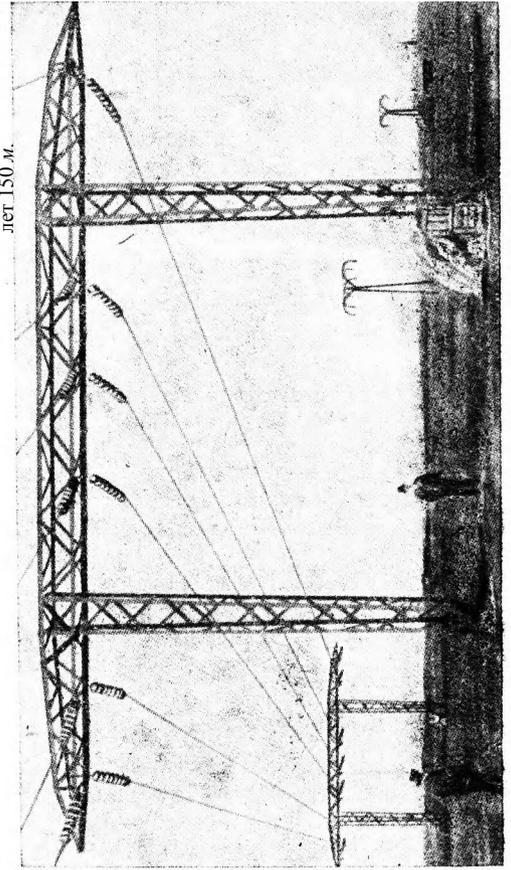
Фиг. 407. Мачта 40 кВ линии Эльвкарлсби-Хедemor для  $2 \times 35 \times 70$  мм  $2Cu$ , заземляющий провод 35 мм  $2Fe$ ; нормальный пролет 150 м.



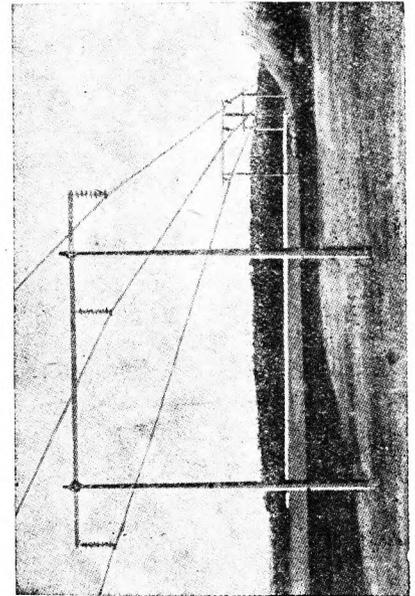
Фиг. 406. Анкерная мачта 132 кВ линии Трольхэттан-Адингс.



Фиг. 405. Мачта 132 кВ линии Трольхэттан-Адингс.



Фиг. 410. Специальные мачты для скрещения линий Эльвкарлсби и Унтра Стокгольм.



Фиг. 409. Железобетонная новая конструкция мачта с железобетонной траверсой линии Трольхэттан-Вестерос на 220 кВ. Пока эксплуатируется лишь напряжение в 132 кВ.

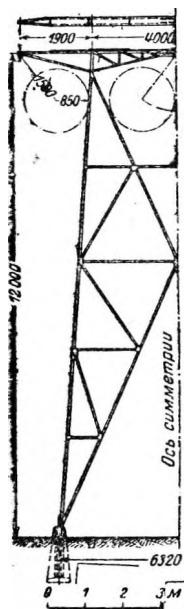
Троллхэттан-Гетеборг. Эксперты признали невозможным выработать руководящие нормы для сетей высокого напряжения вообще, пока не будет вполне закончена научно-исследователь-



Фиг. 411. Модуль упругости медных проводов в функции напряжений.

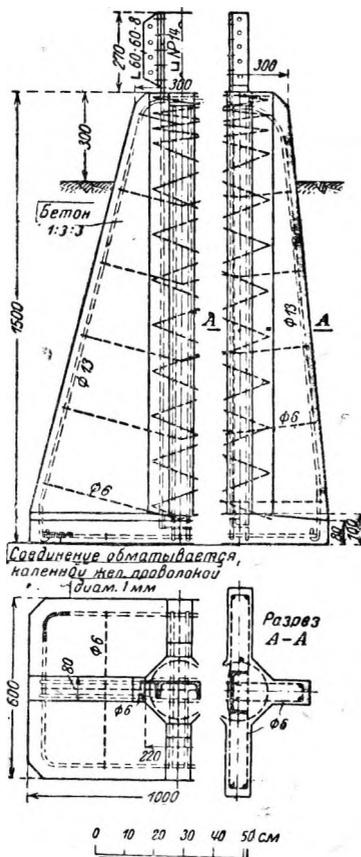


Фиг. 412. Действующий все земли у фундаментов четырехугольных башенных опор по опытам комиссии экспертов.



Фиг. 413. Мачта для медных проводов от  $3 \times 70 \text{ мм}^2$  и заземляющих тросов  $2 \times$

$\times 28 \text{ мм}^2$ , для про-



Фиг. 414. Нормы для фундаментов новой линии Троллхэттан-Гетеборг.

лета до 225 м.

ская работа, главным образом, по вопросу о давлении ветра, которая далеко еще не разрешена в масштабе всей страны.

Из ценного материала, содержащегося в вышеупомянутых трудах, мы видели только несколько кардинальных моментов. Основательно исследовав все случаи повреждений существовавших в то время сетей, эксперты пришли к заключению,

что обрыв проводов происходит не просто под одновременным влиянием нагрузки ветра и инея, но чаще всего потому, что иней (или слой инея, усиленный примерзшим снегом) самостоятельно или вместе с действием ветра вызывает соприкосновение проводов одной и той же линии и, следовательно, образование вольтовой дуги и сильные местные повреждения проводов. После этого ослабления достаточно одного действия ветра, чтобы вызвать разрыв провода. В отношении причин этого соприкосновения проводов было доказано, что оно только в небольшой мере обусловлено колебаниями или другими динамическими явлениями, но преимущественно объяснимо чисто статически; очень часто два провода несут неодинаковую ледяную нагрузку, в особенности когда при таянии лед начинает отламываться.

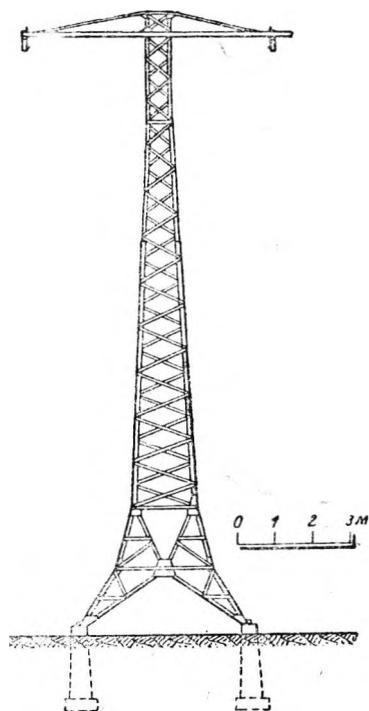
Для расчета минимального расстояния между точками подвески проводов приняты в основу температуру провода  $-1^\circ$  и совершенно определенные толщины слоя инея и силы давления ветра; таким образом задачу перевели в область чистой статики. При ее разрешении приняли также во внимание, что модуль упругости провода может рассматриваться как постоянный, только примерно до  $2000 \text{ кг/см}^2$ , а дальше изменяется по кривой (фиг. 411). Максимальное давление ветра на обмерзший провод, учитываемое одновременно с наиболее неблагоприятными условиями нагрузки инеем, приняли равным  $37,5 \text{ кг/м}^2$  (для заледенелых решетчатых мачт —  $62,5 \text{ кг/м}^2$ ; вытянутый в длину провод в целом менее напрягается местными ударами ветра, чем мачта). Вычисленные таким образом минимальные расстояния между точками подвески решили увеличить в определенной пропорции, смотря по величине ожидаемых добавочных динамических нагрузок и в зависимости от возможности разряда без непосредственного соприкосновения. Для оценки вышеприведенной низкой цифры давления ветра ( $37,5 \text{ кг/м}^2$ ) следует заметить, что, как документально доказано, в построенных до настоящего времени линиях высокого напряжения точки закрепления проводов расположены так неудачно, что уже при давлении ветра от 10 до  $20 \text{ кг/м}^2$  возможны удары проводов друг о друга.

В связи с этими выводами эксперты внесли свои предложения относительно повышения безопасности работы существующих линий с неудовлетворительными расстояниями между точками подвески проводов, а именно: отдельные, рационально выбранные провода одной линии надлежит натянуть более сильно. Другое исследование экспертов доказало, что добавочное напряжение, которому при этом подвергаются провода, неопасно, так как провода электропередач при нагрузке выше предела упругости становятся значительно крепче и более сильное натяжение не сопряжено с риском. (Насколько

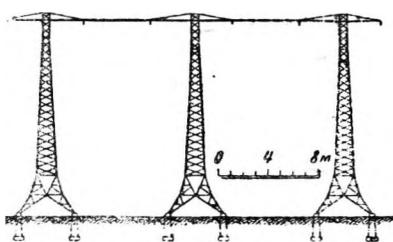
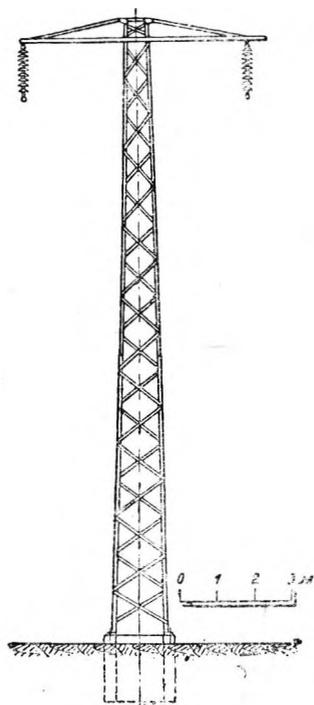
это интересное предложение осуществлено на практике и оправдало себя, проверять не удалось.) Согласно последнему упомянутому исследованию обычно допускаемое натяжение для медных проводов предлагается 15—17 кг/см<sup>2</sup>, при невыгодных случаях нагрузки, в виде исключения — 32 кг/мм<sup>2</sup>.

лый суглинок. Другие материалы допустимы, но каменная отсыпка дает избыток надежности по сравнению с остальными. На фиг. 413, 414 изображены нормы, разработанные экспертами для линии Тролльхэтан-Готеборг.

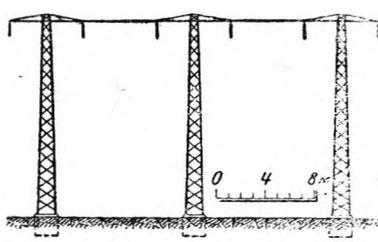
Часть общих выводов из этих исследований смогла быть использована и для запроектиро-



Фиг. 415.



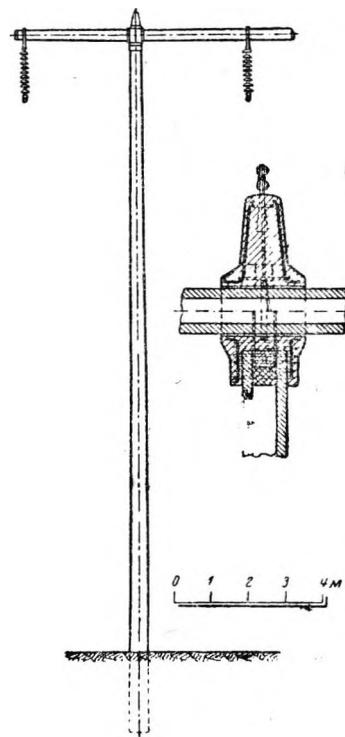
Фиг. 416.



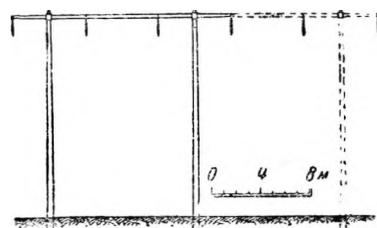
Фиг. 415 и 416. Нормальная несущая и анкерная мачты государственной электропередачи Тролльгеттан-Вестерос.

Об обширных преимущественно теоретических, но частично и экспериментальных исследованиях экспертов о прочности и об упругости железных мачт мы можем здесь только упомянуть; зато мы бегло осветим результаты интересных опытов, которые создали основы для расположения и расчета фундаментов мачт с уступом (фиг. 412). Полная реакция земли может исчисляться, исходя из угла плоскости обрушения в 20° к вертикали, в предположении, что материал засыпки не мелкий песок и не рых-

ванной и построенной в 1918—1921 гг. государственной линии высокого напряжения Тролльхэтан-Вестерос. Эта так называемая западная магистраль построена для напряжений 120—130 кв. Поперечное сечение медного провода временно 100 мм<sup>2</sup> от Тролльхэттана до Галльсберга и 70 мм<sup>2</sup> от Галльсберга до Вестероса. Мачты рассчитаны, однако, на окончательное поперечное сечение медного провода 300 мм<sup>2</sup>, так как впоследствии, когда будет утилизироваться Индальсэльв, напряжение предполагают повысить до



Фиг. 417.



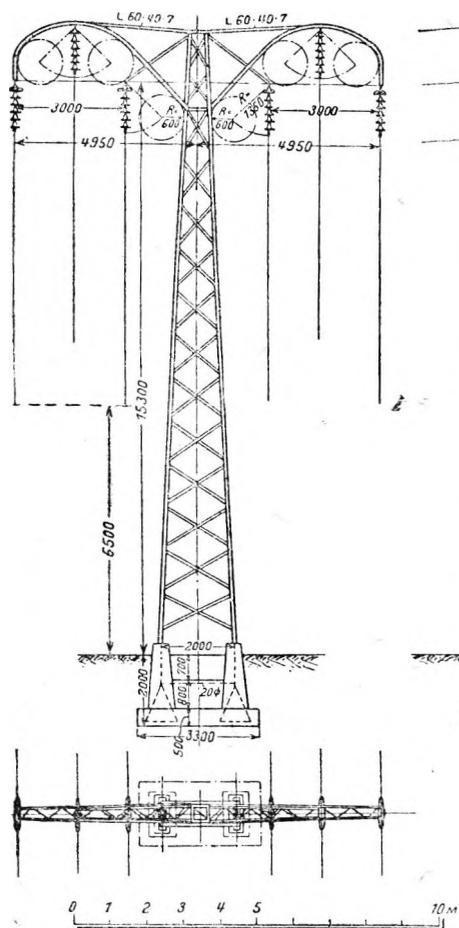
Фиг. 418.

Фиг. 417—418. Нормальная мачта и центробежного бетона государственной электропередачи Тролльгеттан-Вестерос.

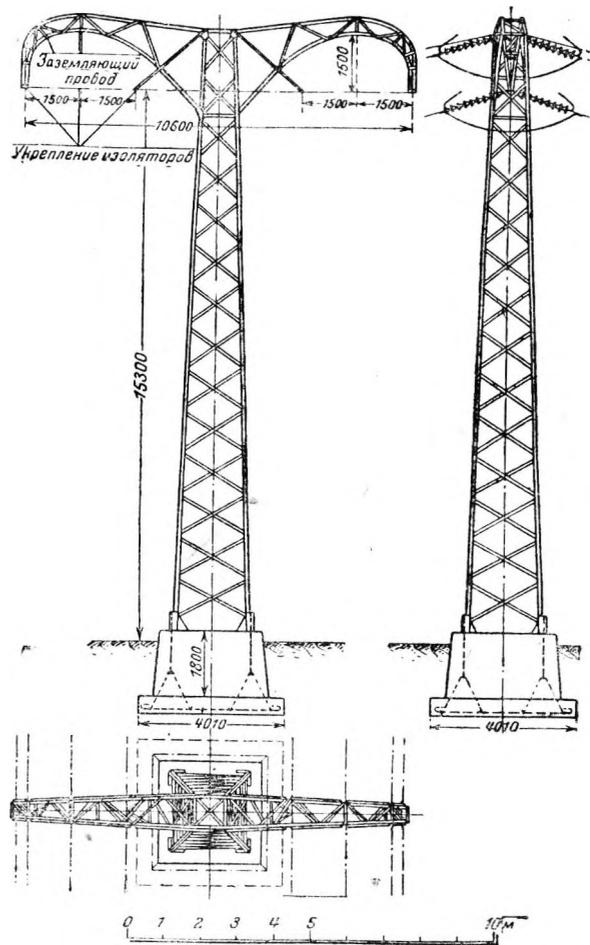
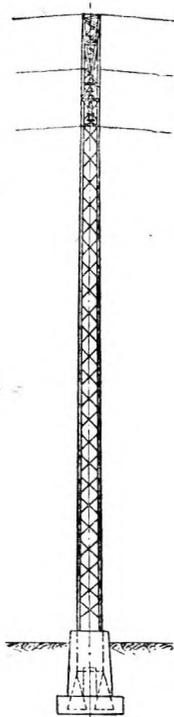
220 кв. Мачты преимущественно железной решетчатой конструкции (фиг. 415 и 416), часть, однако, из центробежного бетона (фиг. 417 и 418). Временно проложено только 4 провода и предусмотрено развитие путем проведения дальнейших проводов (все три трансформаторные установки работают на открытом воздухе).

пропуска судов пролетом 300 м с минимальной высотой 30 м при пересечении Стоксунда; далее она скрещивается с государственной линией Эльварклеби.

Постройка велась в своеобразных условиях. Город в 1917 г. построил временную линию от Стокгольма-Вэртан до Хагби (16 км к северу



Фиг. 419.



Фиг. 420.

Фиг. 419—420. Нормальная и угловая мачта 100 кв линии Унтра-Стокгольм.

Другая интересная линия высокого напряжения — 100 кв линия Унтра-Вэртан городской электростанции в Стокгольме; во время постройки (1915—1918 гг.) это была первая по высоте напряжения линия электропередачи в Северной Европе: Линия протяжением 132,6 км состоит из шести холодотянутых медных семижильных проводов по 50 мм<sup>2</sup> на подвесных изоляторах. Над шестью медными проводами протянуто 2 стальных семижильных кабеля сечением 50 мм<sup>2</sup> для защиты от атмосферных разрядов и для заземления. Средняя длина пролета 180 м, максимальная — 300 м. Линия поддерживается сплошь железными мачтами (фиг. 419, 420) и, между прочим, включает отверстие для

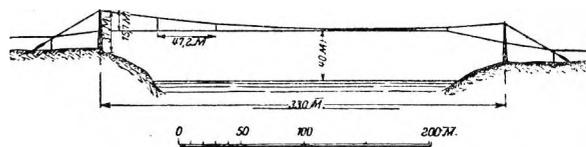
от Стокгольма), так что ток можно было получать от 70-кв государственной линии. Часть мачт этой линии соответствовала окончательной модели линии Унтра, часть была временная деревянная. При установке железных мачт они впоследствии служили подмостями для монтажа. При установке вышеупомянутых высоких мачт на скрещении с Стоксундом линию, проводящую ток, временно укрепили на половине высоты деревянных мачт; в других местах линии на время постройки прикреплялись к специально поставленным временным мачтам. Разумеется, принимались соответственные меры предосторожности, чтобы предупредить разряд между 70-кв линией и строящимися железными мачтами.

13 то время как пересечение Стоксунда осуществили просто с помощью пролета в 300 м и особо высоких мачт, при пересечении Онгермансэльва линией Гранинге-Сване пришлось прибегнуть к кабельной подвеске, учитывая для больших пароходов и парусников высоту габарита в 40 м и расстояние между опорами в свету 330 м (фиг. 421). Каждая опорная мачта поддерживает 2 больших шкива, на которых лежат дюймовые стальные тросы; они заанкерованы в скале с помощью упругих промежуточных звеньев, и задача их состоит в выравнивании изменений провисания, вызванных переменной температуры и давлением ветра. К кабелям подвешены с промежутками в 47 м уголовые железные рамы, к которым прикреплены изоляторы медных проводов тока.

Норвежские инженеры также нашли при постройке многочисленных линий электропередач (особенно для коммунальных целей) целый ряд интересных и своеобразных решений задачи. Так, например, Бискеруд Фильке, наряду с экономно сконструированными решетчатыми мачтами (система больших пролетов: пролеты до 320 м) в виде опыта применил в 1923 г. на соединительной линии Хенефосс железную, очень легкую и дешевую трубчатую мачту, которую после установки доверху залили бетоном.

Это повысило сопротивление мачты на 30—40 %, так как бетонное заполнение не допускает прогиба стенки; эти мачты поддерживают 3 медных провода сечением по 25 мм<sup>2</sup>; средняя величина пролета 155, максимальная 285 м. Высота от верхнего ребра фундамента до нижнего провода 8—16 м. Мачты снабжены железными скобами, образующими ступени. На ответвлениях применяли на прямых мачты высотой 9,2 м от земли до верха, с корытообразным профилем, прессованные из листовой 6,5 мм стали; на них имелись выштампованные ступени; вес 210 кг (фирма, изготовившая их, механический завод Фредерикстад); средняя величина пролета — 92,5 м, максимальная — 150 м; нагруз-

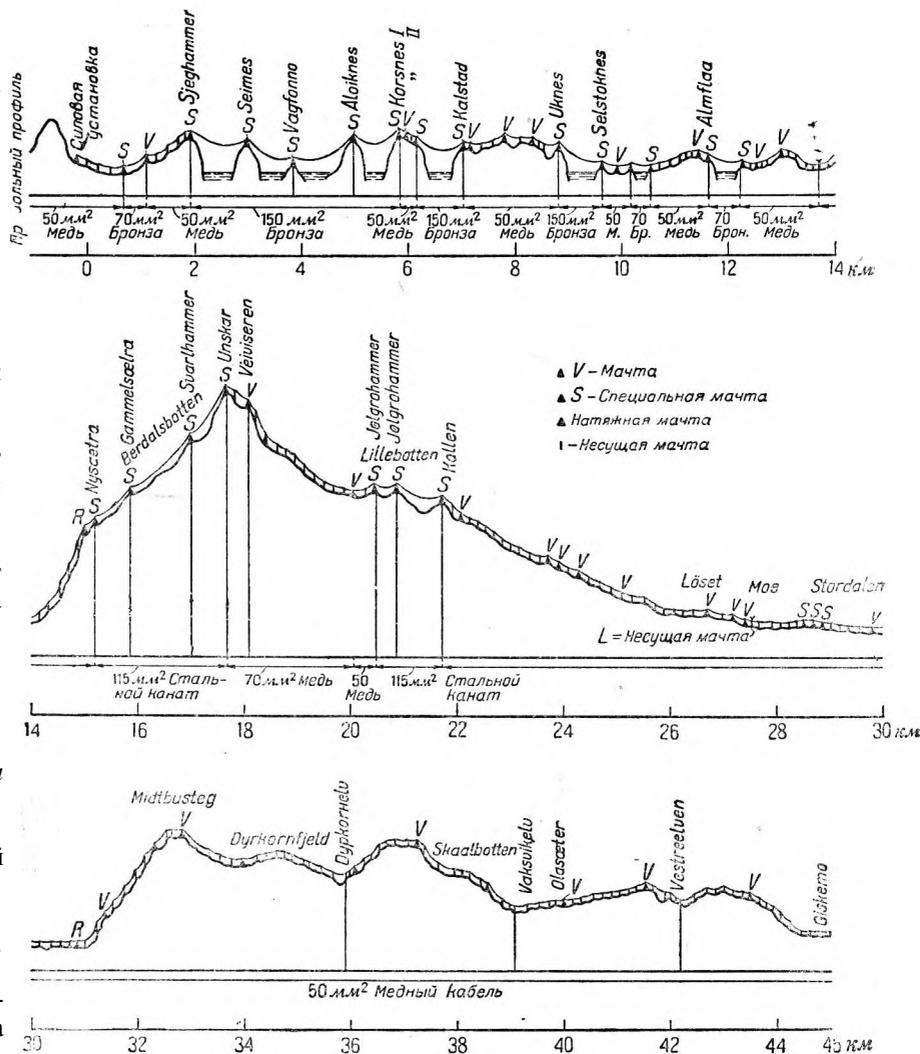
ка — 6 × 16 мм<sup>2</sup> медного провода. Бюро проектирования электрических линий Бускеруд в числе своих образцово-научных трудов составило новые подсобные графические таблицы



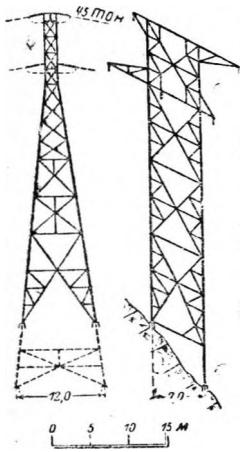
Фиг. 421. Пересечение линии высокого напряжения Гранинге-Сване с рекой Онгермансэльв.

для разрешения всех вопросов, возникающих при статическом расчете проводов, мачт и фундаментов мачт (см. библиографию).

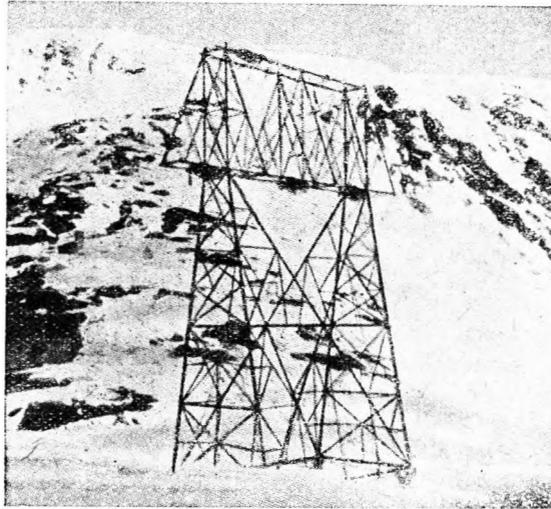
В Норвегии при проводке линий высокого напряжения приходится преодолевать еще большие трудности, чем в Швеции. Так например, в Северной Норвегии очень многие богатые источники гидроэнергии расположены на островах,



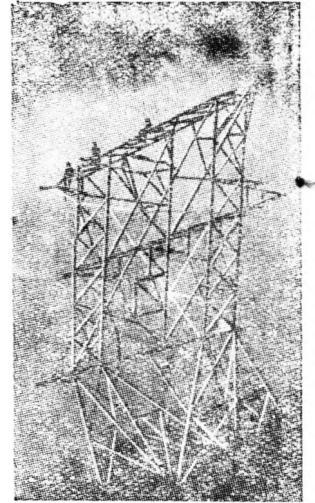
Фиг. 422. Линия высокого напряжения Тафюрд-Аалесунд.



Фиг. 423. Специальная мачта Тафиорд-Крафтсельскан для пролога 1000—1100 м, гальваниз. бронза 6 × × 150 мм<sup>2</sup>.

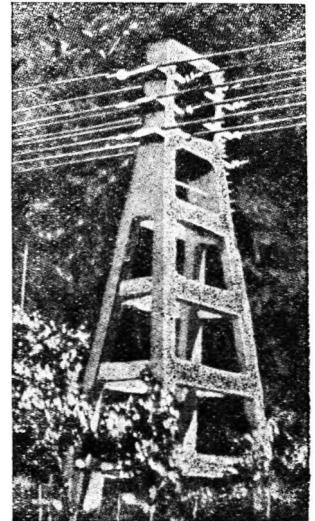
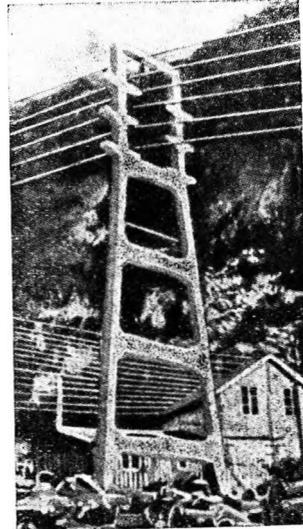


Фиг. 424. Специальная мачта для больших пролетов линии Тафиорд-Аалесунд.



Фиг. 425. Специальная мачта электропередачи Тафиорд-Аалесунд для крутых косогоров.

и ток нужно проводить на материк, в то время как в Западной Норвегии, наоборот, небольшие, бедные гидроэнергией острова необходимо снабжать током с материка. Так как при этом приходится пересекать широкие фиорды и морские рукава, то применение высоковольтных подводных кабелей играет в Норвегии более значительную роль, чем где-либо в мире. В морских кабелях до 1925 г. нередко применялись напряжения в 20—22 кв и уже проектировались напряжения в 30 кв. Так, например, электрическая компания Тафиорд эксплуатирует 27 км кабеля с напряжением 22 кв. В связи с интенсивной работой всех стран в области прокладки кабелей высокого напряжения и считаясь с богатыми возможностями экспорта энергии именно из Норвегии, приходится ожидать значительных успехов в области увеличения рабочих напряжений и пролетов пересечений. Нередко, впрочем, линии проводки на дальнее расстояние пересекают норвежские фиорды и над землей. Так, например, 100-кв линия Тафиорд-Аалесунд (фиг. 422) пересекает широкие фиорды бронзовыми проводами, рассчитанными в предположении нормальных напряжений. На фиг. 423 изображена применяемая для них конструкция мачт. В противоположность этой системе вес большие пролеты той же линии, пролегающей в горах, имеют оттяжные мачты (фиг. 424) ввиду опасности лавин; они сохраняют свое положение даже при обрыве всех проводов какого-нибудь одного пролета. Для особенно крутых участков этой крупной линии высокого напряжения применяется специальный тип мачт с своеобразным наклоном (фиг. 425). Все мачты этой линии оцинкованы, исключая специальных мачт горного участка, которые оцинкованы только в верхней части.



Фиг. 426—427. Гломфиорд. Железобетонные несущие и анкерные опоры.

В Норвегии применяют для линий высокого напряжения и железобетонные мачты. Более старая конструкция применена для линии Верморк-Рьюкан, более современная — в Гломфиорде (фиг. 426, 427).

#### БИБЛИОГРАФИЯ.

1. Die Staatlichen Kraftwerke Schwedens 1921.
2. Офиц. изд. Гос. управления водопадов: «Trollhättan».
3. «Porjus Kraftverk och Riksgransbanans Electricifering».
4. C l a u d i, Fjernledningsmaster, Rationelle Konstruktionen Sv. El. Verksfdren, Handl. 1922, стр. 158.
5. Elektricitetsforsyningen i Byskerud Fylke, Drammen, 1925.

## ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ.

# ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

## Глава I.

### ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ.

#### § 1. Доступность места постройки, транспортные условия.

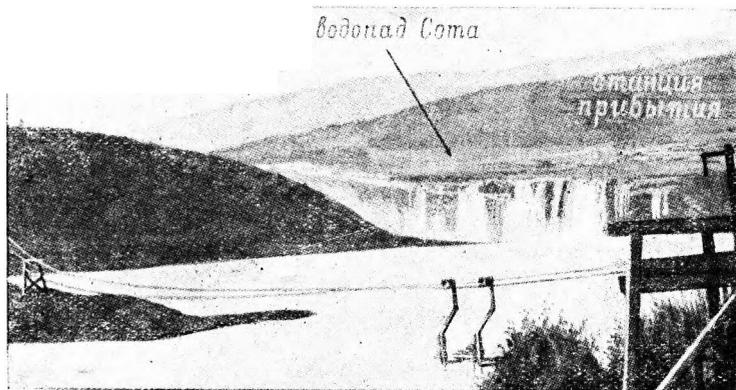
В слабо населенных местностях с редкой сетью проезжих и железных дорог, каковыми являются обширные области северных государств, транспортная проблема часто является первым и основным вопросом при постройке гидроэлектростанций, при регулировании озер и при устройстве электропередач высокого напряжения. Особенно велики затруднения в гористых областях Швеции и Норвегии; в большей части Скандинавии местности с отметкой около 600 м над уровнем моря в климатическом и культурно-географическом отношении имеют определенно выраженный характер горных хребтов и поэтому представляют такие же трудности для транспорта, как, например, альпийские хребты.

При мелких работах по регулированию вод в гористых местностях всячески стараются поэтому довести транспортную работу до минимума, применяя местные строительные материалы; необходимую же транспортировку осуществляют простейшими способами, например, с помощью вьючных животных.

При более крупном строительстве в таких отдаленных местностях скандинавские инженеры, разумеется, не довольствуются простой транспортировкой вьюками или подводами, по именно в связи со слабым развитием дорожной сети часто строят специальные транспортные устройства, например, воздушные канатные и узкоколейные зубчатые железные дороги.

Так, например, плотины Фискеванд и Свартванд в Западной Норвегии (Берген) связали с узкой и извилистой прибрежной дорогой (фиг. 428),

воздушной канатной железной дорогой, длиной около 4 км не только для транспортировки материалов, но и для транспортировки рабочих, инженеров и посетителей, причем пассажиры на подвесных платформочках без перил (при 700 м максимального пролета и высоте 100 м над уровнем озер) должны были быть в достаточной мере

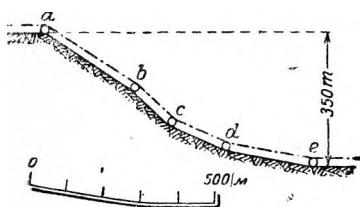


Фиг. 428. Плотина Фискеванд. Канатная дорога.

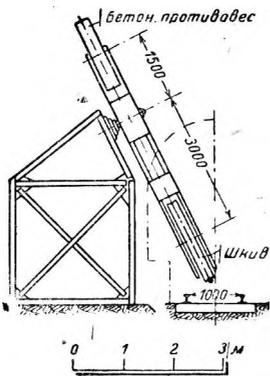
закалены против головокружения. При постройке установки Норе (северо-восточная Норвегия) также пользовались для транспортировки материалов и людей канатной рельсовой дорогой, местами очень крутой, преодолевавшей подъем в 360 м и шедшей от силовой станции до головного сооружения у плотины Тундхевд. Линия имеет профиль, вогнутый у точек *c* и *d* (фиг. 429). Новизна заключается в своеобразном натяжном приспособлении (фиг. 430), обеспечивающем точки *c* и *d* от подъема каната. В нем на железной конструкции укреплен двуплечий рычаг, длинное плечо которого несет шкив каната, а короткое плечо — бетонный противовес. Этот противовес позволял отклонять рычаг при прохождении вагона мимо точек *c* и *d* и освобождать габарит для проезда.

Рычаг отклонялся сторожем вручную, что сочли более удобным, чем автоматическое устройство, из соображений простоты и надежности эксплуатации.

При зарегулировании горного озера для нужд установки Тафиорд (западное побережье Норвегии) условия были таковы, что пришлось скомбинировать простейшие транспортные средства, т. е. вьючных животных, с современными воздушными канатными дорогами и со специально придуманным транспортным устройством в виде особого типа канатной рельсовой дороги. Регулируемое озеро Вельдальсватн расположено на отметке 1165 м, наивысшая



Фиг. 429.



Фиг. 430.

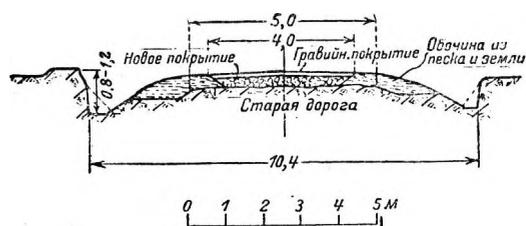
Фиг. 429 — 430. Норе. Канатная дорога. Продольный профиль и оттяжной ролик.

точка дороги, по которой могут проезжать подводы, лежит на отметке 430 м над уровнем моря. Долина выше этой отметки, по которой нужно было производить транспортировку, имеет продольный профиль лестницы со ступенями высотой до 400 м. Горизонтальные уступы лестницы большей частью заняты озерами. По нижнему крутому склону транспортировка совершалась с помощью воздушной канатной дороги, на примыкающем горизонтальном участке частью на лошадях, частью на оленях, по путям, которые изо дня в день менялись в зависимости от условий льда и снега.

Начиная от того места, где глетчеры уже не допускали постройки канатной железной дороги, участки на склонах преодолевались следующим образом: на деревянную раму ставили нефтяной двигатель мощностью в  $3\frac{1}{2}$  л. с., такой же конструкции, какая обычно применяется в Норвегии для маленьких моторных судов. Двигатель соединялся с лебедкой. Всю раму устанавливали на легкие санки с широкими полозьями. После того как вверху был привязан канат, санки с помощью лебедки сами поднимались вверх; затем в соответствующем месте раму снимали с санок и частично зарывали в снег глетчера. У каждого выступающего угла рамы забивали колья и вокруг них и вокруг самой рамы утаптывали снег. Этот снег быстро смерзлся и лебедка оказывалась достаточно прочно заанкеренной, чтобы выполнять транспортировоч-

ную работу, т. е. втаскивать санки со строительными материалами и продовольствием. Когда вся партия груза была втянута вверх, раму переставляли несколько выше и т. д. На лебедке умещалось около 700—800 пог. м каната, и эту длину часто удавалось использовать полностью, по требовалась сбоку направляющая для каната, так как условия были таковы, что нельзя было вести транспортировку по линиям естественного подъема профиля и санки во многих местах имели тенденцию отклоняться вбок. Поэтому приходилось при втягивании первых партий груза подпирать и направлять сани рабочими, пока они не вырывали достаточно глубокую колею в снегу и пока эта колея не промерзала.

Значительные размеры имели также устройства



Фиг. 431. Хиттефоссен. Уширение дороги для транспорта грузов строительства.

воздушной канатной дороги па обширных местах стройки предприятия Хэйангфальдене (6 км канатной дороги, 3 км пневматической трубы для транспорта 20 то на одну ступень).

Хотя установка Хиттефоссен и не расположена в горах, но условия транспорта были здесь очень затруднительны. Ближайшая железнодорожная станция расположена в расстоянии 14 км. Чтобы избежать постройки ветви, улучшили существующую проезжую дорогу (фиг. 431), что местами потребовало значительных уширений. Кое-где пришлось прокладывать и новые дороги. Для транспорта обзавелись специальным грузовиком «Гигант» марки Австро-Даймлер (тип, успешно работавший уже при постройке большого гидротехнического сооружения в Австрии). Этот грузовик отлично обслуживал чрезвычайно тяжелые условия транспорта (местами по снегу). Существенно то, что этот грузовик вписывается в кривые радиусом до 10 м, не требуя при этом ширины дороги, превышающей нормальную.

Частая смена по пути озер и отлогих участков суши Неоднократно порождала интересные комбинации сухопутных и водных транспортных устройств: так, например, при постройке установки Бодин на крайнем севере Норвегии главные транспортные пути пролегали по воде. Короткий участок между фиордом и внутренним озером Ватнванд преодолевали с помощью двухколейной наклонной железной дороги, по которой поднимались суда; это чрезвычайно рациональное

устройство позволило обойтись совершенно без перегрузки (фиг. 432). Транспортировка по воде сыграла большую роль и при постройке плотины Тундхевд; в то время финикулер от железнодорожной станции Норе до фиорда Тундхевд еще не был построен и предпочли избежать транспортировки по крутой долине Нумедаль, довозя грузы до станции Несби (170 м над уровнем моря), отсюда по проезжей дороге до озера и, наконец, по воде до места постройки.

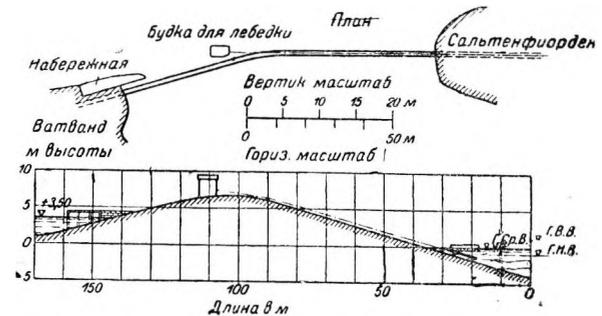
Особенно труден был вопрос транспорта при постройке плотин Суорва выше станции Порьюс в Северной Швеции благодаря условиям грунта (скала), расстоянию и климату. Расстояние до станции Порьюс по прямой линии составляет здесь 75 км. Большое количество строительного материала приходилось возить моторными лодками по вытянутым в длину озерам Лулеэльва с перегрузкой на промежуточных порогах в вагоны временных железнодорожных линий и затем опять водой. Для перевозок людей и почты было организовано (впервые в истории строительства) постоянное воздушное сообщение. Два гидроплана, имевшие стоянку на берегу водохранилища Порьюс, зимой снабжались, вместо обычных поплавков, полозьями наподобие лыж, которые отлично себя оправдали.

Обычно слабая заселенность прилегающей к постройке местности нередко заставляла создавать целые обширные поселки для инженеров и рабочих с их семьями. Северный климат и долгие строительные периоды привели к тому, что эти временные поселки обстраивались с большим уютом по типу деревянных жилых домов и снабжались богатыми бытовыми (коммунальными и культурными) устройствами. Образцами такого поселкового строительства являются прежде всего места строек государственных гидроэнергетических предприятий; из ярких примеров можно назвать строительные городки у Порьюса, Суорвы Харспронгета, Норы и Иматры.

## § 2. Строительная программа.

Специфические северные особенности программы обусловлены как климатически, так и гидрографически. За исключением Южной Скандинавии главный период межених вод наступает для всех почти рек зимою; иногда в зависимости от местных условий можно с уверенностью рассчитывать на продолжительность межени от 4 до 7 мес. Многие реки центральной Швеции и некоторые реки других скандинавских стран имеют, впрочем, второй межених период на исходе лета или осенью, по этот период очень непостоянен в смысле времени наступления и продолжительности. В очень дождливые годы его не бывает вовсе. Это обстоятельство объясняет тот факт, что для преобладающего большинства северных рек строительным периодом является почти исклю-

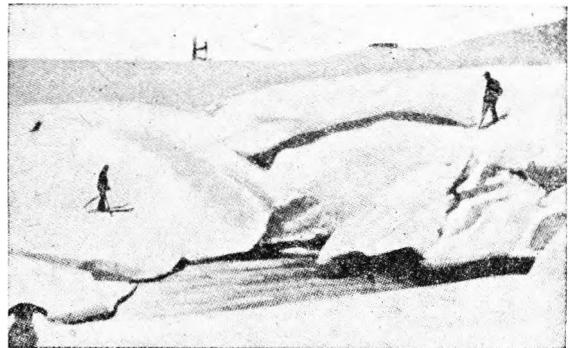
чительно зима, и что искусство зимнего строительства па севере уже давно достигло высокого и своеобразного развития. Суровая северная зима требует при этом при гидротехническом строительстве из каменной кладки и бетона го-



Фиг. 432. Бодин. Транспортная установка Гопсфоссен.

раздо более широких мер защиты от холода, чем в странах с более мягкой зимой.

В качестве выдающегося примера широкой постановки дела защиты от мороза мы можем указать на новопостроенную гидроэлектростанцию Норрфорс иа Умезьлве. Над строящейся плоти-

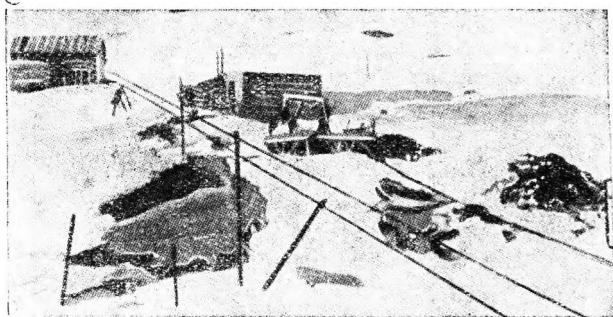


Фиг. 433. Недре-Брейдальсванд. Водоприемник.

ной здесь возвели особый тепляк, в котором были установлены коксовые печи для полного оттаивания льда и снега и для поддержания температуры воздуха минимум па несколько градусов выше нуля. Кроме того, конечно, подогревали воду и песок и обращали внимание на то, чтобы всегда имелся запас свежедробленого щебня. Для температуры смеси были установлены пределы от +5° до +20° С. Аналогичные мероприятия мы встречаем при таком же суровом климате повсеместно. Плотины Суорва также строились в закрытых тепляках (после того как первоначально устроенная палатка не выдержала бури). Плотина Кракос у Хейангфальдена (500 м<sup>3</sup> бутовой кладки на грубом растворе с облицовкой грубой теской) зимой была перекрыта палаткой и отапливалась коксовыми печами. Фиг. 433—435

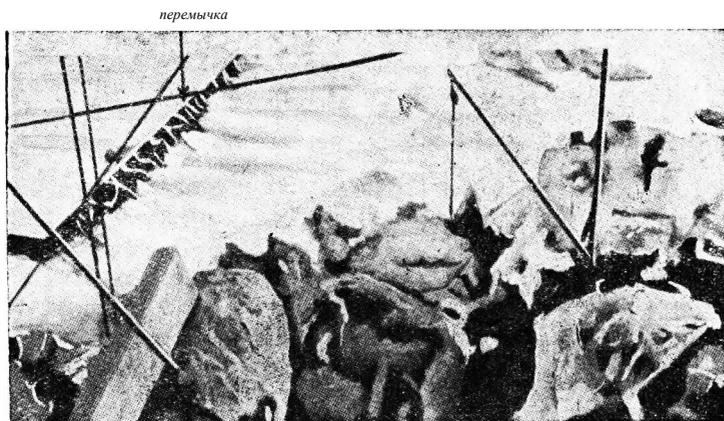
дают представление об условиях зимних работ в районе горных хребтов.

В менее холодных частях Скандинавии таких мероприятий не требуется. Так, например,



Фиг. 434. Эвре-Брейдальсванд. 31/V 1924 г. Для ускорения таяния место постройки засыпано землей.

у Форсхувудфорса в Центральной Швеции бетонные работы вели на открытом воздухе без каких-либо особых мер защиты, отличных от принятых в Германии; точно так же и у Лилла Эдет. Мы уже сказали, что затруднения, обуслов-



Фиг. 435. Эвре-Брейдальсванд. 17/VI 1924 г. Снег расчищен; место освобождается от снега лишь в августе.

ленные морозом, к которым относится и значительное замедление схватывания и твердения больших масс бетона, отчасти способствовали широко распространенному предубеждению против массивных бетонных плотин и заставили отдавать предпочтение тонкостенным пустотелым конструкциям.

### § 3. Устройство оснований и водоотлив.

Северные инженеры предпочитают строить в открытых котлованах под защитой перемычек. Устройства оснований в кессонах и иных новейших способов по возможности избегают. Причины предпочтения, отдаваемого этому методу строительства, не говоря об его общих преимуществах,

которые за последнее время снова приобрели сторонников в среднеевропейском строительстве плотин<sup>1</sup>, кроются отчасти в характере подпочвы (преобладают скала и плотная морена), отчасти же они технико-исторического характера, или же обусловлены своеобразной структурой северного производства работ. В новейшее время в других областях гидротехнического строительства в отдельных случаях замечается проникновение более современных методов в связи с работами в Швеции иностранных строительных фирм, например, искусственное понижение уровня грунтовых вод при постройке шлюза у Седерталье, или забивка железобетонных свай с помощью водяной струи для моста Лидинго (Стокгольм).

Поразительно совершенство техники постройки деревянных перемычек на всем севере в смысле методов размеров, причем нередко пользуются работой водолазов для преодоления затруднений, обусловленных скалистой или валунной подпочвой.

Проблема устройства открытых котлованов в русле реки, возникающая при всяком строительстве плотины, разрешается так же, как и в других странах, посредством установления территориального и хронологического порядка последовательности заграждения отдельных секций котлована (фиг. 436, 437, 438, 458). Своеобразно и в известном смысле ново приспособление конструкции турбинных камер к задаче пропуска строительных паводков. (Мотала.) Нередко в высоких порогах плотины оставляют донные водопуски, которые по окончании стройки закладывают шандорами или окончательно заливают бетоном (фиг. 179). Более старая конструкция перемычек была применена в 1907 г. при постройке плотины Фрикфорса (Западная Норвегия) при чрезвычайно трудных условиях. Из эскиза (фиг. 439) усматривается общее их расположение. Бурное течение сильно повредило первоначально построенную

шпунтовую перемычку (показана пунктиром, фиг. 440, 441), и потребовалась более прочная конструкция (фиг. 440, 441.). Интересно расположение верховой поперечной перемычки; для нее построили прочные деревянные бычки раскосного типа, которые для большей жесткости с двух сторон обшили досками, загрузив промежуток между ними камнем. Эти бычки, весившие по  $7\frac{1}{2}$  т, опускали в грунт с промежутками в 1,5 м до твердой скалы. Наибольшая глубина воды при этих работах достигала 3,5 м, а скорость течения — от 3 до 3,5 м/сек. На бычки опирались продольные насадки, а на них собственно под-

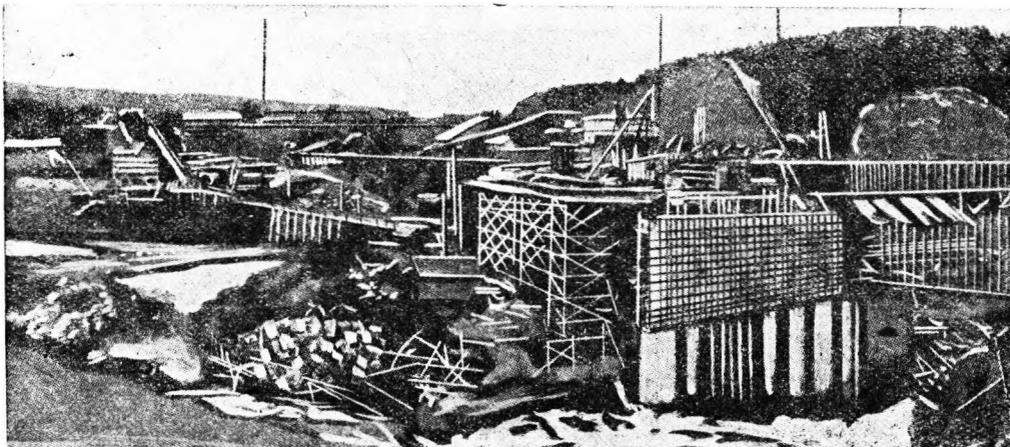
<sup>1</sup> Кахлет, Шверштадт.

норная стенка, устроенная из кругляка. Для уплотнения перед последней уложили фашины и устроили земляную подсыпку. Вся перемычка работала устойчиво и была достаточно водонепроницаемой, несмотря на бурное течение и падающую высоту напора (до 10 м).

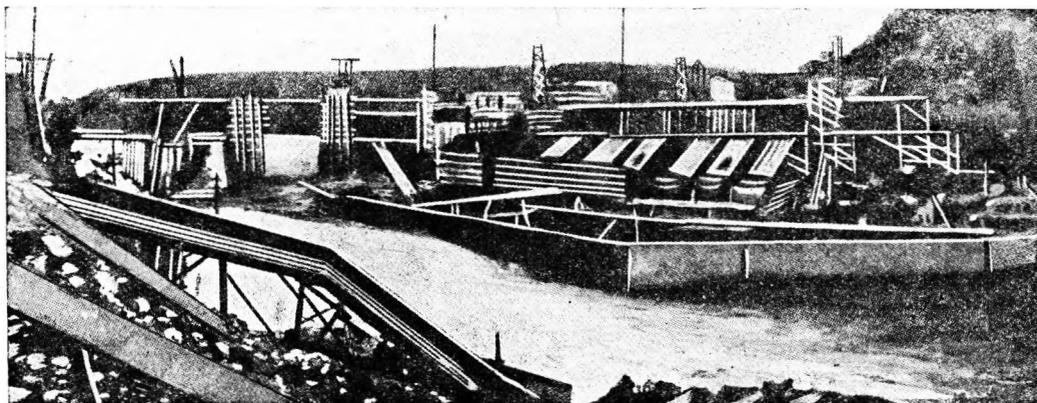
Упомянем еще о нескольких интересных постройках перемычек новейшего времени. По-

дились до скалы с помощью струи воды, нагнетаемой под давлением.

Кровлеобразные перемычки по фиг. 443 применили в Норрфорсе. В скалу их заанкерывали, однако, только там, где верхний слой морены был тонок. При более толстом слое перемычку закрепляли и уплотняли в самом моренном грунте (фиг. 444). Давление воды при конструкции



Фиг. 436. Меркфосс-Сольбергфосс. Струенаправляющая дамба из бетонных массивов.



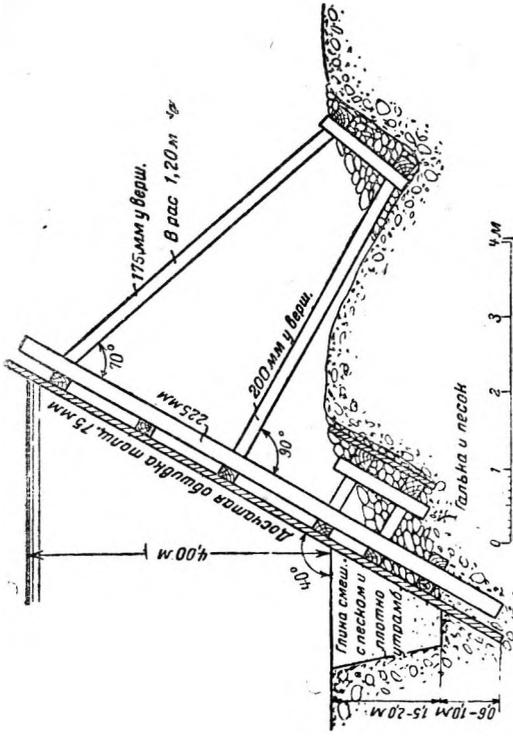
Фиг. 437. Меркфосс-Сольбергфосс. Нижняя перемычка из железобетона.

стройка установки Форсхувудфорс продолжалась в течение 4 строительных лет с многократным подразделением котлована по фиг. 438. Отдельные перемычки строились различно, в зависимости от характера подпочвы и преобладающего напора (фиг. 442). В отличие от системы жестких и тяжелых бычков в Фрикфорса все перемычки, подверженные высокому напору (до 9 м), заанкерывались здесь с помощью двухдюймовых анкеров из круглого железа в прочную скалу, так что их устойчивость не зависела от сопротивления трения моренного верхнего слоя. Скважины для анкеров бурились в обсадных 4—6-дюймовых железных трубах, которые в местах, где скала была перекрыта толстым слоем морены, дово-

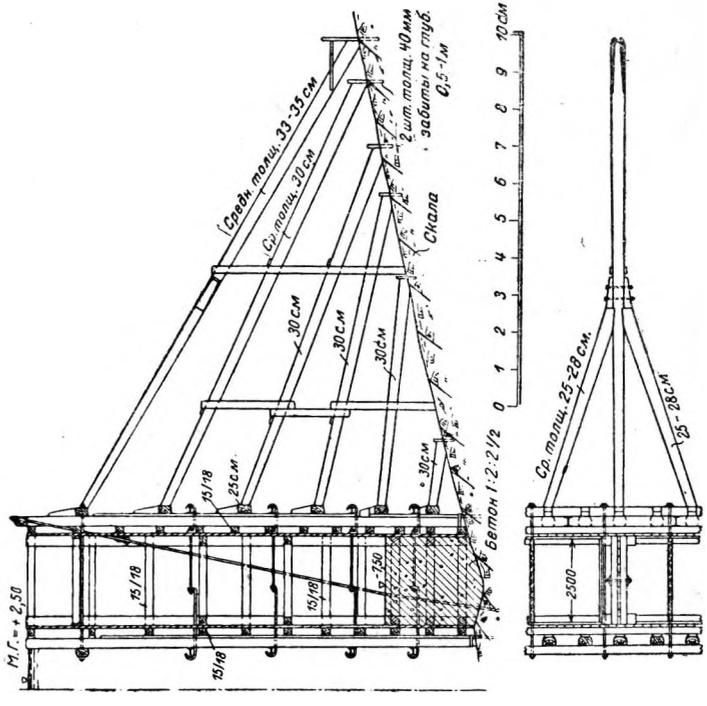
этого рода передается от наклонной напорной стены посредством деревянных подкосов на достаточно обширную площадь. На напорной стороне основание уплотнено тщательно утрамбованной глиной, смешанной с песком. Вода, неизбежно просачивавшаяся через эти перемычки и под ними, без ущерба для работы отводилась через каменную засыпку выемок, в которых лежали несущие ростверки. Кровлеобразные перемычки — очень старое достояние северной строительной техники — распространены широко.

Самые высокие перемычки, возведенные до настоящего времени на севере (вероятно, самые высокие вообще), были построены в Гетаэльве при сооружении гидроэлектростанции Лилла

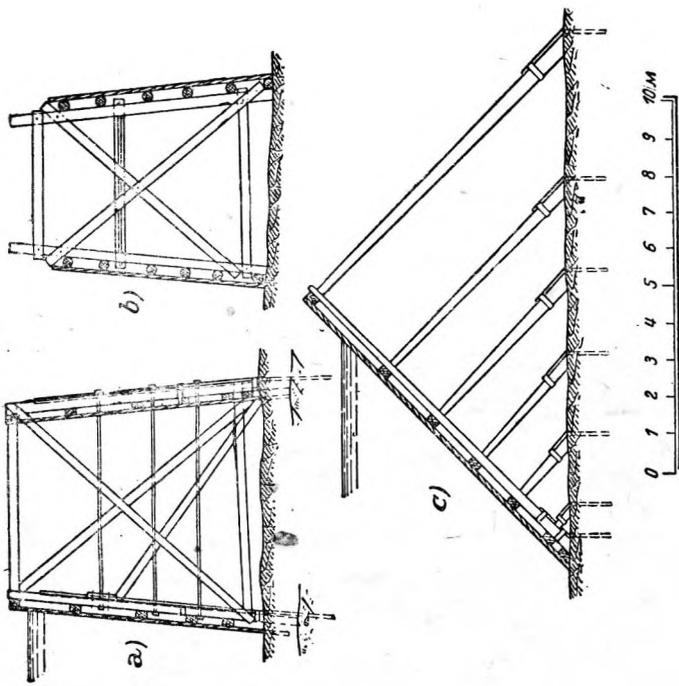




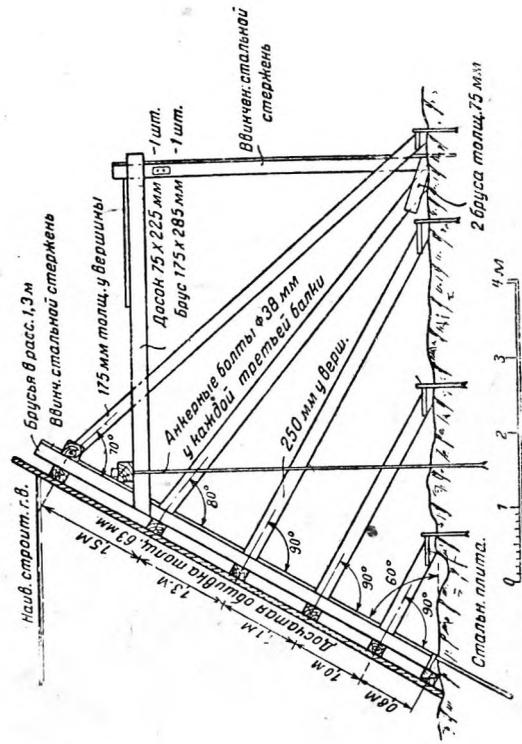
Фиг. 444. Сечение перемычки Норрфорсена при толстом слое морены.



Фиг. 445. Поперечное сечение перемычки Лилла Эдет.

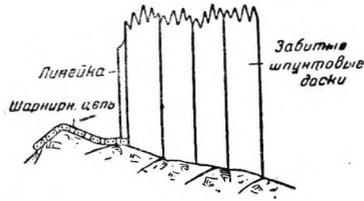


Фиг. 442. Поперечные сечения перемычек плотины Форсхувудфорсен.



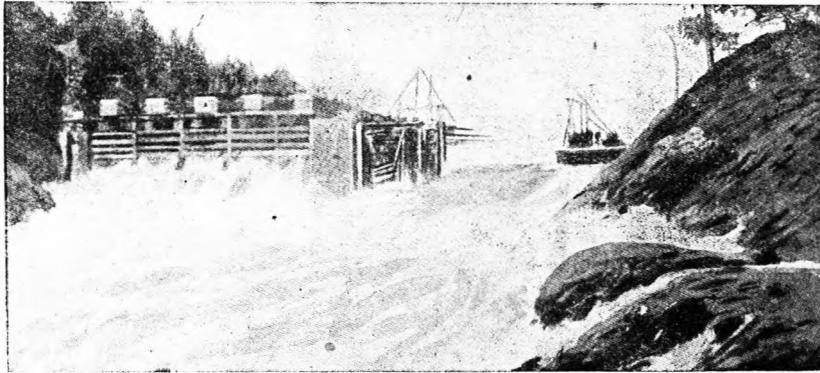
Фиг. 443. Поперечное сечение перемычки у Норрфорсена.

на твердое дно реки, по возможности на скалу. Этот же ряд стоек поддерживает сплошную верхнюю обвязку, которая с помощью вытянутых

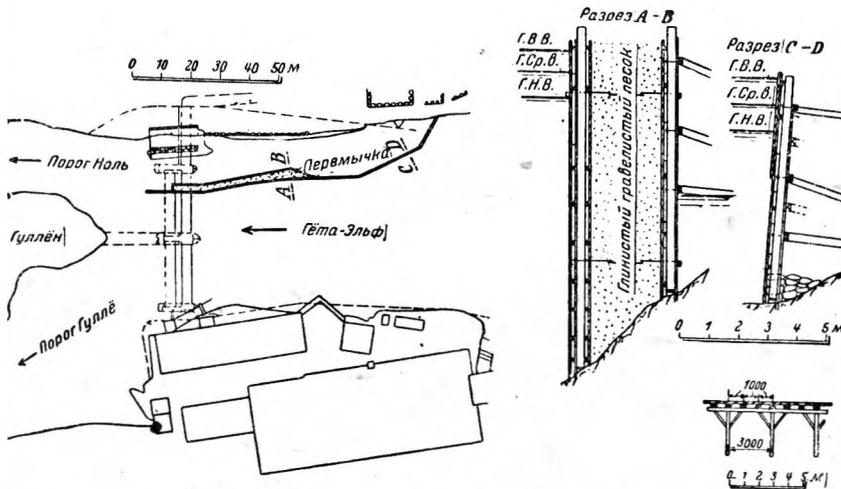


Фиг. 446. Снятие шаблоном профиля дна для перемычки Лилла Эдет.

диагоналей из круглого железа заанкерована в скале. Эта заанкеровка воспринимает (вместо обычно применяемого каменного баласта) направленную кверху составляющую давления



Фиг. 447. Перемычки плотины Тролльхэттан.



Фиг. 448. Расположение перемычек плотины Тролльхэттан.

подкосов и в то же время придает перемычке жесткость, пока подкосы еще не установлены. Материалом для заполнения служил суглинок, а где его не было, — смесь щебня и глины. Уплотнение подошвы достигалось обычным па севере

способом, т. е. точным прилаживанием нижнего конца каждой шпунтины к продольному профилю скалистого грунта; для этой цели водолаз, с помощью шаблона в виде шарнирной цепи, жестко устанавливаемой посредством винтов, снимал отгиски последовательных участков грунта (в других местах шаблоном служила полоса листовая меди, фиг. 446). При максимальной высоте 12 м издержки на эту перемычку составили 6 000 шведских крон на 1 пог. м (около 7 000 германских марок).

Нередко постройку перемычек ведут наперерез потоку, несмотря на трудности, вызванные большими скоростями течения и значительной глубиной многих северных рек (фиг. 447, 448). При этом чаще всего выводят вперед временные направляющие стенки или подсобные перемычки, чтобы отклонить течение. Такую вспомогательную перемычку из простой шпунтовой стенки

в форме кровли соорудили, например, при постройке главной перемычки для регулирования реки у гидроэлектростанции Этэс в Финляндии; позади этой подсобной перемычки возвели главную перемычку. При постройке установки Сольбергфосс, очень трудной благодаря узкому скалистому руслу реки, в качестве подсобной перемычки служил мол из больших бетонных массивов, сброшенных с помощью кабельного крана; этот мол был не вполне водонепроницаем, но создал достаточно тихую заводь, чтобы под его защитой можно было строить каждую зиму необходимые секции перемычек для котлованов плотины (фиг. 436).

Смелость и крупный размах таких методов заслуживают, конечно, всяческой похвалы, но нельзя не признать, что в исключительных случаях постройка оснований с помощью кессонов существенно ускорила и улучшила бы строительные процессы. При той же стройке возвели, впрочем, в нижнем бьефе вполне современную железобетонную перемычку, замыкавшую аванкамеру силового здания, выполненную взрывным способом в скалистом берегу (фиг. 437). В виде интересной детали откачки воды

упоминаем еще об использовании обычно крутого падения места стройки для работы водоструйным насосом без всяких эксплуатационных издержек. Так, например, в Каяне (Финляндия) от верхнего бьефа для этой цели провели через

шпунтовую стенку деревянную трубу диаметром около 0,8 м в свету.

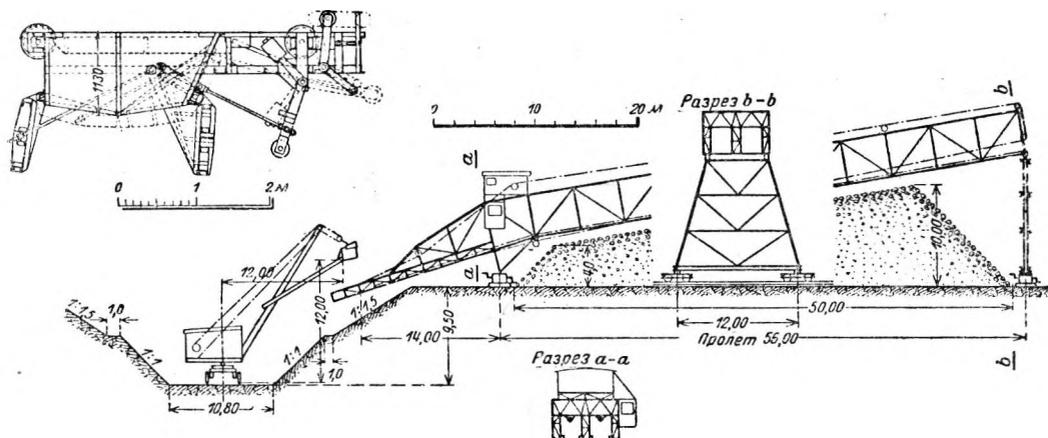
#### § 4. Земляные и скальные работы.

Специфические северные особенности этой категории работ обусловлены характером грунтов (много скалы, тяжелый моренный грунт с многочисленными крупными валунами). Поэтому чаще всего применяется одночерпаковый экскаватор и производится много взрывных работ. Так как обилие хорошего бутового камня и суровый климат повлекли за собой широкое применение каменной облицовки из больших массивов для бетонных стен, береговой одежды каналов и т. д. (фиг. 200), то деррик (крап с укосиной), проник-

недорасходовать. Шведское акц. о-во Алмазного бурения специализировалось на этих работах и на цементной инъекции и работало уже за границей (плотина Веггиталь).

В области подземной разработки выемок можно отметить, кроме постройки больших уравнильных башен, специфические грандиозные подземные залы машинного здания.

Строительство штолен на севере ничем не отличается от средневропейского, кроме разве стремления к максимальной простоте. Отметим смелое применение изломанного продольного профиля для штольни гидроэлектростанции Фолла и удобные, прочные опрокидные вагонетки корытообразной формы с неотделяющимися колесными скатами.



Фиг. 449. Устройство для транспортировки грунта при выемке канала нижнего бьефа в Скогаби.

ший, например, в Германию значительно позднее, уже давно нашел себе на севере широкое и весьма удачное применение. В новейшее время при постройке подпорных сооружений пользуются и кабельными кранами. Редко встречающаяся в густонаселенных местностях необходимость — уложить 900 тыс. м<sup>3</sup> земли, добытой из глубокой выемки отводного капала, общей длиной всего только около 1 200 м, в кавальеры поперечного профиля привела при работах в Скогаби к применению крупных машин (немецких фирм).

При пользовании мостовым краном с двумя большими ковшами, передвигающимися в поперечном направлении, нормальная суточная выработка достигала 1 500 м<sup>3</sup> (максимальная — 2 700 м<sup>3</sup>) при двух 8-часовых сменах (фиг. 449).

Важные работы по разведочному бурению ведутся регулярно и с большой тщательностью; при крупных работах (например, постройка гидроэлектростанции на Иматре) не боятся даже алмазного бурения, исходя из принципа, всегда правильного в области подготовительных работ, что иногда рациональнее перерасходовать, чем

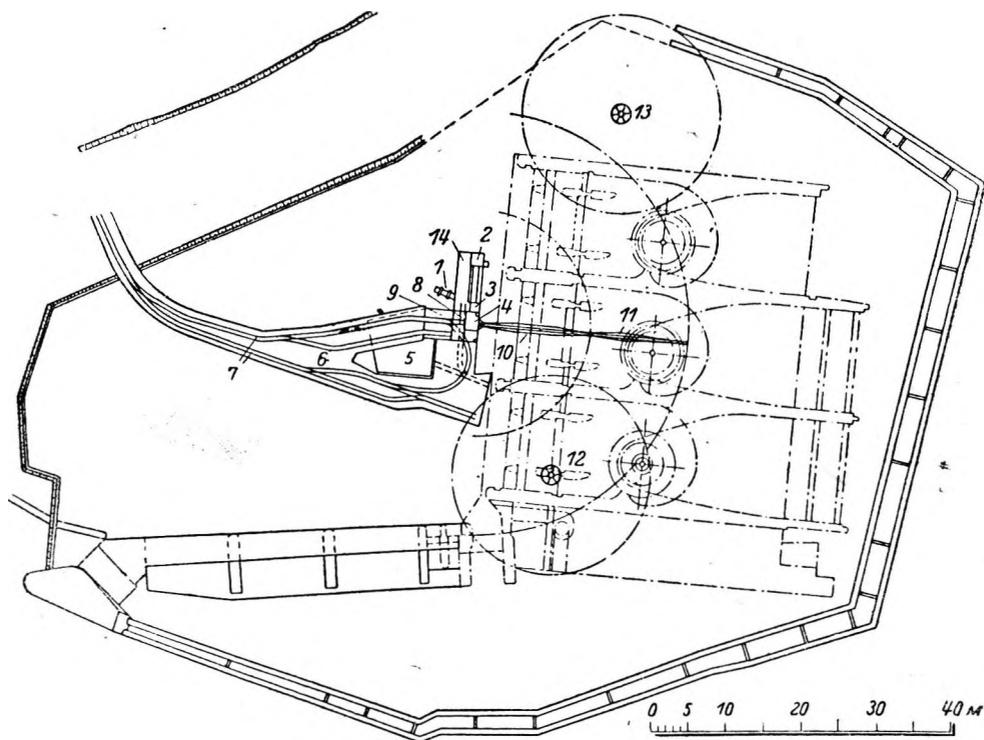
#### § 5. Бетонные работы.

На севере уже давно предпочтительно применяют литой или, по крайней мере, пластичный бетон. Так, например, при постройке установки Форсхувудфос уже в 1918—1922 гг. в большом объеме применяли литой бетон и именно для спиральных камер и других сильно армированных частей. Бетон выливался здесь из опрокидных вагонеток непосредственно в опалубку и перемешивался деревянными шестами с одновременным постукиванием опалубки. Таким образом удалось без всякой обработки поверхностей получить очень плотный бетон. Наряду с этим в Форсхувуде применяли, однако, и другие методы, например, в довольно большом объеме трамбование.

Зато при постройке силового здания для порвежской гидроэлектростанции Сольбергфосс, строившейся приблизительно в те же годы (фиг. 436), уже пользовались специальным крупным бетонным заводом и распределительным устройством для бетона (американского изготовления). Бетон подвозился в тележках па роликах и сбрасывался в подъемные ковши трех башен.

Сложное строительное оборудование, вероятно, очень удорожило эту постройку, но технически работа была выполнена вполне удовлетворительно. В Лилла Эдет не сколько лет спустя (1923 г.) применили вполне современное устройство для

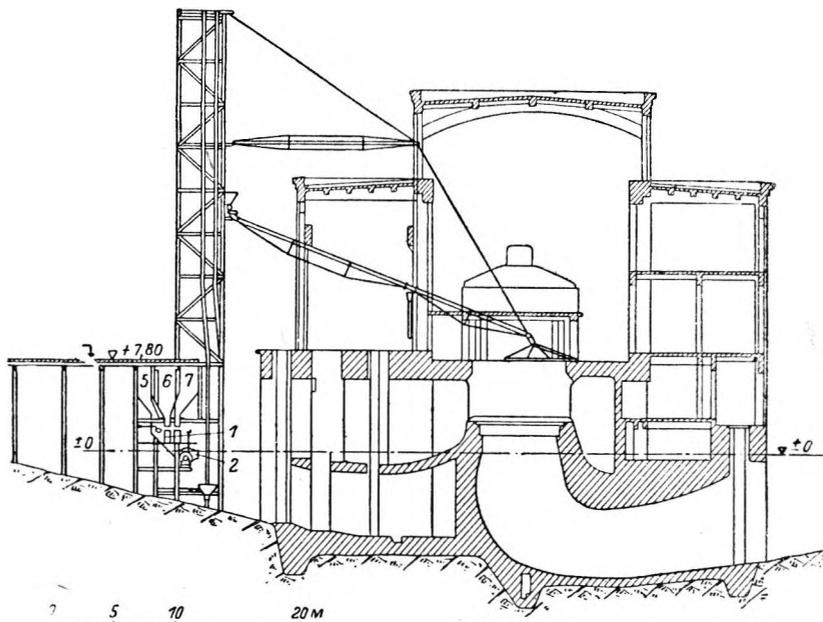
оборудованию силового здания. Кроме того, швам придали с помощью железной арматуры и зубчатого сопряжения возможную большую сопротивляемость растрескиванию (фиг. 456). Крайние монолиты отливались первыми; только



Фиг. 450. Лилла Эдет. Устройство для бетонирования силового здания. План.

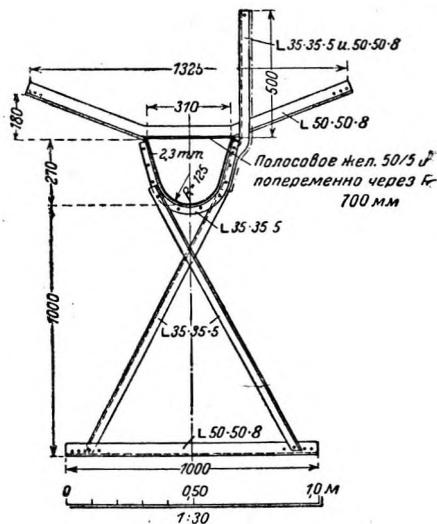
7—лебетка для передвижения желобов; 8—будка для лебедки; 3—мотор; 4—башня с подъемником; 5—бункер для цемента; 6—мост — 7,80; 7—пути к складу щебня и песка; 8—бункера для песка, щебня, гравия и каменной муки; 9—бетонный завод; 10—стрела; 11—желоб для бетона; 12 и 13—деррики; 14—Мост — 3,0.

укладка бетона (фиг. 450, 451, 452, 453). Здесь была установлена одна единственная большая, механическая бетономешалка (Smith Mixer № 2 $\frac{1}{2}$ ) с подъемной башней и с одним большим распределительным краном и с открытыми желобами для литья бетона. Суточная выработка достигала нормально 100 м<sup>3</sup>, при очень напряженной работе — 120 м<sup>3</sup>. Такая же бетономешалка находилась постоянно в резерве, чтобы повреждение работающей машины не вызвало сколько-нибудь существенной потери времени. Отливавшееся сооружение подразделили на «монолиты» (фиг. 454, 455), которые лили в один прием без швов. Подразделение было, таково, что возможные трещины по краям отдельных монолитов не могли причинить особенного ущерба

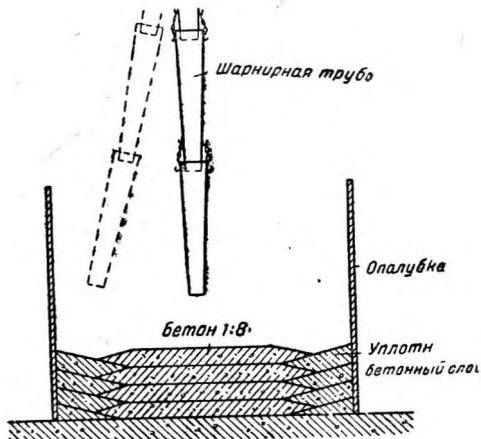


Фиг. 451. Лилла Эдет. Устройство для бетонировки силового здания: разрез.

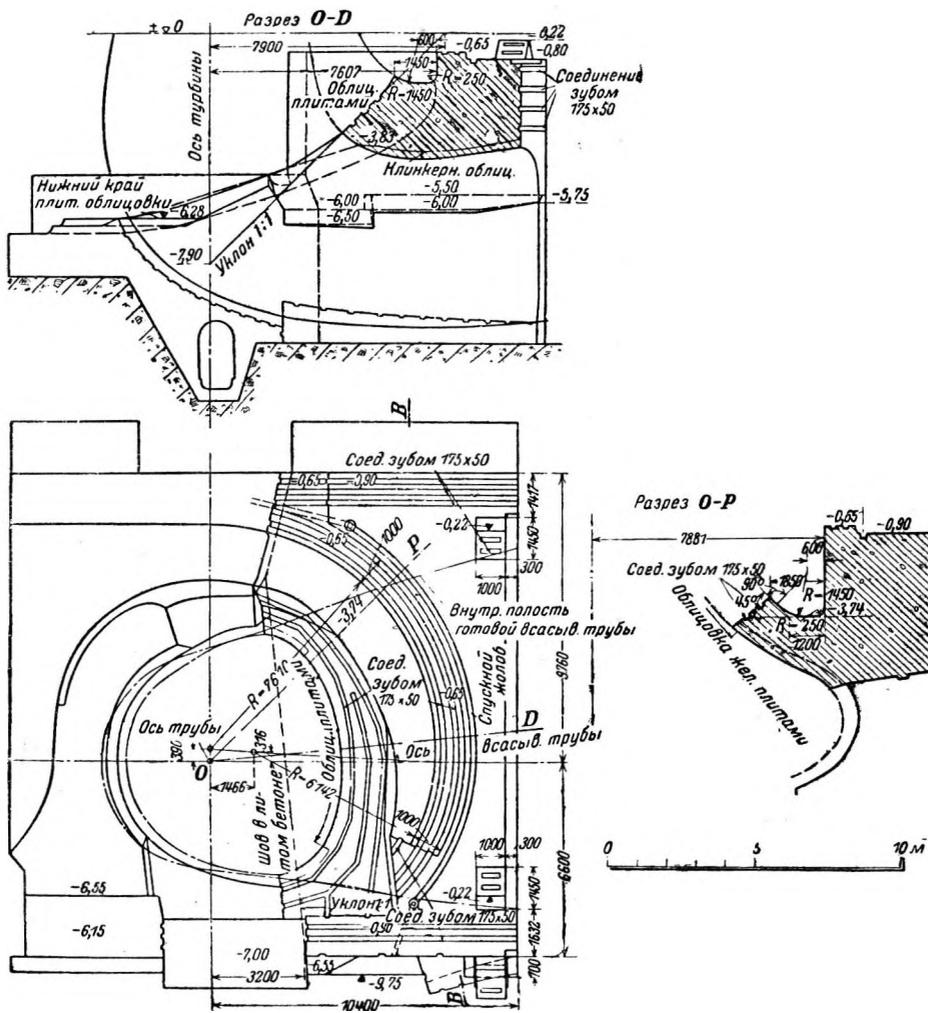
1—дозировочное устройство; 2—бетономешалка № 2 $\frac{1}{2}$ ; 3—пути для транспорта; 4—цемент; 5—гравий; 6—щебень.



Фиг. 452. Лилла Эдет. Жолоб для литья бетона.



Фиг. 453. Лилла Эдет. Литье бетона в уплотняющих слоях посредством шарнирной трубы.



Фиг. 454. Лилла Эдет. Расположение конструктивных швов и опалубки всасывающей трубы III.



слоя (один ряд под напорной частью сооружения, второй — под осью машинного здания). Затем постепенно, идя от одной скважины к другой и постоянно затыкая все остальные деревянными пробками, вдоль каждого ряда с помощью сжатого воздуха вымыли узкую полосу песка. Аналогичным образом каждую полосу заполнили цементным тестом (10 объемных частей цемента: 1 объемная часть песка). Этот остроумный способ позволил избежать хорошо известного дефекта цементной инъекции, когда цемент лучеобразно расходится от отдельных точек в песке в разные стороны. Пробное шурфование доказало, что надежно пропитались только вышеупомянутые полосы, но что цементное тесто от этой полосы разошлось по многим мелким трещинам в гнейсе. В одном месте глубокая шахта насоса прорезала водоносный слой песка. Здесь спасли положение, соответственно расположив буровые скважины конусом (фиг. 460).

Применявшаяся американская машина для инъекции (Grouting Machine) была использована Государственным управлением водопадов и для других работ, между прочим при ремонте входа в турбинные камеры в Тролльхэттане. В более мелком масштабе цементную инъекцию применяли и в Норвегии, например, для уплотнения одежды или пробок в напорных штольнях (Бремангер, Херландсфоссен).

Торкретирование применяется в Северной Европе сравнительно редко. Кроме плотин у Суорвы и одноарочной плотины у Норрфорса Государственное управление водопадов пользовалось этим способом преимущественно при строительстве каналов. Из других случаев можно назвать торкретирование плотины у Брэкке и гидроэлектростанции у Норркепинга. Последняя работа интересна в том отношении, что торкретная штукатурка толщиной 60 мм наносилась здесь на проволоочную сетку, хорошо заанкерованную в кладке. Эта дорогая мера была признана необходимой, так как при постройке плотины не располагали настолько хорошей смесью щебня, чтобы излюбленный способ укладки плотного наружного слоя бетона оказался действительным.

### § 6. Мероприятия для облегчения работ по позднему расширению установок.

В гидротехническом строительстве нередко возникает необходимость учитывать возможности позднейшего расширения установок (в смысле увеличения расхода, высоты подпора, объема

водохранилищ). Особенно характерна для условий запада и севера Норвегии возможность постепенного устройства регулирующих и силовых установок в порядке последующего вовлечения смежных бассейнов стока с помощью водоподводящих устройств. На равнинах плоскогорий, с их многочисленными озерами на примерно равной отметке, плотины иногда сразу возводят на окончательную высоту и ограничивают дальнейшие расширительные работы, использованием больших

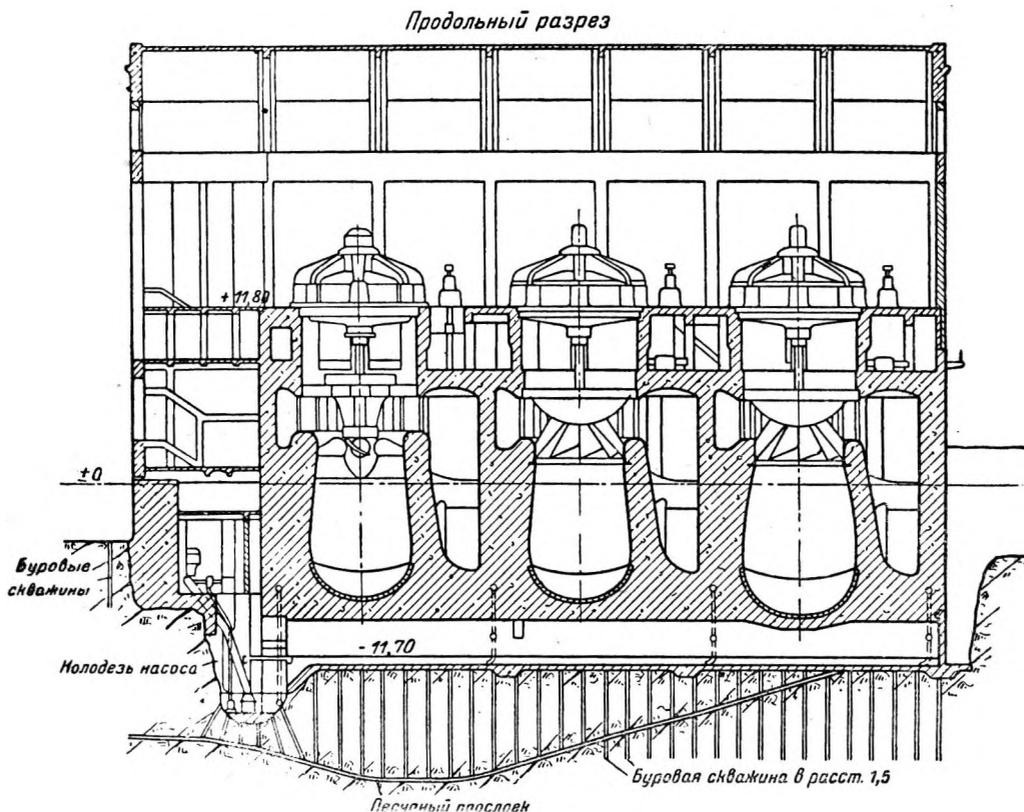


Фиг. 457. Лилла Эдет. Поперечный разрез здания станции.

расходов воды — присоединением соседних озер и областей стока с помощью штолен (Бьельво в Западной Норвегии, Хакавик в Юго-восточной Норвегии, Скарфиорд в Северной Норвегии — особенно характерный пример). В большинстве случаев, однако, и на севере при постепенном увеличении используемых расходов требуется соответствующее повышение плотин, регулирующих

тины, а именно на воздушной стороне оставляли ряд выступающих наружу камней, которые при укладке следующего слоя связывали его с новой кладкой (фиг. 461, 462).

В качестве другого примера упомянем о мерах, принятых при постройке многоарочной плотины в Суорве для ее позднейшего повышения. Размеры построенной части арки с самого начала



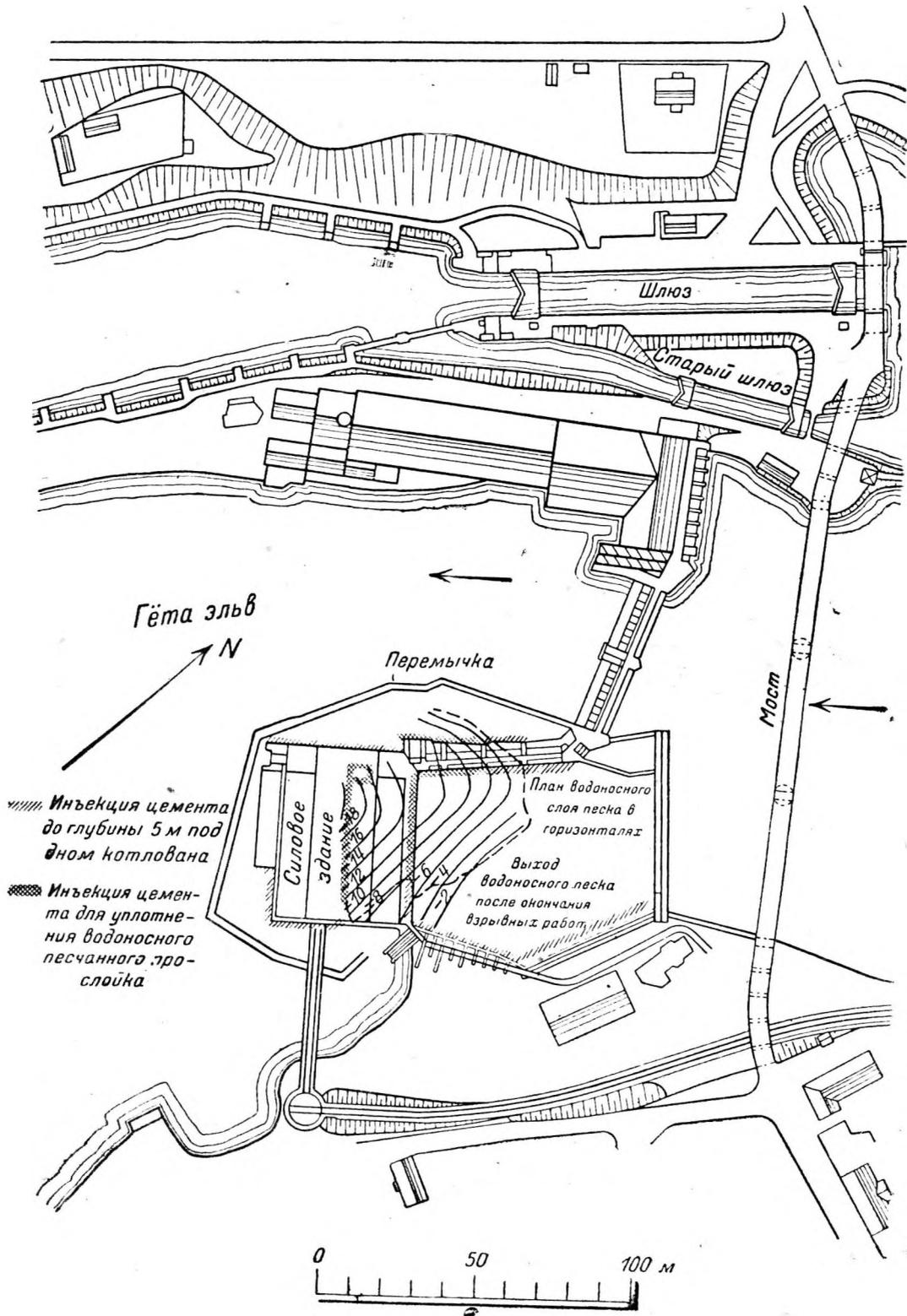
Фиг. 457а. Лилла Эдет. Продольный разрез здания станции.

сток. Так, например, плотина Фискеванд Бергенской городской электростанции — гравитационного типа, из бутового камня, уложенного в бетонную постель — строилась 3-мя последовательными этапами, по 1—2 года каждый, повышаясь в постепенном порядке. Чтобы, несмотря на тесноту места стройки и жестко ограниченный климатом строительный период, возможно было быстро достигнуть максимальной высоты подпора, в каждом случае поперечному сечению плотины придавали только ту ширину основания, какая требовалась для минимального треугольника<sup>1</sup>. Соединение между последовательными слоями, получавшимися при таком процессе постройки, осуществлялось довольно примитивным способом, хотя и допустимом при умеренной высоте плотины,

рассчитаны на окончательное давление, воды и для связи с позднейшей надстройкой в направлении производящей арки оставлены выступающие железные прутья, которые для защиты от ржавчины, смазаны цементным молоком. Контрофорсы имеют на низовой стороне штрубу; вертикальные поверхности штрубы снабжены пазом (фиг. 116, 118).

Для часто встречающегося случая увеличения полного расхода без повышения подпора на севере найдены очень интересные разрешения задачи. Первоначально в речных силовых установках севера довольствовались тем, что неиспользуемые на первое время турбинные камеры отстраивали только настолько, чтобы достройку их можно было произвести впоследствии без существенного нарушения работы установки. Так, например, при постройке государственной электростанции Мотала в средней Швеции не ограничились тем, что довели блоки для трех машин,

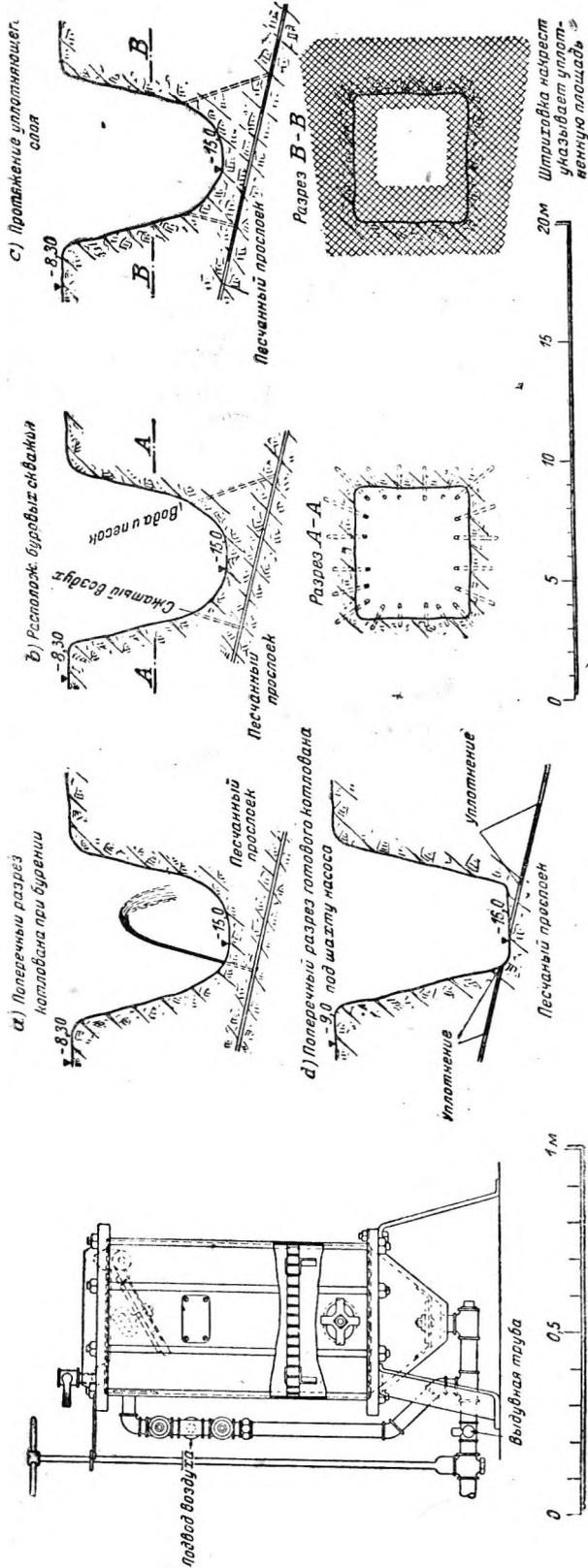
<sup>1</sup> Аналогичный метод повышения Ассуанской плотины по данным W. Willcocks не дал необходимого полного соединения старой и новой кладки. (П р и м. Р е д.).



Фиг. 458. Лилла Эдет. План.

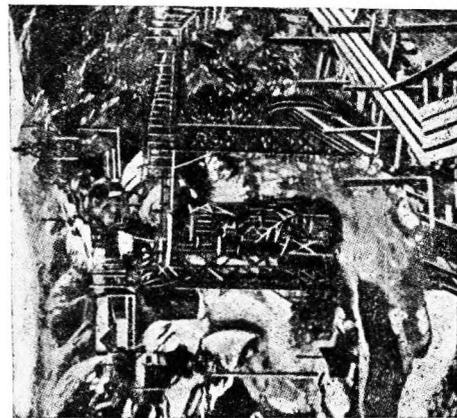
которые должны были быть установлены позднее, до такой стадии, чтобы блоки с помощью щитов могли воспринимать давление воды и вре-

менно работать как водоподъемная плотина, по с самого начала построили часть тех бетонных конструкции, которые еще совершенно не были нужны, главным образом, цилиндрические стенки камер. Сделали это потому, что в случае перерыва бетонных работ этих ответственных частей на несколько лет, не надеялись на безупречное исполнение. Если для расширения установки назначен очень далекий срок, то проценты на капитал, вложенный в неиспользованные части фундамента, становятся очень обременительной статьёй расхода; поэтому в новейшее время стараются, по возможности, ограничить «неиспользуемые подготовительные издержки». Задача разрешается сравнительно просто напр. для средненапорной установки типа Ваммафосс, где сначала построили только часть силового здания, плотину же отстроили целиком, включая впускные устройства и колена для напорных труб, расположенные в плотине. Но и в чисто низконапорных силовых установках за последнее время принято не



Фиг. 460. Лилла Эдет. Выполнение шурфа для насоса, углубленного ниже прослойка.

Фиг. 459. Лилла Эдет. Аппарат для инъекции.



Фиг. 461. Фиг. 462.

Фиг. 461—462. Плотина Фисксеванд. Работы в 1921 г. Общий вид и вид с нижнего бьефа.

отстраивать фундамента полностью в первой стадии постройки, например, и Лилла Эдет или Хэгфорсе. В этой первой стадии предпочтительно отстраивают те турбинные камеры, которые отстоят дальше всего от берега и замыкают промежуток между ними и берегом пустотелым подпорным сооружением, причем придают этому последнему такую конструкцию, чтобы оно впоследствии образовало голову турбинного водозабора; отверстия временно закрывают шандорами, чтобы позднее приступить к отстройке фундаментов турбин.

В новейших шведских силовых установках пошли еще дальше, и для закрытия промежутков построили временные деревянные сооружения; кроме того, окончательно строительную программу разрабатывают в предположении не только увеличения полного расхода, но и постепенного увеличения напора. При этом базируются на том верном наблюдении, что первоначальные издержки низко-и средненапорных установок, перейдя известную минимальную норму, начинают возрастать в такой прогрессии, что могут экономически оправдываться только при использовании больших расходов. Соблюдая эти принципы и устанавливая в первой стадии постройки подвижные затворы дешевых конструкций, с тем чтобы при повышении подпора заменить их более дорогими затворами, но более простыми в смысле работы и более экономическими в смысле ремонта, добились того замечательного результата, что издержки на единицу мощности (крона на 1 л. с.) в первой стадии постройки были не выше, чем в последней<sup>1</sup>.

Своеобразие этих строительных процессов заслуживает более детального описания.

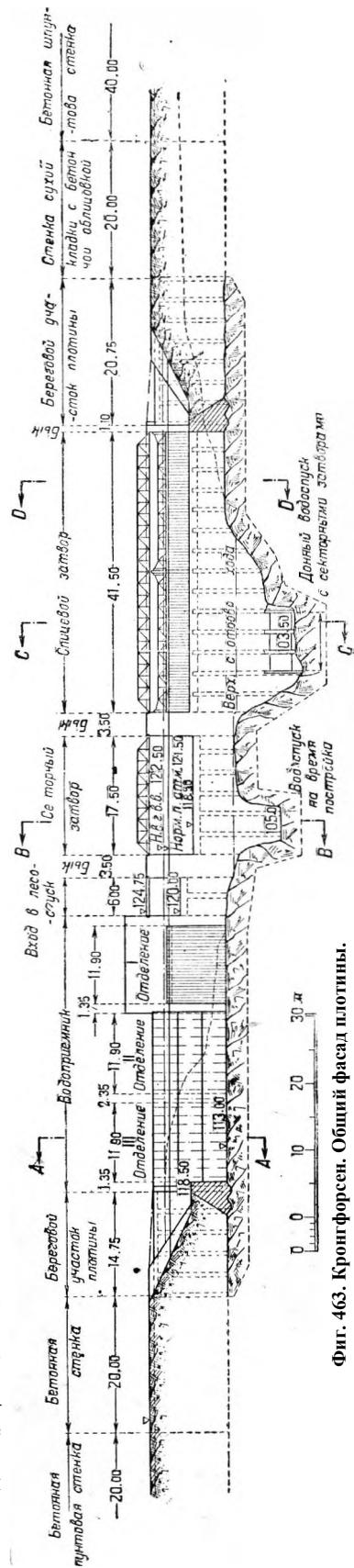
В Кропгфорсе (подземная силовая станция с уравнильной башней в отводящей штольне) предполагалось сначала 4 стадии постройки (фиг. 463, 464):

1. Подпор +118,0; установка первой машины; свободный промежуток до северного берега закрыт деревянной стеной.
2. Подпор повышен до +121,5 (= + 3,5 м); отстроено постоянное водоприемное сооружение.
3. Работы по зарегулированию озера; установка второй машины; расширена аванкамера в верхнем бьефе и построены две новые штольни к северу от первой.
4. Подпор повышен (окончательно) до +127,5 (= +6,0 м): установка третьей машины; рабочие колеса двух первых машин перестроены на больший напор; спицевые и малые щитовые затворы плотины заменены секторными и вальцовыми.

<sup>1</sup> Автор совершенно независимо от северных образцов по тем же принципам и с тем же успехом разработал проект гидроэлектростанции на р. Драве для г. Марбурга (Марибора) 1927 г.

Чтобы по возможности упростить постройку дополнительных частей, постоянные части плотины спроектировали по Амбурсеновскому типу. Расширения вели под защитой спицевых затворов, не прерывая работы установок. Только для сектора потребовалась особая перемычка; во время его установки, регулирование расхода происходило через донный водоспуск, который для этой цели был снабжен сегментным затвором, обслуживаемым электромеханически, и защищался от истирания деревянной обшивкой. Уложенный поверх донного водоспуска тяжелый деревянный промежуточный пол служил для смягчения движения воды внутри плотины. При постройке (начавшейся весной 1926 г.) учли растущий спрос на энергию и решили перескочить через первую стадию и сразу приступить ко второй.

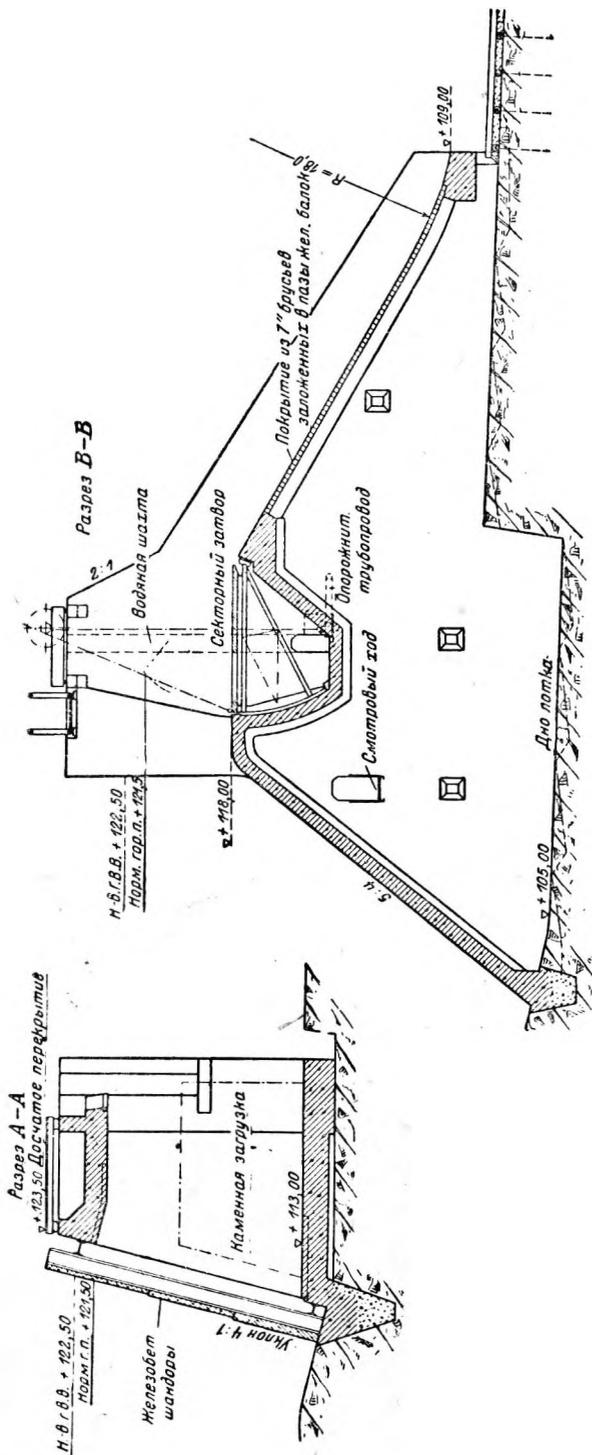
В Хаммерфорсе: постепенная отстройка с повышением подпора на 1,6 м. Затворы плотины: 1 сектор, В — 35 м, и 2 отверстия с подъемными спицевыми затворами. Последние намечено заменить при отстройке затворами крупного типа. Силовая станция сначала работает двумя машинами, впоследствии — пятью. Первые две машинные камеры сопрягаются с левым берегом временным деревянным сооружением. Пристройка



Фиг. 463. Кропгфорсен. Общий фасад плотины.

остальных трех машинных камер может быть легко выполнена без нарушения работ установки.

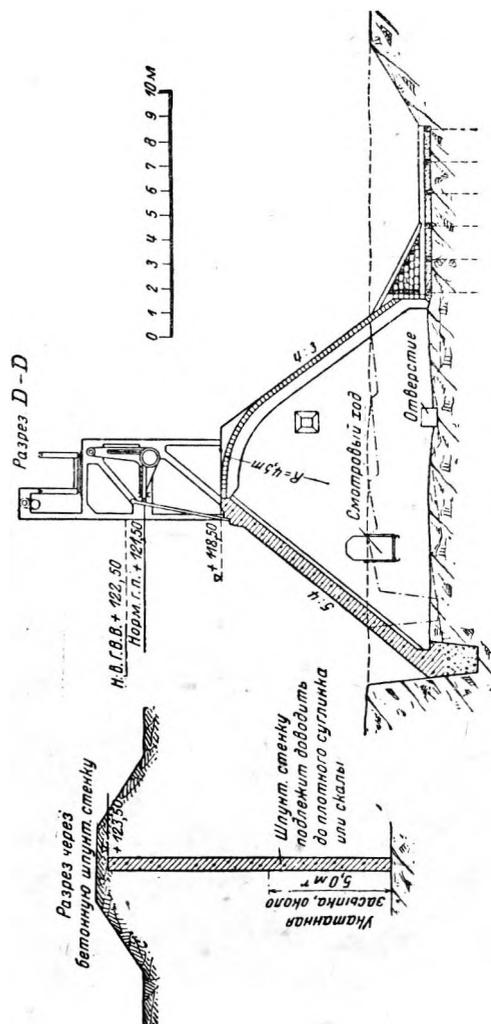
В обеих установках строительный период (первая стадия) был благодаря хорошей организации, по европейским понятиям, чрезвычайно сильно сокращен (продолжительность — неполные 2 года).



Для силовых установок с деривационными каналами наиболее существенная часть работ по расширению нередко выполняема не иначе, как с помощью постройки второго канала, дополнительных линий напорных труб и т. д. Выдающийся пример — Тролльхэттан, где первое расширение удалось выполнить с помощью увеличения напорного бассейна, тогда как для второго потребовалась постройка самостоятельного второго канала и проведение тоннеля под напорным бассейном. Другой крупный пример — Рюкан 1.

### § 7. Организация строительного дела в Скандинавии.

Для организации строительного дела характерно то, что большинство, и притом самых крупных работ, ведется хозяйственным способом, а не сдается с подряда. Только за последние 15 лет создано в скандинавских странах несколько строительных фирм, сравнительно крупного масштаба, по в сферу их деятельности входит преимущественно строительство жилых домов и промышленных зданий; постройкой силовых уста-



Фиг. 464. Кронфорсен. Разрезы (поперечные) плотины.

новок и плотин они почти не занимаются. В Швеции имеются крупные фирмы с филиальными отделениями в Норвегии и Финляндии; в меньшем количестве имеются свои местные фирмы и в этих двух последних странах. Иногда при сдаче с конкурса особенно трудных специальных работ (вне области гидротехнического строительства) подряды сдавались и иностранным (большей частью немецким) фирмам.

Тенденция к производству работ хозяйственным способом наблюдается не только в правительственных органах трех северных стран, располагающих большим хорошо организованным штатом инженеров, состоящих на госслужбе, но и во многих коммунальных предприятиях и в крупных предприятиях электрической промышленности и иных. Эта своеобразная организационная структура строительного дела на севере возникла параллельно с образованием обширных кадров квалифицированных инженеров, частью сомкнувшихся в крупные консультирующие организации. Эти последние занимаются не только разработкой смет и составлением проектов построек и производства работ, но принимают на себя и руководство строительными работами большого масштаба.

Самая значительная из этих инженерных организаций (с техническим персоналом временами превышающим 50 чел.) — Бюро гидротехнической консультации (на правах акционерного общества) в Стокгольме (Vattenbignadsbyran), основанное профессором Рихертом и Свенном Любек. Оно нередко работает совместно с другой строительной организацией (по гражданским со-

оружиям), основанной проф. Форсселем. За исключением государственных, большинство гидротехнических сооружений Швеции строилось Бюро гидротехнической консультации, которое наряду с Государственным управлением водных сил благодаря своим строгонучным методам работы, к тому же свободным от рутины, имеет большие заслуги в области выработки планов водного строительства Швеции и в деле его развития. Помимо названного Бюро работает и ряд самостоятельных инженеров-консультантов.

Крупное развитие гидроэнергетического дела в Норвегии вызвало и там образование нескольких консультирующих инженерных организаций, выполнивших уже ряд крупных строительных работ. В Финляндии до недавнего прошлого для руководства крупными хозяйственными работами временно приглашался соответствующий инженер. Здесь, так же как и в Норвегии, неоднократно работало шведское Бюро гидротехнической консультации, но за последнее время и в Финляндии создано несколько собственных консультирующих инженерных организаций.

#### БИБЛИОГРАФИЯ.

- R a m g o, Eine bemerkenswerte Seilspannvorrichtung, «Bautechnik», № 43, Oct. 1926.  
R o y e n, Betongens Krympning och Svällning, 1924.  
W e s t e r b e r g, Cementinpressningsmetoden vid Statens Vattenfallverks Byggnadsföretag, 1926, № 3, 7, 8, серии В «Tekniska Meddelanden» Госуправления водопадов, Стокгольм.  
S u n d b l a d - P l a s s, Construction of Dams at the Norrfors Power Plant in Sweden (труды Базельской мировой энергетической конференции, № 29).

## Г л а в а II

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ОПЫТ ГИДРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.

#### § 1. Специфически северные трудности эксплуатации.

Типично северные причины нарушения работы гидроустановок и меры борьбы с ними уже трактованы во многих местах настоящей книги, и потому мы дадим здесь только обобщающее и дополняющее изложение природных явлений, нарушающих правильный ход работы, и краткое описание методов борьбы с ними.

**Л ь д о о б р а з о в а н и е.** Лед обычно появляется в воде в двух формах: поверхностный лед и донный лед (игольчатый лед, шуга, собственно донный лед).

Поверхностный лед образуется в проточной воде, начиная от берега; путем срастания отдельных плавающих льдин постепенно образуется сплошная кора льда, которая при таянии снова распадается на отдельные куски плавучего льда. В стоячей воде сразу образуется сплошная,

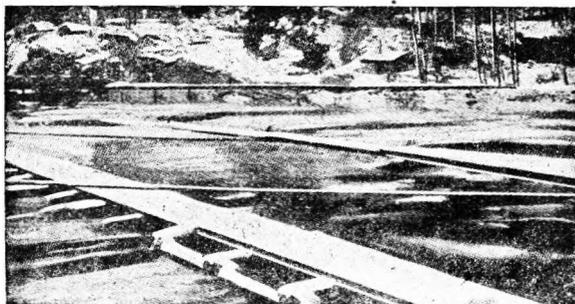
понемногу утолщающаяся кора и благодаря сопровождающему этот процесс выделению тепла остальная масса воды охлаждается в общем немногим ниже  $+4^{\circ}$  С.

Незащищенная ледяной корой быстротекущая вода, в которой вихревое движение препятствует послойному охлаждению, сначала всей своей массой остывает почти до  $0^{\circ}$ , прежде чем образуются большие массы льда. При ясном небе и температуре воздуха ниже  $-12^{\circ}$  С вблизи поверхности образуются ледяные иглы (вытянутые в длину кристаллики), которые разносятся водяными вихрями по всему поперечному сечению. В связи с явлениями переохлаждения они иногда появляются внезапно, сразу большими массами во всем поперечном сечении. Разрастаясь, они собираются в зернисто-тестообразные массы, всплывающие на поверхность (шуга, студенистый лед); или же они примерзают ко дну реки, охлажденному излу-

чением, и образуют донный лед. Последний может разрастись до таких размеров, что, всплывая, он унесит с собой на плаву камни и даже железные части.

Снежный лед образуется при сильном снегопаде и температуре воздуха ниже  $-4^{\circ}\text{C}$ , иногда же благодаря сползанию с берега больших масс снега.

Опасным снежный лед становится тогда, когда при поднышающем ветре огромные его массы,



Фиг. 465. Запаль для защиты от льда в гидроустановке Тролльгеттан.



Фиг. 466. Ледозащитная стенка и льдосбросный шлюз в гидроустановке Тролльгеттан.

скопившиеся на поверхности большого озера, уносятся в реку, а оттуда в деривационный капал (Тролльхэттан).

Если игольчатый лед, или шуга, попадает под неподвижную ледяную кору, то, примерзая к ней, он может быстро закрыть даже обширные поперечные сечения и временно почти совсем остановить течение.

Поверхностные ледообразования менее всего опасны для работы гидроэлектростанций. Крепкая ледяная кора, в которой при сильном холоде образовались температурные трещины, заполнившиеся замерзающей водой, конечно, при ослаблении мороза оказывает давление на прилегающие твердые тела, а стало быть, и на подпорные сооружения и стенки каналов. Это давление льда необходимо учитывать, поскольку

оно создает невыгодные условия нагрузки. Однако в данном случае вопрос идет о чисто статической нагрузке, которая при правильных размерах сооружений не оказывает вредного влияния. Вскрытие льда и ледоход значительно опасней, но, как доказал опыт севера, с опасностью, которой они угрожают силовым установкам (забитие решеток), легко бороться посредством направляющих устройств, отводящих плавучий лед от впуска в канал (фиг. 465) или от силового здания (фиг. 466) с помощью правильно расположенных и достаточно просторных льдосбросных отверстий в плотине и у силового здания. Введение в северном строительстве плотин современных больших затворов вместо прежних щитовых и спицевых с промежуточными стойками знаменовало собой в деле отвода льда от плотины огромный шаг вперед. Большие щиты, сегменты, вальцы, в особенности опускные секторы — новые опускные вальцы (патент MAN) на севере еще не применялись.

Для небольших установок при большой опасности ледяных ударов устраивали, как к Эльверуме, невысокую дешевую глухую плотину значительной длины по гребню. В канале у Тролльхэттана старались компенсировать невыгодное расположение льдосбросных отверстий устройством направляющих стенок новой конструкции в конце канала.

Гораздо труднее защитить гидроэлектрическую установку от донного и игольчатого льда. Наиболее эффективной защитой от него и от связанной с ним опасности обмерзания решеток и турбин является, по общему опыту севера, такое тщательно продуманное расположение всей установки, которое а priori исключает возможность образования этих видов льда. Это требование является, естественно, выполненным там, где забор воды происходит на достаточной глубине большого озера, замерзающего в конце осени, и притом лучше, если вода забирается через штольни. Для полного успеха совершенно необходимо, чтобы в устройстве, подводящем рабочую воду, не могло образоваться льда. В этом отношении деревянные турбинные трубы имеют преимущество перед железными. Поэтому железные трубы охотно укладывают в штольнях или прикрывают тепловой изоляцией. Забор воды из озера с помощью водоспускных штолен очень распространен в Западной Норвегии; отзывы о работе гидроэнергетических установок с такими штольнями чрезвычайно благоприятны. Даже тогда, когда забор воды происходит непосредственно из озера, но между озером и штольней находится небольшой участок реки или верхний канал, нередко не наблюдается никакого образования донного льда — шуги, или же ее образуется очень немного; установка такого рода с очень хорошим эксплуатационным опытом — Хиттефоссен у Трондьема.

Нередко, однако, условия бывают не так благоприятны, как это, например, наблюдается у гидроустановки Аавелла. При  $-15^{\circ}$  С река между зарегулированным озером и водозабором начинает «шуговать»; затем в длинном деревянном и железном трубопроводе образуется лед, так же как и у стенок нижнего канала и в русле реки. Иногда за ночь скопившийся лед задерживает столько воды в русле реки выше водоприемного сооружения, что бассейн совершенно опорожняется. После того как образуется сплошная ледяная кора, условия улучшаются. Ледообразование внутри трубопровода зависит от подвода воды, от температуры воздуха и воды, от расположения трубы в отношении земной поверхности. Лед, приставший к стенке трубы, отделяется при потеплении и уносится в турбину в которой он может защемяться, и вызвать сильные удары воды.

При скоростях течения в верхней части железной трубы выше 1 м/сек ледяной слой остается топким и незаметно сходит. На участках труб, проложенных в земле, ледообразование затрудняется. Для защиты открытых горизонтальных участков деревянную и железную трубу затрамбовывают снегом. Снегопад тоже защищает незакрытую трубу. Так как, однако, снег — даже при температуре воздуха  $-5^{\circ}$  С легко тает у трубы, то оказалось выгодным прикрывать трубу ельником, чтобы снег не прикасался непосредственно к стенке трубы. При небольшой нагрузке открывают задвижку холодного спуска, как только температура падает ниже  $-15^{\circ}$  С.

Если утилизируется длинный участок реки с несколькими порогами без между лежащих озер, то образование игольчатого и студенистого льда можно предупредить только в том случае, если условия местности позволяют строить силовую установку, как подпорное сооружение, без длинных дериваций. В этом случае ледяная кора водохранилища дает защиту от охлаждения. Там же, где длинных дериваций избежать невозможно, удается предупреждать все опасности ледообразования путем постройки цепи закрытых подводных устройств что, например, исполнено в Порьюсе и проектируется для примыкающей установки Харспрангет. Опасностей льда можно избежать и в установках с длинным открытым верхним каналом, если размеры этого канала настолько обширны, что спокойное течение позволяет рано образоваться предохраняющей коре льда. Интересным примером является установка Яарнет на крайнем северо-востоке Норвегии, где, несмотря на долгие холода ниже  $-40^{\circ}$  С но имеющимся сведениям, лед не вызывает никаких осложнений. Это объясняют обширными размерами верхнего канала и тем обстоятельством, что напорный трубопровод деревянный и, кроме того, зарыт в землю.

Своевременному образованию ледяной коры, имеющей такое важное значение, способствует на севере, планомерно угадываемые в каналы или спокойные участки реки, плавучие поперечные балки или целые цепи балок. Можно достигать той же цели, выдвигая в реку неотесанные бревна, начиная от берега и затем постепенно, от края образовавшейся ледяной коры к ее середине. Под обширной ледяной корой припльвающие сверху ледяные иглы снова тают, если они плывут не слишком большими массами.

Если, однако, воду подводят по длинному открытому деривационному каналу со значительной скоростью течения, как, например в Кикельсруде у Гломмена, то образование игольчатого и донного льда неизбежно. Оно тем более неизбежно у низконапорных установок с небольшим водохранилищем непосредственно ниже не утилизируемого участка реки с порогами. Этих условий нельзя избежать в промежуточной стадии даже при планомерной полной утилизации высоты падения, по крайней мере, в том случае, когда отдельные ступени утилизации отстраивают, начиная снизу. Яркими примерами таких установок, в данное время еще находящихся в неблагоприятных условиях борьбы со льдом, являются Тролльхэттан в западной Швеции, Эльвкарлеби в центральной Швеции, Крингсъяа в южной Швеции, Этсэ в Финляндии, Хафслунд и Вамма в Южной Норвегии и т. д.

Главные затруднения на этих установках заключаются в обмерзании решеток. За исключением Крингсъяа, где только изредка внезапно образуется между отдельными прутьями лед, который легко удаляют околкой, остальные упомянутые гидроустановки борются со льдом посредством электронагрева решеток по проекту инж. Хольмгрена (Тролльхэттан). Против забивания плиточным льдом нагрев не помогает, при наплыве студенистого льда приходится помогать соскребыванием, эффективным всего преодолевается игольчатый лед. (В самое последнее время якобы обнаружено, что интенсивное освещение воды заставляет таять ледяные иглы, находящиеся во взвешенном состоянии.)

Судя по ответам на разосланную анкету, наиболее неблагоприятные условия ледяного режима наблюдаются на гидроэлектростанции Этсэ в Кумозльве. Наблюдаемые здесь явления очень поучительны. Студенистый лед мешает работе станции преимущественно в ноябре и декабре, так как на протяжении остальных зимних месяцев ледяная кора, образовавшаяся на верхнем участке реки, задерживает большую часть шуги. Этим объясняется, почему именно необычайно мягкая зима 1924/25 г. была так неблагоприятна для Этсэ и для гидроэлектростанций Кумозльва. Единственная машина в Этсэ, не имевшая электронагрева решетки (№ 1), в течение 10-дневного срока наблюдений в марте ме-

сяще простаивала 12 раз (в общей сложности 37 час.), и выработка ее едва достигла  $\frac{2}{3}$  выработки каждой из остальных 3 машин, работавших почти без перерыва. Непрерывную работу могли поддерживать, несмотря на электронагрев, только тем, что решетки время от времени прочищали скребками. Если таким путем и удается держать решетки в достаточной мере свободными ото льда, то при длительных сильных морозах может случиться, что вода замерзнет между лопатками направляющего аппарата и приостановит работу установки; 4—5 декабря 1924 г. вся станция благодаря этому в течение суток приостанавливала работу трижды. Диаграмма работы (фиг. 467—468) ясно показывает, как внезапно работа прерывается и снова возобновляется.

Генерация тока и расход на нагрев решеток достигли с 8 по 17 марта при температуре воздуха между  $-8,9$  и  $-15,9^{\circ}\text{C}$  следующих цифр:

Таблица 9.

Машина	Решетка	Простой в часах	Генерация тока квч.	Расход тока на нагрев квч.
Машина № I	25 мм без нагрева	37,4	141 000	14 400
„ № II	50 мм с нагревом	4,5	207 900	
„ № III	50 мм с нагревом	3,25	197 900	
„ № IV	50 мм с нагревом	1,40	202 100	
„ № V	25 мм с частичным нагревом	28,05	167 800	
		—	916 700	

С тех пор везде ставились еще более редкие решетки с электронагревом.

Бросается в глаза и только частично объясним различной интенсивностью нагрева относительно малый расход тока на нагрев решеток, если сравнить его с шведскими данными, согласно которым на нагрев расходуется от 1 до 3 м высоты падения. Поэтому в Швеции пошли по линии совершенного отказа от мелких решеток (Лилла Эдет — расстояние между прутьями крупной решетки — 230 мм, близкое к этому в Форсхувуде и др.). При благоприятных условиях климата п местности, как, например, в Йёрпеланде (юго-запад Норвегии), можно отводить студенистый лед, появляющийся в небольшом количестве, поднимая ледяные щиты закрытой плотины, прежде чем лед достигнет решетки, так что электронагрев не нужен даже при мелких решетках.

Другой комплекс затруднений, обусловленных льдом, возникает при обслуживании подвижных затворов плотин, если нельзя отказаться от их работы в течение зимы. Частично эти затруднения причиняет шуга, частично снег и иней, но, главным образом, причиняют их водяные брызги, замерзающие на воздушной стороне ниш быков и порогов затворов. Нечувствительность затвора плотины ко льду, разумеется, тем больше, чем меньше число поверхностей соприкосновения и уплотнений, которым угрожает примерзание, и чем эти поверхности доступней. Поэтому спицы и мелкие щиты между стойками менее всего пригодны для зимнего регулирования расходов, а сплошные затворы, проходящие от одной массивной опоры до другой, всего удобней. Так, например, в Порьюсе (фиг. 142) спицевыми затворами, имеющимися в большей части водосливных отверстий, вообще не пользуются для зимнего регулирования, а работают исключительно поставленным для этой цели вальцом. Долголетний опыт с многочисленными вальцовыми затворами в северных странах доказал, что можно привести совершенно обледеневшие затворы за 2 часа в полную готовность к движению и при надобности поддерживать их в состоянии готовности непрерывно.

Основу положил в этом отношении опыт первого построенного вальцового затвора в Тролльхэттане.

Обобщая, можно установить — наряду с правильной конструкцией затворов и крупных щитов — следующие меры борьбы со льдом, применяющиеся на севере с большим или меньшим успехом:

а) Нагрев коксовыми печами (они подвешиваются внутри вальцов или устанавливаются в тепляке, пристроенном к воздушной стороне щитовых затворов).

б) Проводка пара из парового котла, установленного на центральной станции, для оттаивания смерзшихся поверхностей соприкосновения.

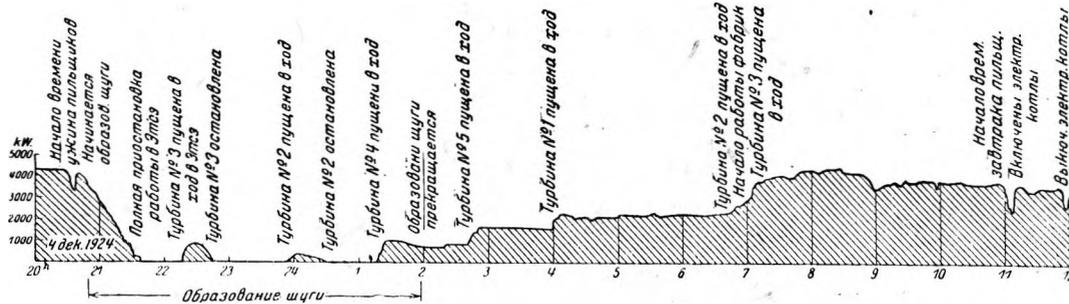
в) Постоянный нагрев ниш в быках горячим воздухом (отработанный воздух генераторов).

г) Электронагрев поверхности уплотнения и прочих соприкасающихся поверхностей.

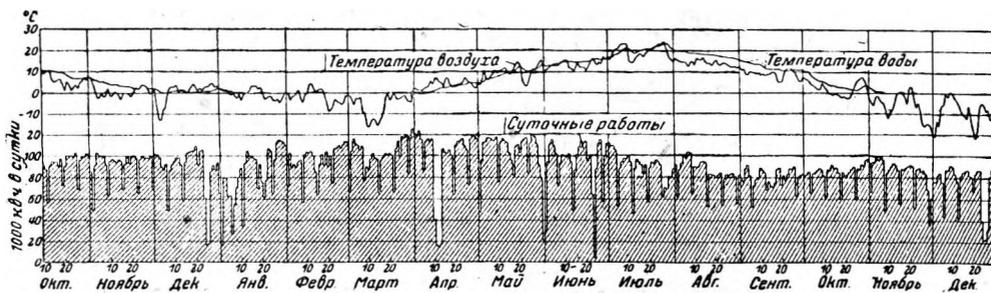
Электронагрев, который за последние 15 лет получил постоянно растущее распространение в большинстве случаев оправдал себя отлично. Постоянное обогревание горячим воздухом до настоящего времени применено только в Форсхувудфорсе. Нагрев коксовыми печами, уже давно применяемый и в средней Европе, эффективен, но дорог и не всегда достаточен. Применение пара в первоначально испробованной форме, т. е. в виде выдувания струи пара через шланг из переносного парового котла, в большинстве случаев себя не оправдало. Зато в Этсэ, где электронагрев в силу местных причин оказался неэф-

фективным, проводят пар из котла, установленного в силовом здании, по термоизолированным трубам в пустоты позади обшивки быков (где прежде были вделаны электронагревающие элементы), прибегая к этой мере при сильных морозах в дополнение к обогреванию коксовыми печами. Этот способ отлично оправдал себя при исключительно суровом ледяном режиме в Этсэ, однако, и здесь, из соображений экономии, в зимнее время держат свободным ото льда только один валец (фиг. 152). Сходное устройство имеется у плотины Норрфорс. В Раанасфосс

Своеобразный вид наносов образуют по сообщению Кольбенштведта (El. Tidskr. Oslo, 11 февраля 1928 г.) личинки некоторых летающих насекомых из рода трихопера, которые любят иногда спокойную, иногда быстротекущую воду и большими массами облепляют камни и особенно охотно железные части. Они развиваются здесь в особые наросты размером в половину ореха (1 нарост на 2 см<sup>2</sup>), содержащие гидраты железа, песок и нитевидные выделения, и например, в Сольбергфоссе значительно стеснили поперечное сечение решеток и вызвали шероховатости и износ



Фиг. 467.



Фиг. 468.

Фиг. 467—468. Этсэ. Температура, выработка энергии и ледовые условия.

(Норвегия) уплотняющие поверхности вальца обгреваются электрически, для оттаивания же секторных затворов пользуются паровым котлом.

лопатоk турбин. Средств борьбы еще не найдено.

## § 2. Наносы.

Почти полное отсутствие затруднений, вызываемых наносами — донными и взвешенными — также характерно для условий работы северных гидроэнергетических установок, как масштаб и широкое распространение затруднений, причиняемых льдом. Это обстоятельство объясняется естественно-географическими условиями (скальный грунт, плоские формы рельефа, тонкий наносный покров, многочисленные озера). Из многочисленных гидроэлектроустановок севера, подробно изложивших свои эксплуатационные затруднения, только Сулитэльма (акционерная компания Грубер) упоминает о затруднениях, связанных с наносами; здесь донный лед влечет ил и землю, что вызывает быстрый износ осей турбин.

## § 3. Нарушения работы электропередач.

Нарушения работы линий, электропередач происходят благодаря инею и примерзающему снегу. Если линия загружена инеем и снегом, то даже слабые порывы ветра вызывают соприкосновение проводов, а стало быть, сначала короткое замыкание и нарушение работы, а в дальнейшем — повреждение материала провода вольтовой дугой, благодаря чему провода рвутся даже при умеренном ветре.

Разрыв провода может произойти, впрочем, при сильном давлении ветра и без предшествующего соприкосновения, благодаря одному обледенению, которое вызывает чрезмерное увеличение площади воздействия ветра. Такие ветры исключительной силы могут ломать и мачты.

Максимумы нагрузки ветра установлены с достаточной точностью еще не для всех областей

севера Европы и трудно установимы вообще благодаря большому разнообразию местных условий. Самые опасные нагрузки, наблюдавшиеся в Швеции по настоящее время, были обнаружены при катастрофической снежной буре 23 октября 1921 г. Все линии средне-шведской государственной центральной системы пострадали очень сильно, особенно сеть Тролльхэттана, преимущественно у западного побережья; причем было поломано очень много мачт. Максимальная измеренная мгновенная скорость (достаточная для поломки мачт) равнялась у западного побережья 32 м/сек, средняя скорость (достаточная для разрыва проводов) — 22 м/сек. Согласно опытам Прандтля соответствующее давление ветра (на плоскостную проекцию) было исчислено в 125 и 36 кг/м<sup>2</sup>. Ледяная кора проводов имела на некоторых участках диаметр 100 мм. На главных линиях Тролльхэттана (исключая

особо защищенные участки) средний диаметр ледяной коры равнялся 75 мм. При указанной толщине и среднем удельном весе в 0,55, получается ледяная нагрузка в 4,4 и 2,65 кг/м. Еще большая толщина ледяной коры наблюдалась в отдельных случаях в Западной Норвегии.

Электростанция Кристианзунда сообщает, что на ее 60-кв линии наблюдался слой инея диаметром 5" (127 мм), вызванный мокрым снегопадом при тихой погоде и последующим морозом; сильные бури здесь не редкость, и мачты приходится постоянно укреплять анкерными тросами. Другие электростанции севера и запада Норвегии также сообщают о необходимости укрепления линий в широком масштабе, так как ко времени постройки этих последних опытного материала о предстоящих нагрузках было еще недостаточно.

### Глава III.

## ОБСЛУЖИВАНИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

### Автоматические установки.

Эксплуатационные издержки<sup>1</sup> на единицу электрической энергии, генерированной на гидроэнергетических установках Швеции, исследованы Любеком на основе статистических данных, сообщенных 233 станциями разного рода и мощности. Он установил принципиально признанную сильную зависимость эксплуатационных издержек от мощности установки: средние цифры для мощности менее 500 л. с. — 35 крон на 1 л. с. в год и для установок с мощностью выше 10 000 л. с. — 7 крон на 1 л. с. в год; для самых больших установок цифра падает до 4 крон 1 л. с. в год. Если бы мы сопоставили одни только издержки на личный состав, то, несомненно, выявился бы еще больший относительный рост по мере уменьшения мощности установки. Издержки на личный состав особенно тяжело ложатся не только на счет эксплуатационных, но и на счет общих годовых издержек в совсем маленьких установках.

Хотя в общем на севере по целому ряду других причин и идут по линии создания все более крупных установок, но существует, тем не менее, немало областей, где местные условия (редкое население, обширная сеть выгодных для эксплуатации мелких источников гидроэнергии) экономически оправдывают существование небольших установок. В странах, бедных капиталом, нижний предел выгодности утилизации мелких источников гидроэнергии лежит гораздо ниже, чем в странах, богатых капиталом. Если, например, какой-нибудь город располагает нес-

колькими мелкими источниками гидроэнергии, то совершенно естественно возникает система постепенного расширения снабжения города электроэнергией путем последовательной постройки силовых станций и, далее, посредством регулирования озер и соответствующего усиления работы гидроустановок. Примеров этому, особенно в Швеции и Норвегии, очень много, например, снабжение города Гэфле в Недре-Норрланд энергией трех небольших ступеней падения Гэфлеона. Также часто наблюдается еще и в наше время — веке областных централей, что отдельные промышленные предприятия утилизируют свои местные мелкие источники энергии, вместо того чтобы присоединяться к линии общего электроснабжения. При этом играет роль и то соображение, что собственный источник энергии защищает промышленное предприятие от повышения цен на важную статью издержек себестоимости, именуемую «рабочая энергия».

Для таких мелких силовых установок очень важно по возможности ограничивать издержки па личный состав. Цахриссон указывает для этого три пути:

1. Ограничение рабочего времени мелких установок, входящих в одну обширную систему, хотя бы одной сменой (экономично только при интенсивном регулировании расходов воды).

2. Машинисту установки разрешается заниматься побочным промыслом, даже во время смены, или же квартиру машиниста помещают в самом силовом здании и предоставляют ему выполнять надзор за машинами сообща с членами его семьи, установив распорядок по своему усмотрению. Это, конечно, возможно только при надежности работы машин, превышающей

<sup>1</sup> «Прямые» издержки, включая налоги, страхование, ремонт.

обычную норму. Установка Энефорс является примером такой постановки дела и, по имеющимся сведениям, работает отлично, хотя может быть и не приспособлена к дальнейшему развитию.

3. Важнейший путь для экономии издержек на персонал — более или менее полная *автоматизация*. Этим обычно достигается и качественное улучшение работы, что даже для больших центральных станций важнее экономии на издержках. Так как для мелких установок (примерно ниже 100 *квт*) первоначальные издержки на автоматизацию слишком высоки, то на севере вплоть до 1928 г. довольствовались «полуавтоматическими» установками.

Полуавтоматическая работа требует только периодического недолгого присутствия машиниста по несколько раз в день, благодаря чему один человек может обслуживать несколько соседних установок. Он может выполнять не только работу по пуску в ход, остановке, синхронизации и проверке машин, но и ряд других работ, не требующих большой затраты времени, как, например, обслуживание затворов и решеток, автоматизация которых для мелких установок ниже 100 *квт* сопряжена со слишком высокими первоначальными издержками. Вообще различают два основных типа автоматических или полуавтоматических установок: 1) самостоятельные и 2) контролируемые и управляемые на расстоянии.

Самостоятельные автоматические установки Швеции — все полуавтоматические, т. е. пуск в ход, синхронизация и остановка должны производиться на месте вручную. Постоянная работа регулируется автоматически, а при нарушениях начинают действовать автоматические выключающие приборы. Примеры: Верперид, Брантафорс (Роннебион), Стэллеборг Эвре (Гавлеон), Майенфорс (Лаган).

Автоматические установки, управляемые на расстоянии, контролируются с соседней установки по электрическим указателям на расстоянии и в большей или меньшей степени управляются также на расстоянии; или же их частично пускают в ход, останавливают и синхронизируют вручную. Примеры: Хемсье Недре (Мэррумсон), Стэллеборг Недре, Стрэмборг и Толльфорс (Гавлеон), Тифорс, Бро (Лаган). Большая, полностью автоматизированная установка начата постройкой в 1928 г. в Сурахаммаре (Швеция); эта установка с турбинами Каплана мощностью 1400 л. с. управляется с более старой центральной станции при помощи нажимных кнопок неквалифицированным персоналом. Производительность автоматически согласуется с притоком воды. Установка работает параллельно с несколькими мелкими установками и с Эльварлеби. В Норвегии Фрэйстул является полуавтоматической крупной станцией; в Финляндии автоматических установок не

имеется. Техническое оборудование автоматических установок находится еще в стадии эволюции, почему здесь замечается большое разнообразие типов.

Первая полуавтоматическая гидроэнергетическая установка Швеции — Хемсье Недре в Мэррумсоне (построена в 1916 г. акционерной компанией Хемсье). Эта установка с одной четырехколесной турбиной в 2 600 л. с., оборудована для управления на расстоянии с установки Хемсье Эвре, расположенной на 1,2 км выше по течению. Управление на расстоянии охватывает не только пуск в ход и остановку, но и текущую работу, причем на верхнюю установку автоматически сигнализируется всякое недопустимое повышение температуры подшипников, всякое превышение верхнего и нижнего допустимого предела давления масла в регуляторе и т. п. У турбины находится автоматический регулятор, сервомотор которого управляется на расстоянии с верхней установки. Автоматического выключательного прибора нет, и выключение и пуск машины в ход выполняются машинистом, которого по телефону вызывают с верхней станции. Кроме пуска в ход и остановки машины ему поручен и осмотр ее и ремонт. Так как немедленная установка машины, как явствует из вышеизложенного, невозможна, то надзор и ремонт играют большую роль, чем на других электроустановках; поэтому машинист обязан немедленно устранять даже мельчайшие дефекты, обнаруженные при осмотре. Установка отлично работает с 1917 г. Акционерная компания Хемсье на основании этого благоприятного опыта переоборудовала по таким же принципам целый ряд мелких силовых установок в Роннебионе на частичное управление на расстоянии и на частичную автоматизацию, в том числе: Верперид и Брантсфорс (Роннебион). Так как обе эти установки не могут управляться на расстоянии с соседней более крупной установки, то, в целях возможного упрощения регулирующего устройства станций, эксплуатация их происходит так, что станции работают только в течение части дня, но с постоянной производительностью, причем более детальное приспособление к колебаниям загрузки в сети возложено на более крупные станции, работающие на эту же сеть. Машинист обязан пускать в ход одну или обе машины на каждой установке, смотря по расходу воды и по времени дня. При необычайном повышении или падении уровня в верхнем бьефе машинисту (посредством поплавковой сигнализации) подается тревожный сигнал.

Самая крупная полуавтоматическая установка Швеции (в свое время — и во всей Европе) — Майенфорс (Лаган) — может считаться представительницей ряда установок автоматизированных южно-шведской компанией.

Эта установка развивает при трех машинах мощность в 4 500 *квт* и располагает обширными водохранилищами. Для регуляторов турбин сохранили поэтому их прежние специально установленные ограничители отклонений для достижения работы с наивысшим к. п. д. Водохранилище позволяет поддерживать работу одной машины в течение целой ночи, причем машиниста не приходится тревожить по случаю опасного падения напора вследствие понижения уровня воды в водохранилище.

Кроме обыкновенного регулятора турбин, приводимого ремнем, имеется еще непосредственно соединенный с валом турбины маятниковый выключатель для непрерывного регулирования. При понижении давления масла подается тревожный сигнал; и турбина выключается; ведется наблюдение за температурой всех подшипников и трансформаторов (Сименс). Совершенно перестроенное распределительное устройство содержит из автоматических аппаратов, главным образом, приборы для прерывания возбуждения при выключении масляника на стороне высокого напряжения, сигнал при заземлении в цепи возбуждения, контактное реле для контроля напряжений, максимальный автомат и автомат, действующий при обратном токе для машин возбуждения, далее батареи и трансформаторы для цепей тока аппаратов управления и сигнализации. Установка работала все время безупречно. Персонал свели до одного машиниста и одного сторожа, и издержки на переоборудование покрылись в течение одного года экономией на эксплуатационных издержках.

В качестве другого примера гидроэлектрической установки, управляемой на расстоянии, назовем городскую электростанцию Гавле в Гавлеоне. Город Гавле располагает тремя гидроэнергетическими установками: Толльфорс (временная мощность 1 800 л. с.), Стрэмсборг — 400 л. с. и Стрэмдален — 1 100 л. с. Гидротехническим сооружениям Стрэмсборга уже 50 лет, но машинная часть оборудована заново в 1923 г. и рассчитана на 2 агрегата по 400 л. с., для чего, однако, следовало бы сначала расширить старый канал или построить новый. Установка Толльфорс принята в эксплуатацию в 1926 г. Стрэмдален — средняя по мощности и единственная постоянно работающая установка — содержит все распределительное устройство; обе более мелкие станции не только контролируются отсюда, но — в отличие от вышеприведенных примеров — также и синхронизируются. Остановка происходит не только с помощью управления на расстоянии, но, в случае опасности, совершенно автоматически. Турбина в Стрэмсборге не имеет регулятора, так как маленькая машина никогда не работает одна. Для регулирования пуска в ход и остановки к сегменту, заклиненному на валу направляющего аппарата, приделан

противовес, состоящий, с одной стороны, из гири весом 500 кг, с другой — из масляного сервомотора, обслуживаемого масляным насосом с электрическим двигателем.

Для сохранности машины было необходимо наладить работу так, чтобы при отказе двигателя масляного насоса машина выключалась автоматически, и это осуществляется с помощью противовеса. Одновременно должно, однако, производиться и электрическое выключение. Цепь тока двигателя насоса прерывается автоматически, в тех случаях, когда кабель высокого напряжения между Стрэмдаленом и Стрэмсборгом остается без тока, когда турбина работает слишком быстро, когда температура подшипников переходит известную границу и т. д. Такое нарушение сигнализируется в Стрэмдален акустическими и оптическими сигналами. Кроме того, имеется электрический указатель на расстоянии горизонта воды в водохранилище. В Стрэмсборге имеются из аппаратов только выключатели высокого напряжения и предохранители.

Установка Толльфорс достаточно крупна, чтобы иногда работать в одиночку. Поэтому турбины ее снабжены автоматическими регуляторами, и устройство по образцу Стрэмсборга здесь неприменимо. Автоматическое выключение здесь, однако, не менее необходимо, и приводится оно в действие падающей гирей при перегреве генератора тока и при разрыве ремня регулятора без превышения допустимого числа оборотов; зато отсутствие тока не вызывает падения гири, так как иногда может быть желательно, чтобы турбина продолжала вращаться при временном перерыве работы. Падающая гиря с своей стороны приводит в действие главный масляник, прерывающий ток и сигнализирующий о том в Стрэмдален акустически и оптически. Одновременно падающая гиря включает в цепь возбуждения сопротивление и прерывает цепь тока масляного насоса регулятора. Наконец, гиря посредством регулятора воздействует и на направляющий аппарат и закрывает его. По примеру Стрэмсборга имеются электрические указатели на расстоянии уровня воды. Далее, акустический сигнал уведомляет Стрэмдален, если один из нагнетательных масляных насосов перестает работать вследствие обрыва ремня.

В этом случае немедленной остановки не требуется, и станция может продолжать работать до прихода машиниста. Когда падающая гиря оказала свое действие, машину уже нельзя пустить в ход, пока машинист не осмотрит установку и не исправит повреждения.

В отличие от Стрэмсборга Толльфорс оборудован собственными простыми аппаратами, так что может обслуживаться машинистом на месте и работать независимо от других станций. Обе автоматические станции до сих пор работали вполне удовлетворительно. Понятие о величине

сбережений, которые дает автоматизация, можно получить, если учесть, что на небольшую установку, работающую днем и ночью, требуется 3 чел.; при шведских условиях это сопряжено с годичным расходом в 10 000—12 000 крон; при частичной автоматизации или обслуживании на расстоянии эту сумму можно сэкономить почти полностью. В Стрэмсборге вообще никакого машиниста, даже совмещающего другую должность, нет, но 3 раза в сутки установка осматривается машинистом из Стрэмдалена; таким образом чистую экономию на персональных издержках можно оценить минимум в 8 000 крон в год; этому противостоят только незначительные однократные излишние издержки на обзаведение (в Стрэмсборге — 7 000 крон).

В виде примера автоматизации и обслуживания на расстоянии промышленных гидроэнергетических установок назовем две мелкие установки Акционерной компании Стэльберг-Груфве. Одна оборудована на 450 л. с., другая имеет один агрегат на 280 л. с. и другой еще меньший — для освещения зданий и жилых помещений. Обе крупные машины работают параллельно на моторы рудника. Автоматизация и управление на расстояние организованы здесь так: на обе установки имеется один машинист, который живет вблизи более крупной установки; обе установки могут нормально работать без постоянного надзора, так как имеются предохранители, автоматически останавливающие машины при повреждениях, и так как все три машины имеют автоматические регуляторы турбин и напряжений. Только в течение тех часов дня, когда моторы рудника работают полным ходом и временами бывает перегрузка генераторов тока, может потребоваться присутствие машиниста в верхней установке. Отсюда он с помощью автоматической сигнализации может контролировать и самую крупную машину нижней установки. Кроме часов «полной» работы машинист занят только содержанием машин в порядке и соответствующим распределением нагрузки на обе установки, сообразуясь с показаниями автоматического регистратора уровня воды. Наконец, в случае повреждений он должен немедленно прибывать на место. Для этой цели в его квартире имеются сигнальные звонки,

которые уведомляют об автоматической остановке машины вследствие какого-либо повреждения, равно, как о слишком высоком или слишком низком горизонте воды между обеими установками. Таким образом один машинист обслуживает две силовые установки, но, конечно, не в порядке совмещения, а в порядке основной должности.

В предшествующем мы касались только таких видов автоматизации, которые вводятся с целью экономии на эксплуатации и поэтому важны, главным образом, для мелких и средних установок. Независимо от этой цели автоматизацию проводят в большом масштабе и на крупных установках для повышения надежности работы. Так, например, на новой крупной гидроэлектростанции Фрэйстул (Норвегия), где будет иметься постоянный надзор, предусмотрен целый ряд автоматических предохранительных устройств среди них, вероятно, впервые на севере Европы, предохранитель перенагрева — пожара генераторов системы Зибенмана, который может приводиться в действие надзирающим персоналом с помощью нажимных кнопок, помимо чисто-автоматического приведения в действие термометром. Это предохранительное действие от перенагрева — пожара, как известно, состоит в одновременном закрытии клапанов каналов горячего и холодного воздуха и впуске углекислоты через специальный клапан, особо защищенный от замерзания при истечении углекислоты.

#### БИБЛИОГРАФИЯ.

S a m s i o e, Measures taken in Sweden against ice troubles at water power plants., Труды Лондонской мировой энергетической конференции, II, стр. 771 и 806.

K a r l s s o n, On the design of movable dams, Труды Базельской мировой энергетической конференции, № 30.

Eisschwierigkeiten bei Kraft- und Wehranlagen mit besonderer Berücksichtigung der Walzenwehre, рукопись М. А. Н.

S u n d b l a d, Eisverhältnisse bei schwedischen Wasserkraftwerken, Wasserkraft und Wawi. 1928, № 7.

Berggren, Einiges über Eisbildung in fließenden Wasser und seine Einwirkung auf Kraftwerksanlagen. Т. Т. 3 Янв. 1917.

Berggren, Über Eisverhältnisse bei Trollhattan. Т. Т. V. о V 1927.

Velander-Zachrisson, Automatisk drift at Svenska vattenkraftstationer. Sv. V. K. For. Publ. 202 (1928).

Сдано в набор 27 июня 1933 г.  
Подписано к печати 5 июня 1934 г.  
Формат бумаги 82×110.  
Количество бум. листов 14½ Авт. листов 31,6.  
Количество печатных маков в листе 87296.  
Уполномоченный Главлита № В—81325

Ответственный редактор В. К. Р е р и х.  
Технический редактор В и ш н е в с к и й .

Заказ № 2822.

Энергоиздат № 465.  
Тираж 3000 экз.

**СПИСОК ЗАМЕЧЕННЫХ ОПЕЧАТОК**  
(в книге Людина: Гидроэлектростроительство Скандинавии)

Стран., колонка, строка	Напечатано	Должно быть
Вклейка, стр. 16—17	Фиг. 3.	Фиг. 16.
17, прав., 26 сверху	на фиг. 16	на фиг. 16 (см. вклейку под № 3) в конце книги
41, прав. фиг. 44	ёре <i>клев</i>	ёре <i>квтч</i>
43, лев., 29 сверху	$v_{\max} - v_{ax} - v_x (H_{\max} - h_{ax} - x)$	$v_{\max} - v_{ax} - v_x = (H_{\max} - h_{ax} - x)$ .
43, лев., 1 снизу	Знак 1) перед формулой не нужен	
43, правая, 8 сверху	$I_{koh} = 0$	$I_{квтч} = 0$ ,
49, правая, 15 снизу	слились в жно-	слились в южно-
82, прав., 24 снизу	расчетом 28 кг/см <sup>2</sup>	расчетом в 28 кг/см <sup>2</sup>
89, прав., 27 снизу	секторовые),	секторные),
89, прав., 14 снизу	количество у водяных брызг;	количество водяных брызг;
93, лев., 21 сверху	правдал	оправдал
115, лев., 2 сверху	открывать	отрывать
115, лев., 17 снизу	металл	металлического
115, лев., 7 снизу	75 мм	75 см
119, лев., 20 снизу	(упругий отпор	(упругий отпор)
119, лев., примечание	Вестерлинд 1,	Вестерлинд, I
Фиг. 241 подпись	Порьюс I — кривые	Порьюс I. Кривые
132, лев., 15 и 16 сверху	высокой напорной	высоконапорной
132, лев., 18 снизу	(фиг. 259)	(фиг. 258)
132, лев., 1 снизу	длине	оси
137, лев., 12 снизу		Слова "(фиг. 277а)" исключить
139, фиг. 277 (подпись)	Исключить слова: „фиг. 277а. Старая конструкция опоры (деревянная)“	
148, лев., 3 снизу	60 к <i>квт</i>	60 <i>квт</i>
152, чертеж		Пропущено: Фиг. 304.
173, прав., 12 сверху	фундаментах, из	фундаментах из
178, лев., 14 сверху	недель	лет
185, лев., 13 и 14 сверху	с горизонтальным	горизонтальной внизу,
208, прав., 19 сверху	методов размеров	методов и размеров
Фиг. 450, объяснения	б — Мост — 7,80.. .. 14 — Мост — 3,0	б — <del>мост</del> V 7,80, _____ <del>1#4</del> — <del>мост</del> V 3,0.
229, прав., 27 сверху	установка	<del>а</del> становка

1911

SEP 20 1911

5  
8

5

1

1

1