



121282
1C27
E-29

И. В. Егіазаровъ
Инженеръ-электрикъ

УТИЛИЗАЦІЯ ВОДЯНОЙ ЭНЕРГІИ

Подъ редакціей проф. І. Г. Есьмана

(Отдельный оттискъ изъ „Технической Энциклопедіи“.)



Петроградъ

Типо-лит. Акц. О-ва „Самообразование“ Забалканскій пр., д. 75
1916.

Утилізація водяної енергії *).

Утилізація водяної енергії, використання для промислових цілей той енергії, которая заключена въ водѣ, находящейся въ высоко расположенныхъ относительно морского уровня водоемахъ.

Введеніе. Благодаря круговороту воды на земной поверхности (см. *Гидрологія*) вода морей, испаряющаяся подъ вліяніемъ солнечной теплоты, выпадаетъ въ видѣ различнаго рода осадковъ которые постепенно скопляясь на болѣе возвышенныхъ мѣстахъ въ большіе водотоки, стекаютъ обратно въ море, затрачивая всю приобрѣтенную при подъемѣ енергію на преодоленіе сопротивленій. Урегулированіемъ движенія и уменьшеніемъ потерь на треніе возможно выдѣлить часть всей аккумулярованной водой енергіи въ видѣ механической или другого рода полезной работы. Такъ какъ скопляющаяся въ водѣ енергія есть не что иное, какъ преобразованная енергія солнца, то, очевидно, происхожденіе ея одинаково съ происхожденіемъ енергій, аккумулярованной въ каменномъ углѣ, образовавшемся изъ растений, выращенныхъ на земной поверхности подъ вліяніемъ той же солнечной теплоты, каковое обстоятельство и породило своеобразное названіе енергії получаемой изъ воды: *бѣлый уголь*. — Развитие У. в. э. обязано развитію передачи электрической енергії на большія разстоянія, такъ какъ выгодно утилизируемыя массы воды находятся болѣею частью въ горныхъ областяхъ, вдали отъ населенныхъ центровъ. На мѣстѣ эти массы могли бы быть утилизируемы лишь въ сравнительно небольшихъ количествахъ. Всѣ прочія примѣняемые средства для передачи енергії на большія разстоянія, какъ-то: сжатый воздухъ, разрѣженный воздухъ, вода подъ давленіемъ и механическая (напр. канатная) передача, оказались мало удовлетворительными и примѣнимыми лишь въ строго ограниченныхъ случаяхъ. Даже электрическій токъ въ первоначальной формѣ, т. е. въ видѣ постоянного тока, ограничивался небольшимъ райономъ дѣйствія (освѣщеніе городовъ, передача на небольшія разстоянія). Только съ введеніемъ современнаго переменнаго, главнымъ образомъ трехфазнаго, тока высокаго напряженія произошелъ переворотъ въ области передачи енергії. Впервые подобнаго рода передача въ небольшомъ масштабѣ была осуществлена во Франкфуртѣ (Лауфель — Франкфуртъ) и непосредственно за этимъ въ крупномъ масштабѣ электрической передачей установки Рейнфельденъ (Швейцарія) въ 1898. Эта послѣдняя указала на возможность экономически выгоднаго распределенія работы и дала толчокъ многочисленнымъ предпріятіямъ, развивъ моторную нагрузку, улучшивъ коэффициентъ использования существующихъ центральныхъ станцій (обслуживавшихъ почти исключительно освѣщеніе) и этимъ самымъ понизивъ себѣстоимость, а слѣдовательно и продажную стоимость КВ-часа. Но развитіе не остановилось на этомъ и вывело станцію за предѣлы города, сдѣлавъ ее областной и обслуживающей не только города, но все, находящееся въ радиусѣ ея дѣйствія, давъ этимъ толчекъ развитію примѣненія электрической енергії въ сельскомъ хозяйствѣ и въ деревнѣ.

Проектированіе гидравлическихъ установокъ. При проектированіи гидро-электрическихъ установокъ обычно приходится сразу проектировать на полное возможное и экономически выгодное использование всей енергії, заключенной въ данномъ участкѣ водотока. Это объясняется тѣмъ, что въ гидравлическихъ установкахъ при полномъ использованіи енергії себѣстоимость ея становится дешевле, чѣмъ при неполномъ, независимо отъ того, какова будетъ нагрузка. Основными величинами, характеризующими данный потокъ, являются напоръ и расходъ воды (количество воды, протекающее въ единицу времени черезъ попереч. сѣченіе). Напоръ опредѣляется непосредственно нивелированіемъ; расходъ воды — непосредственнымъ измѣреніемъ тѣми или другими приборами (см. *Гидрометрія*). Измѣренія расхода воды должны быть извѣстны за цѣлый рядъ лѣтъ, при чемъ необходимо установить измѣненіе его съ временами года. Измѣненіе расхода воды влечетъ за собой измѣненіе напора, съ чѣмъ также приходится считаться. Напоръ и расходъ воды являются основными величинами при заключеніяхъ о величинѣ установки и о наивыгоднѣйшей мощності. Правильное опредѣленіе той части мощності, которая можетъ быть рационально использована, чрезвычайно трудно и можетъ быть сдѣлано, если принять во вниманіе всѣ рѣшительныя условія и особенности, что приводитъ при математическомъ рѣшеніи къ довольно сложнымъ выраженіямъ. Поэтому въ некоторыхъ болѣе простыхъ случаяхъ можно предпочесть математическое рѣшеніе; въ дру-

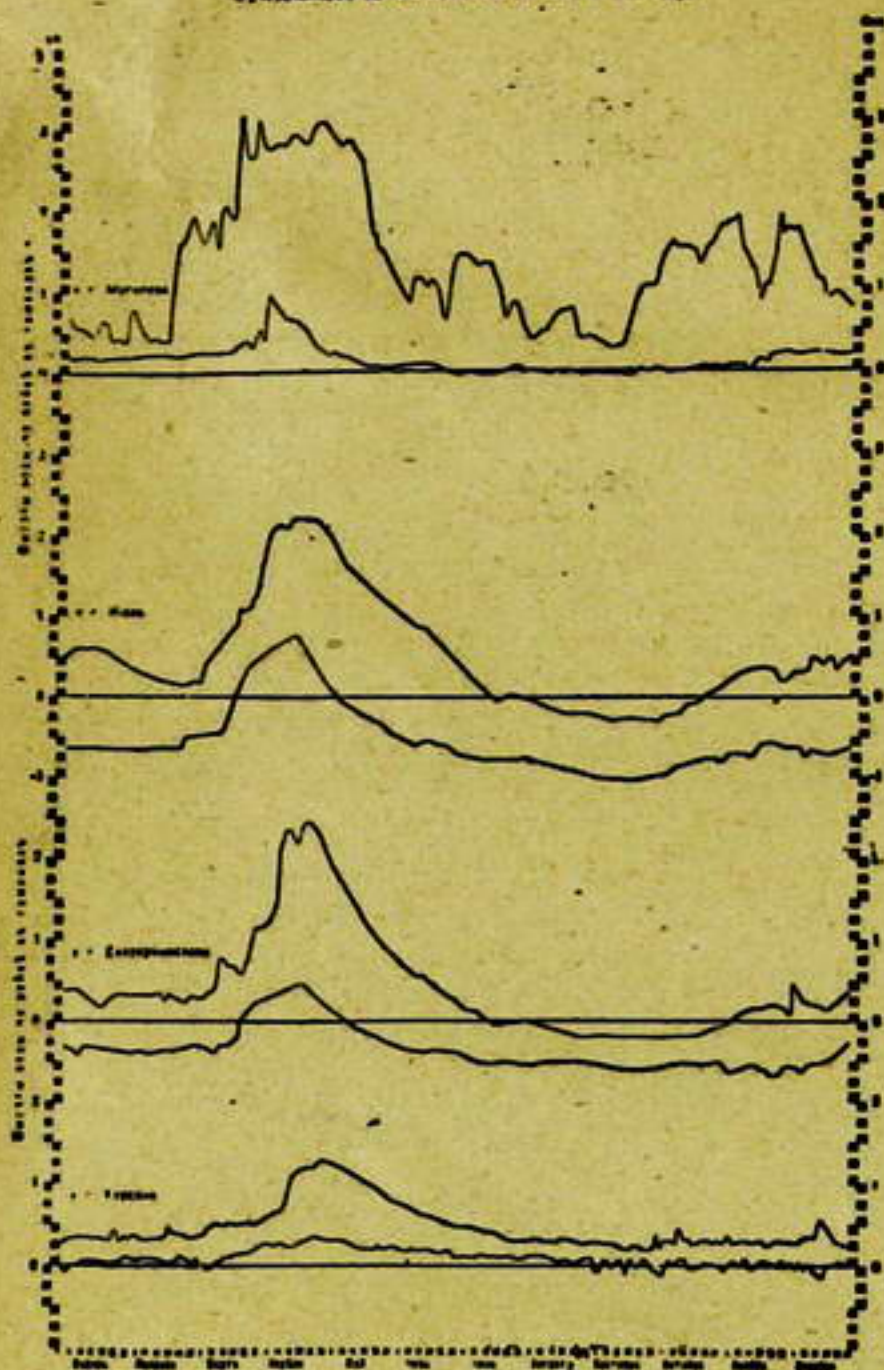
*) Техническая Энциклопедія. IX т.

гихъ, болѣе сложныхъ случаяхъ приходится задаваться нѣкоторыми величинами и, варьируя ихъ чисто арифметическимъ или графическимъ путемъ, опредѣлить тѣ значенія, при которыхъ имѣетъ мѣсто минимумъ сабѣстоимости. Для опредѣленія той мощности, на которую слѣдуетъ строить данную установку, исходятъ изъ нѣкоторой средней величины расхода воды, опредѣляемой сопоставленіемъ цѣлаго ряда условій, какъ-то: коэффициентомъ использования, величиной парового или теплового резерва (если таковой имѣется), стоимостью топлива, длиною линіи передачи и т. д. Довольно часто руководствуются указаніемъ О. Мюллера, предложившаго рассчитывать по той средней величинѣ расхода воды, который имѣется въ теченіе 9 мѣсяцевъ въ году. Тогда остальные три мѣсяца съ низкой водой приходится работать съ тепловымъ резервомъ,

ГРАФИКЪ

КОЛЕБАНИЯ ГОРИЗОНТОВЪ ВОДЫ ВЪ Р. ДНѢПРѢ

Съ показаніемъ уровня воды въ различныхъ мѣстахъ и количества воды, протекающей въ нихъ въ теченіе 9 мѣсяцевъ въ году.



Фиг. 1.

стекающая въ рѣкахъ вода находится въ прямой зависимости отъ количества осадковъ и отъ характера ихъ распредѣленія (см. *Гидрологію, Потамологію, Коэффициентъ стока и Водоносность рѣкъ*), а, слѣдовательно, и отъ чисто климатическихъ и географическихъ условій. Зависимость между осадками и стокомъ воды значительно усложняется просачиваніемъ ея черезъ почву. Хотя и нельзя установить строго опредѣленнаго соотношенія между осадками и количествомъ просачивающейся воды, все-таки существуютъ эмпирическія формулы, дающія возможность по осадкамъ судить о стекающихъ массахъ воды; для рейнскихъ областей формула гласитъ: высота стекающей воды

въ mm = высотѣ осадковъ въ mm — 350 mm при высотѣ осадковъ между 700 и 1000 mm . Для области Муръ въ Шварцвальдѣ можно написать: высота стекающей воды = высотѣ осадковъ — 450 до 480 mm при осадкахъ въ 1750 mm . Какъ теорія, такъ и опыты сходятся въ томъ, что съ увеличивающейся высотой осадковъ, потеря черезъ просачиваніе становится меньше. Непостоянство массъ воды и рѣзкая пере-



Фиг. 2.

мѣна уровня сглаживаются съ переходомъ отъ горныхъ потоковъ къ рѣкамъ среднихъ высотъ. Большая просачиваемость и меньшій уклонъ долинныхъ рѣкъ сглаживаютъ

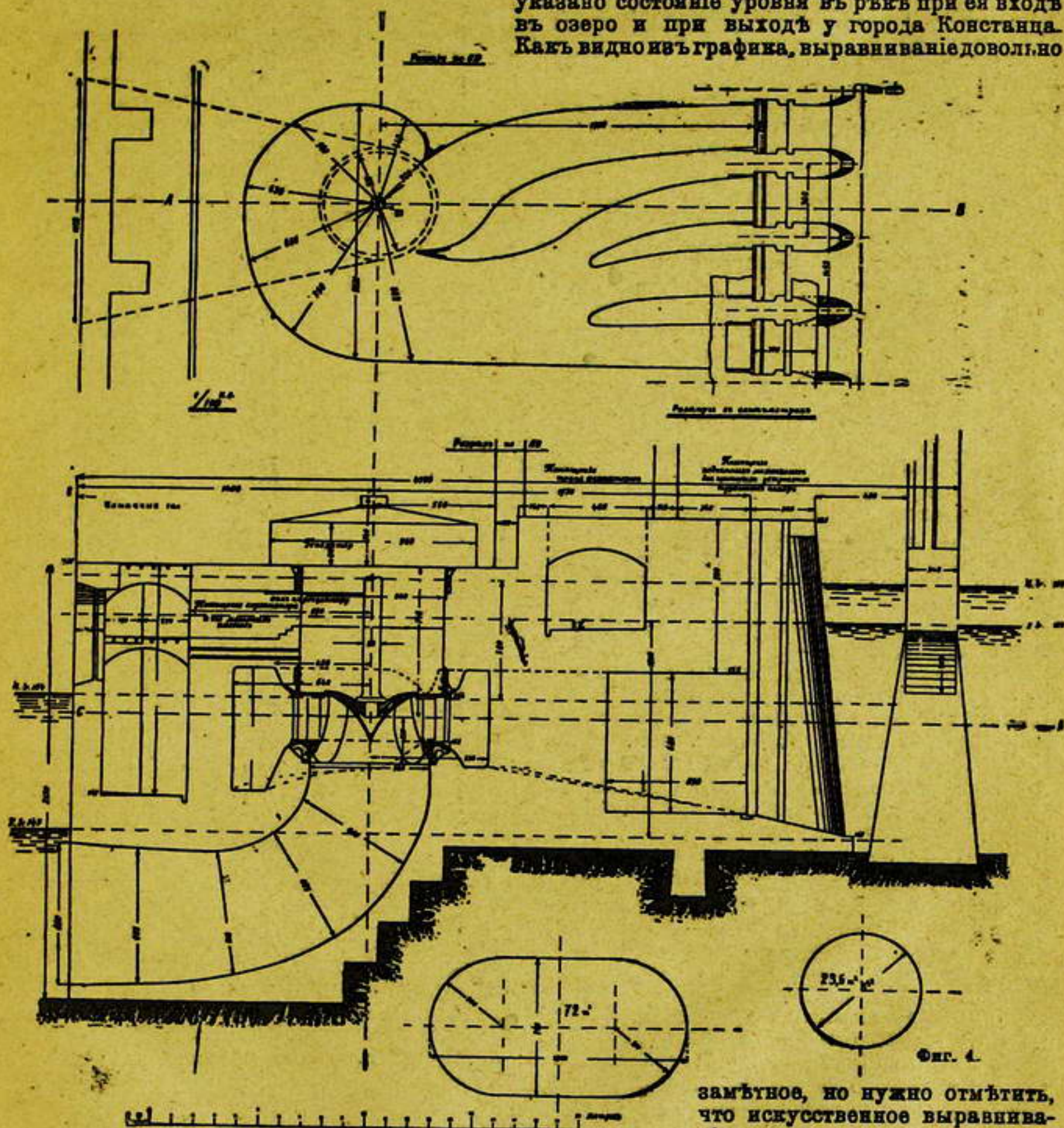
если нѣтъ возможности накоплять излишекъ воды, имѣющійся въ періодъ многоводья, чтобы расходовать его при маловодьи. Такое выравниваніе возможно при существованіи естественныхъ (озера) либо искусственныхъ водохранилищъ (резервуары). Установленный Мюллеромъ шаблонъ не совсѣмъ правиленъ, и мѣстные условія могутъ довольно рѣзко повліять на выгодность установки, рассчитанной по принятому такимъ образомъ расходу воды. Дѣйствительно, нельзя подводить подъ одно правило рѣки, вытекающія изъ озеръ, со спокойнымъ теченіемъ, съ мало мѣняющимися расходами воды, и рѣки горнаго характера, съ большими амплитудами колебаній расхода воды, съ неразвитымъ, небольшимъ бассейномъ питанія. — Чѣмъ меньше разница между многоводьемъ и маловодьемъ и чѣмъ правильнѣе эти періоды слѣдуютъ другъ за другомъ, тѣмъ цѣннѣе данная водяная сила. Потоки, берущіе свое начало въ вѣчныхъ снѣгахъ и глетчерахъ, страдаютъ маловодьемъ обыкновенно зимой; рѣки среднихъ высотъ имѣютъ обыкновенно нѣсколько минимумовъ (большею частью два), главнымъ образомъ, лѣтомъ. Наилучшій расходъ воды въ смыслѣ регулярности и постоянства наблюдается у рѣкъ смѣшаннаго характера, т. е. у такихъ, часть бассейна которыхъ расположена въ снѣгахъ, другая же часть — въ среднихъ высотахъ; тогда *minimum*ы однихъ частей бассейна покрываются *maximum*ами другихъ, и расходъ воды, естественно, выравнивается. Приводимый на фиг. 1 графикъ указываетъ на переменный характеръ расхода воды, стекающей въ водотокахъ и на разнохарактерность расхода не только разныхъ рѣкъ, но и отдѣльныхъ участковъ одной и той же рѣки.

измѣненія въ массахъ воды довольно значительно. Большое и цѣнное вліяніе на регулярность стока воды оказываютъ озера и лѣса. Озера во время высокой воды задерживаютъ часть ея на нѣкоторое время и отдаютъ накопленный запасъ въ сухое время. Естественныя озера являются прообразомъ искусственныхъ озеръ (резервуаровъ) для



CH. 2.

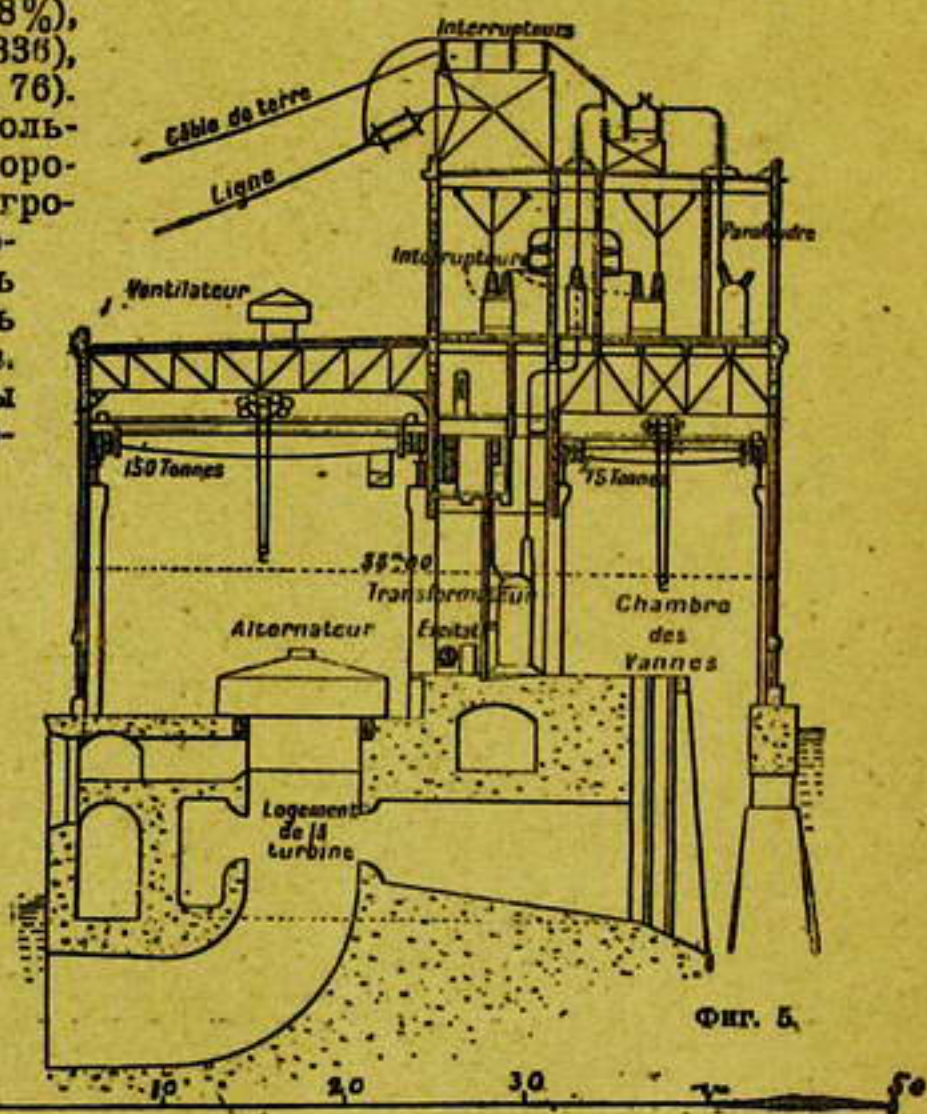
выравнивания массъ протекающей воды. Примѣромъ могутъ служить Рейнъ съ Боденскимъ озеромъ, Рона съ Женевскимъ озеромъ, область Аара съ многочисленными озерами. Графикъ фиг. 2 показываетъ выравнивающее значеніе Боденскаго озера; указано состояніе уровня въ рѣкѣ при ея входѣ въ озеро и при выходѣ у города Констанца. Какъ видно изъ графика, выравниваніе довольно



ваніе. Кромѣ сглаживанія, озера благопріятствуютъ отложенію всѣхъ почти примѣсей, несомыхъ водой. Напр. Рейнъ оставляетъ все несомое имъ при входѣ въ Боденское озеро у Брегенца и выходитъ совершенно чистый до впаденія въ него Аара у Кобленца.

который вносить въ него вновь обильныя количества примѣсей. Устройствомъ искусственныхъ озеръ, насаживаніемъ растительности, укрѣпленіемъ береговъ и укрощеніемъ бурныхъ потоковъ, количество примѣсей можетъ быть значительно уменьшено.

Типы установокъ. По величинѣ напора установки дѣлятся на: 1) установки низкаго напора и 2) установки высокаго напора. Промежуточною ступеню между ними служатъ: 3) установки средняго напора. Въ установкахъ перваго типа весь напоръ создается исключительно плотинной и не превышаетъ 8—12 м. Подобнаго рода установки отличаются большимъ расходомъ воды, такъ какъ при малыхъ расходахъ и напорахъ эксплуатація водотоковъ становится невыгодной въ силу дороговизны гидротехническихъ сооружений. На фиг. 3—5 приведена американская установка на р. Миссиссиппи. Это характерная низко напорная установка ($H = 10$ м) съ большимъ расходомъ воды, мощностью въ 300000 HP. По типу этой послѣдней установки разрабатывается проектъ утилизаціи Днѣпровскихъ пороговъ (предполагается три ступени использованія общей мощностью 300000 HP). Изъ фиг. 3 видно, что напоръ въ подобныхъ установкахъ создается исключительно плотинной, и собственно станція помѣщается непосредственно у плотины безъ устройства обходныхъ сооружений. Одной изъ главныхъ причинъ, ограничивающихъ напоръ, является затопляемость береговъ и поэтому при большихъ перепадахъ, растянутыхъ на большую длину, приходится использовать ихъ въ нѣсколько ступеней (Днѣпровскіе пороги). Единственно примѣняющимся въ этомъ случаѣ типомъ гидравлическаго двигателя является турбина Фрэнсиса съ горизонтальнымъ и вертикальнымъ валомъ. Турбины американской установки на р. Миссиссиппи отличаются большою мощностью — 10000 HP (напоръ 10 м) каждая. Турбины эти принадлежатъ къ типу турбинъ съ вертикальнымъ валомъ и однимъ рабочимъ колесомъ. Этотъ типъ турбинъ находитъ за послѣднее время очень широкое примѣненіе благодаря удобствамъ установки, экономіи помѣщенія и высокому коэф. полезн. дѣйствія. Турбины помѣщаются въ открытыхъ камерахъ (фиг. 4), причемъ форма камеры бываетъ весьма разнообразна. Вѣстяще результаты получены отъ спиральныхъ камеръ того типа, который примѣненъ въ установкѣ р. Миссиссиппи (фиг. 4); благодаря подобнымъ камерамъ и тщательно исполненнымъ бетоннымъ отсасывающимъ трубамъ потери значительно уменьшаются и достигаютъ небывало высокаго коэффиціента полезнаго дѣйствія (88%), несмотря на большую быстроходность ($\varphi = 336$), (см. *Гидравлическіе двигатели*, т. III, стр. 76). Благодаря малымъ напорамъ, несмотря на большіе коэффиціенты быстроходности, число оборотовъ невелико, что ведетъ къ большимъ и громоздкимъ машинамъ. Диаметръ рабочаго колеса турбины въ 10000 HP при напорѣ въ 10 м для установки р. Миссиссиппи равенъ 4,5 м, а внѣшній диаметръ генератора — 10 м. Передъ турбинными камерами у входа воды въ подводную часть зданія обыкновенно помѣщаются грубыя рѣшетки для задержанія крупныхъ плавающихъ предметов несомыхъ водой; непосредственно передъ турбинной камерой, почти у самой турбины помѣщается мелкая рѣшетка, задерживающая болѣе мелкія примѣси (фиг. 4). Установки большого напора отличаются отъ только что описанныхъ главнымъ образомъ тѣмъ, что плотина служитъ не для образованія напора, а только лишь для захвата воды (фиг. 6 и 10). Каналами или тоннелями вода подводится къ мѣсту сосредоточенія всего паденія (фиг. 6, 7 и 10), отсюда непосредственно по напорнымъ трубамъ вода поступаетъ въ турбины (фиг. 8, 9, 12, 13 и 14). Соединительнымъ звеномъ между каналомъ или тоннелемъ и напорными трубами служитъ



Фиг. 5.

напорная камера (фиг. 12). Такого типа установки получили особенное распространение въ Швейцаріи, сѣверной Италіи и Норвегіи. Въ Россіи предполагаются крупныя установки этого типа на р. Терекъ и на озерѣ Гокча (Кавказъ). Изъ фиг. 9 замѣтна рѣзкая особенность установокъ очень большого напора, а именно замѣна реактивныхъ турбинъ Фрэнсиса активными турбинами Пельтона (см. *Гидравлическіе двигатели*). Фиг. 6—14 представляютъ двѣ установки: 1) установку Brusio (Camposcoglio) съ озеромъ Poschiavo въ Швейцаріи; паденіе 400 м; турбины Пельтона мощностью 3000 HP; озеро Poschiavo, гдѣ беретъ свое начало рѣка, служитъ въ качествѣ резервуара для выравниванія нагрузки (фиг. 6); 2) установку Georgia Ry and Power Co at Tallulah falls; паденіе 173 м; турбины спиральнаго типа Фрэнсиса по 16000 HP при 514 оборотахъ. Необходимо отмѣтить, что при утилизаціи большихъ напоровъ затрачиваемый на установку капиталъ значительно меньше затрачиваемаго при утилизаціи низкихъ напоровъ, какъ оно видно изъ приводимой таблицы I.

Таблица I. Въ графахъ затраченнаго капитала первая сверху цифра (для каждой установки) есть весь затраченный капиталъ; вторая — капиталъ на лошадиную силу; третья — соотношение разныхъ статей расхода по постройкѣ и оборудованію въ % отъ общаго расхода на 1 HP.

НАЗВАНІЕ УСТАНОВКИ	Годъ постройки	Мощность въ HP	Напоръ въ м	Расходъ воды въ м³	Затраченный капиталъ (въ рубляхъ)								Общіе расходы
					Плотина	Обочныя соору- женія	Машинное зданіе	Турбины	Генераторы и распредѣл. устройство	Другія постр-ки (зданія, дороги и т. п.)	И-едрат. работъ, меже и постр. на % отъ постройки	Промысл. на экс- плуатацию воды	
Chèvres у Женевы (Рона)	1896	17000	8	320	530000 31 18	283000 16,8 9,3	458000 27 15,4	1357100 80 45,4	175000 10,3 5,7	178000 10,6 6,0	— — —	2883000 176 100	
Wangen (Ааръ)	1901	10500	9	70	630000 60,6 14	2275000 216,3 50	435000 41,3 9,8	203000 19,4 4,3	250000 47,3 5,3	87000 8,3 1,9	515000 49 11,3	147000 14 8,3	4550000 433 100
St. Antony Falls	1909	14000	15	—	— — —	220000 15,7 28,3	192500 18,7 25,3	119000 8,3 15,3	235000 16,7 30,4	— — —	— — —	— — —	766500 54,7 100
Vizzola (Tessin)	1899	20000	28	80	2259500 113,0 61	162000 8,1 4,4	223500 11,3 6,0	275000 13,7 7,4	— — —	182500 39,15 21,3	— — —	— — —	8702500 185 100
Trondhjem (Норвегія) . . .	1901	2500	31	—	72000 28,3 21,3	90500 86,3 27	47000 18,3 15	103000 41,3 31	— — —	19000 7,3 5,7	— — —	— — —	331500 132,3 100
St. Maurice (Рона)	1901	6000	36	16	785000 127,3 52,4	256500 42,75 17,3	211000 35 14,3	— — —	225000 37,3 15,4	— — —	— — —	— — —	1457500 242,3 100
Hauterive (Sarine)	1906	9600	62	15	1440000 15,0 64,3	830000 89,3 17	300000 34,3 18,4	— — —	120000 12,3 5,4	— — —	— — —	— — —	2240000 233 100
Montcherand (Orbe)	1907	6000	93	6	48000 7,3 4,3	465000 77,3 46,3	191500 80,3 18,1	62000 10,3 8,1	98000 16 9,6	— — —	122500 20,3 12,3	33000 5,3 8,3	1003000 167,3 100
Albula гор. Цюриха	1910	24000	147	16	330000 13,3 11,1	1611500 67,3 54	240000 10 8,1	201000 8,4 3,35	208500 8,7 7,10	164500 6,35 5,3	74500 3,1 1,35	150500 6,3 2,35	2280500 124,3 100
Engelberg (Luzern)	1905	9000	800	3	780000 84,3 41	283000 31,35 15,4	657500 73 35,3	— — —	145000 16,1 7,3	— — —	— — —	— — —	1847500 203,3 100
Brusio (Poshiavino)	1906	35000	400	—	1055000 30,3 33,3	700000 20 22	1170000 33,3 36,6	— — —	— — —	— — —	— — —	280500 7,3 4,1	3185500 91,3 100
Vouvry (Lac Tanay)	1902	6000	900—920	0,75	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	640000 107
Lac de Fully (Martigny) . .	1914	—	1650	—	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	—

Установки средняго напора почти тождественны большенапорнымъ за тѣмъ лишь исключеніемъ, что примѣняется турбина Фрэнсиса со спиральнымъ кожухомъ (фиг. 13 и 14). Въ Россіи предполагается крупная установка этого типа, использующая энергію озера Саймы (Финляндія) въ обходъ перепадовъ рѣки Вуоксы, мощностью въ 350 000 HP.

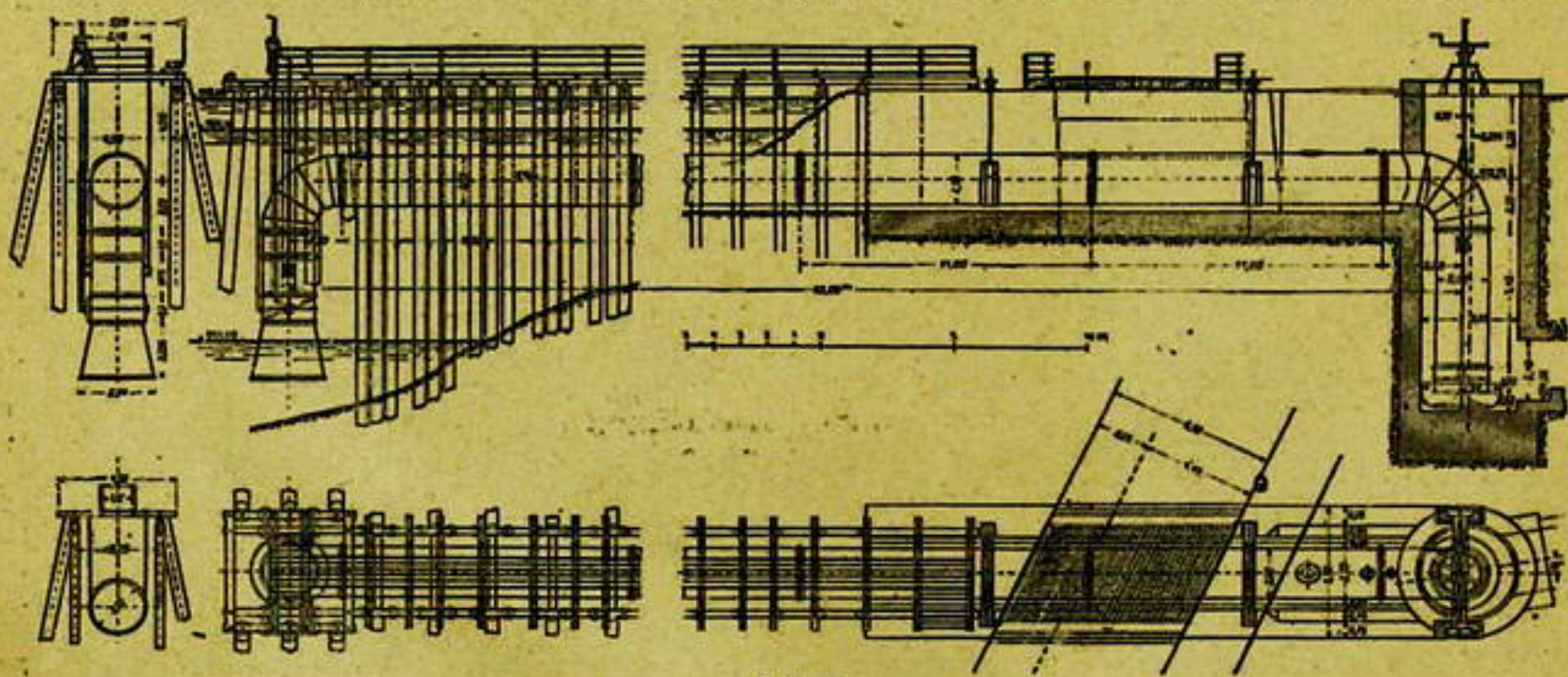
Графикъ мощности. Для того, чтобы весь статистическій матеріалъ былъ рационально использованъ, желательно представить имѣющіеся въ распоряженіи величины графически въ зависимости отъ времени. Для установокъ безъ выравниванія энергіи построение подобныхъ графиковъ сравнительно несложно; иначе обстоитъ дѣло тамъ, гдѣ возможно дневное и годичное выравниваніе. Выравниваніе энергіи возможно въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣется налицо естественный бассейнъ-резервуаръ (озеро) или же имѣется возможность безъ особенно крупныхъ затратъ создать искусственный; въ часы слабой нагрузки излишекъ воды могъ бы накапливаться въ резервуарѣ, чтобы въ часы наибольшей нагрузки расходовалась вся запасенная вода и были покрыты максимумы (пики) нагрузки. Въ общемъ работа такого выравниванія вполне аналогична работѣ паровой станціи съ аккумуляторнымъ резервомъ; таково дневное выравниваніе. Что касается годичнаго, то въ принципѣ оно то же, такъ какъ въ мокрыя времена года вода накапливается, а въ сухіе — расходуется; разумѣется величина резервуара (искусственнаго или естественнаго) въ этомъ послѣднемъ случаѣ должна быть значительною. Построение графика мощности для установокъ безъ выравниванія предполагаетъ извѣстнымъ измѣненіе уровня и расхода воды въ рѣкѣ со временемъ, т. е. предполагаетъ наличность статистическихъ данныхъ относительно стоянія уровней и расходовъ воды. Имѣя такія данныя, можно построить кривыя расхода воды по продолжительности и кривыя стоянія уровней по продолжительности: по оси ординатъ откладываются расходы и уровни, по оси абсциссъ число дней въ году отъ 0 до 365. Такія кривыя даютъ непосредственныя указанія на то, сколько дней въ году расходъ или уровень выше даннаго и сколько дней онъ ниже даннаго. Зная распо-

ложение плотины и ея высоту, обусловленную съ одной стороны затопленіемъ береговъ, съ другой пропускомъ достаточнаго количества воды, мы можемъ по кривой уровнейъ построить кривую напора (смотри кривыя Q , h_1 и h на фиг. 15). Такимъ образомъ определяется кривая напора при низконапорныхъ установкахъ, гдѣ напоръ создается



Фиг. 6.

исключительно плотинной. Напоръ для установокъ высоконапорныхъ значительно меньше подверженъ вліянію высокихъ и низкихъ водъ и обуславливается больше потерями въ каналахъ и тоннеляхъ, поэтому кривая напора для этихъ установокъ приближается къ



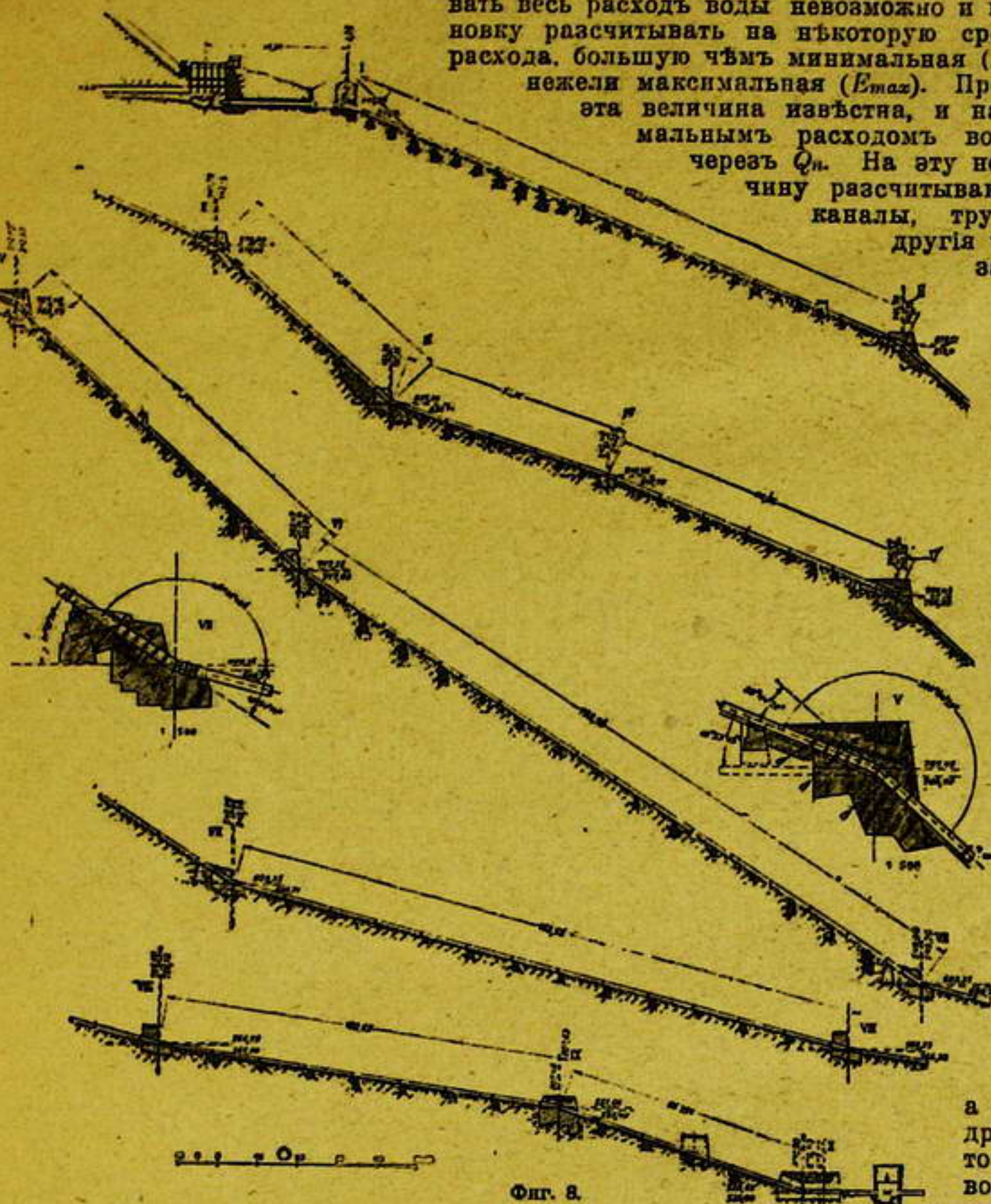
Фиг. 7.

прямой параллельной оси абсциссъ. Имѣя эти двѣ кривыя (Q и h) можно получить кривую мощности, такъ какъ произведеніе aQh даетъ величину мощности, гдѣ a коэффициентъ пропорціональности (a — отъ 10 до 12). Если прослѣдить по графику со сто-

роны наименьшего расхода воды, т. е. по абсциссе справа налѣво (см. фиг. 15), то видно, что напоръ въ крайнемъ правомъ положеніи имѣетъ максимальную величину и дальше идетъ уменьшаясь; расходъ воды измѣняется обратно, справа налѣво увеличиваясь. Такъ какъ обыкновенно увеличеніе расхода воды превышаетъ уменьшеніе напора, то произведение aQh или иначе мощность увеличивается и измѣняется по кривой E_1 (кривыя Q и h суть кривыя расхода и напора) какъ это видно изъ чертежа фиг. 15. Если бы весь расходъ воды въ рѣкѣ могъ быть использованъ, то кривая E_1 и представляла бы кривую мощности. На самомъ дѣлѣ использо-

вать весь расходъ воды невозможно и приходится установку рассчитывать на нѣкоторую среднюю величину расхода, большую чѣмъ минимальная (E_{min}) и меньшую нежели максимальная (E_{max}). Предположимъ, что эта величина известна, и назовемъ ее нормальнымъ расходомъ воды, обозначивъ черезъ Q_n . На эту нормальную величину рассчитываются подводящіе каналы, трубы, турбины и другія части установки, за исключеніемъ

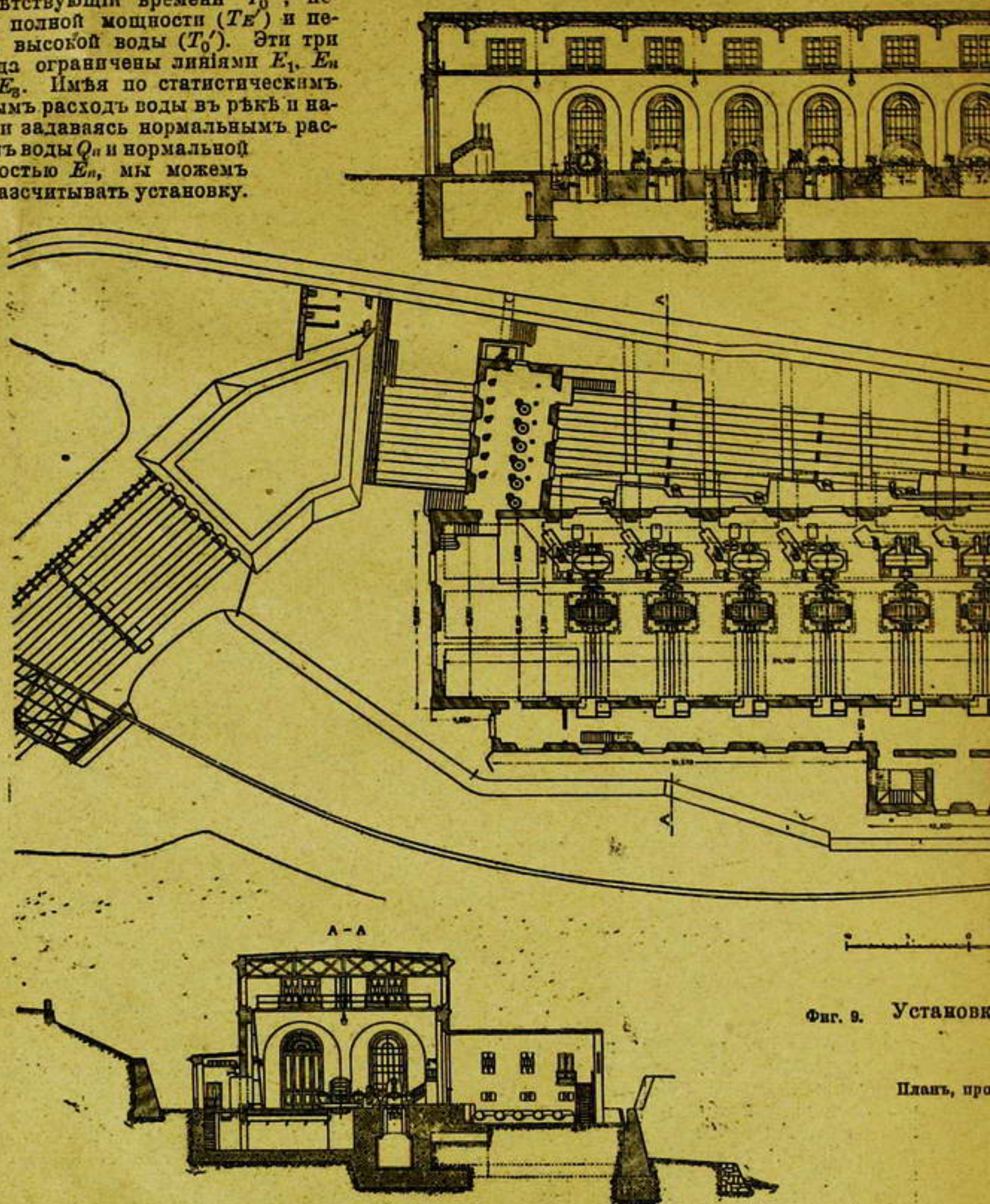
тѣхъ, которыя приходится рассчитывать, на полное максимальное количество воды, возможное въ самый мокрый годъ (плотина, щиты, рѣшетки и т. д.). Предполагая Q_n определеннымъ, проведемъ линію, соответствующую этой величинѣ въ графикѣ мощности. Слѣдовательно расходъ воды будетъ измѣняться по кривой Q до точки a , а дальше по прямой Q_n . Ординатамъ влѣво отъ точки a будутъ соответствовать мощности уже не по кривой E_1 , а по нѣкоторой другой. За этой точкой количество воды остается постояннымъ и кривая



Фиг. 8.

вая мощности подобна по характеру кривой напора и будетъ, слѣдовательно, отъ точки a влѣво идти, уменьшаясь по кривой E_2 , которая будетъ уже произведениемъ aQ_nh . Пересѣченіе кривыхъ (точка a) E_1 и E_2 имѣетъ мѣсто какъ разъ тогда, когда имѣющийся въ рѣкѣ расходъ воды соответствуетъ нормальному и мощность на валу турбинъ является максимальной. Площадь, ограниченная этими двумя кривыми E_1 и E_2 , осью ординатъ и осью абсциссъ (заштрихована на чертежѣ), даетъ ту работу, которую при данномъ Q_n можетъ дать утилизуемый напорный участокъ. Слѣдя за кривой E_2 , мы дойдемъ до такой точки b , при которой напоръ становится равнымъ нормальному напору турбинъ h_t , т. е. такому напору, послѣ уменьшенія котораго расходъ воды турбинами уже не соответствуетъ нормальному расходу Q_n , а становится меньше; вслѣдствіе этого за точкой b мощность мѣняется не въ соответствии съ кривой h , а падаетъ значительно быстрее по кривой E_3 (см. фиг. 15). Изъ экономическихъ соображеній является невыгоднымъ использовать всю работу, представляемую площадью F , такъ какъ тогда пришлось бы всѣ машины и распределительное устройство рассчитывать на мощность E_{max} , т. е. на чрезвычайно кратковременную и, слѣдовательно, ихъ использование является неудовлетворительнымъ, что сильно влѣяетъ на себѣстоимость kW/h ; поэтому ограничиваются нѣскольکو меньшей мощностью E_n , которую назовемъ нормальной мощностью. Заштрихо-

важный участок надъ линіей E_n отпадаетъ какъ неиспользованный; кромѣ того подъ линіей E_n остаются два незаштрихованные участка, которые указываютъ на недостатокъ энергии во время высокой воды (направо) вследствие недостатка напора, и во время низкой воды въ виду малаго расхода воды. Эти двѣ незаштрихованные площади, указывающія на недостатокъ энергии, должны пополняться тепловымъ резервомъ. Итакъ, мы видимъ по графику мощности, что имѣются три періода: періодъ недостатка воды, соответствующій времени T_0'' , періодъ полной мощности (TE') и періодъ высокой воды (T_0'). Эти три періода ограничены линіями E_1 , E_n и $E_2 E_3$. Имѣя по статистическимъ даннымъ расходъ воды въ рѣкѣ и напоръ и задаваясь нормальнымъ расходомъ воды Q_n и нормальной мощностью E_n , мы можемъ уже рассчитывать установку.



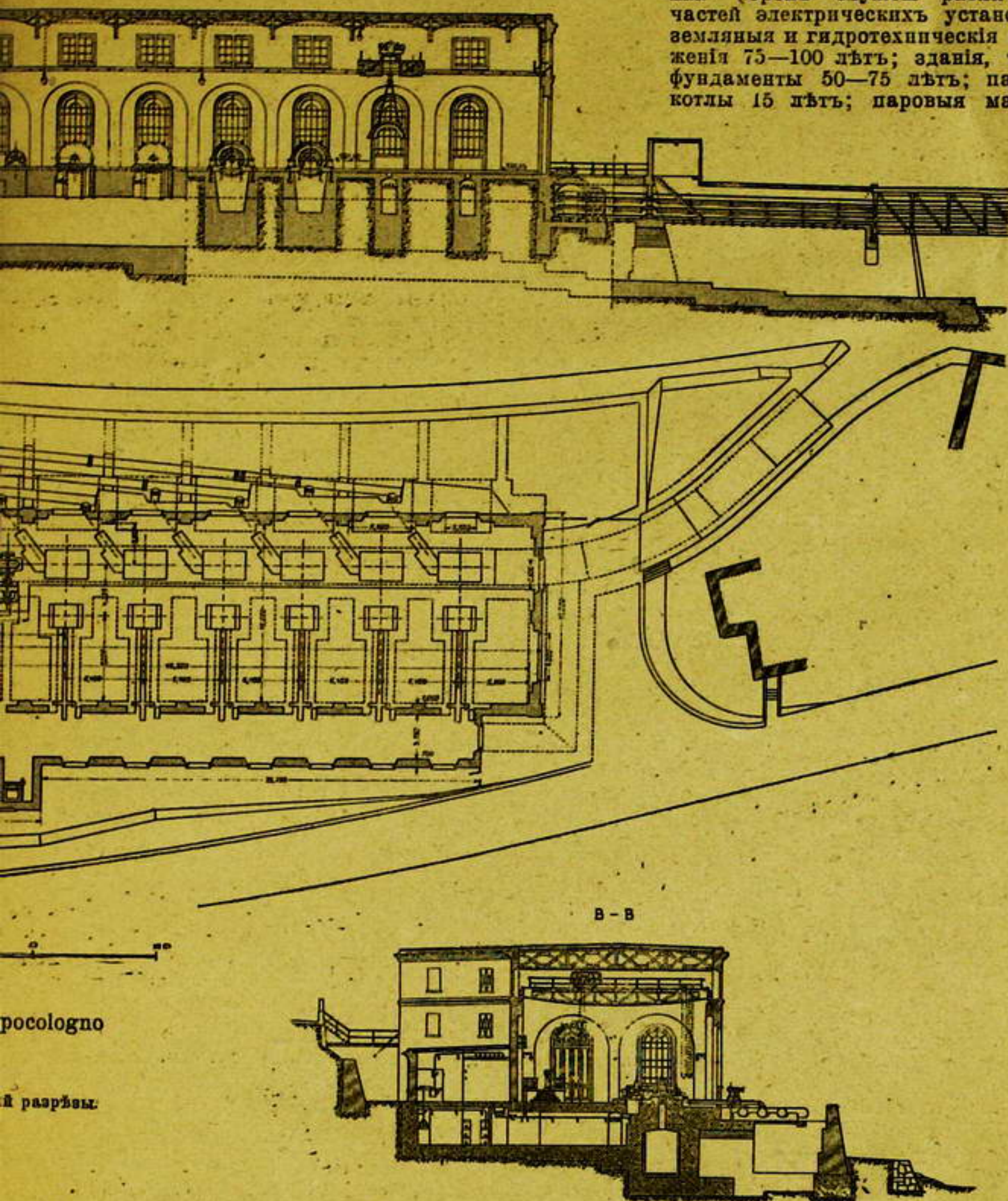
Фиг. 9. Установка

Планъ, про...

Слѣдовательно, въ основу проектированія долженъ лечь выборъ этихъ двухъ величинъ (Q_n и E_n), при чемъ такъ, чтобы себѣстоимость энергии была наименьшей.

Определение рациональной величины установки. Для анализа основныхъ величинъ, характеризующихъ установку (Q_n и E_n), предположимъ, что другія величины, опредѣляющія техническія особенности установки, заданы. Такими величинами будутъ: 1) разрабатываемый участокъ рѣки; 2) напоръ; 3) общій расходъ воды въ рѣкѣ и всѣ остальные величины, входящія въ графикъ мощности. Опредѣлимъ вліяніе величинъ Q_n и E_n на расходы по станціи, какъ косвенные, такъ и прямые, опредѣляющіе себѣстоимость энергии. Косвенные расходы находятся въ прямой зависимости

отъ затраченнаго на постройку капитала и составляютъ изъ процентовъ на капиталъ, процента на погашеніе и на фондъ возобновленія. Въ виду большой величины затрачиваемаго капитала, проценты на него можно считать колеблющимися около 6%; процентъ на амортизацію зависитъ отъ срока погашенія и обыкновенно весьма малъ. Расходъ на фондъ возобновленія находится въ непосредственной зависимости отъ срока службы машинъ и сооружений, требующихъ, послѣ опредѣленнаго числа лѣтъ службы, возобновленія. (Срокъ службы различныхъ частей электрическихъ установокъ: земляныя и гидротехническія сооруженія 75—100 лѣтъ; зданія, трубы, фундаменты 50—75 лѣтъ; паровые котлы 15 лѣтъ; паровыя машины



20 лѣтъ; турбины 10 лѣтъ; динамо и моторы 20 лѣтъ, трансформаторы, кабельная сѣть 20 лѣтъ; аккумуляторы 5—10 лѣтъ; воздушная сѣть 15 лѣтъ; желѣзные столбы 25 лѣтъ; еловые столбы пропитанные 15 лѣтъ; еловые столбы не пропитанные 5 лѣтъ; распредѣл. устройство, приборы 10—15 лѣтъ). Въ среднемъ процентъ затраченнаго капитала составляетъ на фондъ возобновленія 2—4% при преобладаніи машинныхъ частей и 1—2% при преобладаніи гидротехническихъ. Величина затрачиваемаго капитала, отнесенная къ единицѣ установленной мощности, т. е. на KW , значительно больше для станцій гидроэлектрическихъ, чѣмъ для паровыхъ. При этомъ стоимость установленнаго KW сильно мѣняется въ зависимости отъ мѣстныхъ условій и тогда какъ для паровыхъ станцій можно дать опредѣленные цифры

(75—200 рублей: нижний предѣлъ для очень крупныхъ станцій), для гидравлическихъ можно лишь указать, что стоимость будетъ колебаться въ предѣлахъ отъ 80—100 р. до 600—700 р. Поэтому для сужденія о себѣстоимости энергіи при гидроэлектрическихъ установкахъ необходимо составить расцѣнку отдѣльныхъ частей и сооружений и такимъ образомъ опредѣлить величину затрачиваемаго капитала, а, слѣдовательно, и косвенные расходы (см. выше табл. I). Прямые расходы гидроэлектрическихъ установокъ малы по сравненію съ расходами для паровыхъ, что и даетъ возможность первымъ успѣшно конкурировать со вторыми, несмотря на значительные расходы на затраченный капиталъ и на необходимость вести длинныя линіи передачи. Прямые расходы состоятъся: 1) изъ уплаты жалованія и наемной платы, находящихся всецѣло въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, дороговизны жизни и мощности установки, при чемъ измѣненіе мощности въ небольшихъ предѣлахъ въ ту или другую сторону не вліяетъ на этотъ расходъ. Величина этого расхода слѣдующаго порядка: установка Kubel (Швейцарія) уплатила въ 1901/2 году 0,8 копейки на KW/h . Установка на р. Kander въ 1910 уплатила 0,24 копейки на KW/h . Для Россіи эта величина находится въ предѣлахъ 2—3% стоимости KW/h ; 2) расходъ по смазкѣ и обтиркѣ очень не великъ для разсматриваемыхъ станцій и составляетъ обыкновенно менѣе 2% стоимости KW/h ; 3) остаются мелкіе расходы на ремонтъ, арендную плату, страхование и пр. При существованіи парового резерва самымъ значительнымъ прямымъ расходомъ будетъ расходъ на топливо. Этотъ расходъ довольно великъ въ виду плохого коэффиціента использования подобныхъ резервовъ. Опредѣливъ всѣ составныя части косвенныхъ и прямыхъ расходовъ по станціи, можно опредѣлить себѣстоимость KW/h на станціи, если извѣстенъ коэффиціентъ использования ея, либо если этимъ послѣднимъ можно задаться. Если обозначимъ процентъ на капиталъ черезъ $p\%$, на погашеніе черезъ $q\%$ и на фондъ возобновленія черезъ $r\%$, то ежегодные косвенные расходы составятъ $\frac{(p+q+r)P}{100}$

гдѣ P — затраченный капиталъ. Расходъ по смазкѣ и обтиркѣ зависитъ отъ интенсивности работы станціи, т. е. отъ числа выработанныхъ KW/h и можетъ быть выраженъ въ видѣ $V = b + tg \beta L_i$, гдѣ b нѣкоторый постоянный расходъ, независящій отъ выработанной энергіи, β уголъ, который составляетъ прямая расхода смазки съ осью абсциссъ (если представить зависимость расхода масла, отъ отпущенной мощности въ прямоугольныхъ координатахъ); L_i — количество KW/h выработанныхъ въ годъ. Расходъ по вознагражденію технического персонала и рабочихъ и не зависитъ отъ количества выработанныхъ KW/h ; мелкіе расходы и ремонтъ обозначимъ черезъ s въ годъ; ежегодный расходъ, слѣдовательно, равенъ

$$K = \frac{(p+q+r)P}{100} + b + tg \beta L_i + u + S \quad (1)$$

или будучи отнесенъ на одинъ KW/h .

$$k = \frac{K}{L_i} = \frac{(p+q+r)P}{100 L_i} + \frac{b+u+S}{L_i} + tg \beta \quad (2)$$

Если черезъ L обозначить количество установленныхъ на станціи рабочихъ KW (т. е. не считая резерва), то возможное число выработанныхъ KW/h въ годъ составитъ 8760 L . Отношеніе дѣйствительно выработанныхъ KW/h , къ возможному ихъ числу называется коэффиціентомъ использования станціи.

$$n = \frac{L_i}{8760 L} \quad (3)$$

откуда $L_i = n 8760 L$. Подставивъ въ уравненіе (2) получимъ:

$$k = \frac{K}{n 8760 L_i} = \frac{0,01(p+q+r)P + b + u + s}{n 8760 L} + tg \beta$$

или
$$k = 1/n \left[\frac{0,01(p+q+r)P + b + u + s}{8760 L} \right] = \underbrace{\quad}_N + \underbrace{tg \beta}_M$$

или стоимость одного KW/h .
$$K = 1/n N + M \quad (4)$$

Величина $M = tg \beta$, чрезвычайно мала и ею можно пренебречь; слѣдовательно, имѣемъ:

$$K = 1/n N \quad (5)$$

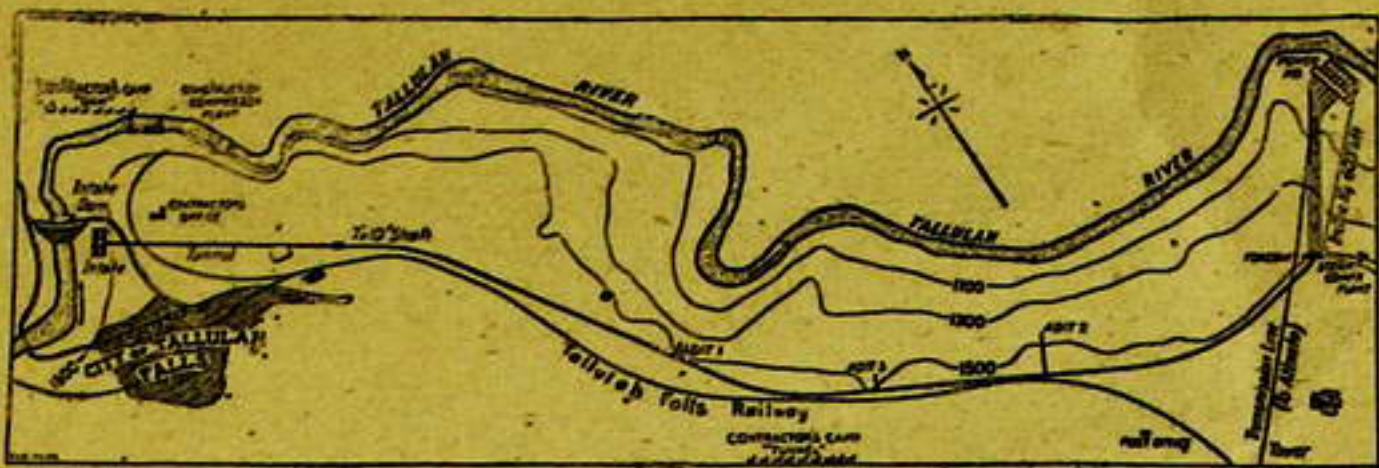
Изъ этой формулы ясно выступаетъ сильная зависимость стоимости энергіи отъ использования станціи, что наглядно иллюстрируетъ кривая A фиг. 16. — Кривая B относится къ паровой станціи; изъ сравненія кривыхъ видно, что вліяніе коэффиціента использования сильнѣе у гидроэлектрическихъ установокъ. Величина коэффиціента использования можетъ колебаться теоретически въ предѣлахъ отъ 0 до 1 (см. уравненіе 3.), на самомъ же дѣлѣ она мѣняется отъ 0,1 до 0,5 и въ рѣдкихъ случаяхъ достигаетъ 0,6—0,7. Для того, чтобы прослѣдить вліяніе расхода воды Q_n и мощности станціи E_n на расходы по станціи, приведемъ перечень расходовъ какъ косвенныхъ, такъ и прямыхъ.

Косвенные расходы: 1а) плотина и др. сооруженія того же типа; 1б) каналъ съ остальными частями, относящимися къ захвату воды; 2) турбинная часть (водяная, надводная и сами турбины; 3) генераторы и электрическое оборудованіе станціи; 4) тепловой резервъ; 5а) остальные расходы (предварительныя изысканія и пр.).

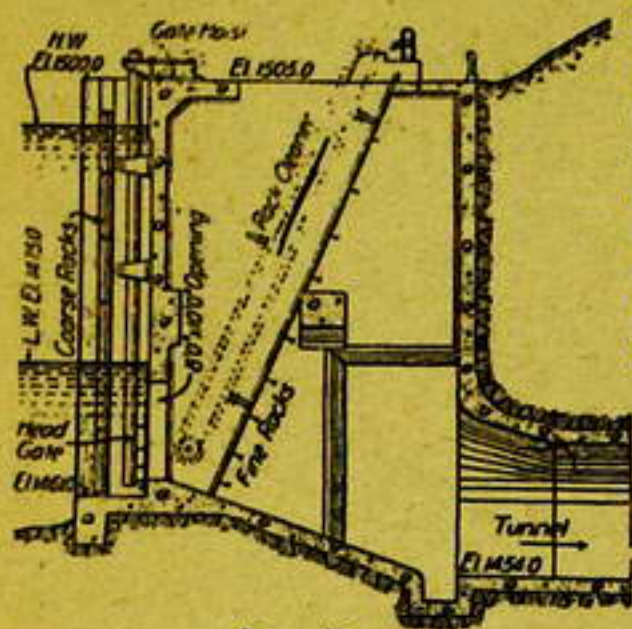
Прямые расходы: 5б) жалованіе и наемная плата; 6) эксплуатація воды; 7) эксплуатація теплового резерва.

Кромѣ того, можно учесть и расходы по постройкѣ сѣти и ея эксплуатаціи. Въ зависимости отъ Q_n и E_n можно расходы раздѣлить на постоянные и переменные.

Влияние Q_n . В первую голову от нормального расхода воды Q_n зависят стоимости канала и турбинной части (1b и 2). Если увеличивать Q_n , то придется увеличить поперечное сечение канала, мосты, входные отверстия, шиты, решетки, водосливы и т. д.; вместе с тем должны быть изменены турбины; т. е. поставлены большие агрегаты или же большее число турбин, а следовательно, должны измениться бетонные работы, как подводные так и надводные. Стоимость генераторов вместе с изменением числа и мощности турбин также изменится; изменится, следовательно, и эксплуатационный расход станции (смазка, жалование). Если не изменять числа турбин, то придется изменить их пропускную способность, а следовательно уменьшить число оборотов и тем самым удорожить генератор и увеличить его размеры. Вместе с этим изменится и гидравлический коэффициент полезного действия турбинной установки: он увеличится при большой воде ($T'D$, на Графике мощности; фиг. 15) так как большие турбины лучше работают нежели малые, но уменьшится при полной нормальной нагрузке, соответствующей E_n т. е. при T_e , так как при той же величине E_n , расход воды, соответствующий этому режиму, будет меньше нормального для данной турбины (см. фиг. 15). При малой воде ($T'D$) недостаток дает себя чувствовать, мощность падает (понижается линия E_1). В обратном смысле действует увеличение Q_n на величину теплового резерва, так как линия E_1E_2 графика мощности подымается. Это уменьшение расхода на резерв падает сперва быстро с увеличением Q_n , а затем все медленнее, и в конце концов, становится совершенно независимой от этой величины. Произойдет это тогда, когда при слишком большом значении Q_n величина E_{min} станет больше, нежели принятая E_n , так что левый уголок (незаштрихованный) D' графика мощности станет $= 0$. В виду этого кривая зависимости годовых расходов от Q_n показывает на существование некоторого минимума, соответствующего определенному расходу воды (фиг. 17). Приведенные за различными номерами кривые этой фигуры соответствуют цифрам, поставленным у отдельных статей расходов. Результирующая кривая 10 дает необходимую зависимость. Зависимость стоимости отдельных статей расхода от Q_n в каждом частном случае легко определить. На фиг. 18 приведены



Фиг. 10.



Фиг. 11.

стоимости канала в зависимости от его сечения, а следовательно и от Q_n . Зависимость стоимости турбинных камер можно довольно легко составить, пользуясь данными существующих установок. Для турбин приводим график, дающий эту зависимость вместе с зависимостью от напора (фиг. 19). Для стоимости построек и других работ того же

характера можно привести эмпирическую формулу: $K'_r \frac{R'_r}{\sqrt{h_r}} Q_n$. Зависимость стоимости

генератора может и число турбин определить. Эти кривую общей за-
зерва, то его изм-
получено непосредственно



Влияние E_n . Увеличение нормальной мощности E_n ведет за собой передвижение линии E_n (график мощности) вверх, следовательно растет ко-
вого резерва и тем сильнее, чем ближе
ной мощности (соответствующей пересечению
 E_2E_3). Так как паровая установка должна уве-
личиться, то уменьшаются расходы на единицу паровой
энергии, в виду улучшения ее использования. Несмотря на
это зависимость величины годовых расходов резерва от E_n
показывает, что величина их растет и имеет скачек послѣ
того как E_n сдѣлавшись равным $= E_{max}$ будет расти дальше
(фиг. 21 и 22). Все, что сказано о паровом резерве, относится и къ элек-
трической части установки: генераторы, трансформаторы, распределительное устройство

быть получена, если знать изменение в мощности (фиг. 20). Расходы по жалованию тоже не трудно
двѣ зависимости лишь немного влияют на
висимости. Что касается парового ре-
нение с изменением Q_n может быть
изъ графика мощности.

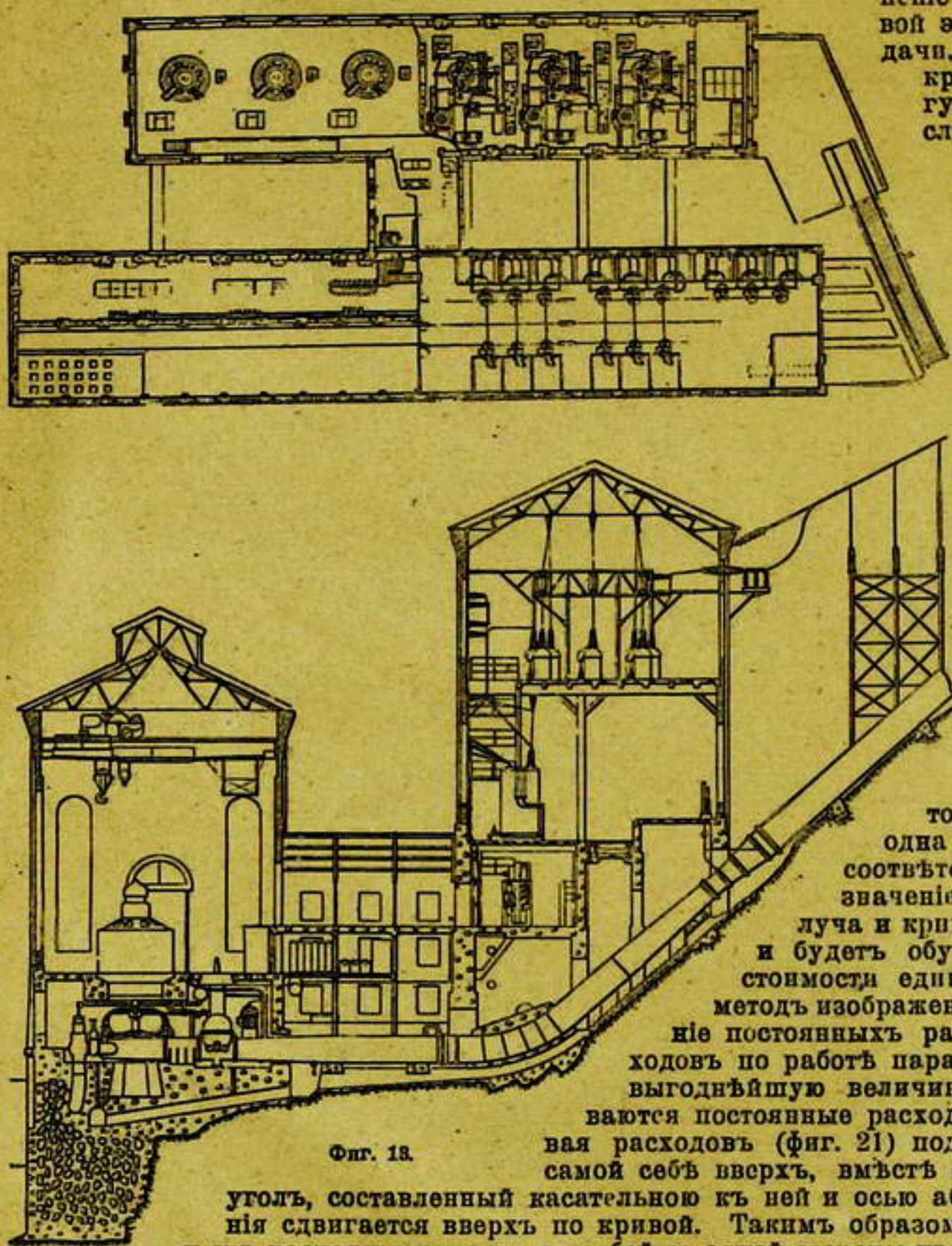
ние нормальной мощности E_n
ни E_n (график мощ-
дичество работы паро-
 E_n къ максималь-
кривых E_1 и



Фиг. 12.

и линия передачи, все должно увеличиться и усилиться съ увеличеніемъ E_n . Стоимость генераторовъ и трансформаторовъ въ зависимости отъ E_n представлена кривыми фиг. 20 и 23. Зависимость стоимости линіи передачи имѣетъ различный видъ, мѣняясь съ мѣстными и экономическими условиями питаемаго района. Съ увеличеніемъ E_n увеличивается и количество отдаваемой энергіи и если данная мѣстность не въ состояніи использовать всю энергію, то необходимо выдвинуть съѣ и, передавать энергію на большія разстоянія, а слѣдовательно увеличить напряженіе. Съ этимъ связано увеличеніе и умноженіе трансформаторныхъ подстанцій и съѣей высокаго и низкаго напряженія. Зависимость стоимости линіи передачи на далекія разстоянія отъ E_n можно представить въ слѣдующемъ видѣ $K = K_0 + Z_1 E_n + Z_2 E_n^2 + Z_3 E_n^3$, гдѣ K_0 нѣкоторая постоянная часть, независящая отъ E_n (мачты, ихъ установки, заставка и т. д.); Z_1 , Z_2 и Z_3 коэффициенты, которые указываютъ на приращеніе стоимости при увеличеніи E_n , при чемъ Z_1 касается главной линіи передачи, Z_2 распределительной линіи высокаго напряженія и Z_3 вторичныхъ линій и линій низкаго напряженія. Обыкновенно эти коэффициенты съ увеличеніемъ мощности уменьшаются. Если представить зависимость стоимости установки отъ мощности въ видѣ кривой (фиг. 24), то это приращеніе, обозначенное черезъ $Z = \frac{dk}{dE_n}$ и носящее обычно названіе дифференціального коэффициента, будетъ уменьшаться асимптотически съ увеличеніемъ мощности. Это видно изъ представленнаго чертежа, такъ какъ $\operatorname{tg} \lambda = \frac{k}{E_n}$ и, слѣдовательно, приращеніе будетъ выражаться намѣненіемъ этого угла, а онъ будетъ все уменьшаться. Въ обратномъ смыслѣ происходитъ это намѣ-

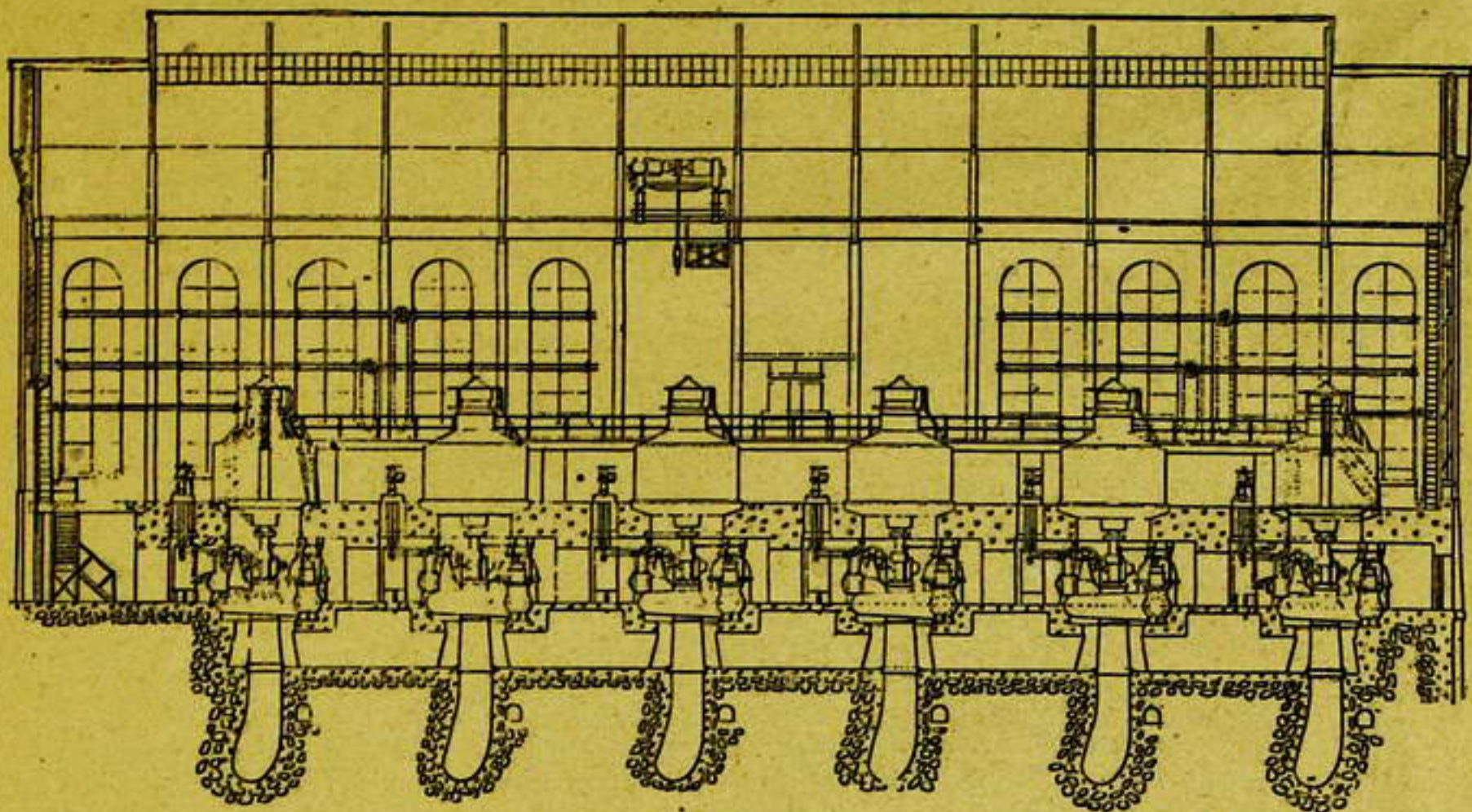
пеніе для стоимости паровой энергіи и линіи передачи, такъ какъ выгибъ кривой будетъ въ другую сторону (фиг. 25), и, слѣдовательно, уголъ будетъ увеличиваться и несмотря на увеличеніе мощности, стоимость единицы энергіи будетъ становиться все дороже. Все, что сказано о стоимости линіи передачи, относится и къ косвеннымъ расходамъ таковой. Благодаря указанному характеру кривой линіи передачи, имѣются два значенія нормальной мощности, которымъ соотвѣтствуютъ один и тѣ же расходы на единицу мощности, что и видно изъ фиг. 24, такъ какъ лучъ пересѣкаетъ кривую расходовъ въ двухъ точкахъ. Имѣется только одна точка кривой, которой соотвѣтствуетъ только одно значеніе E_n , это точка касанія луча и кривой. Только эта точка и будетъ обуславливать минимумъ стоимости единицы энергіи. Такой методъ изображенія указываетъ на вліяніе постоянныхъ расходовъ, а также расходовъ по работѣ пара и передачи, на невыгоднѣйшую величину E_n . Если увеличиваются постоянные расходы, то суммарная кривая расходовъ (фиг. 21) подымается параллельно самой себѣ вверхъ, вмѣстѣ съ нею увеличивается уголъ, составленный касательною къ ней и осью абсциссъ, и точка касанія сдвигается вверхъ по кривой. Такимъ образомъ увеличеніе постоянныхъ расходовъ влечетъ за собой съ одной стороны увеличеніе E_n , съ другой увеличеніе расходовъ на единицу энергіи. Если съ другой стороны увеличиваются расходы по пару и передачѣ, то искривленіе кривой суммарной увеличивается, и точка касанія сдвигается, уменьшая „навыгоднѣйшее“ E_n и увеличивая минимальные расходы.



Фиг. 19.

уголъ, составленный касательною къ ней и осью абсциссъ, и точка касанія сдвигается вверхъ по кривой. Такимъ образомъ увеличеніе постоянныхъ расходовъ влечетъ за собой съ одной стороны увеличеніе E_n , съ другой увеличеніе расходовъ на единицу энергіи. Если съ другой стороны увеличиваются расходы по пару и передачѣ, то искривленіе кривой суммарной увеличивается, и точка касанія сдвигается, уменьшая „навыгоднѣйшее“ E_n и увеличивая минимальные расходы.

Можно представить графически, для большей еще ясности, зависимость от E_n стоимости единицы энергии по статьям, как это представлено на фиг. 26. До сих пор разбирались влияние Q_n и E_n в отдельности. Можно составить графики, дающие сразу обь зависимости, но это значительное сложение и такие графики напоминают топографические чертежи в горизонталях. Один из таких графиков представлен на фиг. 27. Из этого графика можно вывести следующее заключение: при выборе величин, характеризующих мощность установки (Q_n и E_n), лучше сделать ошибку в сторону большего, нежели в сторону меньшего использования. Фиг. 27 ясно указывает, что в сторону больших мощностей изменение себестоимости идет значительно медленнее, нежели в обратную. Если бы график суточной нагрузки станции был прямою параллельною оси абсцисс, т. е. нагрузка в течение дня не мѣнялась, то рѣшеніе вопроса о рациональной величинѣ установки сводилось бы къ разсмотрѣнію лишь графика мощности. На самомъ дѣлѣ графикъ суточной нагрузки — кривая съ рѣзко выраженными максимумами и минимумами; различные слои этого графика,



Фиг. 14.

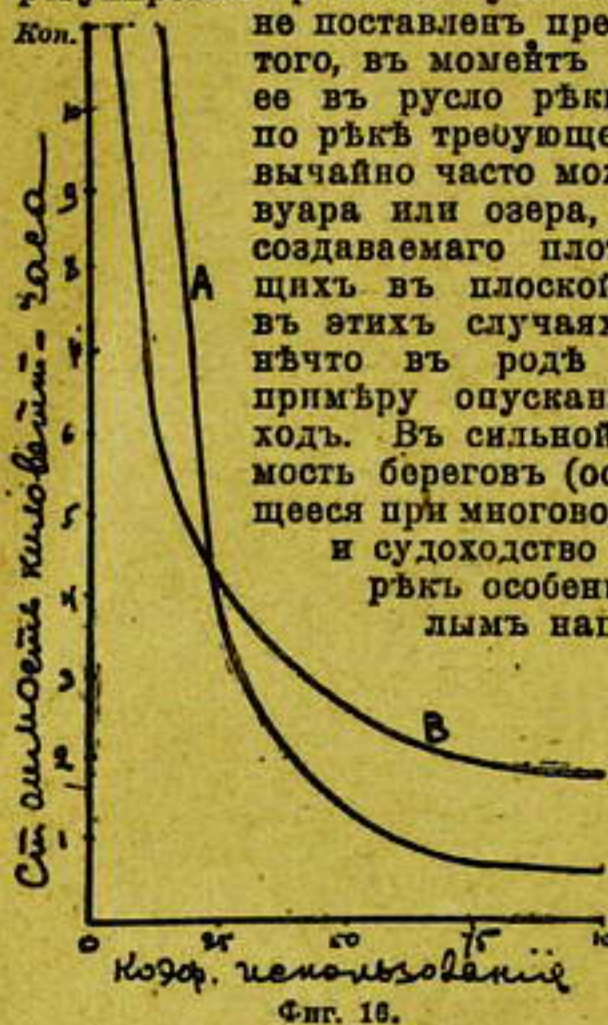
даютъ различное использование и потому для того, чтобы исключить ошибку в определѣніи коэффициента использования водяной станции и парового резерва в отдельности, необходимо разсматривать оба графика вмѣстѣ и весь расчетъ разбить на такое число частей, на сколько слоевъ желательно разбить графики для достаточной точности. Примѣнять для этого непосредственно графикъ суточной нагрузки неудобно и лучше воспользоваться графикомъ годичной нагрузки по продолжительности (т. е. кривою аналогичной кривой расхода воды по продолжительности см. стр. 5). Такой графикъ даетъ непосредственное определѣніе коэффициента использования нагрузки для любого слоя графика. Зная общій коэффициентъ использования или характеръ нагрузки, такую кривую годичной нагрузки всегда можно построить съ достаточной точностью. На фиг. 28 представлены оба необходимые для расчета графика, разбитые на слои. Величины β' , β'' и т. д. даютъ коэффициенты использования слоевъ. Взявъ для каждого слоя произведение изъ коэффициента использования слоя на продолжительность работы воды или пара (смотря по тому, нужно ли оир дѣлать полный коэффициентъ использования водяной установки или парового резерва) по граф ку мощности, сложимъ всѣ эти произведенія и раздѣливъ на сумму временъ, получимъ искомый коэффициентъ использования либо воды, либо пара. Если принять обозначенія чертежа фиг. 28, то коэффициентъ использования воды будетъ:

$$\beta_E = \frac{\sum \beta T_E}{\sum T_E} = \frac{\beta' T_E^I + \beta'' T_E^{II} + \beta''' T_E^{III} + \beta^{IV} T_E^{IV} + \beta^V T_E^V}{T_E^I + T_E^{II} + T_E^{III} + T_E^{IV} + T_E^V}$$

такимъ же образомъ коэффициентъ использования парового резерва или паровой установки, работающей параллельно съ водяной будетъ $\beta_D = \frac{\sum \beta T_D}{\sum T_D}$

Установки съ выравниваніемъ расхода. Суточное выравниваніе. Одной изъ главныхъ причинъ желательности и возможности суточного выравниванія или регуливанія является неравномѣрность нагрузки. Обыкновенно графики нагрузки состоятъ изъ ясно выраженныхъ максимумовъ и минимумовъ, которые въ зависимости отъ характера нагрузки принимаютъ болѣе или менѣе рѣзкія формы. Вольшей частью ми-

нимумъ нагрузки совпадаетъ съ 2—6 часами ночи, а максимумъ съ вечерними часами (4—8); остальное время имѣетъ мѣсто средняя нагрузка. Какъ происходитъ выравнивание можно прослѣдить по слѣдующему примѣру: представимъ себѣ установку съ подводнымъ каналомъ и съ естественнымъ (озеро), либо искусственнымъ резервуаромъ, который находится по пути подводшаго канала (фиг. 29). Рано утромъ часовъ въ 5 нагрузка на станціи наименьшая и теченіе воды изъ рѣки въ резервуаръ, по участку l_2 канала, слабое. Высшій уровень воды у станціи стоитъ на высотѣ H'_3 , нѣсколько ниже уровня въ резервуарѣ H'_2 . Въ виду того, что только въ это раннее утреннее время нагрузка достигаетъ minimum'a, то ясно, что къ этому періоду резервуаръ уже долженъ быть наполненъ. Если въ послѣдующіе часы нагрузка начнетъ возрастать, то сперва понизится уровень воды нижней части канала l_1 , затѣмъ уровень въ резервуарѣ. Наибольшее паденіе уровня и расходъ воды соотвѣтствуютъ періоду наибольшей нагрузки станціи и въ нижней части канала расходъ воды въ это время максимальный, такъ что эту часть (l_1) канала необходимо рассчитывать на наибольшій расходъ воды, а турбины на наибольшую мощность установки. При дальнѣйшемъ уменьшеніи нагрузки, уровень еще нѣсколько понижается, но уже значительно медленнѣе; при еще большемъ уменьшеніи нагрузки уровень воды какъ бы стоитъ на мѣстѣ и къ ночи опять начинаетъ повышаться. Такимъ образомъ, къ часамъ 5 утра уровень воды приходитъ къ первоначальному состоянію и весь циклъ снова повторяется. При этомъ верхній участокъ канала подводитъ только нѣкоторое среднее количество воды и потому можетъ быть рассчитанъ по этому среднему расходу. Вліяніе самаго канала на регулирование сказывается тѣмъ сильнѣе, чѣмъ длиннѣе каналъ. Иногда возможно допустить чтобы въ подобной регулировкѣ принимало участіе верхнее теченіе рѣки, если этому

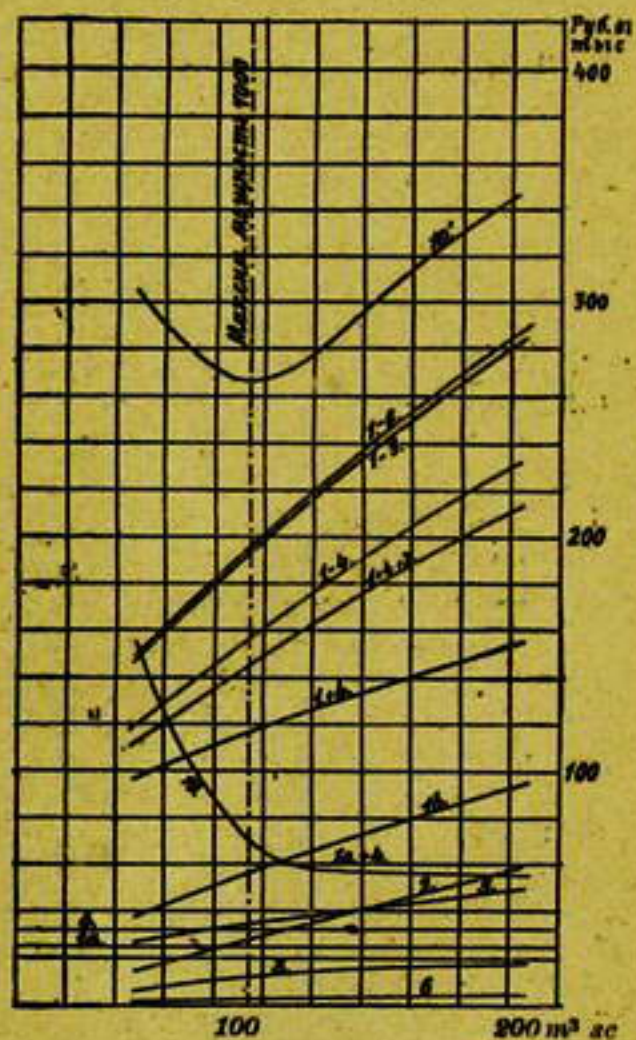


Фиг. 16.

не поставленъ предѣлъ, въ видѣ низкихъ, затопляемыхъ береговъ. Кроме того, въ моментъ наибольшаго расхода воды, можно совсѣмъ не спускать ее въ русло рѣки, опять таки если тому не препятствуетъ судоходство по рѣкѣ требующее нѣкоторый по стоянный расходъ воды въ пей. Чрезвычайно часто можетъ имѣть мѣсто случай, когда не имѣется особаго резервуара или озера, и регулировать расходъ воды можно измѣненіемъ бьефа, создаваемого плотинной пруда. Это имѣетъ мѣсто для рѣкъ протекающихъ въ плоской мѣстности и при томъ многоводныхъ. Обыкновенно въ этихъ случаяхъ плотины отличаются большой длиной и образуютъ нѣчто въ родѣ озера, дающаго возможность подобно предыдущему примѣру опусканіемъ и поднятіемъ уровня воды регулировать расходъ. Въ сильной мѣрѣ уменьшаетъ вліяніе такой регулировки затопляемость береговъ (особенно часто встречающееся при многоводныхъ рѣкахъ) а также и судоходство по рѣкѣ. Что касается рѣкъ особенно многоводныхъ съ малымъ напоромъ, то часто является необходимость (опять по тѣмъ же причинамъ: затопляемость и судоходство) сосредоточивать напоръ не у одной плотины, а разбивать его на цѣлый рядъ таковыхъ. Примѣромъ можетъ служить одинъ изъ проектовъ ути-



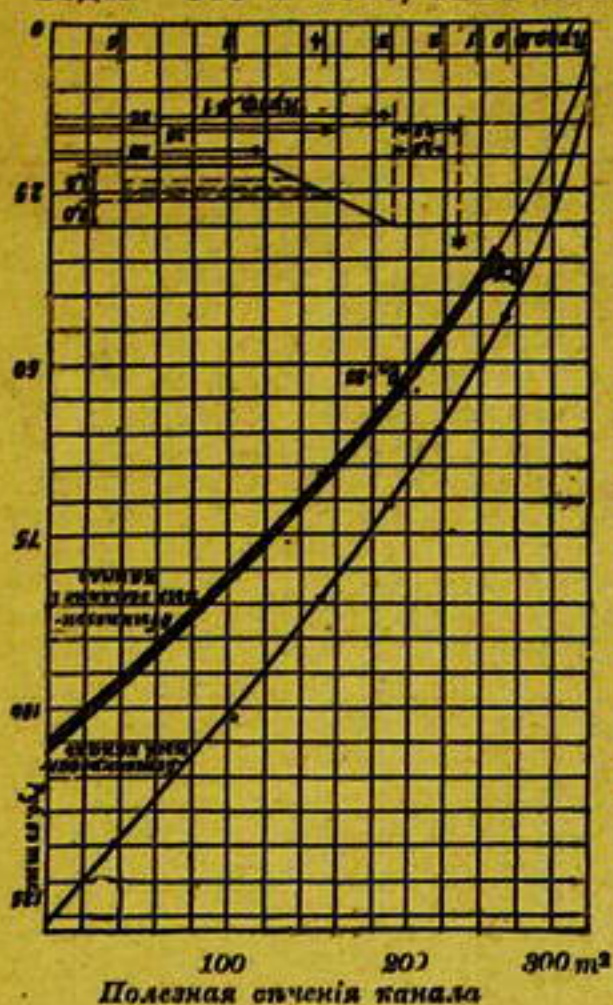
Фиг. 15.



Фиг. 17.

рые в свою очередь, отдають накопленную воду специальнымъ турбинамъ большого напора, во время большой нагрузки. Хотя на подобные установки и обращено внимание, но несомненно одно, что къ подобнаго рода сооружениямъ нужно относиться особенно осторожно. Мало того, что они усложняютъ и удорожаютъ всю установку, коэффициентъ полезнаго дѣйствія всей этой выравнивающей части настолько малъ, что значительно понижается ея работоспособность. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія въ этихъ случаяхъ рѣдко превышаетъ 40—45% [15 стр. 103].

Годичное выравнивание. Что касается годичнаго выравниванія энергии, то таковое играетъ роль только въ установкахъ большого напора съ небольшимъ расходомъ воды. Это и ясно, такъ какъ установки малаго напора, болѣею частью многоводныя,



Фиг. 18.

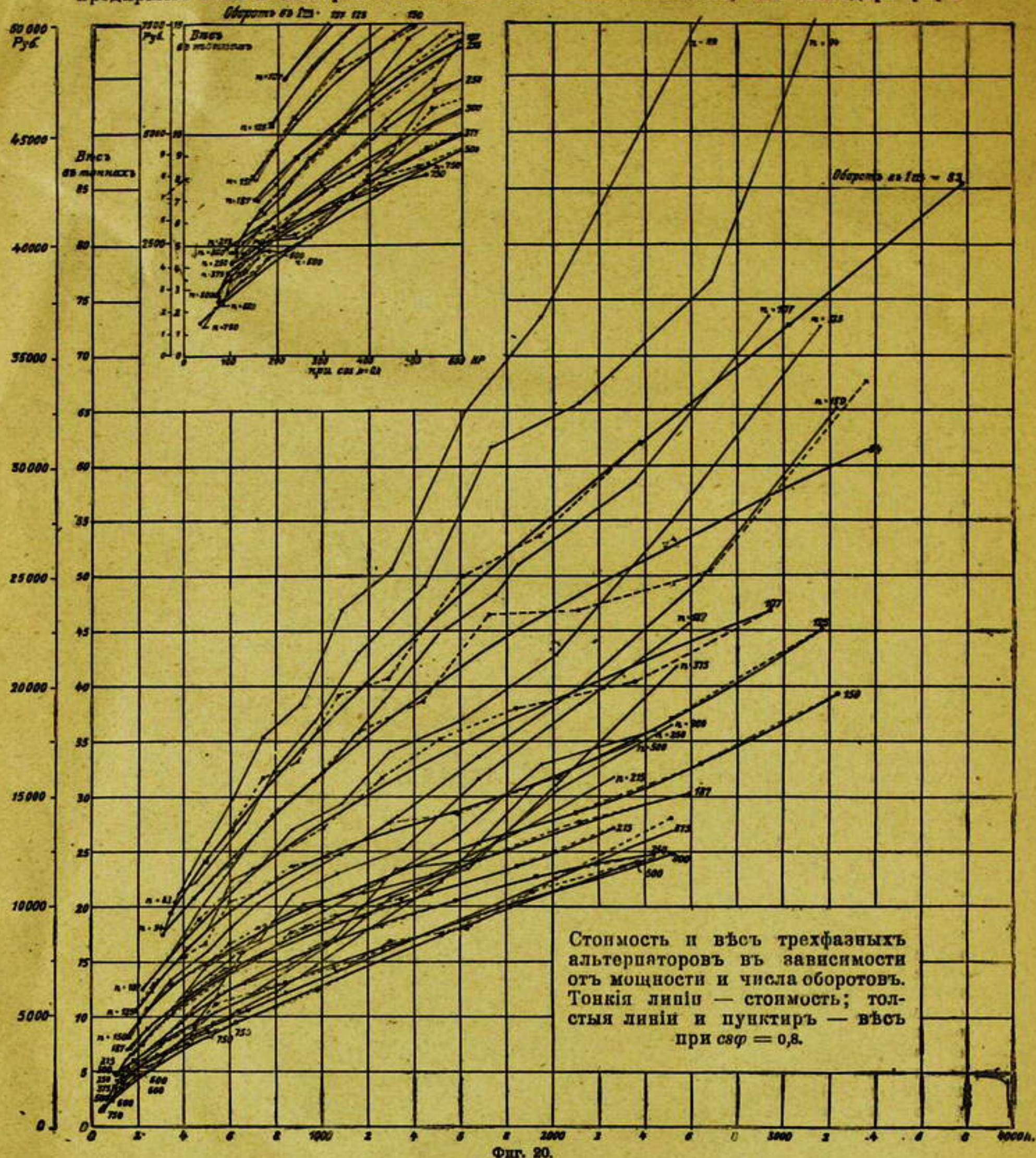
потребовали бы слишкомъ большихъ резервуаровъ и затопленій; единственнымъ исключеніемъ въ данномъ случаѣ являются озера. Примеромъ можетъ служить проектируемая установка на Сайменскомъ озерѣ (Финляндія), гдѣ предполагается въ обходъ всѣмъ перепадамъ рѣки Вуоксы вести каналъ изъ Сайменскаго озера и, такимъ образомъ, шунтировать Вуоксу. Сайменское озеро служитъ резервуаромъ, и расходъ воды можетъ быть регулируемъ. Напоръ этой установки 60 м при расходѣ воды 500 м³. Что касается установокъ большого напора, то и здѣсь главную роль играютъ озера. Примеромъ могутъ служить установки: Brusio (Швейцарія) съ озеромъ Poschiavo; Lötsch (Швейцарія) съ озеромъ Klöntalersee и др. За послѣднее время большое распространение получили въ Германіи установки съ колоссальными плотинами, перегораждающими цѣлыя долины и образующими водохранилища-озера, дающія возможность годичнаго выравниванія. Нужно указать, что большинство этихъ устройствъ оказались недостаточными и необходимый запасъ воды болѣеимъ, чѣмъ тотъ, на который они были рассчитаны. Увлеченіе подобнаго рода установками не оправдываетъ себя и привело въ Германіи къ цѣлому ряду отрицательныхъ результатовъ. Примеромъ подобной установки въ Америкѣ можетъ служить электрическая станція Панамскаго канала; но необходимо оговорить, что въ данномъ случаѣ прегражденіе долины рѣки Chagres сдѣлано исключительно для канала, а установка воспользовалась образовавшимся готовымъ озеромъ (Gatun) [26]. Такъ какъ этотъ вопросъ требуетъ специальнаго трактованія, то мы отсылаемъ читателя къ специальнымъ сочиненіямъ [15, 16, 17, 20]. Изъ всего сказаннаго о выравниваніи ясно, что графикъ мощности, въ той простой формѣ, въ которой онъ былъ примененъ для установокъ безъ выравниванія, примененъ быть не можетъ. Выравниваніе измѣняетъ одну изъ коренныхъ величинъ — расходъ воды, независимо отъ того, будетъ ли это дневное или годичное выравниваніе. Предусмотрѣвъ измѣненіе произведенное выравниваніемъ и измѣнивъ соответствующимъ образомъ кривую расхода, можно передѣлать графикъ мощности. Задача эта значительно сложнее, чѣмъ кажется съ перваго взгляда, такъ какъ построение кривой расхода въ связи съ выравниваніемъ сильно усложняется. Обыкновенно приходится дѣлать цѣлый рядъ допущеній и лишь приблизительно, графически или арифметически рѣшать задачу.

Вопросъ объ эластичной нагрузкѣ способной измѣняться согласно измѣненію расхода воды въ рѣкѣ. Все то, что говорилось до сихъ поръ относилось къ независимой отъ имѣющейся въ распоряженіи энергии нагрузкѣ. Имѣлся графикъ нагрузки зависящій всецѣло отъ района и потребителя энергии къ которому и нужно было приспособляться. Но какъ уже было указано имѣется цѣлый рядъ отраслей, гдѣ расходъ энергии можетъ отчасти приспособляться къ существующимъ условіямъ работы станціи и даже въ состояніи мириться съ полнымъ отсутствіемъ энергии въ теченіе нѣкотораго времени въ году. Благодаря этому гидро-электрическая установка можетъ использовать значительно шире энергію воды



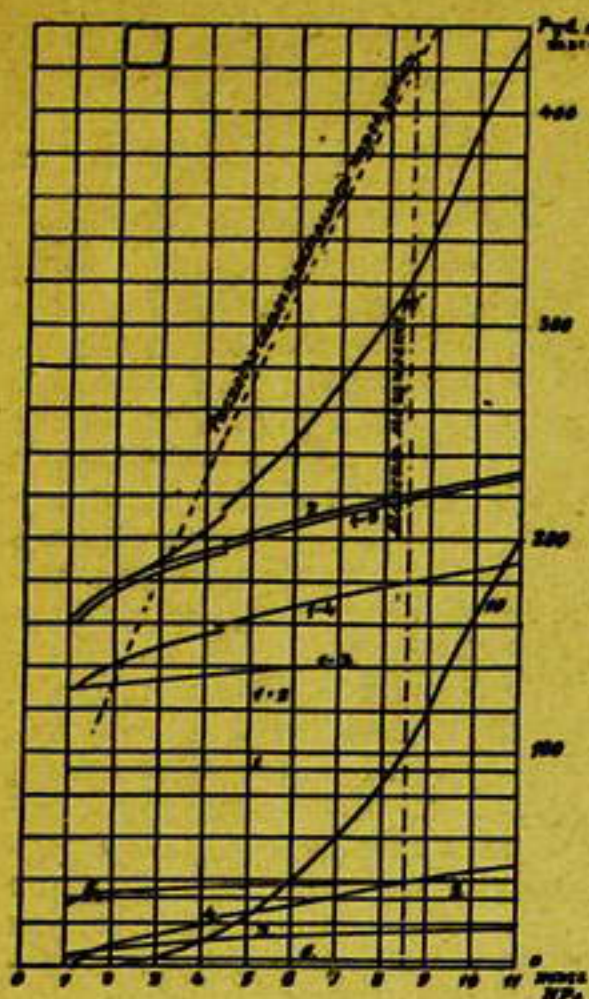
Фиг. 19.

не увеличивая паровой резерв или же совершенно имъ не пользуясь. Наиболее подходящею для этой цѣли отраслью промышленности является электрохимическая; сильное развитіе этой промышленности въ районѣ электрической станціи весьма желательно и выгодно и всегда можетъ служить залогомъ успѣха какъ электрическаго предпріятія такъ и электрохимическаго. Это объясняется тѣмъ, что благодаря улуч-

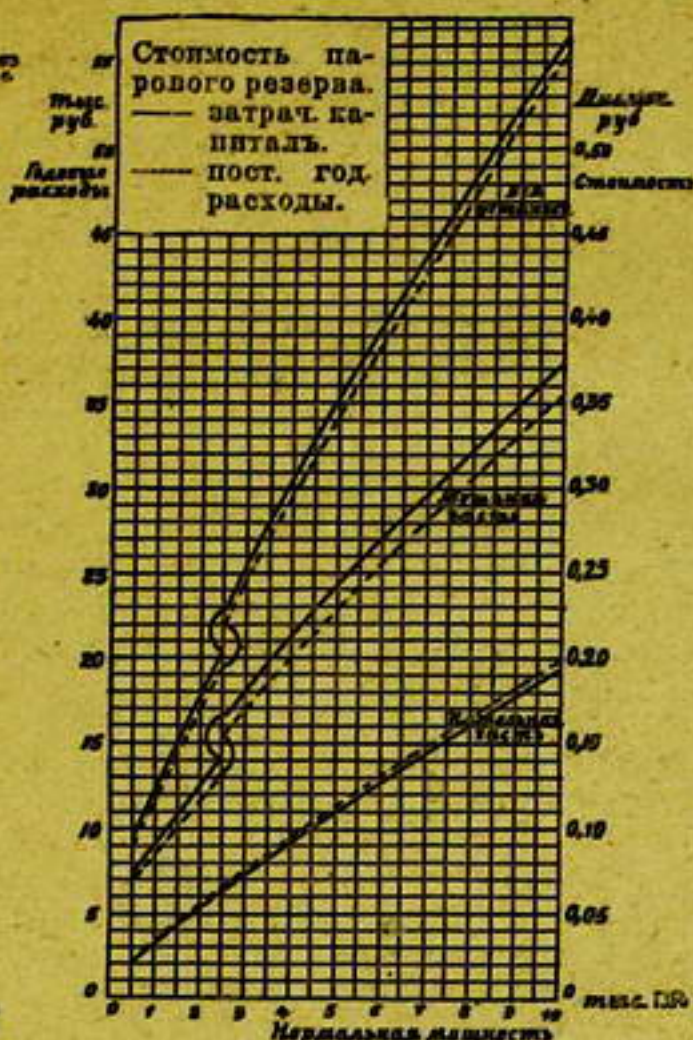


шенію условій работы станціи и значительному повышенію коэффиціента использованія послѣдней есть возможность отпускать энергію на электрохимическія цѣли по очень дешевой цѣнѣ. То же самое относится къ другимъ отраслямъ промышленности, способнымъ мириться съ недостаткомъ энергіи. Тамъ, гдѣ станція строится вновь и гдѣ промышленность уже сильно развита, также можно развить эластичную нагрузку. Обыкновенно всѣ крупныя заводы имѣютъ свои центральныя станціи часто очень экономно работающія (газовые установки, работающія доменными газами); вотъ эти то установки могутъ работать во время недостатка энергіи и служить какъ бы резервомъ.

Такие крупные заводы могут иметь энергию по очень дешевой цене и им будет выгодно работать несмотря на плохой коэффициент использования своей собственной станции. Установки с эластичной нагрузкой получили особенно сильное развитие в Норвегии. Приведем пример установки работающей отчасти на подобную промышленность и чрезвычайно выгодно эксплуатирующей получаемую энергию. Установка Sillwerk города Innsbruck рассчитана на $\frac{5}{8}$ среднего расхода воды, т. е. иначе говоря очень широко. При максимальной мощности 15 000 КВ эта установка снабжает фабрику вырабатывающую нашатырь 9000 КВ в течение 24 часов в сутки, вместе с тем не требуется непрерывная подача энергии в течение всего года. При всем этом фабрика обязалась потреблять всю 9000 КВ и если не в состоянии этого сделать, то уничтожает излишек водяными речистами. И несмотря на все это фабрику подобная энергия чрезвычайно выгодна, так как она продается ей по очень дешевой цене. Электрическая же станция работает при этом идеально и коэффициент использования достигает 100% по сообщению „Direction des städt. Elektrizitätswerkes Innsbruck“. В подобных же условиях находится установка Etschwerke (городов Meran и Bozen) 7200 PS мощностью снабжающая электрохимическую фабрику 2000 PS в течение 24 часов в сутки. При этом постоянно энергия гарантирована только в течение 9 месяцев в году. Плата происходит независимо от расхода энергии по 0,5 копеек за kwh . Женова доставляет из своей установки у Chèvres ток большой электрохимической фабрике согласно с наличной энергией. Общее число присоединенных сил в 1908



Фиг. 21.



Фиг. 22.

было 22 000 PS и общее количество выработанной энергии 37,5 миллионов kwh и из них на долю фабрики 16,7 миллионов (приключенная мощность фабрики 4000 HP); в среднем kwh — часть обошлась фабрике в 0,08 копейки; загрузка станции согласно с расходом воды в речке падала иногда до 1000 PS. Приведенные примеры совершенно ясно указывают на достоинства подобных установок и чрезвычайно выгодную их эксплуатацию.

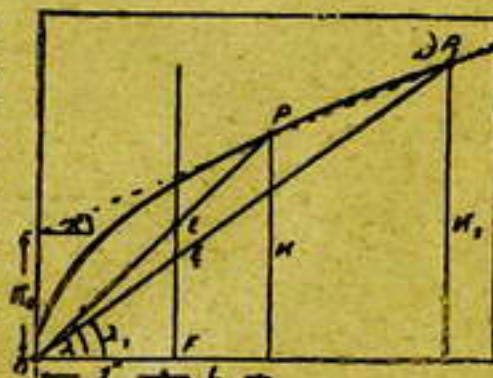
Технические особенности и выбор рационального технического оборудования установки. До сих пор мы рассматривали установку с точки зрения ее величины, предполагая, что элементы технического устройства ее известны. Наша задача теперь

состоит в определении влияния изменений, в техническом оборудовании и в технических особенностях, на работу станции и на ее эксплуатацию. Рассматриваемый отдел может быть разбит на следующие части: А) Выбор напорного участка реки и распределение на создаваемый напор у плотины и на теряемый напор (обход, деривационный канал); Б) Выбор цѣлага ряда величин, влияющих на коэффициент полезного действия установки, именно: падение в подводящем канале, сечение канала, число, величина и тип турбин и генераторов и, наконец, напряжение линии передачи и ее потери.

А. Выбор и подразделение напорного участка. Нами уже указывалось, что затрачиваемый капитал в сильной мѣрѣ



Фиг. 23. а — стоим. трансф. трехфазн.
б — стоимость трансф. с маслом перекачкой и монтажом.



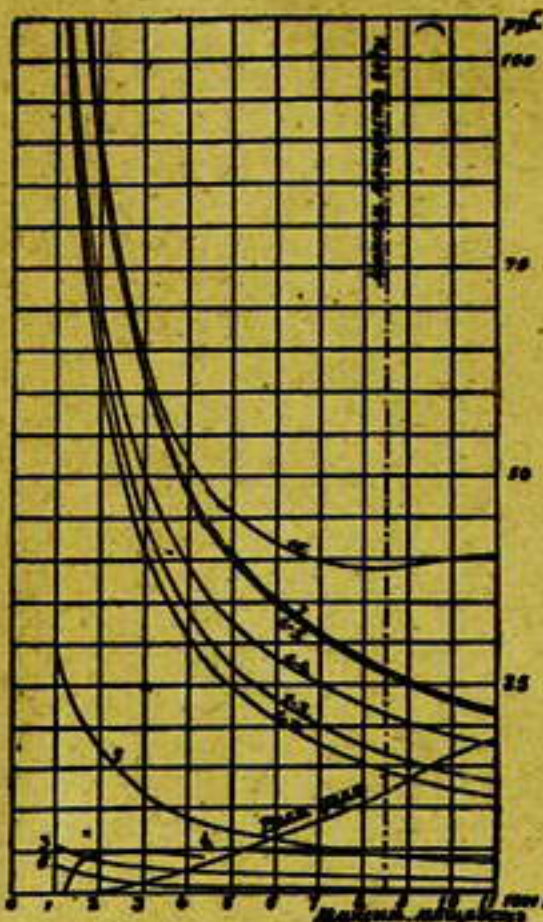
Фиг. 24.

зависит от местных особенностей разрабатываемого участка. Если предстоит выбор не только напорного участка, но даже реки, то необходимо обратить внимание на возможно дешевое устройство установки и на хорошую ее эксплуатацию. Несомненно предпочтение нужно отдать реке, дающей возможность выравнивать расход воды, благодаря чисто естественным способностям (озера). Одним из главных факторов при выборе может быть напор. Известно, что самыми дешевыми являются установки большого напора,

такъ какъ несмотря на значительную мощность, приходится имѣть дѣло съ малыми количествами воды; все устройство такой установки отличается миниатюрностью, если ее сравнить съ установкой, равной мощности ниакаго напора. Очень часто, если есть потребность въ энергіи, то выбираютъ участокъ наиболѣе подходящий въ гидротехническомъ отношеніи, не стѣсняясь разстояніемъ до мѣста потребленія. Примѣромъ можетъ служить установка Albulа города Цюриха, передающая энергію на 136 *km*. Городъ Копенгагенъ предполагается снабдить энергіей знаменитыхъ Trollhattan Falls, находящихся въ Швеціи на разстояніи 200 *km*. Разумѣется удаленіе мѣста производства электрической энергіи отъ мѣста потребленія также нежелательно и имѣетъ границы, которыя съ одной стороны ограничиваются потерями въ линіи передачи и большою стоимостью ея, съ другой стороны, вмѣстностяхъ съ плохо развитыми путями сообщенія, неудобствами подвоза матеріала при постройкѣ. Эти послѣднія причины часто заставляютъ останавливаться на установкахъ, хотя и дорого стоящихъ, но лежащихъ въ сильно населенной и промышленной мѣстности, каковыми обыкновенно и являются установки съ малымъ напоромъ. Нужно сказать, что почти всегда, когда рѣчь идетъ о гидро-электрической установкѣ, то уже имѣется въ виду не только рѣка, но и напорный участокъ ея, по крайней мѣрѣ, въ Россіи. Разумѣется, въ будущемъ, когда все особенно выгодныя и очевидныя для всѣхъ на-



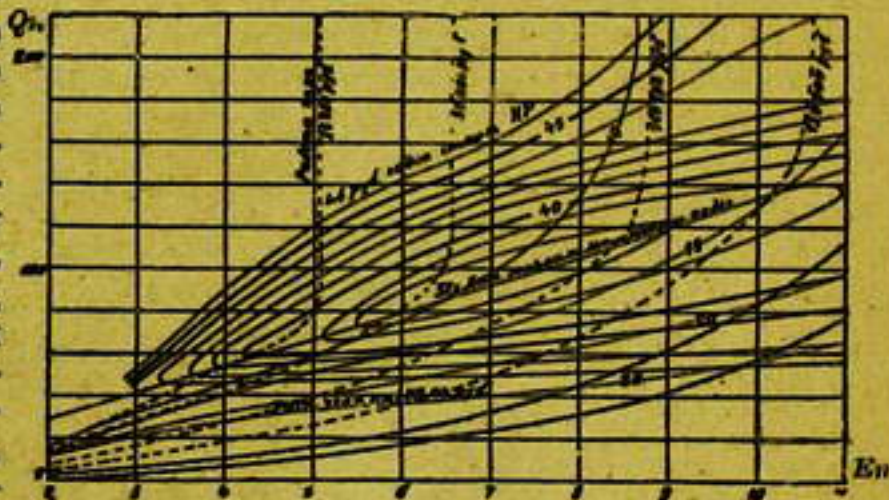
Фиг. 25.



Фиг. 26.

порные участки будутъ использованы, тогда уже придется заняться выборомъ и сравненіемъ достоинствъ той или другой рѣки или того или иного участка, теперь же въ Россіи въ этомъ надобности нѣтъ. Если рѣка уже извѣстна, то выборъ того участка, который долженъ быть использованъ, является вопросомъ болѣе существеннымъ; при этомъ не столько выборъ самаго участка, сколько вопросъ о размѣрахъ использования его. При стараніи удешевить себѣ стоимость энергіи возникаетъ стремленіе къ увеличенію мощности установки, а слѣдовательно къ возможно большому использованию энергіи потока.

Особенности установокъ низкаго напора. Полезный напоръ обыкновенно складывается изъ двухъ частей: напора, созданнаго плотиной, и напора обходнаго. Напоръ, созданный плотиной, растетъ съ вышиною плотины; обходной напоръ растетъ съ длиною обхода. Стоимость плотины растетъ въ началѣ, съ увеличеніемъ ея высоты отъ основанія, медленно, затѣмъ все быстрѣе и быстрѣе, приблизительно пропорціонально ея высотѣ. Стоимость обходнаго канала растетъ приблизительно также пропорціонально его длинѣ. Если опредѣлять экономическую границу его выгодности, постепенно увеличивая высоту плотины, то дойдемъ до такой опредѣленной высоты плотины, когда дальнѣйшее ея увеличеніе будетъ уже невыгоднымъ, несмотря на увеличеніе напора. Большей частью подобнаго рода вычисленіями заниматься не приходится уже потому, что участки низко напорные обыкновенно многоводны и протекаютъ въ мѣстности плоской. Благодаря этому, высота плотины строго и узко ограничена условіемъ незатопляемости береговъ и соответственными узаконеніями, не разрѣшающими доводить подпоръ дальше опредѣленнаго мѣста. Наконецъ, очень важное значеніе приобретаетъ вопросъ о грунтѣ. Если не имѣется въ распоряженіи надежная скала на разумной глубинѣ, то приходится изъ осторожности уже ограничивать высоту плотины, совершенно независимо отъ того, выгодно ли было бы увеличеніе напора или нѣтъ. Устройство же спеціальнаго сооруженія для надежнаго укрѣпленія плотины обыкновенно столь дорого, что ставитъ непреодолимые препятствія ихъ исполненію. Очень часто поэтому является выгоднымъ устройство канала (см. Каналы) и увеличеніе, благодаря послѣднему, напора даже и тогда, когда естественныя особенности рѣки не особенно благоприятствуютъ этому условію (нѣтъ ясно выраженныхъ петель, поворотовъ и вообще условій, дающихъ возможность при короткомъ сравнительно каналѣ использовать значительный напоръ). Разумѣется, это относится къ рѣкамъ и участкамъ, гдѣ среднее паденіе достаточно велико. Для рѣкъ съ очень малымъ паденіемъ, единственно возможнымъ является непосредственное использование напора у плотины безъ всякихъ каналовъ, тѣмъ болѣе, что подобныя рѣки чрезвычайно многоводны и устройство каналовъ слишкомъ дорого. Часто случается, что при не очень широкихъ рѣкахъ устройство нѣсколькихъ плотинъ одна за другой удешевляетъ

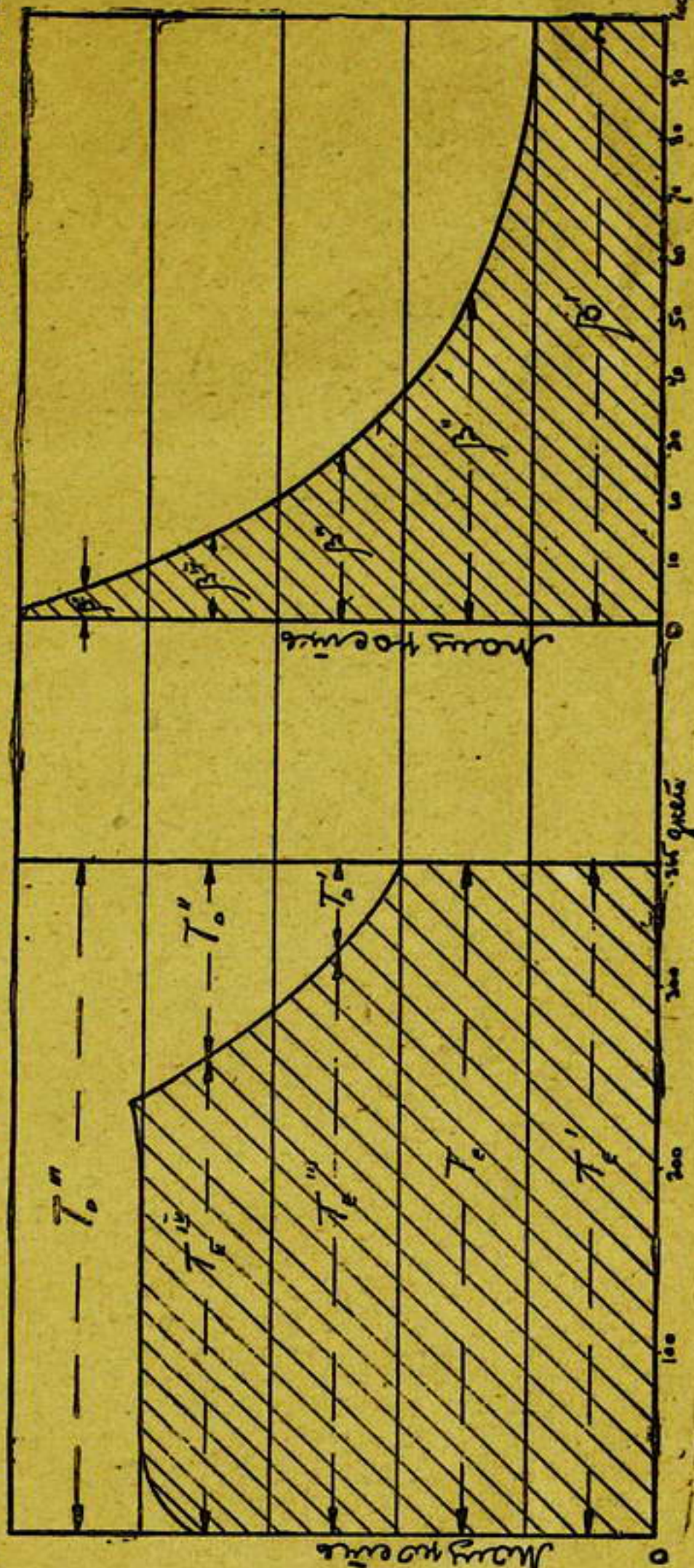


Фиг. 27.

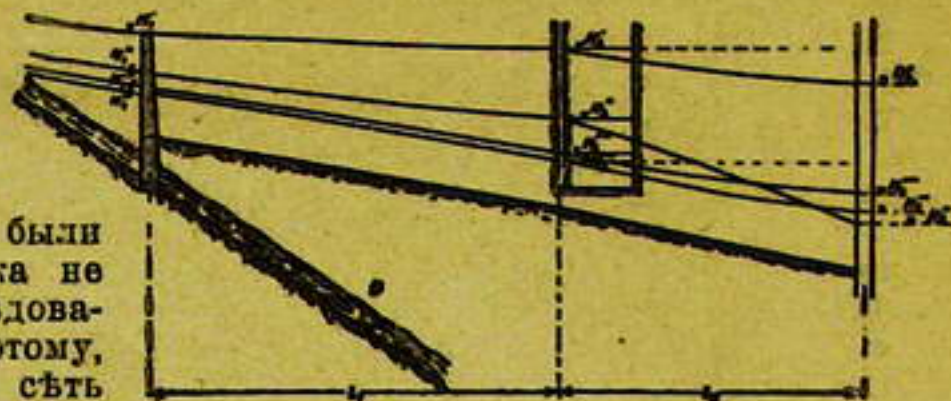
Для рѣкъ съ очень малымъ паденіемъ, единственно возможнымъ является непосредственное использование напора у плотины безъ всякихъ каналовъ, тѣмъ болѣе, что подобныя рѣки чрезвычайно многоводны и устройство каналовъ слишкомъ дорого. Часто случается, что при не очень широкихъ рѣкахъ устройство нѣсколькихъ плотинъ одна за другой удешевляетъ

устройство, но несмотря на это, устройство одной плотины влечет к меньшим годовым расходам. Как особенностью установок низкого напора является еще то обстоятельство, что при высокой воде большею частью нет возможности использовать напора, так как условие незатопляемости заставляет спускать весь излишек воды через разборные части плотины и таким образом не только не выгадывается, но в значительной мере теряется, так как подъем нижнего уровня воды влечет к уменьшению напора и часто сводит его лишь к небольшой доле нормального. Это обстоятельство значительно осложняет условия работы и заставляет часто выбирать резерв не по E_0' , а по E_0'' , так как в этих случаях $E_0'' < E_0'$. Не нужно также упускать из виду, что при устройстве канала, благодаря сосредоточению большого напора в одном месте, увеличивается число оборотов турбин, улучшается коэффициент полезного действия турбин и генераторов и уменьшается их стоимость; наконец, меньшие расходы по содержанию технического и рабочего персонала, по смазке, обтирке, по устройству самого адания станции. Место расположения плотины указывается непосредственно особенностями грунта согласно с расчетом о возможно большем достигаемом напоре; если нет резко выраженной особенности в течении реки, определяющей положение плотины, то тогда особенности долины могут дать соответствующие директивы. При всех прочих рассуждениях нужно иметь в виду, что каналы имеют свои отрицательные стороны: засорение, отложение на дне всякой мути и замерзание в северных странах и даже, напр., в Сибири, полное промерзание. Часто такие мелкие с первого взгляда незначительные обстоятельства сильно усложняют работу установки. До сих пор мы рассматривали исключительно подводящую часть канала; на ряду с ней должна быть соответственным образом рассчитана и отводящая его часть (см. Каналы). Часто устройство этого последнего прямо указывается местными условиями и тогда не бывает выбора. Во многих случаях местные условия не связывают решения, и тогда подсчет должен определить то или иное решение. Необходимо прилагать все старания к тому, чтобы отводная часть канала была возможно коротка, так как она обходится значительно дороже подводящей; это объясняется тем, что отводящий канал делается глубже и часто его приходится возводить, работая под водой.

Особые условия для установок большого напора. В установках большого напора, обыкновенно местные условия настолько ярко выражены, что не дают возможности выбора. Обходные каналы (деривационные) в подобных высоконапорных установках значительно дешевле, нежели при низких напорах и благодаря этому стоимость канала (см. Каналы) играет сравнительно малую роль; это обстоятельство ведет к тому, что выигрыш в напор здесь не только компенсирует расход на удлинение обхода, но и дает значительные выгоды. Поэтому-то в подобных установках основной целью является возможно больший напор. Плотина в данном случае уже не играет ту роль, что в установках низкого напора, а служит скорее средством захвата воды с целью провести ее по каналу, поэтому, делается часто лишь в виде порога. Иногда в силу чисто технических условий,



нужно отдать предпочтению высокой плотнѣ; такими условіями могутъ быть: желательность уменьшенія движенія всевозможныхъ пловучихъ тѣлъ и льда. Наконецъ, желательность создать хотя бы небольшой прудъ для выравниванія расхода воды, можетъ также заставить устроить высокую плотину (примѣромъ можетъ служить захватъ воды установки Albula). Для установокъ рассчитывающихъ на годовичное выравниваніе, выборъ мѣста захвата воды чрезвычайно важенъ. Желаніе использовать возможно большое паденіе сводитъ къ тому, что захватъ рѣки производится недалеко отъ истоковъ, но это послѣднее обстоятельство влечетъ за собой малый и рѣзко мѣняющійся расходъ воды, такъ какъ бассейнъ рѣки отъ истока до захвата чрезвычайно малъ. Если расположить захватъ далеко отъ истоковъ, то будетъ потеряно въ напорѣ, хотя приобрѣтено въ расходѣ воды. Между этими двумя рѣшеніями должно находиться наивыгоднѣйшее. Говоря о низко-напорныхъ сооруженіяхъ уже было установлено, что съ экономической точки зрѣнія является выгоднымъ сложеніе напоровъ и использованіе ихъ въ одной ступени. Для высоко-напорныхъ установокъ такое соединеніе еще выгоднѣе; это объясняется чисто технической особенностью турбинъ Пельтона; дѣло томъ, что турбины должны быть расположены по крайней мѣрѣ на 2 м выше самаго высокаго низшаго уровня воды и слѣдовательно, въ среднемъ будетъ потеряно нѣсколько метровъ въ общемъ напорѣ; если у насъ имѣется цѣлый рядъ ступеней, то такія потери могутъ оказаться чувствительными. Выходомъ изъ этого положенія является то обстоятельство, что турбины Франсиса находятъ теперь примѣненіе до 200 м напора и при особой конструкціи до 400 м. При болѣе высокихъ напорахъ потеря въ нѣсколько метрахъ не играетъ роли, такъ какъ составляетъ меньше 1%. При вопросѣ объ использованіи всего паденія въ одной ступени, возникаетъ вопросъ о надежности непрерывной работы; дѣло въ томъ, что при очень большихъ напорахъ, какъ бы хорошо ни были устроены сооруженія и трубы, установка не гарантирована отъ прорыва трубъ и слѣдовательно продолжительной остановки. Поэтому, если нѣтъ возможности питать данную съѣтъ немедленно изъ какой-либо другой установки, то является болѣе целесообразнымъ устроить установку въ двѣ ступени, единственно съ цѣлью обезпечить постоянство энергіи своимъ абонентамъ. Это особенно важно при чувствительной нагрузкѣ, каковыми является освѣщеніе и тяга.



Фиг. 29.

В. Отдѣльныя части установки и ихъ вліяніе на общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія. Когда установлена величина и расположеніе установки, то остается еще цѣлый рядъ чисто техническихъ особенностей вліяющихъ на коэффициентъ полезнаго дѣйствія и на работу установки. Можно указать на то, что съ увеличеніемъ затрачиваемаго капитала увеличивается коэффициентъ полезнаго дѣйствія, но при томъ опять таки въ известной мѣрѣ, такъ что имѣется определенное значеніе затрачиваемаго капитала, при которомъ эксплуатаціонные расходы являются *minimum*омъ. Разберемъ этотъ вопросъ сперва для обходныхъ сооружений, затѣмъ для машинъ и выравнивающихъ приспособленій.

1. Поперечное сѣченіе и особенности обходныхъ сооружений (каналы и трубы). При заданномъ расходѣ воды существуетъ, между величинами опредѣляющими каналъ, математическое соотношеніе и имѣется цѣлый рядъ формулъ, дающихъ возможность выразить это числами (см. *Гидравлика* и *Каналы*). Является ли въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ выгоднымъ необдѣланный или же бетонированный каналъ, можетъ указать лишь предварительный подсчетъ. Вопросъ о теоретически выгодной формѣ можетъ возникнуть только при большихъ сѣченіяхъ; при малыхъ сѣченіяхъ условіе доступности канала и его эксплуатація ограничиваетъ сѣченіе нѣкоторымъ минимальнымъ размѣромъ, ниже котораго идти не слѣдуетъ. Скорость теченія также не можетъ быть произвольно увеличена, такъ какъ отъ этого могутъ пострадать берега (подмывъ). Большое вліяніе на скорость теченія можно получить, увеличивая уклонъ дна; тогда стоимость канала значительно падаетъ, но растутъ потери въ напорѣ и съ ними либо расходы по резерву, либо по выравниванію, иначе говоря стоимость энергіи. Ясно слѣдовательно, что и здѣсь должна существовать экономическая граница, ограничивающая подобное увеличеніе уклона дна и существуетъ нѣкоторое наивыгоднѣйшее рѣшеніе. При установкахъ съ сильно колеблющейся нагрузкой можетъ случиться, что использованіе полного сѣченія канала, чрезвычайно мало и слѣдовательно полныя потери въ каналѣ, чрезвычайно рѣдки и такія случаи нужно отдѣлять отъ тѣхъ, когда каналъ работаетъ полностью почти непрерывно. Въ послѣднемъ случаѣ, разумѣется должно быть особенно много вниманія обращено на потери и принять возможно меньшій уклонъ.

Особыя условія работы установокъ высокаго напора. То, что до сихъ поръ было сказано объ обходныхъ сооруженіяхъ, относилось болѣе къ установкамъ съ небольшимъ паденіемъ, но можетъ въ полной мѣрѣ относиться и къ таковымъ съ большимъ паденіемъ. Только вліяніе расхода на машины съ увеличивающимся напоромъ значительно меньше, и поэтому нѣкоторыя чисто практическія условія выдвигаются на первый планъ. Такъ тоннели не могутъ быть менѣе нѣкотораго мини-

маленького сечения, так как иначе трудности вывоза материала и работы в них влияют в сторону удорожания. Минимальными размерами можно считать высоту в 2,0 м и ширину в 1,7 м, считая бетонирование 20 мм толщины. Особого рассмотрения, в установках с большим падением, требуют еще водонапорные камеры и трубы (см. Гидравлика). Цель и назначение водонапорных камер смягчать и уничтожать удары могущие возникнуть в трубах при резком изменении нагрузки. Чем меньше сечение тоннеля, при данном расходе воды, тем больше должна быть высота и сечение напорной камеры. При расчете напорной камеры, важно правильное определение размеров ее, так как в противном случае, при регулировке могут возникнуть колебания столь значительные, что могут вредно отозваться на работе станции. Сечение напорных труб имеет особенно сильное влияние на их стоимость, так как с увеличением диаметра растет не только поверхность на погонный метр, но и толщина стенок. Расчет показывает, что иной раз более выгодно, в смысле экономии в металл, вести несколько труб вместо одной, что способствует также и надежности работы [3]. Величина наиболее рационального сечения падает с увеличением давления, т. е. по трубам сверху вниз; обыкновенно это условие выполняется ступенчатым уменьшением сечения труб с соответствующими главными переходами. Производство труб не позволяет увеличивать толщину стенок свыше 30 мм и поэтому при очень больших напорах необходимо вести целый ряд труб малого диаметра.

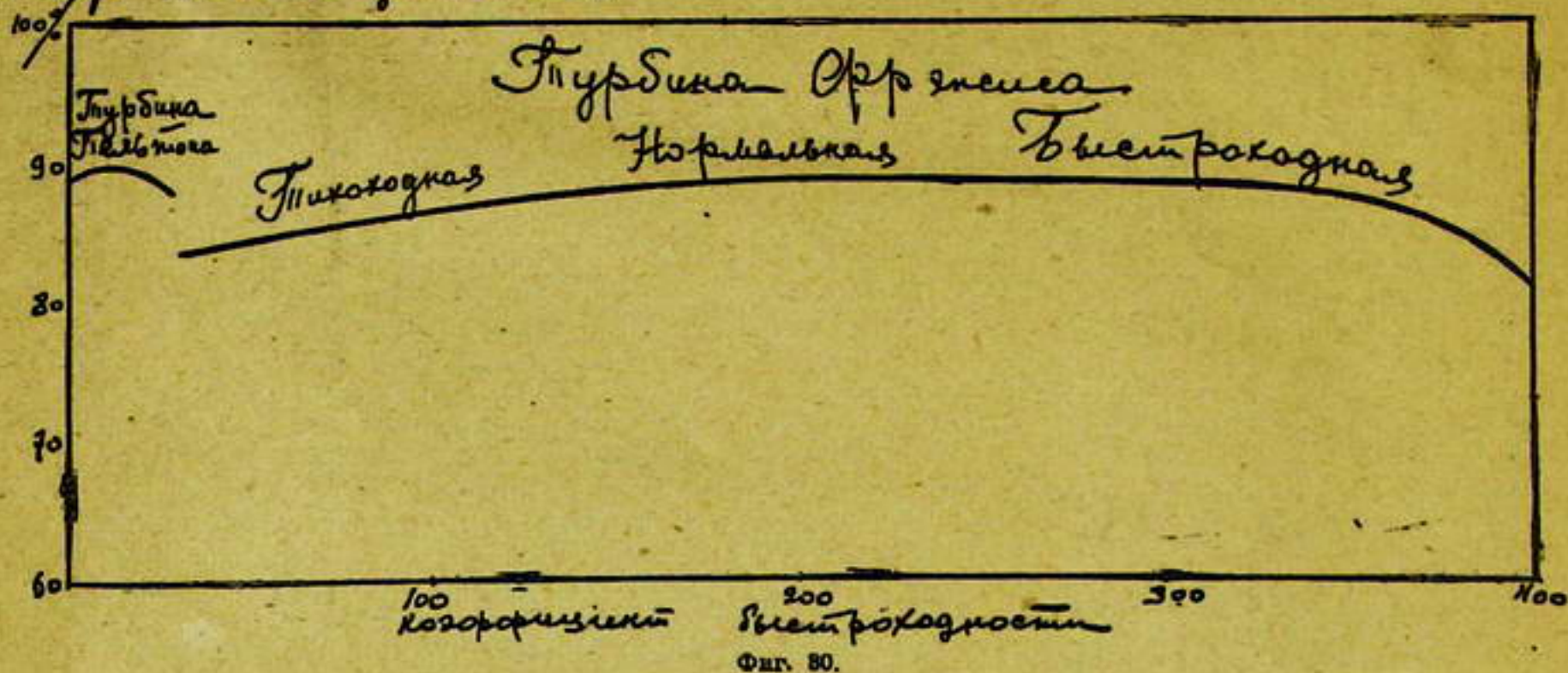
2. Машинное оборудование — а. Значение коэффициента полезного действия. Всякое изменение в оборудовании машинами, вызывает изменение коэффициента полезного действия и стоимости установки, а следовательно, и стоимости энергии. Почти всегда улучшение коэффициента полезного действия, вызывает удорожание установки. Затраченный на приобретение и установку машин капитал в гидроэлектрических установках составляет лишь небольшую долю капитала, идущего на сооружение всей установки. Согласно исполненным установкам отношение капитала, идущего на машинное оборудование, к общему капиталу составляет для установок очень малого (до 5 м) и очень большого напора (300—400 и выше) около 35%; для установок средних напоров эта величина значительно меньше и при 100 м составляет всего 8%.

б. Число машин и их величина. При данной максимальной мощности затрачиваемый капитал тем больше, чем больше число единиц; это следует из того, что крупные единицы дешевле мелких. Влияние уменьшения числа оборотов при увеличении мощности отдельных единиц ослабляет высказанное положение, но не уничтожает его силу. Коэффициент полезного действия, как и у всех двигателей вообще, у больших единиц выше нежели у меньших (разумеется, в значительно меньшей мере, чем у паровых турбин). Ввиду того, что улучшение коэффициента полезного действия с увеличением мощности единиц происходит очень медленно, то преимущество больших единиц в очень сильной степени ослабляется плохим коэффициентом загрузки машин. Чем больше число машин, тем лучше коэффициент загрузки каждой машины и тем меньше влияния колебания нагрузки на коэффициент полезного действия машин. Прямые эксплуатационные расходы сильно увеличиваются с увеличением числа единиц; смазка и обтирочные материалы лишь в малой степени зависят от величины единицы, еще меньше от числа оборотов и вообще представляют собой малые величины. Увеличение персонала, обслуживающего станцию, при современном усовершенствовании машин и управления ими чрезвычайно незначительно, увеличивается лишь довольно значительно расход на ремонт. Что касается определения рационального и наиболее выгодного числа единиц, то этот вопрос можно решить сравнительными расчетами. При станциях очень большой мощности таких подсчетов делать не приходится, так как величина агрегатов ограничивается их весом и размерами. Трудность установки и подвоза заставляет ограничиваться определенными величинами и несомненно, что мощность каждой единицы будет значительно меньше общей мощности станции и устанавливается настолько много единиц, что условия загрузки получаются лучше, чем можно бы желать для рационального расчета. Наконец, в частном случае установки, работающей почти постоянно при полной нагрузке, несомненно число единиц желательно возможно меньшее и при том с максимальным коэффициентом полезного действия соответствующим полной нагрузке, а не $\frac{3}{4}$ нагрузке, как это обыкновенно принято для турбин. Иногда можно достичь выгодной работы, принимая единицы разной мощности, дабы имела возможность приспособляться к нагрузке.

с) Конструкция, тип, нормальный напор, число оборотов и способ пуска в ход турбин. При заданном или выбранном числе единиц и при заданном числе оборотов остается еще сделать выбор между типами турбин. Выбор соответствующей турбины, может быть сделан по заданному типу, изменяя соответствующим образом число рабочих колес и их размеры, либо наоборот по определенной величине колес и числу их изменяя их форму. Величина коэффициента быстроходности характеризует собой турбины, как то видно из фиг. 30. Эта же фигура указывает, что наилучший коэффициент полезного действия соответствует величине $n_s = 150$ и что падение коэффициента полезного действия, начинается ускоряться по достижении $n_s = 200$. Так как с увеличением скорости генераторы удешевляются и турбины также, то рациональным является выбор коэффициента скорости в пределах $n_s = 200$. Нужно указать, что за последнее время прак-

тика указала на другія рѣшенія. Такъ напр., установка Кеокукъ на рѣкѣ Миссиссиппи снабжена турбинами Фрэнсиса въ открытых камерахъ 10000 HP мощностью. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія этихъ турбинъ достигаетъ 88% при $n = 336$, что до сихъ поръ совершенно не допускалось. Отчасти это можно объяснить большимъ уменьшеніемъ потерь, вслѣдствіе установки спиральныхъ камеръ съ особыми подводящими ребрами (фиг. 4). Стремленіе увеличить число оборотовъ приводитъ къ типамъ турбинъ съ большимъ числомъ рабочихъ колесъ (вѣнцовъ), но при этомъ нужно принять во вниманіе, что стоимость и содержаніе турбины растутъ значительно быстрее числа вѣнцовъ и это особенно рѣзко замѣтно, какъ только число ихъ становится больше двухъ. Обыкновенно двухвѣнечная турбина стоитъ лишь на 20% дороже одновѣнечной, тогда какъ четырехвѣнечная на 90% дороже; если при этомъ принять во вниманіе уменьшеніе коэффициента полезнаго дѣйствія и увеличеніе занимаемаго мѣста, то ясно, что увеличивать число вѣнцовъ слѣдуетъ лишь въ случаѣ крайней необходимости. При большихъ напорахъ можно встрѣтиться съ стремленіемъ уменьшить число оборотовъ. Такъ, при напорахъ въ 200 м, желательно было бы примѣнить турбины Фрэнсиса, такъ какъ они въ состояніи использовать теряемый турбинами Пельтона на-

Коеф. полезнаго дѣйствія



Фиг. 80.

поръ и даютъ большіе коэффициенты полезнаго дѣйствія, но чрезмѣрное увеличеніе скорости, ведущее къ увеличенію діаметра рабочаго колеса и удорожанію машины, дѣлаютъ ее невыгодной.

Общее расположеніе машинъ. Число возможныхъ устройствъ въ общемъ очень велико; обычно возникаетъ цѣлый рядъ вопросовъ о томъ нужно ли ставить горизонтальныя турбины въ открытых камерахъ или же спиральныя турбины вертикальныя либо горизонтальныя, устраивать ли отсасывающую трубу металлическую или сдѣлать ее бетонною и цѣлый рядъ другихъ вопросовъ. На все это можетъ отвѣтить только подробное изслѣдованіе въ каждомъ частномъ случаѣ.

Укажемъ только на главныя условія и особенности, которыя должны быть приняты во вниманіе. Вертикальныя турбины расположенныя въ открытых камерахъ требуютъ небольшую площадь машиннаго зала, но въ особенности при многоколесныхъ устройствахъ и малыхъ напорахъ, необходима большая глубина. Въ рѣдкихъ случаяхъ возможна установка турбины надъ среднимъ уровнемъ низкой воды, такъ чтобы возможно было простымъ закрытіемъ щита осушить всю камеру; обыкновенно требуются спеціальныя приспособленія для закрытія и со стороны низкаго уровня воды и слѣдовательно лишніе расходы.

Устройство пять достаточно усовершенствовалось, тѣмъ болѣе, что въ разгрузкѣ принимаетъ участіе масло, подводимое къ пятѣ подъ давленіемъ, но все же пяты эти являются довольно дорогими сооруженіями и удорожаютъ турбину. Поэтому за послѣднее время замѣтно стремленіе устраивать вертикальныя турбины лишь одновѣнечныя, что даетъ большія преимущества передъ многовѣнечными, допуская устройство спиральной камеры и хорошо рассчитанной отсасывающей трубы. Горизонтальныя турбины считаются нормальными (въ Европѣ) такъ какъ подшипники могутъ быть достаточно широко рассчитаны и являются самымъ обыкновеннымъ типомъ таковыхъ. Кромѣ того турбины могутъ быть расположены настолько высоко, что для осушки турбины достаточно спустить щиты преграждающіе доступъ водѣ высшаго уровня. Бетонныя работы также значительно уменьшаются, въ особенности если при этомъ примѣняются металлическія всасывающія трубы; хотя нужно замѣтить что потери въ бетонныхъ трубахъ значительно меньше нежели въ металлическихъ и содержаніе ихъ и возобновленіе требуютъ значительно меньшихъ расходовъ. Кромѣ всего этого горизонтальныя генераторы стоятъ на 10% дешевле вертикальныхъ. Въ виду невозможности устройства спиральныхъ камеръ, коэффициентъ полезнаго дѣйствія нѣ-

сколько ниже, чѣмъ у вертикальныхъ. Недостатки горизонтальнаго типа слѣдующіе: площади ими занимаемая велика въ особенности у многовѣчныхъ, но зато глубина основанія мала. Полъ машиннаго зала обыкновенно ниже высшаго уровня воды и поэтому стѣна отдѣляющая машинный залъ отъ камеръ должна выдерживать значительное давленіе и должна быть въ достаточной мѣрѣ водонепроницаема. Иногда машинный залъ приходитъ въ соприкосновеніе съ низшимъ уровнемъ воды и тогда онъ долженъ быть непроницаемъ со всѣхъ сторонъ. Все это относится къ тѣмъ случаямъ, когда не можетъ быть и рѣчи о закрытыхъ турбинахъ, т. е. до напоровъ въ 10 м. Но уже за этими напорами, т. е. даже уже въ предѣлахъ отъ 10 до 20 м вопросъ не такъ ясенъ и выборъ открытаго и закрытаго типа долженъ быть сдѣланъ на основаніи подсчетовъ.

Трудность устройства непроницаемыхъ стѣнъ растетъ съ увеличеніемъ напора, такъ какъ нельзя располагать турбины больше чѣмъ на 7 до 7,5 м надъ наимнзшимъ уровнемъ воды. Примѣненіе закрытыхъ турбинъ даетъ возможность ставить ихъ въ самомъ машинномъ залѣ и слѣдовательно избѣжать указанное неудобство. Во всякомъ случаѣ закрытая турбина на 30% дороже открытой, но при этомъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія у закрытыхъ турбинъ выше. При напорахъ выше 20 м закрытая турбина является уже опредѣленнымъ типомъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ уже нельзя принять открытыхъ (слишкомъ удорожается все устройство). Обыкновенно принимается горизонтальное устройство, однако, если низшій уровень воды очень рѣзко колеблется, то приходится устраивать вертикальную турбину, дабы можно было полъ машиннаго зала поднять на 7 м выше наимнзшаго уровня воды.

Выравнивающія устройства. Наивыгоднѣйшее расположеніе. Наивыгоднѣйшимъ расположеніемъ резервуара служащаго для выравниванія, будетъ несомнѣнно такое, при которомъ косвенные расходы по сооруженіямъ соединяющимъ резервуаръ съ главнымъ водотокомъ, будутъ наименьшими. Для годичнаго выравниванія наивыгоднѣйшимъ положеніемъ такого резервуара является его непосредственная близость къ захвату воды; простѣйшій случай, созданіе резервуара-пруда самой плотиной. Въ томъ случаѣ, когда резервуаръ по естественнымъ условіямъ мѣстности расположенъ въ сторонѣ отъ главнаго пути воды, тогда устройство каналовъ избѣжать нельзя и подводящій каналъ отъ мѣста захвата воды до резервуара пришлось бы рассчитать на максимальную полезную величину расхода воды или если это невозможно, то во всякомъ случаѣ настолько широко, чтобы можно было использовать хотя бы часть расхода воды выше средняго. Наоборотъ, для установки съ дневнымъ выравниваніемъ подводящій къ резервуару каналъ можетъ быть рассчитанъ на средній дневной расходъ воды, тогда какъ отводящій и соединяющій резервуаръ съ силовой станціей долженъ быть рассчитанъ на максимальный дневной расходъ. Въ виду этого нужно стараться устраивать резервуаръ возможно ближе къ силовой станціи, чтобы отводящій отъ него каналъ былъ возможно короче.

Установки, работающія съ дневнымъ и годичнымъ выравниваніемъ, потребовали бы (въ виду изложенныхъ соображеній) устройства резервуара въ нѣкоторомъ среднемъ пунктѣ, между захватомъ воды и станціей, но обыкновенно этотъ вопросъ сильно ограниченъ мѣстными условіями и исключаетъ выборъ. Иногда бываетъ возможно разбить аккумулирующее устройство на двѣ части: одна большая располагается возможно ближе къ захвату воды и служитъ для годичнаго выравниванія, другая — меньшая должна находится ближе къ зданію силовой станціи и служитъ для дневного выравниванія; кромѣ того, распределеніе можетъ быть таковымъ, что большій аккумуляторъ выравниваетъ тѣ слои нагрузки, которые при малой добавочной мощности дадутъ большую работу, малый же резервуаръ служитъ лишь для покрытія пиковъ нагрузки. Съ точки зрѣнія технической работы станціи, устройство резервуара вблизи напорной камеры очень желательно такъ какъ такой резервуаръ, принимая участіе въ работѣ напорной камеры, значительно выравниваетъ измѣненія въ давленіи, могущія произойти въ напорныхъ трубахъ и, слѣдовательно, увеличиваетъ надежность работы этихъ послѣднихъ.

Эти условія выступаютъ тѣмъ рѣзче, чѣмъ длиннѣе подводящій каналъ. Не такъ просто обстоитъ дѣло, если подводящій каналъ является тоннелемъ съ полнымъ заполненнымъ водой сѣченіемъ; пониженіе уровня воды въ резервуарѣ можетъ вызвать слишкомъ большую разность уровней, а, слѣдовательно, и слишкомъ большія и недопустимыя скорости въ тоннелѣ и связанныя съ ними потери. Поэтому, если резервуаръ расположенъ у напорной камеры, необходимо обезпечить себя отъ появленія недопустимыхъ скоростей. Это можетъ быть выполнено либо увеличеніемъ напорной камеры и сооруженіемъ соотвѣствующихъ запорныхъ устройствъ, либо совершеннымъ раздѣленіемъ двухъ функцій: покрытія пиковъ нагрузки отъ постоянной нагрузки. Послѣдній способъ даетъ наилучшее рѣшеніе и имѣетъ тѣ преимущества, что увеличиваетъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія и понижаетъ стоимость сооруженій.

Наивыгоднѣйшая глубина опусканія уровня воды въ резервуарахъ, служащихъ для выравниванія расходовъ воды. Хорошее использование резервуара требуетъ съ одной стороны опусканіе его уровня до возможно большей глубины, съ другой этому стремленію противодѣйствуетъ паденіе напора. Почти всѣ естественные резервуары отличаются тѣмъ, что опусканіе первыхъ слоевъ даетъ большія количества воды при маломъ пониженіи уровня; чѣмъ дальше идетъ пониженіе, тѣмъ меньшее количество воды соотвѣствуетъ одной и той же высотѣ пониженія; причиною этого является приближающаяся къ трапецеидальной формѣ сѣ

чение резервуаровъ. Отсюда ясно, что изъ чисто экономическихъ соображеній невыгодно спускать уровень воды въ резервуарахъ ниже определенной границы, обусловленной экономичностью. Такимъ образомъ, экономическое использование не является въ то же время полнымъ использованием резервуара.

d) Передача энергии. Вопросъ о наивыгоднѣйшей передачѣ энергии чрезвычайно сложенъ и требуетъ очень подробнаго изслѣдованія; укажемъ только на основныя условія и вліяніе передачи на использование гидравлической установки.

Стоимость генераторовъ тѣмъ дороже, чѣмъ выше ихъ напряженіе, стоимость же передачи (не включая изоляцію) тѣмъ меньше, чѣмъ выше напряженіе (при томъ измѣняется приблизительно пропорціонально второй степени) и чѣмъ больше допускаемая потеря.

Нѣкоторую максимальную величину напряженія (15 000 V) генераторовъ не превосходятъ изъ соображенія надежности эксплуатаціи, и дальнѣйшее повышение производится трансформаторами. Часть энергии теряется обыкновенно въ трансформаторахъ и при томъ потери эти растутъ съ коэффициентомъ трансформации. Вмѣстѣ съ коэффициентомъ трансформации растетъ также и стоимость трансформатора. Это указываетъ на то, что должно существовать наивыгоднѣйшее соотношеніе между всѣми этими величинами дающее минимальные расходы на единицу энергии.

Всѣ эти величины имѣютъ вліяніе на характеръ установки въ томъ смыслѣ что въ зависимости отъ напряженія генератора будетъ измѣняться и его число оборотовъ и величина и поэтому относится къ тѣмъ уже указаннымъ условіямъ, которыя стремятся увеличить число оборотовъ. Въ общемъ связь эта не очень велика и поэтому вопросъ о напряженіи линіи передачи можетъ рассматриваться совершенно самостоятельно и независимо отъ гидравлической установки (см. *Передача энергии*). То же относится и къ вопросу о сѣченіи проводовъ и о допустимыхъ потеряхъ.

Заключение. Рассматривавшіеся вопросы о величинѣ установки и о характерѣ ея оборудованія являлись основными при расчетѣ установки. Но несомнѣнно что даже въ самомъ простомъ случаѣ расчета будетъ имѣть мѣсто цѣлый рядъ мелкихъ особенностей требующихъ техническаго и экономическаго обзора. Для каждой части установки, отъ самой большой до самой малой, должна существовать съ хозяйственно экономической точки зрѣнія наиболѣе выгодная величина и наиболѣе рациональная форма техническаго осуществленія. Чѣмъ больше входить въ этомъ отношеніи въ детали, тѣмъ больше выборъ будетъ ограниченъ техническими особенностями и мѣстными условіями. Несомнѣнно, что техническая безопасность и надежная работа должны быть поставлены на первомъ планѣ и если представляется выборъ между наивыгоднѣйшимъ рѣшеніемъ и наиболѣе надежнымъ то несомнѣнно нужно предпочесть второй. Часто чрезвычайно трудно для отдѣльныхъ частей установки найти правильное рѣшеніе даже приблизительно и тогда все зависитъ отъ способностей строящаго и проектирующаго инженера и отъ его техническаго чутія.

Литература: [1] Бахметевъ. Гидроэлектрическія установки. Отдѣльн. оттискъ журн. „Электричество“; [2] Его же, Работа турбинъ при переменномъ режимѣ. „Извѣстія Политехн. Инст.“ 1908, т. IX; [3] Его же, Объ экономическомъ расчетѣ основныхъ элементовъ гидроэлектрическихъ устройствъ. „Извѣстія Политехн. Института“ 1910, XIII, 525; [4] Есьманъ I. Г., Современные конструкціи водяныхъ турбинъ, „Вѣстникъ Инж.“ 1916. 3; [5] Максимовъ, Гидроэлектрическія установки; [6] Порьюсъ, Гидроэлектр. установка шведскаго правительства. „Электричество“ 1916, № 3; [7] Эльфкарлебу, Гидроэлектр. установка шведскаго правительства. „Извѣстія О-ва „Asea“, 1916, № 1; [8] Pacoret, La technique de la houille blanche, 1911; [9] Koester, Hydroelectric developments and engineering; [10] Hutshinson, Economical capacity of combined hydro and steam plant. Proceedings A. I. E. E. 1914, 347; [11] Rushmore, Review of progress in hydroelectric plants and Transmission. „General Elec. Review“ 1913, 348; [12] Coldwell, Selection of water wheel unit. Proceedings A. J. E. E., 1912, 363, 2402; [13] Lof, Mississipi River hydroelectric development. „General Elec. Review“ 1914, 85, 375; [14] Walls, Combined operation of steam and hydraulic power in the Pennsylvania Water and Power Co. Proceedings A. J. E. E. 1915, 2299; [15] Adsit, Tallulah falls development. Proceedings A. J. E. E. 1915 2497; Electrical world 1915, 916; „General Elec. Review“ 1914, June; [16] Porjus, Hydroelectric plant of the swedish state. Engineering. 1915, 385, 411. „Электричество“, 1916, № 3; [17] Ludin, Wasserkräfte, 1913; [18] Köhn, Ausbau der Wasserkräfte; [19] Mattern, Ausnutzung der Wasserkrafte; [20] Koester, Amerikanische Wasserkraft-Uebertragungsanlagen. „Zeitschrift des V. D. J.“ 1910, 1714, 1781, 1979, 2008, 2056; [21] Leiner, Verfahren zur Ermittlung der wirtschaftlich günstigster Wassernutzung. „Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen“ 1913, 209, 230; [22] Ludin, Bestimmung der Wirtschaftlicher Ausbaugrösse von Speicher-Wasserkraftanlagen. „Zeitschr. f. d. g. Turbinenwesen“ 1913, 467, 449; [23] Brusio, Kraftwerk. „Schweiz. Bauz. B.“ LI, № 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 12 и 13; [24] Löntschwerk, Schweiz Bauz. B. LV и LVI; [25] Kandergrund Kraftwerk. Schweiz. Bauz. B. LIX, 1912; [26] Biaschina und Ticinetta, Kraftwerk. „Zeitschr. f. d. g. Turbinenwesen“ 1913; [27] Piedimulera, Kraftwerk. „Zeitschr. f. d. g. Turbinenwesen“, VII годъ изданія вып 27—32; [28] August-Wyhlen, Kraftwerk. „Schweiz. Bauz. B.“ LXII, 1913; [29] Spiez, Kraftwerk „Schweiz. Bauz.“, 1912.



34 338800-82

62-531

УЧЕБНИК
ИЗДАТЕЛЬСТВО

0411111111

ԳԱՍ Հիմնարար Գիտ. Գրադ.



FL0467598

1. 1. 1.