

## Вертикальные центробежные насосы

### VII. НАСОСЫ ДЛЯ БУРОВЫХ СКВАЖИН

#### 1. Насос фирмы «Вейзе сыновья»

На фиг. 178 показан в разрезе вертикальный насос фирмы «Вейзе сыновья» (Weise Söhne, Halle/Saale). Трехступенчатый вертикально поставленный насос по конструкции сходен с горизонтальными насосами. Из рабочего колеса 19 вода поступает в направляющий аппарат-диффузор 20, крутым поворотом из диффузора вода передается наклонным кольцевым каналом к следующему рабочему колесу и т. д. Диффузор имеет назначение уменьшать потери при переходе кинетической энергии быстро движущейся в рабочем колесе воды в потенциальную, т. е. в давление. Ко второму колесу вода подводится с небольшою скоростью, но зато с повышенным давлением.

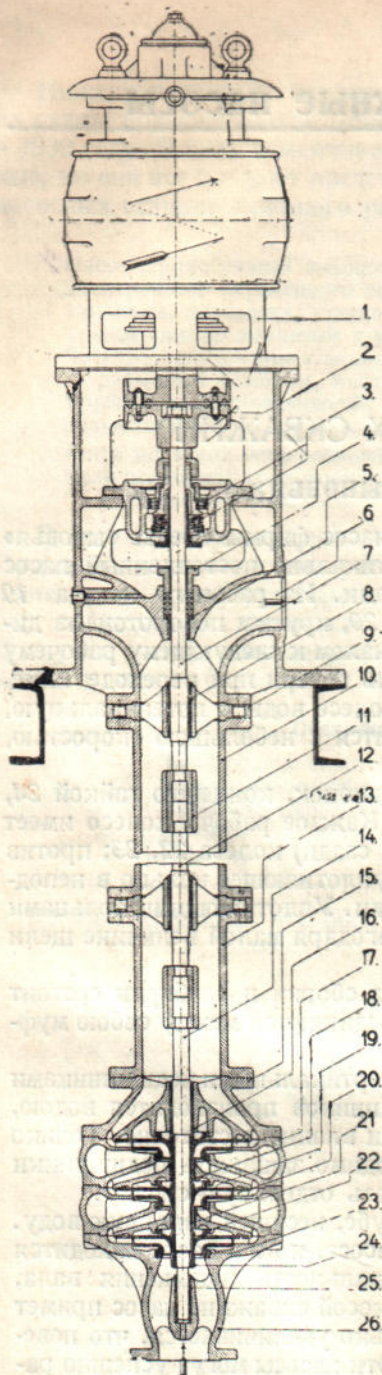
Рабочие колеса закрепляются на оси, помимо шпонок, концевую гайкой 24, а между колесами вставляются бронзовые втулки 21. Каждое рабочее колесо имеет два уплотняющих кольца снизу и сверху (спереди и сзади) колеса 22, 23; против каждого кольца рабочего колеса имеется такое же уплотняющее кольцо в неподвижном корпусе насоса. Щель между ними менее 1 мм. Уплотняющими кольцами отделяются пространства с разными напорами; благодаря малой величине щели утечка ничтожна.

Вал из сименс-мартиеновской стали для удобства сборки и разборки состоит из нескольких отдельных частей. Отдельные части соединяются между собою муфтами, у разных фирм разных конструкций.

Через промежутки в 2—3 м вал поддерживается вертикальными подшипниками со сменными бронзовыми втулками. Смазка подшипников производится водою, подаваемою насосом. Опыт показал, что этой смазки вполне достаточно. Только при грязной воде или воде, несущей песок, необходимо защищать подшипники от соприкосновения с подаваемою водою и устраивать отдельную смазку.

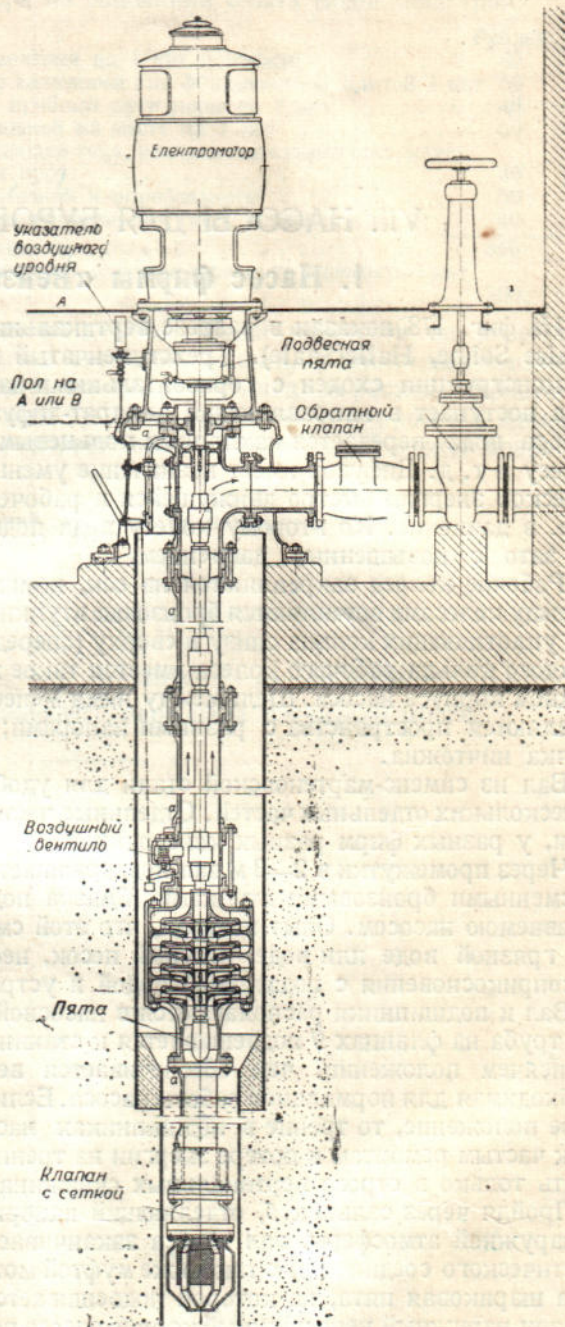
Вал и подшипники располагаются в насосной трубе, несущей напорную воду. Эта труба на фланцах 9 подвешивается к станине насоса, и весь насос находится в висячем положении, чем обеспечивается вертикальность положения вала, необходимая для нормальной работы насоса. Если в косо́й скважине насос примет косо́е положение, то трение в подшипниках настолько увеличивается, что поведет к частым ремонтам и потере энергии на трение. Эти насосы могут успешно работать только в строго вертикальных скважинах.

Пройдя через сальник 5, отделяющий напорное пространство насосной трубы от наружной атмосферы, вал насоса заканчивается соединительной муфтой для эластического соединения с такою же муфтой мотора. Под муфтой вала расположена шариковая пята, на которой подвешивается вал и рабочие колеса. Таким образом наружный неподвижный корпус насоса подвешивается к станине на фланцах насосной трубы, а движущиеся части насоса — вал с колесами — подвешиваются на шариковой пяте. Пригонка всех частей должна быть здесь очень точной, чтобы между вращающимися и неподвижными частями не было лишнего трения.



Фиг. 178. Вертикальный центробежный насос «Вейзе сыновья».

1—вертикальный электромотор; 2—эластичное соединение; 3—шариковая подвесная опора; 4—сальник; 5—втулка (Градбунса); 6—станция с напорным патрубком; 7—вал; 8—направляющая втулка; 9—вертикальный подшипник; 10—насосная труба; 11—соединение валов; 12—вал; 13—короткая насосная труба; 14—вал насоса; 15—крышка напорной стороны; 16—Направляющая сторона; 17—составная часть корпуса; 18—направляющая втулка; 19—рабочее колесо (бронзовое); 20—направляющее колесо (бронзовое); 21—установочная втулка; 22—заднее уплотняющее кольцо; 23—переднее уплотняющее кольцо; 24—гайки вала; 25—направляющая втулка; 26—крышка всасывающей стороны.



Фиг. 179. Насос «Борзиг».

Вертикальный электромотор располагается непосредственно на станине насоса и имеет свою особую пяту для своего вала.

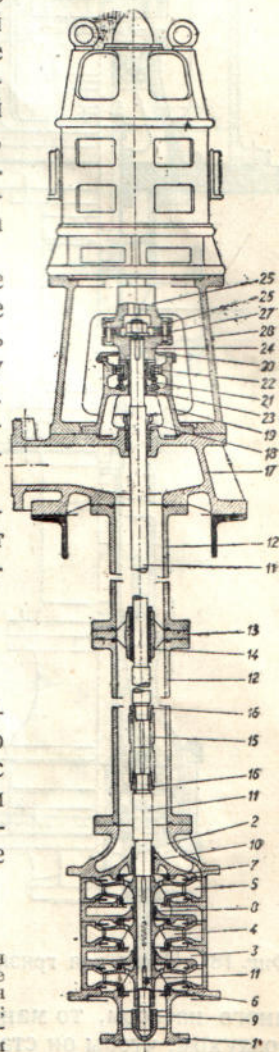
Насосы этой конструкции строятся фирмой для диаметров буровых скважин от 250 мм и выше. Производительность насосов колеблется от 1 до 80 л./сек. при напоре от 10 до 120 м. Наибольшая глубина погружения насоса — 45 м, но фирма «Егер» строит насосы и на 60 м глубины.

## 2. Насос фирмы «Борзиг»

На фиг. 179 показан четырехступенчатый вертикальный насос фирмы «Борзиг» (Borsig-Hall, Berlin). Здесь указано и устройство скважины для центробежного насоса. В верхней широкой обсадной трубе помещается насос, а в нижнюю, более узкую скважину опущена всасывающая труба с всасывающим клапаном. Пространство между широкой и узкой трубой забетонировано. Бетонирование производится, конечно, тогда, когда узкая труба нарощена доверху. После опускания бетона или нагнетания цементного раствора насосом узкая труба или отвинчивается, если муфта приходится на этом месте, или срезается.

Во время остановки насоса уровень воды в колодце может подняться гораздо выше насоса, при откачке же уровень понижается, и насосы дают возможность доводить понижение этого уровня до 20—40 м, благодаря чему подача воды из скважины соответственно увеличивается. На чертеже виден способ соединения отдельных частей насосной трубы и способ установки направляющего подшипника для вала.

Насосная труба подвешена на фланцах к станине насоса, опирающейся на бетонное основание. Станина состоит из двух частей — нижней и верхней, соединенных болтами на фланцах.



## 3. Насос фирмы «Одессе»

На фиг. 180 показан насос фирмы «Одессе» Maschinenfabrik Odessa, Oschersleben (Bode). Конструкция этого насоса отличается большей простотой по сравнению с предыдущим. Отличительная особенность в конструкции самого насоса состоит в замене диффузоров особым цельным кольцом. Все секции насоса стягиваются в одно целое

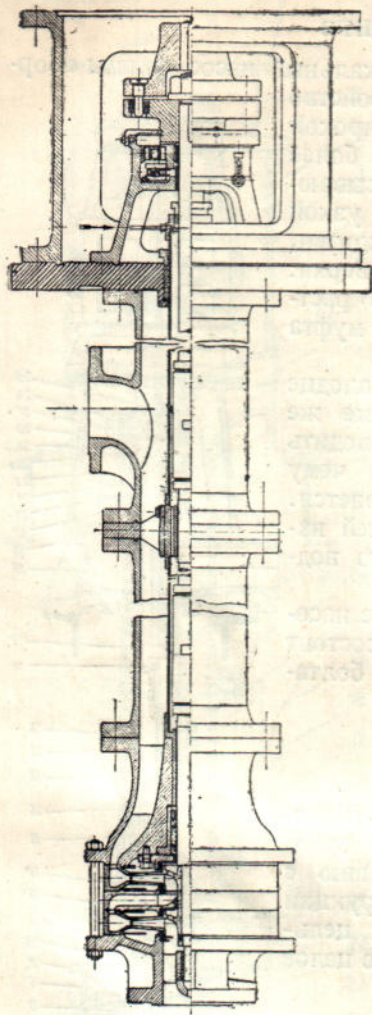
Фиг. 180 Насос «Одессе».

1—крышка со всасывающей стороны; 2—напорная крышка; 3—составная часть корпуса; 4—рабочее колесо; 5—направляющее колесо; 6—нижнее уплотняющее колесо; 7—верхнее уплотняющее колесо; 8—установочная втулка; 9—нижняя направляющая втулка; 10—верхняя направляющая втулка; 11—вал насоса; 12—насосная труба; 13—направляющий подшипник; 14—соединительная муфта; 15—соединительная гайка; 16—станина с напорным патрубком; 17—втулка сальника; 18—подвесная опора вала; 19—крышка опоры вала; 20—шариковая опора; 21—шариковые направляющие; 22—защитная втулка; 23—соединительная муфта; 24—то же со стороны мотора; 25—соединительные болты; 26—кожаные поводки, соединяющие болты; 27—станина мотора.

болтами, не показанными на фигуре. На фиг. виден особый способ соединения между собою отрезков вала. На концы вала надевается втулка со шпонками и удерживается в своем положении двумя гайками, ввинчивающимися с обоих концов во втулку. Все фланцевые соединения имеют резиновые прокладки. На всех предыдущих чертежах патрубков для присоединения напорной трубы находится выше пола, но он устраивается и ниже в виде ответвления от насосной трубы.

#### 4. Насос для грязной воды

Если вода несет с собою песок или же если вообще приходится поднимать грязную воду, тогда направляющие подшипники необходимо отделить от поднимаемой воды. На фиг. 181 показан насос для подъема грязной воды. Вал с подшипниками заключен в особую трубу, помещающуюся внутри насосной трубы, и таким образом совершенно защищен от соприкосновения с грязной жидкостью. Внутренняя защитная труба наполняется маслом или чистой водой для смазки и охлаждения, причем, конечно, должна быть обеспечена циркуляция жидкости, служащей для смазки.



Фиг. 181. Насос для грязной воды.

Установка насоса в скважине лишает нас возможности непосредственно наблюдать за уровнем воды в скважине как во время работы насоса, так и во время его остановки. Между тем знать стояние уровня очень важно для правильного ведения эксплуатации. Если подача насоса уменьшилась, а уровень стоит выше обыкновенного, то, значит, плохо забирает насос, и в нем надо искать причину неполадки.

#### 5. Показатель уровня

Если же при уменьшившейся подаче насоса рабочий уровень стоит на обычной высоте, то, значит, скважина стала давать меньше воды. Чтобы определить далее, имеет ли здесь место истощение подземного водного потока или же засорение скважины, достаточно определить статический горизонт, т. е. уровень воды во время остановки насоса. Если он остался прежним, значит засорилась скважина, в противном случае имеет место истощение или ослабление водного горизонта.

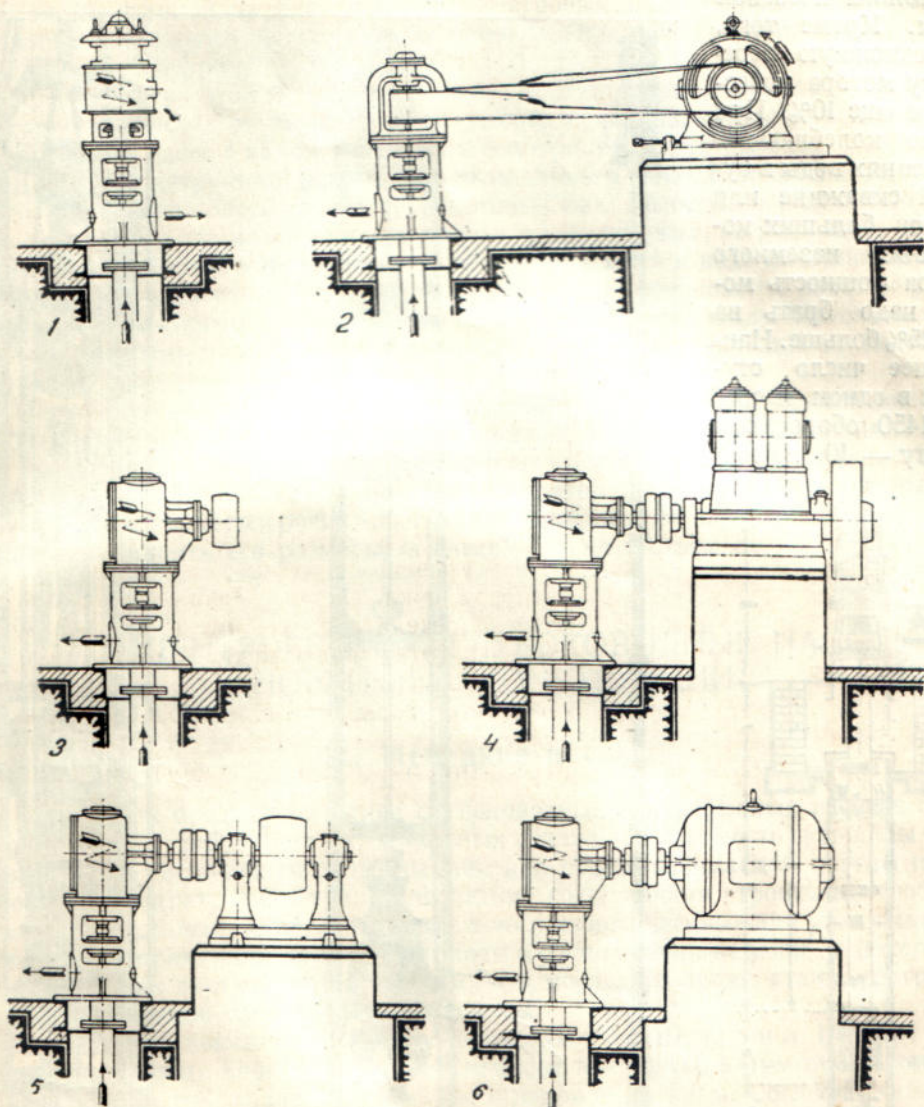
Для наблюдения за уровнем при каждом насосе устанавливается пневматический показатель уровня воды. Он состоит из погруженной в воду трубки или колокола *к*, прикрепленного ко всасывающей трубе у самого ее основания, т. е. если имеется всасывающий клапан, то у клапана. Отсюда трубка *aaa* по насосу и насосной трубе поднимается вверх (фиг. 179) и подходит к манометру. Около манометра находится ручной воздушный насос. Если покачать немного насосом, то манометр покажет в метрах, какой слой воды надо продавить воздухом, чтобы он стал прорываться из-под колокола. На фиг. 179 показан воздушный колокол *к*, насаженный на всасывающей трубе непосредственно над всасывающим клапаном. Трубка—из нержавеющей материала (свинца, меди).

Для наблюдения за уровнем при каждом насосе устанавливается пневматический показатель уровня воды. Он состоит из погруженной в воду трубки или колокола *к*, прикрепленного ко всасывающей трубе у самого ее основания, т. е. если имеется всасывающий клапан, то у клапана. Отсюда трубка *aaa* по насосу и насосной трубе поднимается вверх (фиг. 179) и подходит к манометру. Около манометра находится ручной воздушный насос. Если покачать немного насосом, то манометр покажет в метрах, какой слой воды надо продавить воздухом, чтобы он стал прорываться из-под колокола. На фиг. 179 показан воздушный колокол *к*, насаженный на всасывающей трубе непосредственно над всасывающим клапаном. Трубка—из нержавеющей материала (свинца, меди).

#### 6. Разные способы передачи движения насосу

На фиг. 182 показаны разные способы соединения мотора с насосом. Самый удобный способ представляет собою непосредственное соединение мотора с насосом на одном валу (черт. 1) при помощи эластической муфты. Здесь нет никаких потерь на передачу движения; число оборотов мотора должно быть точно таким же, как и число оборотов насоса.

На черт. 2 (фиг. 182) показана ременная передача от горизонтального мотора к насосу, оборудованному вертикальным шкивом. Эта передача сопряжена с дополнительными потерями на трение в размере 5—10%. Но зато здесь возможно разное число оборотов насоса и мотора. Отношение диаметров шкивов должно быть обратным к отношению числа оборотов мотора и насоса.



Фиг. 182. Разные способы передачи движения.

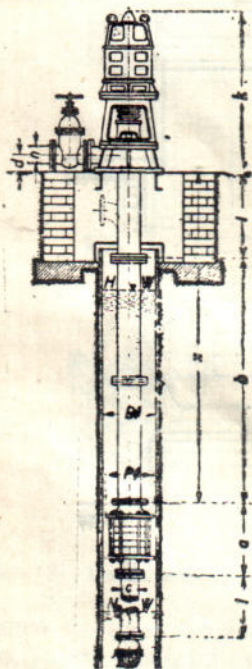
На черт. 3 (фиг. 182) зубчатая коническая передача, помещающаяся в цилиндрической головке, от вертикального насоса к горизонтальному шкиву. На черт. 4 (фиг. 182) — такая же зубчатая коническая передача к горизонтальному валу с соединительной муфтой, а от нее — к горизонтальному мотору внутреннего сгорания. Зубчатая передача допускает большую разницу в числе оборотов двигателя и насоса.

Чертеж 5 (фиг. 182) представляет собою повторение конструкции черт. 3, но для большей мощности, почему для шкива введены два дополнительных подшипника. Натяжение ремня здесь воспринимается подшипниками шкива и не передается на зубчатую головку. Чертеж 6 (фиг. 182) аналогичен черт. 4, только

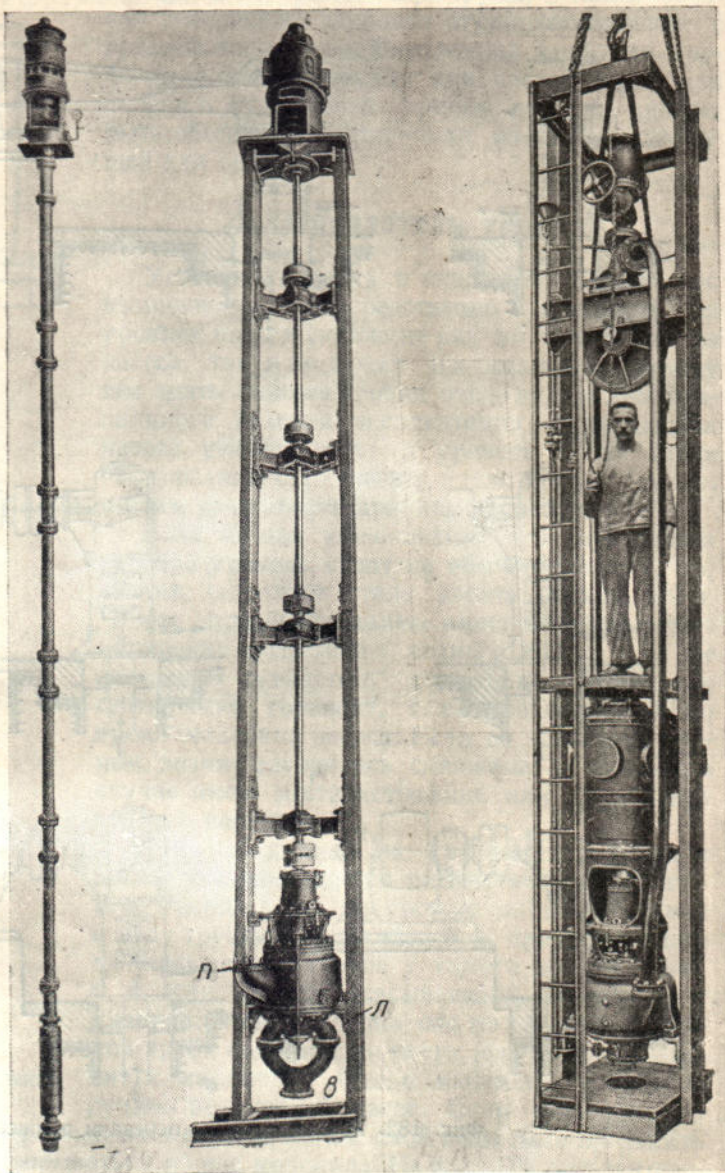
место двигателя внутреннего сгорания занято горизонтальным электромотором. Потеря энергии на зубчатую передачу — от 5 до 10%.

Насос фирмы Оддессе показан на фиг. 183.

Для определения требуемой для насоса мощности указанную для одной ступени мощность надо помножить на число ступеней и прибавить 1,5% на каждые 10 м длины насосной трубы. Кроме того, на возможную перегрузку мотора добавляется еще 10%. При сильно колеблющихся уровнях воды в буровой скважине или же при больших колебаниях наземного напора мощность мотора надо брать на 20—25% больше. Наибольшее число ступеней в одном насосе при 1450 оборотах в минуту — 10, а при



Фиг. 183. Габариты насоса «Оддессе».



Фиг. 184. Шахтные насосы.

2800 оборотах только — 4. Такое ограничение числа рабочих колес вызывается необходимостью подалше держаться от опасного для насоса критического числа оборотов, а оно зависит от свободной длины вала, т. е. от числа ступеней.

## 7. Вертикальные насосы для шахтных колодцев

Вертикальные центробежные насосы применяются не только для буровых колодцев, их удобно применять также в шахтных колодцах, где место не позволяет установить горизонтальный насос. Вертикальные насосы для шахтных

колодцев бывают двух типов: стационарные и подвесные. Слева на фиг. 184 показан стационарный насос фирмы «Вейзе сыновья». В шахтном колодце устанавливается железная рама, на которой и монтируется насос. Корпус насоса сидит на лапках, приклепанных к раме *л*. Всасывающий патрубок *б*—двухсторонний симметричный; напорный патрубок *п* соединяется с вертикальной напорной трубой, не показанной на фиг. 184. Шестиметровый вал направляется четырьмя подшипниками, легко доступными для осмотра. Отдельные части вала соединяются тарелчатыми муфтами.

Преимущества этой конструкции перед вертикальным насосом для скважин—доступность насоса и вала по всей высоте и, отсюда, отсутствие необходимости вынимать насос с валом наверх для осмотра и мелкого ремонта.

Другая конструкция шахтного вертикального насоса показана на той же фиг. 184 справа. Здесь отсутствует длинный вал: насос непосредственно соединен с мотором и с ним вместе смонтирован в железной раме, но рама здесь подвижная висючая. В этой конструкции насос приближается к воде не длинным валом, а опусканием всей рамы. Такие насосы удобны при производстве работ по устройству шахтных колодцев для водоотлива, но применяются и для постоянных установок. Насосами такого типа оборудованы грунтовые колодцы г. Николаева, глубиной приблизительно 25 м.

Вертикальные насосы находят себе все большее и большее применение на насосных станциях для наземных вод. Малая площадь, требуемая ими, делает их выгодными в тех случаях, когда большие колебания уровня реки заставляют опускать здание насосной станции значительно ниже уровня грунтовых вод. Сооружение получается очень дорогим, вертикальные же насосы дают возможность сильно уменьшить его размеры, а следовательно и стоимость.

## VIII. ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ГЛУБОКОВОДНЫЕ НАСОСЫ НОВЕЙШЕЙ КОНСТРУКЦИИ

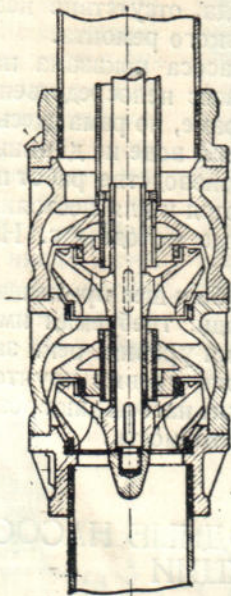
### I. Немецкие насосы

Недостаток предыдущего типа глубоководных центробежных насосов состоит в том, что они требуют широких буровых скважин, а стоимость скважины сильно возрастает с увеличением диаметра, так как объем вынимаемой породы пропорционален квадрату диаметра. В последние годы начали строить центробежные насосы очень малых диаметров, специально приспособленные для узких скважин. Вначале их применяли для подъема воды к расположенным выше, у поверхности обыкновенным вертикальным насосам, а в последнее время стали употреблять и как совершенно самостоятельные насосы.

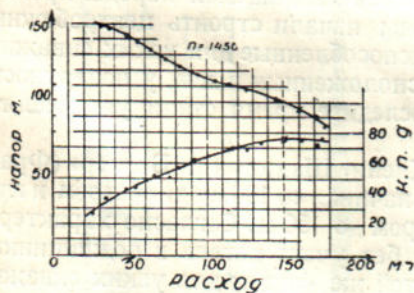
На фиг. 185 показан такой насос фирмы «Клейн, Шанцлин и Беккер» (Франкенталь, Пфальц). Они строятся для скважин, начиная со 100 мм диаметром и глубиной до 60 м, на подачу до 700 м<sup>3</sup>/час и напором до 150 м. Согласно характеристике к. п. д. доходить до 76% (одного насоса без учета потерь в подшипниках вала). На фиг. 185b показан винтовой насос той же фирмы для узких скважин при  $d = 100$  мм,  $Q = 20$  м<sup>3</sup>/час, при  $d = 150$  мм,  $Q = 100$  м<sup>3</sup>/час.

Вал вращается в бронзовых или гуттаперчевых подшипниках; если поднимаемая вода грязная, то вал с подшипниками заключается в особую стальную трубу, где смазка производится чистой водой.

На фиг. 186 показана установка насоса фирмы «Оддессе». Детали его устройства понятны из чертежа. Самый же насос в большем масштабе помещен на фиг. 187. Особенность его заключается в том, что рабочие колеса его направлены не радиально, как в обыкновенных центробежных насосах, а косо, занимая среднее положение между радиальным направлением и осевым. Такое направление колес *kk* вызывает и соответствующее слабо изогнутое строение направляющего аппарата *НН*; благодаря этому потери на трение на поворотах уменьшаются.

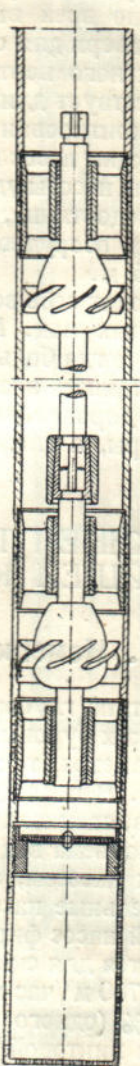


Фиг. 185.

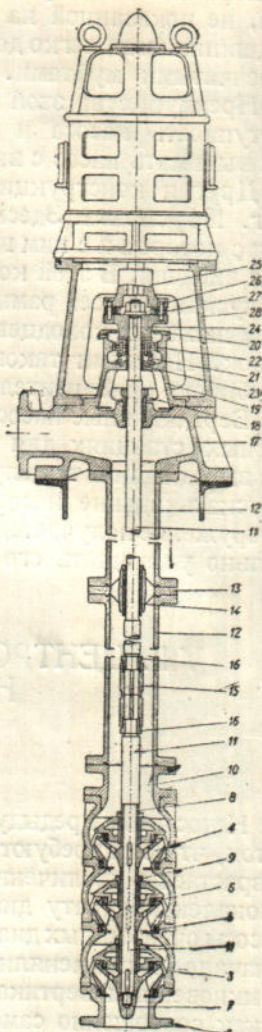


Фиг. 185а

Фиг. 185, 185а, 185б. Глубоководный насос «Клейн, Шанцлин и Беккер».



Фиг. 185б.



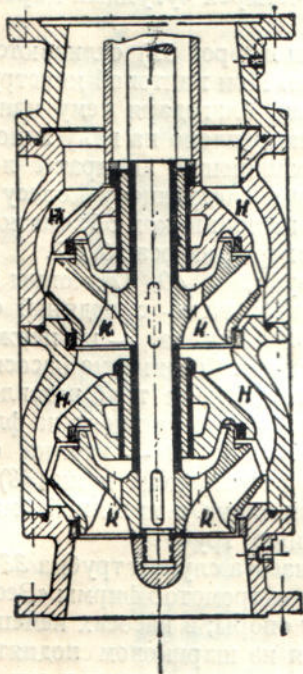
Фиг. 186. Глубоководный насос «Одессе».

2 — всасывающая крышка; 3 — корпус насоса; 4 — рабочее колесо; 5 — нижнее уплотняющее кольцо; 6 — верхнее уплотняющее кольцо; 7 — движная гайка вала; 8 — установочная втулка, укрепленная на валу; 9 — втулка; 10 — переход; 11 — вал насоса; 12 — насосная труба; 13 — подшипник; 14 — втулка подшипника; 15 — соединительная муфта; 16 — гайки; 17 — станина с напорным патрубком; 18 — втулки сальника; 19—22 — шариковая подвесная опора; 24—25 — соединительная муфта; 26 — болты; 27 — кожаные поводки; 28 — станина мотора.

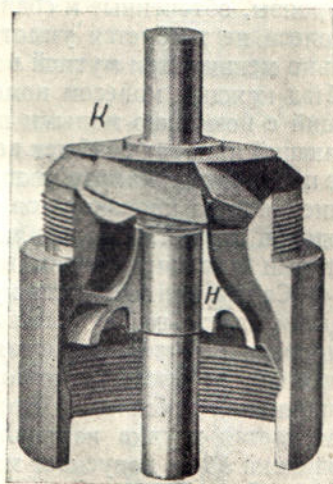


## 2. Американский насос

На фиг. 188 представлено устройство такого же насоса американской фирмы «Насосная компания Помона», Калифорния (Pomona turbine pumps Pomona California).



Фиг. 187. Детальный чертеж насоса.



Фиг. 188. Разрез винтового насоса «Помона».

К фиг. 187.

p		a		b		k	d	c	n
Диаметр насоса		Одна ступень	На каждую дополнительную ступень еще	Длина одной трубы		Высота		Диаметр всасывающей трубы	Диаметр нагнетательной трубы
норм.	миним.			1450 п.	2800 п.				
265	215	210	50	2600	2000	900	70	30	30
265	215	215	55	2600	2000	1000	80	40	40
295	250	220	60	2800	2000	1100	90	50	50
295	250	225	60	2800	2000	1200	100	60	60
330	290	270	70	3200	2400	1300	100	70	70
330	290	275	75	3200	2400	1400	110	80	80
390	340	330	95	3200	2400	1500	120	90	90
390	340	335	95	3200	2400	1600	120	100	100
460	400	370	120	3200	—	1700	140	125	125
460	400	380	120	3200	—	1800	150	150	150
520	450	425	130	3800	—	1900	175	175	175
520	450	430	160	3800	—	2000	175	200	200

Вверху на валу помещается рабочее колесо *K*, причем оно здесь другого типа—винтовое, состоит из нескольких винтовых лопастей, отлитых вместе со втулкой. Ниже расположен направляющий аппарат *H*, а под ним должно помещаться такое же, как и над ним, рабочее колесо. Отдельные корпуса насосов соединяются между собою показанной на фиг. 188 винтовой нарезкой.

На фиг. 189 показан наполовину в наружном виде, наполовину в разрезе целый агрегат трехступенчатого насоса с электромотором фирмы «Помона». Вса­сывающая дырчатая труба 59 такой длины, чтобы только можно было разместить на ней в достаточном количестве дырочки. При возможности опустить весь насос в воду лучше избежать всасывания.

Корпус трехступенчатого насоса состоит из четырех чугунных коробок, свин­ченных болтами в одно целое — 56, 54, 49.

Рабочие колеса винтового типа (обозначены цифрой 52) отливаются из фос­форной бронзы, обточенные и сбалансированные. При винтовой конструкции ра­бочего колеса не требуется уплотняющих колец, благодаря чему износ колеса значительно меньше при мутной воде. Колесо закреплено на валу запорной гай­кой 51. Над каждым колесом помещается направляющий аппарат с лопатками, подводящий с возможно малыми потерями воду к следующему колесу. Каждый направляющий аппарат снабжен вертикальным подшипником 55; смазка—водою. Такие же подшипники направляют вал вниз и вверх насоса 50, 57.

Соединение вала производится нарезными муфтами 40, 47, концы вала упру­ются один в другой. Направляющий подшипник вала—с водяной смазкой и с отверстиями для циркуляции воды 43, 44, 42. Втулка — из нержавеющей металла 41. Самый вал состоит из кусков 3 м длиной. Соединение насосной трубы производится нарезными муфтами 45, в месте соединения труб вставляется на­правляющий подшипник. Насосная труба и камеры насоса висят на фланцах 9, прикрепленных к станине мотора. Сальник — 36; 31 — втулка сальника; 35 — сальниковая набивка. Вторая набивка расположена ниже (38), а между ними помещается втулка направляющего подшипника с масляной смазкой 32. Вторая набивка 38 не допускает масла в насосную трубу.

Для смачивания подшипников перед пуском насоса служит трубка 33, подводя­щая воду от водопровода. Выше располагается электромотор фирмы «Вестингауз». До сих пор, как мы видели, вал насоса не имеет опоры; в насосах немецких фирм вал по выходе из насосной трубы подвешивается на шариковом подпятнике, мо­тор же имеет независимую опору для своего вала, и соединяются они эластиче­ской муфтой. Здесь же вал насоса составляет прямое продолжение вала мотора и подвешивается этот общий вал сверху мотора на роликовом коническом под­пятнике 17. Фирма применяет, впрочем, и эластическое соединение валов мотора и насоса эластическими муфтами (с отдельными опорами для валов насоса и мотора).

Устройство опорной пяты довольно сложно и на имеющемся чертеже изображе­но неразборчиво. Гайка 11 дает возможность поднимать и опускать вал на не­большую величину и таким образом устанавливать в надлежащем положении ра­бочее колесо, не вынимая насоса из скважины; 7 — чугунная крышка мотора с двумя болтами; 2 — кольца для подъема; 4 — статор мотора; 23 — полый вал мотора.

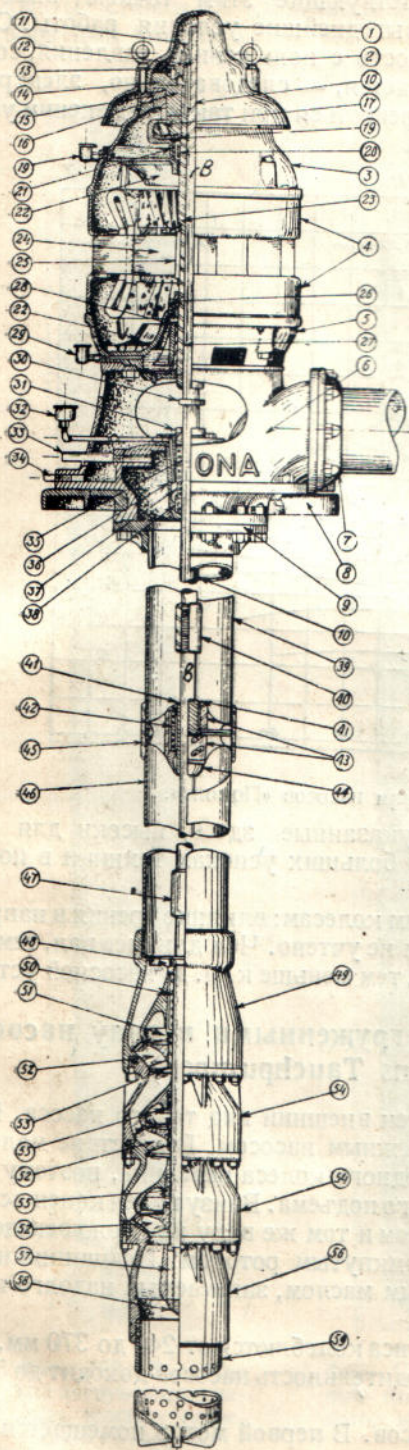
Наибольший насос такого типа, установленный фирмой в Этиванда, Кали­форния (фиг. 190) подает 113 л/сек. на высоту 200 м; мощность мотора — 350 л. с. Глубина погружения этого насоса рекордная — 135 м. Подача воды производится для орошения. Насос состоит из двух частей: нижней из 12 ступеней насосов, поднимающих воду до второй группы из 5 насосов большего диаметра, которые подают воду на высоту 65 м выше поверхности земли.

### 3. Характеристики работы насосов

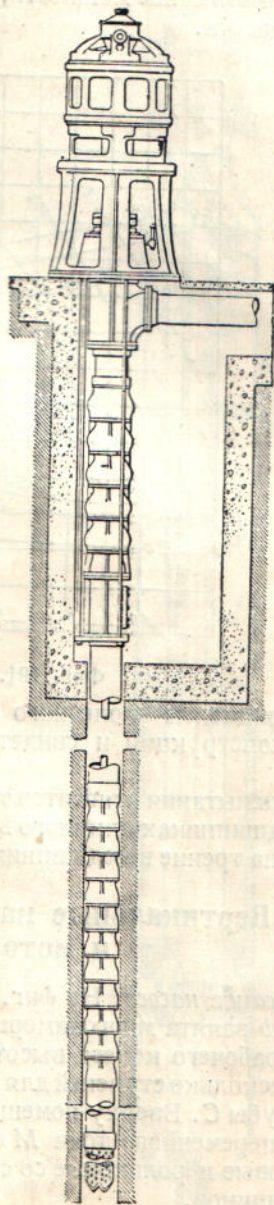
На фиг. 191<sup>а</sup> показаны кривые, характеризующие работу описанных насосов «Помона». Кривые, помещенные сверху, и кривые мощности внизу, относятся к трем разным рабочим колесам, обозначенным буквами *B*, *C* и *D*.

Диаметр колес — 400 мм, число оборотов — 1160; испытание произведено в сентябре 1928 года.

Кривые напоров имеют непрерывное понижение, начиная с начала координат, что характерно для винтовых колес. Все три кривые напоров *B*, *C* и *D* пересека-

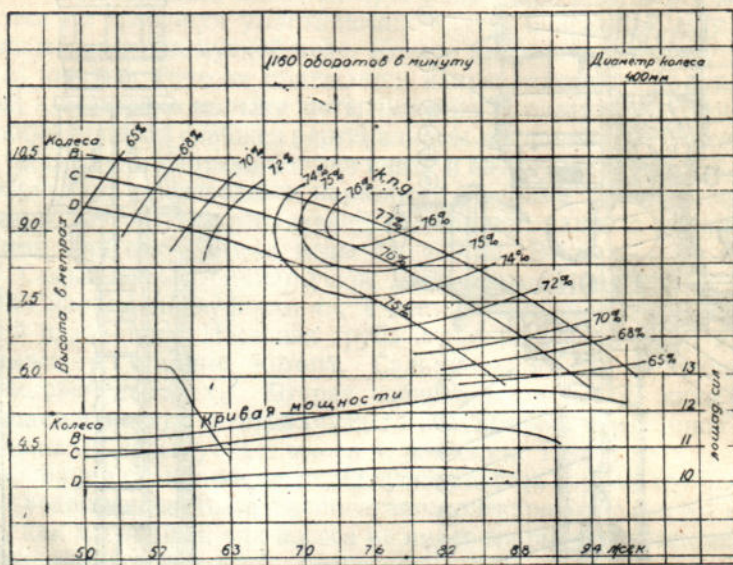


Фиг. 189. Насос «Помона».



Фиг. 190. Самый большой и длинный насос «Помона».

ются группой кривых одинакового к. п. д. Наивысший к. п. д. для колеса В—77%, для С—76% и для D—74,5%. Соответствующие этим точкам высоты напора и расхода воды и представляют наивыгоднейшие условия работы. Следует отметить, что поглощаемая насосом мощность с понижением давления, сопровождающимся увеличением подачи, повышается, — следовательно, электромотор должен иметь запас мощности, чтобы не перегреться при таком изменении условий работы насоса.



Фиг. 191. Характеристики насосов «Помона».

Коэффициенты полезного действия, указанные здесь, высоки для насосов такой конструкции и свидетельствуют о больших успехах техники в последние годы.

Эти испытания относятся только к одним колесам: влияние трения в направляющих подшипниках длинного вала при этом не учтено. Чем длиннее вал, тем больше потерь на трение в подшипниках и о воду, тем меньше к. п. д. насосной установки.

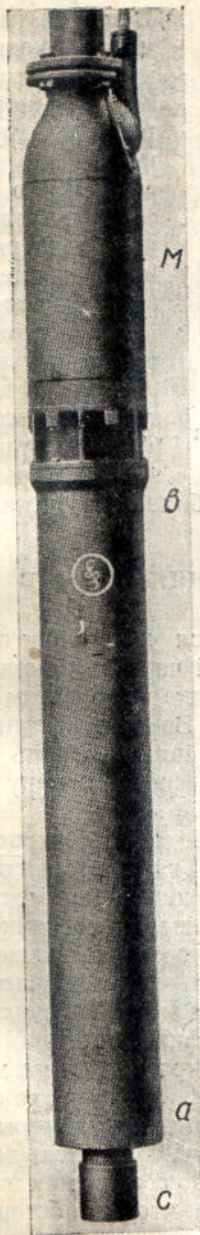
#### 4. Вертикальные насосы с погруженными в воду насосом и мотором (Siemens Tauchpumpen)

*Описание насоса.* На фиг. 192 изображен внешний вид такого насоса. Нижняя часть *ab* занята многокамерным центробежным насосом. Вследствие малого диаметра рабочего колеса высота подъема одного колеса невелика, поэтому необходимо несколько ступеней для значительного подъема. Внизу виден конец всасывающей трубы *C*. Вверху помещается на одном и том же валу из нержавеющей стали мотор переменного тока *M* с коротко замкнутым ротором. Подшипники мотора шариковые и роликовые со смазкой густым маслом, запасаемым надолго в камере подшипников.

Диаметры погруженных насосов Сименса колеблются от 240 до 370 мм, для обсадных труб — от 275 до 400 мм. Производительность насосов доходит до 50 л/сек. и высота подъема — до 200 м.

Имеется две конструкции таких насосов. В первой мотор помещается вверху, а насос внизу (фиг. 192). Насос и мотор заключены в чехле или колоколе, открытом снизу и закрытом сверху. Колокол всегда наполнен воздухом требуемого давления, почему вода и не может проникнуть к мотору. Всасываемая через нижнюю трубу вода нагнетается по кольцевому пространству, окружающему мотор, и далее попадает в напорную трубу.

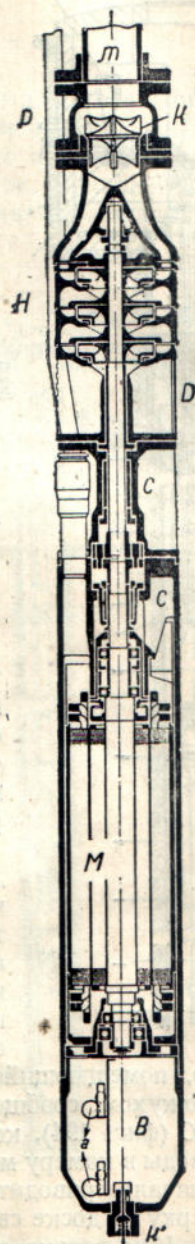
Другая конструкция насоса показана на фиг. 193.; здесь мотор *M* помещается внизу, а насос *H* вверху. Всасывание происходит между мотором и насосом через дырчатые стенки *D*; нагнетание здесь проще — прямо в напорную трубу *T* через обратный клапан *k*.



Фиг. 192. Внешний вид погруженного насоса: внизу — насос, вверху — мотор.



Фиг. 193. Погруженный насос: внизу — мотор; вверху — насос

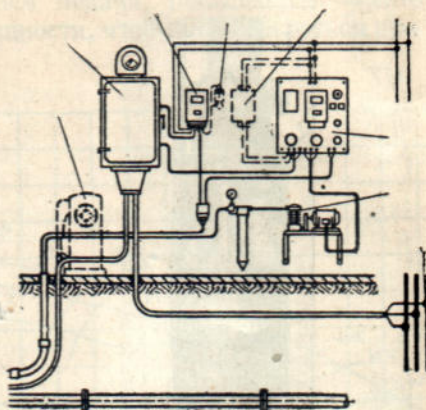
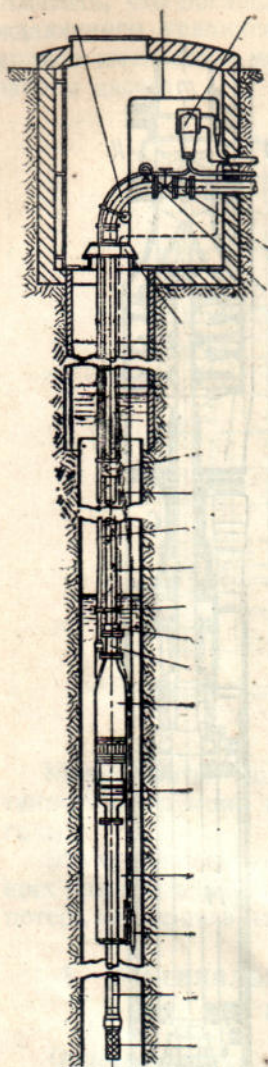


Фиг. 194. Погруженный насос.

Преимущество этих насосов состоит в том, что они могут быть погружены на такую глубину в скважину, чтобы при всех колебаниях уровня насос оставался в воде. Однако насос с верхним мотором допускает понижение уровня до 7 м ниже

насоса. При длине всасывающей трубы 7 м выше уровня воды насос еще работает исправно. Сальник между мотором и насосом устроен так, что с увеличением давления воды увеличивается давление и в сальнике, с понижением — уменьшается.

Как бы ни была хороша конструкция сальника, однако с течением времени он



Фиг. 195. Установка с погруженным насосом.

должен разработаться и пропускать воду. В первом типе, когда мотор находится сверху, вал входит в насос с напорной стороны *a*, другой конец вала насоса *b* совершенно закрыт сверху, поэтому сальник подвержен полному давлению насоса. Во втором типе при расположении мотора внизу вал мотора входит в насос со стороны всасывания (фиг. 193), таким образом наибольшее да-

вление на сальник *C* равно глубине погружения насоса

## 5. Защита от проникновения воды в мотор

Капли воды, просачивающиеся в сальник в первом типе, отводятся вниз к открытой части колокола особыми трубками между обмоткой статора, и таким образом обмотка мотора не смачивается. Во втором типе капли отводятся таким же способом в нижнюю часть корпуса мотора, имеющего для этой цели особую камеру для сбора воды *B*.

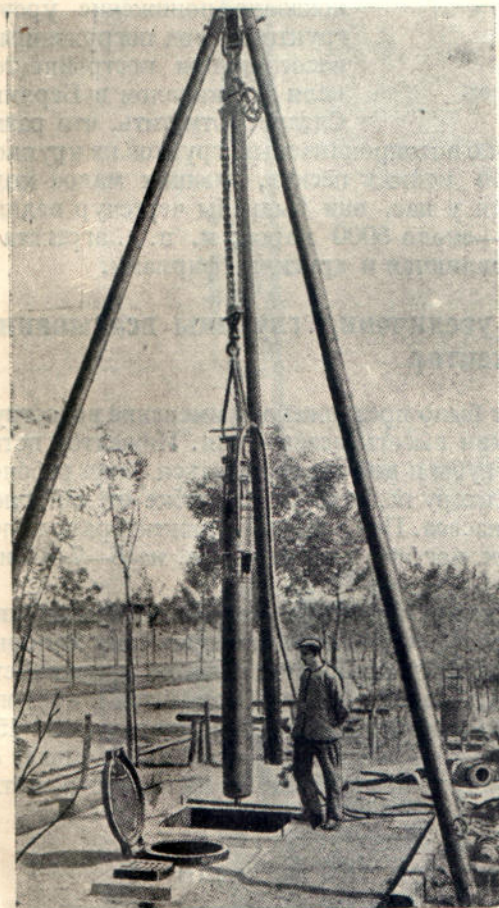
Давление воздуха в колоколе мотора первого типа должно всегда соответствовать глубине погружения, чтобы вода не поднялась в колоколе и не смочила мотора; это достигается работой маленького компрессора, который автоматически включается и выключается при изменении уровня воды в колоколе путем электрических контактов. Схематически электрооборудование насосной установки показано на фиг. 195.

Мотор, помещающийся ниже насоса, совершенно закрыт от воды металлическим кожухом: сообщение с внешним пространством происходит только через сальник *C* (фиг. 194), который понемногу пропускает воздух из камеры мотора и капли воды в камеру мотора. По мере наполнения просачивающейся водою камеры *B* сначала приводится в действие нижний контакт *a*. До соединения этого контакта вверху на доске светит зеленая лампа, означающая что все обстоит благополучно. Как только нижний контакт *a* включается, зеленая лампа тухнет. Это означает, что начинается накопление воды в камере *B*. Когда уровень воды достигнет верхнего контакта и замкнет его, тогда автоматически пускается в ход компрессор, подающий воздух через трубку *p* и вытесняющий воду через клапан *k*, прижимаемый к седлу давлением воды и пружины. Не дожидаясь подхода воды к верхнему контакту, служащий может сам пускить компрессор и вытеснить воду из камеры *B*, не дав ей подняться до верхнего контакта. Такими же контактами приводится в действие компрессор и в насосе первого типа с мотором, расположен-

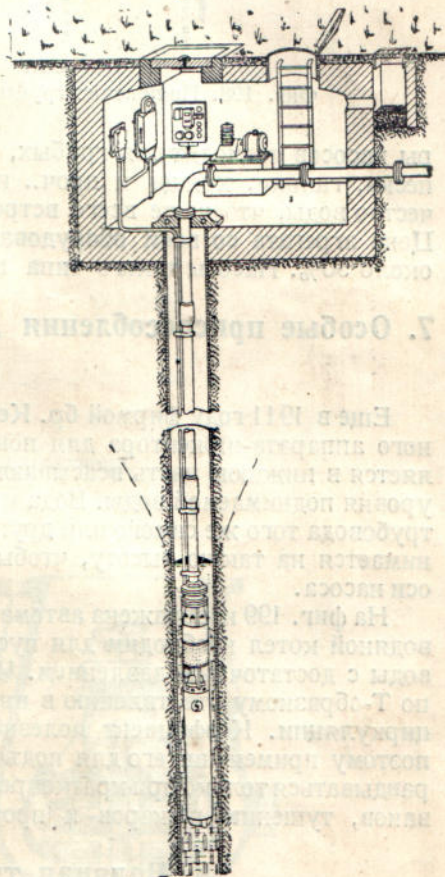
ным сверху. Пока давление воздуха в колоколе равно давлению воды, вода не может войти в колокол, хотя дно колокола снизу открыто. По мере проскальзывания воздуха через какие-либо неплотности давление его понижается, вода в колоколе начинает подниматься и замыкает контакты, приводящие в действие компрессор, который и отжимает воду до нижнего края колокола.

## 6. Работа насосов

Как видно из предыдущего описания, исправная работа насоса обусловлена совершенно исправным действием автоматического включения и выключения компрессора, т. е. всей электрической коммуникции. Это обстоятельство является слабой стороной конструкции погруженных насосов. Большая сложность устройства уменьшает надежность работы агрегата, делая ее зависимой от всех деталей электрооборудования.



Фиг. 196. Опускание насоса.

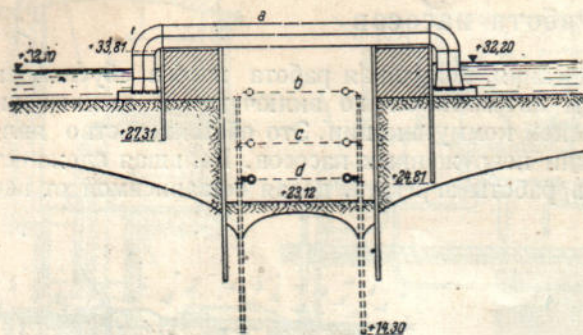


Фиг. 197. Подземная установка.

Однако фирма Сименса, повидимому, настолько тщательно разработала и выполняет эту конструкцию, что, судя по отзывам, насосы работают вполне исправно. Правда, многолетнего опыта еще нет: первое применение этих насосов относится только к 1928—1929 годам. В течение короткого еще времени их применения они заслужили хорошие отзывы. Приведем один из них — отзыв городского совета г. Аш в Богемии: «Погруженный насос установлен 1 сентября 1929 года в скважину городского водопровода на 40 м ниже поверхности земли... еженедельно на-

сос работает от 20 до 16 часов. За год работы агрегат действовал безукоризненно. Два раза производившийся уже полугодовой подъем и осмотр агрегата показал, что износа частей незаметно и запас твердого сала для подшипников мало израсходован...»

На фиг. 196 показан насос, опускаемый в скважину. На фиг. 197 показана



Фиг. 198. Понижение грунтовых вод.

подземная камера над буровой скважиной, в которой помещается все электрооборудование и компрессор. Питательные и сигнальные провода собраны в деревянном ящике и отводятся в одно центральное место.

На фиг. 198 (Simens Zeitschrift, Berlin, Dezember 1931) показано понижение уровня грунтовых вод погруженными насосами при постройке тоннеля под каналом в Берлине.

Следует отметить, что разме-

ры насосов подходят для грубых, хорошо водопроницаемых грунтов из крупного песка, гальки, хряща и проч., но для мелких песков, дающих малое количество воды, что чаще всего встречается у нас, они были бы чересчур велики. Цена агрегата со всем оборудованием—около 5000 марок; к. п. д. агрегата—около 50%. Насосы такого типа изготавливаются и другими фирмами.

## 7. Особые приспособления для увеличения глубины всасывания. Инжектор

Еще в 1911 году фирмой бр. Кертинг было предложено применение водоструйного аппарата-инжектора для повышения высоты всасывания. Инжектор вставляется в нижнюю часть всасывающей трубы и должен находиться ниже рабочего уровня поднимаемой воды. Вода к инжектору подводится по трубке от напорного трубопровода того же самого или другого насоса. Под действием инжектора вода поднимается на такую высоту, чтобы насос мог ее засосать, т. е. на 6—7 м ниже оси насоса.

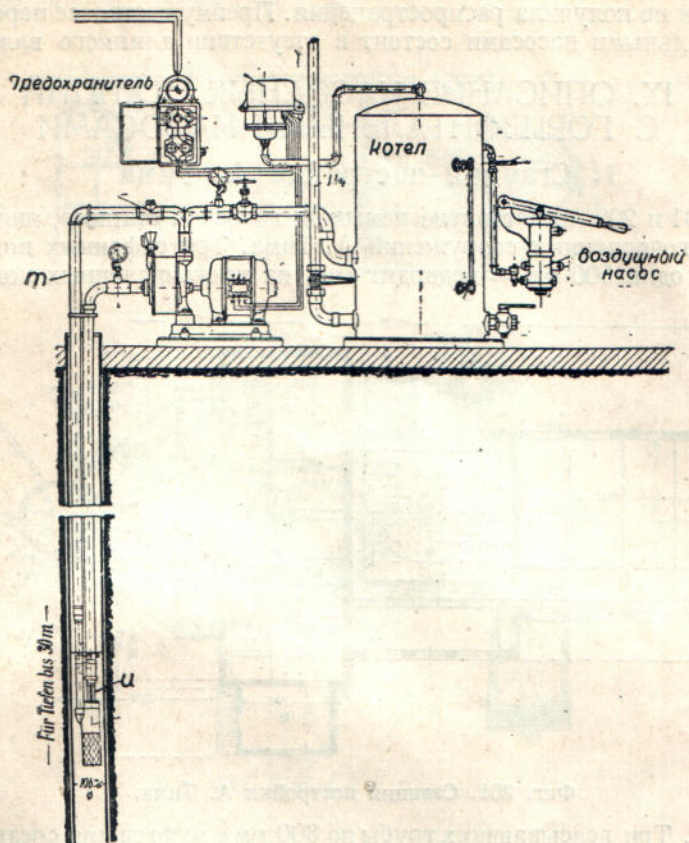
На фиг. 199 изображена автоматическая установка фирмы «Борзиг». Воздушно-водяной котел необходим для пуска насоса, если нет в распоряжении напорной воды с достаточным давлением. Часть воды, поднимаемой насосом, направляется по Т-образному ответвлению в инжектор и таким образом находится в круговой циркуляции. Коэффициент полезного действия водяного инжектора—10—15%, поэтому применение его для подъема воды чрезвычайно неэкономно и может оправдываться только при кратковременных работах по откачке из подвалов, котлованов, тушению пожаров и проч.

## 8. Водяная турбина для той же цели

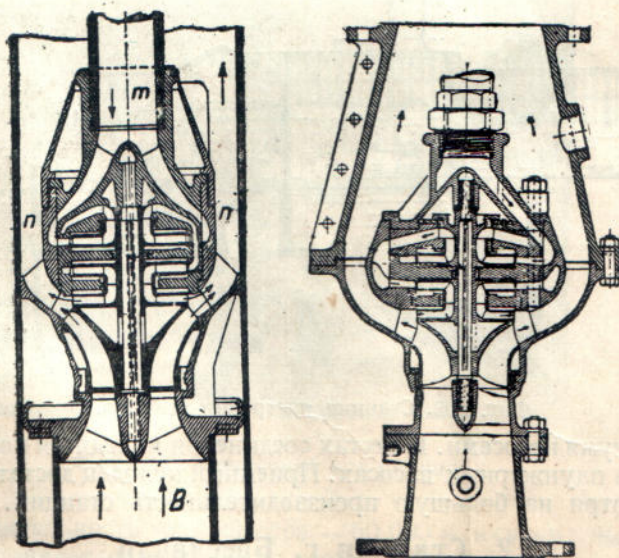
На фиг. 200 показано применение водяной турбины для повышения высоты всасывания. Из напорного водовода вода подается в турбину по трубе *m*. На одной оси с турбиной ниже ее помещено колесо центробежного насоса радиально-осевого типа; напорная вода приводит в действие турбину, а турбина заставляет вращаться насос, всасывающий воду через трубу *B*. Отработанная вода турбины и вода, поднимаемая колесом насоса, при выходе из турбинного и насосного колес смешиваются и нагнетаются по кольцевому пространству *n* к насосу, расположенному на поверхности.

Такое устройство, называемое гидроцентробежным насосом, дает лучший к. п. д. чем применение инжектора, но все же этот к. п. д. значительно ниже,





Фиг. 199. Насос с инжектором.



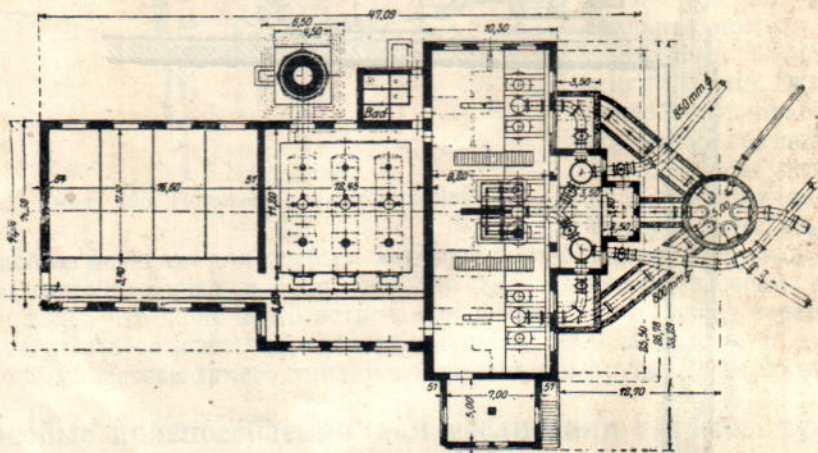
Фиг. 200. Гидроцентробежный насос.

чем у простого вертикального насоса, опущенного в скважину. Вот почему эта конструкция и не получила распространения. Преимущество ее перед обыкновенными вертикальными насосами состоит в отсутствии длинного вала.

## IX. ОПИСАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ НАСОСАМИ

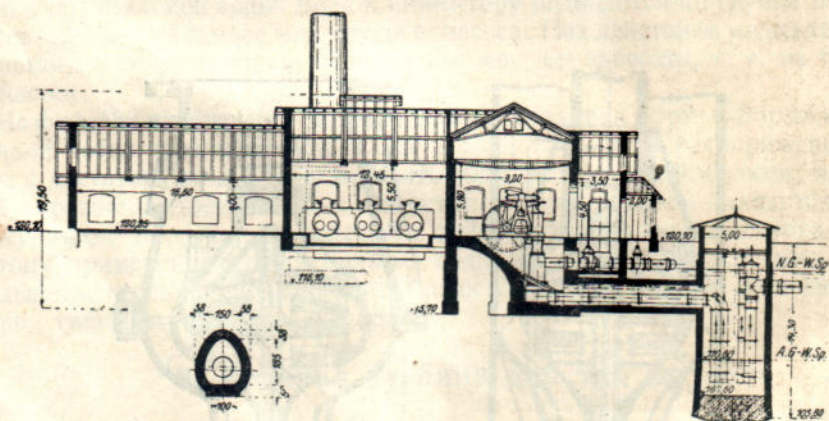
### 1. Станция постройки А. Тима

На фиг. 201 и 202 представлена немецкая насосная станция, являющаяся образчиком многочисленных сооружений А. Тима. Три сифонных водовода — два по 900 мм и один 500 мм — подводят воду из многочисленных скважин к сбор-



Фиг. 201. Станция постройки А. Тима.

ному колодцу. Три всасывающих трубы по 800 мм с муфтовыми соединениями ведут к вертикальным плунжерным насосам. Всасывающие водоводы уложены в тоннелях для возможности наблюдения за ними. Два напорных водовода соеди-



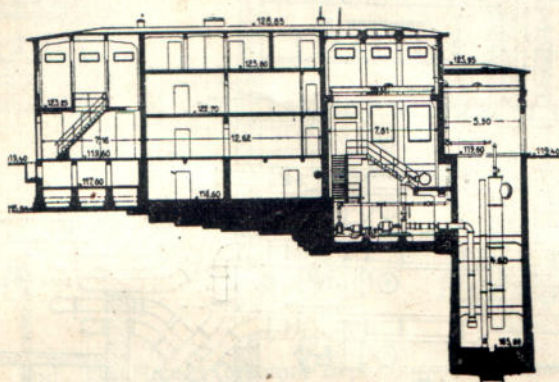
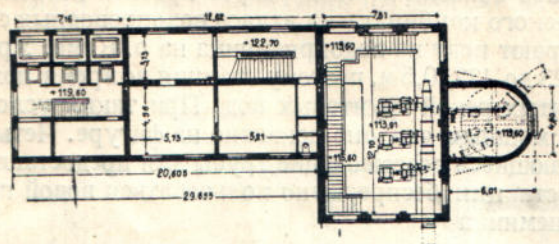
Фиг. 202. Станция постройки А. Тима.

нены каждый с двумя насосами. В местах соединения находятся воздушные котлы, необходимые при плунжерных насосах. Приемный колодец достаточен диаметром всего 5 м, несмотря на большую производительность станции.

### 2. Станция г. Бреславля

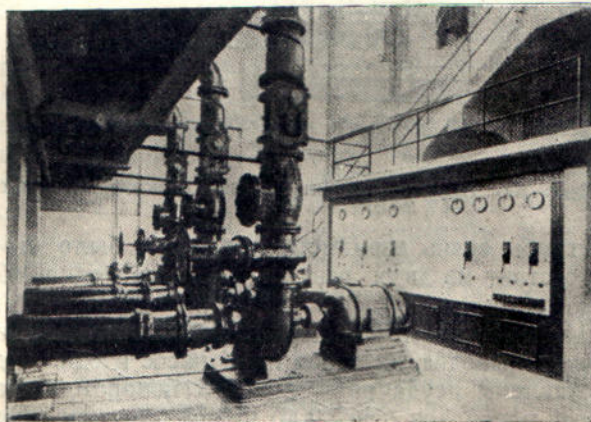
На фиг. 203 изображена в двух разрезах недавно выстроенная станция Пиршам г. Бреславля. Вода к приемному колодцу здесь также подводится сифоном,

три всасывающие трубы ведут к трем центробежным насосам. Нагнетательная труба расположена на балконе. Оставлено место для четвертого насоса.



Фиг. 203. Станция г. Брестлявля.

Приемный колодец соединен со зданием самой станции, чего обычно из-за разных условий осадки избегают. Чаще всего приемные колодцы устраиваются отдельно, как на фиг. 201. Воздух из сифона постоянно отсасывается эльмо-



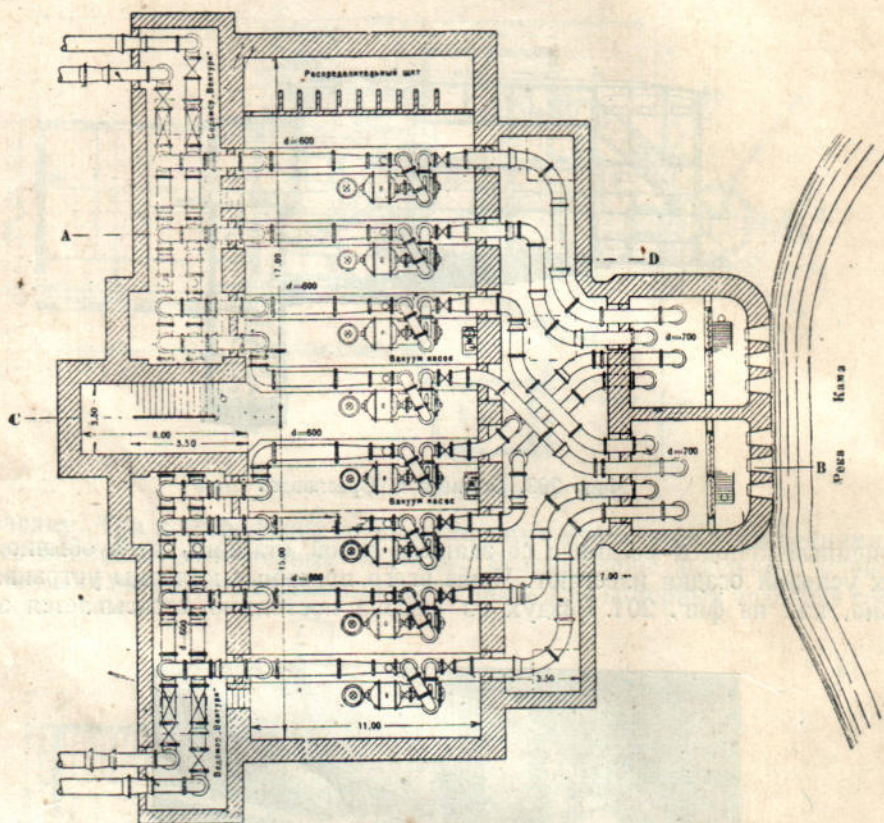
Фиг. 204. Внутренний вид станции.

насосами. Производительность трех насосов — 50 000 м в сутки. Жилое четырехэтажное здание составляет одно целое со станцией; поражает чрезвычайно массивный фундамент под жилым помещением, непонятно почему устроенный.

На фиг. 204 показан внутренний вид станции.

### 3. Проект станции Березниковского комбината

На фиг. 205 и 206 показан план и разрез проекта насосной станции Березниковского химического комбината из атласа водопроводных сооружений Тольмана. Насосы забирают воду из водоприемника на р. Каме. Уровень воды в реке колеблется от 112,23 до 122,05 м, поэтому станция во время половодья находится под напором поднятых рекой грунтовых вод. При таких условиях дно станции должно быть более мощным чем оно показано на фигуре. Четыре средних насоса имеют перекрещивающиеся всасывающие трубы для предоставления возможности обоим отделениям станции непрерывно пользоваться водой при ремонте одного отделения водоприемника

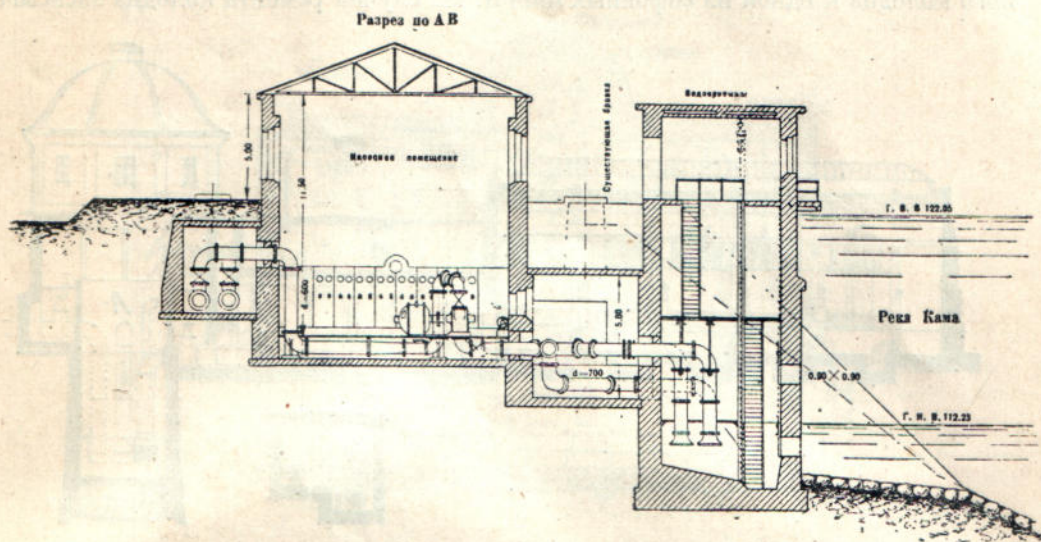


Фиг. 205. Проект станции Березниковского комбината.

Всасывающие трубы очень извилисты; их можно было бы уложить гораздо ровнее. Станция состоит из двух равных отделений: одно обслуживает завод, другое — силовую станцию. Каждое отделение имеет две напорные трубы, причем каждый насос соединен с обоими напорными водоводами. Ремонт любой из восьми задвижек выводит из строя один насос и один водовод.

Водомеры поставлены неудачно — у самых поворотов. Напорные трубы от насоса до напорных водоводов (фиг. 206) имеют слишком много изгибов, бесполезно увеличивающих потери напора в пределах станции. Было бы рациональнее соединительные трубы не опускать под пол и потом снова поднимать их, а повести их поверху. В углубленных станциях этот способ соединения насосов с водоводами обычно и применяется (фиг. 204). Расположение напорных водоводов вне машинного зала, в особой подземной галлерее дает возможность сэкономить на ширине зала, что в данном случае не вполне использовано. Насосы для силовой станции подают около 3000 м<sup>3</sup>/час каждый;

мощность двигателя—250 л. с. Насосы другой группы производительностью по 2500 м<sup>3</sup>/час, а мощностью отдельного мотора — 350 л. с. Установочная мощность станции — 2400 л. с. При полном оборудовании сметная стоимость станции—265 руб. на 1 л. с.



Фиг. 206. Проект станции Березниковского комбината.

На станции установлено два вакуум-насоса для заполнения насосов водой перед пуском, так как на всасывающих 700 мм водоводах нет приемных обратных клапанов.

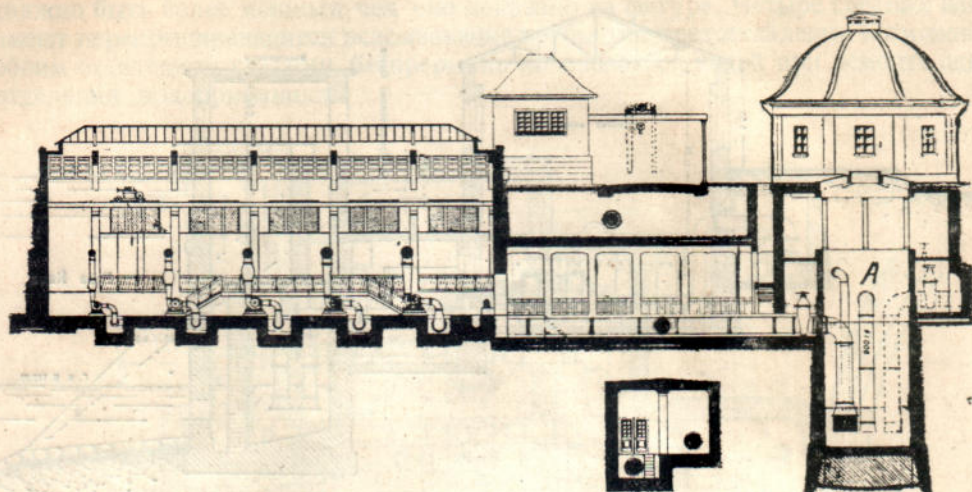
#### 4. Станции г. Мангейма

На фиг. 207 и 208 показаны насосные станции г. Мангейма новейшей постройки. Здесь интересно отметить, что напорные трубы в заглубленных станциях выведены наверх и подперты чугунными трубчатыми подставками, занимающими мало места. Для уменьшения потерь напора в трубах они сейчас же от насоса уширяются, таким образом скорость и в них уменьшается и все потери сводятся к минимуму. Управление задвижками, поднятыми высоко, производится снизу посредством зубчатой и штанговой передачи. Напорную задвижку лучше было бы устроить горизонтально на патрубке насоса, — выгода была бы не только в меньших размерах задвижки, но и в защите ее от водяных ударов обратным клапаном.

Вода из нескольких рядов буровых колодцев 34—50 м глубиной подводится сифонами в приемный круглый колодец А (фиг. 207), а отсюда забирается пятью насосами. Все пять насосов обслуживаются одной всасывающей трубой диаметром 1000 мм. В случае ремонта ее вся станция останавливается. Правда, здесь имеются большие запасные резервуары, но всего одна труба для пяти насосов. Затруднения при всасывании из одной трубы многими насосами, очевидно, устраняются тем, что задвижки поставлены около главной трубы.

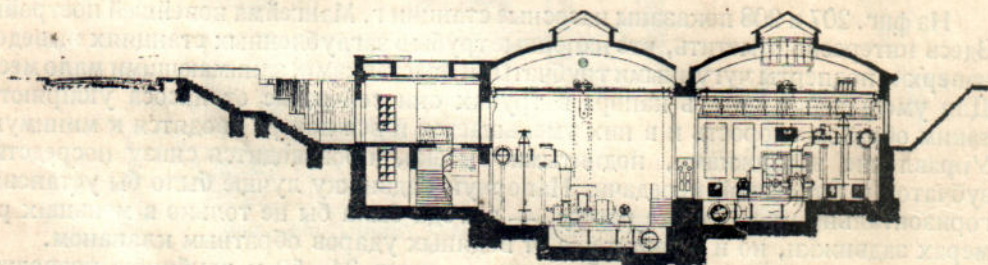
Особенностью этой насосной станции является ее разделение на два подъема, несмотря на отсутствие очистки воды. Первый подъем подает воду в запасные резервуары емкостью 10 000 м<sup>3</sup>, откуда вода самотеком подается в насосы второго подъема, расположенные в соседнем справа машинном зале (фиг. 208), немного менее заглубленном. Два подъема устроены здесь с целью создать на станции запасный резервуар и тем уменьшить количество скважин; кроме того, ночная энергия стоит дешевле, и потому выгодно наполнять резервуары ночью, ведя равномерную подачу из колодцев круглые сутки.

К насосам станции второго подъема вода также подводится одной трубой. Обе трубы — и всасывающая первого подъема и самотечная второго подъема, подводящая воду из резервуаров к насосам с некоторым напором, — уложены в галерее, показанной на фиг. 207 в продольном и внизу в поперечном разрезе. На всасывающей трубе посредине галереи имеется ответвление в обход приемного колодца к одной из сифонных линий. На случай ремонта колодца засасыва-



Фиг. 207. Станция г. Мангейма.

ние будет производиться непосредственно из сифона, а на всасывающей трубе для этой цели поставлена у колодца задвижка (G. W 1930 № 27 — 28). Пять насосов, установленных на станции первого подъема, все разной мощности: 500, 1000, 1500, 2000 и 2500 м<sup>3</sup>/час. Непонятно также пристрастие к разнообразию размеров насосов; подражания оно, во всяком случае, не заслуживает.



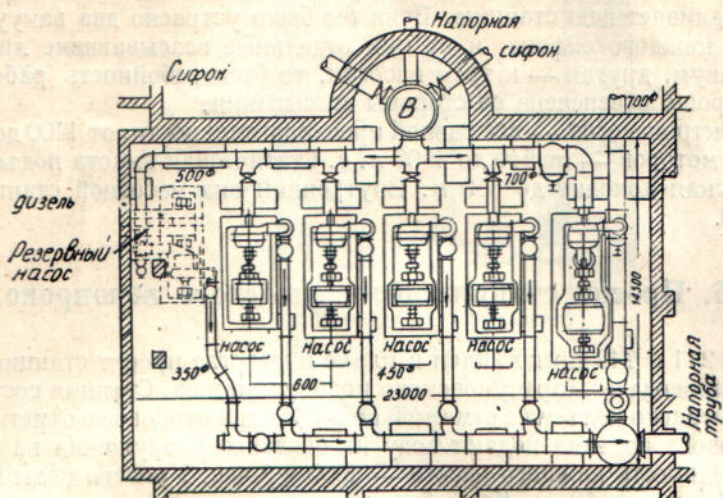
Фиг. 208. Станция г. Мангейма.

Два водокольцевых насоса (эльмо) при посредстве вакуум-котла поддерживают в сифоне вакуум. Половина обслуживающего персонала живет в доме при станции.

## 5. Станция Вюртембергского районного водоснабжения

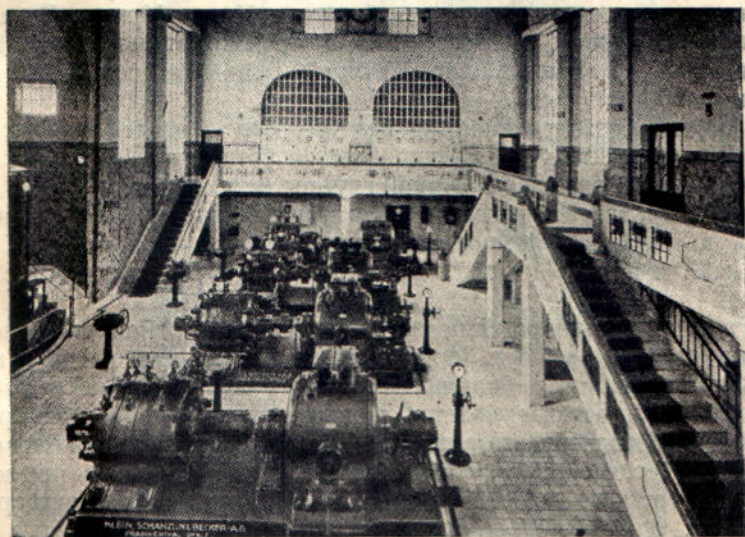
На фиг. 209 показана станция самого крупного районного водоснабжения Германии Staatliche Landeswasserversorgung Württembergs в Нидер-Штоцингене, пущенная в эксплуатацию в 1917 году. Водоснабжение охватывает 100 городов и поселений со Штутгартом во главе. Обслуживаемое население — 450 000 чел., подается в сутки 43 000 — 78 000 м<sup>3</sup>. Вода забирается буровыми колодцами из грунтового потока в долине. р. Дуная и двумя сифонами подводится к насосной

станции; другие два ряда колодцев обслуживаются двумя сифонами, подающими воду на подстанцию Лангенау, откуда вода подается напорным водоводом в водоприемник станции Нидер-Штоцинген. Водоприемником здесь служит не колодец, как обычно, а вакуум-котел *В* диаметром 2 м и высотой 6,6 м. Вакуум-насосом время от времени из котла выкачивается выделяющийся в нем воздух. Вода



Фиг. 209. Станция Вюртембергского районного водоснабжения.

забирается шестью насосами из вакуум-котла *В* посредством двух ветвей одного всасывающего водовода и нагнетается в один общий водовод. Шестой насос слу-



Фиг. 210. Внутренний вид станции.

жит резервом на случай прекращения подачи тока и приводится в движение от дизель-мотора путем ременной передачи. Дизель-мотор помещается в соседнем (слева) здании. Пристройка справа занята электрораспределительным устройством. Все трубопроводы помещаются в подвале, хотя здание и заглублено. Ремонт любой задвижки на всасывающей линии или любого участка этой линии оста-

новит всю станцию. Напорный водовод один и не намечена укладка второго. Очевидно, по водным ресурсам данного района не предполагается дальнейшее развитие станции, что видно и по зданию.

Применение вакуум-котла вместо приемного колодца увеличивает необеспеченность в бесперебойности работы станции от всяких аварий. Не только ремонт задвижек всасывающего водовода, но и ремонт любой задвижки сифонного водовода останавливает всю станцию. Если бы было устроено два вакуум-котла, отдельно для каждого сифона, и от них отдельные всасывающие линии — одна, скажем, к двум, другая — к трем насосам, то бесперебойность работы станции была бы хорошо обеспечена со стороны всасывания.

Пять электронасосов — все разной производительности: от 1100 до 2300 м<sup>3</sup>/час, а мощность моторов — от 540 до 1500 л. с. Статическая высота подъема — 100 м, а динамическая доходит до 150 м. Внутренний вид насосной станции показан на фиг. 210.

## 6. Проект станции Криворожского водопровода

На фиг. 211 и 212 представлен в плане и разрезе проект станции Криворожского водопровода у Карачуновского водохранилища. Станция состоит из двух отделений: первого подъема с отметкой пола 52,4 м и второго на отметке около 61 м. Насосы первого подъема подают воду на очистные сооружения на высоту 26 м, производительность каждого насоса — 1000 м<sup>3</sup>/час. Уровень воды в водохранилище колеблется от 59 до 49 м; большую часть времени насосы будут залиты. Всасывающие трубы уложены в каналах пола. Пол двойной: нижняя бетонная плита рассчитана на давление воды снизу, верхний пол лежит на балласте, насыпанном на плиту для устойчивости станции против всплывания.

Насосы второго подъема работают всегда заливаемыми, так как резервуар чистой воды имеет отметку уровня воды 65,5 м, а ось насосов — 61,3 м.

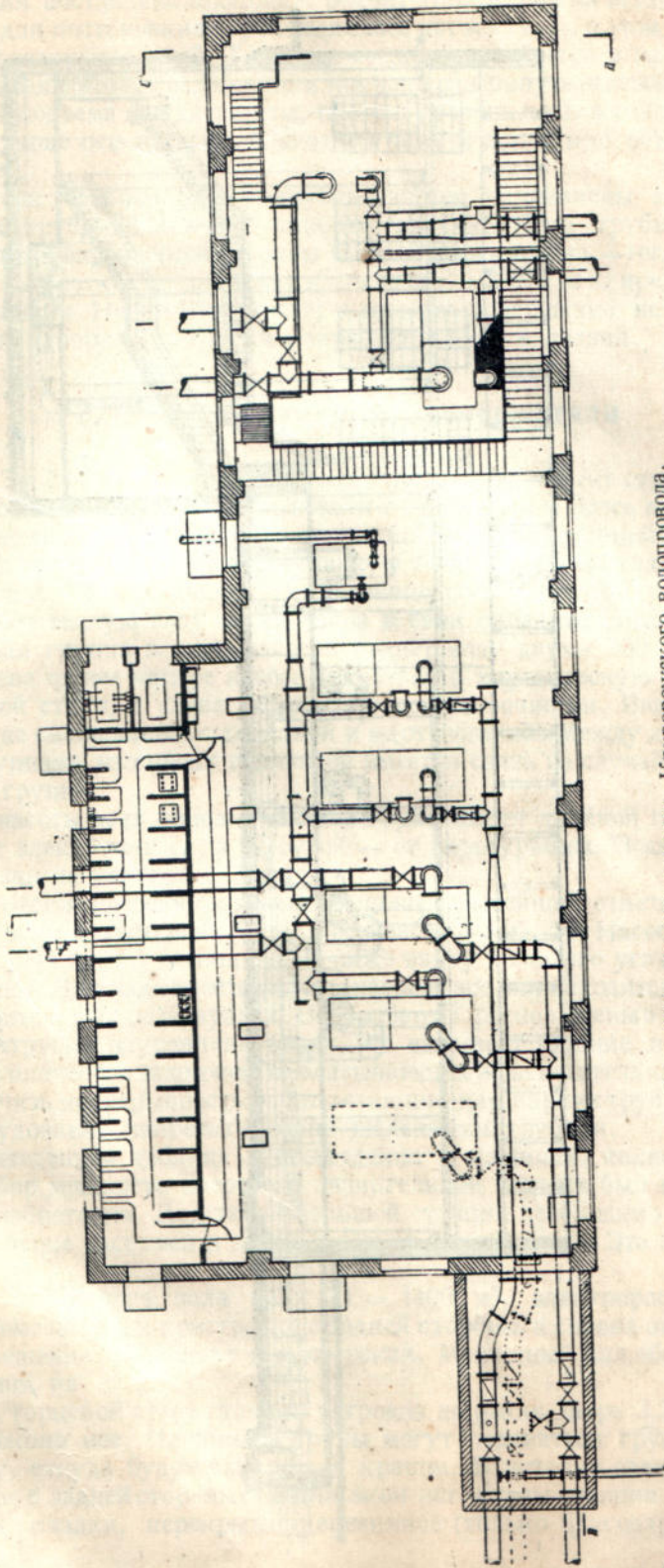
Насосы нагнетают воду в резервуар на отметке 92 м, обслуживающий большое число рудников и поселков при них и башню в Новом Кривом Роге с отметкой 145 м. Напор двух первых насосов — 65 м и производительность — 1200 м<sup>3</sup>/час; моторы — по 500 л. с. Высота напора второй группы насосов — 120 м, производительность — 600 м<sup>3</sup>/час.

Каждая группа состоит только из двух насосов — одного рабочего и другого запасного. Для второй группы предполагается установить еще один насос; при дальнейшем развитии два насоса второй группы, т. е. на напор 120 м, будут в работе и один в резерве. Резерв здесь недостаточен, следовало бы оставить место не для одного, а, по крайней мере, для двух насосов. При четырех насосах на 600 м<sup>3</sup>/час. и 120 м напора подача в верхнюю башню была бы вполне обеспечена резервами.

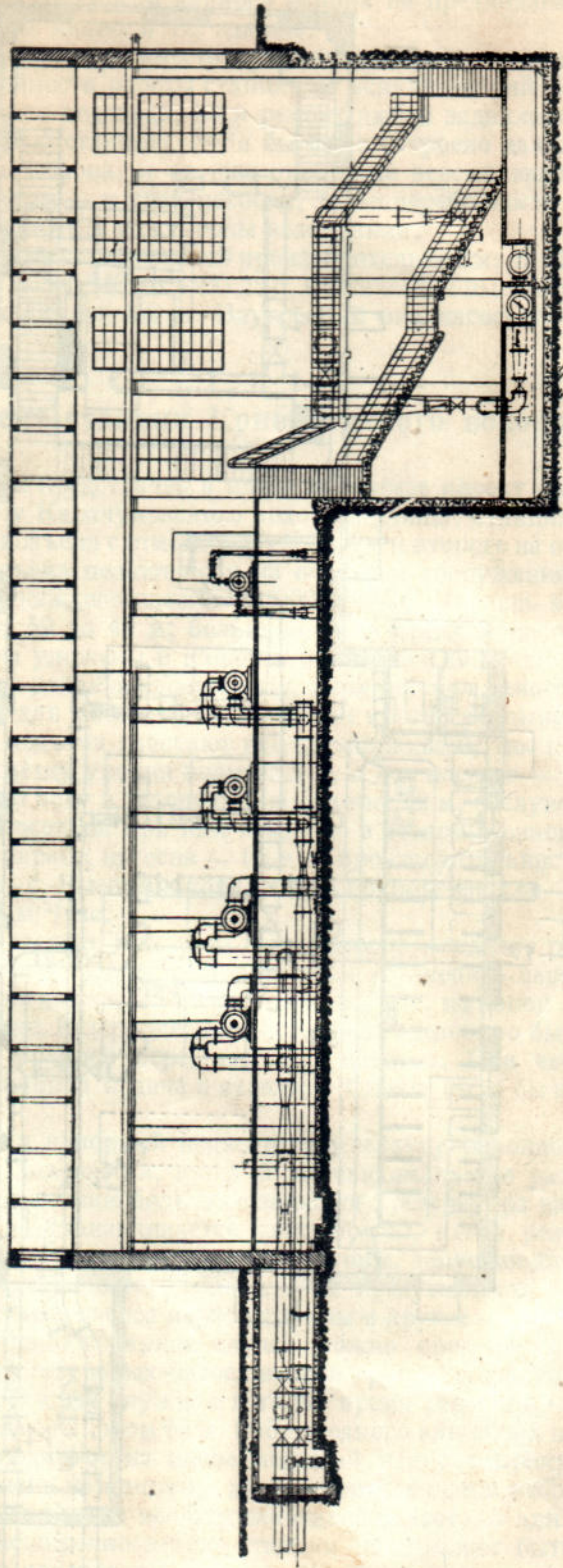
Для нагнетания в напорный подземный резервуар районного водоснабжения поставлены только два насоса, каждый на максимальную расчетную суточную подачу. Благодаря наличию большого запасного резервуара насос работает с постоянной подачей и останавливается каждый раз, когда резервуар наполнен.

Для полного обеспечения резервами в будущем, допуская для первого времени недостаточную обеспеченность, следовало бы предусмотреть в проекте еще два места: одно для третьего насоса первой группы и другое — для четвертого насоса второй группы. Однако в данном случае можно примириться и с меньшим, а именно — чтобы два резервных насоса второй группы с давлением в 120 м и подачей 600 м<sup>3</sup>/час. каждый служили в то же время резервом на крайний случай и для первой группы с напором 65 м. Работа одного или обоих насосов в этом случае должна производиться на вдвое меньший напор с прикрытой задвижкой, следовательно — очень неэкономно; но на короткое время небольшой аварии это допустимо. Однако и при этом необходимо еще одно место — для четвертого насоса второй группы. Расширение здания станции легко может быть осуществлено в сторону напорных водоводов.





Фиг. 211. Проект станции Криворожского водопровода.



Фиг. 212. Проект станции Криворожского угольного овода.

Две всасывающие трубы четырех насосов первого подъема соединены, и на месте соединения поставлена задвижка: ремонт этой задвижки останавливает все четыре насоса; для постановки второй задвижки нет места, — в этом случае лучше отказаться от соединения труб. Такое же соединение имеется и на втором подъеме для постановки второй задвижки, и там надо раздвинуть всасывающие трубы. Насосы второго подъема всегда залиты, так как уровень воды в резервуаре чистой воды на 3,5 м выше оси насосов, благодаря чему и допустимо объединение всасывающих труб.

На разрезе фиг. 212 напорные патрубки насосов направлены вверх, поэтому нагнетательная труба делает два лишних колена. Если трубы помещаются в подвале, то патрубки насосов должны быть обращены вниз, — тогда получается самое простое и короткое соединение с водоводами. На фиг. 210 представлен внутренний вид станции Нидер-Штоцинген; у насосов совершенно не видно труб, и всасывающие и напорные патрубки направлены вниз в подвал.

## 7. Главная станция Запорожстали

На фиг. 213 и 214 в плане и в разрезах представлен проект строящейся главной насосной станции завода Запорожстали с 22 насосами. Здесь в одном машинном зале помещено собственно пять отдельных насосных станций. Четыре насоса с левого конца станции подают отработанную теплую воду в охлаждающий бассейн газоочистки. Четыре насоса, симметрично расположенные в правом конце станции, подают теплую воду от мартенов в свои охлаждающие бассейны.

Центральная группа в пять насосов подает воду двумя 700 мм водоводами в домы. Справа от нее четыре насоса нагнетают в мартеновскую сеть и цеха инструментальной стали, а слева — пять насосов газоочистки. Вода газоочистки, как грязная, не смешивается с доменной и мартеновской. Между доменной и мартеновской группами напорных водоводов имеется связь на случай помощи одной или другой группе.

Большие насосы всех описанных трех групп имеют двойной привод: с одной стороны — от электромотора, а с другой — от паротурбины. Подвод пара к турбине не показан на чертеже.

Вода забирается насосами из охлаждающих бассейнов; отметка уровня воды в бассейнах домен и мартенов — 97 м, а оси насосов — 95, 50. Насосы группы газоочистки (фиг. 214 слева) расположены ниже ввиду большего углубления бассейнов газоочистки. Для надежности работы насосов все они находятся под давлением воды в охлаждающих резервуарах. Все водоводы расположены в подвале. Нагнетательные патрубки направлены вверх, это вызывает лишние повороты труб.

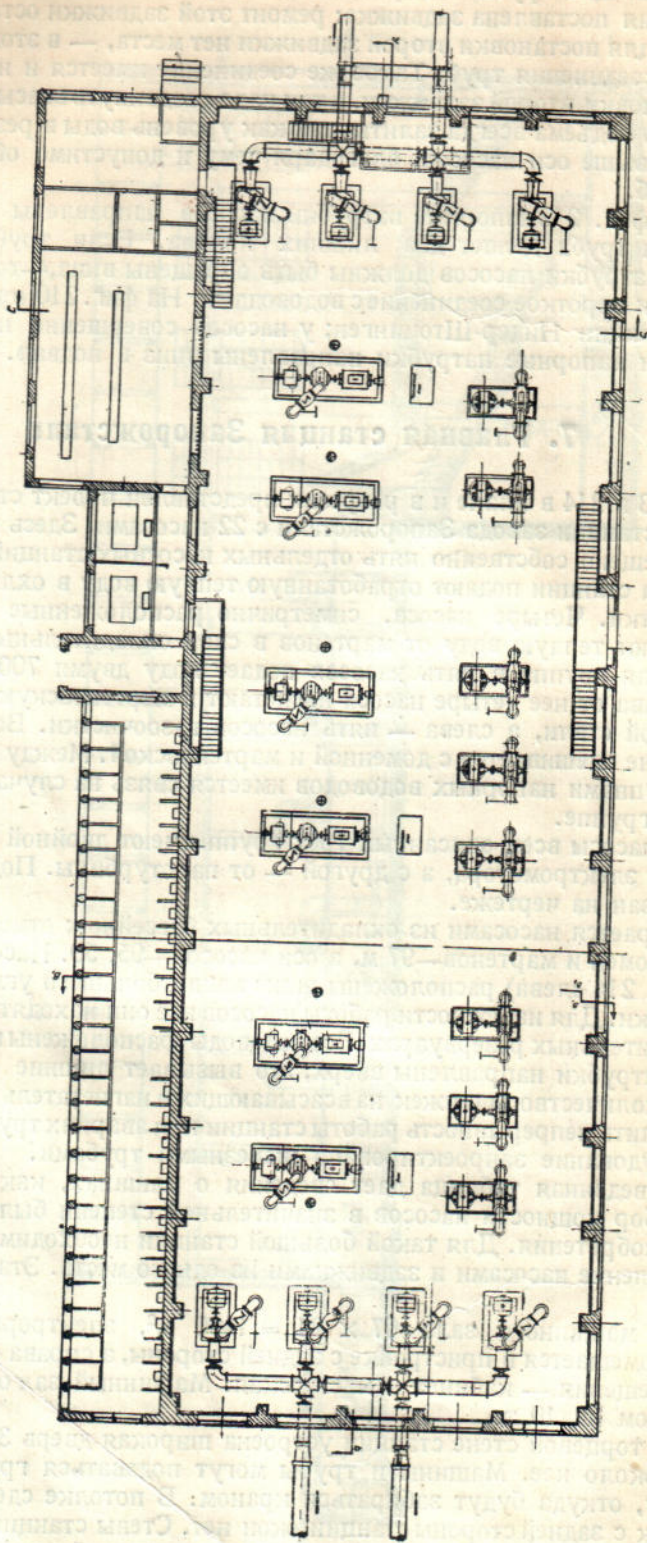
Большое количество задвижек на всасывающих и нагнетательных трубах имеет целью обеспечить непрерывность работы станции при авариях труб, задвижек и пр.

Все оборудование запроектировано железными трубами.

Ниже приведенная таблица дает сведения о машинах, какими оборудована станция. Выбор мощности насосов в значительной степени был определен условиями их приобретения. Для такой большой станции необходимо было бы оборудовать управление насосами и задвижками из одного места. Эта задача поручена ВЭО.

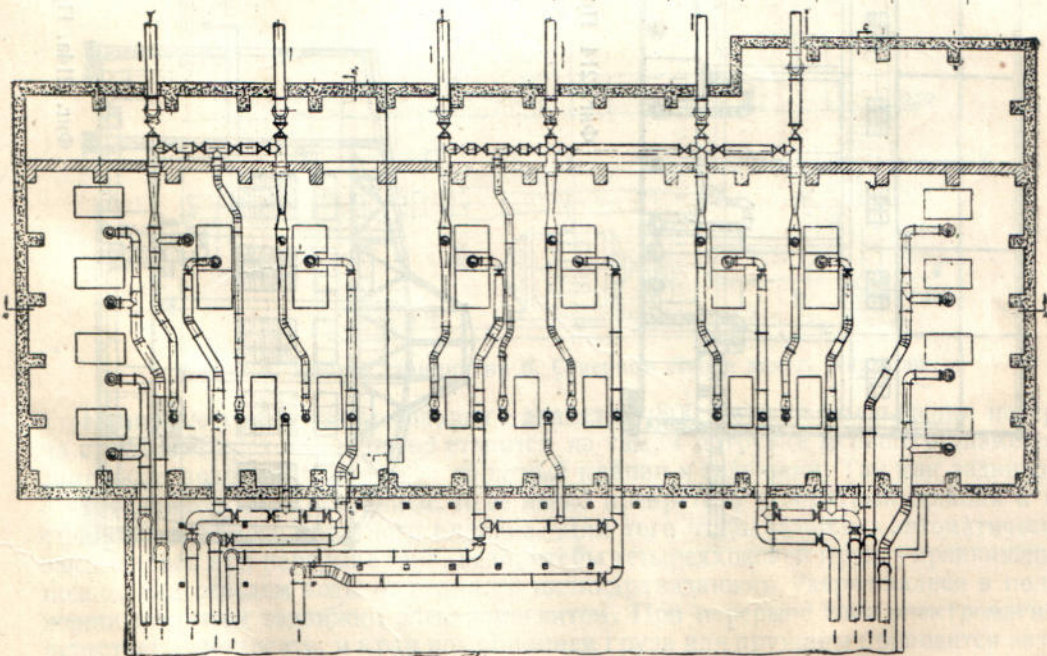
Площадь машинного зала  $67 \times 21 = 1400$  м<sup>2</sup>, электрораспределительное устройство помещается в пристройке с задней стороны, а справа от него находятся бытовые помещения — кабинет и мастерская. Машинный зал обслуживается мостовым краном на 10 т.

В правой торцевой стене станции устроена широкая дверь 3,2 м с монтажной площадкой около нее. Машины и трубы могут подаваться грузовиками прямо на площадку, откуда будет забираться краном. В потолке сделан световой фонарь, так как с задней стороны станции окон нет. Стены станции — из бетонной и кирпичной кладки, перекрытие деревянное (только благодаря дефицитности железа).

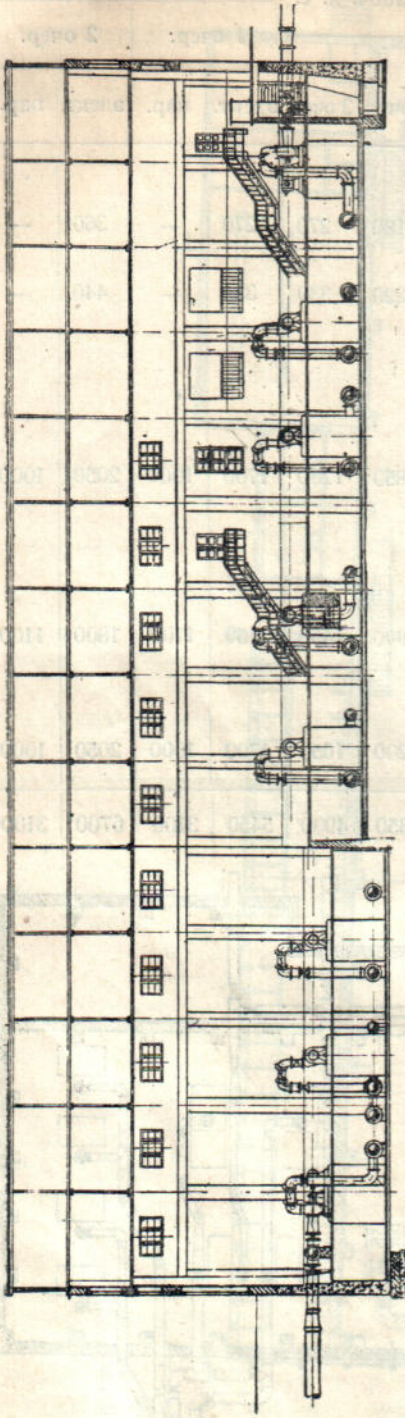


Фиг. 213. Проект главной станции Запорожжя.

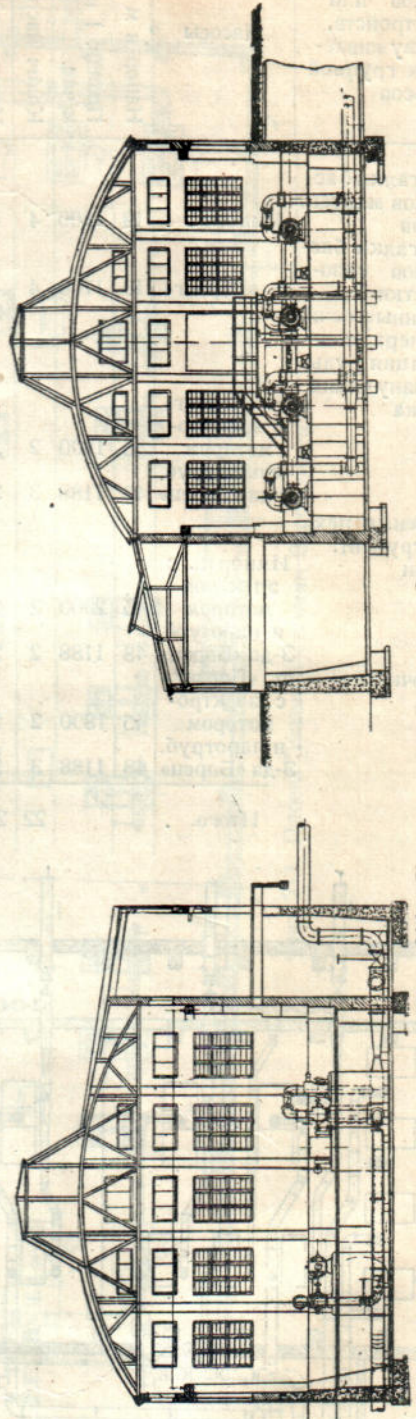
Наименование цехов или устройств, обслуживаемых группой насосов	Насосы	Напор в м	Произв. 1 насоса м <sup>3</sup> /час.	Колич насосов	Колич. моторов	Колич. паротурбин	Мощн. 1 мотора	Общ. мощн. рабоч. л. с.		Общая установл. мощ. в л. с.			
										1 очер.		2 очер.	
								1 очер.	2 очер.	элект.	пар.	элект.	пар.
Бригальки бассейнов мартеновых цехов	Импорт . .	10	1400	4	4	—	90	180	270	270	—	360	—
Бригальки бассейнов газоочистки	Ф. «Борзиг».	10	1700	4	4	—	110	220	330	330	—	440	—
Доменные печи, каупера, агломерация руды и грануляция шлака	Ф. «Борзиг» с электромотором и паротурб. З-да «Борец»	45	1800	2	2	2	500	850	1200	1700	1000	2050	1000
	Импорти. с электромотором и паротурб. З-да «Борец»	48	1188	3	3	—	350	900	1450	1450	1100	1800	1100
Мартен. и цеха инструмент. стали	Ф. «Борзиг» с электромотором и паротурб. З-да «Борец»	45	1800	2	2	2	500	1200	1650	1700	1000	2050	1000
	Импорти. с электромотором и паротурб. З-да «Борец»	48	1188	3	3	—	350						
Газоочистка	Итого . .			22	22	6	—	3350	4900	5450	3100	6700	3100



Фиг. 213а. Проект главной станции Запорожстали.



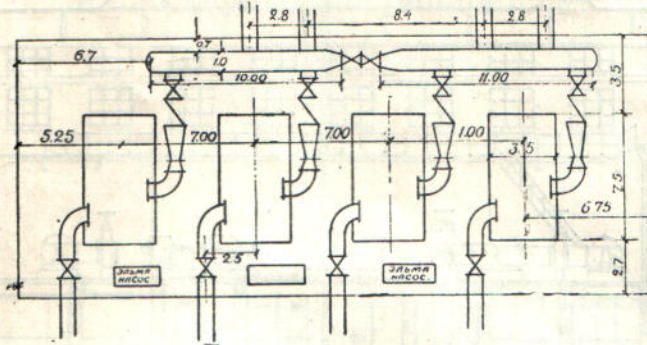
Фиг. 214. Проект главной станции Запорожстали.



Фиг. 214а. Проект, главной станции Запорожстали.

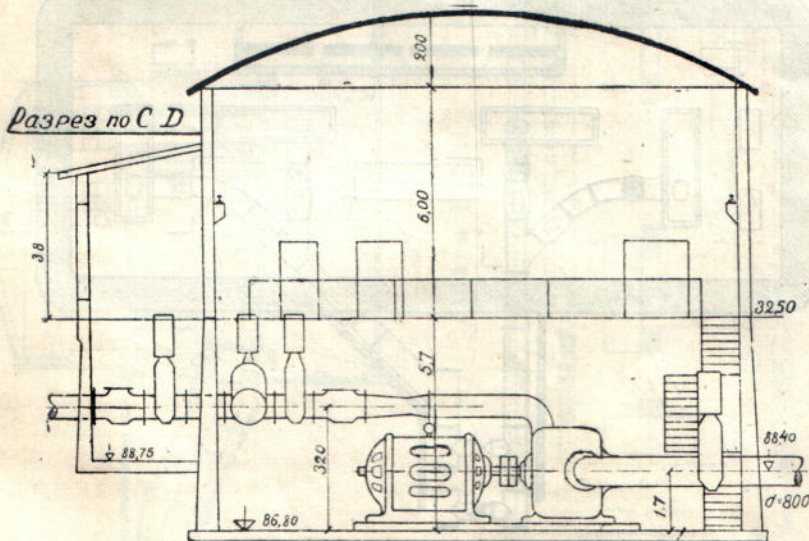
## 8. Станция на Северном Донце

На фиг. 215 и 216 представлен проект насосной станции харьковского речного водопровода. Станция рассчитана на подачу 200 000 м<sup>3</sup> воды в сутки и расположена на берегу р. С. Донца в с. Кочетке. Низкий уровень в реке — на отметке 86,00, оси насосов — на отметке 88,40. Из водоприемного колодца насосы забирают воду 800 мм трубами, которые прямо подходят к насосам. Задвижка на



Фиг. 215. Проект станции на р. Северном Донце для г. Харькова.

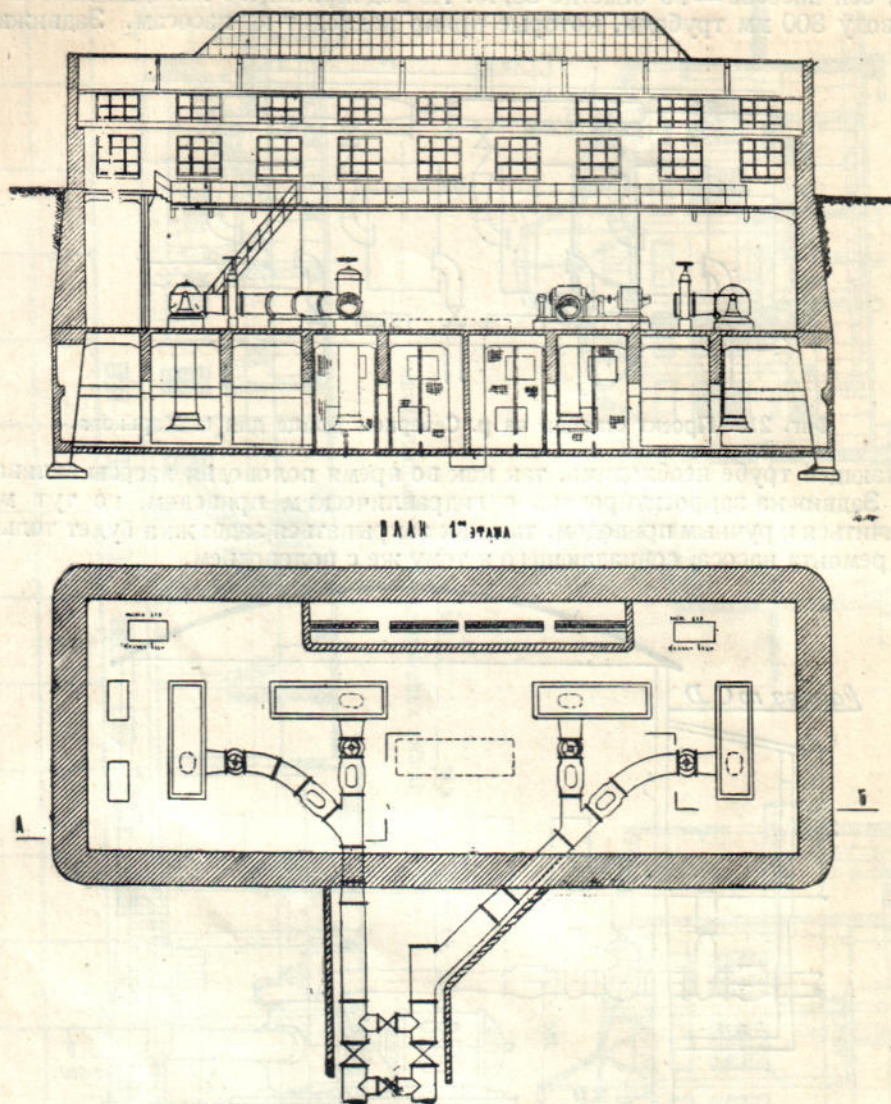
всасывающей трубе необходима, так как во время половодья насосы заливаются водой. Задвижка запроектирована с гидравлическим приводом, но тут можно ограничиться и ручным приводом, так как закрываться задвижка будет только во время ремонта насоса, совпадающего к тому же с половодьем.



Фиг. 216. Проект станции на р. Северном Донце для г. Харькова.

Напорные трубы взяты большого диаметра (800 мм) для уменьшения потерь на станции. Переходное колено ставится на самом патрубке меньшего диаметра, далее идет водомер, а за ним — обратный клапан и задвижка. Так как задвижка с гидравлическим управлением, то ее легко превратить в обратный клапан и не ставить отдельного обратного клапана. Для того чтобы задвижка автоматически закрывалась при перерыве тока, надо, чтобы четырехходовой кран, управляющий подводом и отводом воды от водяного цилиндра задвижки, удерживалось в положении открытой задвижки электромагнитом. При перерыве тока электромагнит перестает действовать, и кран под влиянием груза или пружины приводится автоматически в положение закрытия задвижки.

Каждый из четырех агрегатов имеет мощность 2360 л. с. и подает 1240 м<sup>3</sup>/сек на очистные сооружения с напором 100 м. Два агрегата рабочих и два резервных. Для заполнения водой насосов перед пуском имеются два водокольцевых насоса и один насос для откачивания воды с пола станции; эту же роль могут выполнять и водокольцевые насосы.



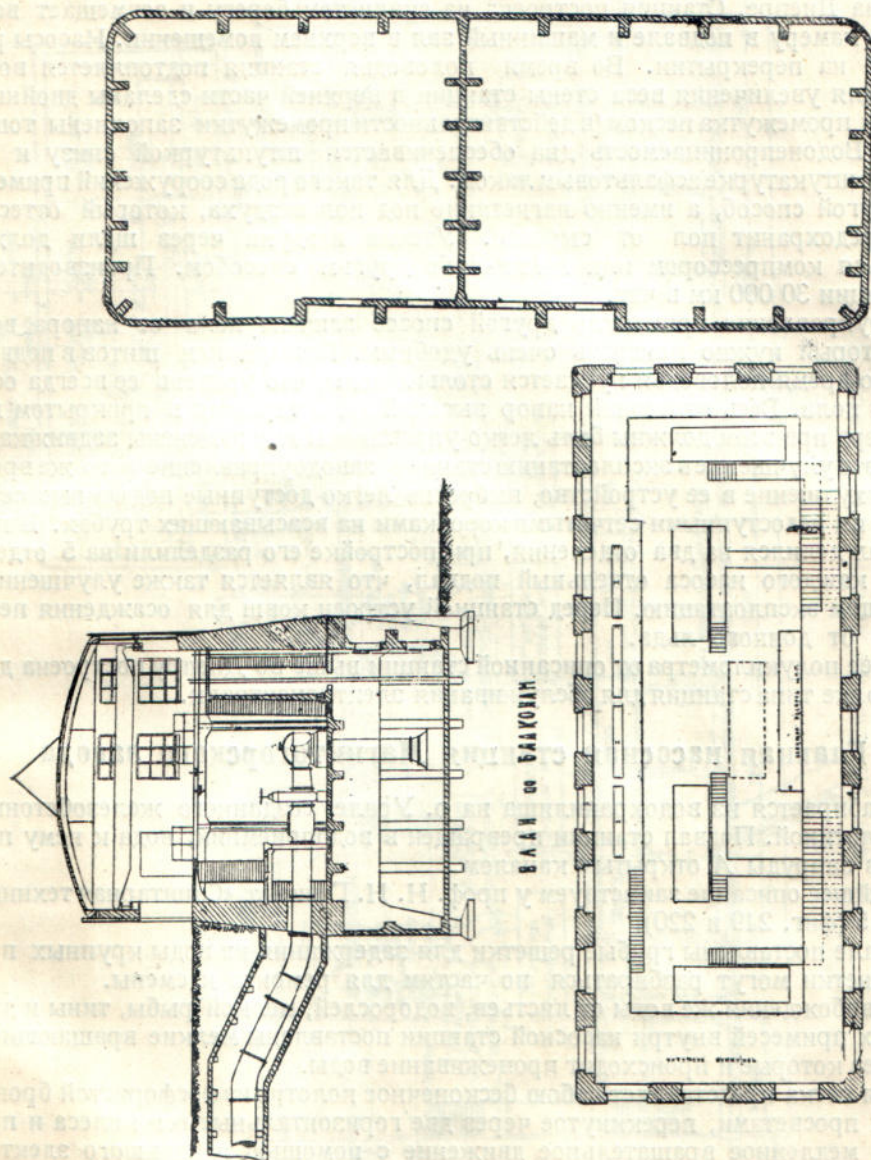
Фиг. 217. Станция в Каменском.

Насосы подают воду в 1200 мм трубу, переделенную двумя задвижками, чтобы на случай порчи одной задвижки не пришлось останавливать всю станцию. Напорных водоводов четыре, по 700 мм каждый; они укладываются постепенно. По выходе из станции водоводы проходят через подземные колодцы, в которых расположены задвижки, предохранительные и обратные клапаны, защищающие станцию от затопления водой на случай разрыва труб в станции. Кроме того, каждая труба имеет выпуск на случай ремонта.

Обслуживание агрегатов производится со служебной площадки на уровне поверхности земли. На этом же уровне расположены электrorаспределительные устройства и служебные помещения.



Первоначально запроектированные соединительные трубы внутри станции были меньшего диаметра, поэтому потеря напора в пределах станции доходила до 5 м. После увеличения диаметров по настоянию автора ее удалось свести до 0,5 м при подаче 100 000 м<sup>3</sup> в сутки и до 2 м при подаче 200 000 м<sup>3</sup>. Станция оборудуется сварными железными трубами.



Фиг. 218. Станция в Каменском.

Машинные агрегаты станции очень крупны; каждый из них подает средний суточный расход  $Q$ , благодаря чему установочная мощность очень велика — 400% от средней мощности 9440 л. с. Если взять пять насосов на расход  $\frac{Q}{2}$  каждый, то установочная мощность уменьшится до 250% и будет только 5900 л. с. Для увеличения в будущем мощности станции вдвое пришлось бы заменить все пять насосов вдвое большими насосами на подачу расхода  $Q$ . В рассматриваемой станции не хватает еще только одного насоса на расход  $Q$ , чтобы она удовлетворяла вдвое большему расходу. Такой легкий способ удвоения ее мощности наталкивается на

отсутствие места для пятого насоса. Отсюда видно, насколько важно было предусмотреть место для пятого насоса и по этому соображению.

## 9. Станция в Каменском (Укрводобуд)

На фиг. 217 и 218 показана береговая станция завода Дзержинского в Каменском на Днестре. Станция построена на скалистом берегу и совмещает водоприемную камеру в подвале и машинный зал в верхнем помещении. Насосы расположены на перекрытии. Во время половодья станция подтопляется водой Днестра. Для увеличения веса стены станции в верхней части сделаны двойными с засыпкой промежутка песком (в действительности промежутки заполнены тощим бетоном). Водонепроницаемость дна обеспечивается штукатуркой снизу и покраской по штукатурке асфальтовым лаком. Для такого рода сооружений применяется и другой способ, а именно нагнетание под пол воздуха, который оттеснит воду и предохранит пол от сырости. Утечка воздуха через щели должна пополняться компрессором или каким-либо другим способом. Производительность станции 30 000 км в час.

Заводоуправление применило другой способ защиты пола от напора воды снизу, который нужно признать очень удобным. Прикрытием щитов в подвале станции во время половодья пускается столько воды, что уровень ее всегда остается ниже пола. Весь излишний напор высокой воды теряется в прикрытом шибере, шибера при этом должны быть легко управляемы или заменены задвижками.

Внеся это улучшение в эксплуатацию станции заводоуправление в то же время внесло и ухудшение в ее устройство, выбросив легко доступные подъемные сетки и заменив их недоступными сетчатыми коробками на всасывающих трубах. В проекте подвал делился на два отделения, при постройке его разделили на 5 отделений; для каждого насоса отдельный подвал, что является также улучшением, облегчающим эксплуатацию. Перед станцией устроен ковш для осаднения песка и защиты от донного льда.

Не далее полукилометра от описанной станции выше по Днестру построена другая такого же типа станция для обслуживания электроцентрали.

## 10. Главная насосная станция Магнитогорского завода

Вода забирается из водохранилища на р. Урале, созданного железобетонной арочной плотиной. Подвал станции превращен в водоприемник, вода к нему подводится из запруды А открытым каналом.

Дальнейшее описание заимствуем у проф. Н. Н. Гениена, «Санитарная техника» 1931 г. № 5 (фиг. 219 и 220).

«В канале поставлены грубые решетки для задержания из воды крупных примесей. Решетки могут разбираться по частям для ремонта и смены.

Для освобождения же воды от листьев, водорослей, мелкой рыбы, тины и других мелких примесей внутри насосной станции поставлены мелкие вращающиеся сетки, через которые и происходит процеживание воды.

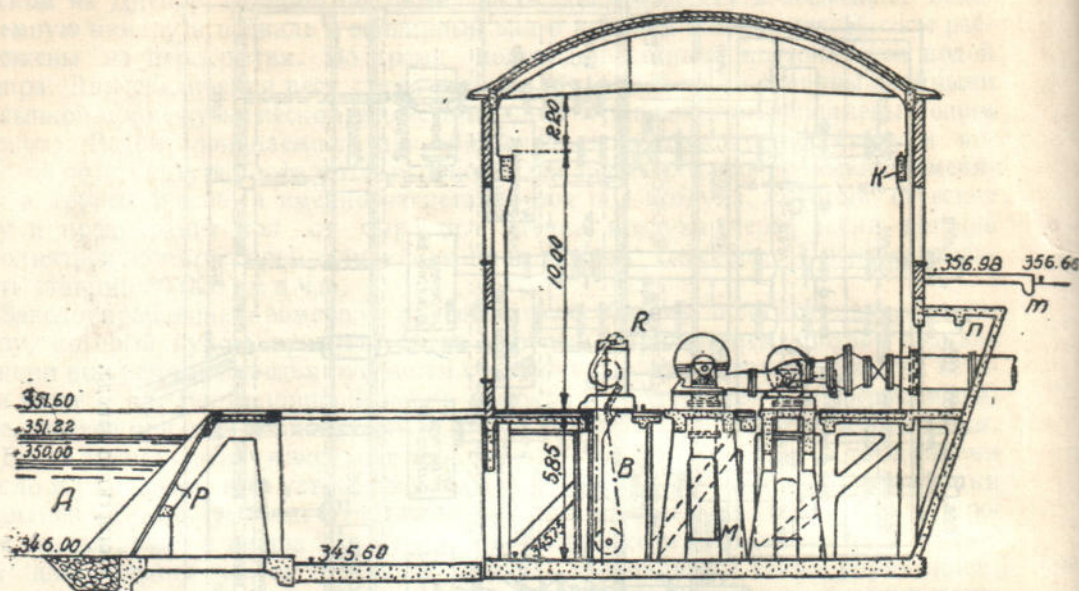
Каждая сетка представляет собою бесконечное полотно из фосфористой бронзы с мелкими просветами, перекинутое через две горизонтальные оси колеса и приводимое в медленное вращательное движение с помощью небольшого электромотора. На фиг. 221 показана верхняя часть сетки. Ширина полотна сетки 2,4 м, глубина погружения сетки в воду — около 3,6 м (при нормальном горизонте воды в пруде 350 м) таким образом рабочая площадь сетки составляет 8,64 м<sup>2</sup>. При работе всех 13 поставленных сеток каждая из них должна будет пропускать воду со скоростью 600 мм/сек<sup>1</sup>.



<sup>1</sup> Как скорость прохода воды через сетку, так и величина просветов последней зависят от степени загрязнения очищаемой воды и от требуемого эффекта действия сетки. Чем грязнее вода и чем больше количество взвешенных примесей должна задерживать сетка, тем медленнее должна быть скорость прохода воды и тем меньше должны быть просветы. Для данного случая размер отверстия намечен 1 мм.



Скорость вращения сетки не является постоянной, а может изменяться в зависимости от степени загрязнения прудовой воды. Чем чище вода, тем скорость может быть больше и обратно. Поэтому при каждой сетке имеется аппарат для перемены скорости ее вращения. Задерживаемые из воды полотном сетки взвешенные и плавающие примеси смываются водопроводной водой, которая выбра-



Фиг. 220. Станция Магнитогорского завода.

сывается на полотно несколькими струйками под большим давлением (до 2 атм. и даже больше). Это хорошо видно из фиг. 221. Грязная промывная вода по особому желобу отводится в водосток. Вращающиеся сетки могут задерживать из воды 20% (очевидно из канализационных осадков и даже больше) взвешенных веществ, почему за границей они называются иногда фильтролентами.

Сетки устанавливаются так, чтобы их можно было поднимать с помощью крана кверху для ремонта. Прежде чем какая-нибудь из сеток будет подниматься, впереди нее, в предусмотренные пазы стенки, должны ставиться сплошные щиты для того, чтобы не допустить поступления в резервуар насосной станции неочищенной прудовой воды.

Запроектированная установка вращающихся сеток внутри здания громадной насосной станции с очень ответственным оборудованием представляет собой смелое решение, требующее очень тщательного надзора за содержанием сеток, их исправностью и за промывкой.

Как отмечено при описании общей схемы водоснабжения, на главной насосной станции устанавливаются две группы насосов — высокого (55 м) и среднего (30 м) давления.

Насосы высокого давления подают воду для доменного цеха и тукового и коксохимического комбината. Суточная подача воды при этом должна быть в первую очередь — 297 000 м<sup>3</sup> (по расчету):

Для доменного цеха . . . . .	180 000
Для тукового комбината . . . . .	37 000
Для коксохимического комбината . . . . .	80 000

Во вторую очередь — 445 990 м<sup>3</sup> (по расчету):

Для доменного цеха . . . . .	265 750
Для тукового комбината . . . . .	74 000
Для коксохимического комбината . . . . .	106 240

Соответственно этим расходам воды будут работать насосы высокого давления: в первую очередь — два, производительностью по  $151\,200\text{ м}^3$ , подающие вместе  $302\,400\text{ м}^3$  —  $297\,000\text{ м}^3$ ; во вторую очередь — три, производительностью по  $151\,200\text{ м}^3$ , подающие вместе  $453\,600\text{ м}^3$  —  $445\,900\text{ м}^3$ .

Соответственно указанной подаче станция оборудуется (ко второй очереди) тремя большими насосами высокого давления производительностью по  $151\,200\text{ м}^3$ , нагнетающими воду в три водовода диаметром  $1050\text{ мм}$ .

При каждом таком большом насосе устанавливается малый насос половинной производительности, т. е. на  $75\,600\text{ м}^3$ , нагнетающий воду в тот же водовод, что и большой насос.

Насосы среднего давления будут подавать воду для воздуходувок в количестве до  $600\,000\text{ м}^3$ .

Для обеспечения этой подачи будут работать четыре насоса производительностью по  $151\,200\text{ м}^3$ , подающие вместе  $600\,800\text{ м}^3$ .

Соответственно этому на насосной станции устанавливаются (ко второй очереди) шесть больших насосов среднего давления  $30\text{ м}$ , из которых четыре рабочих, два — резервных (50%).

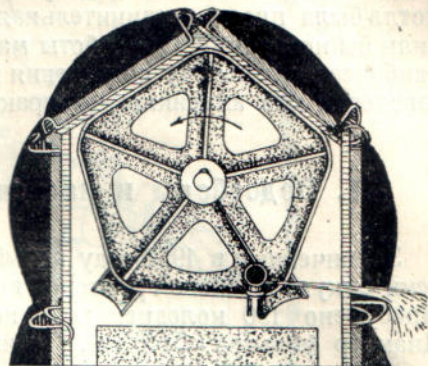
Для зарядки всасывающих линий устанавливаются три вакуум-насоса. От каждого насоса идет короткая нагнетательная труба  $1200\text{ мм}$  до распределительного горизонтального железного котла, помещаемого в особом каменном колодце (камере) вне здания насосной станции. От этого котла идут пять водоводов диаметром  $1000\text{ мм}$  к воздуходувкам. Четыре из них укладываются в первую очередь, пятый — во вторую.

Как видно из фиг. 219 и 220, центральная часть здания станции занята насосным залом, левое крыло — электротехническими устройствами и правое крыло — камерой затворов для каналов, подводящих воду к электростанциям.

Под полом насосного зала и правого крыла — подвал для воды, поступающей из пруда. Пол (со стоящими на нем насосами и моторами) помощью железобетонных рам опирается на фундаментную плиту подвала. Всасывающие трубы насосов опущены в этот подвал в виде сравнительно коротких вертикальных отрошков.

При громадной производительности насосов такое решение представляется весьма интересным и рациональным; однако запроектированный фирмой «Макки» подвал не имеет внутренних стенок, разделяющих его на секции, что надо считать недостатком устройства; весьма затруднена очистка подвала от осаждающихся из воды примесей, и при сколько-нибудь серьезных повреждениях подвала приходится выключать из работы всю насосную станцию; наконец, в этих случаях прекращается подача на электростанцию воды, которая из пруда пропускается через подвалы. С этой точки зрения было бы весьма важно устроить самостоятельный подвод воды из пруда к электростанции. Напорные трубы от насосов совершенно прямо, без всяких колен идут из станции. Такое чрезвычайно целесообразное для работы больших насосов направление напорных труб вызывает необходимость укладки их на полу насосного зала: трубы и арматура — всегда на виду; затрудняется, правда, проход по залу и требуются мостики над трубами, но с этим вполне возможно мириться.

Указанные проф. Гениевым недостатки в устройстве подвала водоприемника нужно признать очень крупным промахом. Если для городских водопроводов устраиваются двойные водоприемники, то тем более они необходимы для водоснабжения металлургического завода, совершенно не допускающего перерыва водоснабжения.



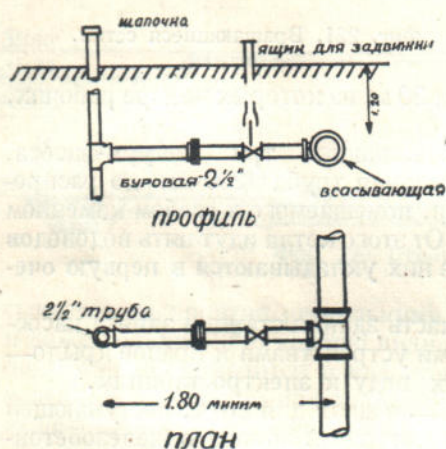
Фиг. 221. Вращающиеся сетки.

Подвал необходимо было переделывать перегородками даже не на две, а на несколько совершенно независимых камер, чтобы ремонт одной не отражался на действиях других.

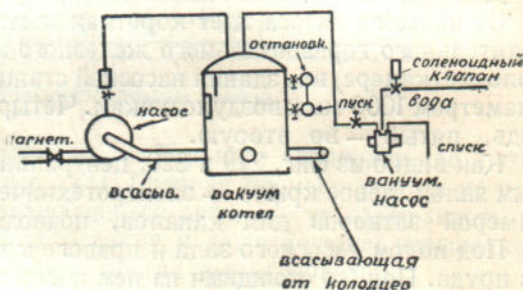
Крупный недостаток также имеется и на напорной стороне. Котел, соединяющий все трубы, имеет только одну задвижку посредине. Ремонт этой задвижки остановит всю подачу воды на мартеновские цеха. Если бы вместо котла была просто соединительная труба, то три-четыре задвижки на ней обеспечили бы непрерывность работы мартеновского отделения станции. Именно здесь наиболее уместны те соединения напорных водоводов, которые изложены в подзаголовке «Из американской практики», стр. 115.

## 11. Водосборы и насосная станция г. Конкордия в США

Законченный в 1932 году новый грунтовой водопровод расположен на берегу реки Сукук. Уровень грунтовой воды стоит на 1,5—2 м ниже поверхности земли. Пробурено 150 колодцев глубиной от 9 до 15 м в мелком и крупном песке. Диаметр фильтра — 63 мм. Производительность колодцев колебалась от 1 до 4,5 л./сек. Площадь, занятая скважинами, — около 10 га. Все колодцы соединены со всасывающей трубой способом, указанным на фиг. 222.



Фиг. 222. Водосборы г. Конкордия.



Фиг. 223. Схема оборудования станции.

Чтобы облегчить всасывание одним насосом из всех 150 колодцев, перед насосами слева устроен вакуум-котел.

Воздух из вакуум-котла высасывается вакуум-насосом, причем включение и выключение вакуум-насоса происходит автоматически, в зависимости от уровня воды в котле.

Таким образом поддерживается в котле и всасывающем водопроводе необходимое разрежение во время работы насоса. Схема расположения насоса вакуум-котла и вакуум-насоса показана на фиг. 223.

Диаметр котла — 1,8 м, высота — 3,6 м; производительность вакуум-насоса — 0,25 м<sup>3</sup> воздуха в минуту и разрежение — 500 мм.

Насосная станция оборудована тремя насосами производительностью 72 л./сек. каждый. Напор — 90 м, к. п. д. насосов — 77—78%.

Два насоса — с электромоторами по 125 л. с., а третий — с газолиновым двигателем фирмы Стерлинга в 175 л. с.

Эксплуатация ведется таким образом: каждый электронасос работает попеременно одну неделю, по 17 час. в сутки, а насос с газолиновым двигателем работает 1 час в неделю, чтобы не застоялся.



## 12. Автоматический вакуум-насос

Более подробное представление об автоматическом включении и выключении вакуум-насоса можно составить себе по фиг. 224.

Насос *A* посредством железной трубки *cd* соединяется с вакуум-котлом, из которого воздух высасывается водокольцевым насосом по трубке *e*.

Пусковой реостат *R* к мотору *M* включается и выключается рычагом *pk*. На рычаге в точке *k* подвешены два сосуда *ss*, сообщающиеся между собой трубкой *e*, а с вакуум-котлом — резиновыми или вообще гибкими трубками *tt*.

Когда уровень воды в вакуум-котле стоит на такой высоте, что заполнен только его нижний сосуд *s*, тогда груз *p* удерживает рычаг в положении, при котором мотор *M* включен. Когда же под влиянием увеличения разрежения уровень воды в котле повысится настолько, что и верхний сосуд *s* наполнится водой, тогда вес двух сосудов *ss* с водой перевесит груз, а рычаг повернется и займет новое положение *ху*. При этом положении реостат выключает мотор *M*. Когда вакуум, а вместе с ним и уровень воды в котле, упадет, тогда верхний сосуд *s* освобождается от воды, груз повернет рычаг в прежнее положение и реостат снова включит мотор и т. д.

Это приспособление должно устранить затруднение при пуске насосов, соединенных с одной всасывающей трубой, о чем речь была выше.

## 13. Автоматизация работы насосных станций

Лет тридцать тому назад появились первые попытки устройства автоматических насосных станций<sup>1</sup> для небольших городов. В настоящее время такие станции строятся уже и для крупных городов, например, Берлинские станции постройки 1929—1933 г., GW 1933 г., № 38, 39 и 40. Автоматическое включение моторов и насосов производится несколькими способами. Если в сети находится напорный резервуар, то остановка насосов должна происходить при наполнении резервуара, а включение в работу — при падении уровня в резервуаре. Эти операции легко произвести посредством поплавкового выключателя, показанного на фиг. 224а.

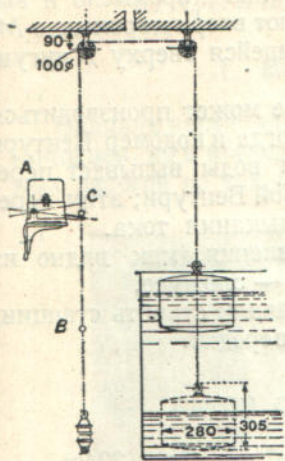
Поплавок подвешен на двух роликах и уравновешен грузом. На тросе имеются два утолщения, не проходящие через отверстие в рукоятке выключателя *A*. Когда поплавок понижается, нижнее утолщение *B* поднимает рукоятку выключателя и включает мотор в цепь при малых моторах; или особое вспомогательное реле при больших моторах, которое уже действует на выключатели моторов. При подъеме поплавок верхнее утолщение *C* опускает рукоятку и выключает мотор. Расстояние между утолщениями *B* и *C* определяет, при каких колебаниях уровней происходит включение и выключение насосов.

В резервуарах, не защищенных от охлаждения, вода зимою может замерзнуть и прекращать работу поплавок. В таком случае применяется установка маленького резервуара сбоку от главного резервуара, соединенного с ним утепленной трубкой. Резервуарчик легко изолировать от холода; в нем устанавливается поплавок; вместо тросса рукоятка выключателя приводится в движение стерженьком с утолщениями.

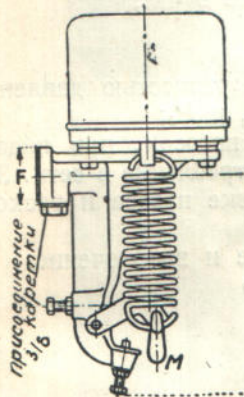
При отсутствии напорного резервуара в сети включение и выключение мотора производится меняющимся давлением в воздушно-водяном котле (фиг. 224в и 224с). В этом случае к котлу прикрепляется напорный выключатель (фиг. 224с). Механическая часть его состоит из цилиндра с поршнем, расположенного под коробкой выключателя; на фиг. 224с цилиндр закрыт пружиной; он хорошо виден на фиг. 224д. Поршень приводится в движение сверху напором воды, поступающей в цилиндр через соединительный патрубочек *F*. Снизу стержень поршня посредством коромысла *M* опирается на две цилиндрические пружины.

<sup>1</sup> Первая автоматическая насосная станция для канализационных вод в России устроена автором совместно с Д. С. Черкесом и 1908 году в Харьковской губернской больнице.

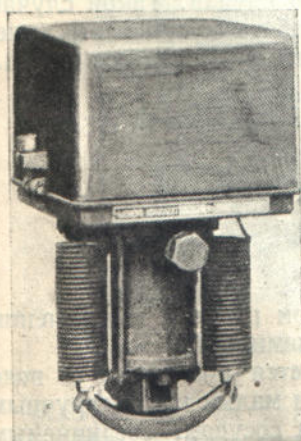




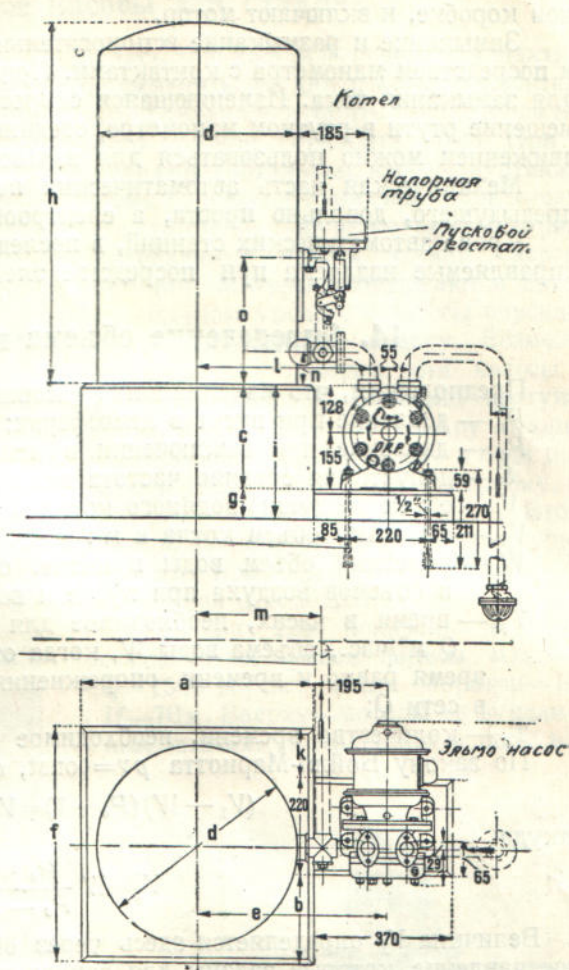
Фиг. 224а. Автоматический пуск поплавком.



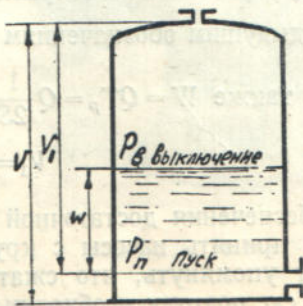
Фиг. 224с. Прибор для автоматического пуска напором.



Фиг. 224д. Прибор для автоматического пуска напором.



Фиг. 224б. Воздушный котел.



Фиг. 224е. Схема котла.

При увеличении давления в сети поршень двигает вниз коромысло и включает насос. При понижении давления пружины двигают вверх коромысло  $M$ , передавая свое движение электрической части, помещающейся сверху в чугунной коробке, и включают мотор.

Замыкание и размыкание вспомогательной сети реле может производиться и посредством манометра с контактами. Применяется иногда и водомер Вентури для замыкания тока. Изменяющаяся скорость движения воды вызывает перемещение ртути в ртутном манометре, соединенном с трубой Вентури; этим перемещением можно пользоваться для замыкания и размыкания тока.

Механическая часть автоматических передач управления, как видно из предыдущего, довольно проста, а электрооборудование — сложнее.

Кроме автоматических станций, в последнее время начали строить станции, управляемые издалека при посредстве электрических передач.

#### 14. Определение объема воздушного котла

Предположим, что максимальная часовая подача  $Q$  м<sup>3</sup>/час (рис. 224е),

$P_n$  — давление при пуске в атмосферах;

$P_e$  — давление при выключении в атмосферах;

$S$  — допустимая средняя частота включения приборов в час;

$V$  — объем воздушно-водяного котла в м<sup>3</sup>;

$V_1$  — полезный объем котла в м<sup>3</sup>;

$W$  — полезный объем воды в котле, определяемый разностью давлений и объемов воздуха при пуске и выключении  $P_n$  и  $P_e$ ;

$T_p$  — время в часах, необходимое для наполнения насосом, при подаче  $Q$  м<sup>3</sup>/час., объема воды  $W$ , когда отсутствует потребление в сети. Это время равно и времени опорожнения при остановке насоса и расходе в сети  $Q$ ;

$T_s$  — количество времени, необходимое на включение и выключение.

По закону Бойля-Мариотта  $pV = \text{const}$ , следовательно

$$(V_1 - W)(P_e + 1) = V_1(P_n + 1),$$

откуда

$$V_1 = W \frac{P_e + 1}{P_e - P_n}.$$

Величина  $V_1$  определяется здесь через объем воды  $W$ , начальное и конечное давление, которые заданы для самого невыгодного случая. Такой случай будет при равномерном потреблении и непрерывной работе пуска и выключения, т. е., как только наполнится объем  $W$ , сейчас же выключается насос и т. д.; при этом  $T_s$  приблизительно равно  $2T_p$ .

По предыдущим обозначениям  $T_s = \frac{1}{S} = 2T_p$ , откуда  $T_p = \frac{1}{2S}$ .

Точно также  $W = QT_p = Q \frac{1}{2S}$ , поэтому

$$V_1 = \frac{Q}{2S} \frac{P_e + 1}{P_e - P_n}.$$

Для обеспечения достаточной разницы напоров при пуске и выключении необходимо принять насосы с крутыми характеристиками  $QH$ .

Следует упомянуть, что сжатый воздух растворяется постепенно в воде и уносится ею, поэтому необходимо его пополнение при малых котлах ручным способом, а при больших — компрессором или особым сосудом, соединяемым трубками при помощи кранов с водяным и воздушным пространством. Сосуд наполняется воздухом путем сообщения с атмосферой, затем это сообщение закрывается и впускается напорная вода; воздух сжимается и по открытии крана на другой трубке вгоняется в котел.

## Х. СТАНЦИИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ НАСОСАМИ

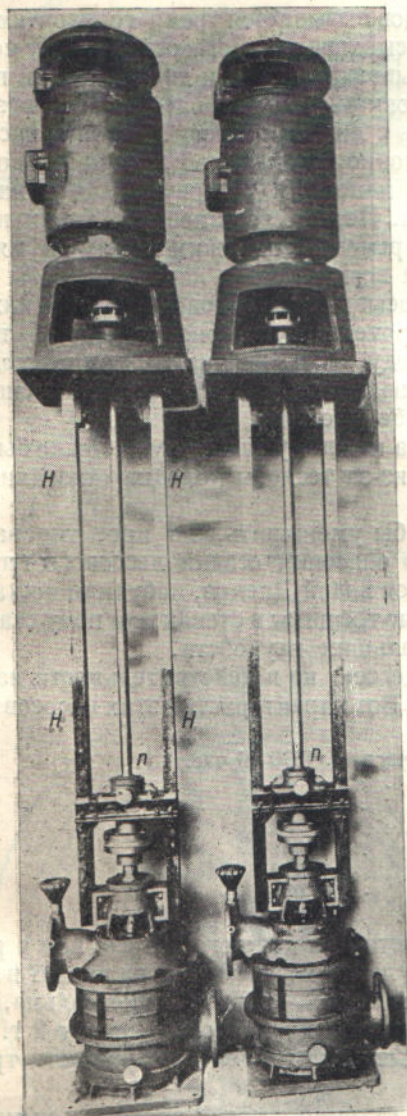
### 1. Вертикальные насосы для станций

Вначале вертикальные насосы применялись только для буровых или шахтных колодцев, но в последнее время они стали применяться и для замены горизонтальных насосов на тех станциях, где приходится сильно углублять здание из-за низкого стояния горизонта воды. При замене горизонтальных насосов вертикальными размеры здания сильно сокращаются, что дает большую экономию в дорогих углубленных частях здания насосной станции. Моторы располагаются вверху на обычном уровне, а насосы опускаются в углубленную камеру. Возможны два способа установки: или насосы погружаются в воду, свободно поступающую в углубленную камеру станции, или камера делается сухой и вода попадает в насос через боковую трубку, как и при горизонтальном насосе. Второй способ устройства имеет то преимущество, что при нем насос всегда доступен для ухода и осмотра.

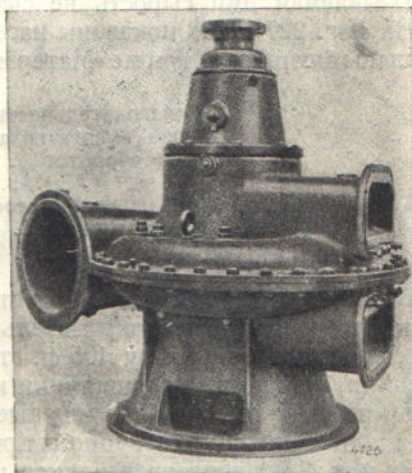
На фиг. 225 показаны два одноступенчатых насоса фирмы «Одессе»:  $Q=1500 \text{ м}^3/\text{час}$ , число оборотов—1480,  $H=70 \text{ м}$ . Вверху—моторы на фундаментных плитах, укрепленных в полу верх-

него этажа. От плит идут две направляющие  $НН$ , связывающие мотор с насосом и держащие на себе подшипник вертикального вала. Подшипник может быть не один. На фиг. 225 показаны справа всасывающие патрубки 500 мм, а слева — нагнетательные 450 мм, к. п. д. — 74%.

На фиг. 226 показаны большие вертикальные насосы «Эсслингер» производительностью 725 л/сек., напор—90 м, число оборотов—1000, мощность—1100 л.с.



Фиг. 225. Насосы фирмы Одессе.



Фиг. 226. Насос Эсслингер.

На фиг. 227 и 228 представлена насосная станция первого подъема водопровода Великого Запорожья. На двух планах и двух разрезах ясно показано расположение трубопроводов.

Из запруды, созданной плотиной Днепростроя, вода шестью 700 мм водоводами подается самотеком в углубленный ниже дна насосной станции приемный колодец.

Большое количество самотечных водоводов вызывается тремя горизонтами забора воды, начиная с 30 м глубины. Две всасывающие трубы обслуживают четыре насоса. Задвижки на соединении двух всасывающих труб и две задвижки по одной напорной трубе вместе с четырьмя задвижками у самых насосов дают возможность любую всасывающую трубу соединять с любым насосом. Такой запас комбинаций в данном случае не является безусловно необходимым, так как водоснабжение Великого Запорожья имеет большой напорный резервуар для нижней и особую станцию при нем для верхней зоны. Поэтому остановка станции на несколько часов вполне возможна. В случае ремонта задвижки между двумя всасывающими линиями необходима остановка всех четырех насосов. Чтобы избежать этого, лучше отделить совершенно всасывающие водоводы, чтобы каждый из них обслуживал только два насоса. Уровень расположения насосов таков, что только изредка они могут засасывать воду, обыкновенно же она подходит к ним под напором, поэтому, кроме четырех задвижек, у насосов поставлено еще по задвижке на каждой всасывающей трубе у стены.

Если бы насосы не были заливными, тогда каждому насосу лучше было бы дать свою всасывающую трубу, и здесь только из-за тесноты колодца отказались от четырех всасывающих труб.

Размеры станции в плане можно было бы уменьшить, но проектировалась она для горизонтальных насосов, и только опасения осадки лесового грунта, после того как он будет пропитан поднявшейся водой Днепра, побудили поставить вертикальные насосы, при которых возможные трещины в стенах или полу станции и вызываемая ими сырость не создают больших неудобств.

На фиг. 227 и 228 показаны насосы «Одессе», но в действительности насосы заказаны английской фирме «Матер и Платт». Вот характеристики этих насосов:

Производительность одного насоса . . . . .	1500 м <sup>3</sup> /час.
Общая высота подъема . . . . .	45 м
Число оборотов . . . . .	975
К. п. д. . . . .	82%
Л. с. на валу насоса . . . . .	301
Л. с. мотора . . . . .	350
Цена за каждый . . . . .	487 ф. ст.

Вместе с насосами заказаны запасные части для каждого насоса: вал с рабочим колесом вместе с предохранительными втулками и гайками (цена входит в цену насоса) и за особую плату 165 ф. ст. на один насос—уплотняющие кольца, подшипники, шариковые подшипники и подпятники. Вес насоса — около 2 т.

На чертеже показаны фланцевые фасонные части; в действительности трубы соединяются преимущественно сваркой.

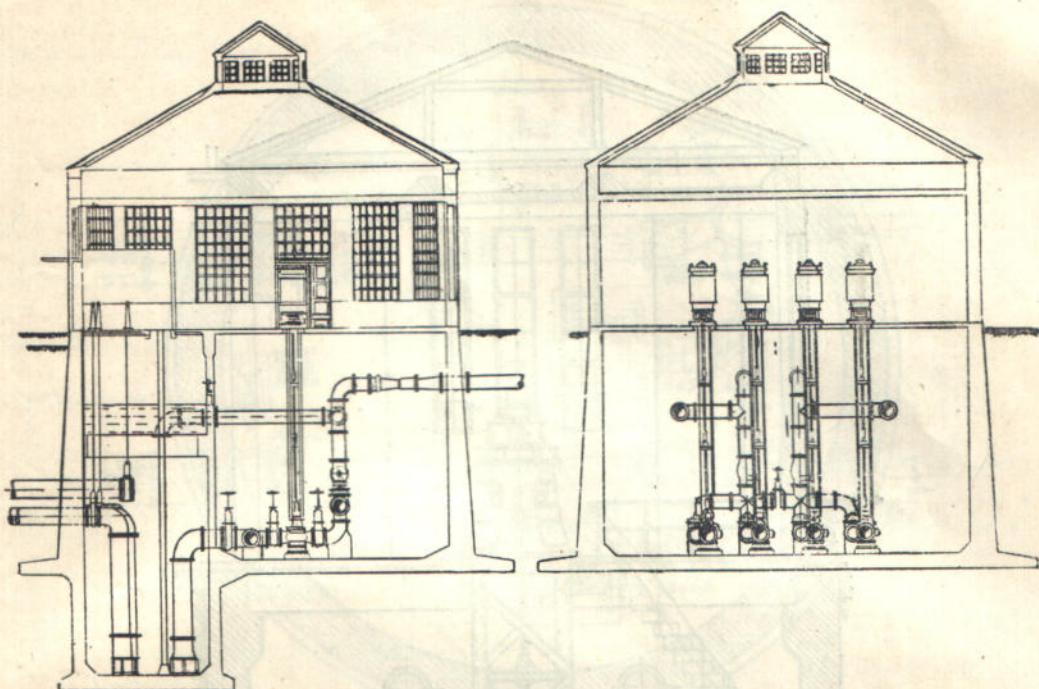
На фиг. 229 показана немецкая насосная станция с тремя вертикальными насосами. Две всасывающие трубы соединены каждая с двумя насосами при посредстве сложных фасонных частей и восьми задвижек.

Лучше было бы дать каждому насосу отдельную всасывающую трубу.

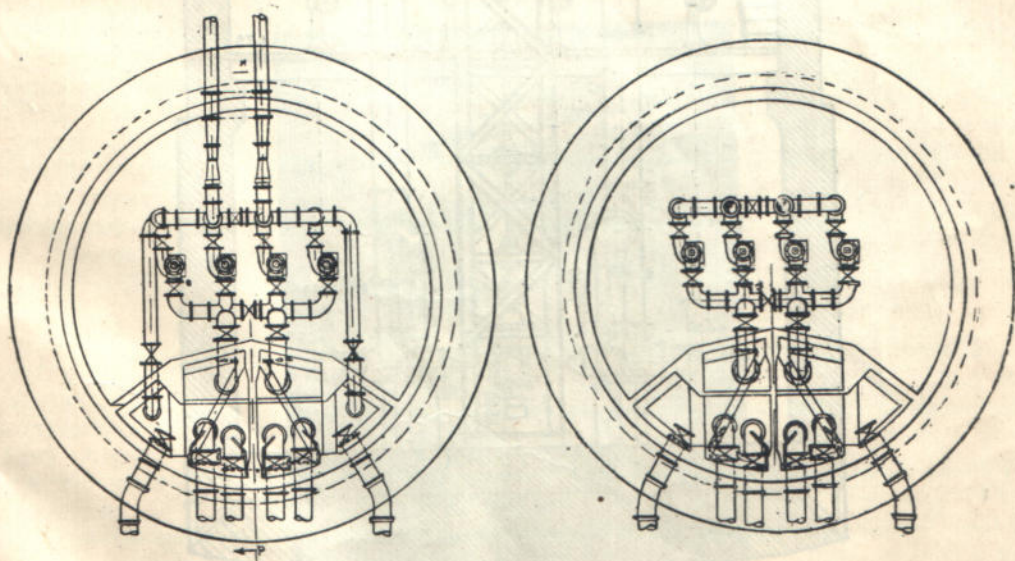
На станции установлен вакуум-насос для отсасывания воздуха из насосов и насосик для откачки просачивающейся через стены грунтовой воды.

Такие же насосы запроектированы и для Запорожской станции (на чертеже они не показаны.)

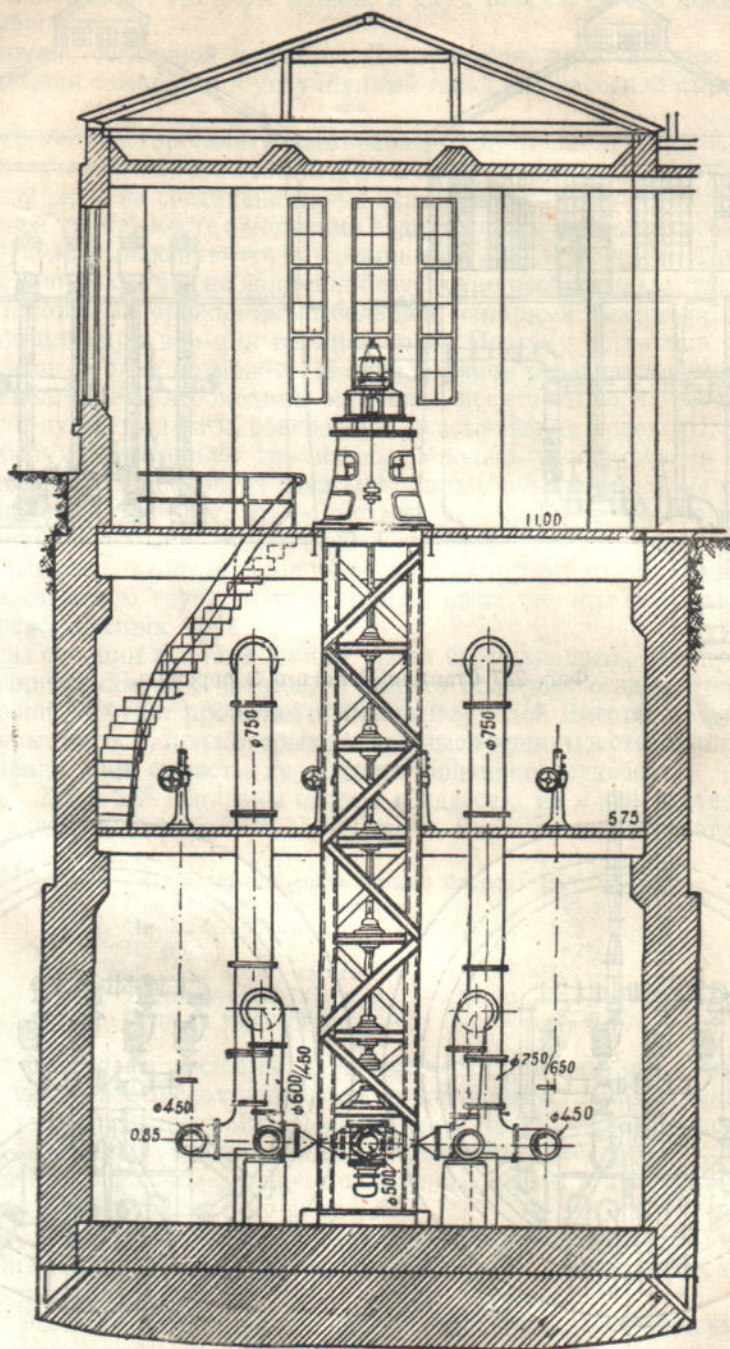
Запорожская станция изолирована от воды двумя слоями рубероида с проклейкой пиколом.



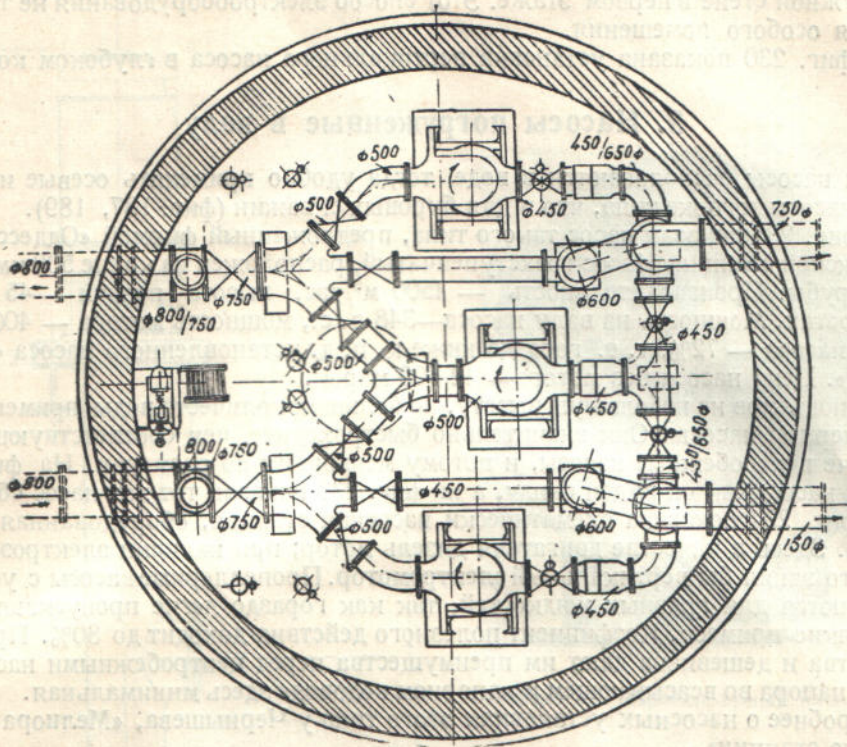
Фиг. 227 Станція Великого Запороззя.



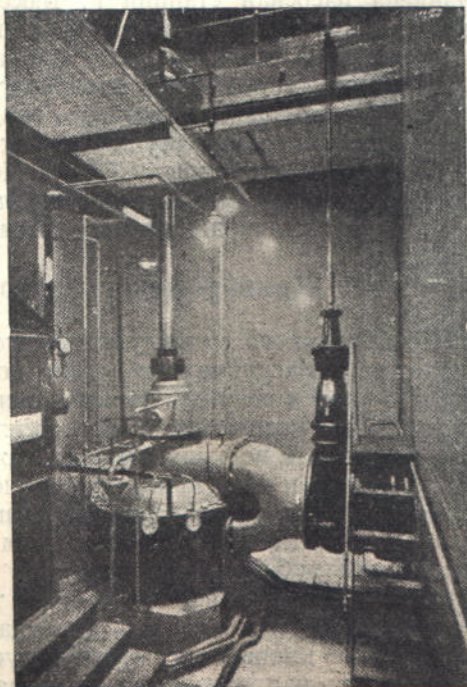
Фиг. 228. Станція Великого Запороззя.



Фиг. 229. Немецкая станция.



Фиг. 229а. Немецкая станция.



Фиг. 230. Установка вертикального насоса.

Электрооборудование помещено в бронированных ящиках, расставленных по наружной стене в первом этаже. Этот способ электрооборудования не требует для себя особого помещения.

На фиг. 230 показана установка вертикального насоса в глубоком колодце.

### 3. Насосы погруженные в воду

Если насосы располагаются в воде, тогда удобно применять осевые и полуосевые насосы того же типа, что и для буровых скважин (фиг. 187, 189).

На фиг. 231 показан насос такого типа, предложенный фирмой «Одессе» для Запорожской станции. Насос трехступенчатый, расположен на конце 500 мм фланцевой трубы. Производительность — 1500 м<sup>3</sup>/час, высота подачи — 45 м при 980 оборотах. Мощность на валу насоса — 348 л. с., мощность мотора — 400 л. с., к. п. д. насоса — 72%, т. е. гораздо ниже к. п. д. установленного насоса «Матер и Платт». Цена насоса без мотора — 12 500 марок.

Для подъемов на небольшую высоту, но больших количеств воды применяются пропеллерные насосы. Они значительно быстрее, чем соответствующие им по подаче центробежные насосы, и потому меньше их по размерам. На фиг. 232 показан насос, как он виден снизу, а на фиг. 233 показан тот же насос сбоку.

• На фиг. 234 показана схематически насосная станция, оборудованная таким насосом. Здесь в качестве двигателя дизель-мотор; при наличии электроэнергии его место занял бы вертикальный электромотор. Пропеллерные насосы с успехом применяются для грязных жидкостей, так как гораздо легче пропускают через себя всякие примеси. Коэффициент полезного действия доходит до 80%. Простота устройства и дешевизна дают им преимущества перед центробежными насосами. Потеря напора во всасывающем и напорном водоводе здесь минимальная.

Подробнее о насосных установках этого типа у Чернышева, «Мелиоративные насосные станции».

### 4. Станция г. Дюссельдорфа

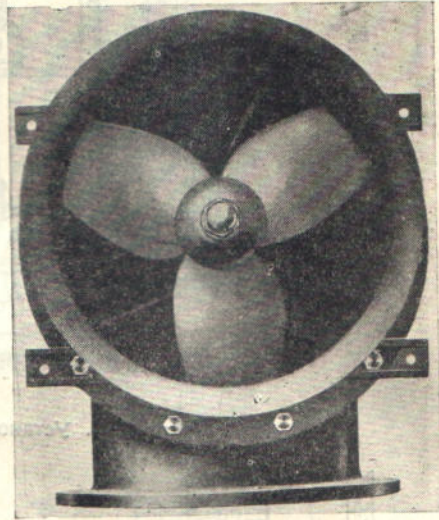
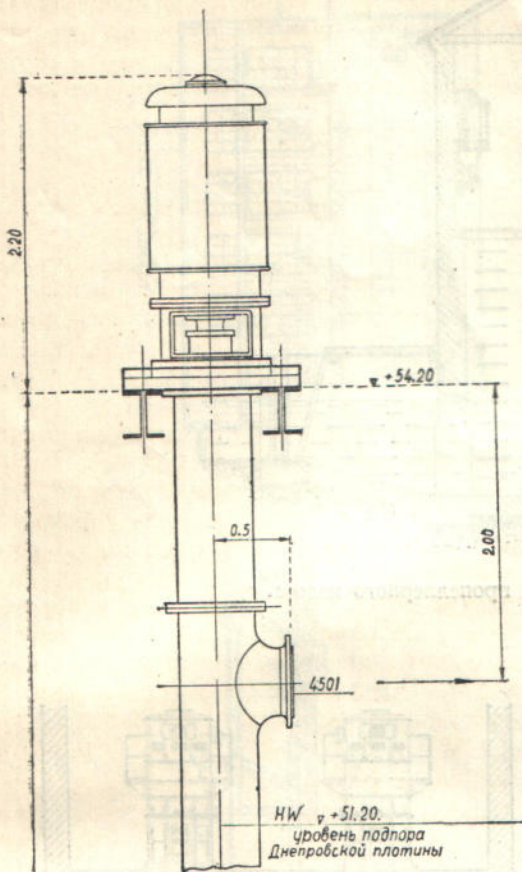
На фиг. 235 представлена насосная станция г. Дюссельдорфа.

Насосы поставлены фирмой Эсслингер. На фиг. 235 хорошо видно расположение вертикальных насосов, вертикальный вал имеет три направляющих подшипника, прикрепленных к балконам. От оси насоса до верхнего пола 14,55 м. Вверху на перекрытии расположены вертикальные моторы; ввиду большого расхода каждый насос подает 1 м<sup>3</sup> в секунду на высоту 100 м, моторы большие 1000 квт каждый, 980 оборотов в минуту. Высота мотора — 3,615 м. Посредине между двумя насосами расположен лифт, вверху слева — мотор лифта, внизу — маленький вертикальный электронасос для выкачивания воды из помещения станции.

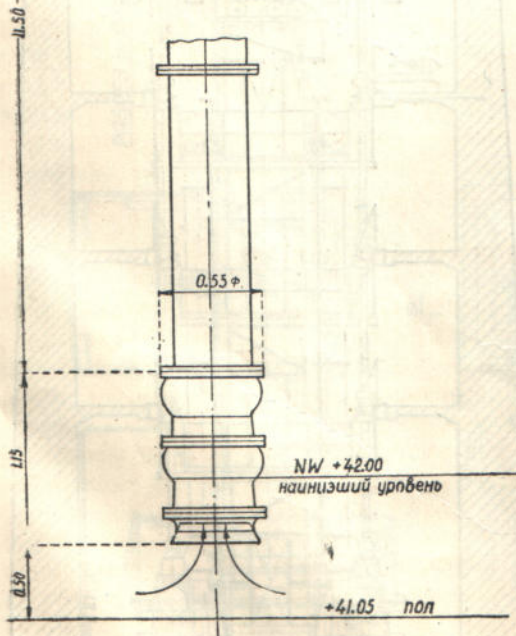
### 5. Станция Криворожского завода

Береговая станция Криворожского металлургического завода представлена на фиг. 235а. Станция стоит на р. Ингульце у небольшой водоподъемной плотины. Мощность каждого насоса — 1 м<sup>3</sup> в секунду. Насосы расположены в пониженном помещении. Промежуточный подшипник вала укреплен на балконе, сообщаемом лестницами с подвалом и верхним этажом. Каждый из пяти насосов имеет особую всасывающую трубу и особую водоприемную камеру с решетками и щитами для выделения отдельных камер для ремонта. Напорные трубы выходят со станции косо, — это вызвано косым расположением патрубков насосов. Впоследствии направление патрубков было изменено и трубы пересекают стену нормально. Круглая камера с переключением трех напорных водоводов — двух по 900 мм и одного 800 мм — вмещает также водомеры, обратные и предохранительные клапаны, а также выпуски. Чтобы предохранить насосы от температурных напряжений во всасывающих трубах, фирма «Эсслингер» поставила на них сальники при проходе через стену станции.

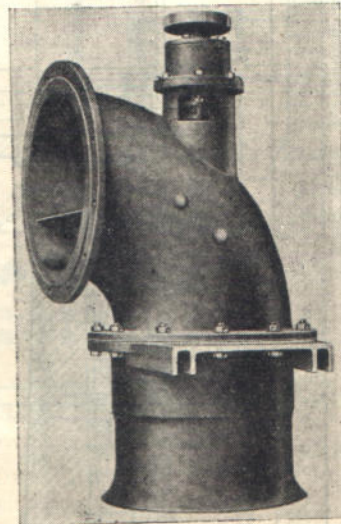




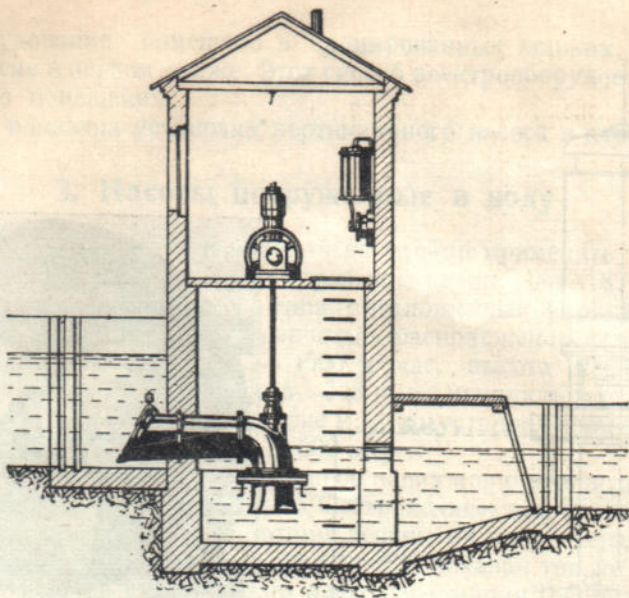
Фиг. 232. Пропеллерный насос.



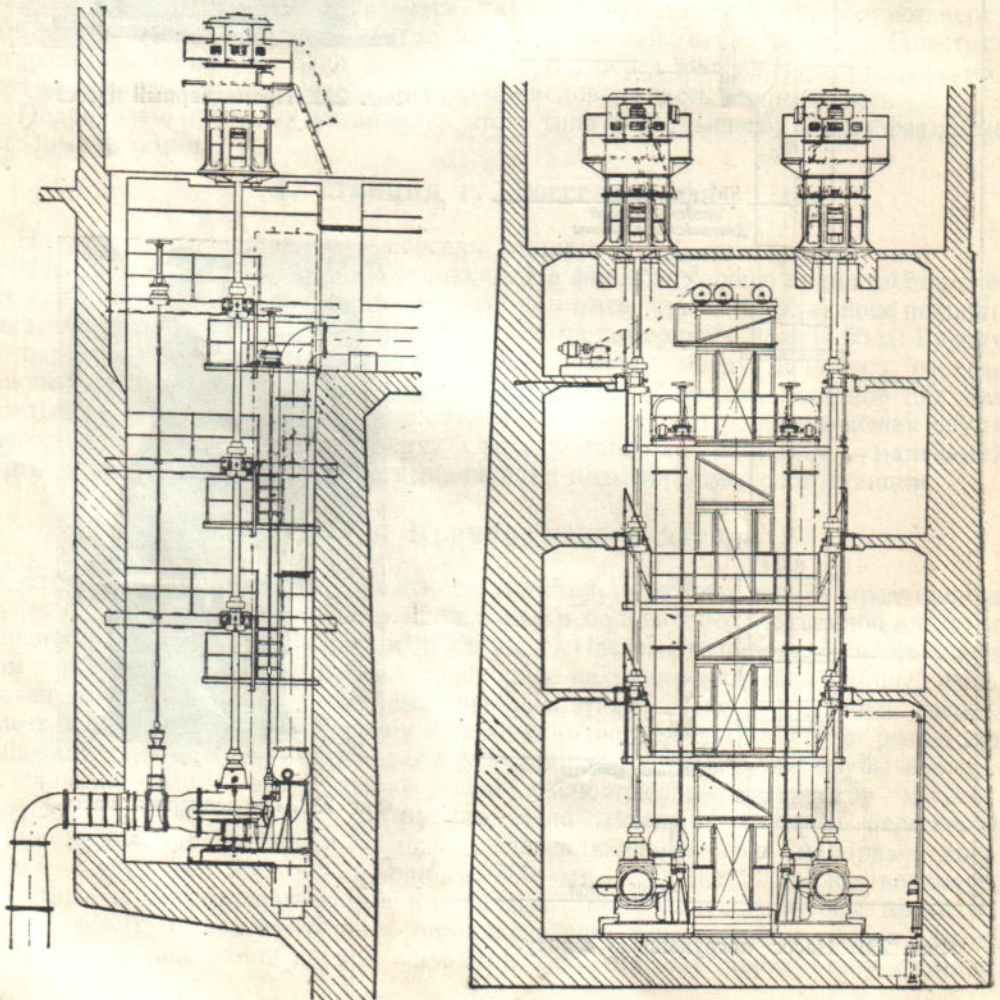
Фиг. 231. Насос погруженный в воду.



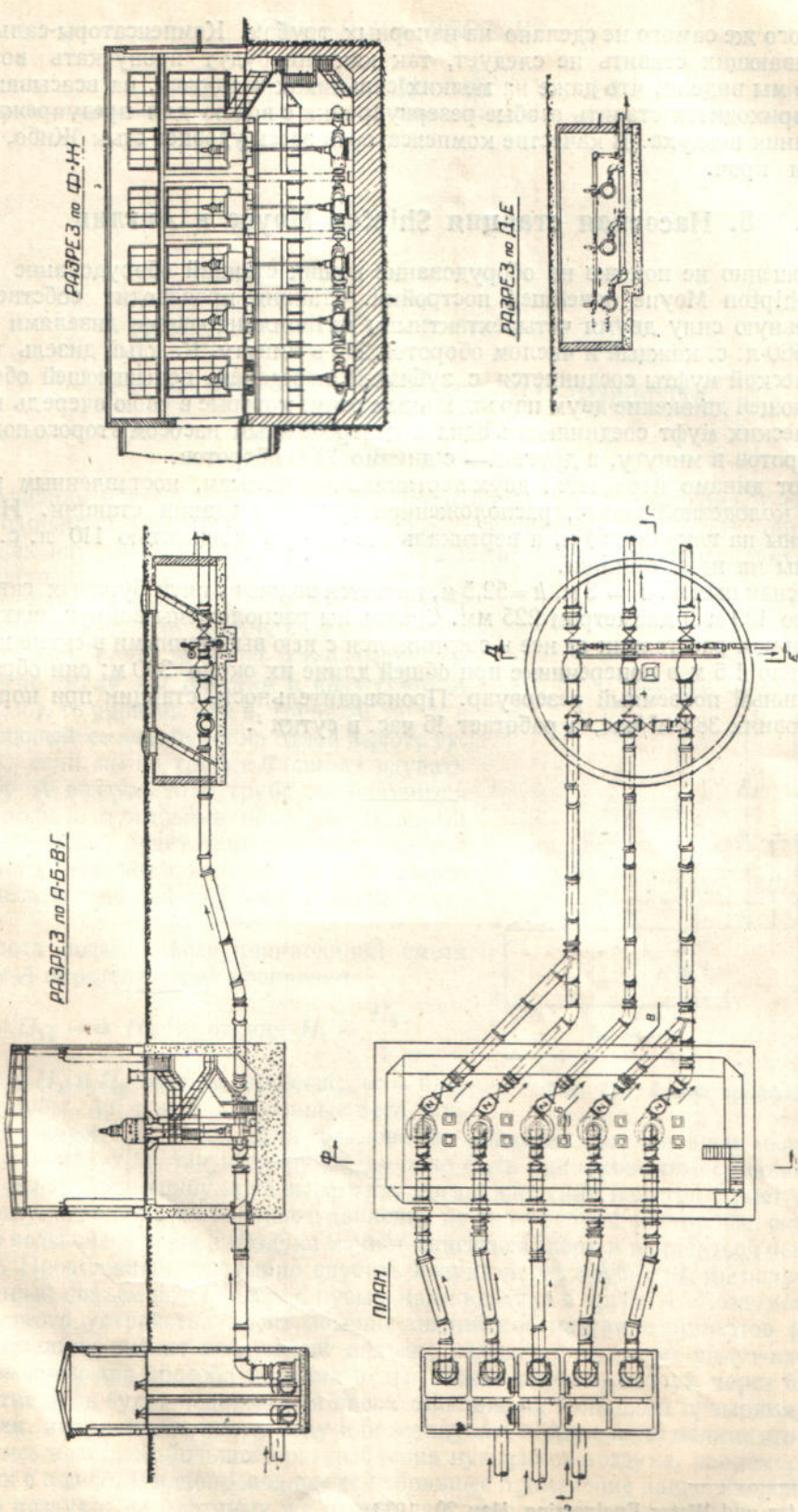
Фиг. 233. Пропеллерный насос.



Фиг. 234. Установка пропеллерного насоса.



Фиг. 235. Насосная станция г. Дюссельдорфа.



Фиг. 235а, Насосная станция 1-го подъема в Кривом Роге.

однако того же самого не сделано на напорных трубах. Компенсаторы-сальники на всасывающих ставить не следует, так как они будут пропускать воздух.

Выше мы видели, что даже на мелких сальниках задвижек, на всасывающих линиях приходится ставить особые резервуарчики с водою для предупреждения засасывания воздуха. В качестве компенсаторов здесь удобнее стык Жибо, гава-муфта и проч.

## 6. Насосная станция Shipton Моупе в Англии

Совершенно не похоже на оборудование наших станций оборудование станции в Shipton Моупе новейшей постройки. Станция производит собственную двигательную силу двумя четырехтактными пятицилиндровыми дизелями мощностью 560 л. с. каждый и числом оборотов 245 в минуту. Каждый дизель путем эластической муфты соединяется с зубчатой передачей, повышающей обороты и передающей движение двум параллельным осям, которые в свою очередь путем эластических муфт соединяются одна с центробежным насосом второго подъема 1000 оборотов в минуту, а другая — с динамо 1200 оборотов.

Ток от динамо передается двум вертикальным насосам, поставленным рядом в одной колодезной шахте, расположенной тут же в здании станции. Насосы погружены на глубину 50 м, а вертикальные моторы мощностью 110 л. с. расположены на полу станции.

Насосная шахта,  $d = 3$  м,  $h = 52,5$  м, питается водою из пяти буровых скважин глубиною 120 м и диаметром 225 мм. Скважины расположены вокруг шахты на значительном расстоянии от нее и соединяются с нею высеченными в скале штольнями около 1,5 м в поперечнике при общей длине их около 300 м; они образуют значительный подземный резервуар. Производительность станции при нормальных условиях 385 м<sup>3</sup>/час, а работает 16 час. в сутки<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Water und Water Engineering, May 20, 1933.

XI. ВОЗДУХОПОДЪЕМНИКИ-ЭРЛИФТЫ

1. Общие понятия

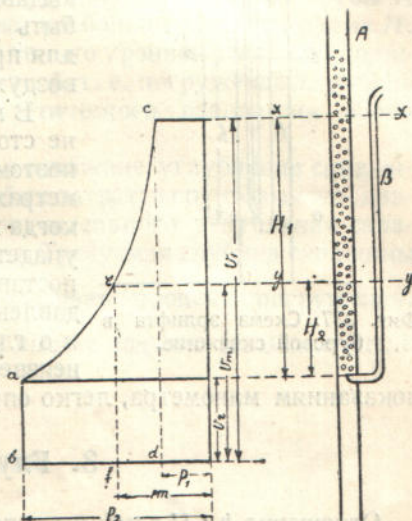
Из физики известно, что жидкость, находящаяся в сообщающихся сосудах, имеет одинаковый уровень во всех сосудах. Это справедливо до тех пор, пока в сосудах находится жидкость одного удельного веса. Если же в одном сосуде будет находиться более легкая жидкость, а в другом более тяжелая, тогда уровни будут разные. Более легкая жидкость поднимается выше уровня более тяжелой и тем выше, чем она легче. Если мы опустим в воду трубу А (фиг. 236), то уровень как в трубе А, так и в окружающей ее воде будет на одной высоте уу. Теперь, если мы по трубке В начнем вдвухать в трубу А воздух, то в трубе А получится смесь воды и пузырьков воздуха; удельный вес этой смеси будет значительно меньше удельного веса воды, поэтому воздушно-водяная смесь в трубе А поднимется выше уровня уу.

Высота подъема воздушно-водяной смеси в трубе А определится из уравнения:

$$\omega \cdot H_1 \gamma = \omega \cdot H_2 \cdot 1, \text{ откуда } H_1 = \frac{H_2}{\gamma}$$

Здесь  $H_1$  и  $H_2$  высоты уровней;  $\omega$  — площадь трубы А,  $\gamma$  и 1 — удельные веса воздушной смеси и воды. Для равновесия давление на площадь основания трубы как изнутри, так и снаружи, должно быть одинаково по величине. Если теперь мы срежем трубу А на высоте хх, тогда давление изнутри станет меньше и поэтому под влиянием большего давления на дно трубы А со стороны окружающей ее воды смесь воды и воздуха начнет двигаться вверх и изливаться через разрез хх. Продолжая непрерывно вдвухать воздух через трубку В, мы получим непрерывный подъем воды вместе с пузырьками воздуха в трубе А. Воздухоподъемники такого устройства носят обычно английское название эрлифтов (airlift), что буквально значит воздушный подъем; называют их также мамут-насосами.

Возможны два способа подъема воды: можно вдвухать воздух через большое отверстие, и он будет подниматься вверх отдельными большими пузырями, и, как поршнем, выталкивать вверх воду или же вдвухать воздух через мелкие отверстия, добываясь возможно большего раздробления пузырьков воздуха, равномерно смешанных с водою. В водопроводном деле большее применение нашел второй способ впуска воздуха; на нефтяных же промыслах применяется первый способ.

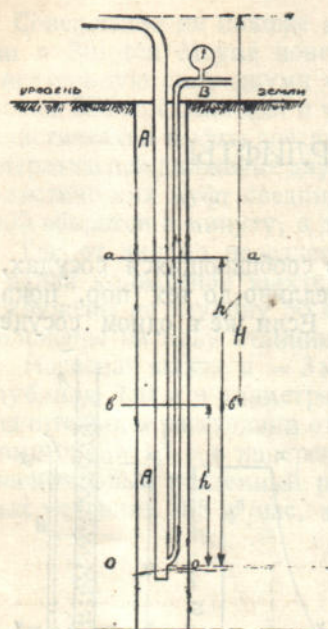


Фиг. 236. Схема эрлифта.

Впервые идея эрлифта появилась в самом конце XVIII века, во второй половине XIX века были разрозненные попытки применения его, но только с девяностых годов прошлого столетия началось широкое применение эрлифтов.

## 2. Основные величины для проектирования эрлифтов

На фиг. 237 схематически изображена буровая скважина с воздухоподъемником. Статический уровень в скважине  $aa$ . После начала действия воздухоподъемника уровень воды понижается тем глубже, чем больше воды выкачивается из скважины. При определенной подаче воды динамический уровень, т. е. уровень во время работы насоса, устанавливается, предположим, на высоте  $bb$ . Высоту подъема воды от динамического уровня назовем  $H$ ; глубину погружения воздушной трубки до места впуска воздуха в подъемную трубу  $AA$  обозначим через  $h$ . Эта величина определяет глубину погружения эрлифта ниже рабочего, т. е. динамического уровня, — ею определяется давление нагнетаемого воздуха. Давление воздуха в трубке  $B$  должно быть достаточно, чтобы выдать столб воды высотой  $h$ , т. е. оно должно быть равно  $h$ , кроме того, нужна небольшая добавка для преодоления сопротивления трения при движении воздуха в трубке  $B$ .



Фиг. 237. Схема эрлифта в буровой скважине.

В момент пуска эрлифта воздуху нужно продавить не столб воды  $h$ , а столб  $h_1$ , значительно больший, поэтому в начале давление воздуха, выраженное в метрах водяного столба, должно быть чуть выше  $h_1$ ; когда же работа насоса установится, давление воздуха упадет до величины немного большей  $h$ . Манометр, поставленный на трубке  $B$ , покажет это изменение давления. По показаниям манометра можно судить и о глубине погружения эрлифта, если она заранее неизвестна. Зная глубину погружения эрлифта по показаниям манометра, легко определить уровень воды в скважине.

## 3. Глубина погружения

Отношение  $h : H$  глубины погружения ко всей высоте подъема имеет большое значение для работы воздухоподъемника. Это отношение часто применяется в другой форме  $h : h + H$ ; в этом случае погружение выражается в виде доли общей высоты подъема и погружения и представляется в процентах погружения. Громадное влияние этого фактора на к. п. д. эрлифта видно из ниже приведенной таблицы, составленной по опытам на установках в Гаттисбурге в Соединенных Штатах.

Отношение $h : H$ . . . . .	8,70	5,46	3,85	2,91	2,25
Процент погружения $\frac{h}{h+H} \cdot 100$	89,6	84,5	79,5	74,5	63,3
К. п. д. в % . . . . .	26,5	31,0	35,0	36,6	37,7
Отношение $h : H$ . . . . .	1,86	1,45	1,19	0,96	
Процент погружения $\frac{h}{h+H} \cdot 100$	65,0	59,2	54,4	49	
К. п. д. в % . . . . .	36,8	34,5	31,0	26,5	

Наивыгоднейший процент погружения различен при разных высотах подъема. Фирма Sullivan Machinery Company рекомендует руководствоваться следующей таблицей:

Высота подъема		Процент погружения
от	до 15 м	70—66
»	30 » 30 м	66—55
»	60 » 60 »	55—50
»	90 » 90 »	50—43
»	120 » 120 »	43—40
»	150 » 150 »	40—33

Фирма Jngersoll-rand Company 11. Broadway New Jork рекомендует несколько иные величины:

Высота подъема		Процент погружения
от	до 40 м	70—65
»	45 до 75 м	60—55
»	90 » 120 »	65—50
»	120 » 180 »	45—40
»	180 » 210 »	45—40

Для установки эрлифта скважина должна быть значительно глубже уровня воды в ней. Чтобы столб воздушно-водяной смеси  $H + h$  (фиг. 237) мог быть уравновешен столбом воды  $h$ , необходимо, чтобы глубина погружения трубы  $A$  в воду  $h$  имела достаточную величину, тем большую, чем больше высота подъема  $H$ .

Но столб смеси воздуха и воды должен быть не только уравновешен, ему должно быть сообщено еще движение, поэтому водяной столб, т. е. погружение  $h$ , должно быть еще больше, чем необходимо для гидростатического равновесия обоих столбов.

Если вода артезианская, т. е. поднимающаяся в скважине, углубление скважины может быть удовлетворено само собою, без особых затрат; в грунтовых же скважинах и в мелких артезианских необходимость значительного углубления скважины вызывает, конечно, дополнительные расходы. Требуемая глубина скважины определяется из уравнения  $n = \frac{100h}{h+H}$ , где  $n$  означает процент погружения, выбираемый из таблицы соответственно требуемой высоте подъема  $H$ . Знаменатель дроби и есть искомая глубина.

#### 4. Объем воздуха

Для подъема эрлифтом некоторого количества воды требуется вдувание определенного количества воздуха. Если начать вдувание воздуха в подъемную трубу, то при малых количествах воздуха вода совсем не будет выливаться из трубы; с увеличением же подачи воздуха эрлифт начнет выбрасывать воду с перерывами, а при дальнейшем увеличении подачи воздуха начинается непрерывный поток воздушно-водяной смеси. Начало такого непрерывного потока обыкновенно соответствует наибольшему к. п. д. эрлифта. При дальнейшем увеличении подачи воздуха подача воды увеличивается, но к. п. д. падает. При еще большей подаче воздуха подача воды начинает уменьшаться, так как благодаря избытку воздуха вода уже не может в прежних количествах поступать в подъемную трубу — воздух ее вытесняет.

То обстоятельство, что при наиболее выгодном к. п. д. скважина не дает наибольшего количества воды и что, вдувая в скважину несколько больше воздуха, можно увеличить подачу воды, хотя бы и ухудшив при этом к. п. д., приводит к тому, что часто предпочитают эксплуатировать скважины при наибольшей подаче, но не при наибольшем к. п. д. эрлифта. Дороговизна устройства глубоких скважин служит оправданием такому приему.

## 5. Определение требуемого объема воздуха

По закону Бойля-Мариотта объем газа обратно пропорционален давлению при изотермических условиях, т. е. при постоянной температуре. Этот закон выражается уравнением:

$$p_1 v_1 = p v = k,$$

т. е. произведение давления на объем есть величина постоянная. Работа, требуемая на сжатие газа при изотермических условиях, равна, как показано в главе о компрессорах,

$$A = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1}.$$

Это выражение и представляет собою энергию воздуха, сжатого от атмосферного давления  $p_1$  до давления  $p_2$ . Под таким давлением воздух подводится к низу подъемной трубы и здесь он имеет указанный запас энергии. Производимая сжатым воздухом полезная работа заключается в подъеме количества воды  $Q$  на высоту  $H$  (фиг. 237) и равна  $QH$ .

Отношение полезной работы ко всей затраченной работе и представляет собою к. п. д.  $E$ :

$$E = \frac{QH}{p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1}}.$$

Здесь  $p_1$  означает атмосферное давление;  $v_1$  — требуемый объем воздуха при атмосферном давлении для подачи количества воды  $Q$ . Отсюда можно определить  $v_1$  — искомый объем воздуха

$$v_1 = \frac{QH}{E p_1 \ln \frac{p_2}{p_1}}.$$

Если выразить  $p_2$  в метрах водяного столба, то оно будет равно  $h + 10$ , т. е. глубине погружения  $h$  плюс атмосферное давление 10 м, а  $p_1 = 10$  м. После подстановки этих величин формула примет следующий вид:

$$v_1 = \frac{QH}{E p_1 \ln \frac{h + 10}{10}}.$$

Разделив обе части на  $Q$ , получим объем воздуха при атмосферном давлении, требуемый на один объем поднятой воды при данном к. п. д.  $E$ :

$$\frac{v_1}{Q} = v_e = \frac{H}{E p_1 \ln \frac{h + 10}{10}}.$$

Подставим вместо букв числовые значения.  $p_1$  — атмосферное давление при  $v_e$ , выраженном в кубических метрах и  $H$  — в метрах, должно быть выражено в тоннах на  $1 \text{ м}^2 = 10 \text{ т}$ . При переходе от натуральных логарифмов к десятичным надо умножить на 2,3; таким образом получим следующее выражение

$$v_e = \frac{H}{2,3 E \lg \frac{h + 10}{10}}.$$

$E$  (к. п. д.) меняется при разных процентах погружения от 60—65% до 30% и ниже.



Упомянутые американские фирмы пользуются этой формулой в несколько завуалированном виде, объединяя  $23E$  в один коэффициент  $C$ :

$$v_e = \frac{H}{C \lg \frac{h+10}{10}}$$

При разных процентах погружения коэффициент  $C$  для метрических мер изменяется следующим образом:<sup>1</sup>

Процент погружения	75	70	65	60	55	50	45	40	35
$C'$	14,3	13,9	13,6	13,1	12,4	11,5	10,6	9,6	8,4
$E'$	0,62	0,60	0,59	0,57	0,54	0,50	0,46	0,42	0,37

Из этой таблицы видно, что с уменьшением процента погружения падает к. п. д., так как для глубоких скважин рекомендуются низкие проценты погружения, то очевидно, что с увеличением высоты подъема, т. е. глубины скважины, до уровня воды, к. п. д. падает. При высоте подъема, например, в 30 м, процент погружения 55% и соответствующий ему к.п.д. 0,54; при подъеме в 120 м погружение 40% и соответствующий к. п. д. 0,42.

## 6. Формула Андерсона

Проф. Андерсон дает предыдущую формулу с другим коэффициентом:

$$v_e = \frac{KH}{23 \lg \frac{h+10}{10}}$$

при этом коэффициент  $K$  определяется в зависимости от высоты подъема следующим образом:

$$K = 2,17 + 0,0164 H.$$

Взяв отношение

$$v' : v = \frac{KH}{23 \lg \frac{h+10}{10}} : \frac{H}{23 E \lg \frac{h+10}{10}}$$

получим:

$$v' : v_e = KE.$$

Определяя  $K$  по вышеприведенной формуле и  $E$  по предыдущим таблицам для разных высот подъема  $H$ , получим следующую таблицу:

Высота подъема	$H$	$K$	$E$	$KE$	Примененный к. п. д.
15 м		2,42	0,60	1,45	0,41
60 »		3,15	0,50	1,57	0,32
120 »		4,14	0,42	1,74	0,24

Таким образом коэффициент Андерсона увеличивает требуемый объем воздуха в 1,45 — 1,74 раза и, следовательно, во столько же раз снижает к. п. д. В последнем столбце показан этот пониженный к. п. д.

<sup>1</sup> В английских мерах эта формула имеет вид:

$$v_e = \frac{H}{C_1 \lg \frac{h+34}{34}}$$

$v_e$  означает куб. футы воздуха на 1 галлон поднимаемой воды; остальные величины выражены в футах. При изменении процента погружения от 75 до 35% коэффициент  $C_1$  меняется от 366 до 216. Американская водопроводная ассоциация рекомендует пользоваться этой формулой, но коэффициент  $C_1$  несколько меньший — от 327 до 188. Это соответствует повышению расхода воздуха на 10—12% и такому же понижению к. п. д.

Как увидим ниже, к. п. д. эрлифтов доходит почти до 70%, и некоторые из наших установок дают выше 50%; поэтому формулу Андерсона, дающую к. п. д. не выше 41%, при высоте подъема в 15 м, нужно признать неправильной для не очень глубоких установок; для глубоких же нефтяных скважин в несколько сот метров, по сообщению инж. Сорокера и Бережанова, формула Андерсона дает хорошие результаты (Эксплуатация нефтяных скважин — 1932 года).

## ХII ПОТЕРИ В ЭРЛИФТЕ

### 1. Главные потери

Коэффициент полезного действия, как видно из предыдущей таблицы, изменяется при разной высоте подъема от 62 до 37%; при больших подъемах он падает еще ниже, т. е. в среднем только половина энергии сжатого воздуха расходуется на полезный подъем воды, другая же половина тратится на потери в эрлифте. Теоретическое изучение потерь в эрлифте произведено Норманом Суиндином (Normann Swindin, The modern theory and practice of pumping, London, 1924). Главные потери заключаются в трении воздушно-водяной смеси в подъемной трубе или в прорывах пузырьков воздуха (Slippage). На последнее обстоятельство обратили внимание только недавно. Лоренц, первый взявшийся за математическое обоснование работы эрлифта, учитывал только одно трение, поэтому его расчеты оказались ошибочны. На той же ошибочной позиции основываются и расчеты Меликова.

Суиндин выражает все потери в высоте столба воздушно-водяной смеси. Чтобы определить высоту подъема смеси в статическом состоянии, необходимо определить средний объем смеси. На фиг. 236 слева изображена диаграмма расширения воздуха от давления  $p_2$  до атмосферного давления  $p_1$ . Работа сжатия, выраженная площадью  $abcd$ , равна

$$p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Если  $\frac{p_2}{p_1} = r$ , то формула работы примет вид

$$p_1 v_1 \ln r.$$

Начальный объем  $v_2$  при впуске воздуха в подъемную трубу, при выходе из трубы объем  $v_1$ . Средний объем, представленный ординатой  $ef$ , очевидно, равен площади  $abcd$ , делимой на ее основание  $db$ :

$$v_m = \frac{abcd}{db} = \frac{p_2 v_1 \ln r}{p_2 - p_1}.$$

Разделив числитель и знаменатель на  $p_1$  и заменив  $\frac{p_2}{p_1}$  через  $r$ , получим:

$$v_m = \frac{v_1 \ln r}{r - 1}.$$

Для определения среднего удельного веса  $\gamma_m$  пренебрежем весом воздуха в виду его незначительно величины по сравнению с водою:

$$\gamma_m = 1 \cdot \left( \frac{v_{\text{вода}}}{v_{\text{вода}} + v_m} \right).$$

Для равновесия столбов воды и смеси давления на основание  $OO$  как со стороны воды, так и со стороны смеси должны быть равны (фиг. 237).

$$h_2 \cdot 1 = H \cdot \left( \frac{v_{\text{вода}}}{v_{\text{вода}} + v_m} \right).$$

## 2. Потери на трение

Потеря на трение зависит от вязкости жидкости, т. е. в данном случае от смеси воды и воздуха. Абсолютная вязкость воды при 15° С, выраженная в абсолютных единицах сантиметр-грамм-секунда, равна 0,0114, а воздуха при той же температуре — 0,000178, или в 63,8 раза меньше. Считая, что средний объем воздуха по отношению к воде не превосходит 3, Суиндин принимает за вязкость смеси вязкость одной воды и определяет кинематическую вязкость  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ , равную отношению абсолютной вязкости  $\eta$  к плотности  $\rho$  делением вязкости воды на плотность смеси.

Из уравнения движения жидкости

$$\frac{Rig}{v^2} = f \frac{vd}{\nu},$$

обозначив  $f \frac{vd}{\nu}$  через  $c$ , получим

$$\frac{Rig}{v^2} = c,$$

откуда

$$i = \frac{cv^2}{Rg}.$$

Здесь  $i$  — единичная потеря напора;  $R$  — гидравлический радиус;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $\nu$  — кинематическая вязкость;  $\frac{vd}{\nu}$  — число Рейнольдса.

Зависимость между ним и левой частью уравнения, указанная в формуле символически буквою  $f$ , устанавливается по диаграмме Рейнольдса-Стантона; по ней находится  $c$ .

Средняя скорость  $v$  определяется по среднему объему смеси, найденному выше. При расчете берется не квадрат средней скорости, а средний квадрат скорости, находимый интегрированием. Когда  $i$  найдено, тогда вся высота потери находится из уравнения

$$I = i(H + h).$$

## 3. Потеря на проскальзывание пузырьков

Вдуваемый в трубу воздух поднимается в ней в виде пузырьков; диаметр пузырьков воздуха зависит меньше от величины отверстий для воздуха, чем от скорости или количества вдуваемого воздуха. При малом поступлении воздуха вместо непрерывного потока пузырьков образуются большие пузыри воздуха,рывающиеся через интервалы. При диаметре отверстий 3—6 мм диаметр пузырьков — около 6 мм; при подъеме вверх пузырьки несколько сплющиваются, поэтому их скорость подъема меньше теоретической и может быть на основании опытов принята равной 0,3 м/сек. В более вязких жидкостях скорость подъема пузырьков воздуха меньше, поэтому и потери на прорывы пузырьков в них меньше.

Относительная скорость движения пузырьков воздуха, т. е. скорость опережения пузырьками движения воды, как сказано, 0,3 м/сек.; обозначим через  $v_m$  среднюю скорость воздушно-водяной смеси в подъемной трубе — тогда время, в течение которого пузырек будет прорываться, очевидно выразится длиной пути, деленной на среднюю скорость (фиг. 237)

$$\frac{H+h}{v_m}.$$

Высота же напора, соответствующая потере на проскальзывание, будет равна скорости проскальзывания, умноженной на время движения смеси в подъемной трубе, т. е.

$$\left(\frac{H+h}{v_m}\right) 0,3.$$

Это выражение представляет собою длину, на которую воздух оперскает воду.

Потеря от прорыва пузырьков воздуха будет, очевидно, тем больше, чем больше смесь воды и воздуха остается в подъемной трубе, т.е. она обратно пропорциональна скорости подъема воды. Чем больше скорость в подъемной трубе, тем меньше потеря на прорывы воздуха, но зато тем больше потеря на трение. При выборе надлежащей скорости сумма потерь должна быть наименьшей, а отдача эрлифта наибольшей. Скорость подъема определяется диаметром трубы, следовательно, диаметр трубы должен быть выбран в соответствии с наиболее выгодной скоростью подъема.

#### 4. Второстепенные потери

Кроме этих главных потерь, в эрлифте имеются еще три рода потерь: первая потеря — на сжатие струи при входе воды в подъемную трубу, которая может быть сведена до минимума путем колоколообразного расширения конца подъемной трубы.

Вторая потеря — энергия выливающейся воды — пропадает даром, величина ее зависит от скорости истечения, при 3 м/сек.  $\frac{v^2}{2g} \cong 0,45$  м, а при 6 м/сек = 1,8 м столба воды.

Последняя потеря происходит при быстром увеличении скорости воды во время вдувания в нее воздуха. Объем смеси сразу увеличивается в несколько раз, во столько же раз должна увеличиться скорость поднимающейся воды. Ускорение, необходимое для образования новой скорости, тем больше, чем внезапно происходит увеличение объема, т. е. вдувание воздуха. На эту потерю обратили внимание только в последние годы; для уменьшения ее выпуск воздуха в подъемную трубу надо производить не сразу, а постепенно, т. е. не в одном месте трубы, как делали прежде, а на некоторой длине *ee*. В настоящее время форсунки для вдувания воздуха делают соответственно этому требованию так, что воздух поступает через мелкие отверстия в трубу на значительной длине, примерно в 1 м.

Последние три потери не зависят от длины подъемной трубы, тогда как две предыдущие находятся в прямой зависимости от нее. Относительное значение этих трех потерь будет тем меньше, чем больше подъем.

Интересны проверочные подсчеты, сделанные Суиндином для некоторых работающих установок; они дают наглядный анализ работы этих воздухоподъемников.

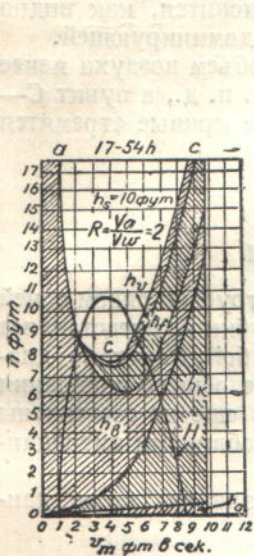
Потери в эрлифтах, подсчитанные Суиндином по опубликованным данным некоторых установок

	Preesa II Lance w1	Purchas series D w1	Chino Copper Tailings Lift	Скв. №6 Харьк. вод.
Диам. подъем. трубы . . .	100 мм	143 мм (сэ.)	375 мм	200 мм
Погружение <i>h</i> . . . . .	61,2 м	96 м	25,4 м	47,5 м
Высота подъема <i>H</i> . . . . .	37,2 »	90 »	12,2 »	27,0 »
Объемов воздуха на				
1 объем воды . . . . .	7,78	5,48	1,7	2,6
Подача воды в секунду.	12,2 л	12,1 л	303 л	40,5 л
Потеря при входе в трубу . . . . .	4,6 м	0,38 м	Воронкообр. расшир.	0,13 м
Потеря скорости при изливе . . . . .	9,2 »	2,60 »	2,5 м	1,1 »
Потеря на ускорение . . .	7,4 »	0,39 »	2,4 »	
Потеря на трение . . . . .	85,3 »	12,3 »	2,9 »	
Потеря на прорывы пу- зырьков . . . . .	5,9 »	19,3 »	1,2 »	
Высота подъема вычис- ленная . . . . .	43,0 »	97,5 »	13,2 »	
Высота статического подъема . . . . .	156,0 »	133,0 »	22,2 »	48

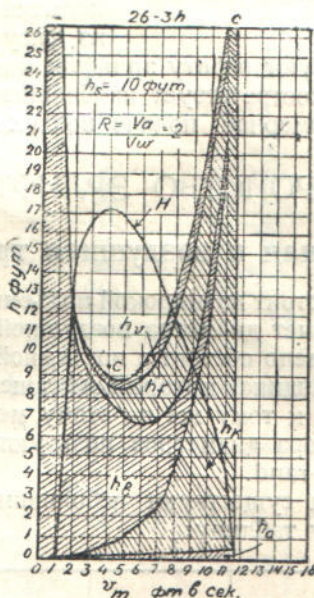
	Preesall Lance wl	Purchas series D wl	Chino Copper Tailings Lift	Скв. № 6. Харьк. вод.
Коэф. полезн. действ. вычисленный . . . . .	24,0%	67,5%	55,6 %	56
Средняя скорость воздушно-водяной смеси.	27,6%	%	59,6 %	
Скорость при выходе . . . . .	5,6 м	3,1 м	5,15 м	2,95 м
Скорость при входе воды в трубу . . . . .	13,4 »	5,2 »	7,0 »	4,7 »
Потеря на трение на единицу длины $i$ . . . . .	1,6 »		3,0 »	1,3 »
	0,82 «	0,0636	0,074	

Приведу три из них в таблице. Четвертая графа относится к скважине № 6 харьковского водопровода.

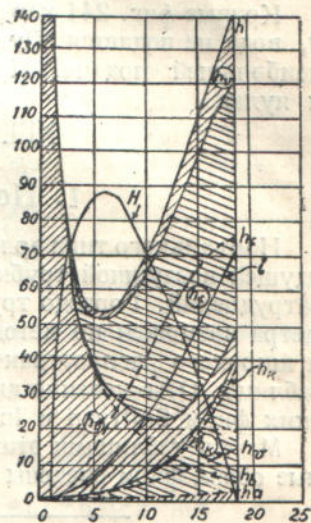
Первая установка явно неудачная — потери, зависящие от скоростей, очень



Фиг. 238. Диаграмма эрлифта  $d = 50$  мм. Погружение 3 м и  $\frac{V_{вод.}}{V_{возд.}} = 2$



Фиг. 239. Диаграмма эрлифта  $d = 50$  мм. Погружение 3 м и  $\frac{V_{вод.}}{V_{возд.}} = 2$



Фиг. 240. Диаграмма эрлифта  $d = 50$  м. Погружение 30 м  $\frac{V_{вод.}}{V_{возд.}} = 3$ .

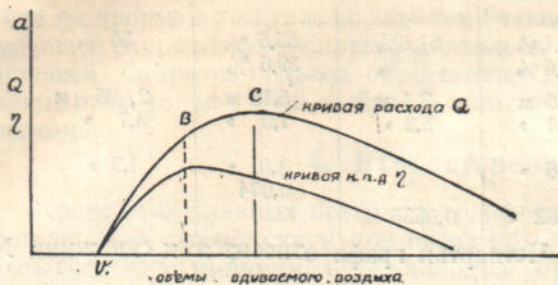
велики, поэтому и к. п. д. очень мал. Виною всему малый диаметр трубы. Вторая установка при подаче того же количества воды 12 л. с. и при много большей высоте подъема, при почти в 1,5 раза большем диаметре трубы дает очень высокий к. п. д. — 67,5%; скорости умеренные и потери от них малы.

В третьей установке к. п. д. в действительности выше показанного, так как эрлифт поднимает воду с 15% руды. Скорости здесь взяты больше, вероятно, с целью не допускать выпадения руды.

### 5. Диаграммы эрлифтов

Диаграммы на фиг. 238 и 239 составлены для эрлифта диаметром 50 мм, при погружении  $h = 3$  м таким образом, что по абсциссе отложены средние скорости воздушно-водяной смеси, а по ординатам откладываются все потери:  $h_a$  — потеря на сжатие при входе;  $h_k$  — потеря на ускорение;  $h_b$  — потеря на прорыв пузырьков воздуха;  $h_f$  — потеря на трение и  $h_d$  — потеря скорости при изливе. Ординаты  $h_a$  откладываются от оси абсцисс вверх, ординаты  $h_k$  откладываются

уже не от оси, а от кривой  $h_a$  ординаты  $h_b$  откладываются от кривой  $h_k$  и т. д. В результате получается суммарная кривая всех потерь  $acc$ . Все потери выражены в метрах столба воздушно-водяной смеси. Вычтя из общей высоты подъема сумму высот потерь, изображенных заштрихованною частью, получим полезную высоту подъема, изображаемую ординатой, отсчитываемой от верхней горизонтали  $ac$  до любой точки кривой  $acc$ .



Фиг. 241. Кривые подачи и коэффициент полезного действия.

Кривые фиг. 241 характеризуют работу эрлифта; когда объем воздуха менее  $V_1$  вода не подается. Пункт В соответствует наибольшему к. п. д., а пункт С — наибольшей подаче. При чрезмерной подаче воздуха обе кривые стремятся к нулю.

### ХИИ. УСТРОЙСТВО ЭРЛИФТОВ

#### 1. Подъемная и воздушная трубы

Нормального типа эрлифт состоит из широкой подъемной трубы и рядом с ней идущей воздушной трубки. Расчет диаметра воздушной трубки не представляет затруднений. Гораздо труднее дело обстоит с подъемной трубой. Расчет ее диаметра возможен по методу Суиндина, который не нашел еще общего признания и широкого распространения и к тому же по этому методу еще не составлены таблицы. Обычно для выбора диаметров пользуются таблицами американских фирм Sullivan и Ingersoll-rand.

Между таблицами этих фирм существуют небольшие различия: ниже данные обеих фирм сведены в одну таблицу:

Диаметр подъемн. трубы в мм	Диаметр воздушной трубки в мм	Подача воы л/сек	Наименьший диаметр обсадных труб в мм
40	12	1—2	100
50	12—20	2—3	100
63	20—25	3—4,5	150
75	25—30	6—9	150
88	25—30	9—12	200
100	30—38	12—18	200
113	—38	18—21	200
125	38—50	21—30	250
150	50—63	30—45	300
175	50—63	45—60	350
200	63—75	60—75	350
250	63—88	75—120	
300	88—100	120—180	

Фирма «Инжерсоль-ранд» дает эти цифры подачи только при 70% погружении; при меньших погружениях цифры подачи снижаются следующим образом: для 60% погружения — на 12%, для 50% — на 22% и для 40% — на 37%.

При конической трубе, уширяющейся кверху, подача может быть увеличена до 25%. По мере подъема сжатого воздуха вверх объем его от расширения увеличивается, скорости движения смеси возрастают, а вместе с ними возрастают и потери на трение; при расширении трубы кверху потери на трение будут уменьшены, уменьшится также и потеря на излив — вследствие уменьшения скорости выливающейся воды.

При расположении воздушной трубки внутри подъемной трубы, что приходится делать в узких скважинах, таблица размеров и подач Сулливана имеет следующий вид:

Диаметр подъемной трубы в мм	Диаметр воздушной трубы в мм	Производительность л/сек	Минимальный диаметр обсадных труб в мм
52	12,5	2—3	75
63	20	3—4,5	100
75	25	4,5—6	100
88	25	6—9	125
100	30	9—12	150
113	30	12—15	150
125	38	12—18	175
150	50	18—27	200
175	63	27—36	225
200	75	36—48	250
250	88	60—75	300
300	100	90—110	350
350	100	140—165	450

Следующая таблица фирмы «Сулливан» дает зависимости между основными величинами эрлифта:

Подъем в м . . . . .	15 15	30 30	60 60	90 90	120 120
Процент погружения .	65 70	55 65	50 55	45 50	40 45
Объемов воздуха на 1 объем воды . . . . .	2 1,8	3,6 2,9	5,85 5,35	8,6 7,9	11,2 10,5
Подача л мин. на 1 см <sup>2</sup> сечения трубы . . . . .	15 17,5	15 15	10,3 12	9 10,3	— 9

## 2. Расчет воздухопроводов

Движение газов в трубопроводах подчиняется тем же законам, что и движение жидкостей, — разница только в том, что удельный вес газа меняется в зависимости от давления, поэтому он должен входить в формулу, точно также и коэффициент трения для газов иной, чем для воды.

Потеря давления в атмосферах выражается следующей формулой, взятой из справочника Hütte:

$$\Delta p = \frac{\beta}{10\,000} \gamma \frac{v^2}{D} l,$$

или в другой форме, если вместо скорости  $v$  вставить вес проходящего в течение 1 часа газа  $g$ ,

$$\Delta p = 12,5 \beta \frac{g^2}{\gamma D^5} l.$$

Скорость  $v$  и длина трубы  $l$  выражены в метрах; диаметр трубы  $D$  — в миллиметрах; вес газа, проходящего по трубе в течение 1 часа, в килограммах;

$\gamma$ —удельный вес газа при данном давлении — в кг/м<sup>3</sup>. Так как давление вначале и конце трубопровода разнится на величину потери напора, то нужно брать удельный вес, соответствующий среднему давлению.

Коэффициент сопротивления  $\beta$  зависит от  $g$ ; эта зависимость выражается следующей таблицей:

$g$	$\beta$	$g$	$\beta$	$g$	$\beta$	$g$	$\beta$
10	2,03	100	1,45	100,0	1,03	10 000	0,73
15	1,92	150	1,36	1 500	0,97	15 000	0,69
25	1,78	250	1,26	2 500	0,90	25 000	0,64
40	1,66	400	1,18	4 000	0,84	40 000	0,595
65	1,54	650	1,10	6 500	0,78	65 000	0,555
100	1,45	1000	1,03	10 000	0,73	100 000	0,52

Вес 1 м<sup>3</sup> сухого воздуха при 0° и атмосферном давлении равен 1,253 кг; при 5° — 1,230 кг; при 10° — 2,208 кг и при 15° — 1,188 кг. При увеличении давления объем газа уменьшается обратно пропорционально давлению, а удельный вес, следовательно, увеличивается прямо пропорционально давлению.

Давление  $p$  выражается в кг/м<sup>2</sup>; для атмосферного давления эта величина выражается в 10 000 кг.

Первый пример. Определить потерю напора при пропуске 20 м<sup>3</sup> воздуха в минуту, измеренного при атмосферном давлении и сжатого до 6 атм, по трубе диаметром 100 мм и длиной 100 м.

Вес воздуха, пропускаемого в течение 1 часа, равен  $20 \times 60 \times 1,188 = 1426$  кг.

Коэффициент  $\beta$ , соответствующий этому расходу, по таблице = 0,97.

Удельный вес воздуха, сжатого до 6 ата, в 6 раз больше удельного при веса воздуха при атмосферном давлении. При 15° вес 1 м<sup>3</sup> воздуха 1,188, а 6 атм:

$$1,188 \times 6 = 7,13$$

$$\Delta p = 12,5 \times 0,97 \frac{1426^2}{7,13 \times 10\,000\,000\,000} 100 = 0,039 \text{ атм.}$$

Второй пример. Расход—5 м<sup>3</sup>/мин., давление—3 атм,  $d = 50$  мм,  $l = 100$  м.

$$\Delta p = 12,5 \times 1,21 \frac{356^2}{3,56 \times 312\,500\,000} 100 = 0,175.$$

Третий пример. Все условия предыдущего, кроме давления, которое вместо 3 = 6 атм:

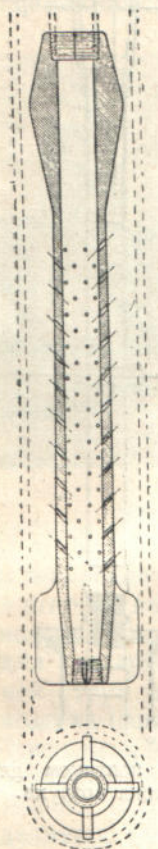
$$\Delta p = 12,5 \times 1,21 \frac{126\,000}{7,13 \times 312\,500\,000} \cdot 100 = 0,085.$$

### 3. Устройство для впуска воздуха — башмак

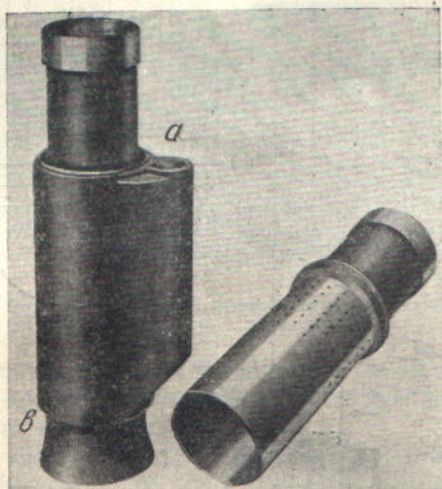
При центральном расположении воздушной трубки в подъемной трубе устройство башмака очень просто. Конец воздушной трубки продырявливается на протяжении 0,5—1,0 м. Уже раньше было указано, что впуск воздуха не должен быть в одном месте; для уменьшения ускорения воздушно-водяной смеси необходимо впускать воздух на некоторой длине воздушной трубки (фиг. 242). Отверстия в трубке, как видно на фиг. 242, просверлены косо—под углом в 45° к оси трубки и направлены вверх. Это обстоятельство большого значения не имеет, можно сверлить и прямо. Конец трубки закрыт, но можно его оставить и открытым, — в таком случае необходимо только немного удлинить трубку, чтобы предупредить прорыв пузырьков через дно. Трубка должна быть сделана из меди или другого нержавеющей металла. Для центрирования башмака на нижнюю часть его насаживаются четыре или три лопасти *bb*. Такие же лопасти наса-



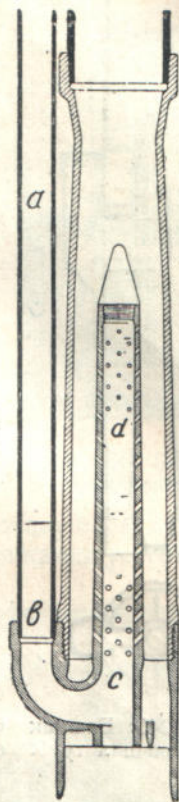
живаются и на воздушную трубку через некоторые промежутки. Коническое уширение над башмаком *aa*, повидимому, делается для лучшего перемешивания воздушных пузырьков с водой. Польза от него сомнительна, а сужение сечения вызовет лишние потери напора.



Фиг. 242. Башмак для центрального впуска воздуха.



Фиг. 243. Башмак для впуска снаружи.



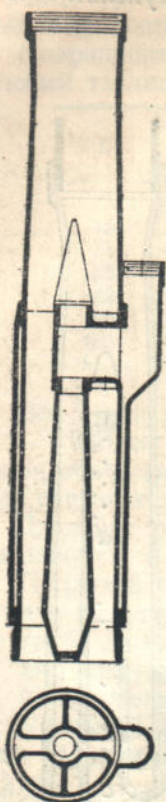
Фиг. 244. Башмак для подвода снаружи.

Диаметр дырочек 3—6 мм. Количество дырочек берется такое, чтобы сумма отверстий была равна сечению воздушной трубки или больше его в 1,5—2 раза.

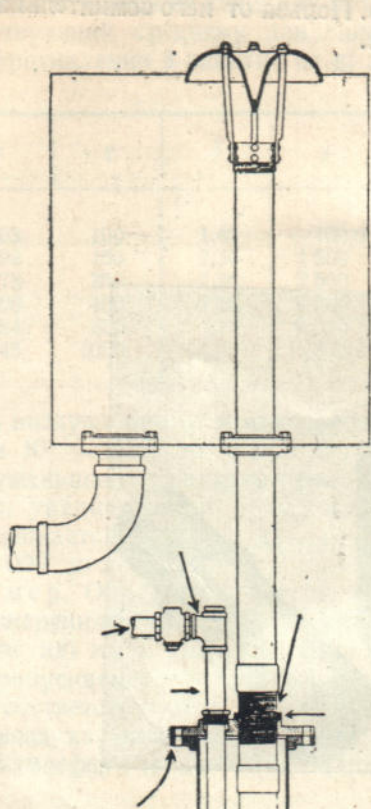
#### 4. Башмак для наружного подвода воздуха

При расположении воздушной трубки рядом с подъемной трубой конструкция башмака становится сложной. На фиг. 243 показан башмак слева в собранном виде, а справа — со снятым наружным кожухом. Воздушная трубка ввинчивается в *a*. Кожух *ab* образует кольцевое пространство вокруг подъемной трубы, которая в этом месте просверлена мелкими дырочками, как видно справа. Дырочки следует устраивать на большей длине, чем показано на чертеже.

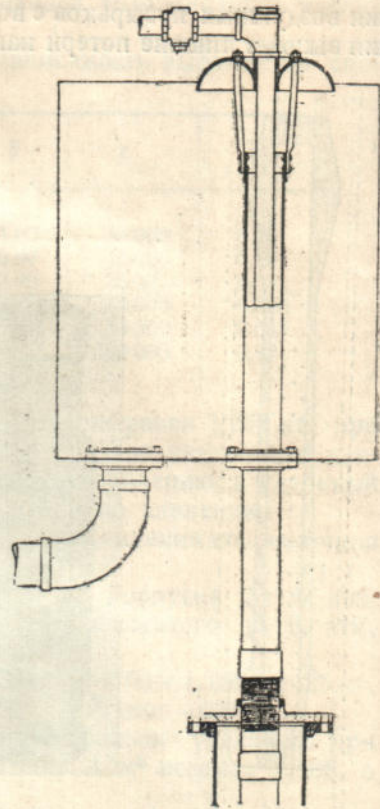
Другой способ устройства башмака показан на фиг. 244. Здесь подведенный снаружи сжатый воздух по трубке *ab* впускается в продырявленную центрально расположенную насадку *cd* из нержавеющей стали, иначе отверстия под влиянием ржавчины будут увеличиваться. На фиг. 245 показан башмак для подъемных труб от 200 мм и выше. Для лучшего смешения воздуха с водой впуск сделан изнутри и снаружи при помощи кольцевого кожуха. Все конструкции взяты из каталогов «Сулливан»; применяемые у нас конструкции других фирм представляют собою повторения с небольшими вариациями этих типов.



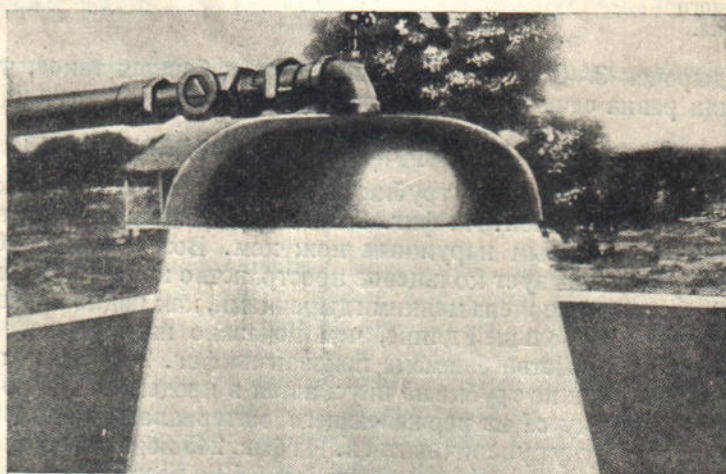
Фиг. 245. Башмак для больших труб.



Фиг. 246. Бак с зонтиком для отделения воздуха при наружном впуске воздуха.



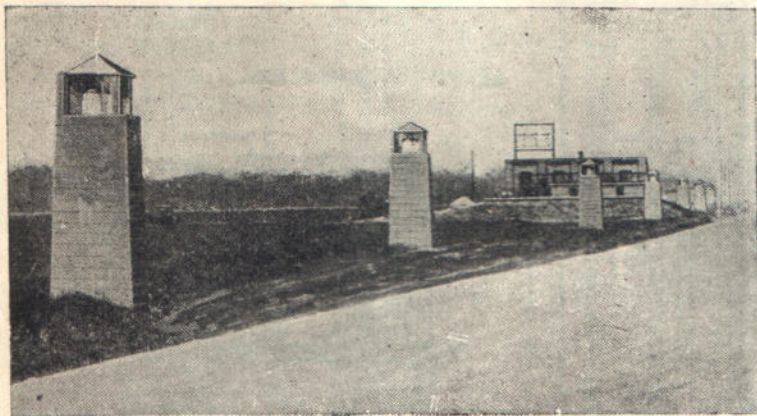
Фиг. 247. Бак с зонтиком для внутреннего впуска воздуха.



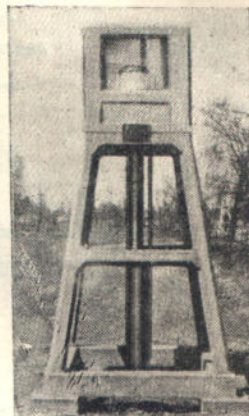
Фиг. 248. Зонтик в работе.

## 5. Воздухоотделители

Поднимаемую эрлифтом воду надо отвести по горизонтальному расстоянию в какой-нибудь резервуар. Вести воду вместе с воздухом крайне невыгодно, так как потеря на трение воздушно-водяной смеси благодаря ее большому объему,

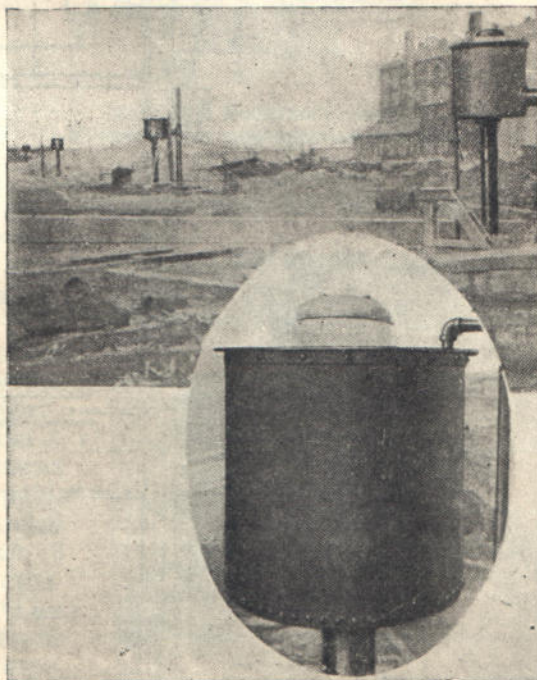


Фиг. 249. Группа скважин с воздухоотделителями.



Фиг. 250. Бак на подставке.

в несколько раз больше, чем потеря на трение одной воды; поэтому перед отводом в сторону воду надо освободить от воздуха. Для этой цели американцы устраивают возвышенные баки с зонтиками для задержания воздушно-водяной струи и освобождения ее от воздуха (фир. 246, 247, 248). Освобожденная от воздуха вода затем отводится в сборный резервуар. Высота расположения бака определяется высотой потерь на трение в отводящем воду трубопроводе. При обслуживании нескольких скважин одним компрессором высота потерь напора для ближайших к сборнику скважин будет меньше, для более отдаленных — больше, поэтому ближайшие баки надо было бы ставить ниже, а отдаленные — выше. Но для выравнивания условий работы скважин следует все баки ставить на одной высоте, равняясь по самому отдаленному. На фиг. 249 показан ряд баков на колоннах над скважинами с эрлифтами в Тонкава, Оклагома в С. Америке.

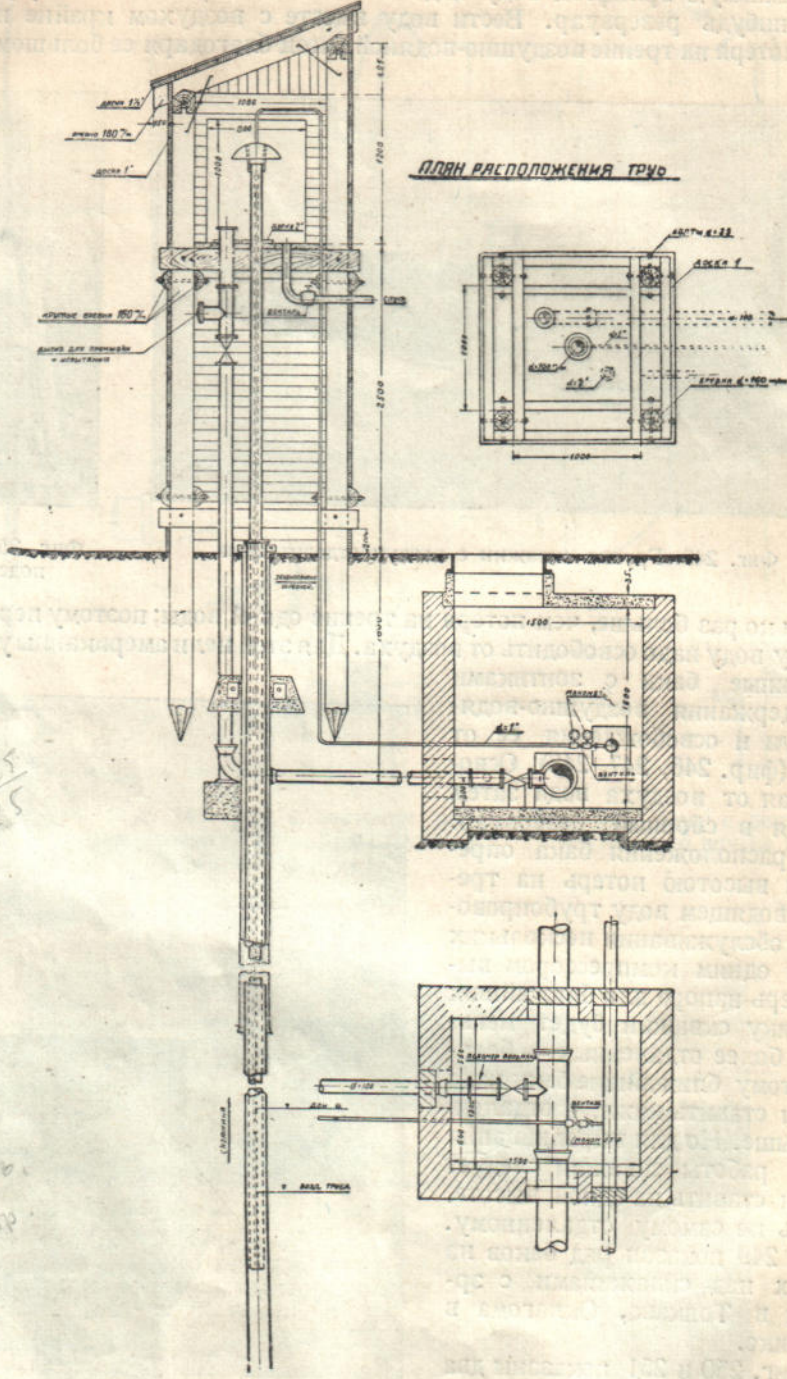


Фиг. 251. Ряд баков на трубе.

На фиг. 250 и 251 показаны два способа устройства опоры для баков — один на подставке, другой — прямо на подъемной трубе. Из фиг. 250 неясно только, как отводится вода из бака; для этого необходима особая труба, отходящая сбоку или со дна, как показано на предыдущих фиг. 246, 247 и 252 (эрлифтная установка Харьковского тракторного завода).

$\beta = 0,8$

$U_{\text{из}} = 1 \text{ м}$   
 $0,80 \text{ м} = \frac{3,2 \text{ см}}{2}$   
 $7,5 \text{ см}$



ПЛАН РАСПОЛОЖЕНИЯ ТРУБ

$\frac{50}{1025}$   
 $\frac{6025}{6025}$

См. рис. 200  
10 см. рис. 200

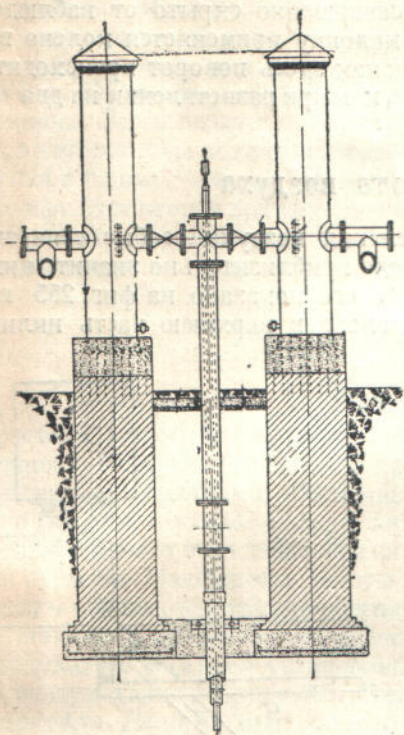
Фиг. 252. Баки Харьковского тракторного завода.

75. 25

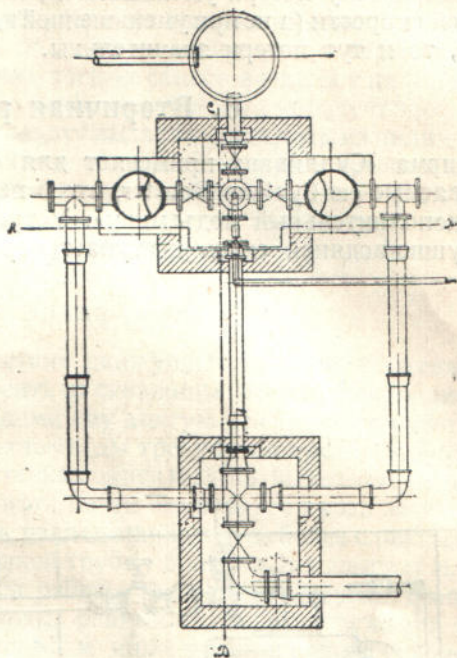
100  
150  
200

$75 + 25 = 100$

Многие американские установки, как видно на фиг. 250, оборудованы баками с стеклянными стенками, что дает возможность легко наблюдать за работой эрлифтов. Кроме того, эти баки являются прекрасным украшением водопроводной станции. Явление движущейся воды всегда привлекает к себе внимание людей и



Фиг. 253. Воздухоотделители Харьковского водопровода.



Фиг. 254. Воздухоотделители Харьковского водопровода — план.

заинтересовывает их. Водопроводные сооружения, трубопроводы, резервуары и проч, вообще скрыты от глаз людей под землю, поэтому той небольшой части сооружения, которая доступна осмотру, следует придавать привлекательную внешность, соответствующую важности водопроводных сооружений.

На харьковском водопроводе отделение воздуха от воды производится в трубчатых колоннах *AA* (фиг. 253 и 254). Скважина с эрлифтом расположена посредине *CC*; из трубы *CC* смесь под прямым углом направляется в направо и налево стоящие колонны из 600 мм чугунных труб. Тут смесь воды и воздуха встречает перегородки *n*, воздух выделяется вверх и уходит через сетку *m*, а вода направляется в



Фиг. 255. Циклонный сепаратор в разрезе.



Фиг. 256. Циклонный сепаратор непосредственно у скважины.

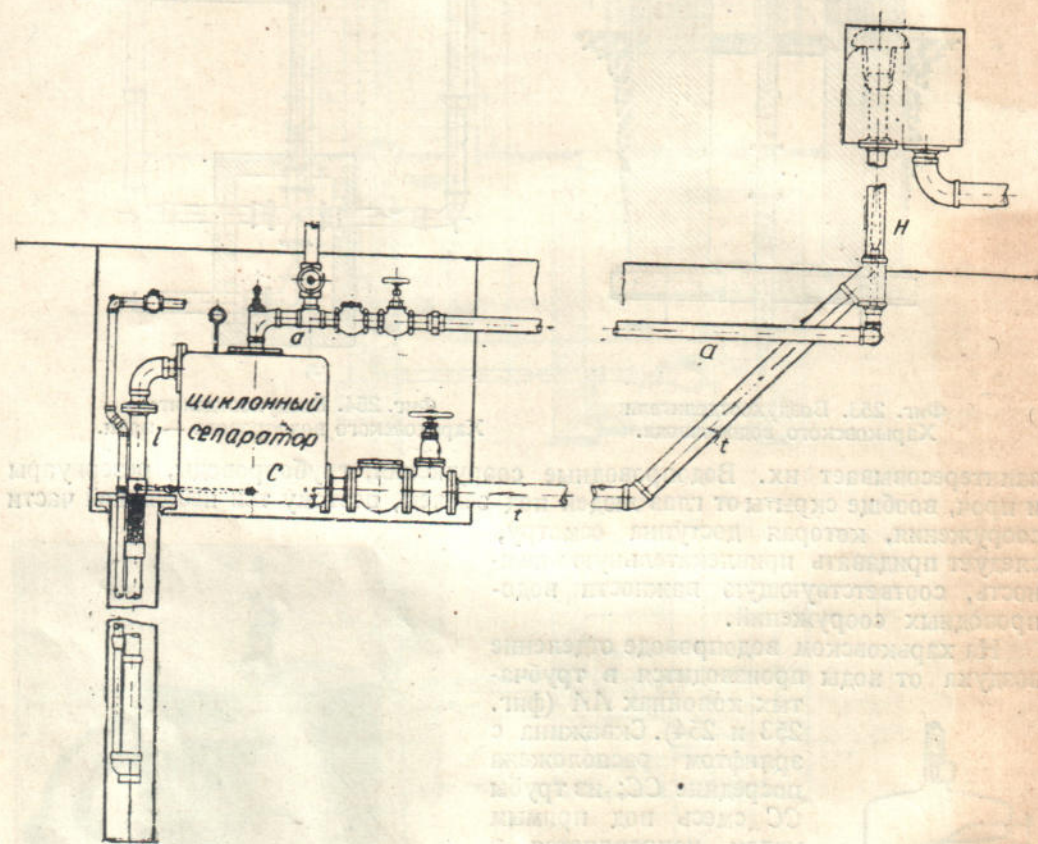
тройник *p*. Для больших скважин установка делается двойная, как на фиг. 252, а для малых устраивается только одна колонна. Недостаток этого устрой-

ства состоит в том, что в среднем кресте, где под прямым углом разветвляется поток воды и воздуха, теряется вся скорость выливающейся смеси и затем должна быть затрачена дополнительная высота напора на образование скоростей в ответвлениях *ВВ*. Так как скорости выхода смеси велики, то потеря здесь довольно значительна. Кроме того движение воды совершенно скрыто от наблюдения.

При одностороннем отводе воды в одну колонну применяется колено в  $90^\circ$ , благодаря чему потери уменьшаются, но, так как здесь поворот происходит при полной скорости (а не при уменьшенной вдвое, как при разветвлении на два оттока), то и тут потери значительны.

## 6. Вторичная работа воздуха

Фирма «Сулливан» применяет для отделения воздуха особые сепараторы, называемые ею Cyclone Booster, что в переводе приблизительно значит «циклонный дополнительный подъемник». Устройство его показано на фиг. 255 и 256. Воздушно-водяная смесь поступает через колено в верхнюю часть цилиндра.



Фиг. 257. Установка со вторичным подъемом воды тем же самым воздухом при посредстве циклонного сепаратора и вторичного эрлифта.

Апарат присоединен непосредственно к эрфлиту. Так как воздушно-водяная смесь подводится по касательной, то в цилиндре получается круговращательное движение, направляемое винтовой поверхностью. Вода под влиянием центральной силы прижимается к стенке и по винтовой поверхности скользит вниз. Воздух через свободную среднюю часть поднимается вверх. Если бы дело шло только об отделении воды и воздуха, тогда в верхней крышке надо было бы оставить свободное отверстие для выхода воздуха. Но здесь воздуху

не дают свободного выхода, а пропускают его через нагруженный пружиной клапан, поэтому воздух находится под некоторым давлением, регулируемым по желанию натяжением пружины клапана. Благодаря некоторому давлению в цилиндре вода выдавливается через нижний патрубок, также касательный к цилиндру, и поднимается в резервуар на дополнительную высоту.

Выходящий через верхний клапан воздух может быть направлен к компрессору: благодаря своей низкой температуре (летом) и некоторому сжатию он улучшает отдачу, т. е. к. п. д. компрессора.

На фиг. 257 показан другой способ использования воздуха из дополнительного подъемника. Здесь воздух из сепаратора по трубе *aa* подводится к вертикальной трубе, в которой вода поднимается давлением того же самого воздуха в цилиндре *C*. Поступая в башмак-насадку *H*, несколько еще сжатый воздух образует здесь второй эрлифт. Этот второй эрлифт облегчает работу выдавливания воды из цилиндра *C* и оканчивается таким же баком и зонтичным сепаратором, как и обыкновенный воздухоподъемник. Ниже описана автоматическая станция с таким устройством.

## XIV. ЭРЛИФТЫ В РАБОТЕ

### 1. Уход за эрлифтами

Простота устройства эрлифта, отсутствие движущихся частей в скважине, возможность без вреда для эрлифта проносить из скважины песок и проч. являются очень ценными качествами, обеспечивающими ему долгую и исправную работу без всякого ремонта и ухода. Только железистые воды требуют по временам очистки подъемной трубы от осаждающейся на ее стенках окиси железа, выделяющейся благодаря аэрации. Надежность работы эрлифта почти без всякого ухода заставляет применять его там, где трудно обеспечить надлежащий уход за более сложным насосом. Манометр, поставленный на воздушной трубе у эрлифта, показывает давление воздуха, как во время установившейся работы, так и во время пуска. В момент пуска воздух должен продавить столб воды, равный глубине погружения башмака эрлифта. Если башмак находится на 65 м ниже уровня воды в скважине, то манометр покажет 6,5 атм. Как только эрлифт начнет подавать воду, уровень воды в скважине начнет понижаться и при нормальной работе установится на некоторой глубине, предположим, на 25 м ниже статического уровня, — тогда манометр станет показывать 4 атм + некоторый небольшой избыток на преодоление трения воздуха в воздушной трубке.

Для определения величины этой потери на харьковском водопроводе применяется следующий способ: быстро закрывают воздушный кран—движение воздуха останавливается, потеря на трение исчезает, и манометр упадет ровно на величину потери на трение.

Пуск эрлифта совершается простым открытием крана. Чтобы не вызвать водяного удара в скважине, следует открывать кран *постепенно*, а не сразу. Быстрое закрытие крана менее вредно, так как оставшийся в подъемной трубе воздух будет продолжать еще некоторое время подъем воды. Лучше и закрытие крана производить медленно.

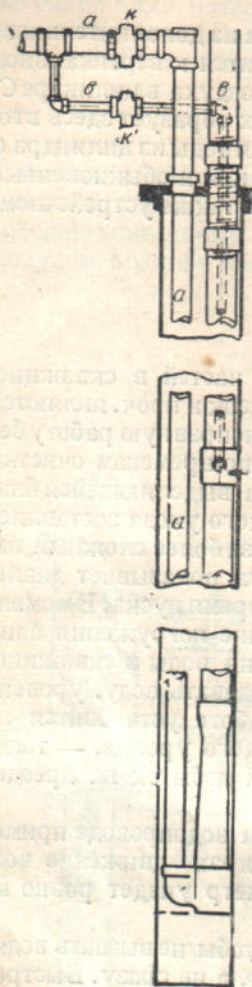
### 2. Двухэтажные и многоэтажные воздухоподъемники

При больших понижениях рабочего уровня в скважинах разница между начальным давлением во время пуска и нормальным давлением во время работы может быть такой большой, что максимальное давление компрессора недостаточно для пуска эрлифта. В таком случае прибегают к устройству двух- или многоступенчатых или многоэтажных эрлифтов.

На фиг. 258 показано устройство двухступенчатого эрлифта. От главной воздушной трубки *aa* ответвляется вспомогательная трубка *bb*, оканчивающаяся подъемной трубой в *c*. Здесь воздух входит в кольцевое пространство, образованное наружным кожухом, и из него через отверстия, расположенные на неболь-

шой длине подъемной трубы, — так как в виду кратковременности действия к. п. д. здесь не важен, — выпускается пузырьками внутрь трубы. Внизу расположен обычный башмак.

При пуске открывается кран *k* на главной воздушной трубке, одновременно открывается и кран *k'* на ответвлении. Воздух устремляется по трубке *bb* в воздухораспределитель *c*, и эрлифт начинает действовать; когда уровень воды в скважине достаточно понизится, закрывают кран *k'*, и тогда воздух, повысив свое давление, по трубке *aa* попадает в нижний башмак *D*. Чтобы сделать возможным пуск эрлифта издалека, необходимо кран *k'* превратить в автоматический таким образом, чтобы он открывался при определенной высоте давления, предположим 6 атм, и закрывался, когда давление падает, предположим, до 3 атм. Допустим, что верхний башмак *C* находится на 60 м ниже статического уровня, а нижний *D* — еще на 25 м глубже. Компрессор дает 6 атм.; открывши кран на станции, пустим воздух в трубку *aa*, на которой кран *k* открыт, кран же *k'* под давлением 6 атм. открывается сам и эрлифт начинает работать; когда уровень в скважине понизится до 30 м над башмаком *C*, кран *k'* автоматически закрывается и может снова открыться только при давлении 6 атм. После закрытия крана *k'* давление в трубке *aa* быстро подымается до 6 атм, и воздух устремится в нижний башмак, где в этот момент давление равно  $30 + 25 = 55$  м.



Фиг. 258. Двухступенчатый эрлифт.

### 3. Обслуживание многих эрлифтов из одной компрессорной установки

Большим преимуществом эрлифтов является возможность обслуживания многих скважин из одной компрессорной установки. Так как сами эрлифты никакого постоянного ухода за собою не требуют, то весь уход за подъемом воды сводится к уходу за компрессорами, и станция может обслуживать десятки скважин с управлением из одного места. Открытие и закрытие воздушного крана на станции пускает в действие и останавливает все скважины.

Для обслуживания нескольких скважин одной компрессорной установкой выгоднее, чтобы глубина погружения эрлифтов была приблизительно одинакова во всех скважинах. Далее, путем предварительного испытания каждой скважины необходимо установить воздушный кран при каждой скважине так, чтобы он пропускал только требуемое для наивыгоднейшей работы количество воздуха, и компрессорная установка должна давать такое количество воздуха, какое требуется всеми скважинами. Если система отрегулирована указанным способом, то с пуском компрессорной установки она автоматически вступает в работу, не требуя никакого дополнительного регулирования кранами отдельных скважин. Такое регулирование нужно, может быть, только в том случае, если предварительная регулировка каждой отдельной скважины произведена неудовлетворительно. Но раз система отрегулирована, предварительным ли испытанием каждой скважины отдельно или во время их совместной работы, дальнейшее регулирование не требуется, и скважины работают автоматически.

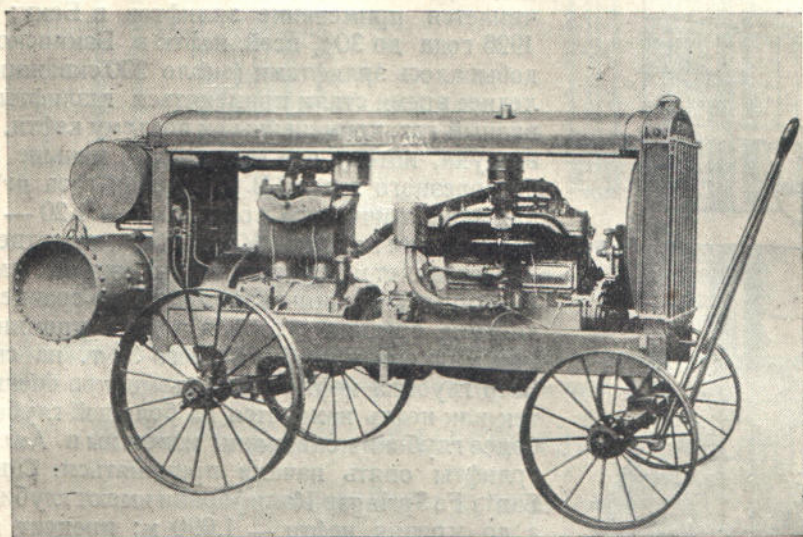
Предварительное испытание скважин очень удобно производить подвижным компрессором. Образец такого компрессора на давление до 7 атм показан на фиг. 259. Впереди находится двигатель внутреннего сгорания, а сзади — верти-



кальный двухцилиндровый компрессор. Воздушный резервуар висит сзади внизу, а над ним — бак с жидким горючим. Производительность — 4,5 м<sup>3</sup> мин.

#### 4. Разработка скважин

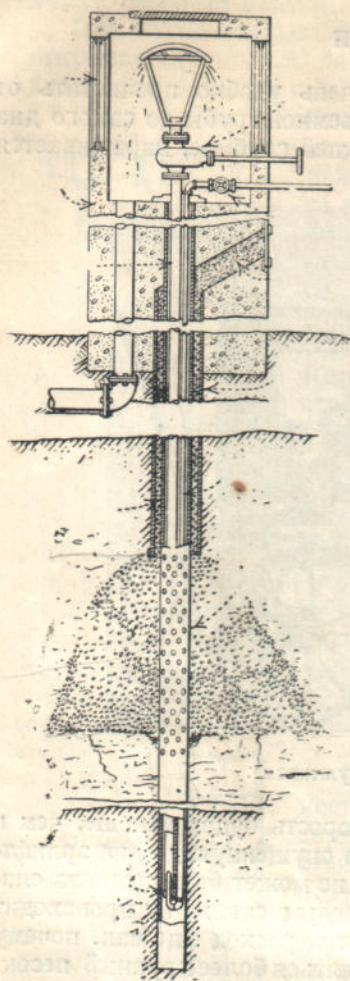
Пробуренную скважину таким компрессором очень удобно прочистить от песка путем длительной откачки и продолжения подъемной трубы до самого дна скважины. При этом впуск воздуха остается на прежней глубине, наращивается



Фиг. 259. Подвижной компрессор «Сулливан».

только вниз подъемная труба. В обсадной трубе скорость будет меньше, чем в более узкой подъемной трубе эрлифта, поэтому через опущенную до дна эрлифтную трубу вынесется песок такой крупности, какая не может быть поднята слабой скоростью в обсадной трубе. Кроме того приток воды в скважину происходит по всей высоте фильтра; поэтому в нижней части фильтра расход еще мал, почему мала и скорость подъема; поэтому здесь может накапливаться более крупный песок. При разнородных по крупности зерен песках одной откачкой невозможно получить хорошую подачу от скважины. Мелкий песок, скопившийся около фильтра, образует здесь сводики или купола, не поддающиеся разрушению никаким давлением в сторону откачки; только путем обратного нагнетания воды или, лучше, воздуха их легко разрушить и откачкой вымыть мелкий песок, — тогда оставшийся около фильтра крупный песок образует свой песчаный фильтр, облегчающий доступ воды в скважину. Эта операция — то нагнетание в скважину воды или воздуха, то откачка — продельвается несколько раз. Американцы называют это *development of well*, разработкой скважины. Таким образом удастся значительно повысить первоначальный дебет скважины. При мелких однородных песках усиления производительности скважины американцы достигают устройством вокруг обсадных дырчатых труб гравелистого конуса, как показано на фиг. 260. Скважина бурится и оборуется обычным способом, только вместо фильтра вставляется просто дырчатая труба. При постепенном подъеме наружных обсадных труб для оголения дырчатой трубы из скважины энергично вымывается эрлифтом песок, проникающий через дыры, а на его место засыпается через кольцевое пространство между обсадной и дырчатой трубой гравий, более крупный, конечно, чем отверстия в трубе. Путем такой операции вокруг дырчатой трубы устраивается коническая отсыпь из гравия, которая и играет роль фильтра. Таким способом удавалось удваивать подачу скважин.

Буровые фильтры из металлической ткани с течением времени забиваются песком, поэтому немцы заменяют их песчаными фильтрами разнообразных конструкций, стр. 43 подробно описанными в книге Эриха Биске, «Трубчатые колодцы».



Фиг. 260. Устройство щебеночного конуса вместо фильтра.

## 5. Эрлифты в нефтяной промышленности

Впервые эрлифты были применены в нефтяном деле в 60-х годах прошлого столетия в Америке, но скоро были оставлены и забыты. С 1897 года начинается применение эрлифтов в Баку; к концу 1926 года до 30% всей нефти в Бакинском районе добывалось эрлифтами (около 200 скважин). В последнее время стали применяться газлифты. Естественный газ, примененный к подъему нефти, выгоднее воздуха, потому что при сжатии меньше выделяет бесполезного тепла. В уравнении газа  $pv^n = \text{const}$  для адиабатического процесса  $n = 1,20 - 1,25$  вместо 1,41 для воздуха. Кроме того, естественный газ представляет и другие выгоды при подъеме нефти. Нефтяные скважины маломощны по сравнению с водяными, средняя суточная подача упомянутых бакинских скважин была всего 32 т. на скважину. Зато глубина нефтяных подъемников очень велика, так как нефть находится на большой глубине. Наиболее глубокие скважины известны в Америке, где эрлифты опять начали применяться. Скважины в Santa Fe Springs в Калифорнии имеют глубину 1410 м, а до уровня нефти — 1,090 м; процент погружения эрлифта — 20, давление у устья скважины — 23,8 атм.—

По данным о 40 скважинах в Сураханах (Баку) глубина скважин колеблется от 366 до 1011 м; глубина воздушных труб — от 350 до 756 м. В большинстве скважин диаметр подъемных труб равен 63 мм, но есть скважины с трубами в 40 и 50 мм. Рабочее давление — от 4 до 20 атм; процент погружения — от 10 до 43; расход воздуха 4—13 м<sup>3</sup>/мин.

Коэффициент полезного действия глубоких нефтяных скважин вообще низок (очевидно вследствие большого трения в малых и длинных трубах) и падает при большой глубине до 10% и даже ниже. Приведем несколько практических данных о работе нефтяных скважин:

Высота подъемной трубы в м	Коэффициент погружения в %	Коэффициент полезного действия эрлифта в %
22	59	45,8
222	64	38,3
455	40	17,5
576	43,5	13,7

На фиг. 261 и 262 изображено устройство эрлифта для нефтяных скважин. На фиг. 261 воздух подводится по кольцевому пространству *bb* между двумя трубами, причем на фигуре слева наружной трубой служит обсадная труба, а справа



ется и начинается сжатие. Вверху на той же фигуре 263 показана диаграмма сжатия: по горизонтальной оси откладываются объемы, по вертикальной — давления. Прямоугольник  $OABD$  с абсциссой  $v_1$  изображает всосанный в цилиндр объем воздуха при атмосферном давлении  $p_1$ . При обратном движении поршня объем уменьшается, а давление увеличивается, пока не дойдет до точки  $C$ , когда открывается нагнетательный клапан и под постоянным давлением  $p_2$  из цилиндра выталкивается объем  $v_2$ .

В некоторой точке  $E$  давление равно  $p - p_1$ ; если площадь поршня  $F$ , то давление на площадь поршня равно  $(p - p_1) F$ , а работа на бесконечно малом пути равна  $(p - p_1) \cdot F ds$ . Величина  $F ds$  представляет элементарный объем сжимаемого воздуха  $dv$ , а так как при сжатии объем уменьшается, то  $dv$  будет с минусом. Следовательно, работа сжатия

$$L_I = - \int_{v_1}^{v_2} (p - p_1) dv.$$

Работа за время выталкивания равна прямоугольнику

$$L_{II} = (p_2 - p_1) v_2.$$

Полная работа за ход нагнетания равна

$$L = L_I + L_{II} = - \int_{v_1}^{v_2} (p - p_1) dv + (p_2 - p_1) v_2 = - \int_{v_1}^{v_2} p dv + p_2 v_2 - p_1 v_1. \quad (1)$$

Сравнивая эту формулу с диаграммой, видим, что вся работа за ход нагнетания равна площади  $FCBD$  + площадь  $L CFO$  — площадь  $OABD$ , т. е. всей трапецевидной площади. Эта площадь равновелика площади прямоугольника  $MNAB$ , Ордината  $p_i$  называется средним индикаторным давлением, так как диаграмма, подобная фиг. 263, вычерчивается обыкновенно прибором индикатором, привинчиваемым к цилиндру компрессора.

$$L = \text{пл. } MNAB = p_i \cdot v_1.$$

Это работа за один ход при  $n$  оборотах в минуту или,  $\frac{n}{60}$  — в секунду.

Секундная работа выразится:

$$L_{сек} = \frac{Ln}{60} = \frac{p_i v_1 n}{60} = \frac{p_i F \cdot S \cdot n}{60} = p_i Q_{сек}.$$

Для компрессоров двойного действия работа будет в два раза больше, но формула для нее будет та же

$$L_{сек} = p_i Q_{сек}.$$

так как секундная подача воздуха  $Q_{сек}$  при двойном действии также удваивается.

Работа сжатия, представляемая интегралом

$$L = - \int_{v_1}^{v_2} p dv,$$

как известно из термодинамики, выражается в общем виде для политропического и адиабатического процесса уравнением

$$L_{сжс} = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в уравнение (1) и проделав некоторые операции, получим, что работа за ход нагнетания равна

$$L = \frac{np_1 v_1}{n-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = n L_{сжс}.$$

Для изотермического сжатия это выражение при  $n = 1$  превращается в неопределенность, поэтому, возвращаясь к уравнению (1), находим, что для изотермического процесса

$$p_2 v_2 = p_1 v_1 = \text{const.} \quad (3)$$

Следовательно выражение работы для хода нагнетания примет вид

$$L = - \int_{v_1}^{v_2} p dv.$$

Подставим сюда вместо  $p$  из уравнения

$$p_1 v_1 = p v; \quad p = \frac{p_1 v_1}{v},$$

получим

$$L = - \int_{v_1}^{v_2} p_1 v_1 \frac{dv}{v} = - p_1 v_1 \left[ \ln v_2 - \ln v_1 \right] = p_1 v_1 \ln \frac{v_1}{v_2},$$

но из предыдущего уравнения (3):

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1};$$

поэтому

$$L = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1}.$$

На диаграмме фиг. 263 эта работа выражается площадью *FOBC*; таким образом работа за ход нагнетания равна работе сжатия; отсюда следует, что площадь *FOLC* должна равняться площади *ADOB*; из диаграммы легко видеть это равенство, так как

$$p_2 v_2 = p_1 v_1.$$

Работа сжатия  $1 \text{ м}^3$  воздуха от атмосферного давления до давления  $p_2$ , выраженного в абсолютных атмосферах, т. е., считая от 0 давления, требуется:

При изотермическом сжатии

$p_2$ атм.	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
кгм	4050	6900	11000	13900	16100	17900	19500	20800	22000	23000

При адиабатическом сжатии

4300	7700	12900	17100	20500	23500	26100	28600	30700	32700
------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Повышение температуры при адиабатическом сжатии

45°	73°	117°	151°	179°	203°	225°	245°	263°	279°
-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

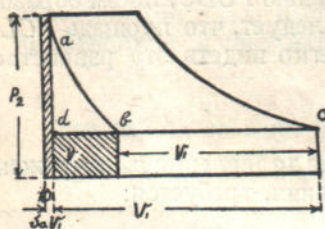
Чтобы выразить это в мощности, допустим, что  $1 \text{ м}^3$  воздуха, взятый при атмосферном давлении, сжимается в 1 минуту до давления  $p_2$ , тогда потребуется л. с.

$P_2$	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
При изотермич. процессе . . .	0,9	1,53	2,44	3,09	3,58	3,98	4,33	4,62	4,89	5,11
При адиабатич. процессе . . .	0,96	1,71	2,87	3,80	4,56	5,22	5,80	6,35	6,83	7,26
Арифмет. среднее . .	0,93	1,62	2,65	3,44	4,07	4,60	5,06	5,48	5,86	6,18

Действительный процесс сжатия в компрессорах происходит не по изотерме и не по адиабате, — хотя стенки цилиндров компрессоров, а иногда и головки, охлаждаются водой, но значительная часть тепла все же остается в сжатом воздухе; словом, процесс сжатия происходит политропически с показателем степени 1,2—1,25. Поэтому для приближенного определения расхода энергии надо брать среднюю величину между изотермой и адиабатой. Средние величины даны в нижней строке таблицы.

### 3. Вредное пространство и объемный коэффициент полезного действия

Объем цилиндра компрессора неизбежно более объема, описываемого поршнем. Длина цилиндра должна иметь некоторый запас, чтобы поршень ни при каком износе вкладышей шатуна не мог удариться о крышку цилиндра; кроме того, к цилиндру примыкают камеры клапанов.



Фиг. 264. Диаграмма сжатия при вредном пространстве.

Избыток объема цилиндра называется вредным пространством. Благодаря вредному пространству не весь сжатый воздух выталкивается из цилиндра. Во вредном пространстве сжатый воздух остается и, расширяясь при обратном ходе поршня, препятствует таким образом всасыванию нового воздуха. Всасывание может начаться только тогда, когда расширение воздуха вредного пространства дойдет приблизительно до атмосферного давления. На фиг. 264 показана кривая расширения воздуха вредного пространства  $ab$ . Наибольший объем отнимается бесполезно у цилиндра при изотерме. Всасывание начинается только после того, как поршень прошел точку  $b$ . В компрессорах расширение происходит по политропе. Отношение длин  $bc : cd$  и определяет объемный к. п. д.

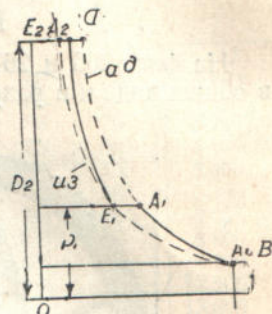
Наличие вредного пространства ограничивает степень сжатия в одном цилиндре. Так, при вредном пространстве, равном 5% хода поршня, изотермическое сжатие возможно только до 21 атм. Сжатый в 21 раз воздух вредного пространства при обратном ходе поршня расширится и займет объем в 21 раз больший, т. е. весь объем цилиндра; засасывание нового воздуха тогда уже невозможно. При 10% вредного пространства сжатие возможно только до 11 атм. При адиабатическом процессе и 5% вредного пространства в одном цилиндре можно сжать до 73 атм. Процент полезного использования объема цилиндра в зависимости от вредного пространства называется *объемным коэффициентом полезного действия*. Он колеблется обыкновенно в пределах 0,95—0,80 и тем меньше, чем больше степень сжатия.

Но не одно вредное пространство уменьшает подачу компрессора, — неплотности поршня, клапанов и трубопровода также влияют в этом направлении. Отношение объема действительно подаваемого воздуха к объему, описываемому

поршнем, называется *коэффициентом подачи*. При износе компрессоров этот коэффициент может сильно падать; для новых исправных компрессоров он приближается к объемному коэффициенту.

#### 4. Ступенчатое сжатие

Уменьшение объемного к. п. д. с увеличением степени сжатия вызывает необходимость двух-или многоступенчатого сжатия при больших давлениях. Кроме того охлаждение сжимаемого воздуха в цилиндре недостаточно; при переводе же сжатого воздуха из цилиндра низкого в цилиндр высокого давления воздух пропускают через ресивер-охладитель и таким образом доводят его температуру до первоначальной, благодаря чему работа сжатия значительно уменьшается. На фиг. 265 показана диаграмма двухступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением. Если бы охлаждения не было, то работа сжатия выражалась бы площадью  $ADE_2B$ . Благодаря же охлаждению после первого цилиндра точка  $A_1$  переходит в  $E_1$ , и площадь  $A_1DA_2E_1$  представляет выигрыш в работе. Конечная температура воздуха при этом также получается значительно ниже.



Фиг. 265. Диаграмма двухступенчатого сжатия.

Если бы сжатие происходило изотермически, то, конечно, никакого выигрыша в работе не было бы и при двухступенчатом сжатии.

При сжатии в двух цилиндрах обыкновенно стремятся к тому, чтобы работа в обоих цилиндрах была одинакова, а это достигается тогда, когда степени сжатия в каждом цилиндре одинаковы. Если, например, необходимо сжать воздух до 16 атм., то степень сжатия в каждом цилиндре будет:

$$r = \sqrt[4]{16} = 4.$$

Первый цилиндр сжимает от 1 до 4 атм., второй — от 4 до 16 атм.,

#### 5. Охлаждение всасывания

Большое значение для работы компрессора имеет охлаждение. При адиабатическом сжатии требуется максимум энергии, при изотермическом — минимум. Охлаждение бывает сухое и мокрое. В первом случае вода не соприкасается с воздухом, а циркулирует только в рубашках цилиндра и крышек. В многоступенчатых компрессорах сжимаемый воздух охлаждается в особых аппаратах-ресиверах, на пути между двумя цилиндрами. На фиг. 270 представлен ресивер в разрезе. Охлаждающая вода прогоняется через трубки, а сжатый воздух поступает сверху в трубу А и выходит в трубу В. Перегородки заставляют его попеременно двигаться то вверх, то вниз и таким образом лучше соприкасаться со стенками трубок. Батарея трубок обыкновенно может выниматься из барабана для чистки и ремонта.

Количество воды, необходимое для охлаждения двухступенчатых компрессоров, можно считать от 4 до 6 л/м<sup>3</sup> засасываемого воздуха при нагреве воды на 10—15°. Допускать нагрев воды выше 35—40° не следует. К рубашкам охлаждающая вода должна подводиться снизу, а удаляться сверху.

Следует стремиться, чтобы температура засасываемого воздуха была возможно ниже. При нагревании воздуха на 1° объем его увеличивается на  $\frac{1}{273}$ . Таким образом, на каждые 2,73° нагрева воздуха производительность компрессора уменьшается на 1%. Поэтому воздух берется снаружи, так как там он холоднее. Сечение всасывающей трубы следует брать 50% от сечения поршня.

#### 6. Коэффициент полезного действия компрессора и двигателя

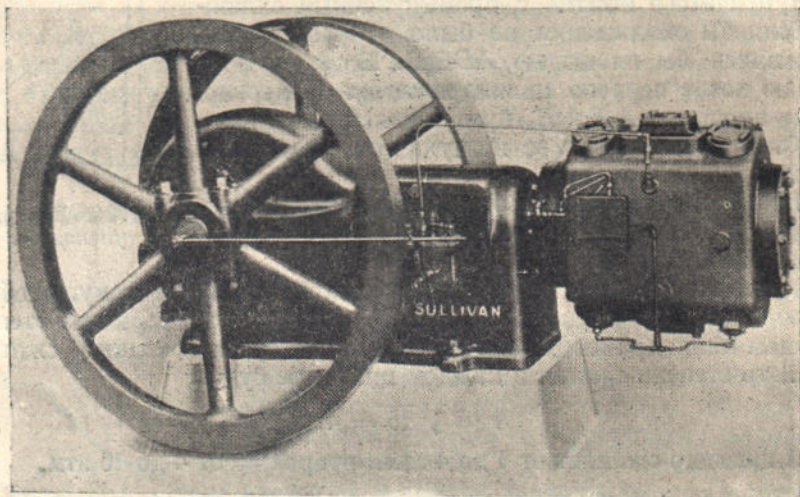
Коефициент полезного действия компрессора составляется из двух коэффициентов — изотермического и механического. Работа компрессора состоит из полез-

ной работы сжатия и бесполезной — образования тепла. Отношение изотермической работы сжатия к работе поршня называется изотермическим к. п. д., а отношение работы поршня, т. е. индикаторной мощности, к мощности на валу компрессора называется механическим к. п. д. Произведение обоих коэффициентов дает общий к. п. д. компрессора, колеблющийся от 70 до 60%. При зубчатой и ременной передаче от электромотора этот коэффициент надо умножить на 0,85—0,90, чтобы получить общий коэффициент всей установки 0,63—0,51%.

## XVI. КОНСТРУКЦИЯ КОМПРЕССОРОВ

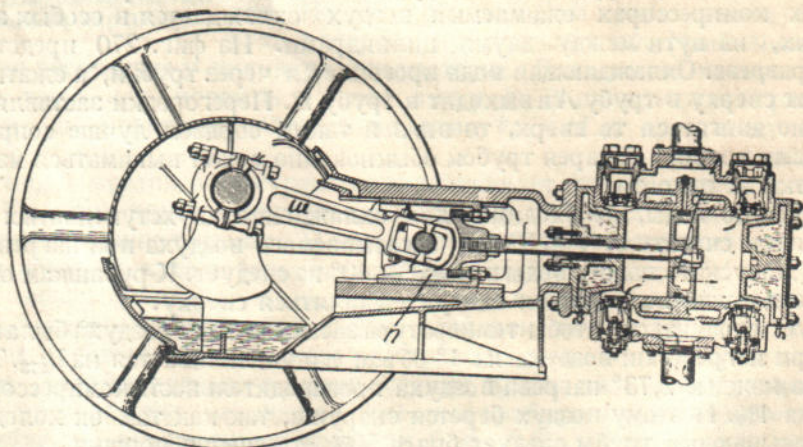
### 1. Одноступенчатые компрессоры

На фиг. 266 и 267 показан одноступенчатый компрессор фирмы «Сулливан» в общем виде и в разрезе. Станина компрессора покоится на фундаменте и при-



Фиг. 266. Одноступенчатый компрессор «Сулливан».

креплена к нему болтами. В станине помещаются коленчатый вал с шатуном *ш* и ползуном *п* (крейцкопф), а самый цилиндр находится на весу справа и прикреп-



Фиг. 267. Разрез одноступенчатого компрессора «Сулливан».

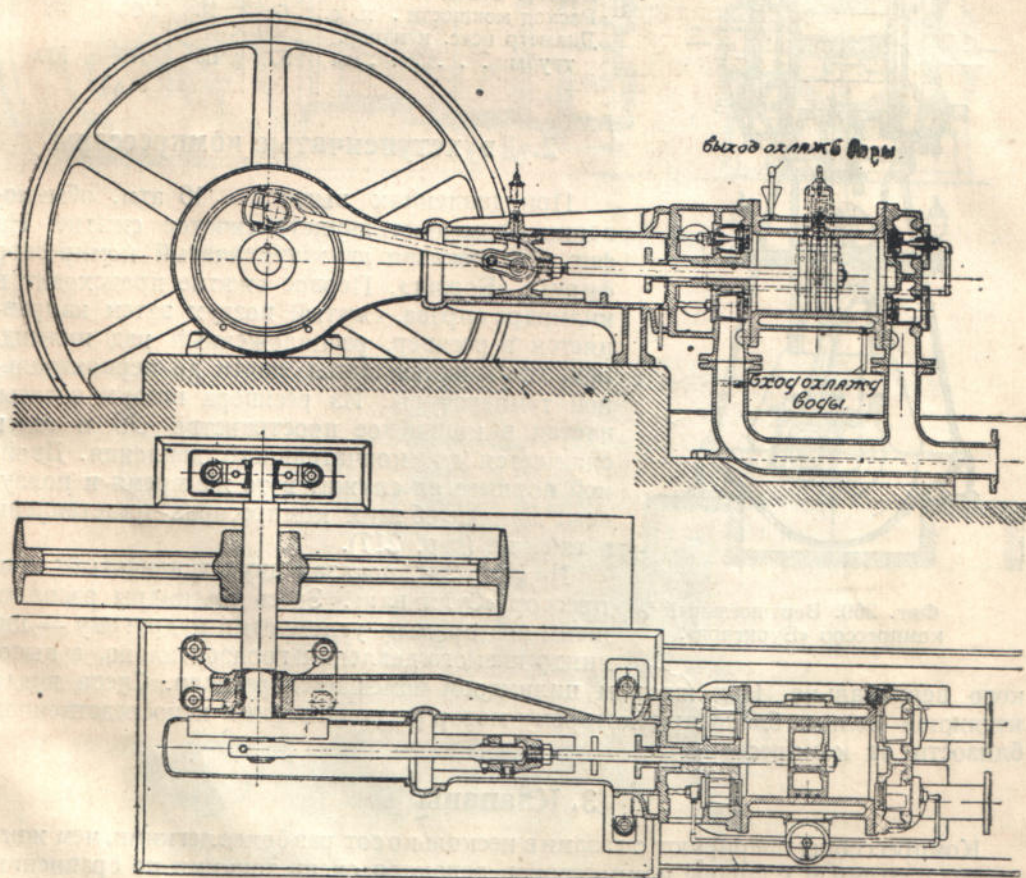
ляется к станине болтами. Стенки цилиндра окружены рубашкой, наполненной водой, крышки цилиндра также охлаждаются водой. Воздух засасывается нижней



трубой и через всасывающие клапаны попадает в переднюю и заднюю части цилиндра. Нагнетательные клапаны и труба вверху.

В нижеследующей таблице собраны все данные об этих компрессорах:

Диаметр цилиндра мм	Ход поршня мм	Объем вытекания воздуха м <sup>3</sup> /мин	Число оборот. в мин.	Давление воздуха в атм	Число л. с. при этом давлении	Основные размеры		Маховик		Трубопроводы		Вес в упаковке кг
						Длина м	Шир. м	Диам. мм	Шир. мм	Всас. мм	Нагн. мм	
150	150	1,9	350	8,5	10,6	1,5	0,55	750	112	40	32	2 700
200	150	3,4	350	3,5	12,5	1,63	0,55	750	112	63	50	2 900
250	150	5,3	350	2,5	18,0	1,55	0,55	750	112	88	75	3 200
200	200	3,9	300	8,5	21,8	1,87	0,7	1000	175	63	50	4 650
250	200	6,1	300	3,5	23,1	1,90	0,7	1000	175	88	75	5 600
300	200	8,8	300	2,1	30,0	1,90	0,7	1000	175	100	88	6 000
250	250	7,4	285	8,5	39,2	2,2	0,9	1250	260	88	75	8 000
300	250	10,6	285	7,0	61,8	2,3	0,9	1250	260	100	88	8 800
350	250	14,5	285	3,5	58,4	2,3	0,9	1250	260	125	100	9 100
300	300	10,5	240	8,5	65,2	2,7	1,2	1500	360	100	88	12 500
350	300	14,3	240	7,0	90,3	2,7	1,2	1500	360	125	100	13 000
400	300	18,7	240	3,5	79,0	2,7	1,2	1500	360	150	125	14 000
650	300	45,5	240	1,0	120,0	2,7	1,2	1500	360	200	150	16 000

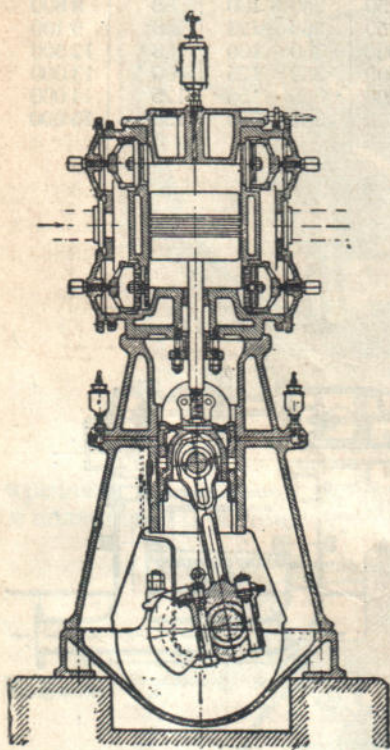


Фиг. 268. Компрессор фирмы «Борзиг».

На фиг. 268 дан в двух разрезах компрессор фирмы «Борзиг»; диаметр цилиндра — 370 мм, ход поршня — 300. Дальнейшие сведения об этих компрессорах помещены в следующей таблице:

Диаметр цилиндра в мм	200	300	275	440	350	350	500	500	650
Ход поршня в мм . . .	200	200	250	250	350	400	400	600	600
Число оборотов в мин.	220	280	200	200	190	160	180	160	130
Допуст. давл. атм. . . .	7	3	7	2	4	7	2	4	2
Количество всас. воздуха м <sup>3</sup> /мин. . . . .	26	6	4,75	19,0	11,2	11,1	26	27,6	47,5
Диаметр всас. трубы в мм. . . . .	60	80	80	150	125	125	200	175	250
Диаметр нагнет. трубы в мм . . . . .	60	70	70	125	100	100	175	150	225

На фиг. 269 представлен вертикальный одноступенчатый компрессор фирмы «Буркгард» для давления до 6 атм. Вертикальное расположение сильно уменьшает площадь, занимаемую компрессором. Данные об этих компрессорах собраны в такой таблице:



Фиг. 269. Вертикальный компрессор «Буркгард».

Диаметр поршня . . мм	170	220	270	310
Ход поршня . . . . »	100	130	170	200
Число оборотов в мин .	320	300	300	280
Всасан. объем . . м <sup>3</sup> мин	1	2	4	6
Расход мощности . л. с.	6	16	32	48
Диаметр всас. и напор. трубы . . . . . мм	50	65	76	100

## 2. Двухступенчатые компрессоры

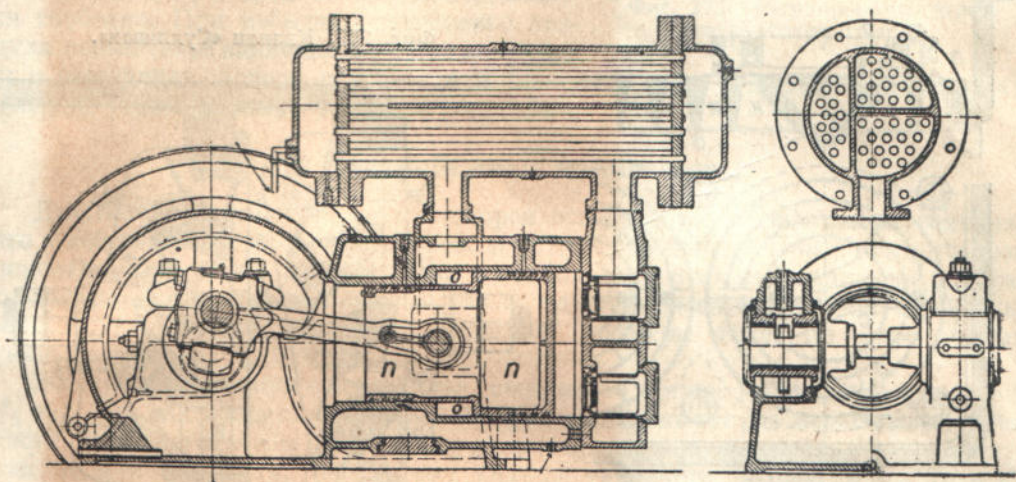
При давлениях выше 8 — 10 атм. обыкновенно применяют двухступенчатое сжатие. На фиг. 270 показан двухступенчатый компрессор фирмы «Борзиг». Первое сжатие происходит в цилиндре справа, сжатый воздух затем направляется в ресивер, расположенный над цилиндром, где и охлаждается почти до первоначальной температуры. Из ресивера воздух засасывается в кольцевое пространство *OO* и здесь сжимается до окончательного давления. Двойной поршень *пп* служит в то же время и ползуном. Данные об этих компрессорах представлены в таблице (стр. 217).

На фиг. 271 показан двухступенчатый компрессор «Сулливан». Здесь цилиндры расположены под прямым углом один к другому — цилиндр низкого давления горизонтально, а высокого вертикально. Над нижним цилиндром помещается ресивер. Слева виден натяжной ролик, благодаря которому мотор располагается в непосредственной близости от компрессора.

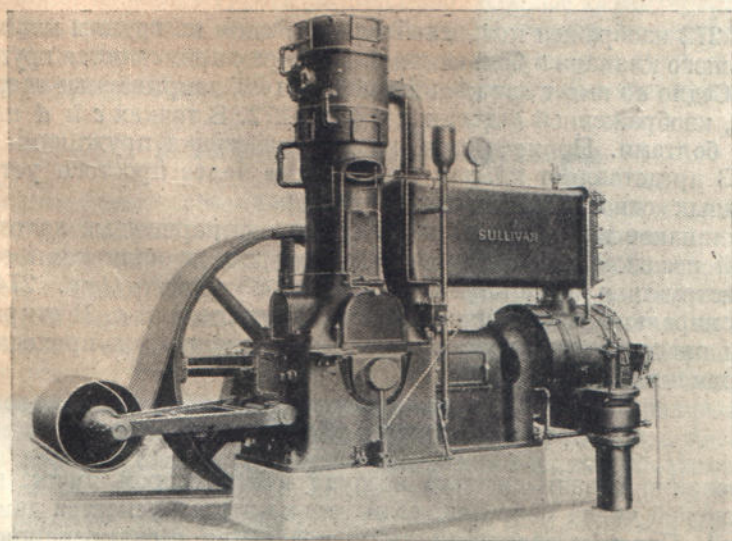
## 3. Клапаны

Компрессоры оперируют с газами в несколько сот раз более легкими, чем жидкости, поэтому и клапаны компрессоров делаются очень тонкими по сравнению с клапанами насосов. И в насосах при больших числах оборотов масса клапана делается возможно меньшей для устранения сильных ударов о седло; в компрес-

Ход мм	Диаметр поршней мм	Обороты в минуту	Всас. воздуха м <sup>3</sup> /мин.	авление наибольшее	Мощность на валу л. с. для давления			Шкив		Диаметр труб		Вес кг
					6 атм.	7 атм.	8 атм.	Диам. мм	Шир. мм	Всас. мм	Нагн. мм	
300	500/400	200	11,2	8	73,0	77,5	82,0	1750	300	175	90	4 600
350	550/440	190	15,0	8	93,0	102,5	108,5	2000	350	200	100	6 300
400	600/480	170	18,4	8	118,0	126,0	133,0	2250	400	250	125	8 100
450	650/520	160	22,9	8	143,0	153,0	163,0	2500	450	250	125	9 000
500	735/570	150	30,0	8	189,0	202,0	213,0	3000	500	275	150	11 500



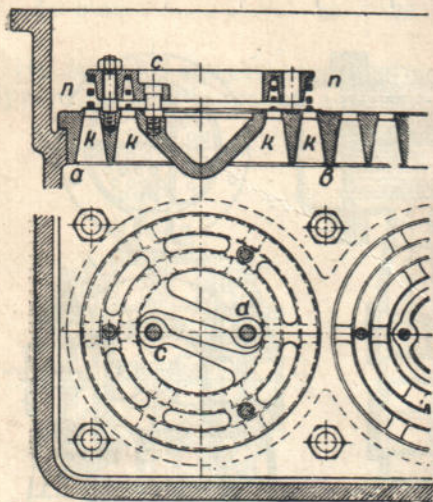
Фиг. 270. Двухступенчатый компрессор «Борзиг».



Фиг. 271. Двухступенчатый компрессор «Сулливан».

сорох при еще большем числе оборотов требуется еще меньшая масса клапана точно так же и подъем клапана по этим соображениям делают возможно малым— чаще всего не более 4 мм. Стальные пластинки обычно применяются для устройства клапанов.

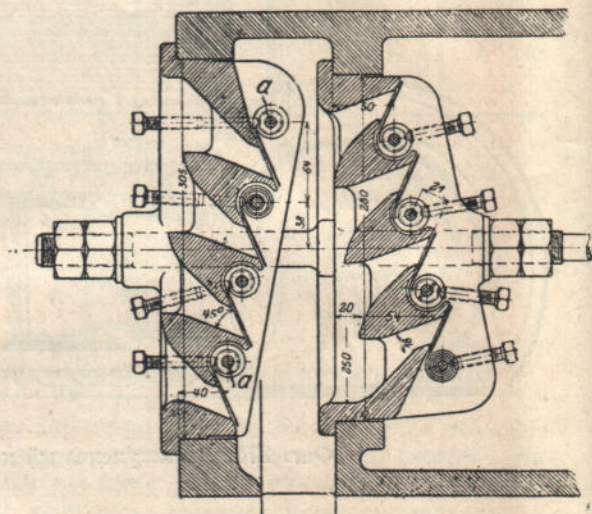
Площадь прохода в седле определяется из уравнения непрерывности потока  $fv \Rightarrow FC_m$ . Здесь  $f$  — площадь свободного прохода,  $v$  — скорость газа 20 — 25 м/сек;  $F$  — площадь поршня компрессора, а  $C_m$  — средняя скорость поршня, колеблющаяся от 1,5 до 4 м/сек.



Фиг. 272. Кольцевой клапан.



Фиг. 273. Клапан «Сулливан».



Фиг. 274. Клапаны «Гутермут».

На фиг. 272 изображен кольцевой клапан, один из группы клапанов (вместо одного большого клапана в больших компрессорах применяются группы меньших клапанов). Седло  $ab$  имеет две кольцевые щели  $kk$ , закрываемые сверху стальной пластинкой, изображенной отдельно на фиг. 272. В точках  $c$  и  $d$  пластинка закрепляется болтами. Прижимается к седлу пластинка пружинами  $pp$ .

Фиг. 273 представляет клапан «Сулливана» более простого устройства для вышеописанных одноступенчатых компрессоров.

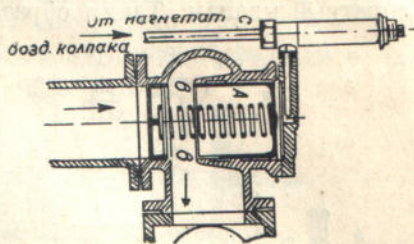
Кроме клапанов применяются в компрессорах и поршневые золотники с принудительной посадкой, управляемые от эксцентрика на валу компрессора. Интересную конструкцию представляют клапаны «Гутермут» (фиг. 274). Стальная пластинка спирально закрученным концом укреплена в  $a$ . В открытом состоянии клапан представляет минимальное сопротивление для прохода газа. Такие клапаны применяются и в насосах.

#### 4. Регулирование работы компрессора

Регулирование подачи сжатого воздуха компрессором лучше всего производить переменной числа оборотов, если только это допускается двигателем или трансмиссией. Паровые двигатели легко поддаются регулированию числа оборотов, но они применяются теперь все реже. Двигатели внутреннего сгорания до-

пускают некоторое регулирование числа оборотов; здесь, как и в паровых машинах, возможно автоматическое регулирование путем воздействия повышенным давлением на органы распределения двигателя.

Электромоторы постоянного тока допускают регулирование числа оборотов, но обычные индукционные моторы трехфазного тока работают с постоянным числом оборотов. В этом случае регулирование подачи воздуха компрессором производится действием повышенного давления на всасывающий клапан или всасывающий трубопровод. На фиг. 275 показано регулирование через всасывающий трубопровод. Обычно полый поршень А удерживается пружиной в своем верхнем положении и через щель *bb* воздух всасывается свободно. При избытке подаваемого воздуха повышенное давление подается по трубке *сс* и заставляет поршень опуститься и прикрыть щель *bb*. Объем всасываемого воздуха таким образом уменьшается.



Фиг. 275. Регулирование через всасывающую трубу.

## 5. Центробежные компрессоры

Действие центробежных компрессоров основано на тех же самых законах, что и действие центробежных насосов, и устройство центробежных компрессоров похоже на устройство насосов: такие же рабочие колеса и направляющие аппараты-диффузоры, передающие сжатый газ от одного колеса к другому. Сжимаясь, воздух уменьшается в объеме, поэтому размеры колес по мере сжатия уменьшаются.

Живая сила движущего вещества, создающая напор, выражается формулой  $\frac{1}{2}mv^2$ . Так как масса газа в том же объеме в несколько сот раз меньше массы жидкости, то для того, чтобы  $\frac{1}{2}mv^2$  могло получить такую же значительную величину, как и для жидкости, необходимо сильно увеличить второй множитель  $v^2$ . Отсюда видно, что центробежные компрессоры должны работать с гораздо большим числом оборотов, чем насосы. Практически достижимые скорости 3000—6000 оборотов в минуту могут создать даже при больших радиусах колес сравнительно небольшие напоры, поэтому приходится прибегать к большому числу ступеней.

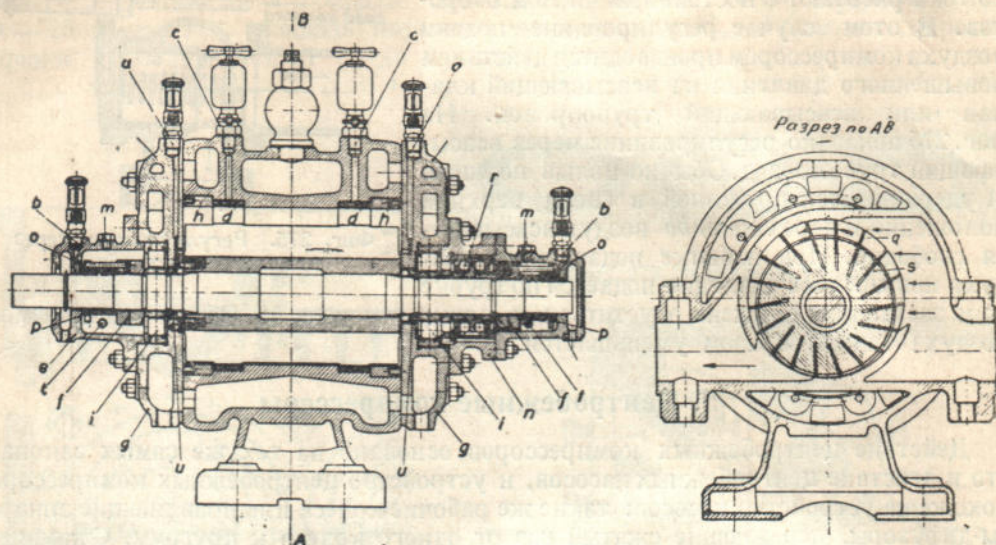
Центробежные компрессоры обыкновенно приводятся в движение паровыми турбинами и носят название турбокомпрессоров. Кривые характеристики центробежных компрессоров также очень похожи на характеристики центробежных насосов. При увеличении подачи при пониженном давлении и здесь сильно возрастает расход энергии. При работе в атмосфере мотор быстро перегревается.

## 6. Ротационные компрессоры

Центробежные компрессоры для давлений в 6—8 атм. строятся только для больших расходов, для малых же расходов их заменяют ротационные компрессоры. Преимущество ротационного компрессора перед поршневым то, что он может непосредственно соединиться с электромотором; сравнительная медленность хода поршневых компрессоров вызывает необходимость устройства ременных или зубчатых передач, связанных с потерями и усложнением установки.

Наиболее распространен и тщательно разработан тип ротационных компрессоров с серповидным рабочим пространством, разделенным радиальными передвигающимися пластинками. На фиг. 276 в двух разрезах показан компрессор Виттиха фирмы «Демаг», Дуисбург. Движение воздуха показано стрелками. В корпусе компрессора вращается эксцентрично поставленный барабан *С* с выдвижными стальными пластинками *q*. Под влиянием центробежной силы пластинки выдвигаются по мере того, как расширяется серповидное пространство при движении от *А* к *В*; по мере сужения этого пространства от *В* к *С* они снова вдвигаются

в свои щели. На дуге АВ пластинки выдвигаются, и пространство между ними заполняется воздухом атмосферного давления. За точкой В начинается сжатие, серп идет на утонение, пространство между пластинками уменьшается и воздух, находящийся в нем, сжимается. За точкой С сжатый воздух выталкивается через обратный клапан. Таким образом сжатие доводят не более как до 5 атм., чтобы



Фиг. 276. Ротационный компрессор Виттиха.

не повышать сильно температуру и утечку через щели. Большие давления достигаются последовательным соединением двух компрессоров. Объем всасываемого в минуту воздуха определяется по формуле:

$$V = l (\pi D - SZ) 2 m \text{ м}^3.$$

Здесь  $D$  — диаметр цилиндра, в котором вращается барабан с пластинками;  $l$  — его длина;  $S$  — толщина пластинок;  $Z$  — число пластинок;  $2m$ , равное наибольшему выдвигению пластинки, — двойной эксцентрисите оси барабана по отношению к оси цилиндра;  $n$  — число оборотов в минуту. Компрессор работает как поршневой с площадью поршня в  $2ml$ . Подача воздуха происходит равномерно, поэтому при них нет надобности в воздушных котлах.

Компрессор фирмы «Егер» состоит из двух барабанов с лопастными колесами; сцепление лопастей таково, что они при вращении засасывают и сжимают воздух.

## XVII. КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ

### 1. Общие соображения

Компрессоры в противоположность насосам совершенно не зависят от уровня воды в скважинах, поэтому они располагаются над поверхностью земли. Устраивать дорогие углубленные в землю помещения для них не нужно.

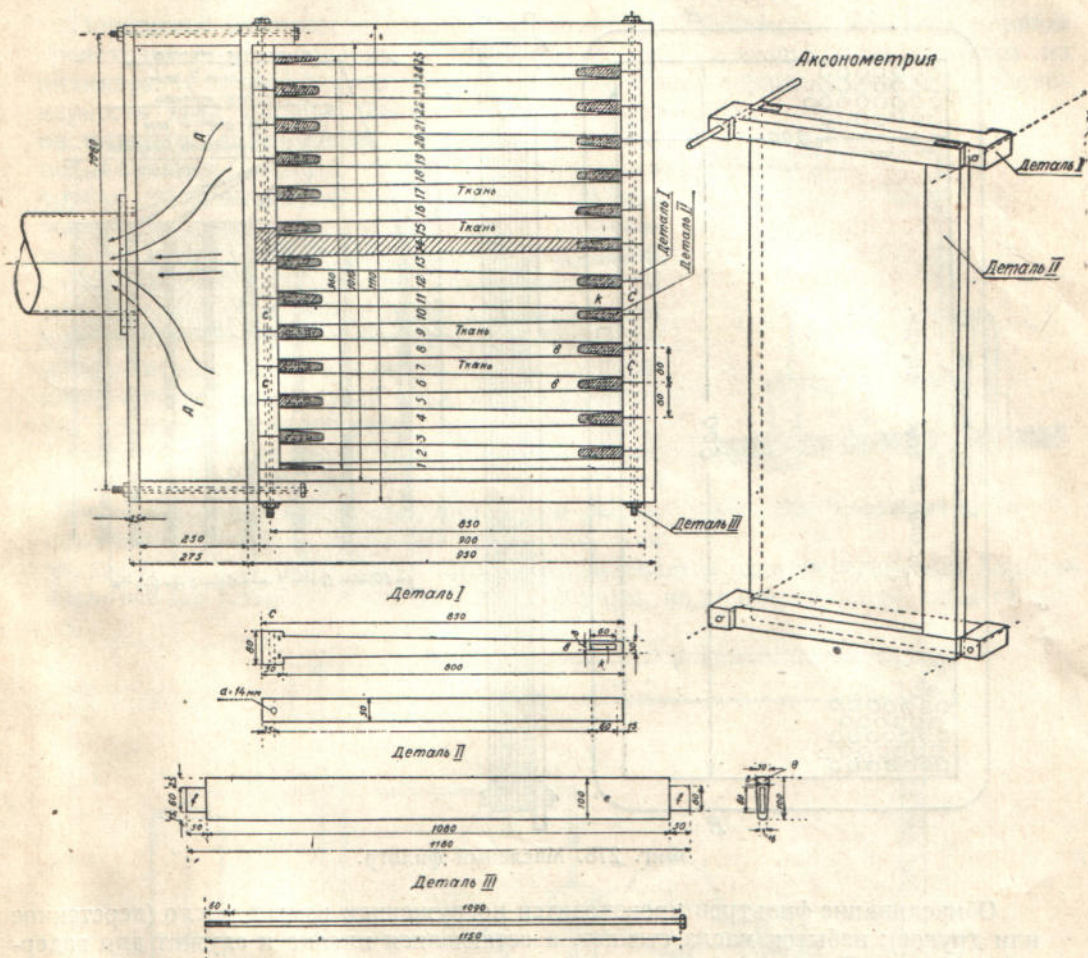
В устройстве здания компрессорной станции нет никаких особенностей, которые отличали бы его от обыкновенных промышленных зданий. Подвальные помещения для компрессоров обыкновенно не нужны, все трубопроводы располагаются или в каналах пола или просто в помещениях выше человеческого роста, чтобы не мешать проходу.

Пол, как обычно на станциях, из керамиковых плит для удобства содержания его в чистоте. На станции должно быть чисто, чтобы пыль с частицами песка не попадала в подшипники. Важно, чтобы сами машины содержались в чистоте, ежедневно обтирались тряпками и проч. Чисто содержимая машина поддерживает у

обслуживающего персонала заботу о ней и бдительность к всяким неполадкам, какие могут случиться.

## 2. Всасывание. Фильтры

Воздух для компрессора должен засасываться снаружи — где он холоднее, и с высоты 2—4 м — где он чище. Но одной этой меры часто недостаточно для получения чистого воздуха и приходится прибегать к установке фильтра из бумазы.



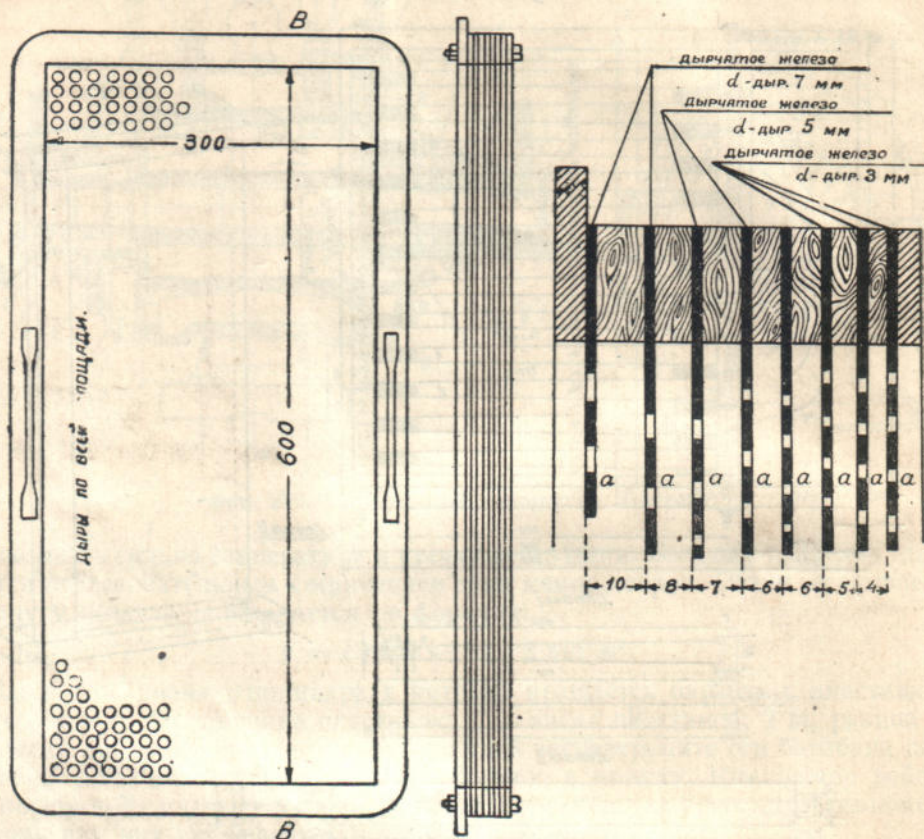
Фиг. 277. Бумазейный фильтр.

Устройство бумазейного фильтра показано на фиг. 277. Бумазея натягивается зигзагообразно — 1,2,3... 24, образуя таким образом большую поверхность фильтрации; прошедший через бумазею, как показано стрелками, воздух попадает в камеру АА, откуда уже и засасывается трубой компрессора. Рама фильтра составлена из отдельных стержней СВ, расположенных попеременно широким концом С то в одну, то в другую сторону. Бумазея натягивается на вертикальные пластинки dl, входящие своими шипами ff в прорезы k. Отдельные части стягиваются болтами. На 1 м<sup>2</sup> бумазеи считают 5 м<sup>3</sup> воздуха в час.

## 3. Масленный фильтр

В последние годы вошли в употребление масляные фильтры. Устраиваются они так, что в коробку с двумя сетчатыми стенками насыпаются короткие обрезки

трубок, смоченных маслом; проходя через этот слой, воздух освобождается от пыли, прилипающей к маслу. Новейшая конструкция масляных фильтров изображена на фиг. 278. Железные дырчатые пластинки *aa* собираются в раму *BB* размером  $300 \times 600$  мм. Восемь пластинок располагаются на указанных на фиг. 279 расстояниях одна от другой, причем дыры одной пластинки приходятся против сплошной стенки соседней пластинки; таким образом воздух, проходящий через дыры одной пластинки, наталкивается на масляную стенку соседней, благодаря чему пыль ударяется о стенку и прилипает к маслу.



Фиг. 278. Масляный фильтр.

Обмасливание фильтров производится погружением рамы в масло (веретенное или другое); избыток масла стекает, а остающаяся пленка и служит для задержания пыли. По временам рамы надо промывать в горячей воде и потом снова обмакивать в масло.

При испытании фильтра в лаборатории (Моск. губ. охраны труда) получены следующие результаты:

Количество воздуха, проходящего через раму м <sup>3</sup> , час	Сопротивление фильтра в мм водяного столба	Запыленность воздуха мг/м <sup>3</sup>	
		До фильтра	После фильтра
700—800	1,5—2,0	2,8	1,1
1500—1700	5—7	41,0	2,5
		87,8	0

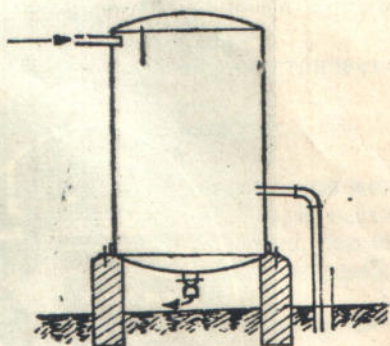


При больших расходах воздуха несколько рам вставляются в деревянный переплет.

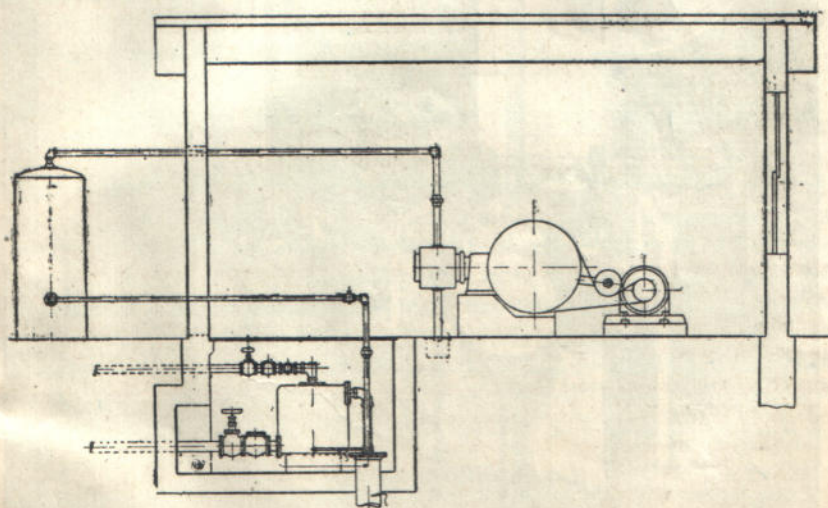
Фильтры помещаются или в особой башенке во дворе станции, как для вентиляции, или же башенка устраивается на крыше. На харьковских станциях фильтры помещаются в камере в подвале, но воздух подводится к ним трубою сверху.

#### 4. Воздушный котел

Поршневой компрессор работает неравномерно. В течение части хода поршня происходит сжатие воздуха, и только после сжатия воздух выталкивается из цилиндра. К этому присоединяется еще, как и у всех поршневых машин, неравномерность хода поршня. Таким образом воздух из цилиндра компрессора выходит толчками, под влиянием которых давление в отводящих трубах то повышается, то понижается. Чтобы выравнять подачу воздуха в трубы, а следовательно и давление в них, ставят воздушный котел (фиг. 279). Если взять объем котла в 50 объемов цилиндра, то колебания давления в нем при одноцилиндровом компрессоре и цилиндре двойного действия будут около 1%. Воздушный котел служит и для другой цели: воздух выносит из цилиндра компрессора смазочное масло. В воздушном котле масло должно быть выделено. Опыт харьковского водопровода показал, что лучшее отделение масла получается при расположении вводной и выводной трубы так, как показано на фиг. 280; кроме того, устанавливается еще перегородка. Однако масло все же попадает в трубы и в резервуары, но до потребителей воды не до-



Фиг. 279. Воздушный котел.



Фиг. 280. Схема компрессорной станции.

ходит, оставаясь на поверхности резервуаров. Полному отделению масла мешает высокая температура сжатого воздуха, при которой часть масла находится в виде пара.

Раньше котлы устанавливались внутри здания, теперь их ставят снаружи (на случай взрыва). Морозы не окажут вредного влияния на котел, если ежедневно

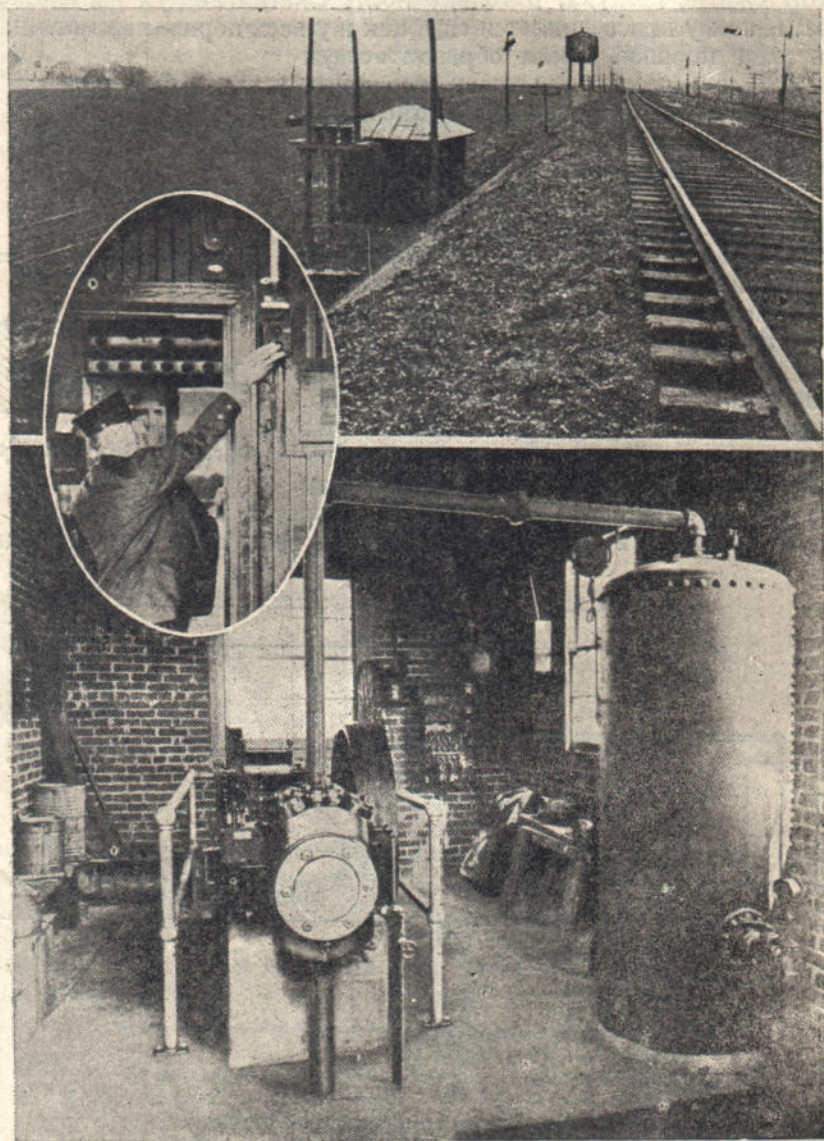
или раз в смену выпускать воду и масло, собирающееся на дне котла; охлаждение же котла выгодно для отделения масла.

На фиг. 280 показана схема компрессорной станции фирмы «Сулливан» с котлом снаружи.

Устройство котла ничем не отличается от обыкновенных паровых котлов. Клепку в ближайшее время, вероятно, заменит сварка.

### 5. Ременная передача

На фиг. 280 и 281 показана ременная передача от электромотора к компрессору с натяжным роликом, поддерживаемым особым рычагом, прикрепленным к ста-



Фиг. 281. Автоматическая станция.

нине. При близком расположении мотора к компрессору можно обходиться и без натяжного ролика, если, — что часто бывает, — компрессор работает не на полную нагрузку.

Если компрессор выбирается на пусковое давление, а во время работы давление значительно падает, то ременная передача и без постоянного ролика работает вполне исправно — без скольжения.

При устройстве компрессорной станции первого сталинского водопровода около с. Щегловки были заказаны натяжные ролики (лениксы), но их во время не получили, пустили компрессоры без них и обнаружили, что в роликах нет надобности. Опыт харьковских компрессорных станций также подтверждает справедливость этой мысли. Близкая установка компрессора и мотора в сравнении с обычной практикой ременной передачи, когда расстояние между осями шкивов делают в 4—5 раз более диаметра большего шкива, дает большой выигрыш места.

Для определения расстояния между осями шкивов мотора и компрессора обыкновенно вычерчивается ременная передача с натяжным роликом, равным диаметру малого шкива с плавными переходами ремня от шкива к шкиву, и по чертежу определяется расстояние.

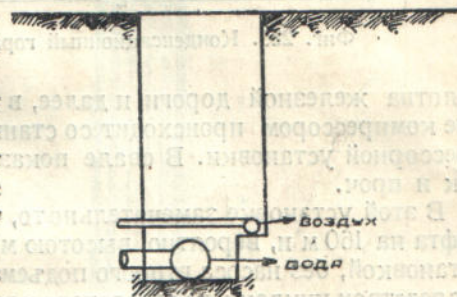
Применяется и зубчатая передача от мотора к компрессору; она отличается шумом.

## 6. Выбор числа компрессоров

На малых установках обыкновенно ставят два компрессора, на полную мощность каждый. Резерв получается стопроцентный. Однако для полной надежности работы этого недостаточно; когда один компрессор будет в ремонте, резерва нет. Необходимо еще третий компрессор, чтобы и в этом случае имелся резервный агрегат, который мог бы заменить работающих в случае аварии с ним. По соображениям экономии такого полного резерва обыкновенно не устраивают.

На более крупных установках ставят часто три агрегата, на половинную мощность каждый; таким образом уменьшают резерв до 50% и делают установку более гибкой: при половинной нагрузке работает полной нагрузкой одна машина.

Постановка большего числа агрегатов на крупных станциях дает им гибкость, необходимую при переменной нагрузке.



Фиг. 282. Схема укладки воздухопровода.

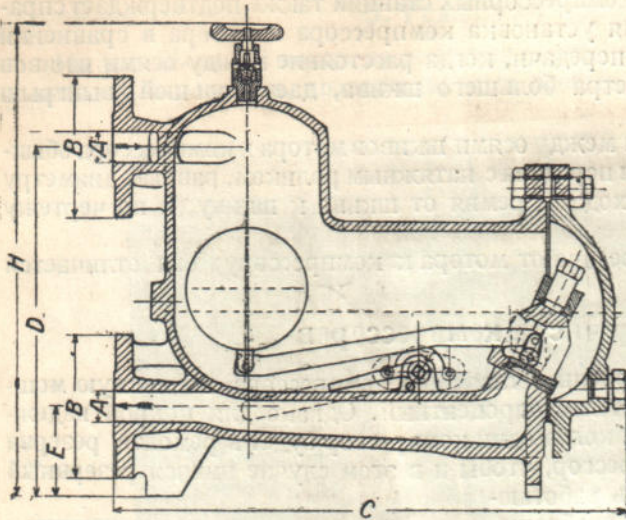
Компрессоры с электромоторами трехфазного тока обыкновенно не могут изменять подачу воздуха, так как моторы работают с постоянным числом оборотов. Часто приходилось наблюдать избыточную подачу воздуха, потому что моторы не поддаются регулировке числа оборотов. Самая лучшая регулировка компрессоров — переменной числа оборотов; при невозможности этого — остается автоматическое регулирование всасывающего клапана или, по крайней мере, всасывающей трубы. К сожалению, этот способ регулирования у нас не применяется. Необходимо, чтобы наши заводы начали изготовлять на всасывающих клапанах регулировочные приспособления.

## 7. Трубопроводы

При эксплуатации одной компрессорной станцией нескольких скважин к каждой скважине должен быть подведен воздухопровод и от каждой скважины — водовод. Воздухопроводы и водоводы выгоднее укладывать в одной траншее, причем воздухопровод удобно расположить на уступе, как показано на фиг. 282. Трубы, не только водяные, но и воздушные, должны быть уложены ниже глубины промерзания. Как ни мало содержание паров воды в холодном зимнем воздухе, но при сжатии в несколько раз и последующем охлаждении в трубах пары благодаря уменьшению объема переходят в насыщенное состояние и конден-

сируются. Для сбора и отвода воды нужно установить конденсационный горшок (фиг. 283), автоматически выпускающий скопляющуюся воду. При грунтах, трудно поглощающих воду, нужно под горшок поместить слой щебня или чистого песка.

Автоматические конденсационные горшки, применяемые на паропроводах, вполне пригодны и здесь. Случаи замерзания мелко уложенных воздухопроводов бывали на харьковском водопроводе и на бакинских промыслах.



Фиг. 283. Конденсационный горшок.

## 8. Автоматические станции

Эрлифтная установка легко поддается автоматизации и управлению на расстоянии. На фиг. 282 показана внизу автоматическая станция на железной дороге Филадельфия-Раддинг около Тельфорда. Внизу виден компрессор, за ним (не виден) — мотор; ременная передача ограждена перилами; справа — воздушный котел с манометрами; наверху видно здание станции у

полотна железной дороги и далее, в 160 м от него, напорная башня. Управление компрессором происходит со станции Тельфорд на расстоянии 1 км от компрессорной установки. В овале показаны кнопки управления, сигнальный звонок и проч.

В этой установке замечательно то, что подача воды в башню, удаленную от эрлифта на 160 м и, вероятно, высотой метров десять, производится одной и той же установкой, без насоса второго подъема, как это делается обычно. Выполнено это посредством циклонного сепаратора и вторичного эрлифта в самой напорной башне. На фиг. 257 указана схема устройства этой установки. Из эрлифта *ll* смесь попадает в сепаратор. Выделившаяся в сепараторе вода давлением воздуха, вероятно, около 1—2 абс. атм, передвигается по трубе *tt* к напорной башне, а сжатый воздух по трубе *aa* также направляется туда и посредством наконечника *H* образует второй эрлифт в подъемной трубе напорной башни.

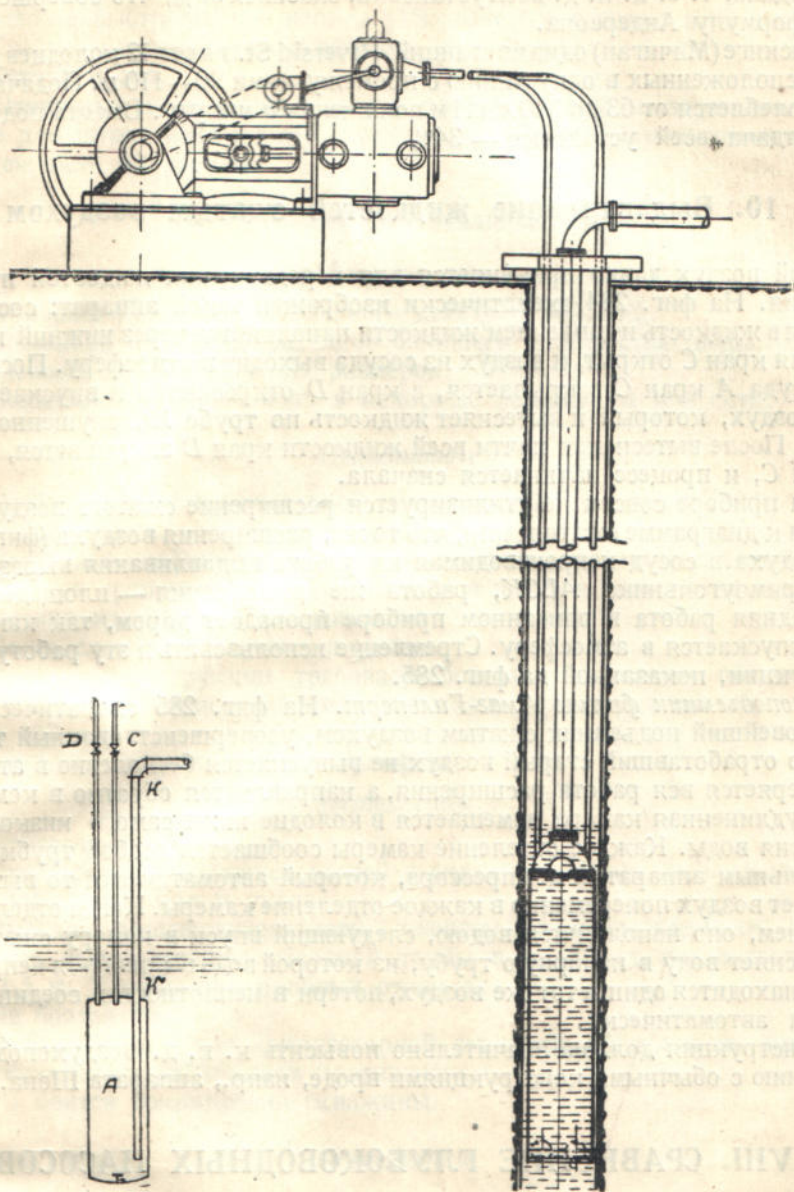
Чтобы мотор мог начать двигаться без полной нагрузки, на компрессоре установлен центробежный регулятор, который в покое и при малой скорости держит открытым особый клапан, и цилиндры работают вхолостую; при полном же числе оборотов клапан закрывается и компрессор начинает работать.

Пуск и остановки подачи охлаждающей воды производятся посредством особого крана с соленоидом также автоматически: при отсутствии тока кран закрыт. Звонок дает знать о наполнении напорной башни. Смазка компрессора производится также автоматически. Четырехлетняя работа 1920—1924 гг. этой установки дала вполне удовлетворительные результаты.

## 9. Существующие установки

В Дюбеке (шт. Айова) в Сев. Америке в 1922 году установлены эрлифты после сравнения двух вариантов устройства: 1) вертикальные центробежные насосы с электромоторами и 2) эрлифты с компрессорами и электромоторами. Несмотря на более высокий к. п. д. центробежных насосов, выбраны были эрлифты, так как учет всех эксплуатационных расходов показал, что в общей сложности эр-

лифты несколько экономнее. Большое преимущество представляет простота устройства и надежность работы, связанная с отсутствием движущихся частей ниже поверхности земли.



Фиг. 284. Подъем воды посредством выдавливания ее сжатым воздухом.

Фиг. 285. Новый подъемник фирмы «Амаг Гильперт».

Компрессорная станция оборудована двумя компрессорами; производительность каждого из них  $68 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Синхронные моторы — по 400 л. с. Воздух подается сначала в большой воздушный котел и оттуда уже направляется в пять скважин, оборудованных сулливановскими эрлифтами, с центральной воздушной трубкой 63 мм и подъемной трубой 200 м. Каждый эрлифт оборудован циклонным сепаратором, расположенным в подземном колодце. Сепаратором вода подается в подземный резервуар. Вода всех пяти скважин перед резервуаром проходит

через измерительный перелив. Дальнейшая подача воды в город производится центробежными насосами. При испытании все пять скважин подавали 24 500 м<sup>3</sup> в сутки при средней высоте подъема 38,4 м. Расход воздуха был 3,3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воды. Общая отдача, т. е. к. п. д. всей установки, оказался 36%, что совершенно опровергает формулу Андерсона.

В Лансинге (Мичиган) одна из станций *Riversid St.* имеет 12 колодцев глубиною 200 м, расположенных в одну линию с промежутками 90—110 м. Подача скважин сильно колеблется от 63 до 310 л на 1 м понижения в минуту. Высота подъема—45. Общая отдача, всей установки — 34%.

## 10. Выдавливание жидкостей сжатым воздухом

Сжатый воздух давно применяется для передвижения жидкостей путем выдавливания. На фиг. 284 схематически изображен такой аппарат: сосуд *A* погружается в жидкость и давлением жидкости наполняется через нижний клапан *B*, в это время кран *C* открыт, и воздух из сосуда выходит в атмосферу. После наполнения сосуда *A* кран *C* закрывается, а кран *D* открывается и впускает в сосуд старый воздух, который и вытесняет жидкость по трубе *kk*, опущенной до дна сосуда *A*. После вытеснения почти всей жидкости кран *D* закрывается, открываются кран *C*, и процесс начинается сначала.

В этом приборе совсем не утилизируется расширение сжатого воздуха. Если обратимся к диаграмме сжатия, или, что то же, расширения воздуха (фиг. 263), то впуск воздуха в сосуд и производимая им работа выдавливания выразится площадью прямоугольника *ALCK*, работа же расширения — площадью *KCB*. Эта последняя работа в описанном приборе пропадает даром, так как сжатый воздух выпускается в атмосферу. Стремление использовать и эту работу привело к конструкции, показанной на фиг. 285.

*Воздухоподъемник фирмы Амаг-Гильперт.* На фиг. 285 схематически представлен новейший подъемник сжатым воздухом, усовершенствованный таким образом, что отработавший старый воздух не выпускается бесполезно в атмосферу, причем теряется вся работа расширения, а направляется обратно в компрессор. Двойная удлиненная камера помещается в колодце ниже самого низкого (рабочего) уровня воды. Каждое отделение камеры сообщается особой трубкой с распределительным аппаратом компрессора, который автоматически то вытягивает, то нагнетает воздух попеременно в каждое отделение камеры. Когда отделение под разряжением, оно наполняется водою, следующий впуск в камеру сжатого воздуха вытесняет воду в напорную трубу, из которой вода выливается непрерывно. В работе находится один и тот же воздух, потери в неплотностях соединений пополняются автоматически.

Эта конструкция должна значительно повысить к. п. д. воздухоподъемника по сравнению с обычными конструкциями вроде, напр., аппарата Шона.

## ХVIII. СРАВНЕНИЕ ГЛУБОКОВОДНЫХ НАСОСОВ

### Поршневые штанговые насосы

#### Достоинства

1. Высокий коэффициент полезного действия для малых и больших расходов 70—80%.
2. Коэффициент полезного действия не падает с увеличением глубины подъема, как при других способах подъема.
3. Возможно не только поднимать воду на поверхность, но и нагнетать ее в резервуары или сеть; при этом применением дифференциального плунжера достигается большая равномерность подачи и работы однопоршневого насоса.

## Недостатки

1. Меньшая производительность по сравнению с другими способами подъема при том же диаметре, благодаря малому числу оборотов. Однако, новейшие немецкие быстроходные насосы (150 обор.) устраняют этот недостаток.
2. Требуется вертикальной скважины.
3. Боятся песка.
4. Штанговые насосы пользовались плохой славой из-за поломок штанг. Выбором для штанг надлежащего металла в настоящее время достигнута большая надежность их работы.

## Центробежные вертикальные насосы

### Достоинства

1. Хороший коэффициент полезного действия 50—70%.
2. Возможна подача значительно большего количества воды, чем поршневым насосом соответствующих размеров.
3. Возможно нагнетать воду в напорные резервуары или сеть.

### Недостатки

1. Требуется строго вертикальной скважины.
2. Боятся песка.
3. Понижает коэффициент полезного действия с увеличением глубины подъема, благодаря трению вала о подшипники и воду, а также коэффициент полезного действия мал для малых расходов.
4. Более сложен в монтаже и уходе.
5. Прежние конструкции требовали больших диаметров обсадных труб; новые конструкции приспособились и к малым диаметрам обсадных труб, но не менее 150 мм.

## Эрлифты

### Достоинства

1. Простота устройства.
2. Отсутствие движущихся частей в скважине делает их особенно надежными в работе при малом уходе.
3. Высокая производительность, значительно превосходящая поршневые насосы. По всему сечению обсадной трубы вода может подаваться со скоростью 1,5 м. Удобны при пробных откачках.
4. Не боятся песка.
5. Возможность одной компрессорной станцией обслуживать много скважин, разбросанных на большом протяжении.
6. Не боятся искривления скважины.


### Недостатки


1. Малый коэффициент полезного действия 25—35% — главный недостаток.
2. Требуется часто излишнее углубление скважины, чтобы получить надлежащее погружение эрлифта.
3. Подача только на поверхность, так как передача по горизонтальному направлению очень невыгодна и неудобна.
4. Аэрация воды во время подъема в железистых водах вызывает скопление окиси железа на стенках трубы, что, однако, легко поддается очистке.

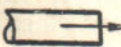
### Местные потери

Для подсчета потерь в трубах сначала определяются потери на трение по всей длине труб, включая и фасонные части. К этим потерям затем прибавляются местные потери в фасонных частях: тройниках, поворотах и пр. Таким образом получается общая потеря в водоводе. При длинных водоводах, измеряемых километрами, местные потери отдельно не подсчитываются, а прибавляется огульно 5% к потерям на трение. При коротких же водоводах местные потери могут составлять очень крупную или даже главную часть потерь, поэтому и должны быть точно подсчитаны. Местные потери обыкновенно выражаются скоростным напором  $\frac{v^2}{2g}$ , умноженным на коэффициент  $\zeta$ , установленный опытом.

Значение коэф.  $\zeta$

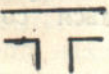
1.  При входе в трубу без расширения затрачивается напор  $\frac{v^2}{2g}$  [на изменение скорости и на сужение сечения струи и трения равный  $\zeta \frac{v^2}{2g}$ , причем  $\zeta = 0,5$ . В сумме весь расход напора при входе  $1,5 \frac{v^2}{2g}$ .

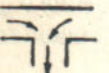
2.   $\zeta = 0,1$ , если вход имеет форму правильного раструба, в сумме 1,1.


3.  При выходе  $\zeta = 1$ , так как теряется вся энергия скорости.

4.  $\zeta \approx 2-3$ . Предохранительная сетка незасоренная.


5.  $\zeta \approx 3-5$ . Обратный клапан.

6.   $\zeta = 1,5$ . Тройник.

7.   $\zeta = 3$ . Противоток.

8.  Внезапное сужение  $\zeta$  по таблице

$\frac{\omega_1}{\omega}$	0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
$\zeta$	0,5	0,5	0,42	0,34	0,25	0,15

9.  Диафрагма



$\frac{\omega_1}{\omega}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\zeta$	226	48	17,5	7,8	3,8	1,8	0,8	0,3	0,06

10.



Закругленное колено по таблице при угле  $90^\circ$ , а при угле  $\beta^\circ \neq 90^\circ$  надо умножить на отношение  $\beta^\circ : 90^\circ$ .

$\frac{d}{R}$	0,1	0,4	0,8	1,0	1,4	1,8	2,0
$\zeta$	0,13	0,14	0,21	0,29	0,66	1,4	2,0

11. Задвижка в круглой трубе

$\frac{x}{D}$	1	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$\zeta$	0,00	0,07	0,26	0,80	2,06	5,5	17,0	98,0

12.



Дроссельный клапан в круглой трубе

$\alpha^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$45^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$
$\zeta$	0,24	0,52	1,54	3,90	10,8	18,7	32,6	118	751

13. Поворот без закругления

$\alpha^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$140^\circ$
$\zeta$	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98	1,86	2,43

14. Колено  $90^\circ$  по нормальному сортаменту  $\zeta$  от 0,2 для малых диаметров до 0,3 для больших.

15. Для полуколена в  $45^\circ$  половина предыдущей величины. Для меньших углов поворота пропорционально меньше.

16.

 $\zeta = 0,1$ . Переходы суживающиеся

17.



Переходы расширяющиеся

$\alpha$	до $7^\circ$	10—15°	20—30°	35—45°
$\zeta$	около 0,2	0,5	0,6—0,7	0,8—0,9

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
<b>Отдел первый</b>	
<b>Поршневые штанговые насосы</b>	
<b>I. Описание насосов</b>	
1. Штанговые насосы .....	5
2. Всасывающая труба .....	6
3. Клапан .....	6
4. Поршень .....	6
5. Штанги .....	7
6. Неравномерность работы штангового насоса .....	7
7. Дифференциальный насос .....	8
8. Штанговый насос с двумя поршнями .....	9
9. Шахтные насосы двойного действия .....	9
<b>II. Новые типы насосов</b>	
1. Насосная установка прежнего типа .....	11
2. Современные установки .....	12
3. Быстроходные насосы .....	18
4. Новая конструкция насосов фирмы «Амаг Гильперт» .....	21
5. Гидравлическое и пневматическое выравнивание работы насоса .....	24
6. Насосы других фирм .....	27
7. Балансирные лебедки .....	27
8. Насосы с двумя поршнями .....	30
9. Американские насосы .....	31
10. Наземные здания .....	36
11. Подземная станция .....	36
12. Двигатели для насосных станций .....	39
13. Двигатели завода «Возрождение» .....	39
14. Двигатели для колхозов .....	41
15. Деревянный бак .....	42
16. Фильтры для скважин .....	42
17. Новоизобретенный насос .....	44
<b>Отдел второй</b>	
<b>Центробежные горизонтальные насосы</b>	
<b>III. Устройство насосов</b>	
1. Понятие о центробежных насосах .....	45
2. Напор, создаваемый насосом .....	46
3. Многоступенчатые насосы .....	47
4. Двухстороннее всасывание .....	51
5. Осевое давление и разгрузочные диски .....	52
6. Уплотняющие кольца .....	54
7. Фундаментная плита .....	54
8. Фундамент насоса .....	55
9. Соединительные муфты, шкивы, подшипники .....	56
10. Монтаж насосов и моторов .....	57
11. Практические данные .....	58
12. Насосы для загрязненной воды .....	60
13. Поршневые насосы .....	64
14. Резервные двигатели .....	66
<b>IV. Свойства центробежных насосов</b>	
1. Характеристика насосов .....	66
2. Зависимость между $H$ , $Q$ , $H_N$ и $n$ .....	67
3. Кривые при переменном числе оборотов .....	68
4. Значение формы кривых .....	69
5. Работа двух или нескольких насосов в общий водобод .....	71
6. Условия, при которых насос нельзя ввести в работу .....	72

7. Расчет мощности насоса и двигателя	72
8. Коэффициент полезного действия станции	74
9. Кавитация	75
<b>V. Оборудование станций и скважин</b>	77
1. Коэффициенты неравномерности	77
2. Выбор мощности и числа насосов. Распределительная сеть с напорным резервуаром	78
3. Станции при сети без напорного резервуара	81
4. Высота напора на станции	82
5. Последовательная работа насосов	83
6. Станции для сетей с водонапорными баками малых объемов	84
7. Высота всасывания и расположения насоса	87
8. Всасывающий клапан	90
9. Обратный клапан; предохранительный клапан	91
10. Клиновые задвижки	96
11. Кольцевые задвижки	101
12. Водомеры	102
13. Вакуум-насосы, Эльмо-насосы	105
14. Присоединение насоса к скважине	107
15. Всасывающие трубы	109
16. Напорные трубы	111
17. Правила проектирования соединительных труб	111
18. Из американской практики	115
19. Из нашей практики	117
20. Последовательная работа насосов	120
21. Водяные удары и борьба с ними	121
<b>VI. Расположение станций. Здание станции</b>	125
1. Расположение станции относительно скважин	125
2. Сифоны	126
3. Здание насосной станции	129
4. Ввод труб в здание	130
5. Здания средних и больших станций	130
6. Изоляция станций от воды	131
7. Расположение насосов и труб	132
8. Стены, перекрытие, освещение, отопление	133
9. Смета	134

## Отдел третий

### Вертикальные центробежные насосы

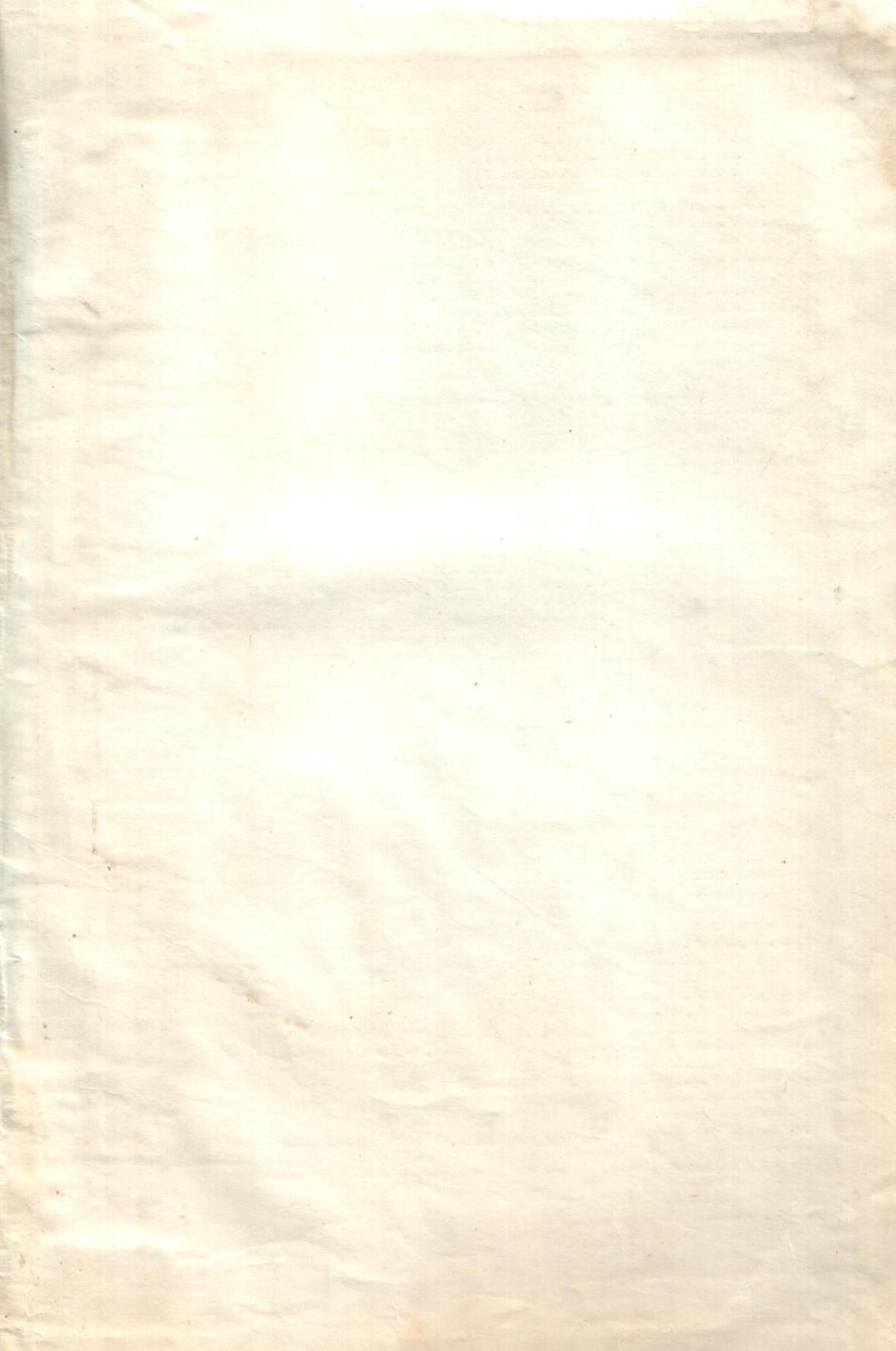
<b>VII. Насосы для буровых скважин</b>	135
1. Насос фирмы «Вейзе сыновья»	135
2. Насос фирмы «Борзиг»	137
3. Насос фирмы «Оддессе»	137
4. Насос для грязной воды	138
5. Показатель уровня	138
6. Разные способы передачи движения насосу	138
7. Вертикальные насосы для шахтных колодцев	140
<b>VIII. Центробежные глубоководные насосы новейшей конструкции</b>	141
1. Немецкие насосы	143
2. Американский насос	144
3. Характеристики работы насоса	146
4. Вертикальные насосы с погруженным в воду насосом и мотором	146
5. Защита от проникновения воды в мотор	147
6. Работа насосов	149
7. Особые приспособления для увеличения глубины всасывания. Инжектор	150
8. Водяная турбина для той же цели	150
<b>IX. Описание насосных станций с горизонтальными насосами</b>	152
1. Станция постройки А. Тима	152
2. Станция г. Бреславля	152
3. Проект станции Березниковского комбината	154
4. Станция г. Мангейма	155
5. Станция Вюртембергского районного водоснабжения	156
6. Проект станции Криворожского водопровода	158
7. Главная станция Запорожстали	161
8. Станция на Северном Донце	165
9. Станция в Камедском	168
10. Главная насосная станция Магнитогорского завода	168
11. Водосборы и насосная станция г. Конкордия в США	172
12. Автоматический вакуум-насос	174

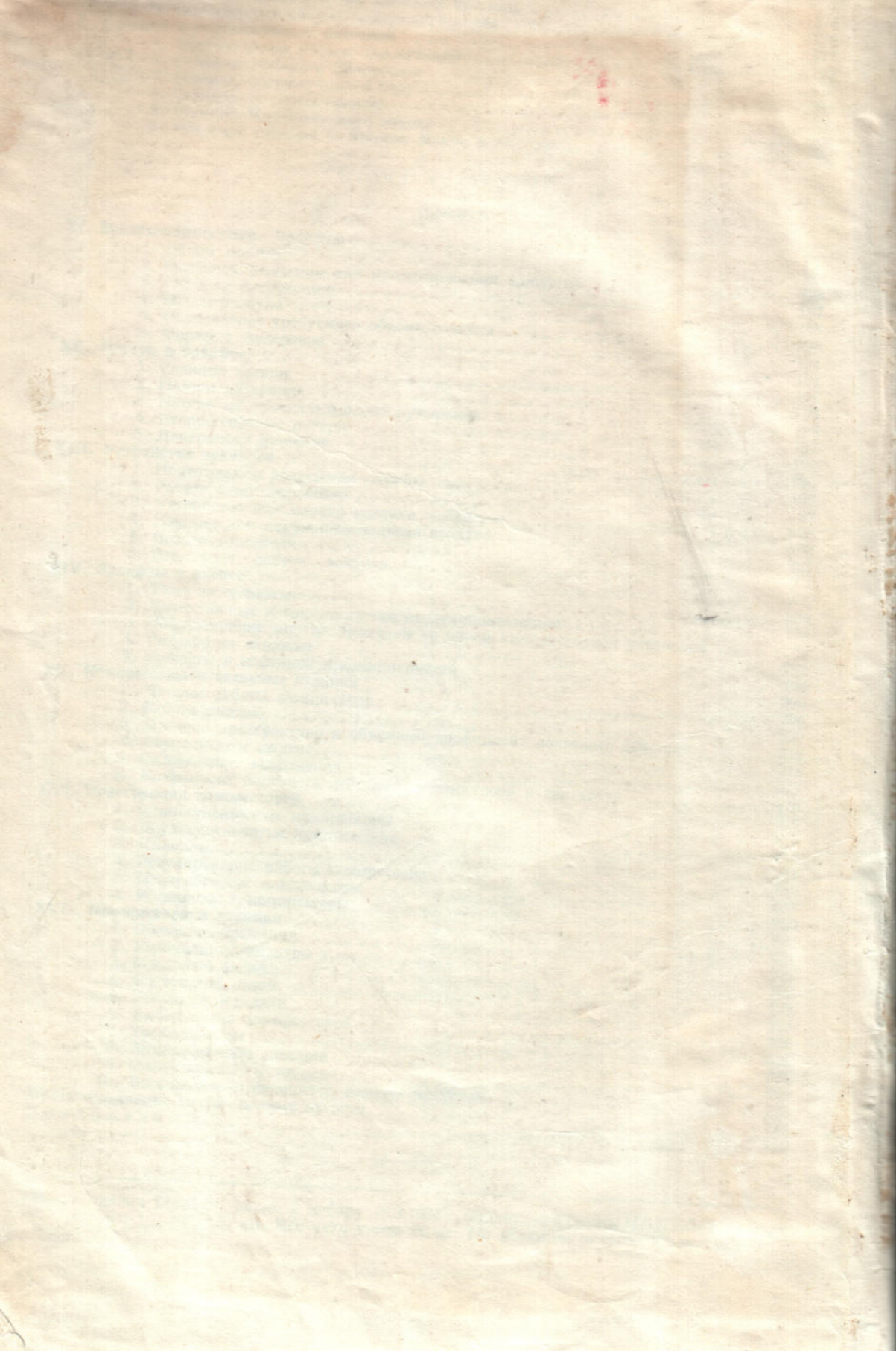
13. Автоматизация работы насосных станций	174
14. Определение объема воздушного котла	176
<b>X. Станции с вертикальными насосами</b>	177
1. Вертикальные насосы для станций	177
2. Станция Великого Запорожья	178
3. Насосы, погруженные в воду	182
4. Станция г. Дюссельдорфа	182
5. Станция Криворожского завода	186
6. Насосная станция г. Shipton Moyne в Англии	186

## Отдел четвертый

### Эрлифты

<b>XI. Воздухоподъемники. Эрлифты</b>	187
1. Общие понятия	188
2. Основные величины для проектирования эрлифтов	188
3. Глубина погружения	187
4. Объем воздуха	189
5. Определение требуемого объема воздуха	190
6. Формула Андерсона	191
<b>XII. Потери в эрлифте</b>	192
1. Главные потери	192
2. Потери на трение	193
3. Потери на проскальзывание пузырьков	193
4. Второстепенные потери	194
5. Диаграммы эрлифтов	195
<b>XIII. Устройство эрлифтов</b>	196
1. Подъемная и воздушная трубы	196
2. Расчет воздухопроводов	197
3. Устройство для впуска воздуха — башмак	198
4. Башмак для наружного подвода воздуха	198
5. Воздуходвигатели	201
6. Вторичная работа воздуха	204
<b>XIV. Эрлифты в работе</b>	205
1. Уход за эрлифтами	205
2. Двухэтажные и многоэтажные воздухоподъемники	205
3. Обслуживание многих эрлифтов из одной компрессорной установки	206
4. Разработка скважин	207
5. Эрлифты в нефтяной промышленности	208
<b>XV. Компрессоры и насосные станции</b>	209
1. Теория работы компрессора	209
2. Работа сжатия	209
3. Вредное пространство и объемный коэффициент полезного действия	212
4. Ступенчатое сжатие	213
5. Охлаждение всасывания	213
6. Коэффициент полезного действия компрессора и двигателя	213
<b>XVI. Конструкция компрессоров</b>	214
1. Одноступенчатые компрессоры	216
2. Двухступенчатые компрессоры	216
3. Клапаны	218
4. Регулирование работы компрессора	219
5. Центробежные компрессоры	219
6. Ротационные компрессоры	220
<b>XVII. Компрессорные станции</b>	220
1. Общие соображения	221
2. Всасывание. Фильтры	221
3. Масленный фильтр	223
4. Воздушный котел	224
5. Ременная передача	225
6. Выбор числа компрессоров	225
7. Трубопроводы	226
8. Автоматические станции	226
9. Существующие установки	226
10. Выдавливание жидкостей сжатым воздухом	228
<b>XVIII. Сравнения глубоководных насосов</b>	228
<b>Приложение</b>	230





400

