

62812

~~11479~~

М19 проф. Н.Г. Малишевский

сост.

0

М-19

насосные станции

ОНТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ

НКТП

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ

628-12

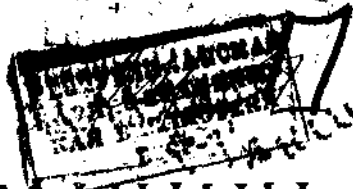
M-19

Проф. Н. Г. МАЛИШЕВСКИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО

Д Е П

1967



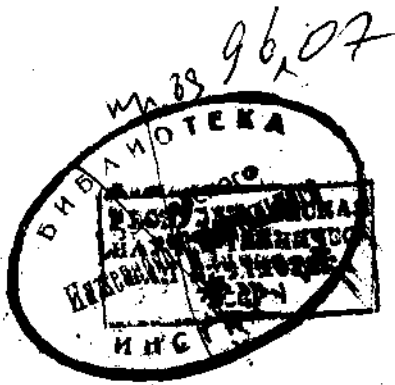
НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

+

~~628-12~~

628-12

65536



ОНТИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ

Харьков

РЕПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕС-
КАЯ БИБЛИОТЕКА
Б.СР

1934

РЕПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕС-
КАЯ БИБЛИОТЕКА
А. С. Л. ССР

И Р НКТП

Киев

Библиографическое описание
этого издания помещено в
„Летописи Укр. печати“, Кар-
точный реперт. и других указ-
ателях Укр. Книж. Палаты

СЕКТОР „СТРОИТЕЛЬНЫЙ“

25-15-3

Главный редактор *Н. Д. Плехов*
Техоформление *В. И. Ландсберг*

Типография Государственного научно-технического издательства Украины
Киев, ул. Воровского, № 42.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство водопроводов началось еще в доисторические времена, о чем свидетельствуют раскопки древнейших городов. Наибольшего развития сооружение водопроводов достигло в греко-римскую эпоху. Древние водопроводы были самотечными: вода подводилась к месту потребления из горных источников самотеком. Древние народы не знали машин-двигателей, поэтому механический подъем воды был для них недоступен.

В распоряжении древних народов была только движущая сила человека и животных; ею они пользовались на берегах Нила, Евфрата, в Китае и в других местах и для подъема воды. Для этой цели они применяли колеса с черпаками (нории), рычаги с ведрами (журавли) и другие простейшие приспособления.

Расцвет техники водоснабжения в древности сменился полным упадком водопроводного дела в средние века. Только в эпоху возрождения начинаются первые попытки устройства водопроводов. В Германии с XV столетия появляются в двух-трех десятках городов—в Гамбурге, Нюрнберге, Аугсбурге и др.—первые водоподъемные станции, приводившиеся в движение водяными колесами. В Лондоне первая такая станция устроена в 1582 году; вскоре за Лондоном последовал и Париж, устроив под аркою Нового моста станцию с вертикальным колесом в качестве двигателя. Новая водопроводная техника в отличие от древней начинает применять для подъема воды гидравлические машины.

В XVIII веке начинается применение паровой машины для подъема воды насосами. Первые паровые насосные станции устроены в 1761 году в Лондоне на р. Темзе и в 1781 году в Париже. В этом же веке появляются насосы двойного действия: нырляные и центробежные. Но быстрый рост водопроводного строительства и развития водопроводной техники начался только во второй половине XIX века.

В передовых европейских странах и в С. Америке период наибольшего водопроводного строительства уже прошел. В ином положении находится СССР. У нас впереди колоссальное водопроводное строительство, разворачивающееся уже в настоящее время на основе известных решений Июньского пленума (1931 г.) ЦК ВКП(б) о коммунальном хозяйстве и постановлений XVII съезда ВКП(б).

От старой России нам осталось 200 с небольшим городских водопроводов; в настоящее время их насчитывается уже около 300. В настоящее время строится и намечена постройка целой серии городских водопроводов; к 1937 году число водопроводов у нас удвоится и среднесуточная подача воды увеличится на 300%. Среднее душевое потребление воды предполагается довести до 130 л в городах первой категории, до 80 л в городах второй категории и до 40 л в городах третьей категории. За первую пятилетку водопроводная сеть возросла на 57%; к 1937 году сеть должна достигнуть 23 000 км. Новых электронасосов предполагается установить около 3600 штук.

В эти подсчеты не вошло промышленное и сельское водоснабжение. Между тем быстрый рост промышленности также требует большого водопроводного строительства, а социалистическое сельское хозяйство — совхозы, колхозы и МТС — должны вызвать быстрый рост сельского водоснабжения. Таким образом

ясно, что для водопроводного строительства у нас имеются громадные перспективы.

Кроме редких случаев самотечного водоснабжения необходимой принадлежностью водопровода является насосная станция. Нам предстоит таким образом постройка многих тысяч насосных станций. Этим определяется важность руководства по насосным станциям.

В настоящей работе используется главным образом иностранный материал. Объясняется это тем, что промышленность по насосостроению одна из самых отсталых отраслей нашей индустрии. Нам нужно еще многому учиться у зарубежных фирм, чтобы достигнуть того уровня, на котором стоит насосостроение за границей. Это нужно сделать как можно скорее, так как насосы нужны каждому водопроводу: городскому, сельскому и промышленному, и потребность в них в настоящее время чрезвычайно велика.

Поршневые штанговые насосы

1. ОПИСАНИЕ НАСОСОВ

1. Штанговые насосы

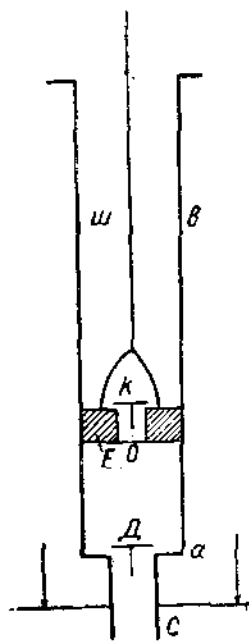
Чрезвычайно скудная литература по этому вопросу дополняется довольно большим количеством каталогов зарубежных фирм.

На фиг. 1 схематически изображен простейший поршневый насос для глубоких скважин или колодцев. Он состоит из рабочего цилиндра ab , всасывающей трубы ac , всасывающего клапана D и поршня E со сквозным отверстием o , закрываемым клапаном k . Поршень приводится в движение штангой $ш$, с которой соединяется посредством вилки.

При движении поршня вверх клапан k закрывается давлением воздуха, если насос еще не заполнен водою, и под поршнем образуется разрежение. Благодаря этому, атмосферным давлением на поверхность воды она вгоняется в насос через клапан D — этот процесс называется всасыванием. При обратном движении поршня вниз клапан D закрывается, а клапан k открывается и выпускает вверх сначала воздух, а потом и воду. При движении поршня вниз подъема воды не происходит, вода только перемещается с нижней стороны поршня в верхнюю. Подъем воды происходит только при движении поршня вверх, при этом поршень всасывает воду снизу и поднимает находящуюся над ним воду. Ход поршня вниз — холостой, ход вверх — рабочий. Оба клапана открываются вверх давлением снизу, давлением сверху они закрываются.

Описанный насос изобретен древними греками около двух с половиной тысячелетий тому назад. Им они выкачивали воду из своих суден. Этот тип насоса сохранился до сих пор для подъема воды из глубоких скважин и колодцев, причем у нас в СССР он до сих пор применяется в устарелых конструкциях.

При значительной глубине скважины вес штанг и вес столба воды, поднимаемой ими, становится очень большим. При каждом ходе поршня вся эта движущаяся масса то ускоряется, то замедляется до нуля; таким образом инерция движущихся масс может приобретать большую, опасную для прочности насоса величину. Чтобы уменьшить влияние инерции движущихся масс на части насосной установки, приходится уменьшать скорость движения. В шахтных насосах большого сечения движущиеся массы очень велики, благодаря большому диаметру насоса, и инерция масс настолько возрастает, что скорость движения приходится сводить до 5—7 оборотов в минуту. Штанговые насосы очень громоздки и малопроизводительны, почему они и были вытеснены из шахт паровыми насосами.



Фиг. 1. Схема поршневого штангового насоса.

На поршневые штанговые насосы одно время смотрели — а у нас и сейчас еще смотрят — как на отжившую машину, вытесняемую из буровых скважин вертикальными центробежными насосами и эрлифтами-воздухоподъемниками; однако прогресс техники строительства поршневых штанговых насосов за последние три десятка лет показал, что они с успехом могут выдерживать борьбу со своими конкурентами.

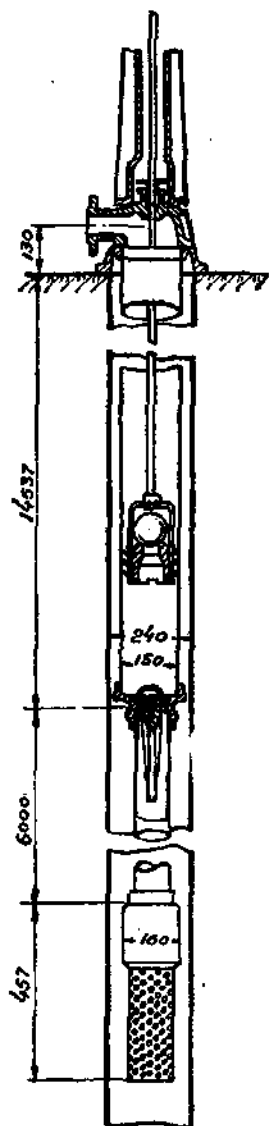
2. Всасывающая труба

* Остановимся на конструкции и работе каждой части насоса. Длина всасывающей трубы может быть доведена до 7 м, но обыкновенно ее делают не более 3 м,

а лучше всего и совсем исключить всасывание, опустив насос ниже наинизшего рабочего уровня в скважине. Вред длинной всасывающей трубы вызывается тем, что столб воды, находящейся в ней, подвергается то ускорению; то замедлению, и эта неравномерность движения воды не может быть выровнена всасывающим воздушным колпаком, как у обыкновенных насосов, так как для такого колпака в скважине нет места. Кроме того, всасывающие клапаны ради надежности работы делаются тяжелыми, закрывающимися собственным весом (пружины почти не применяются). Для поднятия тяжелого клапана требуется большое усилие, поэтому все прочие сопротивления при всасывании должны быть сведены к минимуму.

3. Клапан

Корпус всасывающего клапана обыкновенно не ввинчивается в нижнюю часть насосного цилиндра, а просто опирается на коническую заточку; чтобы он удерживался на своем месте во время всасывания, необходимо придать ему массивные размеры. Для непроницаемости применяются кожаные манжеты. Верхняя часть клапанного корпуса устроена так, что ее легко можно захватить штангой и вытащить для ремонта на поверхность, не вынимая насосного цилиндра. Иногда внизу поршня приделывается захватывающее приспособление, так что при опускании поршня до клапана клапан захватывается и вынимается вместе с поршнем. Клапаны применяются конические, с направляющими внизу и вверх и с ограничением хода вверх, и шаровые (фиг. 2 и 3).



Фиг. 2. Конструкция штангового насоса.



Фиг. 3. Насос для большой глубины.

4. Поршень

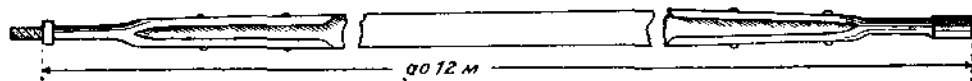
Проходной поршень — это отличительная особенность рассматриваемого насоса. Всасывающий и поршневой клапаны часто устраиваются тождественными

(фиг. 3.) Поршень должен быть достаточной длины, чтобы иметь хорошее направление в цилиндре, и с хорошим и прочным уплотнением. Обыкновенно для уплотнения служат кожаные кольца, так называемые манжеты. Они готовятся путем прессовки кольца из подошвенной кожи, чтобы выгнуть его края по форме цилиндра. Кожа должна быть наилучшего качества, иначе она быстро изнашивается. Обыкновенно на одном поршне укрепляется несколько манжетов. Поршень на фиг. 3 завода «Вейзе и Монский» рассчитан на очень большую глубину—до 250 м, а следовательно и на большое давление, поэтому, кроме двух рядов манжетов, поставлены еще 10 косых кожаных колец по 5 штук в верхней и нижней части. Благодаря такому устройству насос работал без ремонта 12 лет с объемным коэффициентом 97%.¹ Применяются и металлические уплотняющие кольца.

5. Штанги

Подъем воды совершается поршнем только при ходе вверх, причем штанги испытывают растяжение. При опускании поршня вниз штанги не должны работать на сжатие, иначе произойдет продольный изгиб, вызывающий частые поломки их. Поршень должен опускаться собственным весом, так что и при опускании штанги должны работать на растяжение. Работа штанг на сжатие совершенно не допускается. Вот почему фирма «Вейзе и Монский», как увидим ниже, подвешивает штанги в дифференциальном плунжере, чтобы в случае заедания поршня они не оказались сжатыми. Раз штанги работают только на растяжение, то, очевидно, возможно заменить их стальным тросом; в практике однако такие конструкции не применяются.

Для штанг применяется высокосортная сталь и железо; делают их или сплошными или трубчатыми, длиной метров шесть. Соединение штанг между собою должно быть таково, чтобы саморазвинчивание их во время работы было



Фиг. 4. Деревянные штанги.

невозможно. Один из способов соединения показан на фиг. 3, А. Головка нижней штанги имеет выступ, входящий в паз верхней штанги. Обе штанги соединяются особой муфтой; чтобы не допустить отворачивания муфты, верхний, конически нарезанный конец ее разрезан щелью, гайка *г*, навинчивающаяся на этот конец, закрепляет муфту неподвижно.

Для штанговых насосов удобны деревянные штанги, так как они благодаря своей легкости уменьшают вес движущихся частей. Их плавучесть была бы вредна, — могла бы вызвать напряжение сжатия, но металлические наконечники для взаимного соединения и пропитанность водою устраняют опасения плавучести, иначе пришлось бы увеличивать вес поршня. Соединения деревянных штанг делают так же, как и железных. Образцы деревянных штанг показаны на фиг. 4.

6. Неравномерность работы штангового насоса

Работа насоса происходит очень неравномерно. При ходе вверх поршень и всасывает и поднимает воду, при ходе же вниз работа подъема совершенно не производится, насос работает вхолостую. Такая прерывистая работа очень неудобна для двигателя, который подает движущую энергию равномерно. Чтобы нагрузить и холостой ход (вниз), обыкновенно у двигательного механизма приспособляется, как увидим ниже, противовес, поднимающийся при опускании

¹ VDI. 1911 г. № 16 и 17 Wittich, Die Durchbildung der Bohrlochpumpen.

поршня. Опускание противовеса при подъеме поршня облегчает в это время работу двигателя. Но и в самом насосе возможно некоторое уравнивание хода.

7. Дифференциальный насос

Усовершенствование в конструкции насоса было направлено прежде всего на выравнивание его работы. Этого проще всего достигнуть применением принципа дифференциального насоса. Насос, изображенный на фиг. 5, отличается от насоса, изображенного на фиг. 1, только тем, что верхняя часть штанги в нем утолщена. При соответствующем подборе диаметра этого утолщения (скалки или ныряла) подача воды насосом наверх будет происходить при движении поршня как вверх, так и вниз. При движении поршня вниз ныряло, также опускаясь, вытесняет из насоса объем воды, равный своей площади сечения F_1 , помноженной на ход поршня, S . Объем вытесняемый равен $F_1 S$.

При движении поршня вверх поднимаемый им объем воды равен площади насосного цилиндра F_2 , помноженной на ход S . Объем поднимаемый равен $F_2 S$.

При устройстве насоса по фиг. 1 весь этот объем и подается насосом в назначенное место. При дифференциальном же насосе только часть поднимаемой поршнем воды выливается из насоса, другая же часть остается в нем, занимая пространство, освобожденное нырялом при его подъеме. Это пространство на фиг. 5 изображено пунктиром от низшего до высшего положения ныряла. Если $2F_1 S = F_2 S$, то, сокращая на S , получим $2F_1 = F_2$; при этом условии подача воды течение обоих ходов, и вверх и вниз, будет одинакова.

Следует заметить, что всякий насос до некоторой степени является дифференциальным, потому что штанги сами играют роль ныряла, только, благодаря их малому сечению, их влияние невелико. Чтобы яснее представить себе эту мысль, вообразим, что ныряло опускается до самого поршня (фиг. 5) или, что штанги делаются такими толстыми, как ныряло. От этого действие дифференциального насоса несколько не изменится. При большой толщине штанг

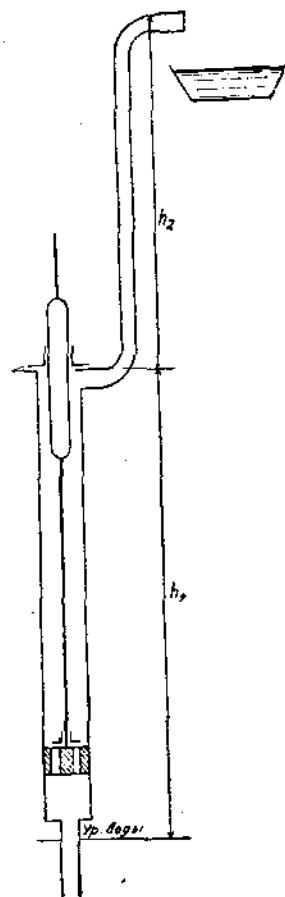
Фиг. 5. Дифференциальный насос.

насос будет действовать как настоящий дифференциальный, а при малой толщине штанг выравнивающее действие их будет почти незаметно. Дифференциальные штанговые насосы, как увидим ниже, пользуются большим применением.

Выравнивание подачи воды наверх не имеет однако большого значения для штангового насоса. Самое главное для него — выровнять работу обоих ходов. Если при ходе вниз подаваемое насосом количество воды Q_1 , а при ходе вверх Q_2 , то

$$Q_1 + Q_2 = Q,$$

где Q равно объему, вытесняемому ходом поршня. Если глубина всасывания от поверхности (фиг. 6), где расположен дифференциальный плунжер h_1 , а высота подачи воды выше этой поверхности h_2 , то работа для хода вверх будет $Qh_1 + Q_1h_2$, а для хода вниз Q_2h_2 .



Фиг. 6. Схема (подъема и нагнетания) дифференциальным насосом.

Если высота h_2 очень мала по сравнению с h_1 , например, при выливании воды на поверхность, тогда выравнивание работы обоих ходов невозможно. $Q_2 h_2$ будет очень мало по сравнению с $Q h_1$. Выравнивание работ становится возможным только при значительной высоте h_2 . При полном выравнивании работ мы имеем уравнение:

$$Q h_1 + Q_1 h_2 = Q_2 h_2.$$

Предположим, что $h_1 = 20$ м, $Q_1 = \frac{1}{3} Q$, а Q_2 , следовательно, равно $\frac{2}{3} Q$; тогда $h_2 = 60$ м. Таким образом при подъеме над поверхностью на 60 м и площади плунжера равной $\frac{2}{3}$ площади поршня можно достигнуть полного выравнивания работы, но подача будет неравномерна — $\frac{1}{3}$ при ходе вверх и $\frac{2}{3}$ при ходе вниз.

Если увеличение диаметра плунжера доведем до крайнего предела — диаметра поршня, тогда при ходе вверх подача воды будет равна нулю, а при ходе вниз будет подаваться весь объем Q . Подача станет совершенно неравномерной, но работа может быть совершенно выравнена при $h_2 = h_1$. Из предыдущего уравнения при $Q_1 = 0$ получим:

$$Q h_1 = Q_2 h_2.$$

Но так как $Q = Q_2$, то и $h_1 = h_2$.

При высоте надземного подъема h_2 , меньшей подземного подъема h_1 , возможно только частичное выравнивание работ — и тем меньшее, чем меньше h_2 .

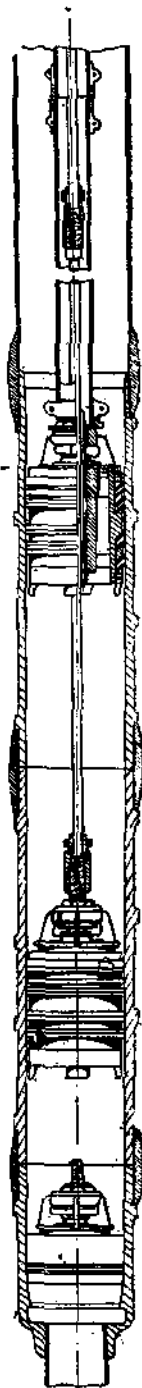
8. Штанговый насос с двумя поршнями

Другой способ сделать подачу воды насосом более равномерной состоит в применении вместо одного двух поршней, работающих совершенно одинаково, но при отставании одного поршня от другого на целый ход, т. е. когда один поршень идет вверх, другой в это время опускается вниз (фиг. 7). Как видно из чертежа, штанга верхнего поршня трубчатая, внутри ее проходит сплошная штанга нижнего поршня. Штанги приводятся в движение коленчатым валом, одно колено повернуто на 180° по отношению к другому колену.

Проследим за работой насоса. Нижний поршень опускается, верхний поднимается. Давлением воды клапан нижнего поршня поднимается, и вода перемещается с нижней стороны поршня в верхнюю. Ни всасывания, ни подъема воды в течение хода вниз поршень не производит, точно так же, как и в насосе с одним поршнем; ход вниз — холостой ход. Верхний поршень в это время, поднимаясь вверх, всасывает воду снизу, заставляя ее проходить через клапан нижнего поршня как через всасывающий клапан однопоршневого насоса: существа дела не меняется от того, что сам нижний поршень в это время опускается. Клапан поршня в этом случае должен только пропустить вдвое

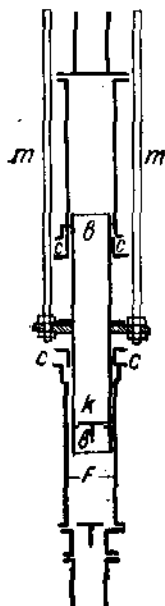
Фиг. 7. Двухпоршневой штанговый насос.

больше воды, чем клапан однопоршневого насоса. Верхний поршень, кроме всасывания, совершает и работу подъема воды, находящейся над ним, т. е.



Фиг. 8. Конструкция двухпоршневого насоса.

производит точно такую же работу, как и поршень однопоршневого насоса. При движении вниз верхний поршень не совершает работы, нижний же, двигаясь вверх, одновременно и всасывает и поднимает воду. Клапан верхнего насоса также должен пропустить двойное количество воды по сравнению с однопоршневым насосом.



Фиг. 9. Насос с трубой вместо поршня.

Двухпоршневой насос представляет собою как бы удвоенный однопоршневой. Он подает вдвое больше воды, чем однопоршневой, тогда как дифференциальный насос подает точно такое же количество воды, как и простой насос.

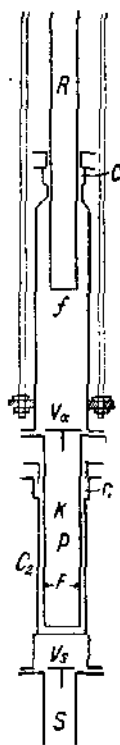
Штанги обоих поршней при подъеме того или иного поршня работают только на растяжение, опускание же поршней вниз происходит под действием силы тяжести самого поршня и штанг. Вследствие сложности устройства эти насосы применяются не часто и при том — для подачи больших количеств воды (киевский водопровод). Нагрузка обоих ходов здесь одинакова, поэтому работа совершается довольно равномерно во время всего оборота кривошипа, и никакие приспособления для выравнивания работы здесь не нужны (фиг. 8). Вместо одного сальника простого насоса здесь нужны два сальника — по одному для каждой штанги.

9. Шахтные насосы, насос двойного действия

Одним из недостатков описанных насосов является недоступность поршня и уплотняющих его колец, требующих надзора. В буровой скважине этой доступности добиться невозможно. И потому для шахт, при горных работах изобретен особый поршневой насос, доступный извне (фиг. 9). Здесь движущейся частью является не поршень, а труба *bb* с клапаном *к*. Труба охвачена хомутом и приводится в движение тягами *т*. Сальники *с*, обеспечивающие непроницаемость соединений подвижной трубы с верхней и нижней неподвижной трубой, вполне доступны надзору и уходу. Потеря на трение в этом насосе больше, чем в обыкновенном.



Фиг. 11. Штанговый насос двойного действия.



Фиг. 10. Насос Реттингера.

Такого же типа конструкция изобретена Риттингером и для дифференциального насоса (фиг. 10). Роль дифференциального ныряля здесь играет труба *R*, меньшая по диаметру насосного цилиндра *P*.

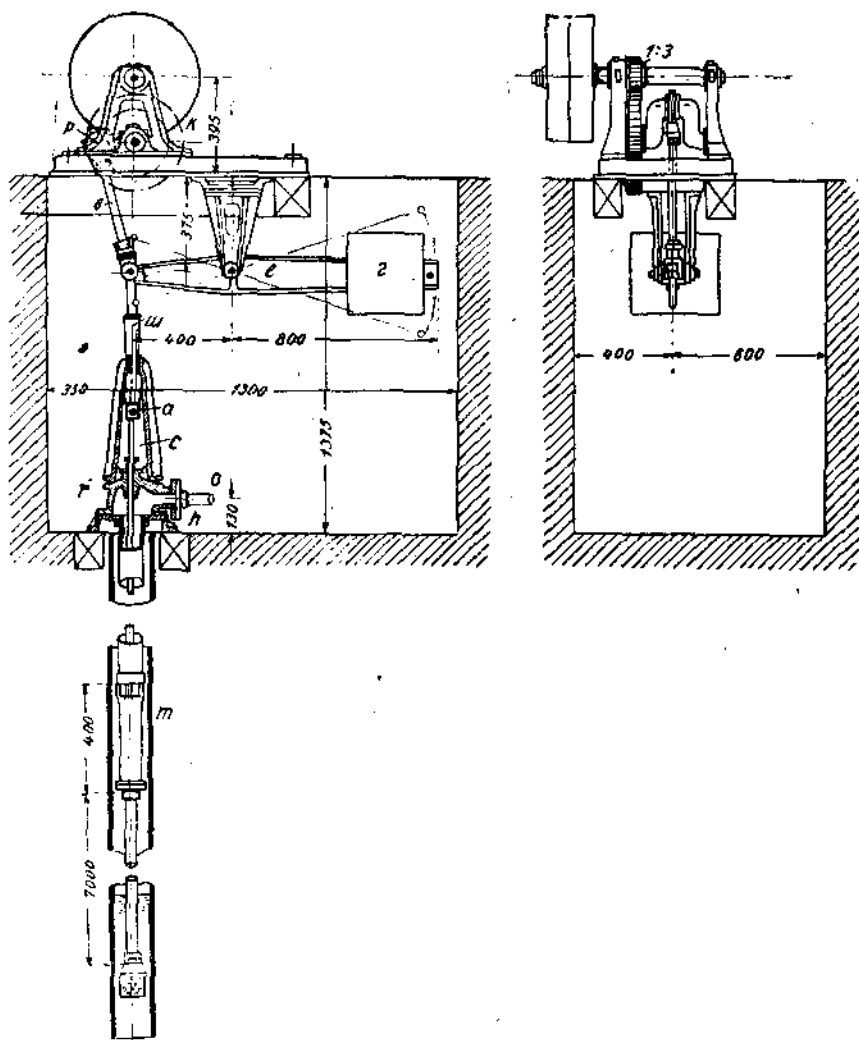
Самую сложную конструкцию поршневых штанговых насосов представляют насосы двойного действия. Схематически такой насос изображен на фиг. 11 справа. При движении поршня насоса вниз вода, находящаяся под ним, выдавливается вверх через трубку *A*. В то же время в верхней части цилиндра получается разрежение, так как клапан *F* давлением верхней воды закрыт, а движение поршня вниз освобождает здесь пространство и образует вакуум, благодаря чему через трубку *B* происходит всасывание воды в верхнюю часть цилиндра. При движении поршня вверх нижняя часть цилиндра засасывает через клапан *H*, а из верхней вода поршнем вытесняется через кла-

пан *F*. Таким образом с обеих сторон поршня происходит то всасывание, то нагнетание — когда одна часть поршня всасывает, другая нагнетает.
Слева фиг. 11 показана конструкция такого насоса.

II. НОВЫЕ ТИПЫ НАСОСОВ

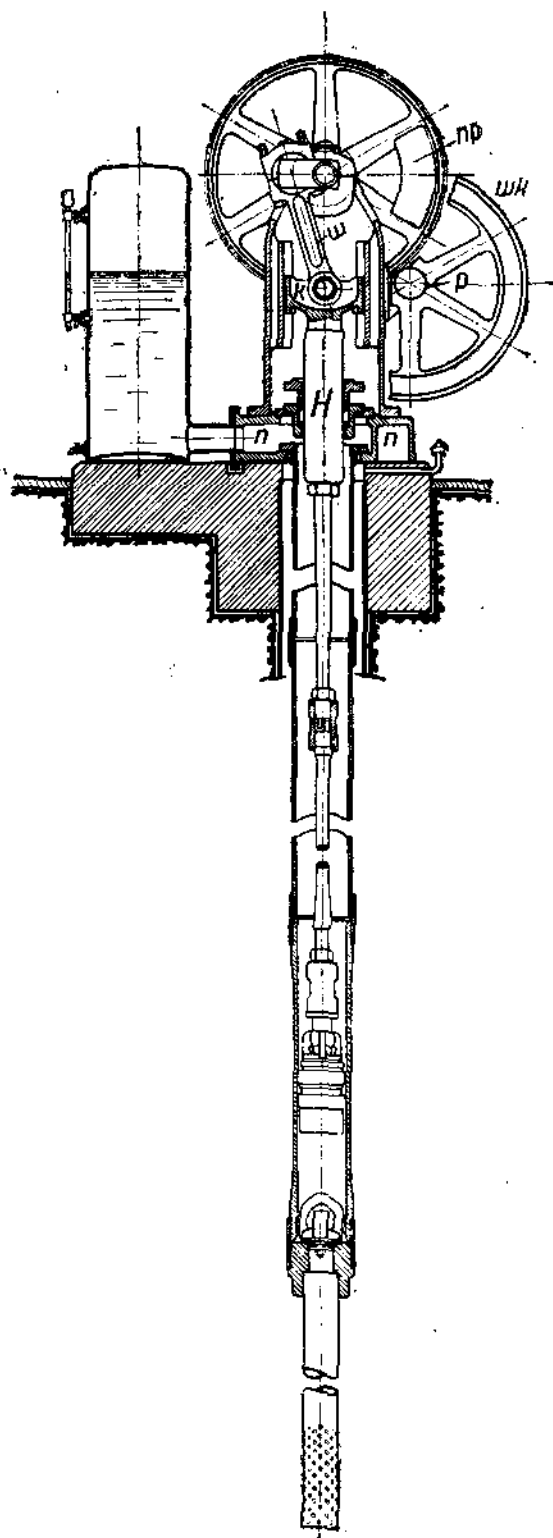
1. Насосная установка прежнего типа

На фиг. 12 показано расположение насоса в буровой скважине. На основной плите *h*, к которой подвешивается насосная труба *т*, устанавливается насосная головка *г* с сальником *с* для пропуска штанги и с отводной трубой *о* для отвода воды, поднимаемой насосом. Насосная штанга соединяется с коротким стержнем *ш*



Фиг. 12. Насосная установка прежнего типа.

посредством шарнира *а*. Другим шарниром стержень соединяется с шатуном *б* и рычагом *е*. При вращении колеса *к* кривошип *р* описывает окружность и при посредстве шатуна *б* поднимает и опускает штанги насоса, а следовательно и поршень. Рычаг с противовесом служат для уравнивания работы насоса. При опускании поршня насос не производит работы; чтобы двигатель в это время не остался без нагрузки на холостом ходу, его заставляют посредством рычага *е*



Фиг. 13. Дифференциальный насос фирмы «Ангер сыновья».

поднимать груз g . Во время же подъема поршня работа двигателя облегчается работой опускающегося груза.

Со времени применения паровой машины к насосам, т. е. со второй половины XVIII века, штанговые насосы получили широкое распространение для водоотлива из рудников. Сначала применялись простые насосы, затем дифференциальные. При установке рядом двух насосов, приводимых в движение одним коленчатым валом с отклонением одного колена от другого на 180° , исчезала надобность в грузе-противовесе, так как поршни и штанги насосов взаимно уравнивались. С конца XIX века штанговые насосы вытесняются из рудников опущенными в шахту паровыми насосами с подводом пара сверху; впоследствии и они в свою очередь вытесняются центробежными насосами с электромоторами. Штанговые насосы сохраняют однако свое значение для буровых колодцев.

2. Современные установки

На фиг. 13 изображена установка дифференциального штангового насоса фирмы «Ангер сыновья». (H. Anger's Söhne A.G Nordhansen am Harz.) Начнем описание снизу. Дырчатая всасывающая труба не бывает длиннее 3 м; если дно буровой скважины близко, то всасывающая труба переходит в сплошную трубу и ставится прямо на дно. Всасывающий клапан просто вставляется в коническую заточку и удерживается на месте собственным весом. На нем имеется дужка, за которую можно его зацепить и поднять вверх, не вынимая цилиндра. Цилиндр насоса изготавливается из чугуна, меди или бронзы. Делаются цилиндры и с вынимаемой внутренней втулкой, которая может сменяться.

Поршень с проходным отверстием и клапаном делается значительного веса. Уплотнение промежутка между поршнем и цилиндром

ром достигается или несколькими кожаными кольцами-манжетами из хорошей кожи, или металлическими кольцами. Хорошие конструкции поршней работают несколько лет, не требуя смены уплотняющих колец, при условии, что скважина не дает песка.

Штанги, соединяющие поршень с движущим механизмом-лебедкой, делаются из лучшей стали, чтобы исключить возможность разрывов. Соединение штанг между собою и с поршнем производится муфтой с контргайкой. Кроме того, концы штанг наполовину вырезаны и выступ одной заходит в вырезку другой, так что развинчивание штанг невозможно.

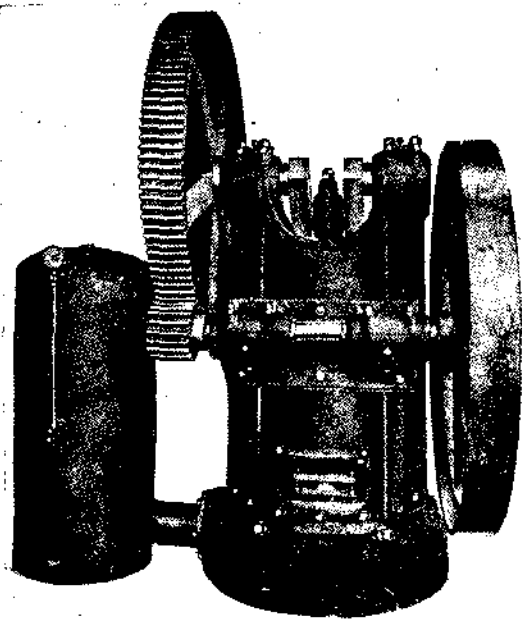
Насосные трубы для удобного прохождения поршня сделаны на 10 мм шире диаметра цилиндра и соединяются между собою нарезными муфтами. В широких скважинах и колодцах применяются и фланцевые соединения.

Механизм, передающий движение насосу от двигателя, — будем называть его лебедкой, — свободно устанавливается над скважиной. Полая фундаментная плита *л* служит для приема воды и отвода ее в воздушный котел. В ней же помещается сальниковая коробка *н*рыля *Н*. На плите укрепляется вертикальная станина лебедки с подшипниками главного вала. Станина служит направляющей для крейцкопфа *к* с очень большими поверхностями скольжения. Крейцкопф представляет собою одно целое с дифференциальным *н*рылем *Н*. Движение крейцкопфу передается шатуном *ш* от коленчатого вала. Штанговые насосы обыкновенно движутся с небольшою скоростью — 20—40 оборотов в минуту; двигатели же, приводящие их в движение, имеют большее число оборотов; поэтому необходимое уменьшение числа оборотов достигается ременной или зубчатой передачами.

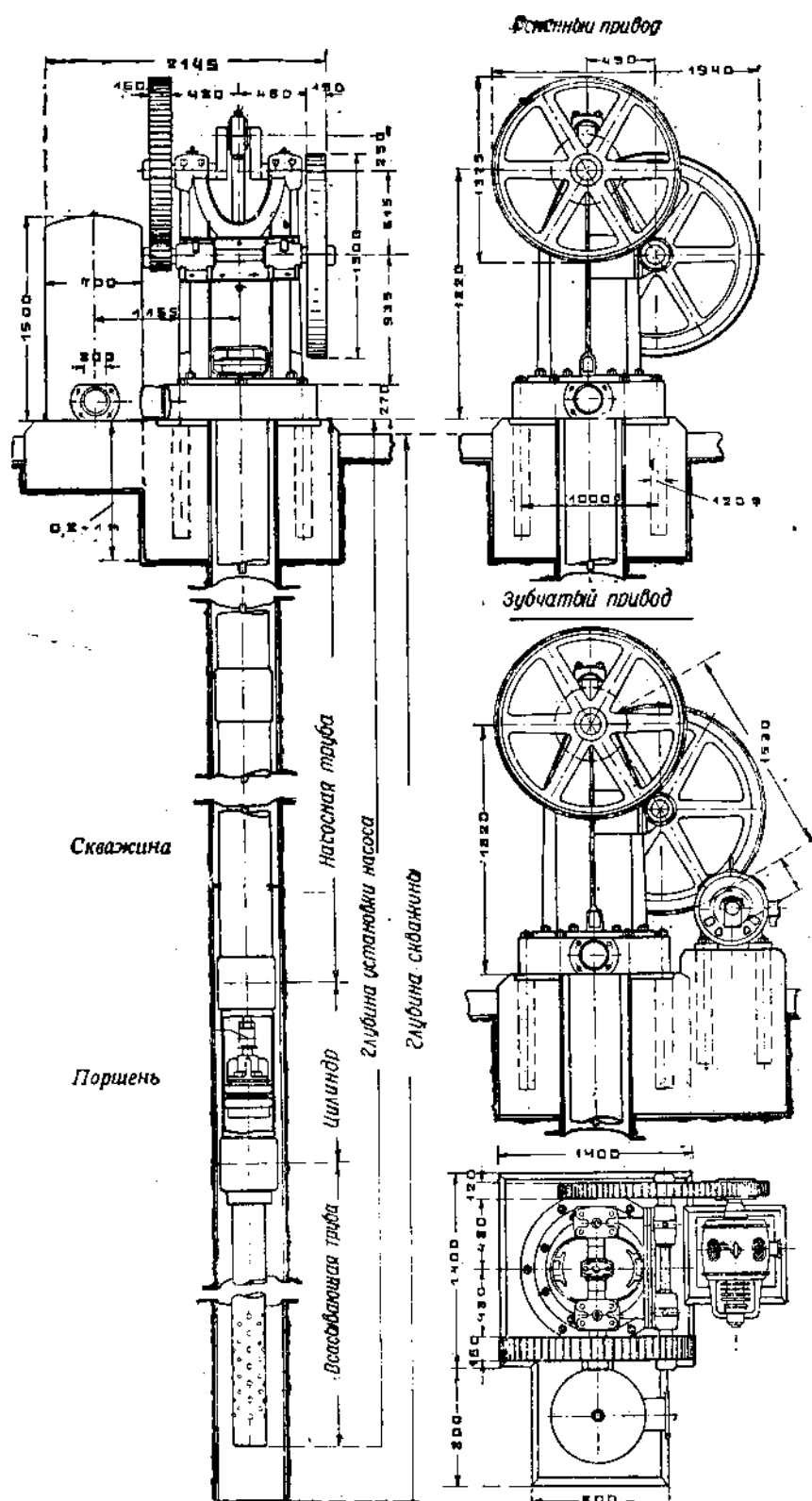
Движение коленчатому валу передается через зубчатое колесо *З* от шестерни *Р*, сидящей на валу приводного шкива *шк*. Шкиву движение передается ремень от двигателя. Вместо ременной передачи от мотора применяется, как увидим ниже, и зубчатая.

Уравнозешивание неравномерной работы насоса производится здесь тремя способами: дифференциальным *н*рылем, противовесами на зубчатом колесе коленчатого вала при тяжелом, быстро вращающемся шкивом, играющим роль махового колеса. Противовес на зубчатом колесе действует так же, как и рычаг с грузом; а шкив маховик действует таким образом что когда мотор дает больше энергии, чем поглощается насосом, избыток ее идет на увеличение скорости шкива и его живой силы; когда же насос требует больше энергии, чем дает мотор, тогда благодаря замедлению движения шкива-маховика часть его энергии $\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}$ передается насосу (v_1 и v_2 наибольшая и наименьшая скорости обода

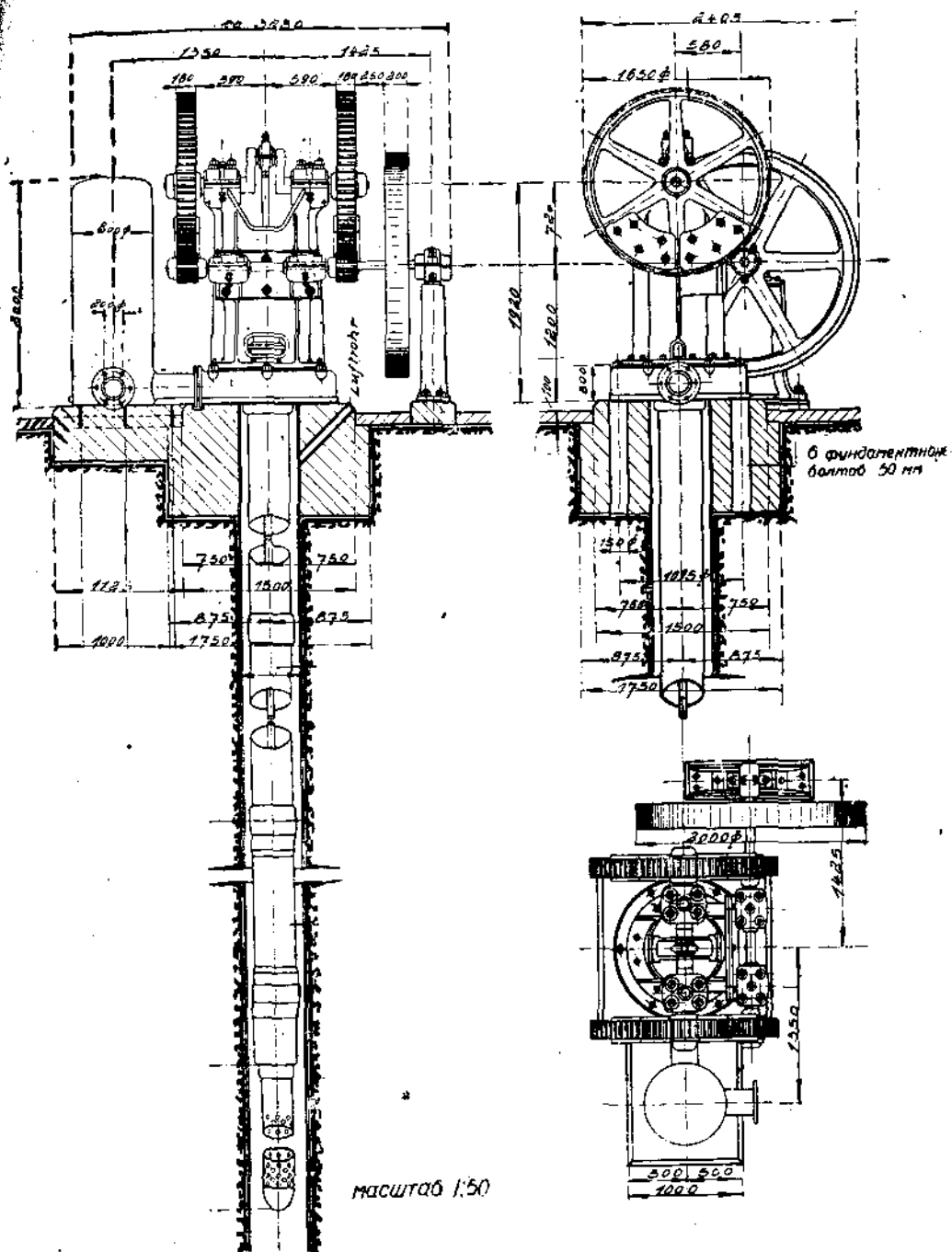
маховика). И все другие части механизма при замедлении также передают часть своей энергии-живой силы насосу, но при малой скорости движения этих частей или при малой их массе эта энергия ничтожна; только шкив-маховик передает заметную энергию, благодаря своей большой скорости и большому весу. Пере-



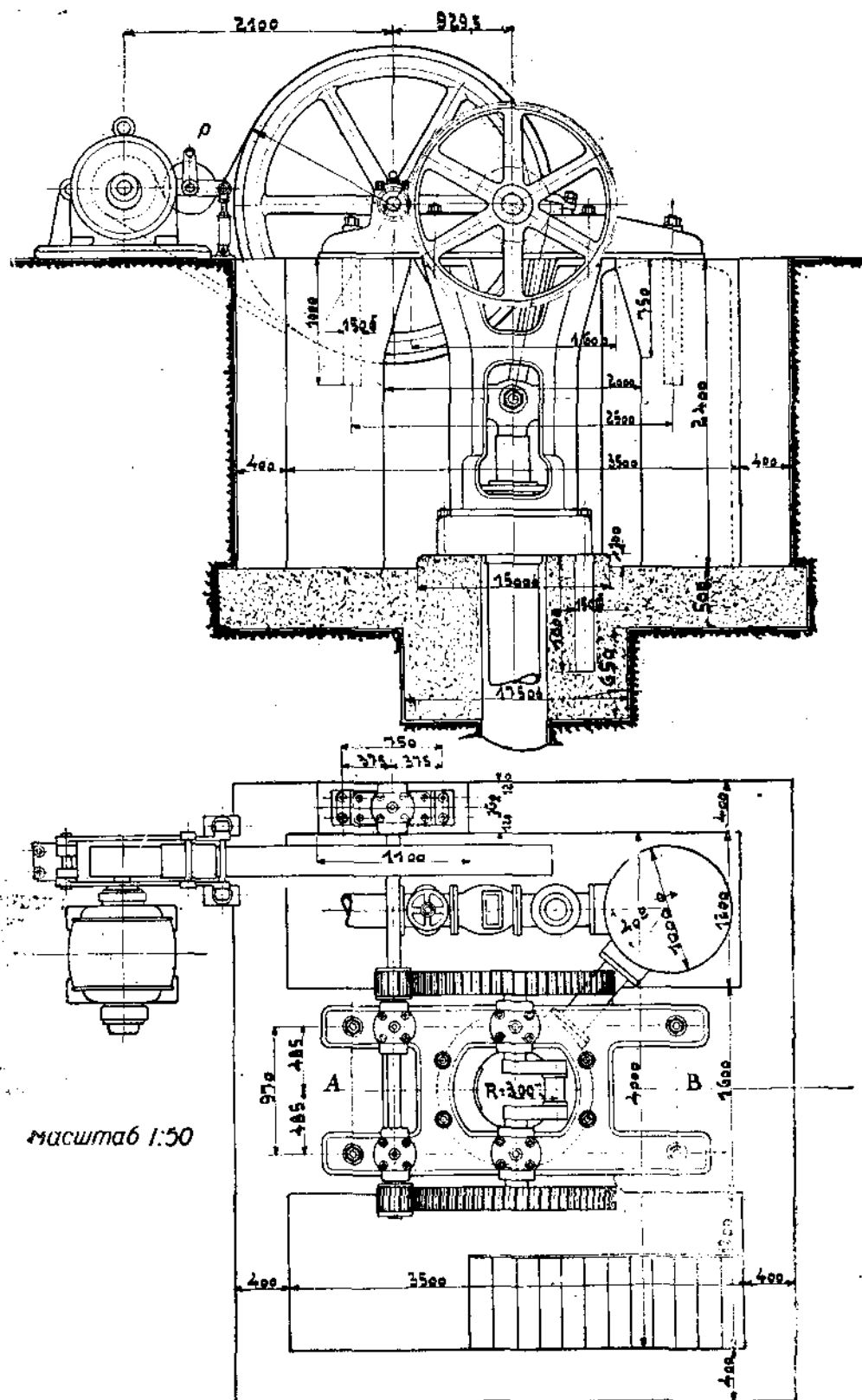
Фиг. 14. Общий вид насосной лебедки.



Фиг. 15. Поршневый штанговый насос со свободно стоящей лебедкой.
а) дебет 333 — 1750 л/мин. на 25—150 подьема; б) применение для скважин 180—400 мм.
Наибольшая мощность 18 л. с.



Фиг. 16. Штанговый насос со стоячей лебедкой.



Фиг. 17. Большой штанговый насос.

а) диаметр цилиндра от 250 до 425 мм. Наибольшая мощность 60 л. с.; б) для дебатов от 625—2000 л/мин. На 75—170 м общего подъема.

даваемая энергия пропорциональна, как видно из формулы, разности квадратов скоростей и массе движущегося тела.

Подшипники имеют бронзовые вкладыши и кольцевую смазку.

Фундаментная плита устроена так, что весь насос можно вынуть, не снимая плиты, а сняв только станину. Насосные жестианги, поршень и всасывающий клапан вынимаются без снятия станины.

К фундаментной трубе посредством патрубка присоединяется воздушный котел на давление 2—5 атм. и на подачу в близлежащую башню—не далее 50 м.

На фиг. 14 показан общий вид лебедки. При значительных мощностях передача от шкива производится не одной шестерней, а двумя. Два зубчатых колеса в этом случае располагаются по обеим сторонам станины. На фиг. 15 показана в плане и профиле лебедка, сцепленная посредством зубчатых колес с электромотором.

Насосная установка, изображенная на фиг. 15, характеризуется следующими данными:

Длина хода поршня — 500 мм.

Число оборотов—30 в минуту.

Вес лебедки с маховым колесом — 3400 кг.

Цена привода с маховым колесом — 4300 марок.

Маховое колесо — диаметром 1400 мм, шириною 140 мм.

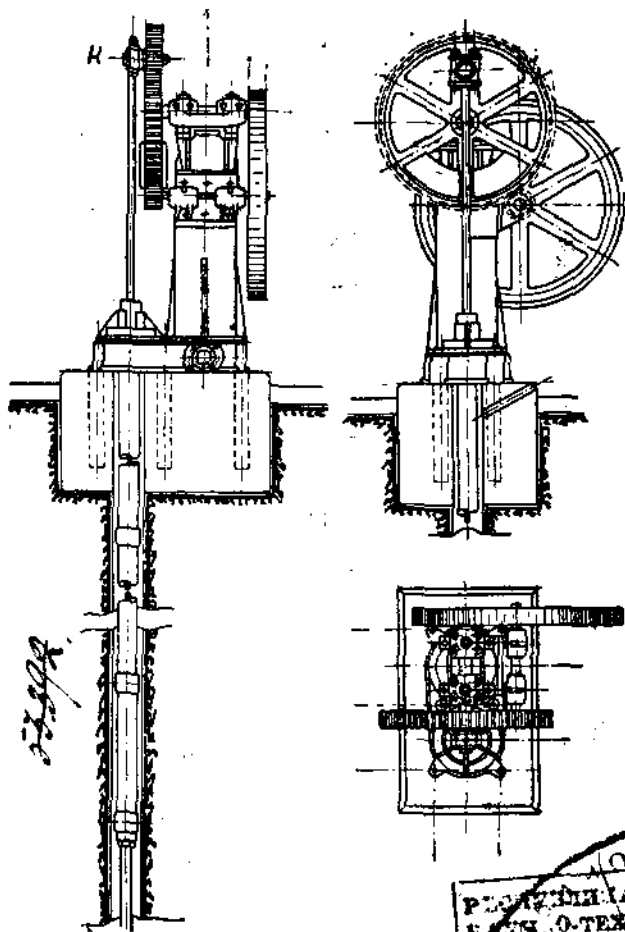
Зубчатая передача между коленчатым валом и приводом — 1:1

Лебедка рассчитана для 18 л. с; из них не более 13,5 л. с. для работы насоса под землей.

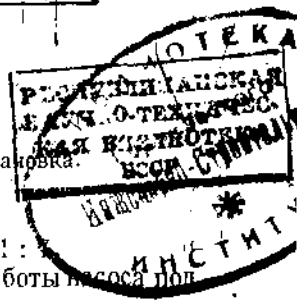
Число оборотов рекомендуется применять при глубине насоса от 40 до 70 м от 30 до 25 в минуту, при большей глубине — от 25 до 20.

О ходовых размерах насосов, их производительности и прочих данных имеются подробные сведения в прилагаемой таблице:

В приведенной ниже таблице видно, что с увеличением диаметра насоса уменьшается глубина опускания его,—это объясняется конструкцией лебедки, рассчитанной на мощность, не превосходящую 18 л. с. Вообще лебедки такого типа строятся фирмой для мощностей от 2 до 30 л. с., числа оборотов от 50 до 20. Для больших мощностей применяется конструкция лебедки, показанная на фиг. 16, с двумя зубчатыми колесами на коленчатом валу и с третьим отдельным подшипником для передаточного вала с маховиком. Другой тип лебедки для больших мощностей показан на фиг. 17. Здесь для лучшего укрепления на фундаменте станина лебедки опущена в каменную шахту.



Фиг. 18. Мелкая насосная установка.



Наибольшая подача л/сек	5,5	7	8,3	10,4	12,5	15,5	17,5	20,8	25	29
Подача за один ход л	0,18	0,23	0,28	0,35	0,41	0,50	0,58	0,70	0,83	0,96
Наибольшая манометрическая высота подъема м	150	125	100	80	70	60	50	40	30	25
Наибольшее заглубление насоса м	100	90	75	60	50	40	30	25	20	15
Требуемое число л. с. на каждые 10 м подъема (прибл.)	1,12	1,4	1,7	2,1	2,5	3,0	3,5	4,2	5,0	5,8
Диаметр цилиндра . мм	180	200	225	250	275	300	325	350	375	400
Вес насоса при наибольшей глубине . . . кг.	8100	8360	8330	8200	8160	7820	7290	7170	6960	6670
Цена при наибольшей глубине марки	8877	8997	8880	8987	8864	8950	8490	8427	8363	8215

Для установки подшипников двух валов здесь имеется верхняя чугунная плита, опирающаяся на два выступа в стене А и В. Станина и нижняя плита имеют то же положение, что и в предыдущих лебедках. Движение передается от электромотора посредством ремня с нажимным роликом, благодаря чему расстояние между мотором и шкивом сведено до минимума. Приводной вал опирается еще на третий подшипник, расположенный на стене. Такие лебедки фирма «Ангер сыновья» ставит для подачи от 10 до 33 л/сек. на высоту от 75 до 170 м. Диаметр насосных цилиндров — от 250 до 425 мм и наибольшая мощность насоса — 60 л. с. Ход поршня — 600 мм; число оборотов до глубины 80 м — 25 в минуту. При глубине расположения насоса под поверхностью земли от 80 до 100 м — 25—22 оборота в минуту, при глубине от 100 до 120 м — 22—20 оборотов в минуту.

На фиг. 18 изображена установка малых размеров для узких скважин. Интересная особенность ее состоит в том, что палец кривошипа к может переставляться. Таким образом, высота хода поршня может меняться от 600 до 300 мм и приспособляться к производительности буровой скважины. Лебедка рассчитана на максимальную мощность 5 л. с., число оборотов — 30 и более, доходя до 60 при ходе поршня 200 мм.

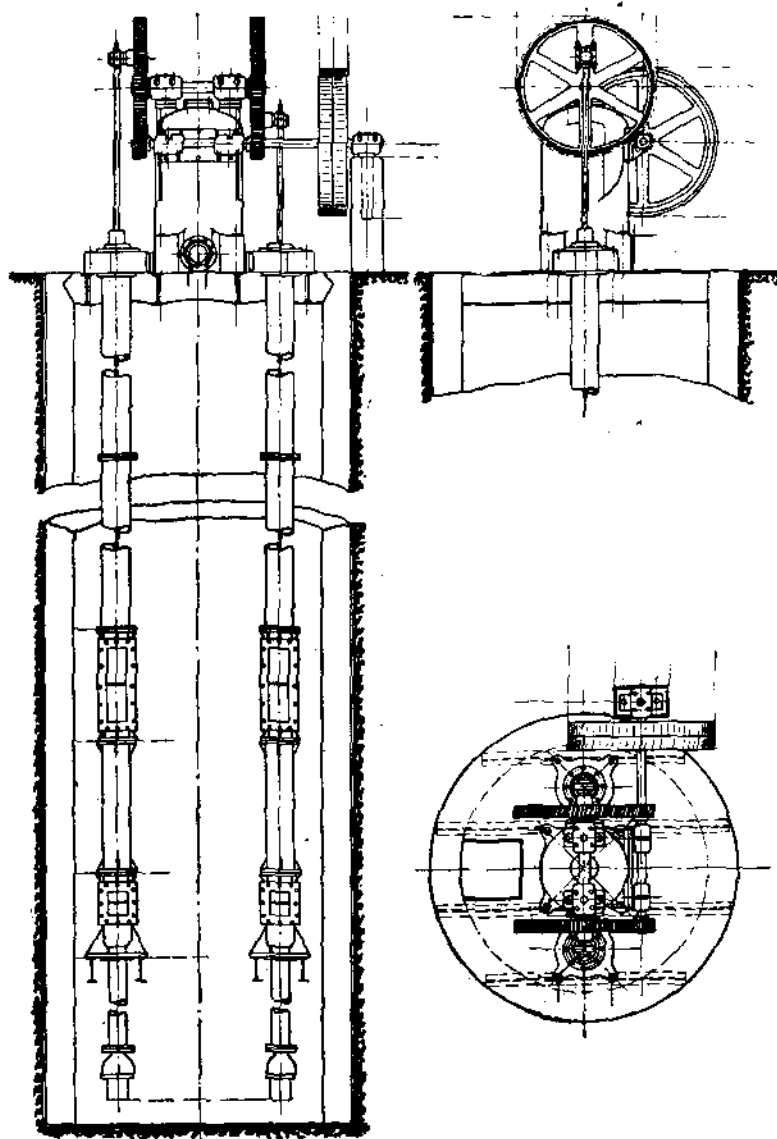
При применении штанговых насосов для колодцев выгодно сдвигать насосы, так как при этом легко достигается уравновешение работы насосов путем постановки кривошипов на 180° один от другого (фиг. 19).

3. Быстроходные насосы

Штанговые насосы работают со скоростью 20—60 оборотов в минуту. Чем больше глубина насоса и чем больше длина хода поршня, тем меньше должна быть скорость хода. Но в последнее время появились быстроходные штанговые насосы. Конечно, такие насосы не могут работать на большую глубину. Наибольшая глубина погружения насоса — 30 м для диаметров 100—300 мм и 10—15 м для диаметра 400 мм. Подача — от 1,25 до 60 л/сек.

Ход поршня быстроходных насосов — всего лишь 200 мм, а обычное число оборотов — 150 в минуту. При таком числе оборотов устройство лебедки упрощается, двойная передача становится ненужной и движение от мотора передается непосредственно или зубчатому колесу или шкиву (ременная передача) рабочего коленчатого вала. На фиг. 20 показано такое упрощенное устройство лебедки фирмы «Ангер сыновья». Здесь не применяются противовесы на зубчатом колесе. Как производится здесь уравновешивание хода, из каталогов фирмы не видно, фирма же утверждает, что установка работает спокойно, без всяких толчков на мотор. Полые штанги заполнены воздухом, благодаря чему вес их в воде уменьшается или, возможно, они становятся даже совсем пловучими. Воздух, заключающийся в штангах, играет роль воздушного котла для воды, выходящей из поршневого клапана. В нижней части штанги широкие, трубчатые, вверху же они становятся опять узкими. Из описания в каталоге нельзя, к сожа-

лению, составить полного представления об устройстве и работе этого очень интересного насоса.

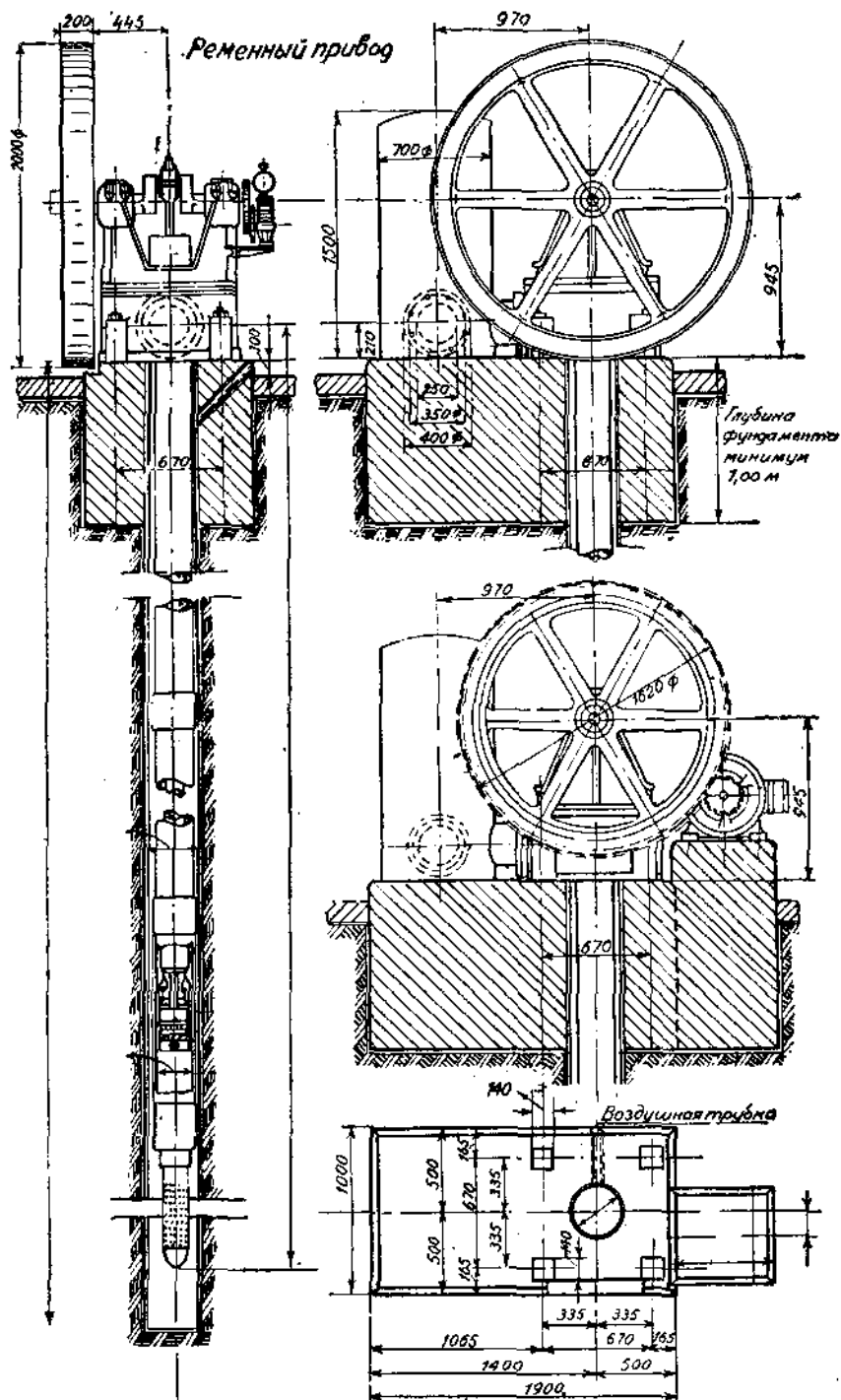


Фиг. 19. Установка двух насосов в колодце.

При скорости насоса 150 оборотов в минуту силы тяжести поршня, уменьшенной к тому же трением поршня о цилиндр и воду и штанг о воду, недостаточно для такого быстрого опускания. Как известно, путь, пройденный падающим телом, равен

$$H = g \frac{t^2}{2} \text{ при } t = \frac{1}{5} \text{ сек. } H = \text{около } 0,2 \text{ м.}$$

Ход поршня 200 мм как будто как раз равен этому пути. Но сопротивления трения уменьшают этот путь. Таким образом необходимо дополнительное давление штанг на поршень. Но в таком случае штанги должны работать на сжатие. Как фирма выходит из этого затруднения, к сожалению, выяснить не удается.



Фиг. 20. Быстроходный штанговый насос со стоячей лебедкой.

а) дебет от 500 до 3500 л/мин. на высоту от 25 до 80 м общего подъема;
 б) диаметр цилиндра от 160 до 400 мм; в) мощность до 30 л. с.

Полые штанги применяются фирмой и при тихоходных насосах для уменьшения их веса. Благодаря облегченному устройству быстроходные насосы стоят вдвое дешевле обыкновенных тихоходных, а подача воды при том же диаметре насоса, благодаря большому числу оборотов, вдвое больше.

Нижеследующая таблица дает представление о размерах, подаче, требуемой мощности в лошадиных силах и проч.

Секундная подача при обычном числе оборотов . . л	8,3	11	14	16,6	21	25	30	35	42	50	58
Наибольшая метрическая высота подъема . . м	80	80	80	80	70	58	48	42	35	29	25
Наибольшее понижение ниже поверхности пола насосн. устан. . м	30	30	30	30	30	30	30	30	26	21	18
Требуемая мощность на каждые 10 м подъема л. с.	1,75	2,30	2,90	3,50	4,32	5,15	6,20	7,20	8,65	10,3	12,0
Диаметр цилиндра мм	160	180	200	225	250	275	300	325	350	375	400
Цена при указанном углублении со шкивом и воздушным котлом марки	6650	7010	7130	7490	8180	8750	9570	10100	10200	10150	10275
Вес кг.	3610	3900	4150	4430	4830	5150	5550	5875	5825	5600	5650

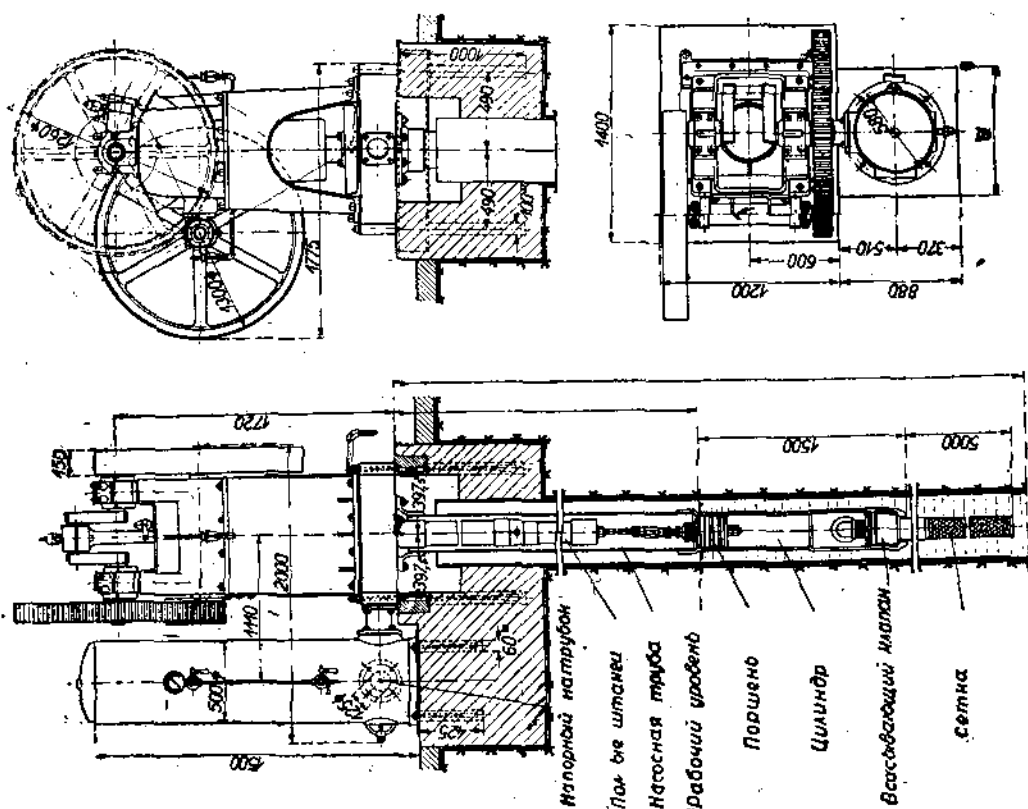
4. Новая конструкция насосов фирмы (Amag Hilpert, Pernitzhütte, Nürnberg) «Амаг Гильперт», Перницхютте, Нюрнберг

На фиг. 21 показана схема устройства прежнего и нового типа насоса названной фирмы. В новом типе дифференциальный плунжер *bb* разросся во всю длину штанг и заменил их собою. Плунжер *bb* состоит из совершенно закрытых по концам труб, свинченных нарезными муфтами. Вода таким образом не может попасть внутрь плунжера и он поэтому становится пловучим, так как вес его меньше веса вытесняемой им воды.

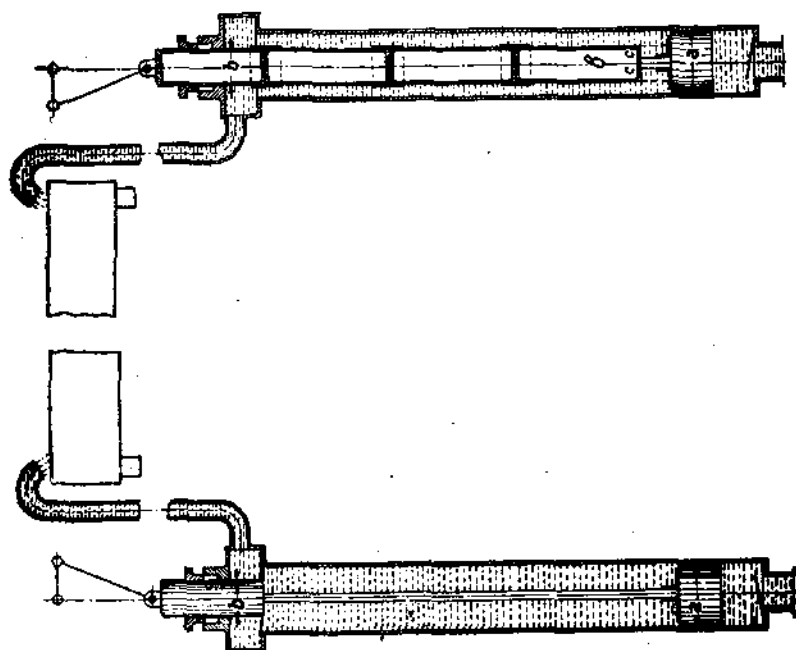
При таком устройстве плунжера, подобрав его диаметр, легко добиться полного выравнивания работы при ходе поршня вниз и вверх. При ходе вверх поршень испытывает давление воды, соответствующее не всей своей площади, как в прежнем типе, а только разнице между площадью плунжера и площадью поршня, так как давление на проекцию плунжера на поршень (показано пунктиром) почти уравнивается давлением вверх на дно плунжера *cc* благодаря почти одинаковой глубине и того и другого.

При движении поршня вниз работа веса поршня с плунжером уменьшается пловучестью плунжера. Кроме того, плунжер вытесняет из-под себя воду, производя на нее давление, равное своей площади, помноженной на высоту всего подъема воды наземного и подземного. Но такой способ выравнивания работы ведет к тому, что плунжер при опускании поршня работает на сжатие. Во всех прежних конструкциях штанговых насосов штанги никогда не работали на сжатие, а только на растяжение. При сжатии должен появиться продольный изгиб, что поведет к трению плунжера о стенки насосной трубы, а это вызовет и потерю энергии и быстрый износ насоса.

Остается невыясненным, как фирма справляется с этим затруднением.



Фиг. 21. Схема насоса фирмы «Амаг Гильперт».

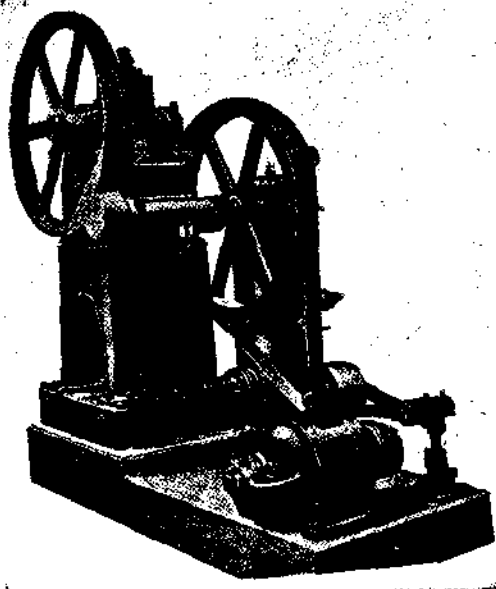


Фиг. 22. Насосная установка трех видов.

Подробности конструкции насосной установки этого типа изображены на фиг. 22 в плане и двух боковых видах. Лебедка приспособлена для ременного привода. На фиг. 23 дан общий вид лебедки с электромотором, ремнем и натяжным роликом.

Этот тип установки строится для скважин от 195 до 350 мм диаметром. Диаметр насосного цилиндра — от 140 до 280 мм; ход поршня — 500 мм; число оборотов в минуту — от 35 до 50; часовая производительность — от 15 до 90 м³; высота подъема в скважине — от 60 до 15 м, а общая высота подъема — от 85 до 25 м.

На фиг. 24 показано устройство поршня с двумя манжетами и кольцевым клапаном, повидимому, из твердой резины с таким же упором над ним. Справа показан всасывающий клапан вместе со всасывающей сетчатой трубой. Клапан и всасывающая труба соединены в одно целое и посредством верхней дужки вместе вынимаются на поверхность. Гнездо клапана, которое непосредственно продолжается во всасывающую трубу, имеет



Фиг. 23. Общий вид лебедки.



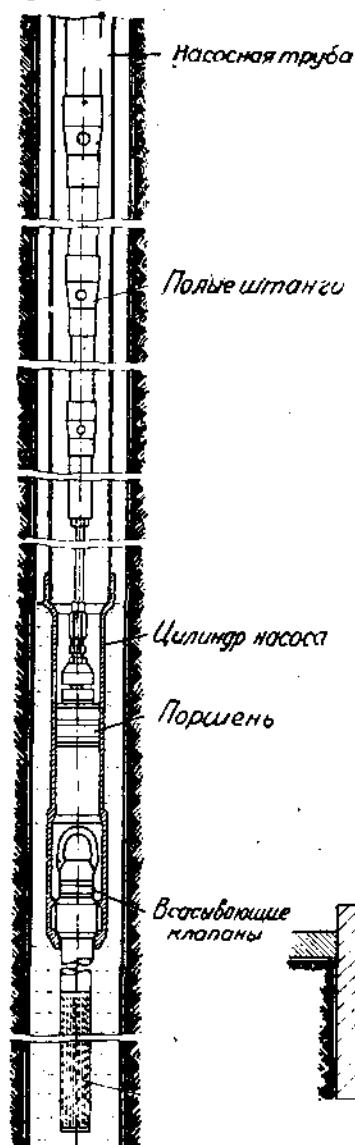
Фиг. 24. Поршень и всасывающий клапан с сеткой.

коническую заточку, которой упирается в соответствующую же заточку внизу насосного цилиндра, чем и достигается плотность соединения этих частей.

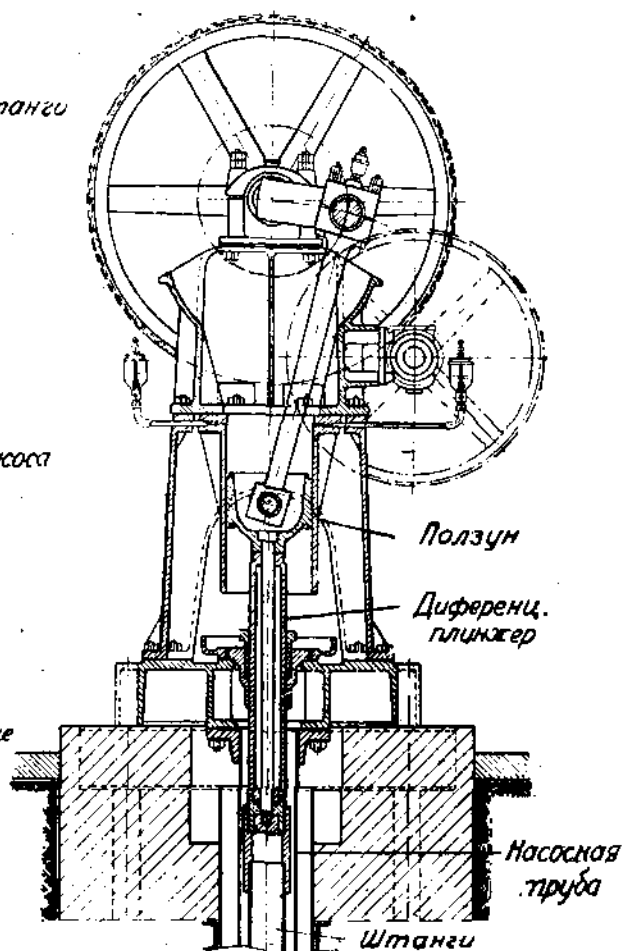
Это соединение показано на фиг. 25. На этом же чертеже показано соединение насосного цилиндра с насосной трубой и устройство полых плывучих штанг.

На фиг. 26 показано подробно устройство насосной лебедки. Направляющая крейцкопфа представляет собою круглую трубу, прикрепленную к станине фланцем и легко сменяемую. Эту конструкцию крейцкопфа с направляющей легко превратить в воздушный насос, что фирма и делает в небольших установках, используя сжатый воздух для наполнения воздушного колпака. Но так как эта операция требуется изредка, по мере растворения воздуха в котле напорной воды, то в другое время посредством поворота трехходового крана воздушный насос переводится на холостой ход.

Быстроходные насосы фирмы «Ангера сыновья» и этот насос фирмы «Амаг Гильперт» представляют собою очень интересные новинки в конструкции насо-



Фиг. 25. Детали конструкции насоса.



Фиг. 26. Детали конструкции лебедки.

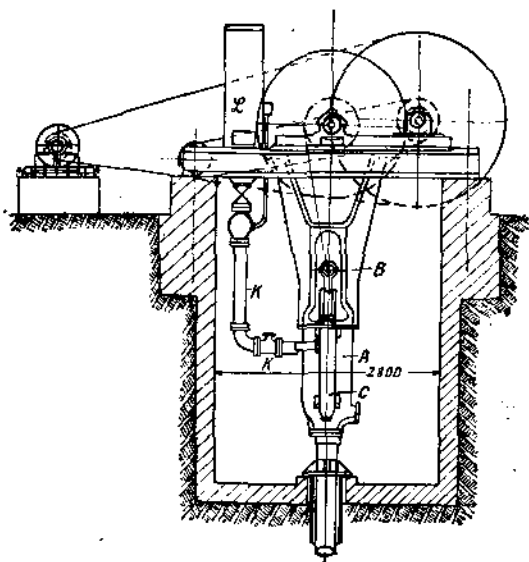
сов. К сожалению, из имеющихся материалов в виде каталогов названных фирм невозможно вполне понять ни конструкцию, ни работу этих насосов.

5. Гидравлическое и пневматическое выравнивание работы насоса

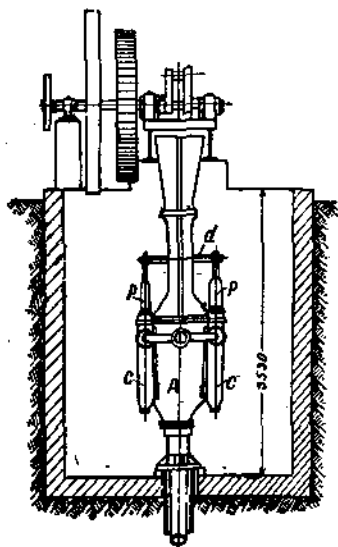
Применение противовесов на особом рычаге (фиг. 12) или на зубчатых колесах коленчатого вала (фиг. 13) дает возможность выравнивать неравномерную работу штангового насоса. Передвижением груза на рычаге и, в меньшей мере, уменьшением или увеличением веса нагрузок на зубчатом колесе можно приспособиться к изменяющемуся уровню воды в буровой скважине. Однако эти способы выравнивания работы обладают тем недостатком, что увеличивают и без

того большую массу движущихся попеременно вверх и вниз частей и таким образом противодействуют повышению скорости движения насоса.

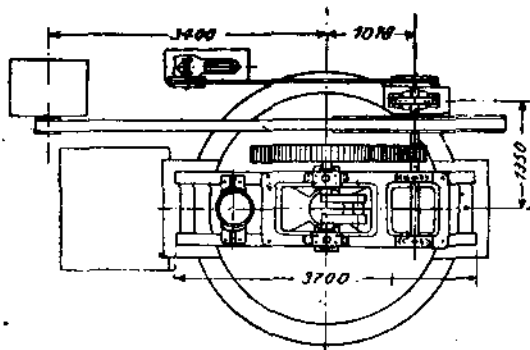
Для устранения этого недостатка фирма «Вейзе и Монский» еще до войны начала применять пневматический способ выравнивания работы насоса. На фиг. 27, 28 и 29 показана насосная установка «Вейзе и Монский» с пневматическим уравниванием работы насоса в трех видах.



Фиг. 27.



Фиг. 28.

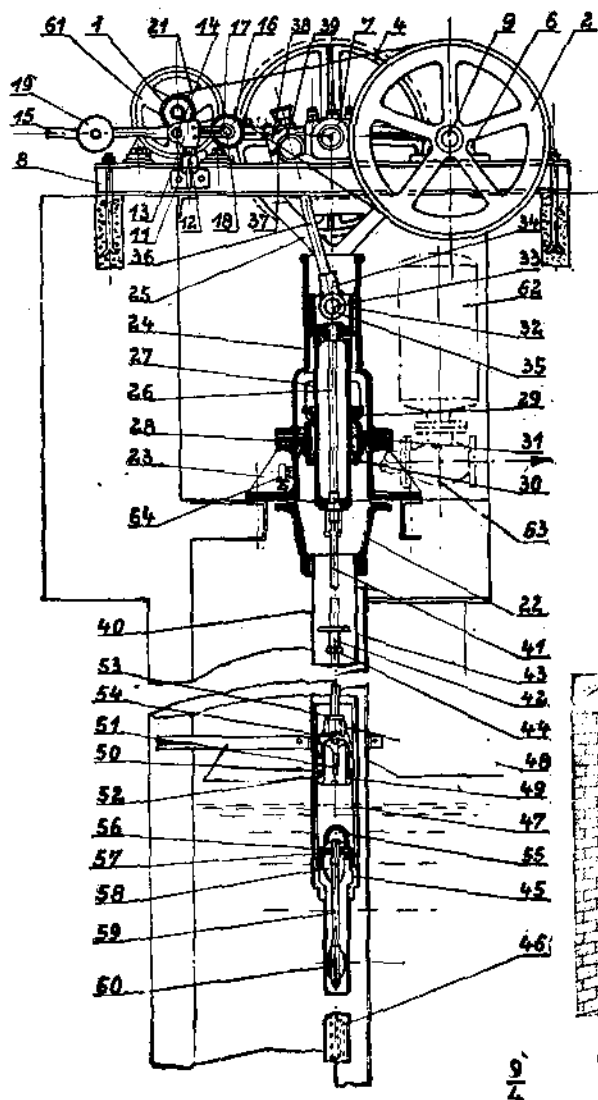


Фиг. 29.

Фиг. 27, 28, 29. Установка с гидropневматическим выравниванием работы

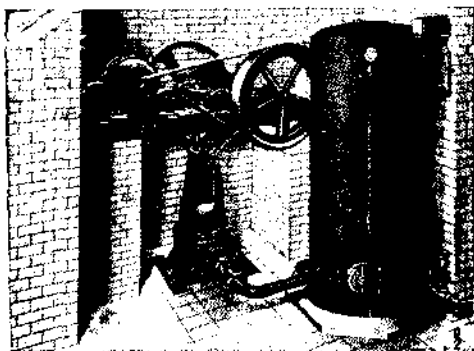
С двух сторон цилиндра *A*, направляющего движение крейцкопфа *B* (ползуна, соединяющего штанги насоса с шатуном), приделываются два малых цилиндра с плунжерами, соединенными удлиненным болтом крейцкопфа *d*. Цилиндры *CC* посредством трубопровода *KK* соединены с воздушным котлом *L*. В котле находится вода и воздух. Маленьким компрессором, показанным на фиг. 29, в котле поддерживается давление, приспособленное к глубине воды в скважине. При работе штангового насоса работают и выравнивательные насосы *CC*. Во время опускания штанг и поршня из цилиндров *CC* вытесняется вода в воздушный котел. При подъеме же штанг давлением воздуха в воздушном котле плунжеры *PP* поднимаются вверх и помогают работе двигателя. При ходе вниз пневматическое устройство поглощает излишнюю работу двигателя, а при ходе вверх отдает ее обратно.

Этот способ уравнивания хода поршня применяется тогда, когда подъем воды над землей очень мал по сравнению с подъемом под землей, т. е. с глубиной скважины до воды. При значительных подъемах воды над землей выравнивание



Фиг. 30. Насос фирмы «Борзиг».

1 — шкив мотора; 2 — маховое колесо; 3 — зубчатое колесо; 4 — противовес; 5 — подшипник приводного вала; 6 — подшипник коленчатого вала; 7 — фундаментальная рама; 8 — вал; 9 — колесчатый вал; 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 — части натяжного ролика; 19 — противовес; 20 — винт; 21 — кожаный ремень; 22 — фланец; 23 — опорная часть; 24 — направляющая; 25 — штанга; 26 — дифференциальный плунжер; 27 — фланец сальника; 28 — втулка сальника; 29 — втулка; 30 — сальниковая набивка; 31 — крестовина; 32 — шатун; 33 — насосная труба; 34 — шланг; 35 — муфта штанги; 36 — направляющая штанги; 37 — контргайка; 38 — цилиндр насоса; 39 — поршень; 40 — седло клапана; 41 — кожаные манжеты; 42 — пружина клапана; 43 до 48 — всасывающий клапан; 49 — направляющая штанга; 50 — направляющая часть; 51 — электромотор; 52 — воздушный котел; 53 — обратный клапан; 54 — воздушный край.



Фиг. 31. Автоматическая установка «Борзиг».

работы поршня, как мы видели выше, может производиться дифференциальным плунжером, помещенным сверху штанг. Но плунжер может дать полное выравнивание работы только при значительном превышении надземного подъема над подземным, в противном случае выравнивание будет частичным. Дополнительное выравнивание можно получить при посредстве тех же двух боковых цилиндров с плунжерами. Цилиндры соединяются в этом случае не с воздушным котлом, а с напорным трубопроводом. При движении поршня вниз они поглощают работу, а при движении вверх отдают ее обратно. Неудобство этого гидравлического способа состоит в том, что размеры плунжеров уравнивательных цилиндров должны приспособляться ко всякому отдельному случаю соотношения подземного и надземного напора, тогда как при гидропневматическом способе приспособление к частному случаю производится повышением и понижением давления воздуха, но зато здесь необходим компрессор.

В насосах этой фирмы штанги подвешиваются к плунжеру, а не закрепляются в нем неподвижно. При остановке по какой-нибудь неисправности поршня штанга при движении плунжера вниз остается на месте, не мешая плунжеру опускаться.

6. Насосы других фирм

На фиг. 30 показан насос и лебедка фирмы «Борзиг». Привод от мотора — ременная передача с натяжным роликом. От приводного вала 9 движение шестерней передается зубчатому колесу главного коленчатого вала. На зубчатом колесе имеется противовес, не показанный на этой фигуре, но хорошо видимый на фиг. 31. Подшипники главного и приводного вала — с кольцевой смазкой. Крейцкопф движется в цилиндрических направляющих поверхностях, снабженных самостоятельной смазкой. Штанги с поршнем и всасывающим клапаном легко вынимаются из труб без разборки насоса, так как поршень и всасывающий клапан больше всего нуждаются в уходе и осмотре.

Особенность этого насоса составляет металлический клапан поршня, нагруженный пружиной, что делает его пригодным для большого числа оборотов. Вообще же клапаны штанговых насосов ради простоты делаются без пружин. Поршень — с двумя кожаными манжетами.

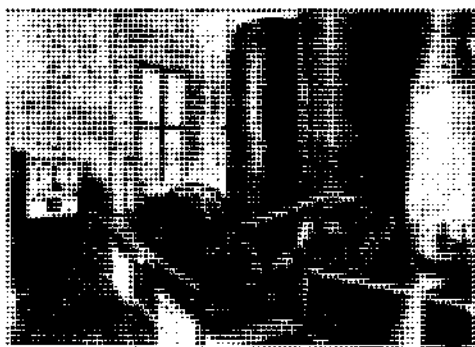
Насосы этого типа строятся с ходом в 250 и 500 мм — первые для цилиндров диаметром от 65 до 135 мм, а вторые от 115 до 310 мм. Наибольшее число оборотов малых насосов 55 в минуту, а больших 45—40. Наибольшая производительность малых насосов — от 2,7 до 11,5 м³/час, а больших — от 14 до 90 м³/час. Глубина погружения малых насосов — от 250 до 90 м; уменьшается она с увеличением диаметра. Общая высота подъема — от 400 до 180 м, также уменьшающаяся с увеличением диаметра. Для больших насосов наибольшее погружение — от 140 до 25 м, а общая высота подъема — от 280 до 50. Коэффициент полезного действия (к. п. д.) установки 75%. Мощность мотора должна быть взята на 20% выше расчетной для преодоления пусковых сопротивлений, а при очень глубоких скважинах — даже на 25% выше. На фиг. 32 показана небольшая водопроводная насосная станция, оборудованная двумя штанговыми насосами глубиной 35 м и напором над землей 50 м. Мощность каждого насоса — 33 м³/час, число оборотов насоса — 35 в минуту. Моторы — по 20 сил.

Станция работает автоматически, моторы включаются и выключаются меняющимся давлением в котлах. Размеры трех котлов показывают, что мы имеем дело здесь, вероятно, с пневматическим водоснабжением. Котлы заменяют напорную башню.

7. Балансирные лебедки

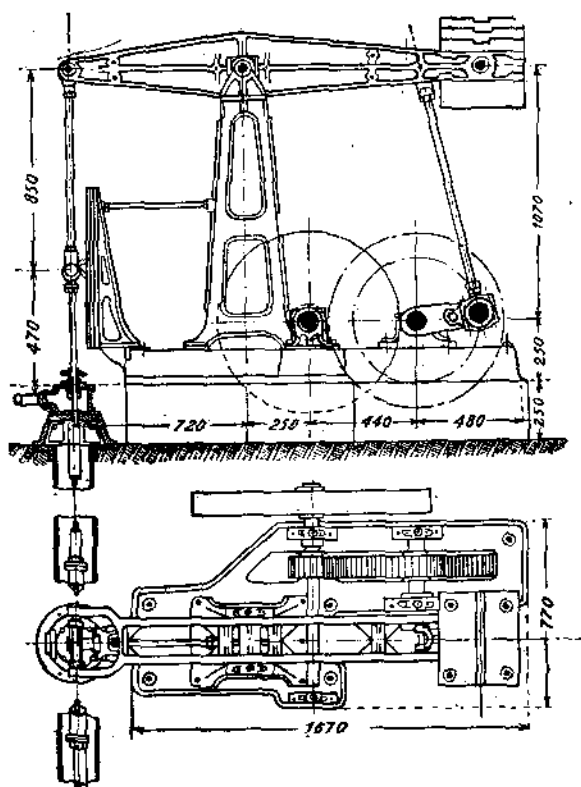
На фиг. 33 изображена лебедка, передающая движение от двигателя не шатуном и кривошипом, а посредством балансира. Первые паровые машины, а также и первые паровые насосы пользовались, как известно, балансирами или коромыслами для превращения круговращательного движения в прямолинейное. Впоследствии механизм шатуна и кривошипа вытеснил балансирные механизмы в паровых машинах и насосах. Дольше всего этот громоздкий механизм удерживался в приводах штанговых насосов.

В настоящее время балансирный механизм уже почти вышел из употребления в заграничной практике, но еще удерживается у нас. Насосные установки со



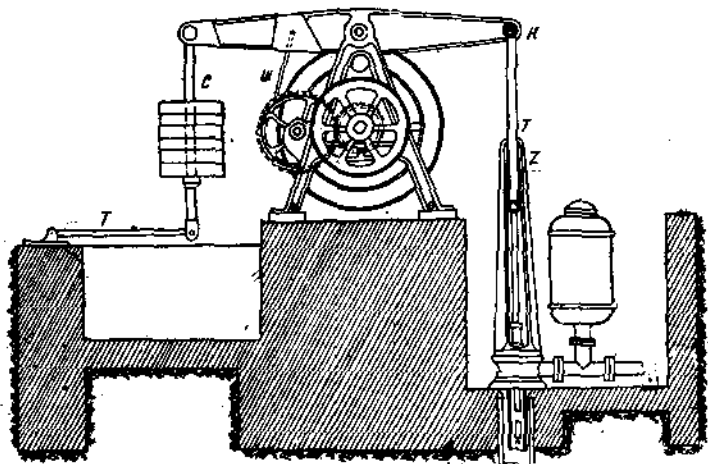
Фиг. 32. Автоматическая городская станция.

штанговыми насосами нашего и иностранного довоенного производства, какие автору приходилось видеть в Союзе, — все балансирующего типа с противовесами.



Фиг. 33. Балансирная насосная установка.

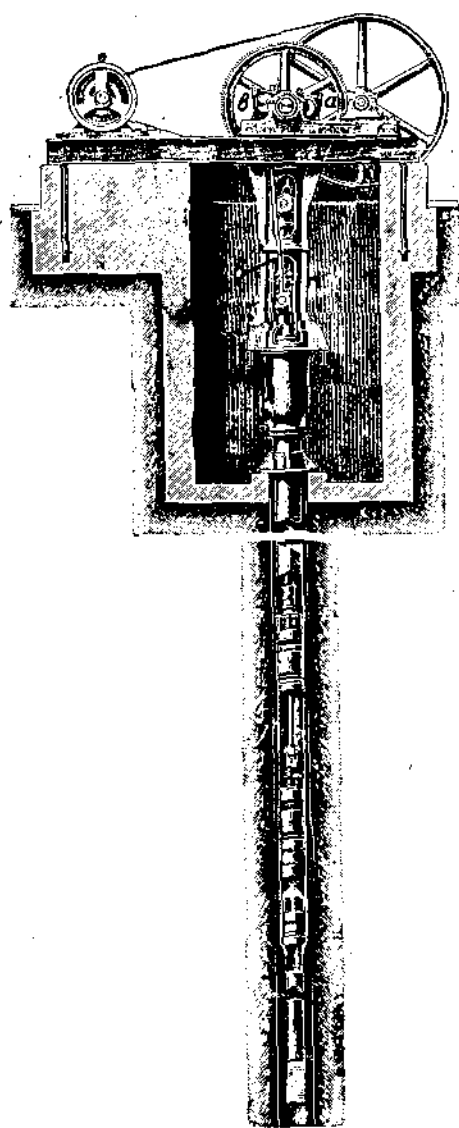
представляющие собою разные вариации конструкции фиг. 33 и 34. На фиг. 34 изображены схематически лебедки, установленные в 1930 году на трех



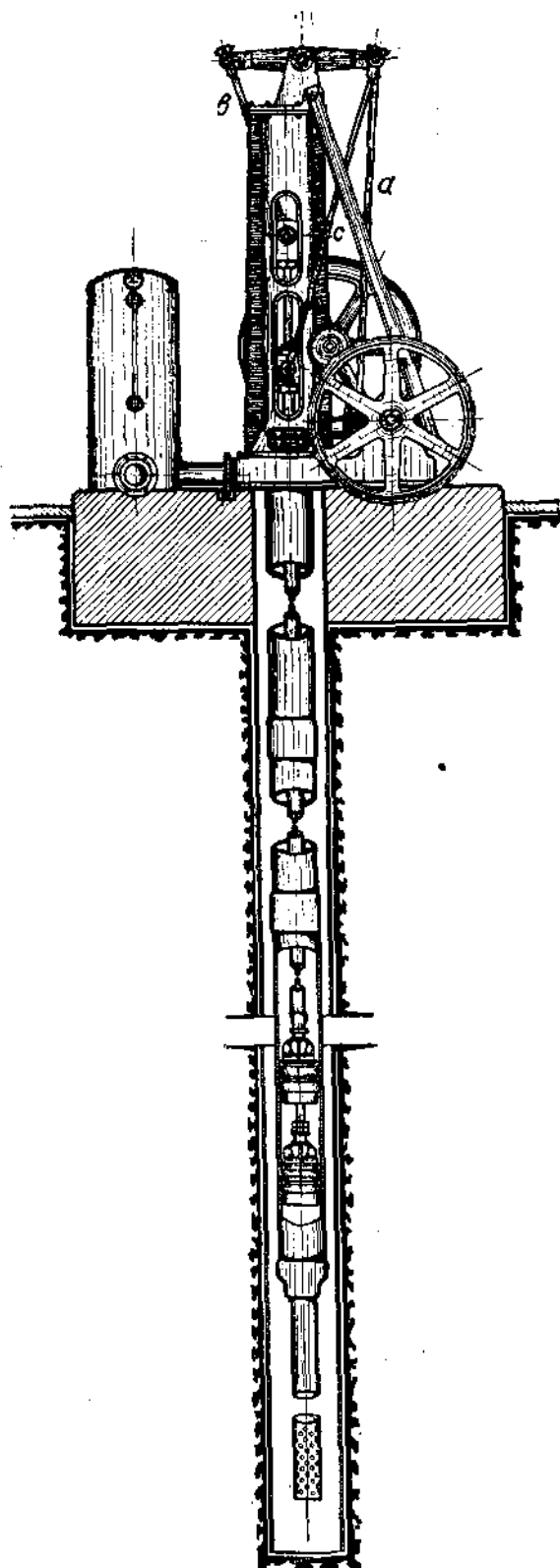
Фиг. 34. Первая насосная установка Харьковского Тракторного завода.

скважинах временного водоснабжения Харьковского тракторного завода и изготовленные харьковским же заводом бывш. Алексея.

Лебедка—балансирная с противовесом, подвешенным на железном стержне C ; чтобы противовес не раскачивался, его удерживает тяга T ; во время работы это



Фиг. 35. Насос с двумя поршнями
«Вейзе и Монский».



Фиг. 36. Двухпоршневый насос фирмы
«Ангер сыновья».

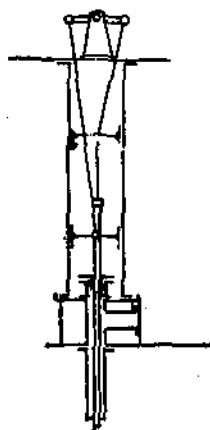
производит неприятные и резкие звуки. Передача от горизонтального нефтяного мотора производится ремнем на шкив лебедки. На валу большого шкива насажена шестерня, передающая движение зубчатому колесу, сидящему на коленчатом валу. Шатун *ш* передает движение от коленчатого вала балансиру или коромыслу. К концу коромысла *К* подвешена штанга насоса посредством короткого стрежня *Т*, соединенного со штангой шарниром. Колонка *З* служит направляющей для штанг.

Глубина скважины — свыше 60 м. Насосный цилиндр 100 мм в диаметре опущен на глубину около 60 м. Клапаны всасывающий и поршневый — шаровые. Число оборотов — 26—30, подача — около 6—7 м³/час.

8. Насосы с двумя поршнями

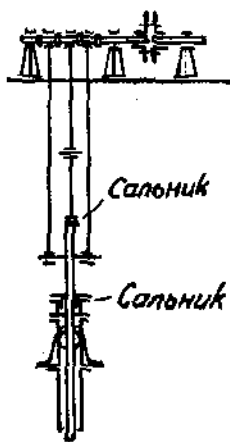
Принцип действия насосов с двумя поршнями описан выше. Эти насосы не могут быть очень малых диаметров, так как при этом получились бы очень слабые размеры штанг и прочих частей. Фирма «Вейзе и Монский» строит эти насосы, начиная с диаметра 170 мм. На фиг. 35 представлен двухпоршневый насос фирмы «Вейзе и Монский». Поршни насоса значительной длины, нижний поршень

коленчатый вал

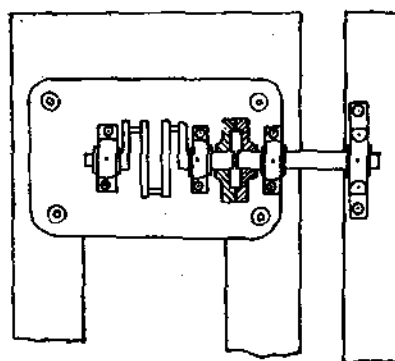


Фиг. 37.

коленчатый вал



Фиг. 37, 38. Насос Войслава.



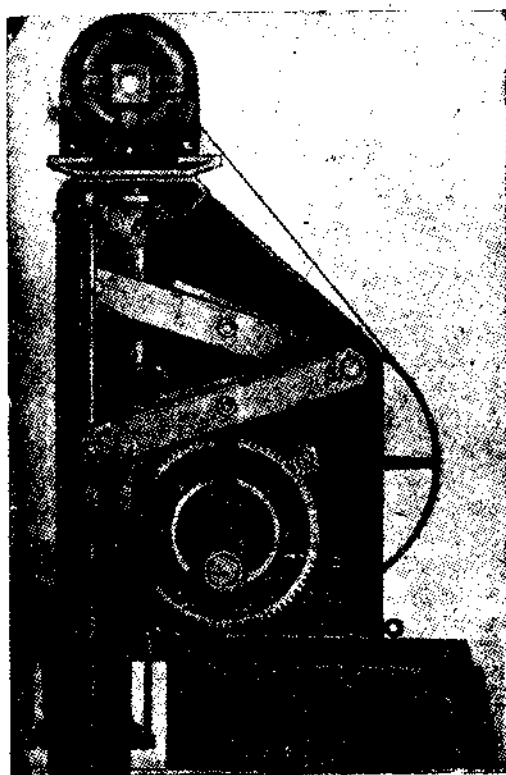
Фиг. 38.

имеет цельную штангу, проходящую через поршень, и трубчатую штангу верхнего поршня. Нижний поршень приводится в движение правым коротким шатуном *а*, а верхний поршень с трубчатой штангой движется длинным шатуном *bb*. Сплошные и трубчатые штанги имеют особые направляющие. Лебедка той же конструкции, что и для однопоршневого насоса. Разница только в том, что вместо одноколенчатого вала здесь вал двухколенчатый с поворотом одного колена на 180° по отношению к другому. Фирма выполняла такие насосы до глубины 60 м. Преимущество их заключается в том, что они обеспечивают равномерную работу без всяких уравнительных приспособлений. Производительность этих насосов вдвое большая по сравнению с однопоршневыми; поэтому они применяются там, где требуется подача большого количества воды. Насосы такого типа применяются на киевском водопроводе. На фиг. 36 изображен двухпоршневый или, неправильно называемый немцами, насос двойного действия фирмы «Ангер сыновья». Здесь движение от кривошипа шатуном *а* передается двуплечему рычагу или балансиру, от которого коротким шатуном *б* передается сплошной штанге и нижнему поршню, а длинным шатуном *с* — трубчатой штанге и верхнему поршню. Обе штанги имеют особые направляющие для своих ползунов.

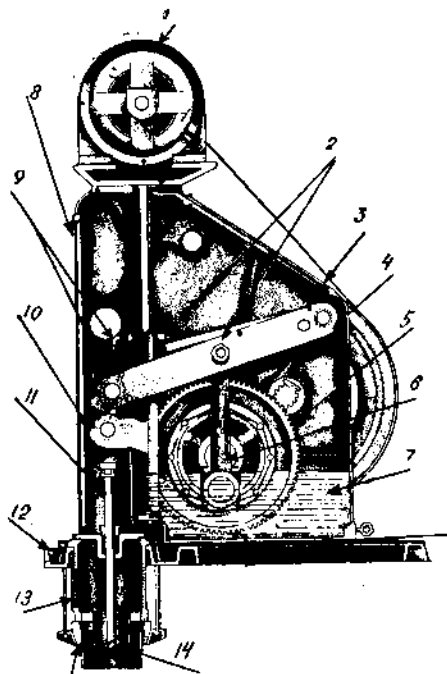
На фиг. 37 и 38 изображен в плане и двух боковых видах двухпоршневый насос Войслава, работавший на киевском водопроводе. Трехколенчатый вал посредством шатуна приводит в движение средним коленом внутреннюю сплошную штангу нижнего поршня, а два наружных колена вала при посредстве двух более длинных штанг приводят в движение наружные трубчатые штанги. Производительность насоса 100 м³/час при 50 оборотах в минуту. Насос работал без насосного цилиндра, а прямо в буровых трубах, что, конечно, должно было увеличить потери на трение. Такое простое устройство насоса возможно, потому что при двух поршнях не нужен всасывающий клапан.

9. Американские насосы

Штанговые насосы получили широкое применение в Америке для буровых скважин. К сожалению, не удалось достать каталогов американской фирмы American Well Works, Aurora, Illinois.



Фиг. 39. Американская лебедка двухпоршневого насоса.

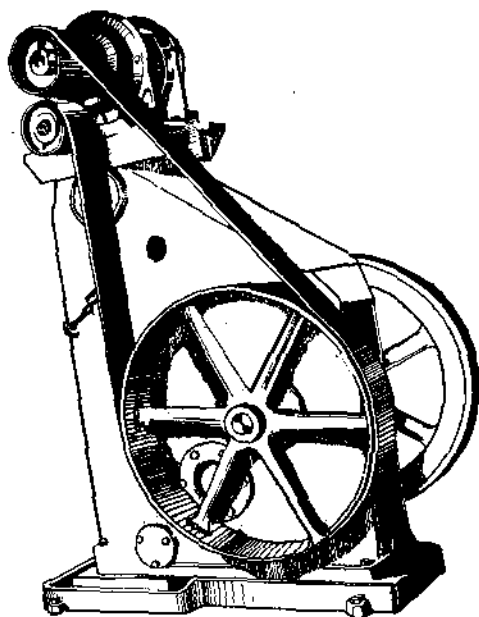


Фиг. 40.

1—мотор; 2—автомат, смазка шатуна и подшипников; 3—задняя крышка, легко снимаемая; 4—стальной качающийся рычаг; 5—зубчатое колесо; 6—шатуны; 7—резервуар для масла; 8—передняя крышка, легко снимаемая; 9—автоматическая смазка крейцкофа и подшипников передних; 10—кр. штифт; 11—штанга; 12—фундаментная плита; 13—присоединение нагнетательной трубы; 14—насосная труба;

На фиг. 39 показана лебедка этой фирмы для насоса с двумя поршнями. Посредством ременной передачи электромотор приводит в движение шкив, а от него зубчатой передачей движение передается двум кривошипам, из которых один в нижнем положении ясно виден на фигуре, а другой в верхнем положении находится по другую сторону зубчатого колеса и потому от него видны только края головки верхнего шатуна. От кривошипов двумя шатунами движение передается двум рычагам, соединенным один с наружной трубчатой штангой, а другой — с внутренней сплошной. Шарнирное соединение рычагов со

штангами происходит посредством особых лап *a*. Эти лапы соединяются с длинными втулками *b*, ползущими по направляющим стержням. Конструкция этой лебедки дает так называемое гармоническое движение. Лебедка закрыта железным кожухом, а зубчатое колесо наполовину погружено в масло.

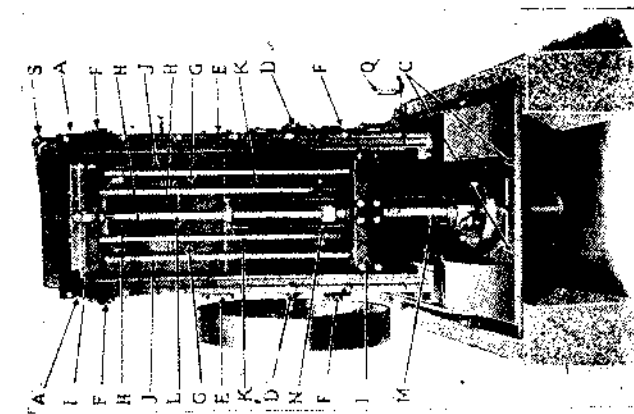


Фиг. 41. Общий вид лебедки.

На фиг. 40 изображена та же лебедка и той же фирмы, но только для насоса с одним поршнем. Детали конструкции пояснены на самой фигуре. Выравнивание работы однопоршневого насоса производится маховиком. На фиг. 41 показан внешний вид лебедки. С одной стороны находится шкив, а с другой — маховое колесо. Однако размеры маховика, не превосходящие размеров маховиков германских лебедок, недостаточны для полного уравнивания хода насоса. Отсутствие более подробных чертежей не дает возможности вполне выяснить этот вопрос. Лебедки для двух поршневых насосов не имеют маховиков.

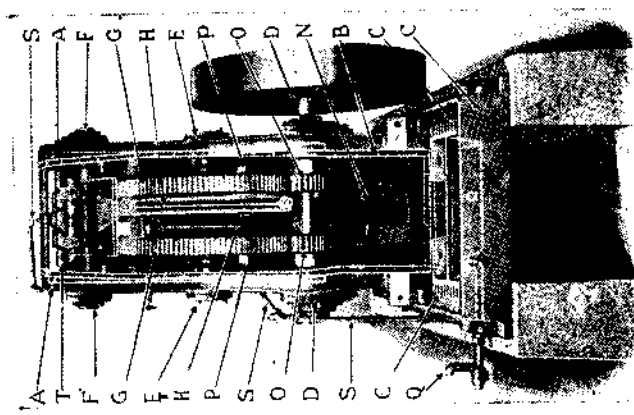
На фиг. 42, 43, 44 показана в трех видах лебедка двухпоршневого насоса фирмы Кук, А. Д. Соок, *Engineering Company*. Массивный корпус *A* несет на себе не только весь механизм, но в то же время служит и оболочкой для смазочного устройства. Фундаментная плита держит на себе лебедку и мотор (фиг. 45) с зубчатой или бесшумной цепной передачей (фиг. 46). Сама плита покоится на бетонных подставках, приямка у насоса нет. Доступ к буровой скважине, как видно на фиг. 42, легок. Шкив на фиг. 42, 43 и 44 служит для ременной передачи, шестернями на главном валу *O* движение передается двум зубчатым колесам *D*. Движение от колес передается двум коленчатым рычагам *H* — верхнему и нижнему. На каждом колесе имеется палец (фиг. 44, 47 и 48), входящий при посредстве четырехугольного ползуна в направляющий прорез в более длинном колене коленчатого рычага *H*, вращающегося вокруг неподвижной оси *x* (фиг. 47, 49 и 50).

Особенность движения коленчатого рычага, передаваемого штангам насоса, заключается в неодинаковости хода вверх и вниз. Ход вверх совершается по всему пути дуги показанной толстой линией (фиг. 48); ход же вниз происходит только по пути тонкой дуги. Благодаря этой особенности ходы вверх обоих поршней перекрываются на дугах, показанных толстыми линиями (фиг. 51), вследствие этого движение воды вверх в насосе никогда не прекращается и,

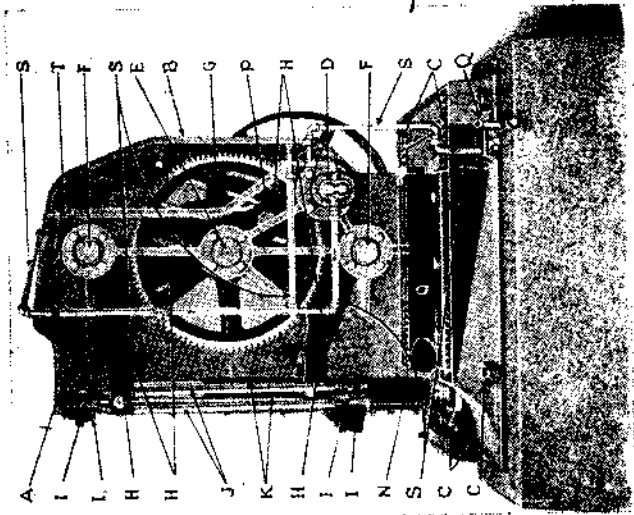


Фиг. 42. Лебедка американской фирмы «Куку» спереди.

А—корпус с резервуаром для масла; В—защита от масла; С—фундаментная плита; зубчатка, отверстие для спуска; D—подшипники главного вала; E—подшипники вала зубчатых колес; F—подшипники колесчатых рычагов; G—большое зубчатое колесо; H—коленчатые рычаги; I—перекладные; I_н верхний; I_в—нижний; I_г—полушар; J—стержни, соединяющие вилку верхнего колесчатого рычага с нижним полушаром; K—стержни, соединяющие вилку нижнего колесчатого рычага с верхним полушаром; L—внутренний шток поршня насоса; M—внешний шток поршня насоса; N—шток от воды; O—шестерни; O_г—правая; O_л—левая; P—гайки пальцев колесчатого рычага; Q—резервуар для масла; Q_о—перелив; R—мастковый насос; S—масляные трубки; T—накидная скворота для масла.

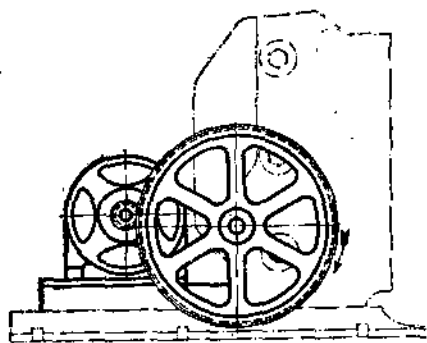


Фиг. 43. Вид сзади.

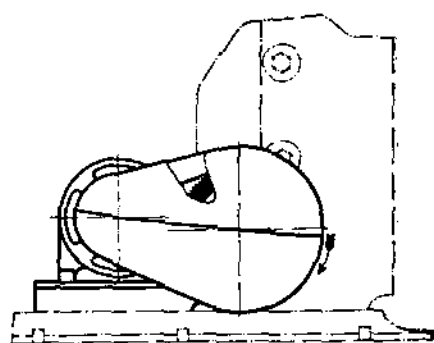


Фиг. 44. Вид сбоку.

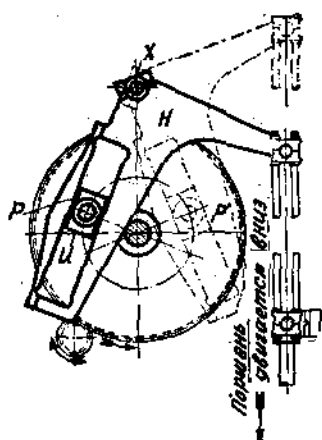
А. А. Плос



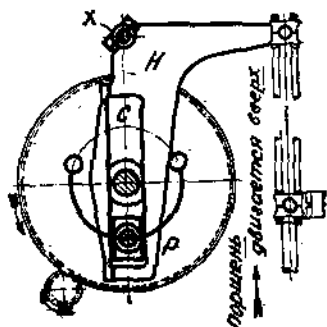
Фиг. 45. Зубчатая передача от мотора к лебедке.



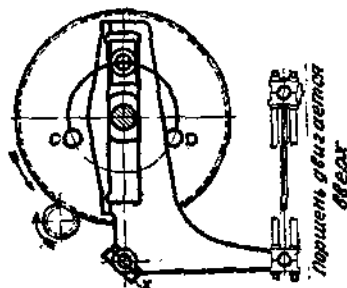
Фиг. 46. Цепная передача.



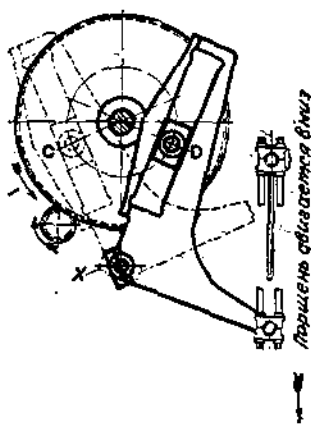
Фиг. 47. Передача от зубчатого колеса верхнему коленчатому рычагу и от рычага штанге.



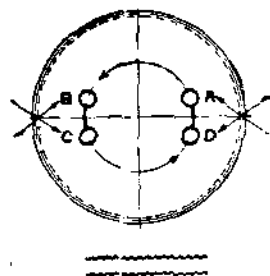
Фиг. 48. Передача от зубчатого колеса к верхнему коленчатому рычагу и от рычага к штанге в другом положении.



Фиг. 49. Передача от зубчатого колеса нижнему коленчатому рычагу и от него штанге.



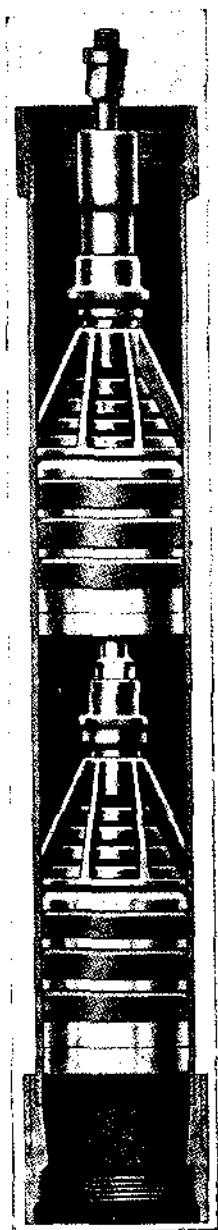
Фиг. 50. Передача от зубчатого колеса нижнему коленчатому рычагу и от него штанге в другом положении.



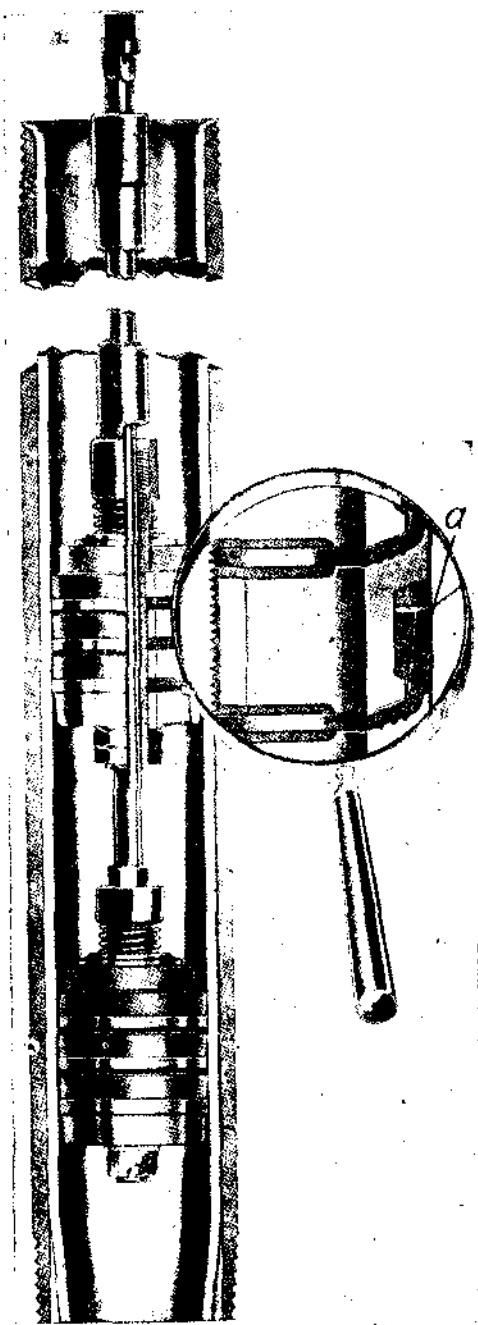
Фиг. 51. Перекрытые ходов.

А — верхний коленчатый рычаг кончает подъем; В — верхний коленчатый рычаг начинает подниматься; С — нижний коленчатый рычаг кончает подъем; D — нижний коленчатый рычаг начинает подниматься.

таким образом, неблагоприятное влияние инерции массы воды, находящейся в насосной трубе, сводится к минимуму. Фигуры 49 и 50 изображают движение нижнего коленчатого рычага.



Фиг. 52. Бронзовый цилиндр насоса и поршни;



Фиг. 53. Вставной бронзовый цилиндр и поршни.

Неодинаковость хода подъема и опускания достигается тем, что ведущее плечо коленчатого рычага то удлиняется, то укорачивается. Короткое плечо получается при опускании и холостом ходе, длинное плечо — при подъеме

с нагрузкой. Благодаря описанному остроумному устройству лебедка дает очень уравновешенную работу и непрерывную подачу воды. Коэффициент полезного действия, по словам фирмы, доходит до 85%.

На фиг. 52 представлен самый насос. Бронзовый цилиндр и два бронзовых поршня — с тремя кожаными манжетами. Клапан бронзовый, конический. Всасывающего клапана нет, так как для двухцилиндровых насосов он не нужен.

На фиг. 53 показан железный цилиндр с внутренним бронзовым цилиндром. Поршни также с тремя манжетами. клапан резиновый с пружиной. Штанга нижнего поршня сплошная, верхнего — полая, из кованого железа, а не из стали. Сбоку в лупу показано в увеличенном виде положение кожаных манжетов. Воротник манжета прикасается к стенке цилиндра только своим краем, а не всей своей поверхностью, как делается обычно. Такое устройство обеспечивает лучшее прижатие к цилиндру манжета при его износе давлением воды сверху и увеличивает срок службы манжета, по словам фирмы, в 3—5 раз. В лупу хорошо видно кольцевое отверстие клапана.

Фирма изготавливает насосы мощностью от 3 до 30 л. с. Вот некоторые данные об этих насосах:

Диаметр цилиндра мм	Ход поршня мм	Зубчатая передача	Приблизительная производительность л за ход	Производительность л/сек
75	175—400	7,07 : 1	2—4	1—2
100	175—450	6,5 : 1	4—8	—
150	375—500	6,5 : 1	16—20	—
200	450—560	6,6 : 1	40	18
250	500—560	7,1 : 1	60	25
300	560	6,5 : 1	80	32

10. Наземные здания

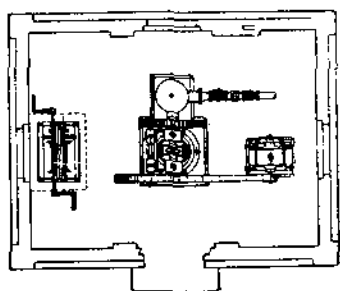
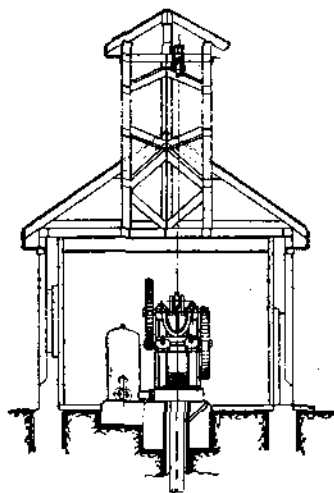
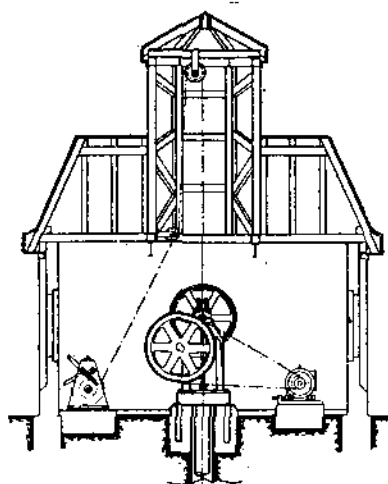
Поршневые насосы чаще всего устанавливаются в наземных зданиях. Устройство зданий обыкновенное и отличается только одной особенностью, а именно — приспособлением для выемки штанг и ремонта буровой скважины. Иногда над скважиной оставляется та тренога, которой пользовались при бурении скважины. Здание насосной станции в таком случае или вмещается под треногой или же захватывает и треногу, частью или целиком. Вместо треноги применяется также устройство над зданием вышки (фиг. 54 и 55). Блок, подвешенный к верхней балке вышки, служит для выемки штанг с поршнем насоса и ремонта скважины. Подъем производится ручной лебедкой, помещенной слева.

11. Подземная станция

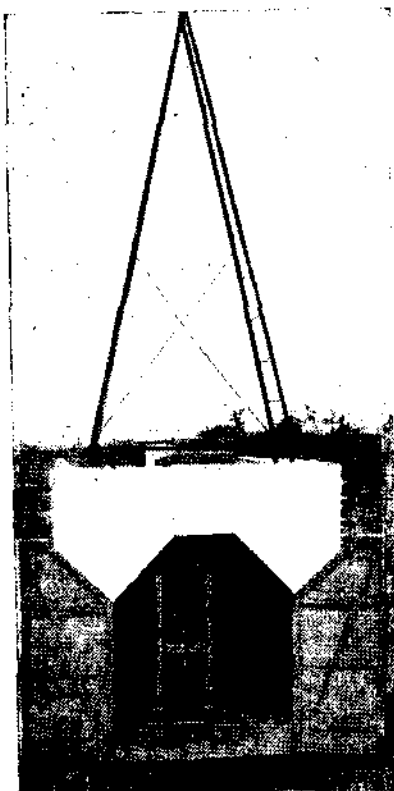
На фиг. 56 в трех видах показано схематически устройство насосного здания при подземном расположении насосной лебедки. Здание при этом получается меньших размеров в плане, так как вместо одного пола теперь имеется в распоряжении два: подвальный и первого этажа. При этом можно обойтись совсем без вышки или сделать ее меньшей высоты. Подземное расположение удобно еще тем, что в умеренном климате при нем можно обойтись без отопления. Для наземного же здания при малых насосах отопление необходимо в зимнее время. На больших насосных станциях, как увидим ниже, тепла, выделяемого моторами для отопления здания, часто бывает достаточно.

Здания, показанные на фиг. 54 и 56, запроектированы с чрезмерной экономией места. Проходы между мотором и стеной (фиг. 54) и между шкивом и ручной лебедкой очень малы.

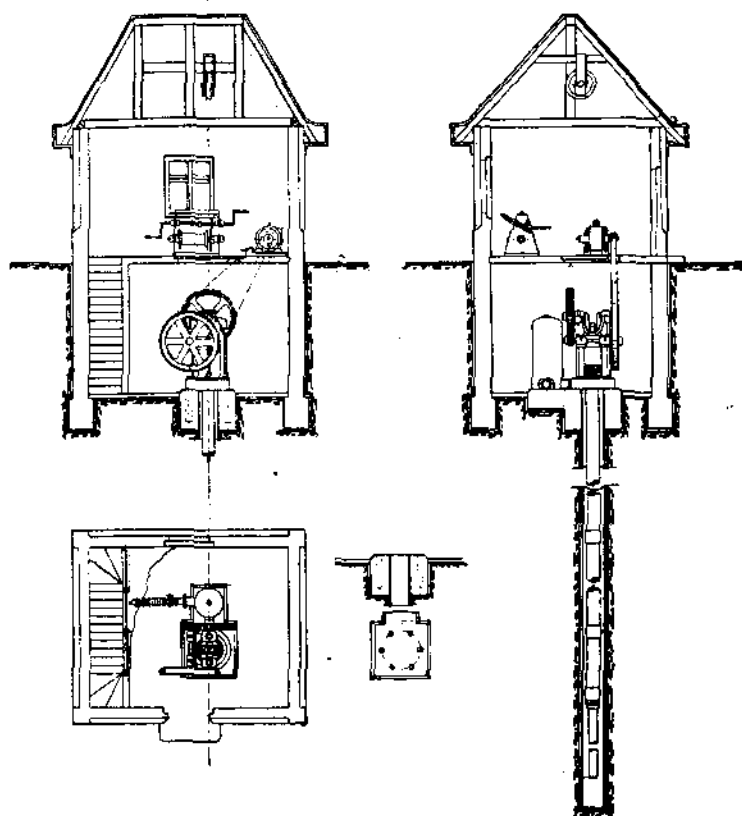
При применении более громоздких двигателей, чем электромоторы, требуется большая площадь здания.



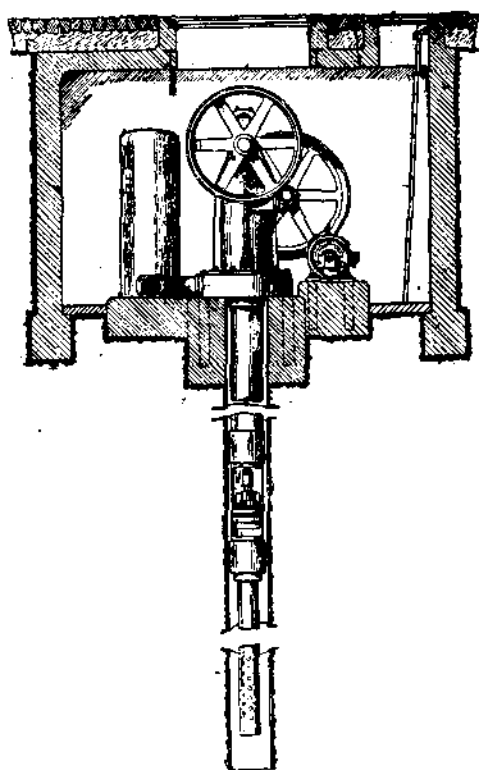
Фиг. 54. Здание для насосной лебедки.



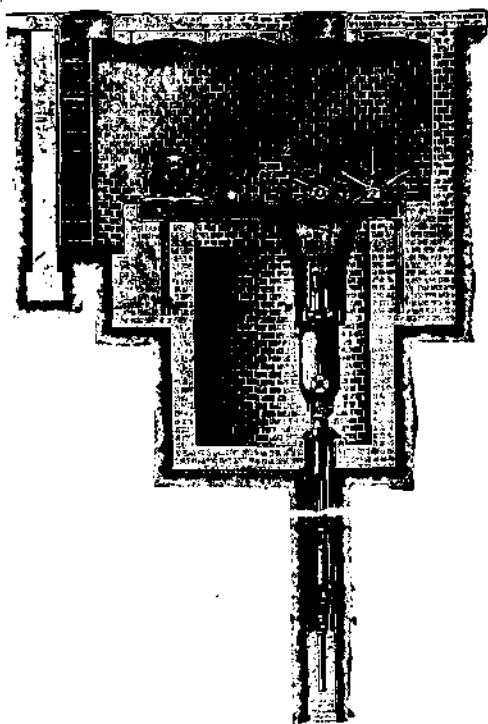
Фиг. 55. Будка для помещения лебедки.



Фиг. 56. Подземное помещение для лебедки.



Фиг. 57. Лебедка под мостовой.



Фиг. 58. Лебедка под мостовой.

Если скважина устроена на проезжем месте, тогда здание насосной станции над нею принимает вид подземного подвала (фиг. 57). Перекрытие и крышки люков должны быть рассчитаны на нагрузку самыми тяжелыми грузовыми машинами. Средний люк служит для опускания и выемки частей машины и ремонта скважины, а боковой — для входа.

На фиг. 58 показано подземное расположение насосной установки «Вейзе и Монский». Здесь люк над скважиной мал. Через него нельзя ни опустить, ни вынуть маховика, зубчатку и проч.

12. Двигатели для насосных станций

Судя по конструкции передачи иностранных лебедок они приспособляются почти исключительно для быстроходных двигателей, какими являются электромоторы.

Развитие электрификации приводит к вытеснению других двигателей. Электромоторы трехфазного тока при 50 периодах в секунду могут давать, смотря по числу электромагнитов, 3000, 1500, 1000 и 750 оборотов в минуту. Наиболее ходовыми являются двигатели с числом оборотов около 1500. Все индуктивные асинхронные моторы дают число оборотов немного отстающее от указанных цифр.

При 1450 оборотах мотора и двух передачах с отношением 1:7 общее передаточное число получится 1:49. Таким образом число оборотов насоса будет около 30. При одной передаче, допустим, ременной 1:5 и другой 1:7 число оборотов насоса будет 41,5.

В местах отдаленных от источников электроэнергии, как например, в многочисленных наших совхозах и колхозах, приходится пользоваться другими двигателями — нефтяными и паровыми, например, локомобилями. У нас имеются заводы, производящие небольшие нефтяные двигатели для сельского хозяйства, например, в Большом Токмаке около Мелитополя завод «Червоний прогрес», в г. Максштадте на Волге в АССР немцев Поволжья завод «Возрождение» и т. д.

Первый завод изготовляет двигатели 10, 12, 18 и 35 л. с. стационарные и перевозные. Кроме 35-сильного, все двигатели — вертикальные. Все двигатели двухтактные с двумя маховиками. В следующей таблице даются характеристики двигателей:

Тип двигателя	Марка	Мощность		Число оборотов в минуту	Приблиз. вес в кг	Ш к и в	
		Норм.	Макс.			Диаметр	Ширина
Вертикальный стационарный	ДВ—10	10	12	350	1015	475	370
	ДВ—12	12	15	325	1200	475	370
	ДВ—18	18	22	300	1750	510	390
Горизонтальный стационарный . . .	ДГ—35	35	43	220	5250	805	410

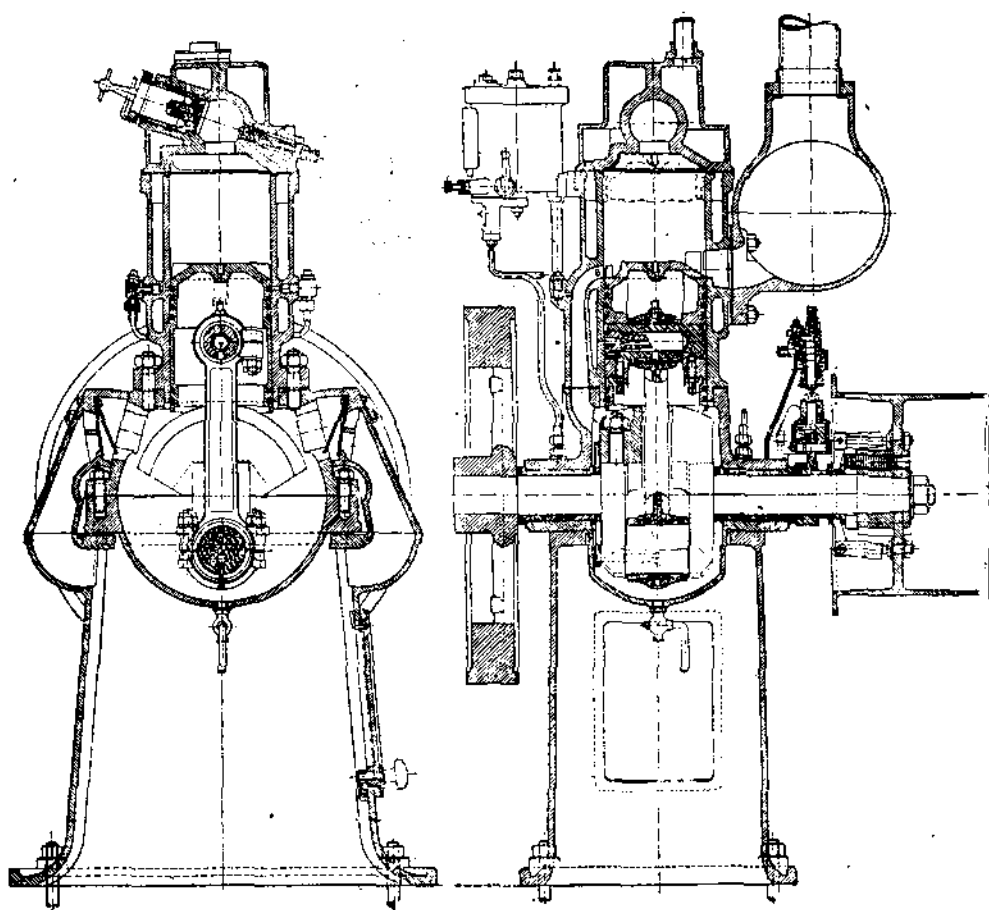
13. Двигатели завода «Возрождение»

Корпус двигателя состоит из станины, кривошипной камеры и цилиндра (фиг. 59); все это отливается из чугуна. Цилиндр и крышка его имеют рубашки для циркуляции охлаждающей воды. Первый момент воспламенения нефти происходит от запального штифта из красной меди, нагреваемого на примусе отдельно от двигателя.

Поршень чугунный с 6 кольцами; поршневой падец стальной; шатун стальной, верхний пальцевый подшипник бронзовый, нижний кривошипный также бронзовый, но залитый бабитом.

Коренной вал стальной с противовесами. Подшипники коренного вала чугунные с железной буксой, залитой бабитом. Смазка производится капельной масляной, помещающейся на корпусе цилиндра.

Железный нефтяной бак, содержащий запас нефти, располагается выше нефтяного насоса, чтобы нефть поступала в насос самотеком, и соединяется с насосом медной трубкой.



Фиг. 59. Двигатель завода «Возрождение» — два разреза.

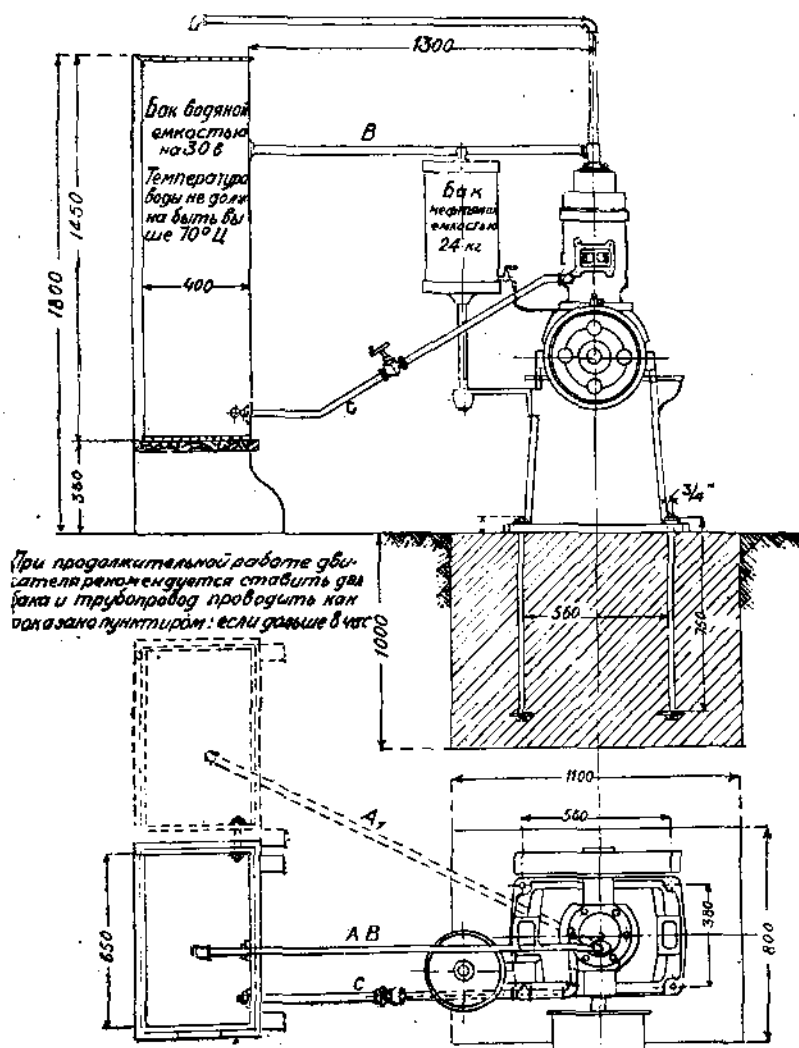
Нефтяной насос бронзовый со стальным поршнем и шаровыми клапанами. Форсунка бронзовая с бронзовым наконечником и распылителем и паровым клапаном, ввинчивается в верхнюю часть цилиндра.

Охлаждение двигателя — термосифонное, при посредстве водяного бака емкостью не менее, 0,4 м³.

Вот основные данные для характеристики двигателя:

Мощность в л. с.	12
Кратковременная перегрузка	15%
Диаметр поршня	170 мм
Ход поршня	180 »
Число оборотов в минуту	650
Диаметр маховика	625 мм
Ширина полотна	90 »
Диаметр шкива	335 »
Ширина шкива	250 »
Труба для выхода газов	90 »
Труба для соединения с баком	20 »
Высота двигателя	1350 »
Горизонтальные размеры	760 × 470
Вес	530 кг
Расход нефти на силу в час	270—300

На фиг. 60 показана установка двигателя с нефтяным баком и водяным резервуаром для охлаждения, емкостью 0,4 м³.



Фиг. 60. Установка двигателя завода «Возрождение».

14. Двигатели для колхозов

Описанные двигатели велики для очень многих сельских насосных установок. Предположим, что водоснабжение должно обслуживать колхоз в 100 дворов с общим числом населения 500 чел.; скота всего 100 коров и 100 лошадей. Считая на людей и на скот в среднем по 50 л в день, получим средний суточный расход 35 м³. Считаясь с неравномерностью суточного расхода и возможными максимумами, превосходящими средний расход в 1,7 раза, получим расчетный расход 60 м³.

Предположим далее, что скважина, питающаяся подземной водой, имеет глубину до воды 20 м, а во время откачки уровень понижается еще на 10 м. Высота подъема в напорный бак 20 м. Таким образом общая высота вместе с потерями на трение в трубах будет, положим, 60 м. Предположим далее, что скважина даст при понижении уровня на 10 м 1½ л/сек, или около 130 м³ в сутки. Для подачи

максимального расхода насос должен работать около 12 часов в сутки, а для среднего — всего лишь около 7 часов.

Полезная работа насоса будет $\frac{1,5 \times 60}{75} = 1,2$ л. с.

Принимая к. п. д. насоса с лебедкой 0,7, получим требуемую мощность двигателя:

$$1,2 : 0,7 = 1,7 \text{ л. с.},$$

или с увеличением на запас 2—2,5 л. с.

Отсюда видно, что для средних колхозов нужны очень мелкие двигатели. Если колхоз будет электрифицирован, тогда вместо двигателя внутреннего сгорания нужен будет электромотор в 2—2,5 л. с.

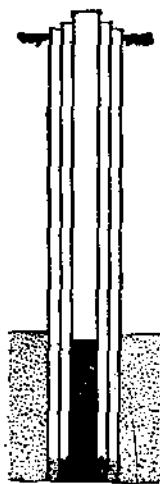
15. Деревянный бак

Необходимой принадлежностью сельского водоснабжения должен быть напорный бак емкостью 25 — 50 м³. Желательна еще большая емкость для пожарного запаса воды. Самым подходящим материалом для бака в наших условиях является дерево. Деревянные баки широко применяются в США; там они строятся до объема 400 м³.

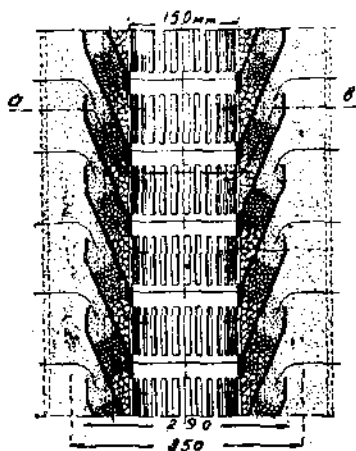
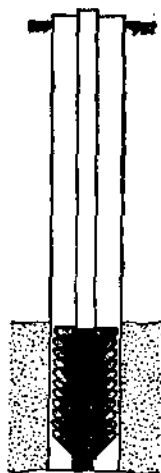
Устройство деревянных баков емкостью до 100 м³ описал в «Санитарной Технике» за 1931 год № 4 Замираев. Для баков от 25 до 100 м³ толщина клепок берется 7,5—10 см из хорошо высушенного дерева. Диаметр баков от 4 до 6 м, высота — от 2,2 до 3,6 м. Приблизительная стоимость бака в 25 м³—225 руб., или 9 руб. за 1 м³ объема, а бака в 100 м³ — 700 руб.

16. Фильтры для скважин

Поршневые штанговые насосы могут успешно работать только при чистой воде: если скважина подает песок, поршень и цилиндр быстро истираются. Для предупреждения выноса песка скважина должна быть оборудована фильт-



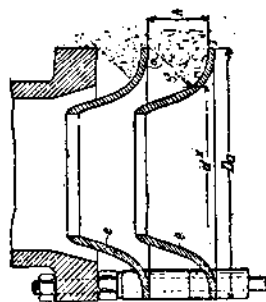
Фиг. 60а. Простой песчаный фильтр.



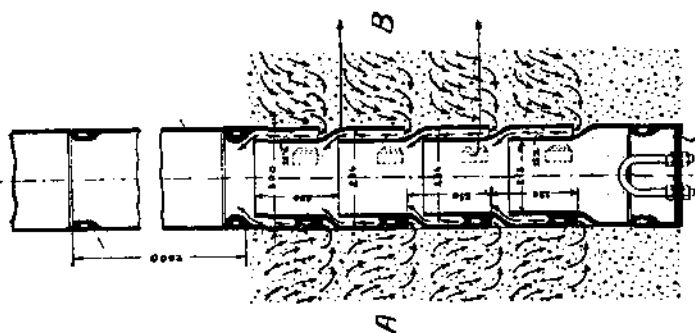
Фиг. 60б. Фильтр Hempel-Daedlow.

ром, не пропускающим песка. Обыкновенные сетчатые фильтры, почти исключительно употребляющиеся у нас, этой цели не достигают. Заграничная практика применяет для этой цели фильтры из песка и гравия; они обладают еще тем преимуществом, что менее залепляются с течением времени мелкими песчинками.

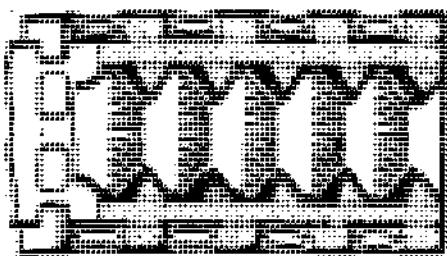
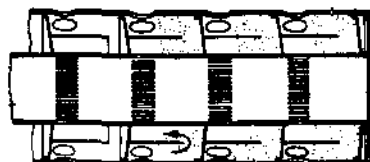
Песчаные фильтры описаны подробно в книге E. Biske, Die Rohrbrunnen. Самый старый и простой способ устройства песчаного фильтра состоит в засыпке



Фиг. 60с. Фильтр Тима и Рутцаца.

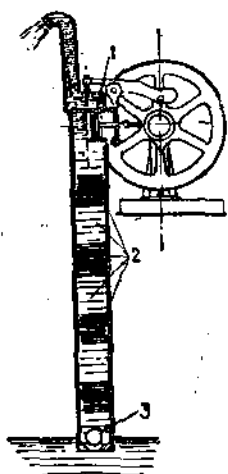


Фиг. 60д. Колокольчатый
фильтр Местеля и Симона.



Фиг. 60е. Фильтр Крашевского (карманный).

песка и гравия в междутрубные пространства (фиг. 60 а); трубы поднимаются, остается только средняя дырчатая труба. Крупность зерен соседних слоев должна иметь отношение 1 : 4 до 1 : 5. При устройстве 250 мм скважины конотопского водопровода в нее была вставлена фильтровая труба с сеткой диаметром 100 мм, а в междутрубное пространство насыпан песок от 0,5 до 1 мм; крупность зерен водоносного песка была 0,1—0,2 мм. По мере насыпания песка обсадная труба постепенно поднималась. Посредством распорок фильтровая труба точно центрировалась в 250 мм обсадной.



Фиг. 60f. Новозобретенный насос.

На фиг. 60b показан фильтр, составленный из конических чугунных частей; в промежутки насыпаны слои гравия и песка. Такой фильтр заготавливается на поверхности и опускается в скважину. Иногда он еще снаружи обсыпается песком. Этот фильтр действует очень хорошо.

На другом принципе построен фильтр, составленный из тарелок, повернутых вниз (фиг. 60c), или из колоколов (фиг. 60 d). Здесь при поступлении в фильтровую трубу вода принимает вертикальное направление, почему и затрудняется вынос песчинок из водоносного пласта, располагающегося в зазорах между тарелками под некоторым углом откоса (фиг. 60 c). Скорости входа воды при этом не должны превосходить некоторых пределов, зависящих от крупности зерен.

На фиг. 60e изображен карманный фильтр Крашевского, состоящий из двух труб с засыпкой между ними. Входящая в фильтр вода принуждена пройти под перегородкой довольно длинный путь в более крупном (в 4—5 раз) песке, чем водоносный песок пласта, и перед поступлением в внутреннюю трубу принять вертикальное направление.

17. Новозобретенный насос

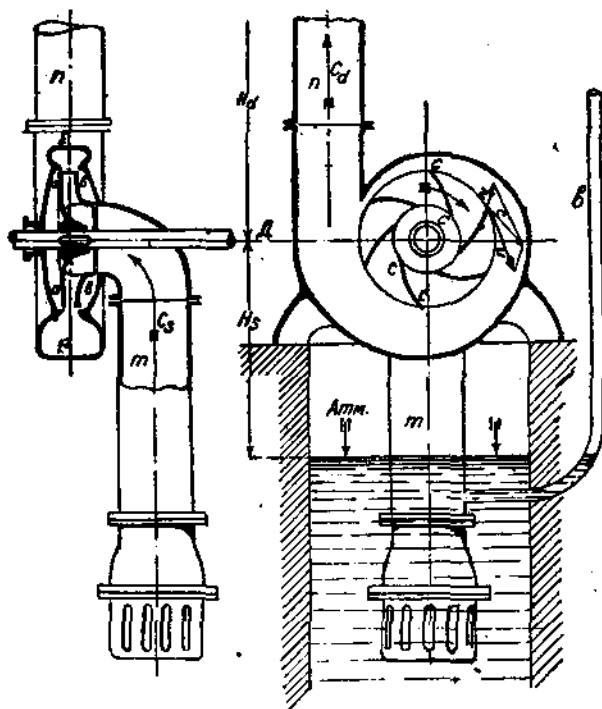
Аргентинец Т. Беллок изобрел насос, засасывающий с большой глубины. Устройство насоса Беллока показано на фиг. 60. Насосная труба в опыте Беллока была длиной 24 м, в нижней, погруженной в воду, части имеется шаровой клапан. Вверху расположен горизонтальный цилиндр с поршнем 1. Поршень приводится в быстрое движение, и при определенном соотношении между быстротою движения поршня и длиной насосной трубы, в трубе от ударов поршня образуется волнообразное колебание столба воды, выражающееся то в сжатии, то в разрежении воды 2. Когда фаза разрежения окажется у клапана 3, он под влиянием наружного давления атмосферы отрывается и впускает в трубу воду. При наступлении фазы сжатия клапан закрывается, чтобы опять открыться при появлении разрежения. При быстроте смены фаз засасываемая насосом вода выливается из него непрерывной струей. Наличие вверху напорного клапана улучшает работу насоса, но это не обязательно.

Центробежные горизонтальные насосы

III. УСТРОЙСТВО НАСОСОВ

1. Понятие о центробежных насосах

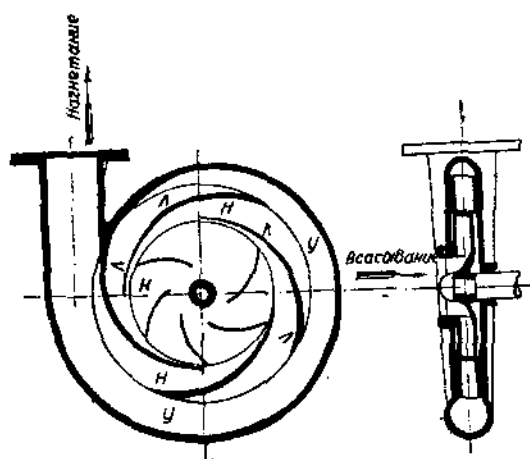
Для подъема воды из буровых скважин применяются горизонтальные и в особенности вертикальные центробежные насосы. Устройство горизонтального насоса показано на фиг. 61. Рабочая часть насоса состоит из вращающегося колеса, состоящего из одного сплошного диска aa и кольцевого диска bb ; между этими двумя дисками располагаются лопатки cc , как показано на фиг. 61. Колесо укреплено на валу DD ; EE — неподвижный кожух, охватывающий колесо со всех сторон.



Фиг. 61. Схематическое устройство центробежного насоса.

При вращении вала и рабочего колеса по направлению стрелки при наполненном водою насосе центробежная сила, развиваемая при вращении, отбрасывает воду, находящуюся в колесе, по касательным к колесу (показано маленькими стрелками), благодаря чему в колесе образуется вакуум, т. е. давление

падает ниже атмосферного. Вследствие этого атмосферное давление на воду вгоняет воду во всасывающую трубу *т*. Из всасывающей трубы вода по стрелке



Фиг. 62. Турбинный насос с направляющим колесом.

С попадает в рабочее колесо, а из него, как уже сказано, отбрасывается центробежной силой в окружающий колесо кожух-улитку и далее в напорный трубопровод *п*.

Таково простейшее устройство насоса. На фиг. 62 показано более сложное устройство. Здесь между рабочим колесом *К* и улиткой *уу* располагается еще неподвижное направляющее колесо *НН* с неподвижными направляющими лопатками *лл*. Задача направляющего колеса, или диффузора, превратить с возможно меньшими потерями скоростную энергию отбрасываемой рабочим колесом воды в энергию напора, т. е. потенциальную. Направляющее колесо увеличивает к. п. д. насоса. По аналогии с турбинами, имеющими направляющие

лопатки, эти насосы в отличие от простейшей конструкции называются часто турбинными насосами.

2. Напор, создаваемый насосом

Колесо центробежного насоса выбрасывает воду с большой скоростью, зависящей от числа оборотов и радиуса колеса; при числе оборотов в минуту *n* и радиусе *R* окружная скорость колеса будет:

$$v = \frac{2\pi Rn}{60} \text{ м/сек.}$$

Создаваемая колесом энергия в виде быстрого движения воды выражается в живой силе $\frac{1}{2} m v^2$. Вес одного кг воды равен произведению массы *m* на ускорение силы тяжести $g = mg$, откуда $m = \frac{1}{g}$; подставляя вместо *m* это значение

в предыдущую формулу, получим $\frac{v^2}{2g}$; такое выражение энергии движущейся воды называется скоростным напором. Вода, движущаяся со скоростью *v*, способна подняться на высоту $H = \frac{v^2}{2g}$.

Определим напор, создаваемый насосом при разных скоростях вращения и разных радиусах колеса. Предположим, что радиус колеса равен 0,1 м, а число оборотов — 1000 в минуту; по предыдущей формуле:

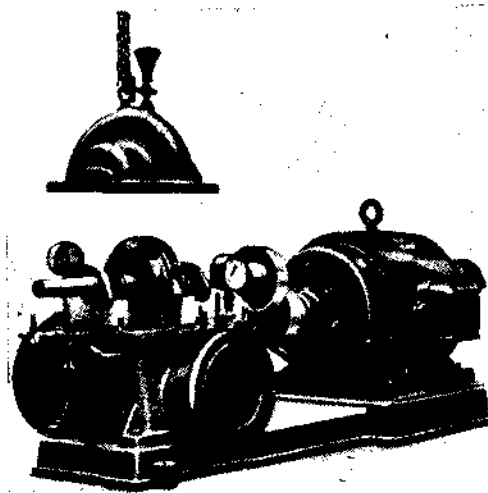
$$v = \frac{2\pi \cdot 0,1 \cdot 1000}{60} = 10,5 \text{ м/сек, а } \frac{v^2}{2g} = 5,6 \text{ м.}$$

Такой насос может поднять воду только на 5,6 м. Если увеличить радиус вдвое до 0,2, тогда высота подъема увеличится в 4 раза, т. е. до 22,4 м. Если число оборотов увеличим до 1500, то при радиусе в 0,2 м высота подъема станет 50 м.

В приведенных приблизительных подсчетах не учтены потери в насосе; полученные напоры надо уменьшить помножением на к. п. д. насоса.

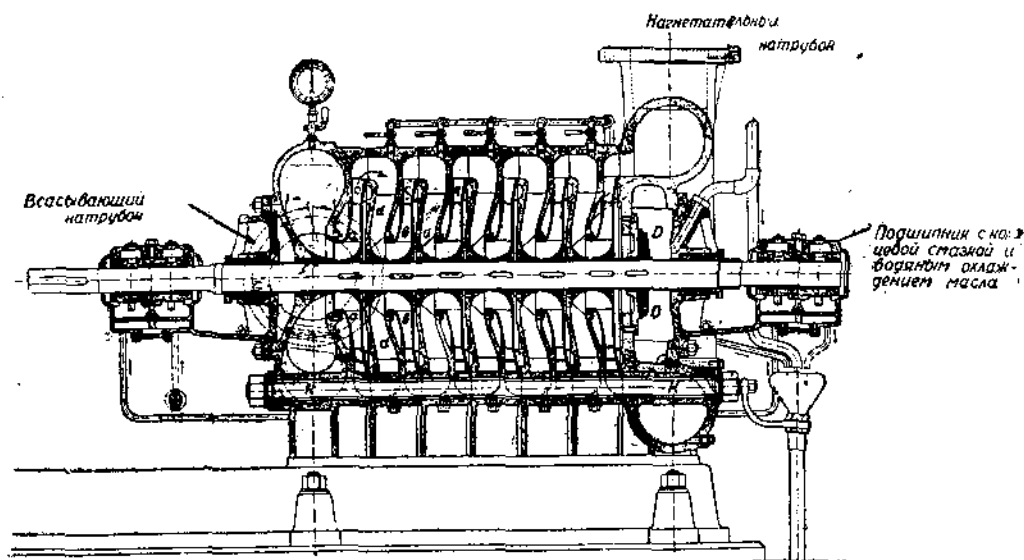
3. Многоступенчатые насосы

Высота напора изменяется пропорционально квадрату радиуса и квадрату скорости. Таким образом для получения требуемой высоты напора надо подобрать соответствующей величины радиус и скорость вращения. Но при очень боль-



Фиг. 63. Рабочее колесо.

ших окружных скоростях получается очень большая центробежная сила. Колеса, сделанные из обыкновенных материалов — чугуна, бронзы — при больших ско-

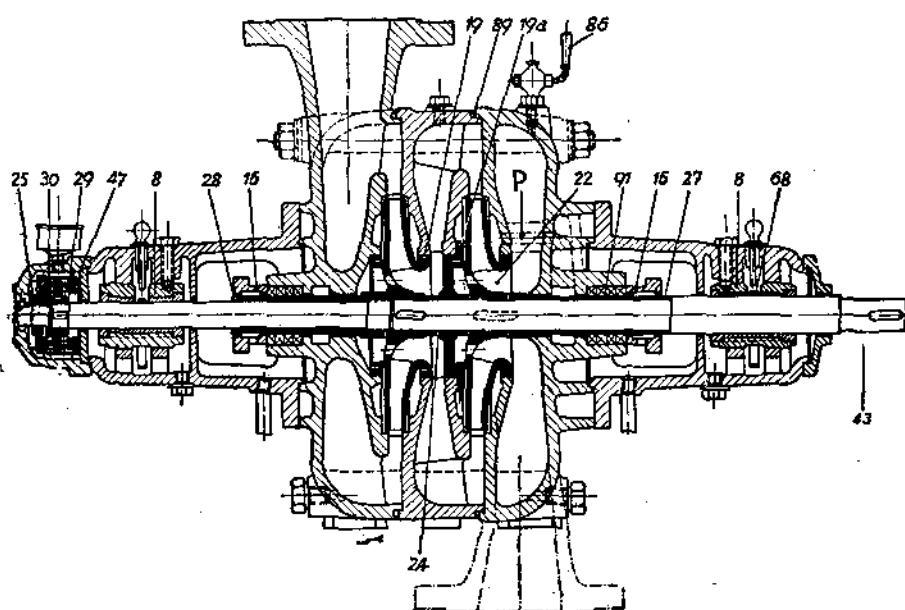


Фиг. 64. Шестиступенчатый насос фирмы «Борзиг».

ростях будут разрываться центробежной силой; поэтому одноколесные насосы из слабых материалов создают напор не более 15—30 м.

В настоящее время металлургия вырабатывает сплавы большой прочности. Кроме того, возможно применение стали; поэтому увеличение скорости вращения теперь уже не встречает препятствий с этой стороны, но зато остается в силе другое препятствие. При значительном увеличении диаметра колеса и малых расходах

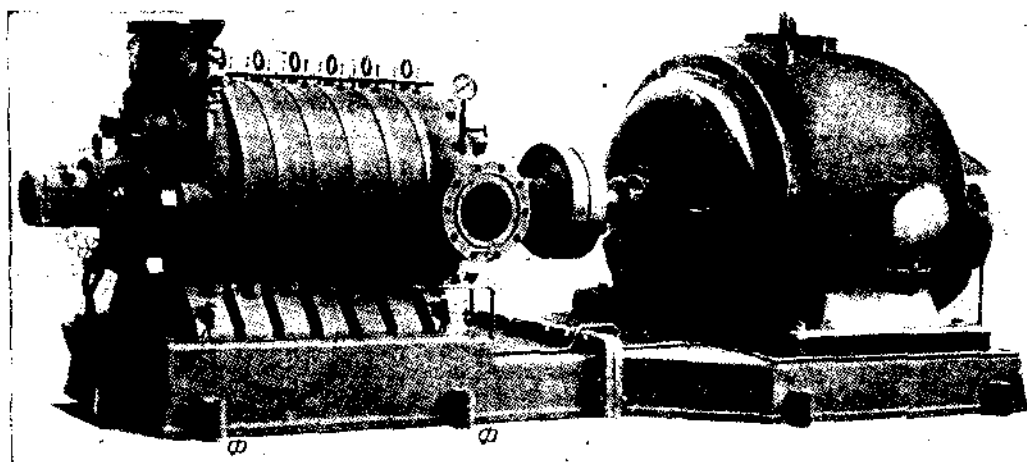
воды отверстия в колесе превращаются в узкие щели (фиг. 63); благодаря этому сильно увеличиваются потери на трение и к. п. д. падает. Только крупные на-



Фиг. 65. Двухступенчатый насос фирмы «Клейн, Шанцлин и Беккер»

8 — втулка подшипника; 16 — втулка сальника; 19, 19a — уплотняющие кольца; 22 — рабочее колесо; 24 — втулка между колесами; 25 — гайка пята; 27 — бронзовые втулки, защищающие вал; 29 — втулка шпиг; 3 — гребень пята; 43 — вал; 47 — пята; 68 — смазочные кольца; 86 — канал для выпуска воздуха; 91 — маховик сальника; P — канал для напорной воды и сальнику.

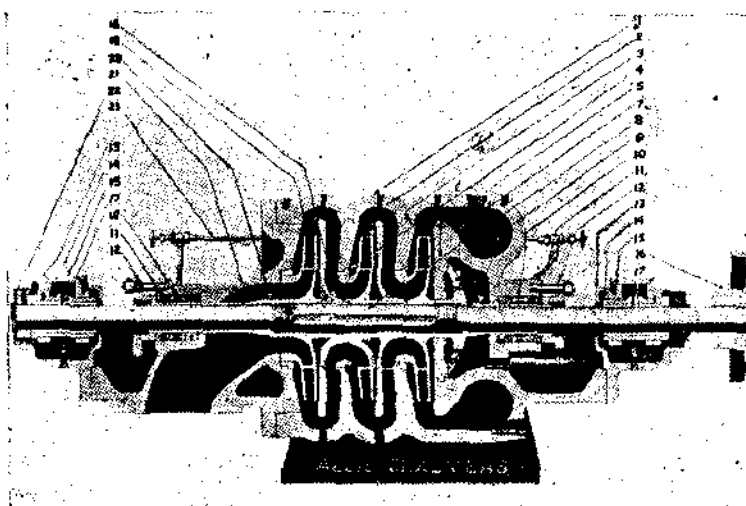
сосы, рассчитанные на подачу больших количеств воды, можно поэтому строить без вреда для к. п. д. с большими диаметрами колес, с большими окружными



Фиг. 66. Внешний вид трехколесного насоса «Клейн, Шанцлин и Беккер».

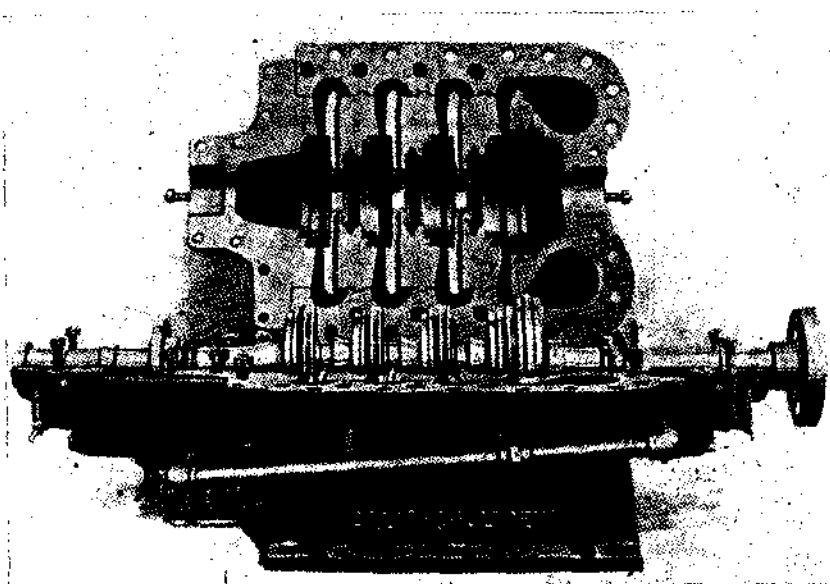
скоростями и с большими, следовательно, напорами в одном колесе, достигающими до 200 м и более. Насосы же меньших мощностей при высоких напорах приходится устраивать многокамерными (фиг. 64). При очень высоких напорах и насосы больших мощностей строятся многокамерными.

Вода с напором, созданным первым колесом, подводится ко второму колесу *bb*; пройдя через диффузор *c* и кольцевое пространство *d* с направляющими перегородками из второго колеса *bb* вода выходит уже с удвоенным напором, а из



Фиг. 67. Многоступенчатый насос фирмы «Аллис Чалмерс 16».

1—чугунный кожух; 2—бронзовое рабочее колесо; 3—чугунный обратный канал; 4—бронзовое уплотняющее кольцо; 5—чугунная крышка; 6—бронзовый разгрузочный диск; 7—вал с гнездом для шпонки; 8—бронзовая предохранительная втулка; 9—бронзовое кольцо для напорной воды; 10—набивка; 11—чугунная сальниковая втулка; 12—чугунные вкладыши с бабтовой заливкой; 13—чугунная коробка подшипника; 14—чугунная крышка; 15—чугунная муфта; 16—медное смазочное кольцо; 17—бронзовая втулка; 18—бронзовая установочная втулка; 19—бронзовая втулка вала; 20—чугунная всасывающая крышка; 21—чугунное установочное кольцо; 22—подвод напорной воды к сальнику.

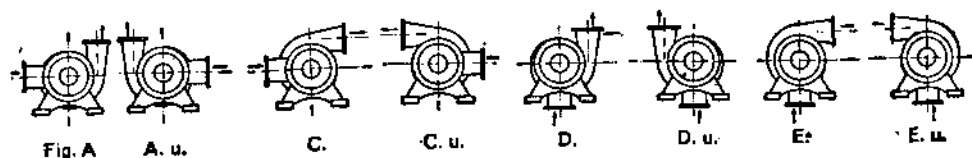


Фиг. 68. Разъемный кожух насоса «Аллис Чалмерс 17».

третьего — с утроенным и т. д. Если вода должна подниматься на значительную высоту, то устанавливаются многоколесные или, иначе, многоступенчатые насосы.

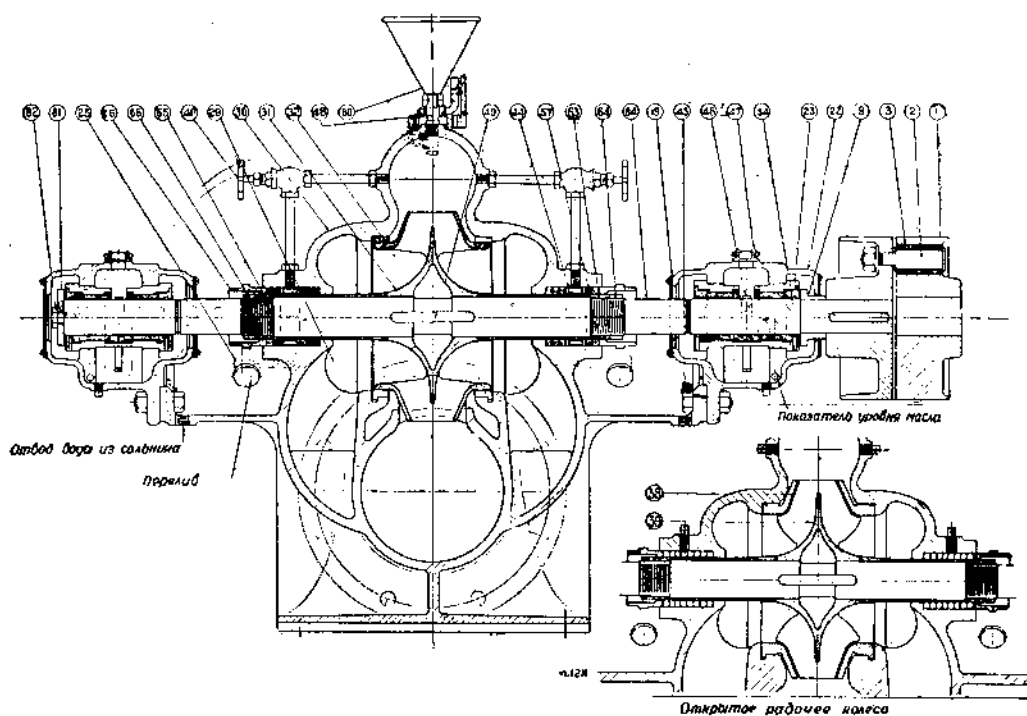
Насос, показанный на фиг. 64, составлен из отдельных частей, стянутых бол-

тами *kk* в одно целое. Пять внутренних частей совершенно одинаковы, особую конструкцию имеют крайние части: левая — всасывающая и правая — напорная. Сборка и разборка насоса благодаря такому устройству очень облегчается, и к насосу легко прибавить или удалить одну—две ступени. На фиг. 65 представлен двухступенчатый насос фирмы «Клейн, Шанцлин и Беккер»; подробности устройства его разъяснены на самой фигуре, а на фиг. 66 представлен внешний вид пятиколесного насоса с мотором фирмы «Егер».



Фиг. 69. Разные формы насосного кожуха.

Американский насос фирмы «Аллис Чалмерс» (фиг. 67) имеет один общий кожух для трех ступеней, но для удобства сборки и разборки кожух горизонтальной плоскостью, проходящей через ось, делится на две части. На фиг. 68 показан



Фиг. 70. Насос с двухсторонним всасыванием «Матер и Платт».

1—соединение эластической муфтой; 2—соединительный болт; 3—резиновая втулка; 9—установочная втулка; 22—коробка подшипника; 23—выкладный подшипник; 25—болт сальника; 26—втулка сальника; 29—нижняя часть корпуса насоса; 3—верхняя часть корпуса насоса; 31—рабочее колесо; 32—уплотняющие кольца; 33—уплотняющая поверхность; 39—открытый тип рабочего колеса; 40—кран на подводе напорной воды к сальнику; 43—болт для соединения подшипника; 44—кольца в сальнике для напорной воды; 46—кольца подшипника; 47—крышка под отверстием для масла; 48—воздушный кран; 49—шпилька рабочего колеса; 54—шпилька соединительной муфты; 57—набивка сальника; 3—предохранительная бронзовая втулка; 64—гайка втулки; 65—предохранительная втулка; 66—гайка втулки; 8—воронка для заливки; 81—упорный диск; 82—болт; 84—вал.

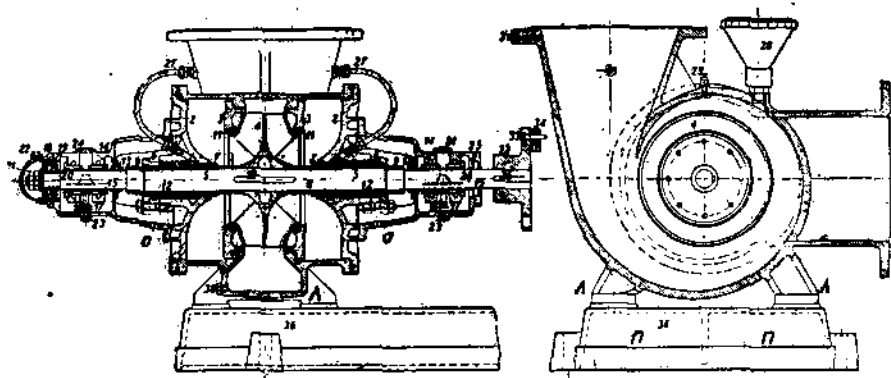
четырёхколесный насос с поднятой верхней частью кожуха; здесь все внутренние части легко доступны осмотру, и вал с колесами также легко вынимается. Кожух на фигуре поставлен боком для удобства осмотра.

Напорная вода по трубочке 23 (фиг. 67) подводится к всасывающему сальнику для недопущения засасывания воздуха. Стальной вал на фиг. 64 и 65 покрыт бронзовой втулкой для защиты от разъедания стали.

Всасывающий и нагнетательный патрубки насоса могут быть направлены в разные стороны. На фиг. 69 представлены некоторые из возможных направлений; здесь патрубки направлены только горизонтально или вертикально, но применяется и косое расположение их.

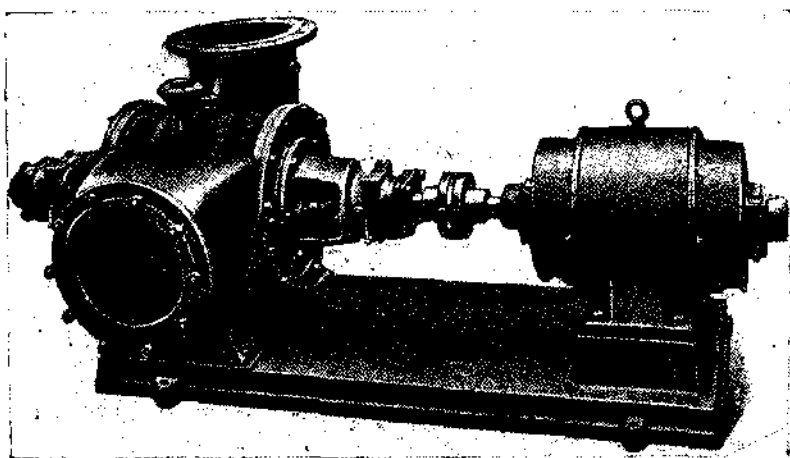
4. Двухстороннее всасывание

На фиг. 70 показан насос с двойным рабочим колесом, которое состоит как-бы из двух колес, приставленных одно к другому задним диском. Такое колесо всасывает с двух сторон, благодаря чему осевое давление уравнивается; но все



Фиг. 71. Два разреза насоса с двухсторонним всасыванием.

1—корпус улитки; 2—боковая крышка; 3—диски; 4—рабочее колесо; 5—защитная втулка; 6—сальниковая втулка; 7—главная втулка грудбуксы; 8—вал; 9—га на вала; 10—шпонка; 11—уплотняющее кольцо; 12—набивка сальника; 13—предохранительное кольцо; 14—коробка подшипника; 15—втулка подшипника; 16—смазочное кольцо; 17—уровень масла; 18—конус упорной пяты; 19—упорная пята; 20—установочное кольцо; 21—гайка вала; 22—отверстие для масла; 23—спуск; 24—крышка подшипника; 25—фланец подшипника; 26—предохранительное кольцо; 27—напорная трубка к сальнику; 28—воронка для заливания; 29—отверстие с пробой для воздуха; 30—выпуск; 31—для манометра и...; 32—соединительная муфта; 33—соединительный болт; 34—конные поводья; 35—шпонка; 36—фундаментная плита.



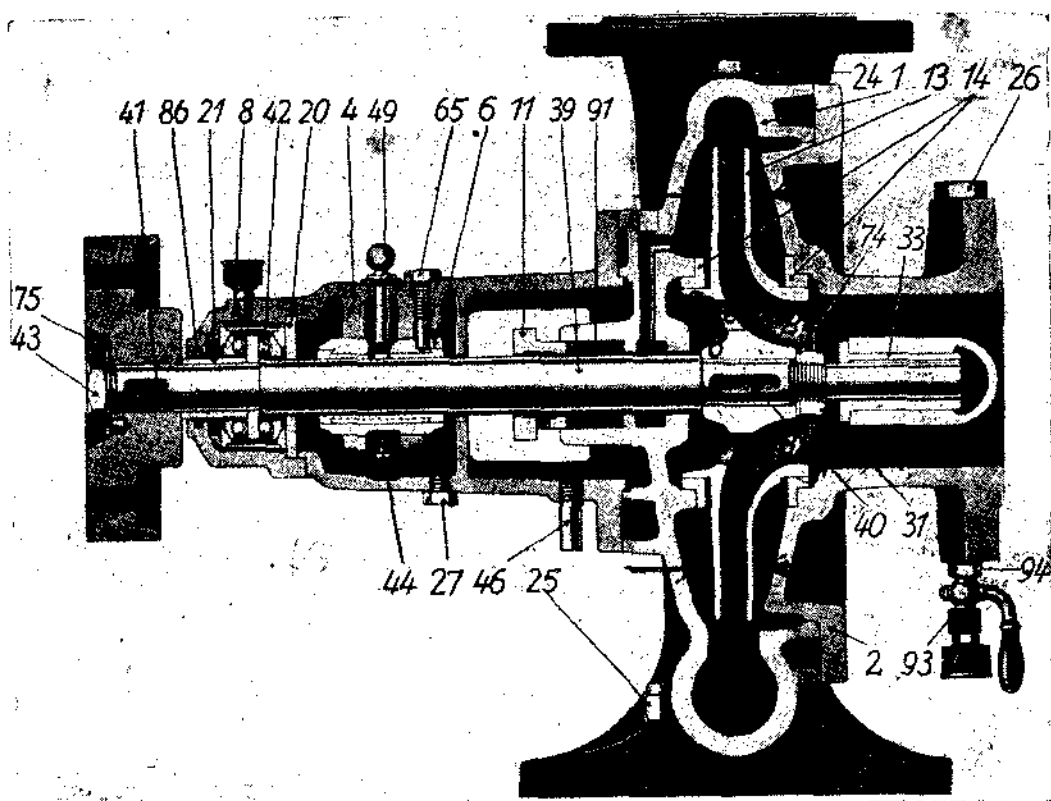
Фиг. 72. Внешний вид насоса с двухсторонним всасыванием.

же на конце вала слева поставлен шариковый упорный гребень, не допускающий горизонтальных передвижений вала. Двойное рабочее колесо подает двойное количество воды по сравнению с одинарным колесом. К сальникам подведена на-

порная вода для недопущения засасывания воздуха. Просачивающаяся через сальники вода отводится через отверстие *O* в канализацию или же может быть пущена обратно во всасывающую трубу, при этом, конечно, насос должен быть защищен от попадания в него загрязнений. На фиг. 71 и 72 показаны разрезы и внешний вид насоса с двухсторонним всасыванием. Такого типа насосы изготовляет завод «Борец» в Москве.

5. Осевое давление и разгрузочные диски

Диски рабочего колеса подвергаются статическому и динамическому осевому давлению. Рабочее колесо, представленное на фиг. 73, подвергается статическому давлению напором воды слева и справа, как показано стрелками. Так как задний



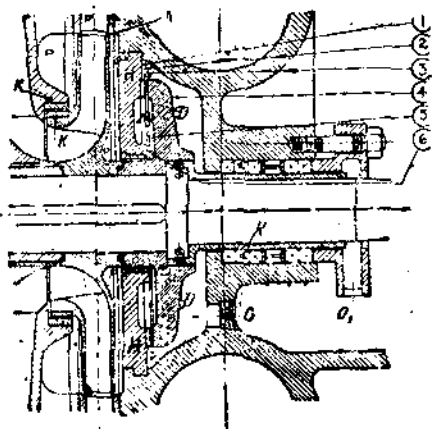
Фиг. 73. Колесо с разгрузочными отверстиями.

1—конус; 2—всасывающая крышка; 4—конус подшипника; 6—втулки подшипника; 8—конус упорной плиты; 11—сальник; 13—рабочее колесо; 14—смазочное кольцо; 20—установочное кольцо; 21—установочная втулка плиты; 24—отверстие для воронки; 25—выпуск; 26—для манометра и; 27—выпуск масла; 31—гайка рабочего колеса; 33—подшипник; 39—вал; 40—шпонка; 41—шпонка; 42—шариковая плита; 43—гайка вала для плиты; 44—смазочное кольцо; 46—спуск просачивающейся воды; 49—затычка; 65—болт для вкладышей; 74—закрепительная гайка; 75—закрепительная гайка; 86—водоотводящая полоска; 91—пайка сальника; 93—маслянка для подшипника вала (Штауфер); 94—кран.

диск, считая от входа воды, имеет большую площадь, чем передний, уменьшенный на отверстие для входа воды *ВВ*, то статическое давление будет стремиться сдвинуть колесо вправо, в ту сторону, откуда подходит вода. Чтобы уравновесить статическое давление, уплотняющие кольца с одной и с другой стороны колеса поставлены одинакового диаметра *74*; благодаря этому часть колеса от уплотняющих колец до наружного края подвергается одинаковому давлению и потому уравновешена. Неуравновешенной остается внутренняя часть колеса от уплотняющих колец до вала *ab*. Со стороны входа воды здесь — вакуум, а с проти-

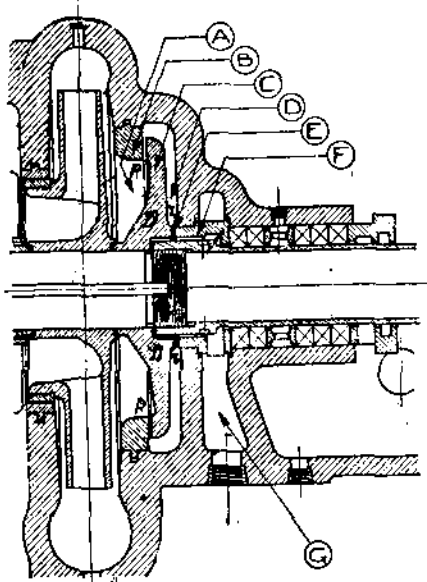
противоположной стороны — напор; чтобы и с противоположной стороны сделать вакуум, в диске колеса просверливают несколько отверстий *O*; таким образом получается уравновешивание статического давления.

Но кроме статического давления имеется еще динамическое давление, создаваемое поворотом струи на 90° при входе ее в рабочее колесо. Входящая струя воды давит на заднюю стенку колеса, меняя свое направление с осевого на радиальное, и стремится сдвинуть колесо влево. Уменьшением числа и размера дыр в диске рабочего колеса можно было бы создать такое давление сзади колеса, которое уравновесило бы динамическое осевое давление. Но при разных условиях работы статическое и динамическое осевое давление меняются, поэтому, уравновешенные для одного случая, они окажутся неуравновешенными для всех других случаев. Для восприятия избытка неуравновешенного осевого давления при этом устройстве обыкновенно ставится на конце вала шариковый упор, называемый также шариковой пятой 42 (фиг. 73, а также фиг. 65).



Фиг. 74. Разгрузочный диск «Чалмерс 68»

Статическое и динамическое давления действуют в разные стороны; когда статическое давление не уравновешивается дырами в колесе (фиг. 74), тогда получается избыток статического давления, т. е. осевое давление направлено против поступающей воды. Чтобы уравновесить это давление, с напорной стороны на валу закрепляется диск *DD*. Давлением напорной воды диск *DD* отжимается вправо, в сторону противоположную осевому давлению.



Фиг. 75. Диск двойного действия «Чалмерс 69»

Диск *DD* прочно прикреплен к валу и вращается вместе с ним. Между вращающимся диском и неподвижной частью кожуха или корпуса насоса *НН* имеются две щели: одна цилиндрическая *pp*, неизменная по величине, и другая плоская, кольцевая *гг*, увеличивающаяся и уменьшающаяся при передвижении диска вправо и влево. Если давление на диск *DD* со стороны пространства *M* становится очень большим, диск, а вместе с ним и вся ось с колесами, перемещаются вправо. Но тогда щель *гг* увеличивается, и благодаря этому напор в кольцевом пространстве *M* уменьшается. Когда уменьшение напора достигнет такой степени, что давление на диск *DD* станет меньше осевого да-

вления колес, тогда диск передвинется влево и щель *гг* уменьшится, вследствие чего давление в *M* снова возрастет и диск снова отодвинется вправо и т. д. Такой игрой диска *DD* и производится выравнивание осевого давления. Вода, проходящая через щель *гг*, отводится отверстием *O* в канализацию или в колодец. Часть воды просачивается через сальник из квадратных лентяных или хлопчатобумажных промасленных колец *kk* и вытекает через *O'*.

На фиг. 75 изображен уравновешивающий диск двойного действия. Диск *DD* образует две плоские кольцевые щели с неподвижными частями корпуса *pp*

и rr ; обе щели изменяются при передвижении диска. Если диск DD перемещается вправо, щель pp увеличивается, а rr уменьшается, вследствие чего давление с правой стороны диска увеличивается, так как суженная щель rr представляет большее сопротивление для прохода воды, и благодаря этому увеличенному давлению справа диск перемещается влево, уменьшая щель pp и увеличивая щель rr . Вследствие уменьшения сопротивления в щели rr через щель уходит больше воды, и давление справа диска D уменьшается и т. д.

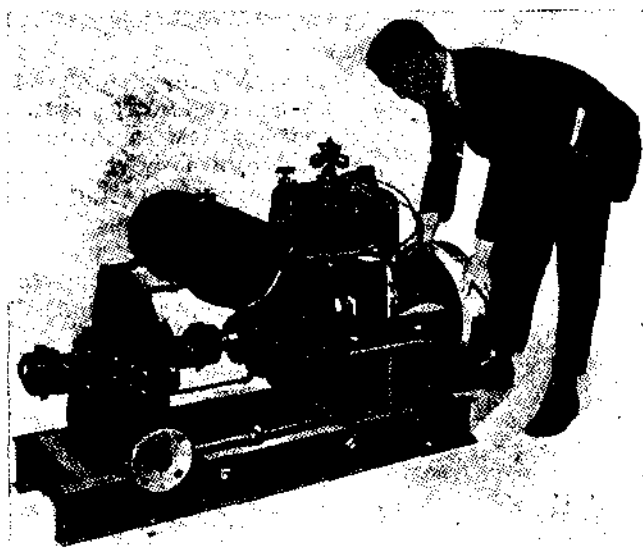
Оба эти приспособления разгружают напорный сальник от давления напорной воды, так как за дисками давление — около атмосферного, а при отводе воды во всасывающую трубу — и ниже атмосферного.

6. Уплотняющие кольца

Для отделения всасывающего пространства от напорного на кожух насоса и на рабочее колесо надеваются точно пригнанные бронзовые уплотняющие кольца kk (фиг. 65, 70, 67, 74). Щель между кольцами делается в несколько десятых миллиметра, чтобы утечка воды из напорного пространства во всасывающее была минимальной. Если в воде имеется песок, уплотняющие кольца быстро стираются; по мере изнашивания их легко заменить новыми. Можно и при подъеме воды с песком или другими твердыми веществами защитить уплотняющие кольца от истирания. Для этого пространства pp по одну и по другую сторону колеса (фиг. 74) соединяются трубками с напорной чистой водой, а по окружности колеса и диффузора $л$ (фиг. 74) также устраиваются уплотняющие кольца.

7. Фундаментная плита

Насос обычно устанавливается на чугунной фундаментной плите $пп$ (фиг. 66), при посредстве лапок $лл$, прикрепляемых к плите болтами. Сама плита в свою



Фиг. 76. Швеллерная рама вместо чугунной плиты для насоса с бензиновым двигателем «Чалмерс 10».

очередь прикрепляется болтами к бетонному или кирпичному фундаменту $ф$. Фундаментная плита обыкновенно бывает общей для насоса и для электромотора, чтобы устранить всякую возможность перемены их взаимного расположения, но встречаются и составные плиты (фиг. 66).

В последнее время стали применять сварные или клепанные фундаментные рамы из швеллерного железа, уменьшая этим значительно расход металла.

Один чешский завод доставил Харьковскому тракторному заводу для Удьянской станции насосы и моторы без фундаментной плиты или рамы. Вместо этого присланы железные гнезда. Для заделки в бетонный фундамент в гнездах имеется нарезка для шпилек, которые должны заменить фундаментные болты. Здесь экономия металла доведена до максимума.

Этот опыт установки насоса и мотора без плиты и рамы был бы очень интересен. Верхнюю часть фундамента в этом случае лучше сделать железобетонной. К сожалению, от этого опыта отказались и поставили насос и мотор на железной раме.

На фиг. 76 показана швеллерная рама для насоса и бензинового двигателя.

8. Фундамент насоса

Размеры фундамента определяются величиною фундаментной плиты и указываются обыкновенно заводом. Фундамент делается шире плиты на 50—150 мм (фиг. 64 и 73) и при том или вровень с полом или несколько поднимается над ним. Глубина фундамента может быть от 0,50 до 1,0 м и более, в зависимости от величины насоса. Фундаментные болты закладываются в приготовленные для них гнезда и заливаются цементным раствором. Длина болтов дается заводом обычно от 0,30 до 0,70 м. Для насоса и электромотора чаще всего делается один фундамент.

Фундаменты делаются из кирпича, бетона и бута; при слабых грунтах необходимо соответствующее укрепление основания. Если пол станции расположен значительно ниже уровня грунтовых вод, то он устраивается в виде сплошной железобетонной плиты, рассчитанной на давление воды снизу. В таких случаях насосы ставятся прямо на плиту пола, в которую заделываются и фундаментные болты. Таким же способом насосы располагаются и на железобетонных перекрытиях. Передача вибраций от насосного агрегата на стены зданий при умеренных мощностях обычно не имеет места.

9. Соединительные муфты, шкивы, подшипники

Удобнее всего соединять насос с электромотором или двигателем внутреннего сгорания посредством эластической муфты. Этим соединением устраняются всякие потери в передаче, кроме того, оно не требует за собой ухода. Недостатком его является необходимость одинакового числа оборотов насоса и мотора.

На фиг. 70 показаны заклиненные на конце вала шпонкою соединительные шайбы, совершенно одинаковые по размерам для вала насоса и мотора. Эластичность соединения достигается тем, что болты, соединяющие шайбы, с одной стороны снабжены резиновыми втулками (фиг. 70). Резиновые втулки и придают эластичность соединению, допускающему исправную работу агрегата даже при небольшом отклонении осей валов от совпадения, вследствие износа подшипников. Эластичность соединения муфт достигается также применением кожаных поводков, прикрепленных одним концом к одной муфте, а другим к другой.

При разных числах оборотов мотора и насоса необходима зубчатая или ременная передача. Зубчатая передача применяется редко. Ременная передача в обычном виде требует большой площади, но этот недостаток легко устраним. Постановкой натяжного ролика у малого шкива насос и мотор устанавливаются в непосредственной близости один от другого.

Подшипники насосов — обычной конструкции с кольцевой смазкой. Одно или два кольца подвешиваются на валу (фиг. 64, 65, 70) и нижней своей частью погружаются в масло. При вращении вала вращаются также и кольца, и благодаря прилипанию к ним масла поднимают его на вал и таким образом непосредственно смазывают. Применяются также шариковые и роликовые подшипники. Для смазки как обыкновенных, так и шариковых подшипников применяется олео-

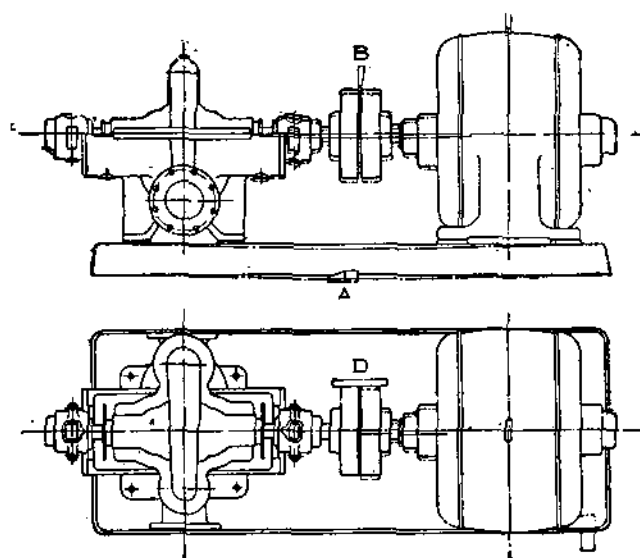
нафт, который по мере загрязнения сменяется. При смене масла необходимо вычистить и подшипники. Наблюдение за подшипниками обыкновенно выражается в пробе их теплоты рукою и определении степени загрязнения масла на глаз. Повышение температуры подшипника указывает на его неисправность. На подшипнике может быть установлен и термометр; при управлении станцией издалека показания термометра передаются электрическим путем к панели управления. При пуске насоса и мотора в первый раз необходимо наблюдать в течение нескольких часов за нагревом подшипников и удостовериться, что смазочные кольца вращаются на валу. В первое время следует сменять масло раза два в неделю. При износе бабитовой заливки на подшипниках производится новая заливка бабитом, обточка ее и пришабривание к шейке вала.

Сальниковую набивку надо затягивать так, чтобы через нее немного просачивалась вода, подаваемая для уплотнения. Трубки и каналы, подводящие воду к сальникам, должны быть исправны. Вал должен свободно вращаться рукою, в противном случае надо ослабить сальники. Сальниковую набивку надо сменить, прежде чем она станет совсем твердой, а сальниковую втулку — подтягивать болтами равномерно по всей окружности. При продолжительной остановке насоса рекомендуется его разбирать и смазывать против ржавления.

10. Монтаж насосов и моторов

Приведем здесь выдержку из инструкции фирмы Аллис Чалмерс по монтажу насосов:

«Как бы тяжела ни была чугунная фундаментная плита, она может быть немного искривлена неровным фундаментом или неодинаковым натяжением фунда-



Фиг. 77. Монтаж насоса и мотора «Чалмерс 59».

ментных болтов или, наконец, натяжением от трубопроводов; поэтому во время монтажа необходимо тщательно следить за этим и добиться полного совпадения осей насоса и мотора. Эластическое соединение не может компенсировать неправильную установку. Неточная установка машин поведет к быстрому износу резиновых цилиндров на болтах соединительных муфт, к нагреванию подшипников и потере энергии. После укрепления насоса на фундаменте необходимо убедиться в совпадении осей насоса и мотора. С этой целью болты соединительной муфты не вставляются до тех пор, пока насос не соединен со всасывающими и напорными

трубами, а фундаментная плита не установлена по уровню посредством подкладок и клиньев и обе половины соединительной муфты не приведены в тождественное положение. Для выверки положения соединительной муфты применяются стальные линейки и клинья. Линейка должна равномерно прикасаться со всех сторон к обоим фланцам соединительной муфты D, как показано на фиг. 77. Клин, вставленный между двумя половинами муфты, должен входить на одинаковую длину по всей окружности муфты, как показано в B. Зазор между муфтами должен быть при сближенном положении валов в 4—6 мм. Установкой клиньев и подкладок AC (фиг. 77)

е половины муфты могут быть приведены в должное взаимное положение, когда указанным способом будет достигнуто правильное положение машин. Фундаментная плита должна быть легко закреплена фундаментными болтами и после затягивания гаек необходимо проверить, не нарушена ли правильность положения соединительной муфты. После этого нужно подлить плиту цементным раствором¹. Необходимо далее убедиться, что мотор и насос вращаются в надлежащую сторону. После всего этого только вставляются и стягиваются болты соединительной муфты. Метки на обоих фланцах муфты должны приходиться одна против другой. Если насос должен подавать горячую воду или если двигатель тепловой, то правильность соединения должна быть проведена при нагретых машинах. Насос и мотор собираются обыкновенно на плите на заводе и приблизительно приводятся к совпадению осей. Насос закрепляется на плите; окончательное же закрепление мотора производится только после установки машин на фундаменте и тщательной проверки правильности их взаимного положения указанным выше способом — подливки плиты и последующей проверки».

При установке насосов фирмы Матер и Платт на береговой станции Промкомбината Запорожстали за отсутствием моторов были установлены сначала одни насосы, а пришедшие позже моторы подгонялись к насосам посредством тонких подкладок под лапки моторов, присланных для этой цели фирмой. Производительность насосов 1500 м³/час, напор — 70 м.

11. Практические данные

Приведем некоторые заводские данные. Таблица насосов типа «В» Сумского машиностроительного завода производства 1932—1933 гг. от 3 до 9 ступеней приведена в сокращенном виде. Для каждого расхода взято только два-три образца. Напор и мощность для вычуренных в таблице чисел ступеней находится легко, так как обе величины прямо пропорциональны числу ступеней.

Число оборотов	Тип. Последняя цифра диам. всасыв. патруб. в мм	Число ступеней	Производительность л/мин.	Напор Н м/сек	Требуемая мощность л. с.	η	Номер рабочего колеса	Производительность л/сек.
1450	3В 60	3	340	24	3,3	55%	№ 1	5,66
	6В 60	6	340	48	6,6	»		
	9В 60	9	340	72	9,9	»		
	3В 80	3	500	36	6,8	59%		
	5В 80	5	500	60	11,3	»	№ 1	8,33
	8В 80	8	500	96	18	»		
	3В 100	3	920	55	19,5	57%		
	5В 100	5	920	92	32,5	»		
	8В 100	8	920	148	52,0	»	№ 2	15,15
	3В 100	3	1450	55	27,6	64,3%		
	6В 100	6	1450	110	55,2	»		
	8В 100	8	1450	148	73,6	»		
	3В 150	3	2600	105	89,5	68%	№ 1	43,3
	5В 150	5	2600	175	149	»		
	7В 150	7	2600	245	208	»		
960	3В 150	3	3400	105	113	70%	№ 2	6,7
	5В 150	5	3400	175	188	»		
	7В 150	7	3400	245	264	»		
	3В 150	3	1700	45	29,4	58%	№ 1	28,3
	5В 150	5	1700	76,5	49	»		
	7В 150	7	1700	107	68,5	59%		
	3В 150	3	2250	45	34,5	66%	№ 2	37,5
	5В 150	5	2250	76,5	57,0	»		
	7В 150	7	2250	107	79,6	67%		

¹ Окончательное закрепление гаек фундаментных болтов надо производить после затвердения подливки, убедившись, что фундаментная плита всюду хорошо лежит на фундаменте.

Если принять к. п. д. малого мотора 0,85, то для агрегата ЗВ 60 получим общий к. п. д. $0,55 \cdot 0,85 = 46,7\%$. Принимая для больших моторов к. п. д. 0,9, получим:

для ЗВ 100 = $1450 - 64,3 \cdot 0,9 = 58\%$;

для ЗВ 150 = $3400 - 70 \cdot 0,9 = 63\%$.

Вот американские практические данные о к. п. д. насосных установок разной производительности, считая к. п. д. электромотора 0,9.

Производ л/сек	к. п. д.
12,5	49 %
25,0	54 %
38,0	58 %
50	60 %
65	63 %
100]	67 %

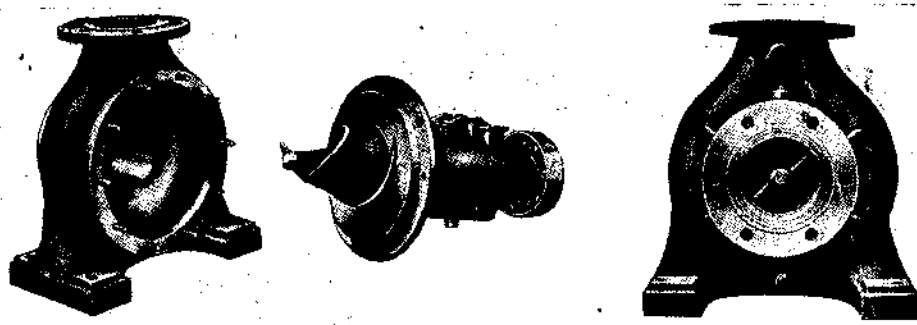
Самые дорогие и лучшие насосы могут повысить к. п. д. еще на 3—4%.
I. A. W. W. A. August, 1931.

Наибольший напор, достигнутый в практике, 230 атм, а наибольший размер простроенного насоса $16 \text{ м}^3/\text{сек}$ на высоту 160 м; к. п. д. 92%. Такие колоссальные насосы установлены на р. Руре для гидроаккумуляторной установки VDI, 1930 г. № 13.

12. Насосы для загрязненной воды

В последнее время эти насосы получили особое развитие. Для полноты картины опишем несколько образцов таких насосов.

На фиг. 78 показан винтовой насос фирмы «Вейзе сыновья» названный Mугia. Эти насосы очень пригодны как для грязных жидкостей, так и для подъема больших количеств воды на малую высоту при большом числе оборотов. Они довольно нечувствительны к засасыванию воздуха и хорошо работают при больших высотах всасывания. Фирма изготавливает эти насосы и самовсасывающими. Число оборотов 1450 — 3000.

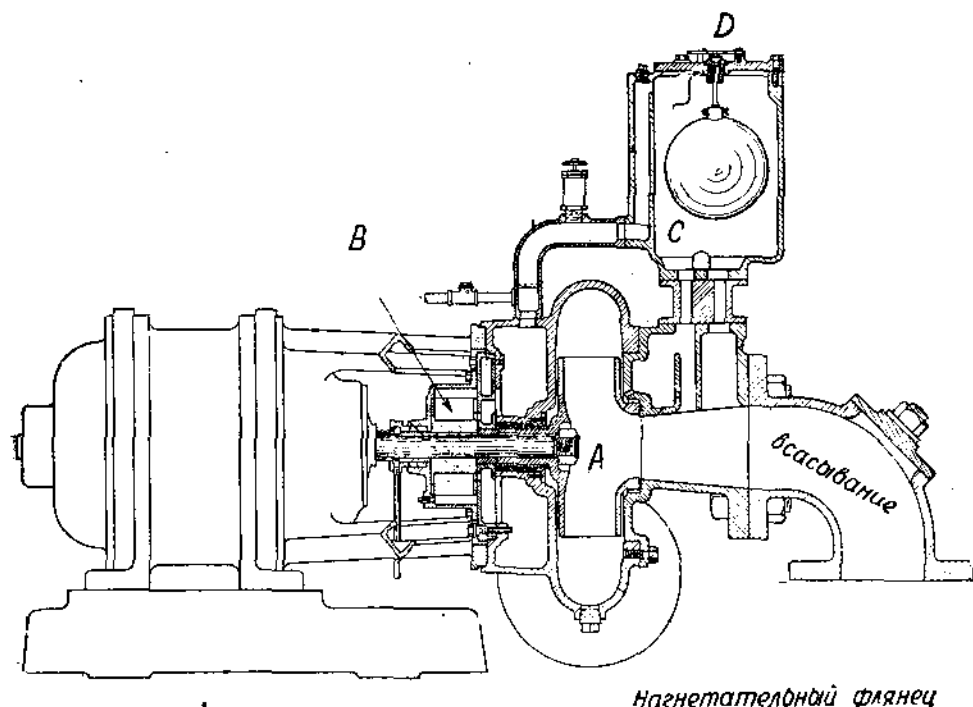


Фиг. 78. Насос для грязной воды «Mугia» фирмы «Вейзе сыновья».

Изображенный на фиг. 78 одноступенчатый насос — с открытым винтом, осевым всасыванием и радиальным нагнетанием. О производительности насоса можно судить по следующим данным: при диаметре патрубков 125 мм, 1450 оборотах подача 33 л/сек, напор 5—12 м, при 2900 оборотах напор 25 м. При патрубках 250 мм, 1450 оборотах расход от 110 до 160 л. с., напор 25—10 м.

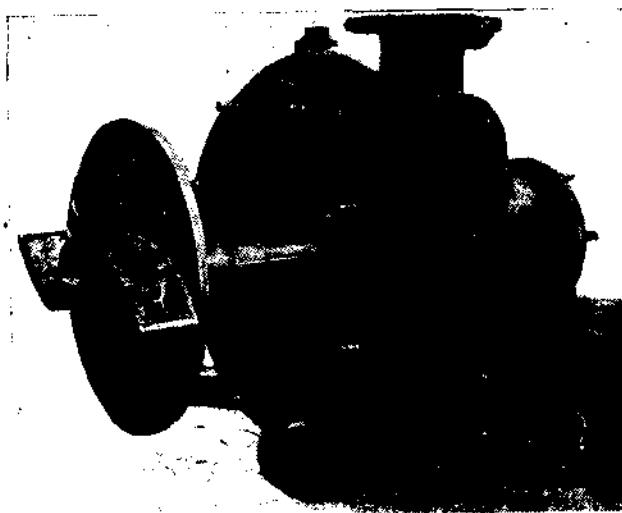
На фиг. 79 изображен центробежный насос американской фирмы «Наш» (Nash engineering company South Norwalk, conn) для канализационных и вообще грязных вод. Рабочее колесо превращено здесь в простой тройник А. Насос самовсасывающий: высасывание воздуха из насоса производится особым насосом В, насаженным на тот же вал; вакуум-насос построен по принципу эльмо-насоса.

Коробка с шаровым клапаном *C* служит для прекращения высасывания воздуха, когда насос заполнен водою, и шаровой клапан *D*, приподнятый вошедшей в коробку водою, открывает сообщение с атмосферой.



Фиг. 79. Насос для грязной воды фирмы «Наш».

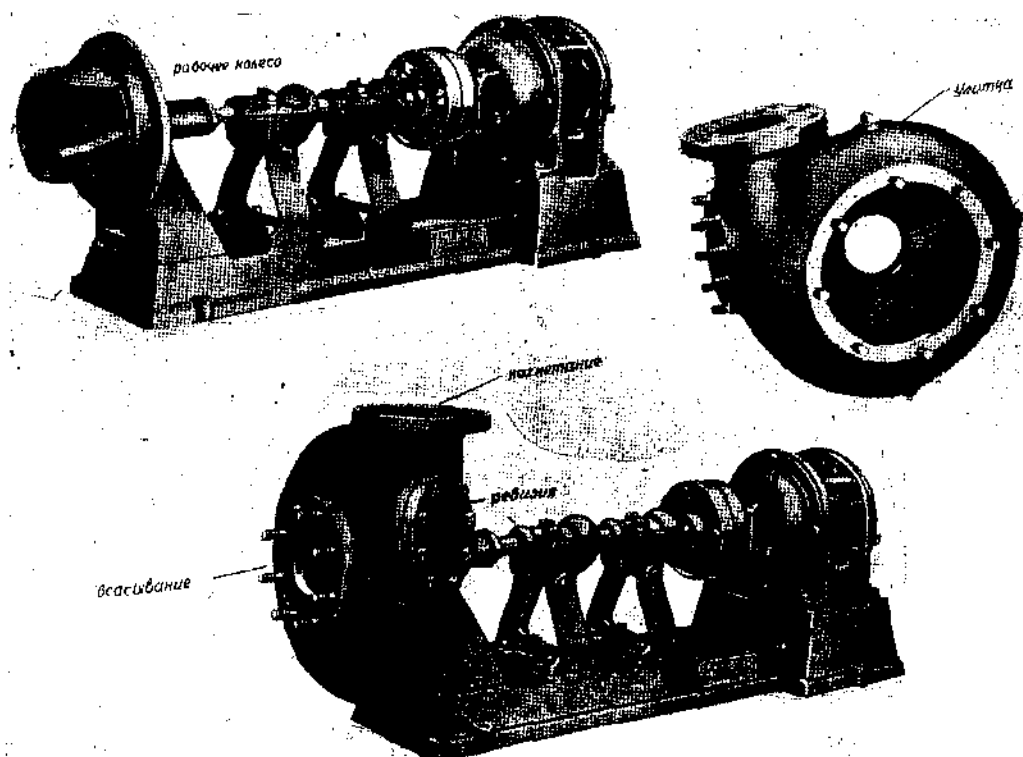
На фиг. 80 показан канализационный насос немецкой фирмы «Борзиг». Рабочее колесо этого насоса состоит, как видно на фигуре, из диска с одной лопаткой



Фиг. 80. Насос для грязной воды фирмы «Борзиг Галл».

в виде буквы *S*. Фирма «Наш» строит другой тип насоса, кроме описанного выше, похожий на насос на фиг. 80.

На фиг. 81 показана другая конструкция рабочего колеса для канализационного насоса фирмы American Well Works. Чтобы в колесе не задерживались тряпки, солома и т. п., оно устроено в виде неполного цилиндра. Аксиально засасываемая в него жидкость не делится на несколько потоков (хотя бы два, как во всех других конструкциях), а идет через насос одной струей.

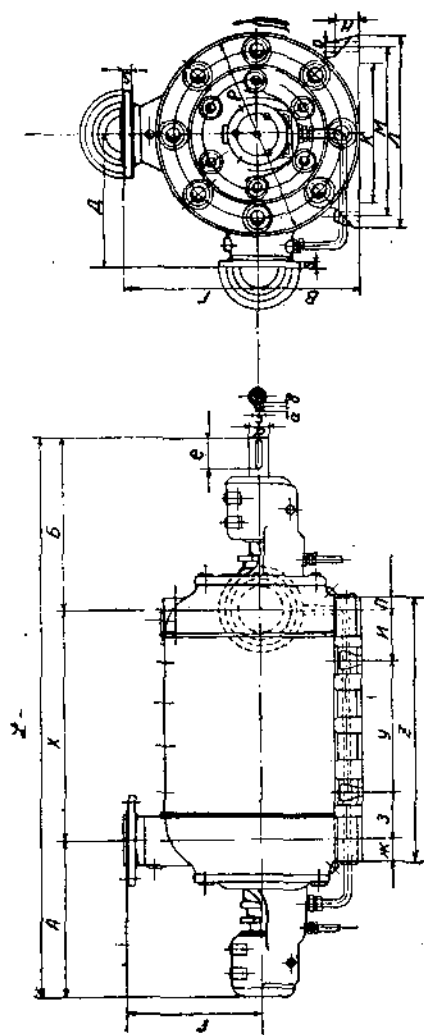


Фиг. 81. Канализационный насос.

Описанные насосы пропускают через себя всякие предметы, попадающие в грязных водах, даже металлические, как гайки, болты и пр.

13. Поршневые насосы

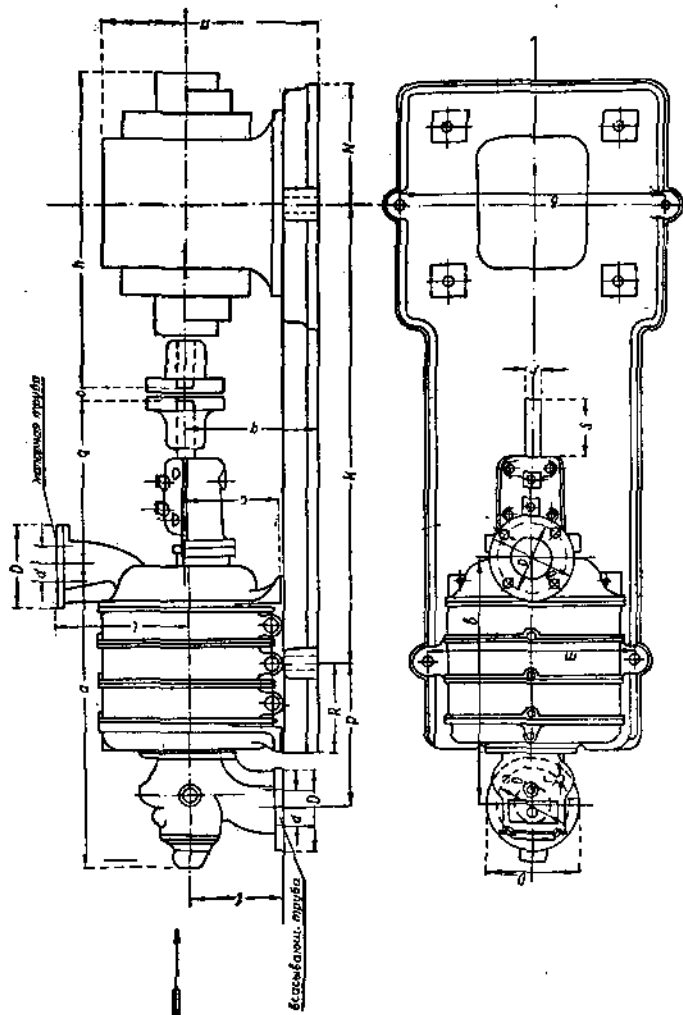
На небольших насосных станциях у нас обыкновенно применяются центробежные насосы, но здесь возможно применение и поршневых, или, вернее, плунжерных насосов. Заграничные фирмы изготовляют большой ассортимент поршневых приводных насосов для небольших станций. На фиг. 84 представлен тип приводного плунжерного насоса «Борзиг» с одним или двумя цилиндрами, с ременным приводом от мотора с натяжным роликом или с зубчатой передачей. Такие насосы изготовляются для производительностей от 1 до 400 м³ час и с высотой напора до 160 м. Из поршневых насосов по простоте устройства при наибольшей уравновешенности работы выделяется трехцилиндровый насос одинарного действия (фиг. 85). Мотор устанавливается сбоку под шкивом; передачи бывают ременные с натяжным роликом или зубчатые, благодаря чему насос и мотор занимают мало места. На фиг. 86 изображен трехцилиндровый приводной насос фирмы «Клейн, Шанцлин и Беккер» с двумя шкивами — рабочим и холостым. Спереди видны — внизу всасывающая, выше напорная трубы; каждая из них отвечает в три всасывающие и три нагнетательные клапанные коробки, помещающиеся непосредственно над первыми. Над коробками помещаются неболь-



Тип	Всасывающ. штуцер ГОСТ. 746																Пневматический штуцер ГОСТ. 748																Вал				
	А	Б	В	Г	Д	Ж	З	И	К	Л	М	Н	О	П	Р	Болты				Болты				а	б	с	д	е									
																D	D	D	S	D	D	D	D						S	Числ. дыр	Φ	S	Числ. дыр	Φ			
В-60	350	405	225	300	300	28	90	110	340	440	385	60	22	13	425	80	160	200	23	4	18	60	145	185	22	4	18	3,5	10	35	70						
В-80	375	430	225	330	330	40	109	166	400	510	450	83	25	14	485	100	180	220	23	8	18	80	160	200	26	8	18	4,5	12	40	80						
В-100	475	531	300	400	400	53	150	170	470	600	530	80	27	37	590	125	210	320	24	8	18	100	180	235	28	8	22	4,5	12	60	100						
В-150	575	620	395	520	520	80	215	175	600	740	680	90	27	45	760	175	270	320	25	8	22	150	250	300	30	8	25	5	16	65	130						

B-60				D-80				B-100				B-150			
x	y	z	L	x	y	z	L	x	y	z	L	x	y	z	L
200	—	241	951	215	—	269	1020	280	—	370	1268	390	—	525	1585
275	75	316	1026	225	80	349	1100	380	100	470	1368	535	165	670	1720
350	150	391	1101	375	160	429	1180	480	200	570	1408	680	290	815	1875
425	225	466	1176	455	240	509	1260	560	300	670	1588	825	435	960	2020
500	300	541	1251	535	320	589	1340	680	400	770	1668	970	600	1105	2165
575	375	616	1326	615	400	669	1420	780	500	870	1768	1115	745	1250	2310
650	450	691	1401	695	480	749	1500	880	600	970	1868	1260	890	1395	2455
725	525	766	1476	775	560	829	1580	980	700	1070	1968	—	—	—	—

Фиг. 82. Чертежи к таблице габаритов Сумского завода.



Диаметр всасыв. и напорн. трубы	1 колес.		2 колес.		3 колес.		4 колес.		5 колес.		6 колес.	
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
1 1/2"	42	116	67	142	93	167	118	192	145	217	169	243
2"	56	153	86	183	116	213	146	243	176	273	206	303
2 1/2"	58	165	90	199	125	232	158	266	192	299	225	322
3"	80	208	124	252	158	286	219	340	256	384	300	429
4"	92	228	145	278	188	330	250	383	303	435	333	487
5"	109	268	165	323	225	383	283	440	345	503	405	563
6"	115	291	180	356	245	421	310	486	375	531	440	616
7"	123	337	203	417	283	497	363	577	443	627	523	737
8"	130	363	220	453	310	543	400	633	490	723	580	813
10"	128	418	230	520	332	622	435	725	538	828	640	930
12"	163	489	280	606	398	724	515	841	633	959	750	1076
14"	165	532										

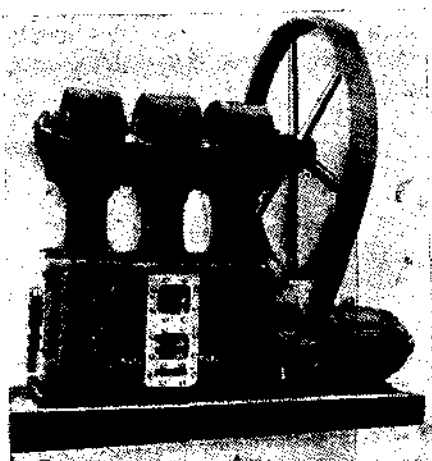
Диаметр всасыв. и напорн. трубы	1-1 колес.		2-1 колес.		3-1 колес.		4-1 колес.		5-1 колес.		6-1 колес.		r
	D	d	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
1 1/2"	150	140	280	168	330	219	430	331	480	372	530	423	32
2"	155	135	352	223	412	283	532	432	592	463	632	523	25
2 1/2"	160	135	380	250	460	315	600	455	670	523	740	595	28
3"	200	150	470	335	580	385	740	535	830	635	920	745	34
4"	235	185	550	395	655	450	835	660	970	765	1075	880	40
5"	255	205	640	450	760	515	1000	733	1120	875	1240	995	48
6"	280	230	760	500	880	580	1150	840	1280	970	1410	1100	55
7"	315	265	816	566	976	666	1296	936	1456	1146	1616	1306	60
8"	340	290	815	550	995	730	1355	1030	1535	1270	1715	1450	65
10"	395	345	1090	725	1175	955	1585	1245	1790	1445	1995	1650	70
12"	455	405	1290	825	1325	960	1795	1435	2030	1670	2235	1805	75
14"	520	460	1400	875	1465	1040							80

Фиг. 83. Чертежи к таблицам габаритов Московского завода «Борец».

шие воздушные колпаки. Цилиндры расположены с другой стороны. Мощность таких насосов — от 10 до 240 м³/час., число оборотов — от 300 до 125 для самых крупных. Диаметр плунжера — от 75 до 250 мм, ход — от 70 до 220 мм. При наи-

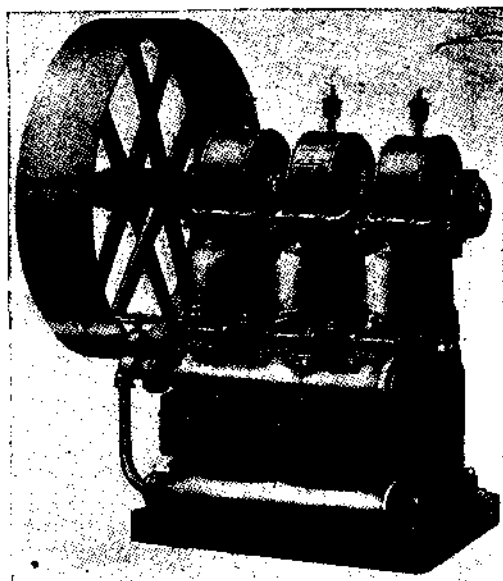


Фиг. 84. Одноцилиндровый насос с мотором.



Фиг. 85. Трехцилиндровый насос с мотором.

большей компактности конструкции мотор устанавливается над цилиндрами. Насос такой конструкции может легко конкурировать с центробежными насо-



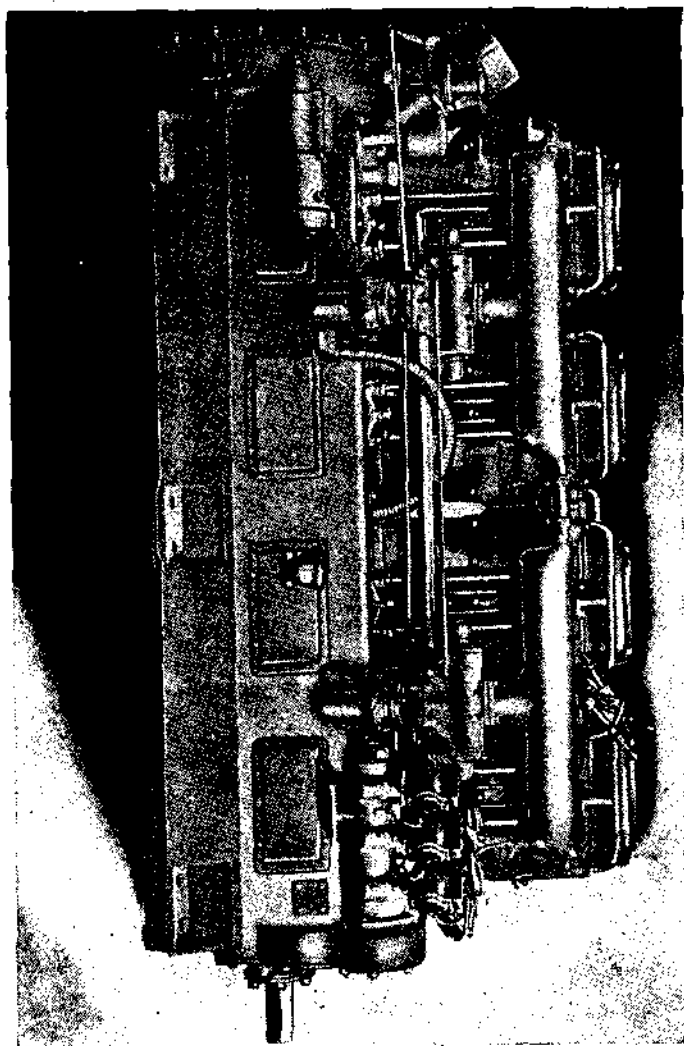
Фиг. 86. Трехцилиндровый насос.

сами по ограниченности занимаемого им пространства. Большая сложность устройства окупается более высоким к. п. д.

Лет 25 тому назад такие насосы были установлены на насосных станциях Макеевки французской компанией, владевшей Макеевским заводом; они работают исправно и до настоящего времени.

14. Резервные двигатели

Для обеспечения непрерывности подачи воды насосные станции снабжаются двигателями, независимыми от электрического тока. У нас это применяется для водоснабжений таких производств, как доменное и мартеновское, где перерывы в водоснабжении связаны с разрушением домен и проч. В Америке резервные двигатели часто применяются и для городского водоснабжения на случай перерыва тока.



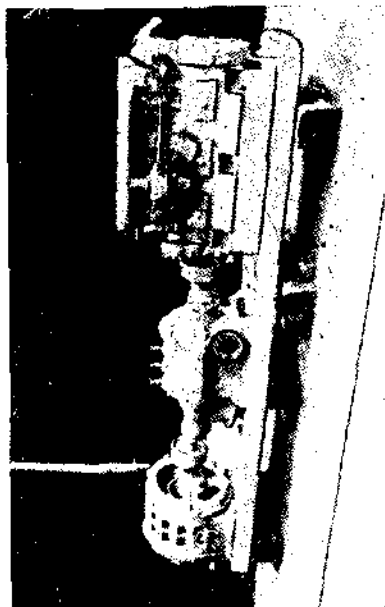
Фиг. 87. Восемьцилиндровый двигатель «Стерлинг».

На заводах, где имеются котельные, в качестве резервных двигателей применяются паровые турбины. С одной стороны насоса в таком случае ставится электромотор, а с другой — паровая турбина, автоматически вступающая в работу при остановке мотора (фиг. 92). Для городских водоснабжений в качестве резервных двигателей применяются дизеля и другие двигатели внутреннего сгорания.

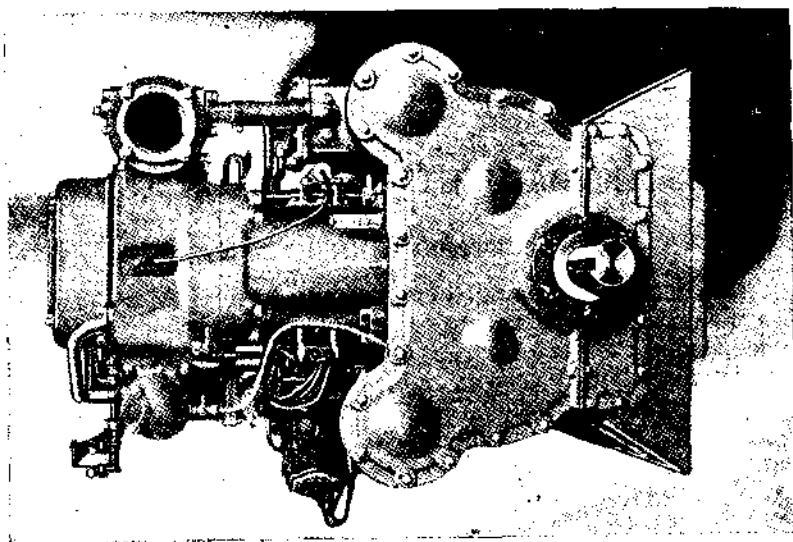
Самыми удобными резервными двигателями являются двигатели автомобильного типа, занимающие мало места, не требующие больших фундаментов и быстро вводимые в работу. На фиг. 87 и 88 показан с двух сторон 8-цилиндровый двигатель американской фирмы Стерлинга с числом оборотов 1250 и мощностью 240 л. с. На фиг. 89 показана насосная станция с двигателями Стерлинга,



Фиг. 89. Насосная станция с двигателями «Стерлинг».

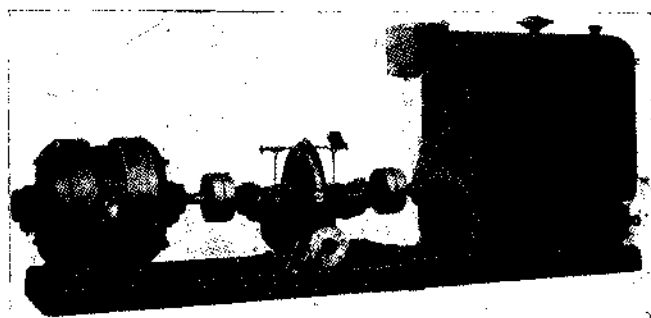


Фиг. 90. Насос с мотором и двигателем «Стерлинг».

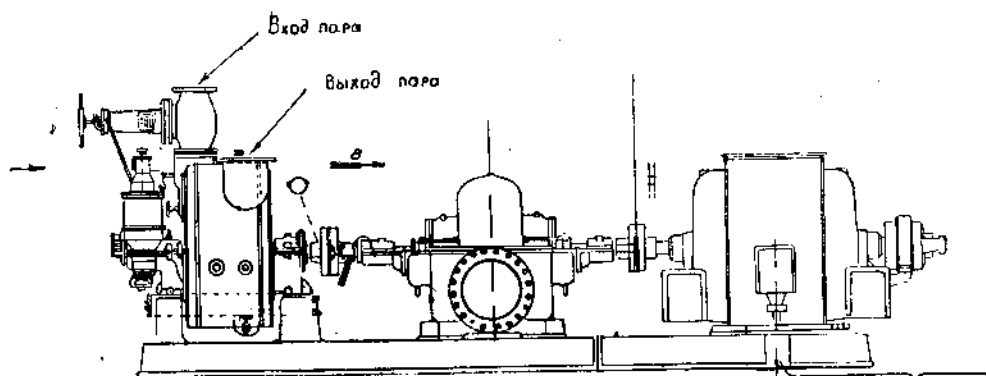


Фиг. 88. Восьмицилиндровый двигатель «Стерлинг», вид сбоку.

а на фиг. 90 — с одной стороны насоса электромотор, а с другой — двигатель Стерлинга. Двигатели Стерлинга изготовляются от 12 до 600 л.с. и более с числом оборотов от 400 до 2000 в минуту. На фиг. 91 показана установка Аллис



Фиг. 91. Насос с мотором и двигателем «Стерлинг» фирмы «Аллис Чалмерс».



Фиг. 92. Турбина, насос, мотор.

Чалмерса: слева — мотор, а справа двигатель внутреннего сгорания; число оборотов и того и другого одинаково.

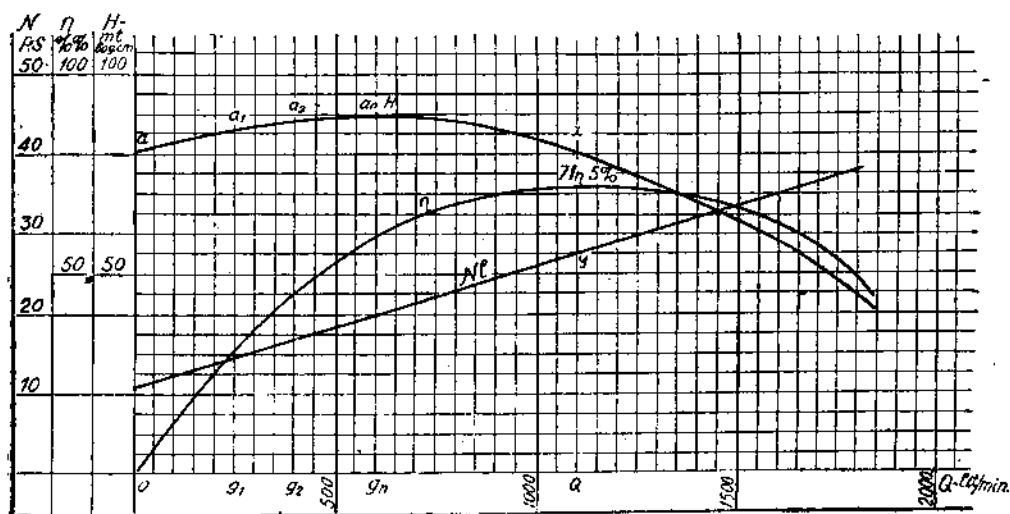
IV. СВОЙСТВА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

1. Характеристики насосов

В поршневых насосах нет никакой связи между подачей Q и напором H . При одном и том же числе ходов насос подает одинаковое количество воды, независимо от напора, определяемого противодействием в напорном водоводе: оно может быть и очень высоким и очень низким. Совсем иначе обстоит дело с центробежными насосами: у них расход Q и напор H неразрывно связаны один с другим. Связь расхода и напора выражается кривой QH (фиг. 93). На фиг. 93 по оси абсцисс откладываются расходы Q , по оси ординат — напоры H . Кривая QH строится при испытании насоса. Насос пускается при закрытой задвижке; расход равен нулю; в это время напор выражается ординатой Oa . Открывши задвижку на некоторую величину, получим расход g_1 , измеряемый при малых и средних насосах обыкновенно бочкой или каким-либо другим сосудом. Напор увеличивается и выражается ординатой a_1g_1 . Увеличивая открытие задвижки, получим больший расход g_2 и соответствующий напор a_2g_2 . Увеличивая таким образом постепенно расход, определяя по манометру, стоящему перед задвижкой, соот-

ветствующий напор и нанос Q и H на оси координат, получим кривую, характеризующую связь напора с расходом в данном насосе.

Кривая напора, как видно из фиг. 93, сначала несколько повышается, а потом начинает падать, — большие расходы возможны только при понижающихся напорах. Расчетный расход и напор лежат на нисходящей ветви в точке X , соответствующей абсциссе a . Наибольший напор $a_n g_n$, достижимый при данном числе оборотов, соответствует расходу g_n . Если противодействие в напорном водоводе еще немного увеличится, насос перестает подавать воду и работа насоса с точки a_n сразу перескакивает в точку a . Насос продолжает вращаться, но воды не подает. Если противодействие уменьшится и станет меньше напора Oa , насос снова начинает подавать воду. В пределах от $g = 0$ до $g = g_n$ режим работы неустойчивый.



Фиг. 93. Характеристики насоса Сумского завода.

Если на этой же координатной системе будем наносить на оси ординат требуемые насосы мощности, соответствующие определенным расходам, то получим кривую мощности. При закрытой задвижке, когда расход равен нулю, мощность наименьшая; по мере увеличения расхода растет и мощность. Для пункта X ордината мощности Qu соответствует расчетной мощности. При увеличении Q , H уменьшится, но, несмотря на это, мощность растет благодаря ухудшению к. п. д. Если электромотор взят точно по расчетной мощности, то при увеличении расхода он начнет перегреваться и может сгореть, поэтому необходим запас мощности в моторе.

Имея кривую QH и кривую мощности, нанесенную по показателям ваттметра или хотя бы амперметра, легко составить кривую к. п. д. η . Для этого полезную работу в каждой точке испытания, равную QH и выраженную в киловаттах (квт) делением на 102 $= \frac{QH}{102}$ квт, делим на квт поглощенной мотором мощности при каждом испытании. Кривая к. п. д. начинается с нуля и достигает максимума для точки X , соответствующей расчетному расходу и напору. Все три кривые называются характеристиками насоса.

2. Зависимость между Q , H , N и η

Количество подаваемой насосом воды Q зависит от скорости выхода воды из колеса, а последняя зависит непосредственно от скорости вращения, или числа оборотов в минуту n , поэтому Q прямо пропорционально n .

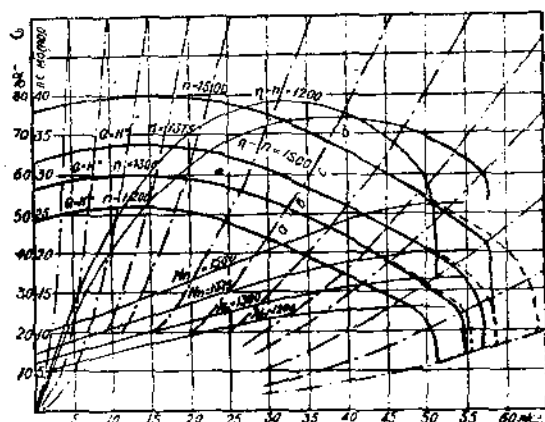
Напор H определяется квадратом скорости ($\frac{v^2}{2g}$), поэтому он пропорционален n^2 , а мощность, поглощаемая насосом N , определяется произведением QH , следовательно, она пропорциональна n^3 .

Таким образом:

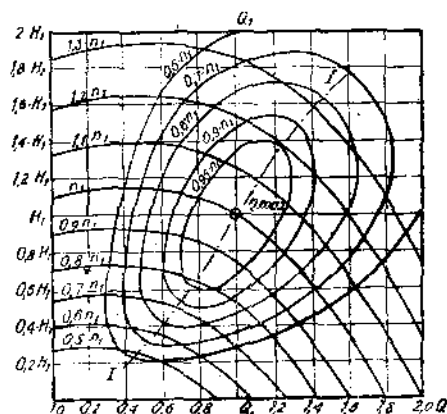
$$\begin{array}{lcl} Q & \text{пропорционально} & n \\ H & \text{»} & n^2 \\ N & \text{»} & n^3. \end{array}$$

3. Кривые при переменном числе оборотов

Если число оборотов насоса меняется, то изменяются и кривая $Q-H$ и N и η . На фиг. 94 представлены кривые одного и того же насоса при числе оборотов $n = 1200, 1300, 1375$ и 1500 . Кривые QH имеют параллельный ход, и только при очень больших расходах параллельность нарушается, расход перестает сле-



Фиг. 94. Характеристики при разном числе оборотов.



Фиг. 95. Кривые одинаковых коэффициентов полезного действия.

довать за повышением числа оборотов и в конце остается постоянным, что выражается вертикальным падением кривых QH . Эти кривые могут быть получены опытным путем, т. е. их можно снять во время испытания насоса при разных числах оборотов; но они могут быть также и вычерчены по одной кривой, полученной при определенном числе оборотов на основании соотношений

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}, \quad \frac{H}{H_1} = \frac{n^2}{n_1^2}, \quad \frac{N}{N_1} = \frac{n^3}{n_1^3}.$$

На фиг. 94, кроме кривых QH , N и η , показаны еще пунктиром кривые p , соединяющие пропорциональные точки кривых QH . Точка a кривой QH при $n = 1200$ переходит при повышении числа оборотов до $n = 1300$ в точку b , а при $n = 1375$ в точку c и т. д. При этом расход Q и напор H , выражаемые точкой a , изменяются для точек b, c и проч. пропорционально числу оборотов по указанным отношениям. Отступление от пропорциональности происходит только в конце; пунктиром показаны пропорциональные кривые, а сплошными — отступающие от них фактические кривые.

Кроме указанных кривых, можно вычертить еще целый ряд других кривых, наглядно демонстрирующих свойства данного насоса.

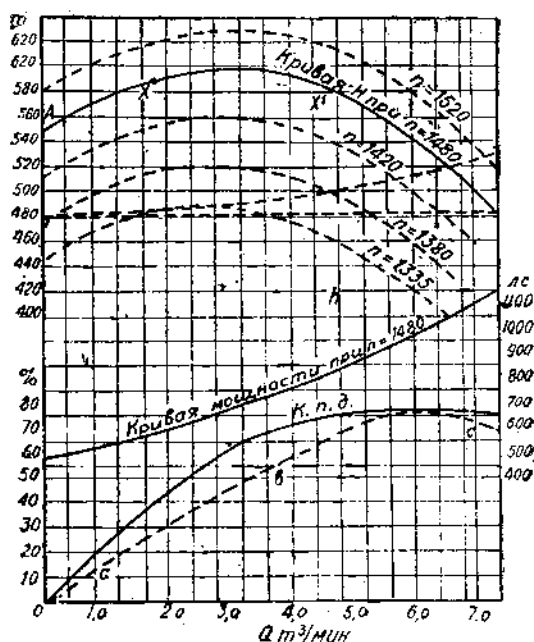
На фиг. 95 вычерчены кривые QH для числа оборотов от $n = 0,5 n_1$ до $n = 1,3 n_1$. Если точки этих кривых, имеющие одинаковые к. п. д., соединить линиями, то получим кривые одинаковых к. п. д. Пунктирная линия $I-I$ соединяет точки кривых $Q-H$, дающие наибольшие к. п. д. η_1 . Замкнутая кривая $0,95 \eta_1$ соеди-

няет точки с к. п. д. $0,95 \eta_1$. Работа насоса внутри этой кривой дает к. п. д. не менее $0,95 \eta_1$. Следующая концентрическая замкнутая кривая соединяет точки $\eta = 0,9 \eta_1$. Две следующие кривые соответствуют $\eta = 0,8 \eta_1$ и $\eta = 0,7 \eta_1$ (см. проф. Бурдаков — «Центробежные насосы», 1932 г. Сури н — «Водоснабжение», т. 11). Эти кривые дают ясное представление о работе насоса в разных условиях.

4. Значение формы кривых

Кривые, характеризующие работу насоса, дают точные указания на свойства насоса. Кривая H может иметь сильно выпуклую форму, как и на фиг. 96. Насос с такой кривой выведен для того случая, когда приходится работать при значительно меняющемся напоре.

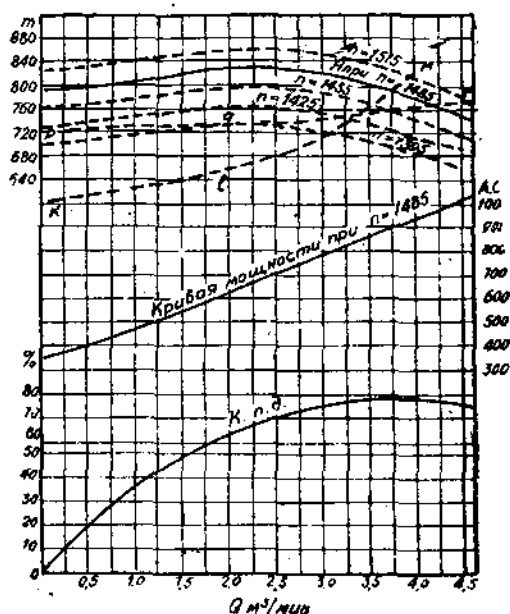
На фиг. 97 кривая H пологая; при подаче разных количеств воды напор очень мало меняется. Такие насосы пригодны для обычных условий работы, когда, например, в городской сети надо поддерживать постоянное давление. Центробежный насос, в отличие от поршневого, обладает способностью саморегулирования. При повышении расхода в сети давление в ней падает, и точка, изображающая работу насоса, передвигается вправо вниз по кривой QH ; расход Q при этом увеличивается. При уменьшении расхода в сети давление повышается, и точка работы передвигается влево; подача уменьшается. При пологой кривой H эти изменения работы насоса сопровождаются незначительными изменениями давления в сети; при выпуклой кривой колебания давлений будут гораздо больше. Недостаток пологой кривой может сказаться, когда сопротивление трения составляет значительную часть общего напора, т. е. при коротких и широких водоводах. В этом случае при падении напряжения в электросети, сопровождающемся понижением числа оборотов мотора, кривая QH понижается. На фиг. 96 и 97 показано пунктиром, как изменяется положение кривой QH при изменении числа оборотов n . Если сопротивление в напорных водоводах выражается параболой p_{rg} , (фиг. 97), то при понижении числа оборотов до 1395 параболы уже не пересечет кривую QH , соответствующую $n=1395$, т. е. в этом случае насос перестанет подавать воду. При более выпуклой кривой параболы пересекла бы кривую QH . Если сопротивление трения в трубопроводах будет значительно больше и выразится параболой k_{lm} , а статический напор уменьшится, переместившись из p в k , тогда и при меньшем числе оборотов чем 1395 параболы будет пересекать кривую QH , следовательно, насос будет продолжать работать. Очень выпуклая кривая отдачи или к. п. д. в верхней части невыгодны (фиг. 96 abc), потому что изменение подачи в одну или в другую сторону от проектного расхода сопровождается сильным понижением к. п. д. Чем выше кривая отдачи в своей верхней части, тем лучше, потому что тем больше сфера работы насоса с хорошим к. п. д. Кривая QH на фиг. 93, 96 и 97 имеет неустойчивые участки от начала координат до перегиба. При самостоятельной или параллельной работе с другими насосами и при больших колеба-



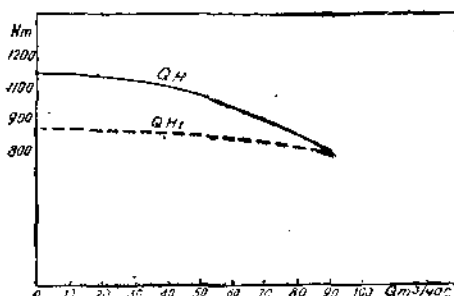
Фиг. 96. Характеристика насоса Егера.

водоводах. В этом случае при падении напряжения в электросети, сопровождающемся понижением числа оборотов мотора, кривая QH понижается. На фиг. 96 и 97 показано пунктиром, как изменяется положение кривой QH при изменении числа оборотов n . Если сопротивление в напорных водоводах выражается параболой p_{rg} , (фиг. 97), то при понижении числа оборотов до 1395 параболы уже не пересечет кривую QH , соответствующую $n=1395$, т. е. в этом случае насос перестанет подавать воду. При более выпуклой кривой параболы пересекла бы кривую QH . Если сопротивление трения в трубопроводах будет значительно больше и выразится параболой k_{lm} , а статический напор уменьшится, переместившись из p в k , тогда и при меньшем числе оборотов чем 1395 параболы будет пересекать кривую QH , следовательно, насос будет продолжать работать. Очень выпуклая кривая отдачи или к. п. д. в верхней части невыгодны (фиг. 96 abc), потому что изменение подачи в одну или в другую сторону от проектного расхода сопровождается сильным понижением к. п. д. Чем выше кривая отдачи в своей верхней части, тем лучше, потому что тем больше сфера работы насоса с хорошим к. п. д. Кривая QH на фиг. 93, 96 и 97 имеет неустойчивые участки от начала координат до перегиба. При самостоятельной или параллельной работе с другими насосами и при больших колеба-

ниях расхода и напора, что имеет место, например, при питании паровых котлов, эти неустойчивые участки вызывают, при известных условиях давления, скачки от перегиба кривой к нулю, сопровождаемые ударами в водоводах. Для устранения этого недостатка рабочие и направляющие колеса проектируют таким образом,

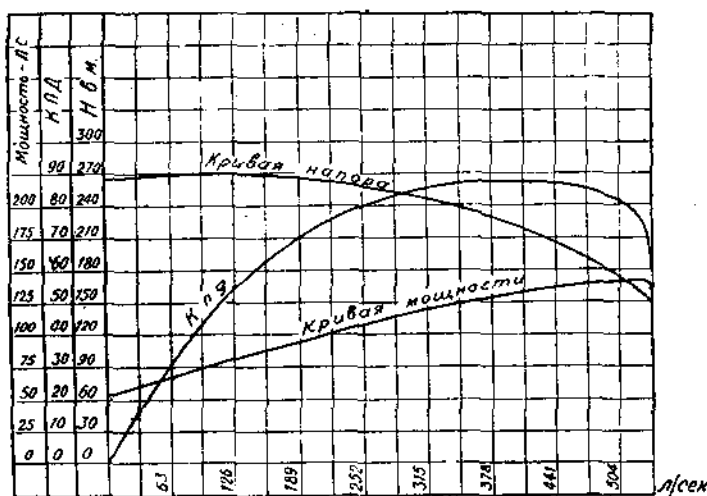


Фиг. 97. Характеристики насоса Егера.



Фиг. 98. Устойчивые характеристики насоса.

что кривые QH приобретают устойчивый характер. На фиг. 98 показаны две кривые — одна выпуклая, другая пологая, но обе не имеют неустойчивого участка, так как перегиба на кривой нет; с самого начала координат они



Фиг. 99. Характеристики насоса «Атлас Чалмерс».

непрерывно понижаются. Заводы по заказу могут изготовлять насосы с любыми формами кривых QH .

Кривые мощности на фиг. 93, 96 и 97 непрерывно поднимаются, но немецкие заводы строят уже насосы с кривой мощности, прекращающей подъем вскоре после

наивыгоднейшей точки работы. Такую же кривую мощности имеет и американский насос фирмы «Аллис Чалмерс» (фиг. 99).

Английский насос фирмы «Матер и Платт» запроектирован таким образом, что кривая мощности, достигнув за пунктом X некоторого максимума, начинает падать, как показано на фиг. 100. Наши заводы обычно строят насосы с кривыми мощностей по фиг. 96, 97, поэтому с опасностью перегрева моторов при наших насосах необходимо считаться, увеличивая мощность мотора.

5. Работа двух или нескольких насосов в общий водовод

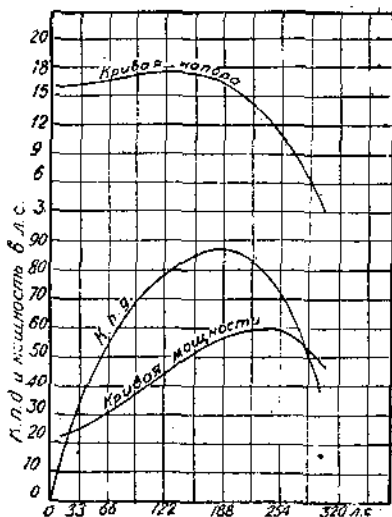
При установке нескольких насосов, нагнетающих в общий водовод или водоводы, случались ошибки от того, что не учитывали особенностей центробежных насосов, именно зависимости подачи Q от напора H . Если один насос подает через трубопровод некоторое количество воды Q , то присоединение к этому трубопроводу второго такого же насоса не дает удвоения подачи $2Q$, как было бы при поршневых насосах. При пропуске через тот же трубопровод $2Q$ потеря напора на трение в трубопроводе увеличится в четыре раза, а при увеличении напора, как показывает кривая QH , подача Q должна непременно уменьшиться. Два насоса, работая на один водовод, будут подавать меньше $2Q$ и тем меньше, чем больше потеря напора в водоводе, чем он длиннее и уже.

На фиг. 101 дана характеристика насоса QH ; Q и H выражены в % — $Q = 100\%$ при расчетном расходе, $H = 100\%$. Предположим, что насос подает воду в резервуар на высоте $h_r = 90\%$ сопротивлением в водоводе пропорционально Q^2 , следовательно, оно выразится параболой ab . Точка пересечения двух кривых c и укажет подачу насоса Q в данных условиях.

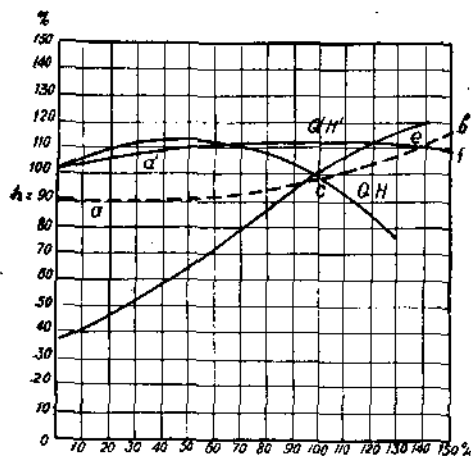
Чтобы выяснить, какое же количество воды подадут два одинаковых насоса, работая в один водовод, вычертим на той же фигуре 101 новую кривую $Q'H'$, увеличив вдвое абсциссы, т. е. вместо Q , $2Q$, оставив прежние ординаты. Кривая def вытянется (фиг. 101), кривая напоров в водоводе останется прежней ab , так как ее ординаты соответствуют прежним абсциссам; пересечение ab и def и укажет, какова будет общая подача обоих насосов в один водовод Q_2 , а каждого в отдельности $Q_2 : 2$.

Проведя горизонтально линию от точки пересечения e к кривой QH , найдем точку работы каждого насоса при их совместной работе, равную 70% , $Q = 140\% : 2$.

На неустойчивом участке кривой QH совместная работа двух насосов невозможна. Предположим, что два насоса пущены в работу в точке X (фиг. 96). Так как невозможно, чтобы оба насоса подавали совершенно точно одинаковые количества воды, или даже если бы такая тождественность в подаче и была осуществлена а некоторое время, то малейшее отклонение от такой тождественности сейчас же



Фиг. 100. Характеристики насоса «Матер и Платт».



Фиг. 101. Характеристики QH для одного и двух насосов.

поведет к тому, что насос, подающий больше воды, согласно кривой даст и больший напор; насос же, подающий меньше воды, даст меньший напор. Но работа двух насосов, дающих разный напор, невозможна — насос, подающий меньше, быстро сойдет к началу кривой и сведет свою подачу к нулю, а вся работа переложится на другой насос.

6. Условия, при которых насос нельзя ввести в работу

Центробежный насос не может быть введен в работу других насосов, если давление в водоводе или сети выше его начального давления. Предположим, что напор в сети выражается высотой h (фиг. 96). На характеристике QH насоса эта высота дает точку работы в X' ; но так как напор в X' выше, чем начальный напор насоса OA , то насос начать работу не может: он будет вращаться, но не будет подавать воды. Напор в сети в этом случае действует как закрытая задвижка.

Пуск насоса станет возможным, если прикрыть задвижки других насосов, нагнетающих в тот же водовод или сеть. Подача работающих насосов уменьшится и давление в водоводе упадет ниже начального OA , — тогда и новый насос вступит в работу.

Есть и другой, более сложный, способ введения в работу насоса, когда давление в сети выше его начального давления. Представим себе, что перед задвижкой сделано ответвление, соединяющее нагнетательный водовод со всасывающим, и на этом ответвлении поставлена задвижка. Пустив мотор, начнем постепенно открывать задвижку на ответвлении; насос начнет перегонять воду с напорной стороны во всасывающий водовод. Вода в насосе будет таким образом циркулировать, и напор согласно кривой QH начнет повышаться. Когда повышение напора достигнет требуемой величины, надо начать открывать напорную задвижку насоса и в то же время прикрывать задвижку на ответвлении. Однако надежная работа насоса возможна будет только в том случае, если по условиям расхода и напора точка работы может установиться на нисходящей ветви кривой QH т. е. после перегиба.

Все эти затруднения исчезают, если мотор может работать с переменным числом оборотов. Переменной числа оборотов работа насоса легко приспособляется к меняющимся напорам и расходам. Шунтовые моторы постоянного тока допускают перемену числа оборотов: к сожалению, они почти вышли из употребления вследствие вытеснения постоянного тока переменным.

Обычные моторы переменного тока работают с постоянным числом оборотов. Есть моторы переменного тока и с переменным числом оборотов, но они дороги и у нас пока не производятся. Паровые двигатели — паровые машины и турбины — допускают увеличение числа оборотов, а, следовательно, и мощности, на 20—30%, поэтому при них центробежные насосы получают большую гибкость в приспособлении к разным условиям работы. Двигатели внутреннего сгорания, которые наиболее удобны как резервные двигатели на случай перерыва тока, допускают только небольшое увеличение числа оборотов и мощности, поэтому их следует брать с запасом мощности до 20%.

К электромоторам начали применяться коробки скоростей, как в автомобилях; они дают возможность менять скорости скачками. Пока трудно судить, как далеко пойдет развитие в этом направлении.

7. Расчет мощности насоса и двигателя

Данными для расчета насосов являются секундная подача воды насосом Q и высота подъема. Последняя состоит из нескольких частей: 1) высоты всасывания, считаемой от уровня поднимаемой воды до оси насоса; 2) высоты нагнетания — от оси насоса до верхней точки подъема воды; 3) высоты, необходимой для преодоления всех сопротивлений как в нагнетательном, так и во всасывающем водоводах.

Высота всасывания вместе со всеми потерями во всасывающей трубе показывается вакуумметром, а высота нагнетания, также со всеми потерями в нагнета-

тельном водоводе, показывается манометром. Полная высота подъема выразится разностью показаний вакуумметра и манометра, причем показания вакуумметра берутся со знаком минус, так как атмосферное давление принимается за 0 и счет идет вверх и вниз; следовательно, в действительности получается сумма высот всасывания и нагнетания, — это называется манометрической высотой подъема. Таким образом, полезная работа насоса выразится произведением из веса поднимаемой воды Q на общую, т. е. манометрическую, высоту подъема H :

$$\text{полезная работа} = QH,$$

где Q изображает количество литров или, что то же, килограммов воды, подаваемое в одну секунду. Помимо полезной работы, насос производит и бесполезную работу как гидравлическую — вихревые движения в насосе, трение воды, так и механическую — трение вала в подшипниках, в сальниках и проч.; поэтому мощность, передаваемая двигателем валу насоса, так называемая мощность на валу насоса, должна быть больше полезной работы насоса. Отношение полезной работы P_n насоса к работе, передаваемой валу насоса P_b , называется к. п. д. насоса, или его отдачей. Для насосов поршневых штанговых отношение $\frac{P_n}{P_b}$ колеблется от 0,7 до 0,85; к. п. д. самого насоса выше, но часть энергии теряется в лебедке с ее двойной передачей.

Для центробежных горизонтальных насосов к. п. д. значительно меняется — в зависимости от величины насоса. В малых насосах потери на трение воды в узких проходах значительно больше, чем в больших. И механические потери для больших машин всегда относительно меньше чем для малых. Градации в размерах горизонтальных насосов очень велики: подача их изменяется от нескольких литров до нескольких кубических метров в секунду, т. е. в 1000 раз. Колебания к. п. д. насосов нужно считать от 50 до 90%, и даже выше в зависимости от мощности и, в меньшей мере, от конструкции.

Полезная работа насоса в одну секунду, как мы видели, выражается формулой QH кгм, а так как л. с. составляет 75 кгм, то выраженная в лошадиных силах формула полезной работы примет вид

$$\frac{QH}{75} = N \text{ л. с.}$$

Если примем к. п. д. насоса 0,7 или 70%, то для приведения в действие насоса потребуется большая мощность N_1 ; полезная работа N составляет только 0,7 требуемой мощности N_1 , т. е.

$$N = 0,7N_1.$$

откуда:

$$N_1 = \frac{N}{0,7}.$$

Подставив вместо N его значение из вышеприведенной формулы, получим

$$N_1 = \frac{QH}{75 \cdot 0,7}.$$

Такую мощность должен развить мотор на валу насоса. Но сам двигатель, допустим электромотор, также имеет свой к. п. д., т. е. и он поглощает энергии больше, чем отдает. Для малых электромоторов к. п. д. 0,85, для больших он поднимается до 0,95 и даже выше.

Чтобы получить мощность, поглощаемую мотором, нужно предыдущее выражение еще раз разделить на к. п. д. мотора, предположим, для данного случая на 0,9.

Мощность электромотора:

$$N_2 = \frac{QH}{75 \cdot 0,7 \cdot 0,9}.$$

Если передача от мотора производится не непосредственно через эластическую муфту, а путем ременной передачи, тогда необходимо ввести еще и к. п. д. ременной передачи, т. е. предыдущее выражение нужно разделить еще и на к. п. д. ременной передачи 0,95—0,97.

Если к. п. д. насоса обозначим через η_n , мотора η_m и ременной передачи η_p , тогда получим общий вид формулы для мощности, поглощаемой мотором:

$$N_s = \frac{QH}{75 \cdot \eta_n \cdot \eta_m \cdot \eta_p} \quad \text{л. с.}$$

Чтобы получить мощность в киловаттах, надо предыдущее выражение разделить на 1,36, так как 1 кВт = 1,36 л. с.

$$N_s = \frac{QH}{1,36 \cdot 75 \cdot \eta_n \cdot \eta_m \cdot \eta_p} = \frac{QH}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_m \cdot \eta_p} \quad \text{квт.}$$

Такая мощность должна быть подведена проводами к электромотору; к. п. д. от проводов к вводе будет η_n ; η_m ; η_p . Ременная передача применяется сравнительно редко, поэтому обычно η_p отсутствует и общий к. п. д. выражается $\eta_n \cdot \eta_m$.

Чтобы получить общий к. п. д., приходится перемножать к. п. д. мотора, насоса и проч. Но когда мы имеем многоступенчатый насос, то это не значит, что для получения к. п. д. всех ступеней нужно перемножить к. п. д. отдельных ступеней. Перемножение коэффициентов необходимо тогда, когда вся работа проходит через несколько машин: через насос, мотор и т. д. Если же, как в многоступенчатом насосе, одно колесо исполняет только часть работы, поднимая воду на некоторую долю общей высоты, другое колесо выполняет вторую долю работы, третье третью и т. д., — тогда общий к. п. д. будет равен взвешенной средней величине к. п. д. всех отдельных ступеней работы. То же самое справедливо и по отношению к двум и более насосным станциям, поднимающим воду последовательно на разные доли общей высоты подъема. Общий к. п. д. всей установки будет равен взвешенной средней величине к. п. д. каждой отдельной станции.

Для пояснения сказанного предположим, что подъем воды производится последовательно тремя насосными станциями, причем одна из них поднимает воду на 0,3 общей высоты с к. п. д. 0,5, вторая — на 0,2 общей высоты с к. п. д. 0,60 и, наконец, третья поднимает воду на остающиеся 0,5 общей высоты с к. п. д. 0,7; к. п. д. всей установки получим, умножая отдельные к. п. д. на исполненную долю работы, складывая их и деля на общую сумму работы:

$$\frac{0,3 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 0,7}{0,3 + 0,2 + 0,5} = 0,62.$$

8. Коэффициент полезного действия станции

На первый взгляд может показаться странным говорить о к. п. д. станции, а не насоса или мотора. Но дело в том, что насосный агрегат работает на станции часто не в тех условиях, которые для него наиболее благоприятны. Скважина при возможном для данной установки понижении уровня подает определенное количество воды. Насосы приходится подбирать по каталогам завода, и, конечно, точное совпадение между данными каталога и действительным дебетом скважины может произойти только случайно: вообще приходится выбирать ближайший подходящий дебет насоса. То же самое и с напором. Таким образом уже с самого начала условия работы агрегата не соответствуют выгоднейшим нагрузкам.

С течением времени скважина часто уменьшает дебет; чтобы насос не срывало, приходится искусственно уменьшать подачу насоса прикрытием напорной задвижки. Таким образом работа насоса ставится в еще более невыгодные условия. Все это приводит к тому, что к. п. д. работающей установки падает значительно ниже нормального к. п. д. агрегата. В 1924 году на киевском водопроводе к. п. д. горизонтальных насосов на скважинах был всего 43%, тогда как при обычном для малых насосов к. п. д. 65—70% и к. п. д. мотора 85%, общий к. п. д. должен был бы быть 60—65%. Уменьшает к. п. д., конечно, еще и износ насосов.

На харьковском водопроводе к. п. д. горизонтальных центробежных насосов в скважинах 45%.

На станциях второго подъема, подающих в городскую сеть, необходимость приспособляться к каталогам завода при подборе насоса и мотора имеет меньшее значение; большие насосы часто изготавливаются по особому заказу, вполне приспособляясь к требуемым условиям.

При наличии напорных резервуаров регулирование подачи насосов совершается изменением числа часов работы, нагрузка же меняется мало. Кроме того, насосы, обслуживающие город, по размерам значительно больше насосов на отдельных скважинах. Все эти обстоятельства ведут к тому, что к. п. д. станций значительно выше.

Стоимость центробежного насоса с мотором обычно значительно ниже годовых расходов на поглощаемую ими электроэнергию. По американским данным¹ подъем 4000 м³ воды в сутки на высоту 60 м при цене на энергию 1 1/2 цента, т. е. 3 коп. за киловатт-час обойдется в год в 5200 долларов. Стоимость же насоса с мотором на производительность вдвое большую, т. е. 8000 м³ в день—всего 2000 долларов.

Из этого следует, что выгодно устанавливать самые лучшие и самые дорогие насосы, так как увеличение к. п. д. агрегата на 1% дает экономию в течение года в 80 дол., что при капитализации из 10% уже составит 800 долларов., т. е. больше трети стоимости агрегата. У нас энергия обходится раза в два-три дороже, чем в Америке, поэтому изложенные соображения еще в большей степени применимы к нашим условиям.

Электромотор не изменяет своего к. п. д. с течением времени, в то время как насос, подвергаясь износу, понижает свой к. п. д. Износ уплотняющих колец увеличивает циркуляцию воды из напорного пространства во всасывающее. Снаружи это незаметно, но у насосов первого подъема, подающих неочищенную воду, истирание уплотняющих колец может повести к понижению к. п. д. до 8—10% за один год. Напор, создаваемый насосом, при этом сохраняется, уменьшается только расход; поэтому необходимо раза два в год проверять производительность насоса, а еще лучше — снабжать каждый насос водомером. Показания водомера сейчас же укажут на износ колец, которые необходимо быстро сменить, чтобы не поддерживать бесполезной потери энергии.

9. Кавитация

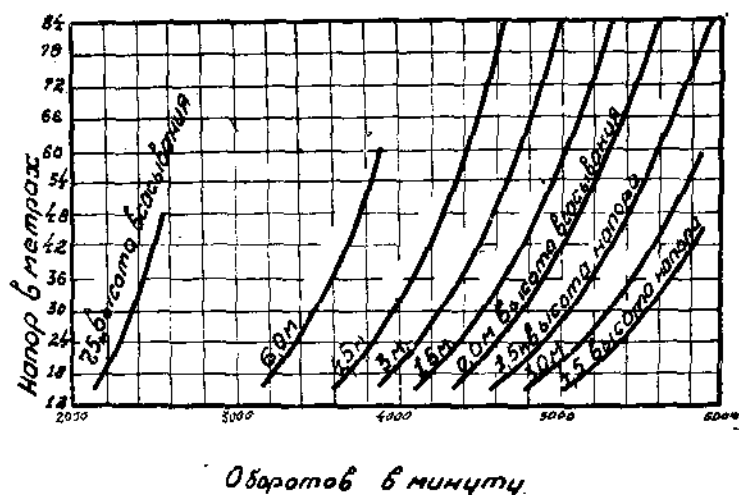
Термином кавитация обозначается образование пустот в рабочем колесе благодаря разрыву струй воды. Это явление наблюдаем при больших числах оборотов и больших высотах всасывания, когда остающегося избытка атмосферного давления оказывается недостаточно для придания всасываемой струе воды такой же скорости, с какой увлекает ее центробежная сила колеса. Для устранения кавитации необходимо не переходить определенных пределов скорости вращения. Явление кавитации сопровождается шумом в насосе и, что еще важнее, — разъемлением металла. В образующейся пустоте выделяются кислород и углекислота, которые и разъедают металл.

Применяемое иногда регулирование работы насоса задвижкой на всасывающей трубе вызывает также кавитацию, так как это равносильно повышению высоты всасывания. Такой способ регулирования поэтому категорически воспрещается.

Наибольшая скорость вращения, допустимая для насоса без появления кавитации и шума, определяется производительностью насоса и высотой всасывания и нагнетания. «Жалобы, получаемые фабрикантами, на действие насосов почти исключительно относятся к шуму и кавитации, которая часто вызывает разъемление металла». (J. A. W. W. A., october 1933. Petersoy, Twenty years progress in centrifugal pumps).

¹ J. A. W. W. A., 1932, January.

Для устранения этого недостатка американские фабриканты насосов устроили недавно соглашение относительно предельных наибольших скоростей вращения насосов. Как определяются эти предельные скорости для разных условий работы насосов — показано на диаграмме фиг. 101а.



Фиг. 101а. Диаграмма наибольшего числа оборотов без кавитации.

Наибольшая допустимая скорость вращения одноступенчатого насоса с двухсторонним всасыванием и производительностью 43 л. с. (1 мил. галлонов в сутки).

Для большей производительности надо найденное на диаграмме число оборотов разделить на квадратный корень из отношения производительностей. Например для 172 л. надо разделить на 2.

Для насоса с односторонним всасыванием надо данные диаграммы помножить на 0,7.

Диаграмма построена для одноступенчатого насоса с двухсторонним всасыванием и производительностью 1 000 000 галлонов в сутки при разных высотах всасывания и нагнетания.

1 000 000 галлонов = 3,780 м³ в сутки, или 44 л в секунду.

Из диаграммы видно, например, что при высоте всасывания 7,5 м и общей высоте подъема 32 м наибольшее допустимое число оборотов 2400 в минуту. При 6 м всасывания и при том же подъеме — 3500 оборотов, а при 1,5 м всасывания — свыше 4500 оборотов. При 5000 оборотах уже необходимо вводить в насос воду под напором 1,5 м и т. д.

Чтобы получить предельную скорость для насоса большей производительности, необходимо число оборотов, указываемое диаграммой для требуемой высоты подъема, разделить на квадратный корень из отношения производительностей. Например, при высоте подъема 60 м и высоте всасывания 4,5 м насос на 44 л/сек может достигнуть предельной скорости 4430 оборотов. Если же производительность насоса будет 440 л в секунду, то предельное число оборотов для него будет $4430 : \frac{440}{44} = 1400$ оборотов, а при производительности 4400 л предельная скорость — всего 443 оборота.

Если высоту всасывания опустить до 3 м, тогда для последнего случая предельное число оборотов поднимется до 475. Насос с односторонним всасыванием допускает меньшие скорости, чем двухсторонний. Приблизительную предельную скорость для одностороннего насоса можно получить умножением на 0,7 соответствующих скоростей для двухстороннего насоса.

V. ОБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ И СКВАЖИН

1. Коэффициенты неравномерности

Оборудование насосной станции зависит от количества воды, какое станция должна подавать. Потребление воды городом колеблется, поэтому станция должна приспособляться к этим колебаниям. Каковы же колебания городского расхода? Потребление бывает разное в разные дни года, — это будет суточное колебание. Потребление бывает также разное в разные часы дня, — это часовые колебания. Амплитуда как суточного, так и часового колебания очень разнообразна в разных городах и даже в одном и том же городе в разное время. Нижеприведенная таблица дает некоторое представление о колебаниях суточного расхода в немецких городах разной величины.

Цифры таблицы — коэффициенты суточной неравномерности — представляют собою отношение максимального суточного расхода к среднему суточному расходу за год:

	1923 г.	1924 г.	1925 г.	1926 г.	1927 г.	1928 г.	1929 г.
Берлин	1,62	1,30	1,59	1,42	1,40	1,64	1,56
Мюнхен	1,17	1,19	1,16	1,26	1,23	1,07	1,17
Франкфурт	1,43	1,27	1,42	1,31	1,45	1,55	1,55
Бреславль	1,27	1,20	1,30	1,26	1,23	1,53	1,42
Ганновер	1,39	1,39	1,46	1,33	1,22	1,26	1,28
Атерлебен	1,17	1,08	1,60	1,43	1,42	1,56	1,38
Фалькенштейн	1,48	1,53	1,59	1,48	1,74	0,36	1,94
Митвайда	1,22	1,55	1,64	1,36	1,44	1,34	1,45
Зорау	1,72	1,38	1,43	1,34	1,28	1,76	1,65
Среднее	1,38	1,32	1,46	1,36	1,38	1,56	1,49

В последующие 1930—1932 годы вследствие экономического кризиса водопотребление уменьшилось, но коэффициенты неравномерности остались без изменения.

Наибольшая неравномерность расходов наблюдается в самых мелких поселениях. Таблица расходов 68 городов штата Массачусетс в 1910 году, помещенная в *Waterworks Handbook*, Flinn, Weston, ст. 582, показывает, что в мелких городах коэффициент суточной неравномерности поднимается иногда до 3,5, а средний для всех городов штата — около 2, что объясняется преобладанием в списке мелких городов от 2000 до 10 000 чел. Люгер в своем обширном труде *Wasserversorgung der Städte* за 1916 год на основании статистики водопотребления принимает для расчета проектов водоснабжения суточный коэффициент неравномерности 1,5 и часовой коэффициент также 1,5, так что в день наибольшего расхода и в час максимума расход будет $1,5 \times 1,5 = 2,25$ раза больше среднего суточного расхода. Те же коэффициенты принимает и Smreker, *Der Wasserbau*, Bd. III, *Wasserversorgung der Städte*, — 1914 г. Новейший немецкий писатель E. Gross, *Handbuch der Wasserversorgung*, 1928 г, принимая суточный коэффициент неравномерности 1,6, а часовой — от 1,4 до 1,8, рекомендует для запаса и тот и другой увеличивать до 2.

Американские специалисты принимают для расчета водоснабжений коэффициент суточной неравномерности 1,5 и часовой неравномерности — так же 1,5¹.

У нас появилось стремление снизить коэффициенты неравномерности, и на последнем IV всесоюзном водопроводном съезде были приняты, как временная мера, следующие сниженные коэффициенты:

	Суточный	Часовой
В неканализованных районах	1,4	1,8
В районах, не вполне канализованных	1,4—1,3	1,5
В канализованных районах	1,3—1,15	1,35
В городах социалистического типа	1,15	1,2—1,35

Как снижение коэффициента, так и большое разнообразие их не имеет под собою серьезных оснований. Переходный характер нашего времени не дает возможности развернуть во всю ширь строительство водопроводов, но в таком случае достаточно ограничить душевые расходы, не трогая коэффициентов.

Водопроводная статистика Германии показывает, что, несмотря на рост среднего душевого потребления, которое раньше было 50—100 литров, а в настоящее время поднялось до 100—200 литров и больше, средние коэффициенты неравномерности остались те же. Средние нормы душевого потребления в Соединенных Штатах много выше германских — около 200—400 литров, а коэффициенты неравномерности близки к немецким. Это постоянство коэффициентов неравномерности надо было учесть при выработке временных сниженных норм водопотребления. Достаточно было ограничиться понижением одних душевых расходов. Уменьшения же первоначальных затрат, преследовавшегося этими нормами, проще и правильнее достигнуть путем установления надлежащей очередности строительства.

Эта очередность должна быть разработана в проекте. Кроме того, проект должен предусмотреть дальнейшее широкое развитие водоснабжения без ломки сооружений первых очередей.

В виду невозможности предусмотреть будущие коэффициенты неравномерности для вновь строящихся водопроводов, следует принимать для проектирования круглые средние цифры, заимствованные из заграничной практики, которую мы стремимся догнать. Такими цифрами, как мы видели выше, являются 1,5 как для суточного, так и для часового коэффициента неравномерности. Для мелких же последний один коэффициент или даже оба можно поднять до 2.

Только для больших городов с развитым водоснабжением и канализацией коэффициенты неравномерности можно заимствовать из многолетней практики местного водоснабжения. К сожалению, вследствие быстрого роста наших городов за последние годы водопроводы стали недостаточны, и потому невозможно установить максимальных расходов, а следовательно, и коэффициентов неравномерности.

2. Выбор мощности и числа насосов. Распределительная сеть с напорным резервуаром

Принимая для расчета суточный и часовой коэффициенты 1,5, получим, что максимальный часовой расход в максимальные сутки будет равен $1,5 \times 1,5 = 2,25$ среднего за год часового расхода.

Таким образом, при отсутствии каких-либо регулирующих напорных резервуаров станция должна подавать максимальный расход, превосходящий в 2,25 раза средний расход.

Большое улучшение в работе станции получается при наличии напорного резервуара или башни емкостью около 20% среднего суточного расхода. В таком случае все часовые колебания выравниваются резервуаром, то накапливающим воду в часы малого расхода ночью, то подающим ее в сеть в часы большого расхода.

На долю станции в этом случае остаются только суточные колебания с максимумом 1,5. Здесь цифра 1 изображает средний за год суточный расход.

¹ Turneure and Russel, Public Water Supply, стр. 29—32. Babbitt and Doland, Water Supply Engineering, стр. 110. Flinn, Weston and Bogert, Waterworks Handbook, стр. 575. Коэффициент суточной неравномерности 1,5 принимается и официальным учреждением National Board Fire Underwriters.

Какими насосами должна быть оборудована станция при таких колебаниях расхода?

Можно поставить один насос на полуторную среднюю мощность. При максимальном расходе он будет работать полной нагрузкой, все же остальное время нагрузка его будет значительно ниже 100%. Такая работа вызовет понижение к. п. д. насоса и мотора. Размер этого понижения покажет характеристика насоса и нижеприведенные таблицы для моторов.

Коэффициент полезного действия моторов трехфазного тока при полной нагрузке в процентах

Лошадиных сил	Число оборотов в минуту при холостом ходе				
	1500	1000	750	600	500
0,5	76	75	—	—	—
1	79	78	75	—	—
2	82	81	78,5	—	—
5	84	84,5	82,5	—	—
10	88	84	85	83,5	83,5
20	89,5	88	86	86,5	85,5
50	91,5	91	89	89,5	88,5
100	92,0	92	91,5	91,5	90,5

Коэффициент полезного действия моторов трехфазного тока при различных нагрузках

К. п. д. при полной нагрузке	К. п. д. в %			
	1-я нагрузки	2-я нагрузки	3-я нагрузки	4-я нагрузки
60—70	41—50	53—63	58,5—68	59—69
71—80	56—64	67—75	70—79	70,5—79,5
81—85	67—71	78—82	80—84	80,5—84,5
86—92	76—83	83—90	85—92	80,5—92,5

Для обеспечения полной непрерывности работы станции нужно иметь два запасных насоса с моторами, потому что, когда один насос находится в ремонте, другой должен быть в резерве на случай аварии работающего. При выполнении этого условия запас насосного оборудования в данном случае получается очень большой — 200% от максимальной рабочей мощности, а мощность всего оборудования равна 450% средней мощности.

Если оборудовать станцию насосами на подачу не полуторного, а среднего расхода, тогда при средних расходах один насос будет работать полной нагрузкой, а при больших расходах — два насоса — неполной нагрузкой. Прибавив еще два запасных насоса, получим всего четыре насоса общей мощностью 400% средней мощности. Отношение резервного оборудования к работающему 100%. Более выгодно, при подходящих характеристиках насосов, как показано ниже, брать четыре насоса не средней суточной производительности, а 75—80% от нее. Тогда установочная мощность понизится до 300—320% от средней мощности, а резерв останется 100%.

Можно поставить три насоса на подачу каждым 0,5 среднего расхода; тогда при среднем расходе работают два насоса, при наибольшем расходе — три. Два запасных насоса дадут процент резерва 67, а общая мощность установки будет всего 250% от средней мощности.

При уменьшении мощности отдельного насоса до 0,33 среднего расхода и при двух насосах в резерве общая мощность станции понизится только до 233%.

Из предыдущего видно, что, если оставить в стороне пятый случай, как неудобный по слишком большому числу насосов и ничтожной экономии в установочной мощности, то конкурировать между собой могут только три комбинации: вторая, третья и четвертая, хотя в практике в мелких установках применяется и первая комбинация с постановкой всего двух насосов вместо трех.

Для мелких и средних станций часто применяется оборудование по второй комбинации, чтобы избежать слишком мелкого дробления агрегатов. Четвертая комбинация из пяти насосов по 0,5 средней суточной производительности больше применяется для крупных установок; она удобна еще и потому, что дает возможность лучше приспособиться к начальному периоду работы станции, когда расходы будут в 1,5—2 раза менее расчетных. На первое время может быть установлено только четыре насоса (комбинация вторая), а с увеличением расхода будет прибавлен пятый.

На практике часто нарушают принцип полного обеспечения мощности станции при ремонте одного насоса и аварии другого и ставят, из соображений экономии вместо четырех насосов — три и вместо пяти — четыре (вторая и четвертая комбинации). Однако в здании станции всегда необходимо оставлять место для полного числа агрегатов, чтобы хотя в будущем станцию можно было обеспечить полным комплектом машин. Стоимость насосного агрегата настолько мала по сравнению со стоимостью всего водопровода, что экономия на насосах не имеет смысла в особенности, если принять во внимание важность непрерывности водоснабжения.

Дальнейшее расширение мощности станции по истечении расчетного периода легко производить путем постепенной замены старых насосов более мощными, так как размер вдвое более мощного агрегата немного превосходит размер прежнего. Имея в виду такую замену в будущем, следует размер фундаментов соответственно увеличить во время постройки. То же надо сказать и о размере зданий и проч.

Кроме этого, при проектировании зданий станции следует предусматривать и возможность расширения здания в будущем. В этом отношении неудобна круглая форма станции, так как она не даст возможности расширять здания. При применении круглой формы здания необходимо компенсировать это неудобство запасом места для установки более мощных насосов, рассчитанных на большой запас времени вперед.

Во всех предыдущих вариантах применялись насосы одного типа. Однотипность оборудования имеет такие крупные преимущества — одинаковые запасные части, легкость обслуживания и проч, — что отказываться от нее можно только по серьезным соображениям.

Насосные станции проектируют обычно не на существующие, а на будущие расходы на пять-десять лет вперед.

В течение всего времени, кроме последнего расчетного года, насосы должны подавать воды меньше расчетного количества; при наличии уравнительных напорных резервуаров регулирование подачи насосами производится просто изменением числа часов работы насосов — насосы останавливаются всякий раз, когда резервуар наполняется водой.

Если бы коэффициент суточной неравномерности был не 1,5, а допустим 1,3, то и тогда не было бы надобности отступать от однотипности насосов, так как напорный резервуар или башня дает полную возможность приспособлять работу насосов к меняющемуся расходу путем изменения числа часов работы отдельных насосов.

Если коэффициент выше 1,5, тогда в течение нескольких дней в году пришлось бы работать четырьмя насосами одновременно; при небольшом количестве таких дней достаточно пяти насосов, в противном случае потребовался бы еще один; или же можно увеличить мощность агрегатов до одной трети максимального суточного расхода. При коэффициенте 2 мощность насоса может равняться двум третям среднего суточного расхода или около этого. Точный подбор мощности должен быть сделан по характеристикам насосов.

3. Станции при сети без напорного резервуара

В ином положении находятся станции, питающие городскую сеть, не имеющую уравнивающих напорных резервуаров; в таком случае работа станции должна непрерывно приспосабливаться к меняющемуся расходу. Центробежные насосы обладают способностью саморегулирования: при увеличении расхода в сети напор понижается и подача насосов увеличивается, при уменьшении расхода напор в сети повышается и насосы уменьшают подачу.

Станции, работающие на сеть без напорных резервуаров, должны иметь большую мощность, потому что они должны подавать максимальные расходы, превосходящие средний расход в 2,25 раза.

Однако понижение давления во время максимального расхода дает возможность несколько уменьшить мощность насосов. Так, для подачи 2,25 среднего суточного расхода можно ограничиться двумя насосами на средний суточный расход каждый. При расчетном давлении они подадут 2 средних суточных расхода, но при небольшом понижении давления они легко подадут 2,25 среднего суточного расхода. Увеличение мощности при этом, если характеристики насоса хороши, будет очень невелико. При таких агрегатах общая установочная мощность составит 400%. Если выбрать насосы на 0,75 средней суточной производительности, тогда потребуется пять насосов с общей мощностью 375%. И тут возможно уменьшение мощности до 0,7 и ниже, потому что три насоса по 0,7 и даже по 0,65 легко подадут 2,25 среднего суточного расхода при небольшом понижении давления. Однако далеко идти в этом направлении нельзя, так как напор окажется недостаточным. А если повышать его путем повышения расчетного напора насосов, то при меньших расходах вода будет подаваться с излишним напором, что невыгодно.

Если мощность отдельного агрегата уменьшить до 0,5 средней суточной производительности, то потребуется шесть насосов с общей мощностью 300% средней суточной производительности. Максимальный расход 2,25 и здесь будет подан четырьмя насосами с ничтожным понижением давления. Для лучшего приспособления к минимальным расходам, если они очень малы, один из агрегатов всех трех комбинаций можно разбить на два по половинной производительности.

Водопроводная сеть с напорным резервуаром на 20% среднего суточного расхода

Мощность и количество насосов	Установочная мощность в %%
1,5 + 1,5 + 1,5	450
1 + 1 + 1 + 1	400
0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5	250
(0,75 - 0,85) × 4 *	300—340

Водопроводная сеть без напорного резервуара

Мощность и количество насосов	Установочная мощность в %%
1 + 1 + 1 + 1	400
0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5	300
0,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75	375
(0,85 - 0,90) × 4 *	340—360

Мощность и работу насосов можно определить по диаграмме колебания часовых расходов. Но диаграмма, составленная для будущего, является совершенно гадательной, особенно при постройке водопровода впервые. По диаграмме можно подобрать разнотипные и однотипные насосы, но для подбора однотипных насосов вышеприведенных соображений вполне достаточно. Диаграмма может дать только наглядную картину часов работы каждого насоса. При работе насосов, в течение не круглых суток, а в течение, допустим, 16 часов, обеспечение непрерывности водоснабжения возможно только при наличии напорного резервуара достаточной емкости, а мощность насосов должна быть в 1,5 раза больше, так как они должны за 16 часов подать то же количество воды, что и за 24 часа.

* Эти комбинации могут быть выгодны при подходящих характеристиках насосов.

При наличии большого числа станций первого подъема, как в Харькове, Киеве, и напорных резервуаров, регулировка подачи может производиться путем останова или введения в работу некоторых станций, а каждая станция может работать почти с одинаковой нагрузкой.

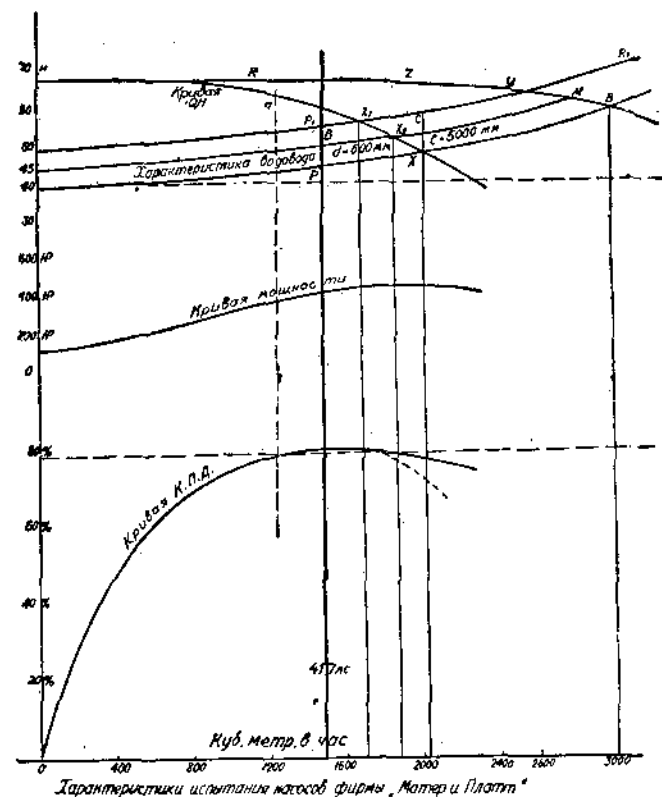
4. Высота напора на станции

Напор на станции должен быть равен статическому напору в обслуживаемом населенном месте плюс потери напора по пути. Если путь для воды короткий и потери невелики, тогда насосы с плавными кривыми QH окажутся наиболее под-

ходящими, колебания напора будут невелики. Если же станция удалена от города или город сильно удлинен, тогда потери в пути до потребителя делаются большими и, что самое важное, при разных расходах — резко различными.

При не очень больших разностях в потерях напора, при среднем и максимальном расходе приходится заказывать насосы на максимальный напор, — тогда при среднем расходе насос должен работать с чрезмерно повышенным напором, т. е. с бесполезной потерей энергии.

Для пояснения этого вопроса обратимся к фиг. 102, на которой представлены характеристики насоса фирмы «Матер и Платт» с расчетным расходом $1500 \text{ м}^3/\text{час}$ и напором 60 м, установленного на запорожском водопроводе. По английской манере кривая к. п. д. помещена ниже, имея особое начало координат. Насос нагнетает в два водовода диаметром 600 м, длиной 5 км;



Характеристики испытания насосов фирмы «Матер и Платт»

Размер	Тип	Испытание	Дата испытания
14/10"	Медивейн (средний)	При 975 об/мин.	18-8-32

Фиг. 102. Характеристики насоса «Матер и Платт».

потеря напора в водоводах при подаче $1500 \text{ м}^3/\text{час}$ равна 5 м, а при $3000 \text{ м}^3/\text{час}$ — 20 м; поэтому кривая, характеризующая сопротивление в водоводе, проходит через начальную ординату 50 м, соответствующую статическому напору, через точку P_1 с ординатой 55 м и абсциссой 1500 м^3 и точку R_1 с ординатой 70 м и абсциссой 3000 м^3 .

Пересечение характеристики водовода с кривой QH в точке X_1 показывает, что при работе одного насоса в два водовода подается $1690 \text{ м}^3/\text{час}$ при напоре около 56 м.

Чтобы уменьшить подачу до 1500 м^3 , надо прикрыть задвижку и поднять давление до 60 м. Таким образом на задвижке будет теряться около 4 м напора, или $4 : 57 = 7\%$ мощности, хотя насос и работает в области самого высокого к. п. д. 81%, как показывает кривая к. п. д.

Для выяснения условий работы двух насосов вместе вычерчиваем кривую *KZB* с удвоенными абсциссами, оставляя те же ординаты. Кривая *KZB* и есть характеристика *QH* двух насосов, работающих в общие водоводы. Пересечение этой кривой с кривой характеристики водоводов в точке *y* показывает, что два насоса подают 2460 м^3 при напоре 63 м.

Чтобы определить к. п. д. при этой работе, отыщем на кривой *QH* ординату 63 м *ba*; она пересекает кривую к. п. д. на 80%. Таковы условия работы насосов при статическом напоре 50 м.

Рассмотрим теперь другой случай, когда статический напор будет 40 м. В этом случае один насос подает, как видно из пересечения кривых *QH* и *40 PB* в точке *x*, 2020 м^3 в час при напоре около 49 м и к. п. д. около 79%. Подача двух насосов вместе показывается точкой пересечения *B* кривых *40 PB* и *KZB*; подача при этом равна 3000 м^3 , напор — 60 м и к. п. д. — 81%.

Из второго случая следуют важные выводы, а именно: рассматриваемые насосы номинальной производительностью 1500 м^3 и напором 60 м более выгодно работают при среднем расходе 2000 и максимальном 3000 м^3 , чем при среднем расходе 1500 и максимальном 2460 ; гораздо лучше используется их мощность при хороших к. п. д.; 1500 составляет 75% от 2000, следовательно, вместо того, чтобы брать насосы на среднюю суточную мощность, выгоднее их взять на 75% средней мощности.

Если бы кривая к. п. д. падала после максимума круче, как показано пунктиром, тогда к. п. д. при работе одного насоса и подаче 2020 м^3 понизился бы до 75%.

Чтобы обеспечить более выгодную работу насосов, надо было бы взять мощность насоса не 0,75 а 0,80 средней производительности.

Средняя производительность водопровода в этом случае должна быть 1875 м^3 (80% составляет расчетную производительность данного насоса равную 1500 м^3).

При подаче 1875 м^3 одним насосом к. п. д. будет 78,5%, а при работе двух насосов и подаче максимального расхода $1875 \times 1,5 = 2800 \text{ м}^3$, как показывают кривые, к. п. д. будет 80,5%. Для этого случая статический напор должен уже быть не 40, а 45 м и характеристика водоводов переместится в 45 *BM*.

Имея характеристики многих насосов, можно таким образом подобрать подходящий по производительности и напору насос, дающий наибольшие к. п. д. при разных условиях работы.

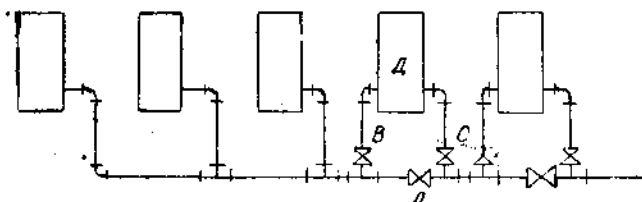
Вышеизложенное показывает, что при четырех насосах и пологой кривой к. п. д., как на фиг. 102, производительность отдельного насоса выгодно уменьшить до 0,75 среднего суточного расхода. При более же крутых кривых к. п. д. выгоднее остановиться на 0,80, а может быть даже и на 0,85. Все это справедливо, если характеристики насоса подходят и по напору. Для разных комбинаций, как мы видели, нужны разные статические напоры — 40, 45 и 50 м. Если напоры имеющихся характеристик не соответствуют требуемым, нельзя получить наилучшую комбинацию. При описанных комбинациях один насос работает на производительность большую его расчетной, при этом мощность мотора обычно повышается; чтобы мотор не перегружался, он должен быть заказан с запасом.

На фиг. 102 расчетная мощность насоса 410 л. с., а при работе насоса в точках x_1 и x_2 она поднимается до 460—465. Мотор должен быть заказан на эту максимальную мощность с запасом еще на 5—10% на случай неисправности насоса, связанной с увеличением потерь в нем. Этот дополнительный запас обыкновенно должны иметь все машины-двигатели по сравнению с рабочими машинами, чтобы работа могла производиться и при некотором, допустимом повышении сопротивления в рабочей машине.

5. Последовательная работа насосов

Если потери напора в водоводах велики, то колебания напоров на станции при средней и максимальной подаче становятся очень большими. Работа насосов становится невыгодной. В таких случаях в последнее время применяют дополнительные подкачивающие насосы.

Предположим, что при подаче среднего расхода потери выразятся в 6 м, — тогда при подаче максимального расхода в 2,25 раза большего потери увеличатся до 30 м. Разница в напорах в 24 м легко была бы преодолена, если бы электромоторы могли увеличить число оборотов. К сожалению, в настоящее время такие моторы



Фиг. 103. Схема установки для повышения напора.

и С напорную воду со станции можно направить в дополнительный насос D и при его посредстве поднять давление на дополнительные 24 м.

При меньших разницах в потерях напора при среднем и максимальном расходах можно довольствоваться насосами с выпуклыми характеристиками. При включении двух или трех таких насосов точка работы каждого насоса переместится вверх по кривой и напор повысится. Чаще, когда характеристики насосов неизвестны, вопрос решается таким образом, что напор насосов рассчитывают на потери на трение при максимальном расходе; при среднем расходе в таком случае получится излишний повышенный напор.

6. Станции для сетей с водонапорными баками малых объемов

Выше уже было указано, что при объеме напорного резервуара, равном приблизительно $\frac{1}{3}$ среднего суточного расхода, часовые колебания выравниваются, подавая суточный расход. Резервуары меньшего размера не могут обеспечить равномерности работы станции, но они тем не менее очень полезны, так как дают возможность насосам работать при лучших к. п. д.. Сравним работу станции на сеть без напорного резервуара и на сеть с напорными резервуарами.

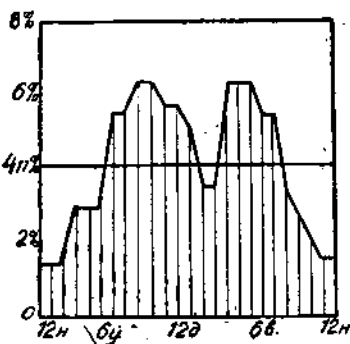
На фиг. 104 представлена диаграмма суточного расхода г. Тамбова. По оси абсцисс откладываются часы, а по оси ординат — количество воды, расходуемое в течение каждого часа.

Если имеется напорный резервуар достаточной емкости, насосы могут подавать непрерывно средний часовой расход, равный 4,17% суточного расхода. Параллельная линия с ординатой 4,17% на фиг. 104 показывает работу станции.

Площади ниже этой линии незаштрихованные показывают избыток подачи, а выше этой линии (заштрихованные вертикально) — недостаток подачи. Площади недостатка равны площади избытка. Объем напорного резервуара должен быть не меньше этих площадей.

Диаграмма суточного расхода (фиг. 105) изображает расход в день максимального потребления в 1,50 большего среднего суточного расхода. Ординаты выражены в двух цифрах: 1) процент от максимальной суточной подачи и 2) процент от средней суточной подачи. Предположим, что станция оборудована насосами на 0,5 средней суточной подачи, поэтому каждый насос подает 2,08% среднего суточного расхода в час или 1,40% максимального суточного расхода.

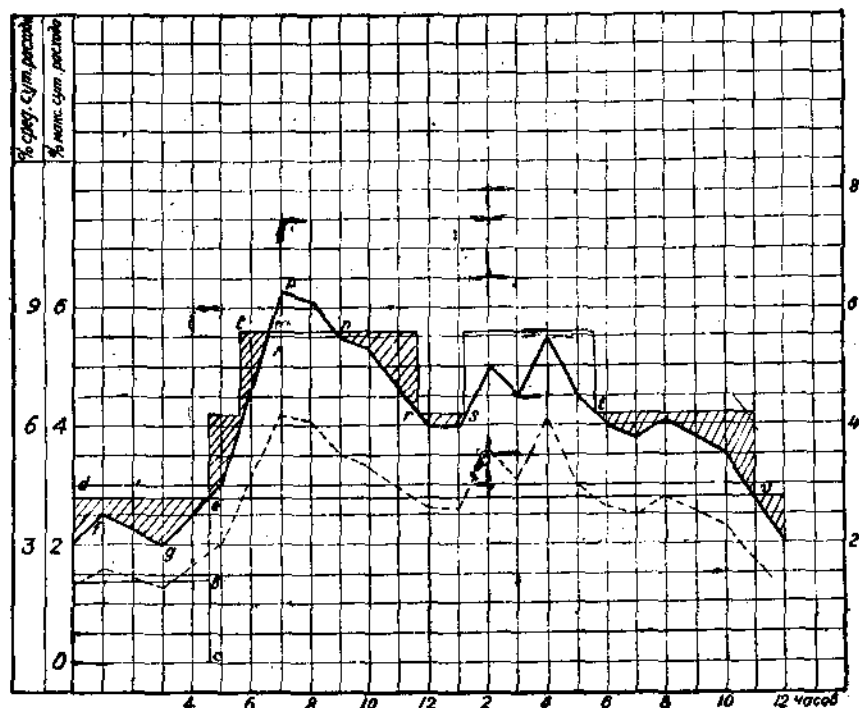
С полуночи до 4,6 часа утра работают два насоса; производительность каждого из них выражается прямоугольниками *Oabc* и *adbe*. Но в действительности они



Фиг. 104. Диаграмма колебания расходов г. Тамбова.

не подадут такого количества, так как сеть принять его не может. Расход в сети меньше; он выражается кривою $2fge$. Оба насоса поэтому принуждены будут подавать меньше, напор при этом повысится. Работа насосов будет меняться, приспособляясь к расходу в сети.

В 4,6 часа т. е. с точки e , вводится в действие третий насос; возможная его подача выражается ординатой ei ; но он подать столько не может, так как расход в сети в этот момент выражается ординатой se , и этот расход подается тремя насосами, следовательно, каждый из них подает только $\frac{1}{3} se$. Подача постепенно



Фиг. 105. Диаграмма расходов и работы насосов.

увеличивается, и к 5,6 часа все три насоса будут нагружены полностью. Общая подача их ci . В 5,6 часа, т. е. с точки k , вводится четвертый насос. Теперь каждый из четырех насосов будет подавать $\frac{1}{4} ci$; только в точке m все четыре насоса получают нормальную нагрузку.

В точке m надо было бы ввести пятый насос, но, как мы видели выше, и четыре насоса при небольшом понижении напора подадут максимальный расход pg ; при этом каждый насос будет подавать $pg : 4$. Работа четырех насосов продолжается до точки l . В точке z четвертый насос снова вводится в работу и выключается в точке u . В точке u , т. е. в 11 часов ночи, выключается третий насос и на ночь остаются в работе два насоса.

Отсюда видно, что при сети без напорного резервуара работа станции меняется не только по количеству действующих насосов, но и нагрузка каждого насоса непрерывно изменяется, а это связано с понижением к. п. д. насосов, так как наибольший к. п. д. насос дает при расчетной нагрузке; при понижении же нагрузки к. п. д. понижается. Для того чтобы насосы работали с наивыгоднейшим к. п. д., необходимо их нагрузку задерживать около расчетной. Эта задача и выполняется напорным резервуаром небольшого объема.

При наличии напорного резервуара второй насос от 12 до 4,6 часа утра будет подавать избыток над расходом, выраженный площадью $2 fged$ (заштрихованной косо), в напорный резервуар.

При включении третьего насоса он сразу начнет работать полной мощностью, и три насоса будут подавать не *ce*, как в случае без резервуара, а *ci*, избыток, выраженный площадью *cik*, поступит в резервуар. При работе четырех насосов избыток *klt* также поступит в резервуар. Избыточный расход *trp* покрывается из резервуара. Так как избыточный расход *trp* невелик, то после точки *n*, т. е. в 9 часов, в напорном резервуаре еще останется много воды, и работа четвертого насоса может быть прекращена ранее точки *r*, т. е. в 11,6 часа. Вторичный пуск насоса в точке *s* теперь уже не нужен, так как избыточный расход *sxt* покрывается из запаса в резервуаре. После точки *t* резервуар снова начнет пополняться, и это будет продолжаться до конца суток.

Наглаз видно, что избыток подачи на диаграмме (фиг. 105 — косая штриховка) значительно превосходит избыток расхода (горизонтальная штриховка). Чтобы вода бесполезно не выливалась из резервуара, надо, чтобы избыток подачи равнялся избытку расхода.

Достигнуть этого легко путем сокращения числа часов работы одного из насосов. Сигнализация должна показывать, когда резервуар полон, и тогда один из насосов выключается.

Из рассмотренной диаграммы видно, что объем резервуара может равняться сумме площадей *trp* и *sxt*, но он может быть и меньше (и больше). В таком случае пришлось бы чаще (или реже) включать насосы.

Отсюда видно, что объем напорного резервуара может выбираться в довольно широких пределах, примерно 3—6%. В напорном резервуаре, кроме того, следует иметь неприкосновенный пожарный запас часа на три, рассчитанный по числу принятых пожарных струй. При понижении уровня воды в резервуаре до неприкосновенного запаса по сигналу на станции должен включаться дополнительный насос.

Если бы работало только три насоса, объем напорного резервуара надо было бы увеличить еще на площадь *ktnr*, и работа третьего насоса удлилась бы до 24 часов.

Рассмотренная диаграмма относится к максимальным суткам, в средние же сутки расход будет в 1,5 раз меньше. Если вычертить параллельную диаграмму, уменьшив все ординаты в $1\frac{1}{2}$ раза (показано пунктиром), то увидим, что работа четвертого насоса не нужна. Большую часть года в работе будут только три насоса: четвертый насос будет работать несколько десятков дней в году и всего лишь по 2—3 часа в день, поэтому оборудование станции можно ограничить пятью насосами вместо шести.

Главная выгода от устройства напорного резервуара малого объема выражается в том, что насосы работают с лучшим к. п. д. Кроме того, возможно уменьшение мощности станций.

Если работают полной нагрузкой три насоса и включается четвертый, то нагрузка каждого насоса уменьшается на 25%. Если же работают девять насосов и включается десятый, то нагрузка каждого уменьшается только на 10% ниже расчетной, а при таком небольшом уменьшении нагрузки к. п. д. почти не меняется; поэтому выгода напорного резервуара становится ничтожной при большом числе работающих насосов, что бывает при питании города из многих станций.

Но напорные резервуары обладают еще другим преимуществом: если они расположены в центре питания или в противоположном от станции конце города, они поддерживают напор в этой отдаленной от насосной станции части и играют роль выравнителей напора.

Однако работа станции при этом остается неравномерной в течение суток; поэтому источники водоснабжения или очистные сооружения будут нагружаться неравномерно и должны быть рассчитаны на большую подачу. Равномерности работы источников, фильтров и т. д. и уменьшения их производительности можно достигнуть устройством запасного резервуара чистой воды у станции. Если объем башни и резервуара вместе составляют около 20% среднего суточного расхода, тогда источники и фильтры должны рассчитываться только на максимальный суточный расход, часовые же колебания выравниваются резервуаром и башней.

Если напорный резервуар по топографии города можно поставить на возвышенности, тогда объем его делается обычно более 20%, учитывая еще и пожарный запас и возможные остановки станции. Если же напорный резервуар приходится устраивать в виде башни, тогда по соображениям экономии объем его сводят к минимуму.

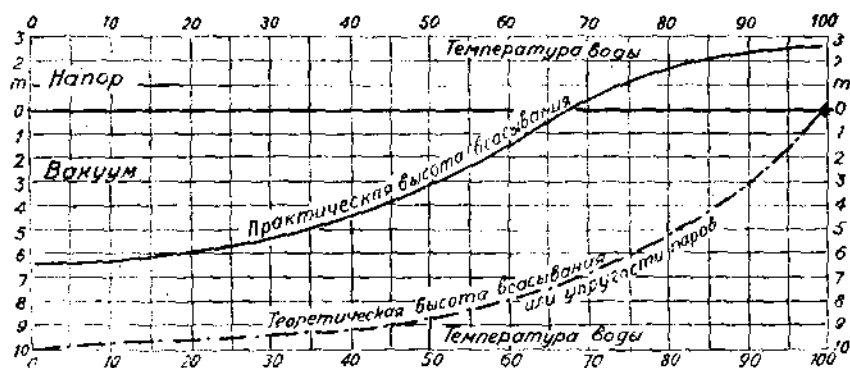
Крупные водопроводы обходятся без башен (Ленинград, Одесса). Крупные американские города не имеют башен. Причиной этому служат громадные размеры башен, необходимые для таких городов. Так, при расходе в 200 000 м³ в сутки объем бака на 5% будет уже иметь 10 000 м³. Между тем башня на 1000 м³ считается у нас уже большою.

В последнее время в США появляются крупные напорные башни; самая крупная из построенных доходит до 7500 м³.

7. Высота всасывания и расположения насоса

Высота всасывания центробежного насоса принимается в 6—6,5 м; ось насоса не может быть расположена выше уровня поднимаемой воды более чем на 6 м.

Этим определяется область применения горизонтальных центробежных насосов при скважинах. Их можно применять там, где рабочий горизонт воды не опускается ниже 6 м от оси насоса.



Фиг. 106. Диаграмма высоты всасывания.

Исправный насос с непроницаемой для воздуха трубой может поднимать воду с глубины 8 м и даже более, но при этом работа его становится невыгодной; поэтому предельной высотой всасывания практически считается 6—6,5 м, включая и потери на трение в трубе. Возможные неплотности трубопровода требуют также понижения всасывания. Зависимость высоты всасывания от температуры воды показана на фиг. 106.

Под рабочим горизонтом надо понимать тот горизонт, до которого опускается уровень воды в колодцах простых и буровых при подаче насосом расчетного количества воды. Если насос поднимает воду из реки, то уровень воды в реке не падает, так как, во-первых, подача насоса обыкновенно очень мала сравнительно с расходом реки, а во-вторых, подход воды к насосу требует небольшого уклона, ибо доступ воды ко всасывающей трубе свободен.

Иначе дело обстоит в буровом или простом колодце, погруженном в песчаную или твердую трещиноватую породу. Тут подход воды к скважине или колодцу совершается через мелкие поры, с трудом пропускающие воду. Для преодоления сопротивления от трения струй воды о породу необходим значительный напор. Поэтому при откачивании из колодца уровень воды в нем должен значительно понижаться. В артезианских колодцах уровень воды при откачке понижается

пропорционально количеству откачиваемой воды, т. е. чем больше подача воды насосом, тем ниже опускается уровень воды в колодце.

Из изложенного видно, что горизонтальные центробежные насосы могут применяться только там, где уровень грунтовых или артезианских вод стоит недалеко от поверхности земли и при подаче требуемого количества воды не падает очень глубоко. Насос может быть установлен не только на поверхности земли, но и ниже поверхности — в подземной камере, однако практически допустимое углубление камеры 5—7 м. При большей глубине камера обыкновенно попадает уже в грунтовые воды и устройство ее становится дорогим.

При расположении насоса на 6 м ниже поверхности земли и при глубине всасывания также 6 м наибольшее возможное понижение рабочего уровня в скважине будет 12 м ниже уровня земли. Встречаются иногда камеры, опущенные на большую глубину: так в Харькове насосная камера на подмеловой скважине № 17 опущена на глубину 12 м. Но такое заглубление камеры оказалось очень дорогим и дальнейшего распространения не получило. — опыт ограничился одной скважиной.

У Эйгенброта, *Bau und Betrieb von Wasserwerken*, приведен чертеж колодца в Лодзи глубиной 100 м и диаметром 5 м с двумя насосами на дне, всасывающими из буровой скважины. Статический уровень — у дна колодца.

В последнее время в Харькове появилась мысль об устройстве шахты со штольнями для достижения наибольшего понижения уровня в скважине, и, следовательно, наибольшей подачи отдельной скважины. На фиг. 107 изображена схема разрабатываемого проекта. Шахта погружается на глубину 120—130 м; на этой глубине находится в некоторых районах Харькова плотный и маловодный мел. В мелу прокладываются штольни в разные стороны и в конце штолен устраивается скважина в подмеловые пески на глубину 650 м от поверхности земли. Бурение скважины производится с поверхности; в штольне скважина соединяется горизонтальным трубопроводом с насосами, расположенными в особой насосной камере.

Сооружение такого типа существует в румынском городе Плоешты, только глубина шахты там не 120, а 40 м (Эйгенброт, там же).¹

Центробежные горизонтальные насосы, расположенные в камере на глубине свыше 100 м ниже статического уровня воды в подмеловых скважинах, могут понизить уровень воды в скважинах на 100 м. Если при понижении на 20 м харьковские подмеловые скважины дают 15—35 л/сек., то при понижении на 100 м расход их должен упятериться.

Проектируемое устройство слишком дорого и громоздко. В настоящее время техника располагает более дешевыми средствами глубоководной откачки. Вертикальными центробежными насосами, погруженными насосами Арутюнова или даже штанговыми эта задача может быть разрешена гораздо дешевле в постройке и не дороже в эксплуатации.

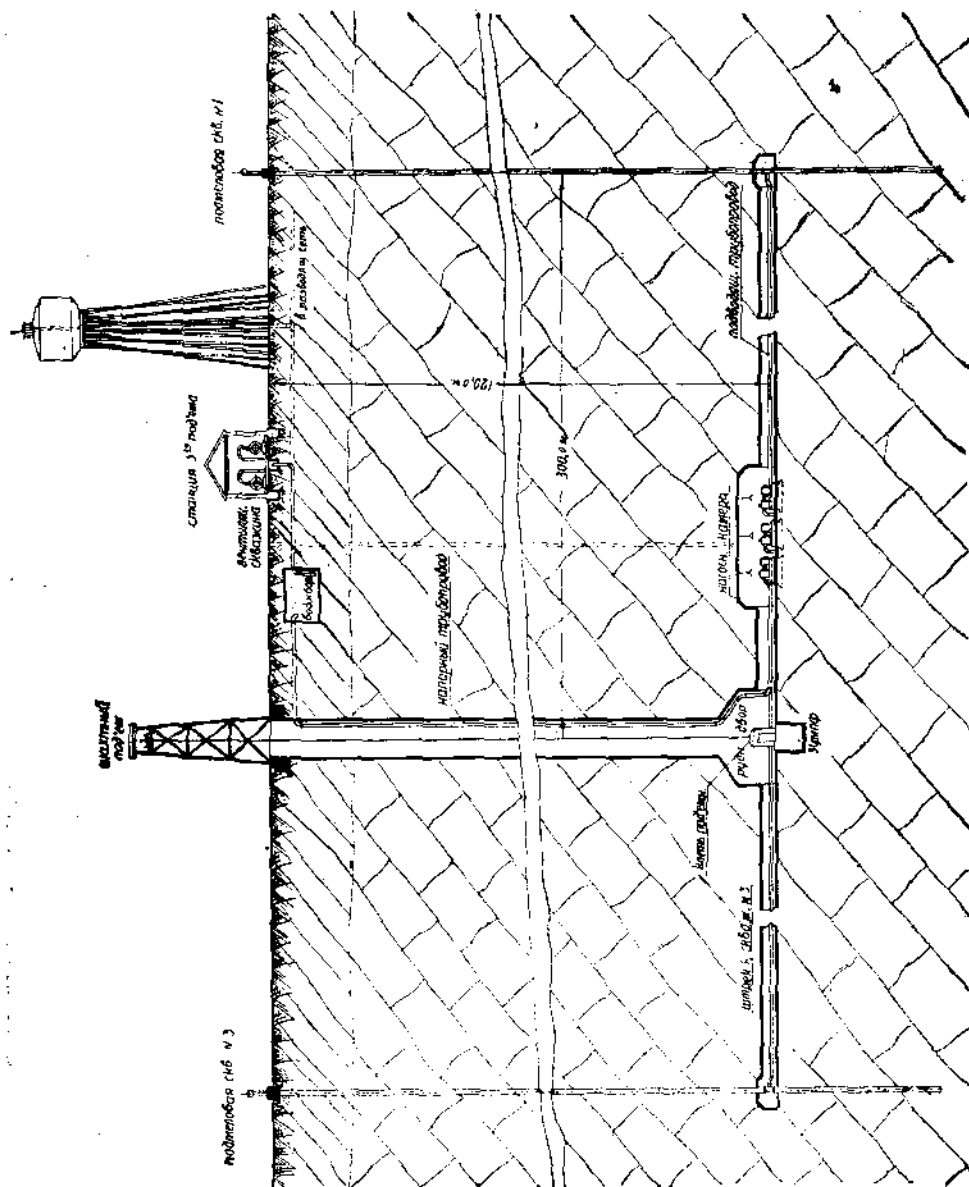
При артезианских и грунтовых скважинах надо считаться не только с теперешним уровнем воды, но необходимо также предусматривать возможность понижения статического уровня в будущем. При особенно усиленной эксплуатации буровых скважин статический уровень воды обыкновенно начинает понижаться. В Харькове, например, уровень воды в подмеловых и меловых скважинах за 40 лет эксплуатации понизился на 20 м. Такое же явление наблюдается в Киеве и всюду вообще, где добыча воды из скважин приобретает значительные размеры. И в Харькове и в Киеве пришлось переделывать прежние насосные установки, рассчитанные на более высокий уровень воды.

Харьковские скважины, когда уровень воды в подмеловых скважинах был выше поверхности земли (в 1889 году почти на 10 м), а в меловых — почти на поверхности земли, оборудовались горизонтальными насосами, устанавливавшимися обыкновенно в подземных камерах. При таком расположении насосов они всегда были залиты водой не только во время работы, но и во время остановки.

¹ См. ниже описание английской станции в г. Shipton Moyne.

так как статический уровень воды стоял выше насоса. Такое расположение очень благоприятно для пуска насоса.

Центробежный насос нельзя пустить в ход, не заполнив его водой. Это с первого взгляда может показаться непонятным, ведь центробежные компрессоры всасывают и нагнетают воздух под большим давлением, а центробежный компрессор по существу тот же центробежный насос. Но разница между ними та, что центробежные компрессоры требуют гораздо большей скорости вращения, чем насосы, поэтому насос, не достигавший скорости компрессора, и не может всасывать, не будучи заполнен водой.



Фиг. 107. Проект подземного оборудования, скажин.

Расположение насосов в плане. При расстановке насосов и устройстве соединительных труб, нужно руководствоваться следующими соображениями.

1. Расстояние между насосами должно быть такое, чтобы обслуживание их не было затруднено. Для этой цели насосы располагают на взаимном расстоянии 1—3 м, в зависимости от величины агрегата. Расстояние от стен здания также

должно обеспечить и свободный доступ к насосу и по возможности свободный проход мимо насоса.

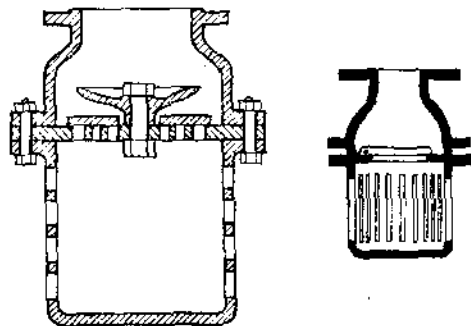
При подземном расположении станций в штольнях при шахтном водоотливе и пр. Недостаток места заставляет устанавливать насосы и моторы почти вплотную к стене. В этом случае между стеною и агрегатом оставляется только такой промежуток, чтобы возможна была сборка и разборка машин. Мелкие насосы можно без вреда для ухода за ними устанавливать почти вплотную к стене, так как они легко доступны с одной стороны.

2. Вопрос о сборке и разборке машин необходимо вообще продумать при расстановке как самих машин, так и их оборудования трубами и пр. Обычный у нас тип насоса допускает выемку вала с рабочим колесом только в горизонтальном направлении вдоль оси насоса, поэтому каждому насосу должно быть обеспечено свободное пространство для выемки вала, иначе при разборке весь насос пришлось бы снимать и переносить на другое место.

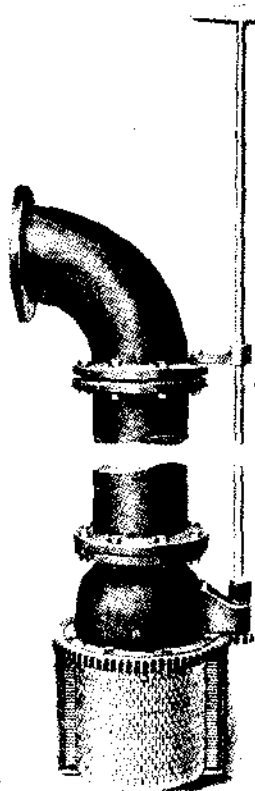
За границей входят во все большее употребление насосы с разъемным по горизонтальной плоскости корпусом (фиг. 68), в этом случае выемка вала производится вверх.

8. Всасывающий клапан

Для возможности заполнения водою насоса, расположенного обычно выше статического уровня воды в колодце, приходится применять обратный всасывающий клапан. Этот клапан помещается на конце всасывающей трубы и открывается только



Фиг. 108. Всасывающие клапаны.



Фиг. 109. Приспособление для очистки клапанной решетки сверху.

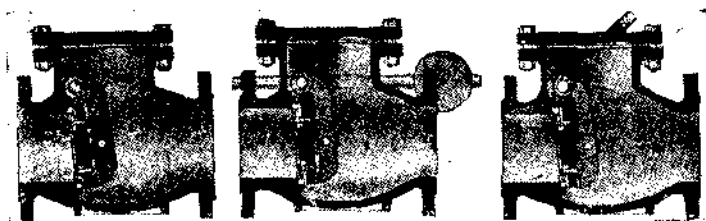
вовнутрь, т. е. когда давление в насосе меньше, чем давление воды снаружи, — а это имеет место во время работы насоса. На фиг. 108 показано два обратных клапана — один с клапаном из резины, а другой — с шарнирным клапаном, снабженным резиновой или кожаной прокладкой. Давлением изнутри, создаваемым столбом воды во всасывающей трубе, клапан закрывается, поэтому бездействующий насос можно наполнить водой, и она будет удерживаться в насосе благодаря закрытому обратному клапану. К обратному клапану обыкновенно прикрепляется дырчатая коробка; ее назначение — задерживать крупные взвешенные вещества. На фиг. 109 показано приспособление для очистки клапанной решетки сверху от приставших к ней загрязнений. Клапан приходится время от времени вынимать для смены кожи или резины.

Обратный клапан со временем срабатывается и понемногу начинает пропускать воду, поэтому после долгой остановки в насосе обыкновенно накапливается воздух

вместо воды, а часть воды уходит. В таком состоянии насос нельзя пустить в ход, — необходимо сначала его заполнить водою и выпустить из него воздух. Для впуска воды и выпуска воздуха на верхней части корпуса насоса имеются особые краны. Заполнять же насос можно через другой кран, расположенный рядом и иногда снабженный лейкой. Заполнение насоса через кран необходимо при первом пуске насоса; впоследствии же наполнение производится обыкновенно из напорного трубопровода или через открытие задвижки, или подводом воды особой трубкой. Одновременно необходимо открыть кран для выпуска воздуха.

9. Обратный клапан; предохранительный клапан

На напорном трубопроводе насоса необходима задвижка не только для выделения насоса от напорной сети на случай ремонта, но и для пуска в ход. Центробежные насосы пускаются с закрытой задвижкой. Для поршневого насоса это невозможно, но центробежный насос может вращаться и при закрытой задвижке; при этом он потребляет в два-три раза меньше энергии, чем при нормальной работе. Если насос пустить при открытой задвижке, он поглотит очень много энергии.



Фиг. 110. Обратный клапан.

Индукционный мотор нормального типа при такой нагрузке во время пуска может перегореть. Для пуска насоса при открытой задвижке нужны моторы с особой обмоткой. Винтовые насосы пускаются с открытой задвижкой.

Перед задвижкой или непосредственно за нею ставится на напорном водоводе второй обратный клапан (фиг. 110)¹; задача его — защищать насос от обратного тока воды и водяного удара. Если вследствие перерыва тока мотор внезапно остановится, то обратная волна массы воды, находящейся в напорном водоводе, двинется через насос, но обратный клапан ее останавливает и не допускает обратного вращения насоса и мотора.

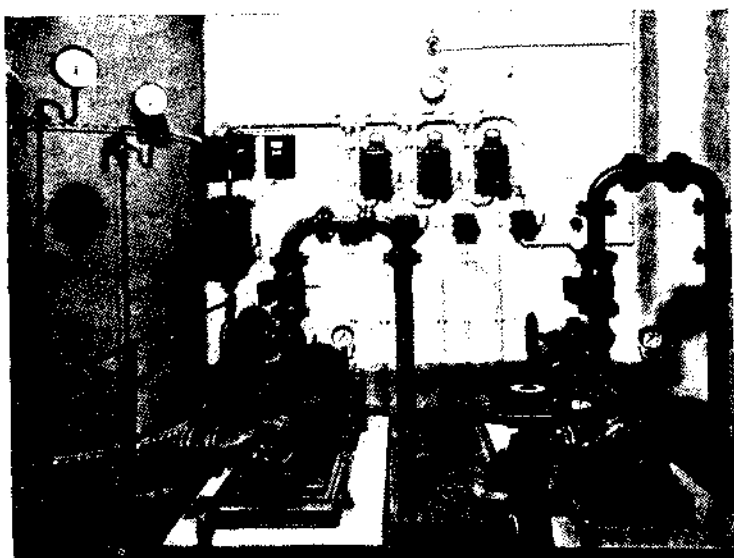
Для возможности заливки насоса через задвижку обратный клапан, стоящий рядом с задвижкой, также должен пропускать напорную воду в закрытом состоянии. Достигается это постановкой маленькой обводной трубы с запорным краном на обратном клапане.

Обратные клапаны ставятся обычно за задвижкой, но бывают они также и перед ней. На фиг. 111, изображающей оборудование автоматической станции второй зоны водоснабжения г. Фейербаха в Германии, задвижки поставлены у насоса, а за задвижкой — обратный клапан. На фиг. 112 изображена автоматическая насосная станция той же фирмы «Вейзе сыновья» для города в 50 000 чел. Здесь расположение обратное предыдущему: сначала помещен обратный клапан, а за ним — задвижка. При первом расположении обратный клапан защищает от удара и задвижку².

Обратный клапан для больших труб делается из нескольких клапанов для уменьшения массы (фиг. 113), тут же видна и обводная трубка.

¹ Тарелка клапана подвешена к рычагу в центре, благодаря чему клапан хорошо садится на седло.

² В защиту второго расположения выставляют то, что для ремонта и осмотра клапана не надо опорожнять напорную трубу, а достаточно закрыть задвижку.

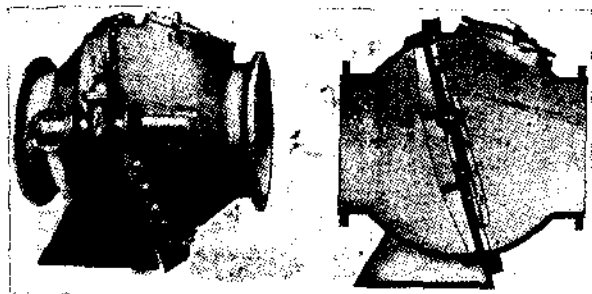


Фиг. 111. Автоматическая станция г. Фейербаха.

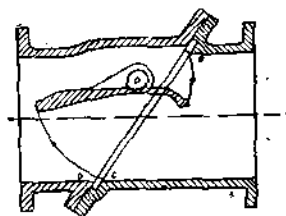


Фиг. 112. Автоматическая станция для города в 50 000 чел.

Новейшая американская конструкция обратного клапана. Из фиг. 113а видно, что клапан вращается на оси, расположенной в верхней половине трубы. Нижняя часть клапана, большая по размерам и более тяжелая, заставляет его закрываться. Движением воды справа налево клапан открывается и удерживается в горизон-



Фиг. 113. Обратный клапан для больших труб.



Фиг. 113а. Новейший обратный клапан.

тальном положении, представляя значительно меньшее сопротивление для прохода воды, чем обычный клапан. При водяном ударе слева направо загнутая вниз верхняя часть клапана облегчает его закрытие. При закрытии ударная волна прижимает к седлу нижнюю большую поверхность клапана, в то же время отжимает верхнюю, чем и смягчает удар при закрытии (The Chapman valve manufacturing Co, Indian Orchard, Mass). Клапан умещается в почти нерасширенной трубе; нет места для отложения осадков.

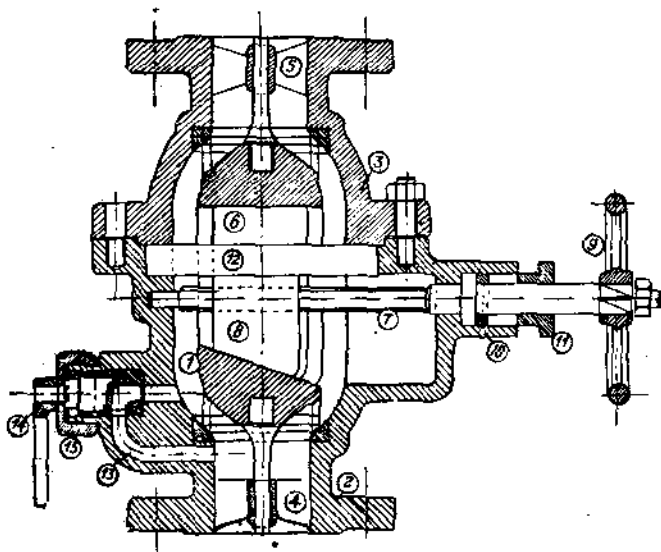
В последнее время появились конструкции, совмещающие задвижку и обратный клапан и основанные на идее задвижки Джонсона. На фиг. 114 изображен обратнo-запорный клапан Корниенко. Приводим описание его из каталога-справочника «Укрмашстрой треста» (Харьков, ул. Артема, 2).

Клапан служит для запираания трубопроводов и одновременно может работать как обратный, автоматический (например, на напорной магистрали центробежного насоса).

Клапан 1 заключен в кожухе, состоящем из нижней части 2 и верхней 3. Движение клапана по оси тока жидкости направляется нижним 4 и верхним 5 направлениями, составляющими одно целое с соответствующими частями корпуса. Для удобства и точности обработки концы клапана, скользящие в направлениях 4 и 5, сделаны отъемными.

Клапан имеет посредине прорез 6, сквозь который проходит винт 7 с клином 8. Винт приводится в движение маховичком 9 от руки. Для уплотнения стержня винта имеется грунд-букса 10 и сальник 11.

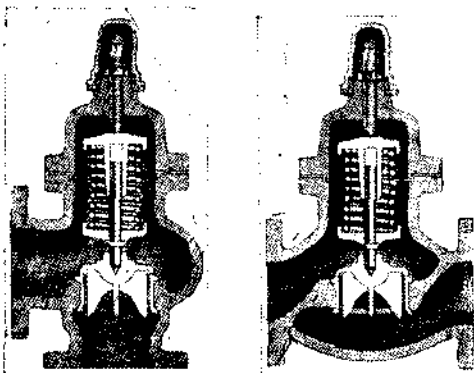
Ход клина направляется, помимо винта, еще направлением 12, укрепленным в нижней части корпуса.



Фиг. 114. Обратнo-запорный клапан Корниенко.

Для спуска воды из напорной коммуникации в пространство до клапана служит перепускной кран 13 с ручкой 14. Этот кран уплотнен сальником 15.

При начале прохождения жидкости через прибор клапан силой струи прижимается к седлу на верхней части корпуса 3 и совершенно закрывает проход жидкости.



Фиг. 115. Предохранительный клапан.

Для пропуска жидкости через прибор вращают маховичок 9 с винтом 7. Клиновидный клин 8 нажимает на клапан 7, отодвигает его от верхней части прибора 3 и тем освобождает проход жидкости.

При внезапном прекращении подачи жидкости через прибор клапан весом столба жидкости, находящейся над ним, прижимается плотно к нижней части клапана 2 и совершенно исключает возможность обратного хода жидкости.

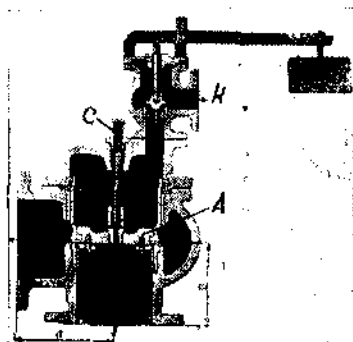
Для выпуска жидкости из верхней части коммуникации служит кран 13.

Запирается клапан при помощи клина и винта, причем закрытие клапана происходит силой проходящей струи жидкости, а открытие — от руки вышеуказанным устройством. Клапан изготовляется Сумским машиностроительным заводом.

Чтобы предохранить не только насос, но и трубопровод от водяного удара, ставят предохранительные клапаны (фиг. 115). При повышении давления в трубопроводе пружина сжимается, клапан открывается и выпускает небольшое количество воды в колодец, в котором он устанавливается вне насосной станции. Кроме обратных клапанов, при каждом насосе ставится общий обратный клапан на напорной трубе вне станции в особом колодце. Он имеет целью защитить станцию от заливания ее водою в случае разрыва водопроводов внутри станции. Этот клапан особенно необходим, если станция углублена ниже поверхности земли.

На случай заливания станции водою желательно иметь спуск в канализацию или ближайший овраг, если заглубление станции это позволяет. При расположении станции выше поверхности земли надобность в этом отпадает. Если нельзя устроить сток воды со станции или ее подвала, тогда необходим насос для откачки воды из особого приемка в полу.

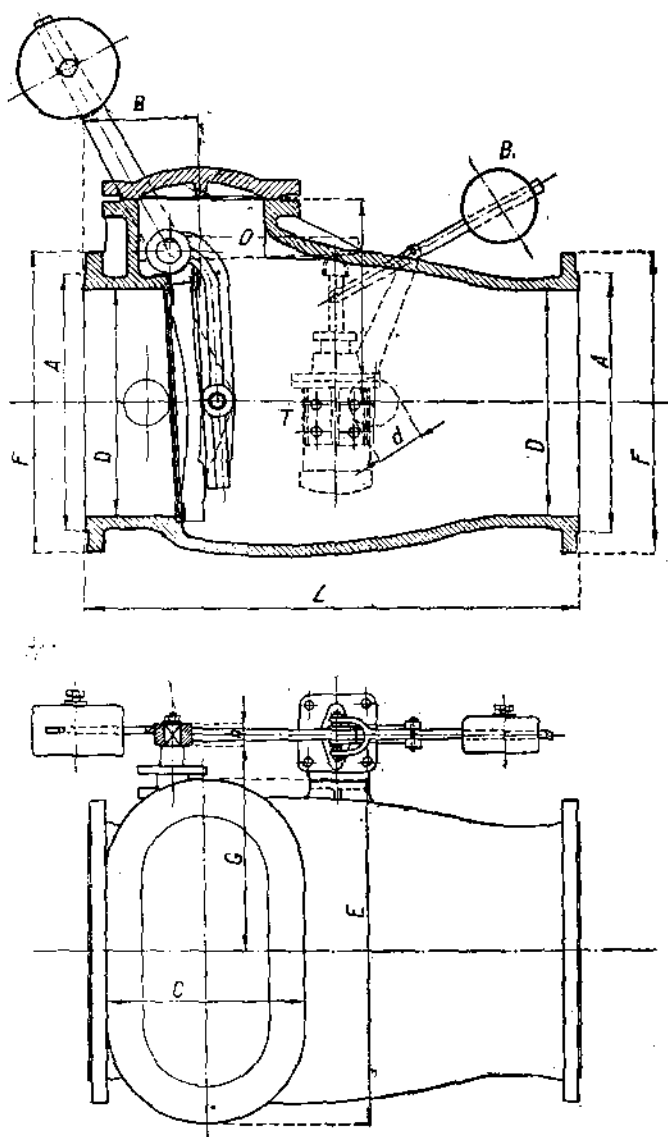
Предохранительный клапан ставится рядом с обратным вслед за ним по нормальному течению нагнетаемой воды. Для больших водоводов конструкция предохранительного клапана показана на фиг. 116. Она обеспечивает широкое отверстие для быстрого удаления воды во время ударной волны. Во время удара поршень А поднимается, вытесняя воду сверху через малый предохранительный клапан с грузом К. После прекращения удара через клапан в поршне С вода подступает в верхнюю камеру и, благодаря тому что поршень сверху имеет большую площадь, чем снизу, давлением воды он закрывается. Клапан С регулируется сверху на большее или меньшее время закрытия. Если обратный клапан при насосе не закроется достаточно быстро, удар, если и не полностью, то все же может распространиться и на насос;¹ чтобы вполне гарантировать насос от всякой опасности, англичане ставят на всасывающей трубе особую трубку *ab* (фиг. 61), ко-



Фиг. 116. Предохранительный клапан для больших труб.

¹ В Донбассе было много случаев распространения водяного удара на всасывающую трубу и отрыва всасывающего клапана, несмотря на наличие обратного клапана.

торая служит для разгрузки удара. В прежнее время, а в Америке иногда и теперь, для ликвидации удара при насосной станции устраивали водонапорные колонны (Одесса). В настоящее время, кроме предохранительных клапанов, применяют и воздушные котлы на напорных водоводах. См. ниже: Водяные удары и борьба с ними.

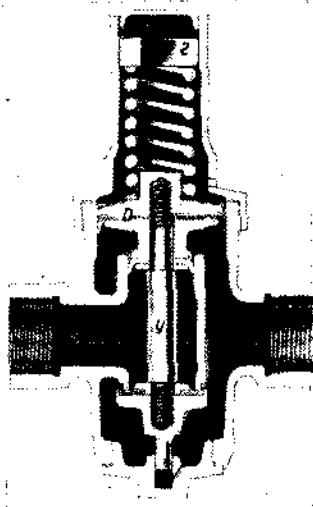


Фиг. 117. Обратный клапан с тормозом и противонесом.

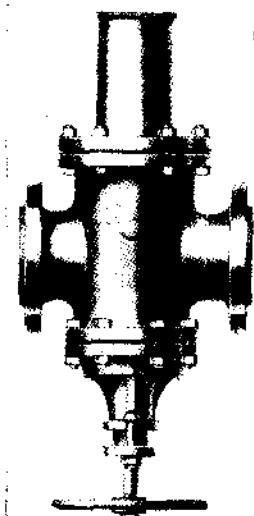
На фиг. 117 изображена конструкция клапана, снабженного особым, масляно-диафрагмовым тормозом T для предупреждения сильного удара клапана о седло; благодаря тормозу, в который упирается отросток O , клапан садится на седло плавно. Один груз B имеет целью уменьшить потерю напора на поддержание клапана в открытом состоянии путем частичного уравнивания его, а другой B_1 приводит тормоз после открытия клапана в рабочее положение, т. е. приподнимает стержень поршня тормоза.

Редукционный клапан. На фиг. 117а изображен клапан фирмы Бопп и Рейтер для понижения давления. Устройство его понятно из чертежа, действует же

он так: предположим, что с правой стороны атмосферное давление, а с левой 12 атм., которые нужно понизить до 5. Уравновешенный клапан У, благодаря оди-



Фиг. 117а. Редукционный клапан (разрез).



Фиг. 117б. Внешний вид.

наковым площадям верхнего поршенька и нижнего клапана, сам собою не может открыться. Открывается он нажатием верхней пружины и остается открытым до тех пор, пока давление воды на диск Д не превзойдет силу пружины и не закроет клапан. Пружина может быть установлена на разное давление гайкой 2. Когда давление справа упадет, пружина снова откроет клапан и т. д.

Уплотняющая кожа клапана и диска со временем изнашивается и пропускает воду; чтобы и при этом условии давление справа не поднялось выше назначенного, следует на сети низкого давления поставить еще предохранительный клапан, тогда давление никогда не поднимется выше проектируемого.

До 40 мм клапаны делаются с нарезкой, а от 50 до 400 мм — с фланцами.

10. Клиновые задвижки

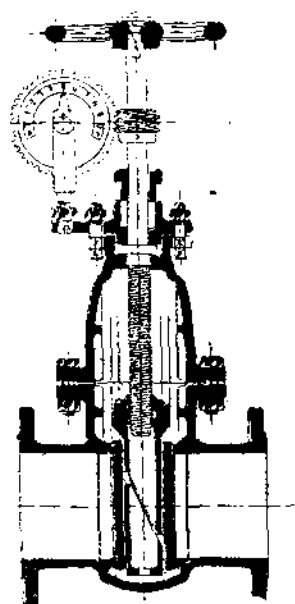
Необходимой принадлежностью всех водоводов являются задвижки. На фиг 118 показана конструкция задвижки немецкой фирмы «Братья Рейлинг» («Gebrüder Reuling»). Запорным приспособлением служит сплошной клин 3, плотно пригнанный своими бронзовыми кольцами 9 к бронзовым же кольцам седел 8. Подъем и опускание клина 3 производится шпинделем 6, круглым стрижнем с нарезкой. При поворачивании шпиндель ввинчивается в гайку 7 и поднимает или опускает клин 3.

Фиг. 118. Клиновая задвижка.

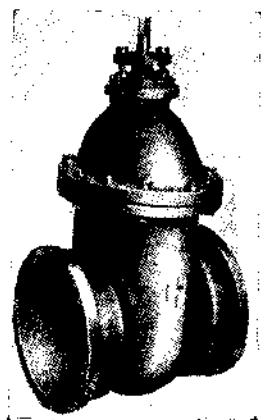
1—корпус; 2—крышка; 3—клин; 4—сальник; 5—штуца сальника; 6—винт; шпindel; 7—гайка; кольцо 8—седло; 9—уплотняющее кольцо клина; 10—штулочка; 11—болт; 12—болт; 13—прокладка; 14—прокладка; 15—набивка.

Шпиндель удерживается в своем положении заплечиками. 15 — сальниковое гнездо, заполняемое льняной или хлопчатой набивкой; 5 — сальниковая втулка, нажимающая при помощи болтов на сальниковую набивку.

На фиг. 119 показана задвижка с раздвижными дисками; между двумя запорными дисками помещаются два клина; в верхний клин ввинчивается стержень и поднимает или опускает клин. При опускании происходит расклинивание задвижки. При поднимании верхний клин заплечиками диска, а диски своими заплечиками захватывают нижний клин. В других конструкциях применяется один клин для



Фиг. 119. Задвижка с раздвижным клином.



Фиг. 120. Раструбная задвижка.

расклинивания дисков. Клиновые задвижки при долгом пребывании в закрытом состоянии очень часто при открывании заедают, требуют больших усилий и портятся. Это является крупным недостатком клиновых задвижек. Чтобы предупредить заедание, необходимо несколько раз в год пробовать открывать и закрывать задвижку.

В США оба типа задвижек имеют одинаковое распространение. У нас распространены раздвижные диски, а в Германии повидимому цельные клинья (фиг. 118).

У нас применяются исключительно задвижки с фланцем; за границей, в особенности в Америке, применяются и раструбные задвижки (фиг. 120). Их труднее вынимать из линии; но так как делать это приходится очень редко, то данное обстоятельство не должно служить причиной для отказа от их употребления. Фланцевые задвижки требуют двух патрубков для присоединений к водопроводу. Клиновые задвижки строятся диаметром до 3000 мм.

Задвижки изготовляются легкого типа — на давление до 2 атм. при пробном испытании — до 5 атм. и тяжелого — на давление до 10 атм. при пробном давлении — до 20 атм. При еще большем давлении нужен особо тяжелый тип чугунных задвижек или же применяются стальные задвижки.

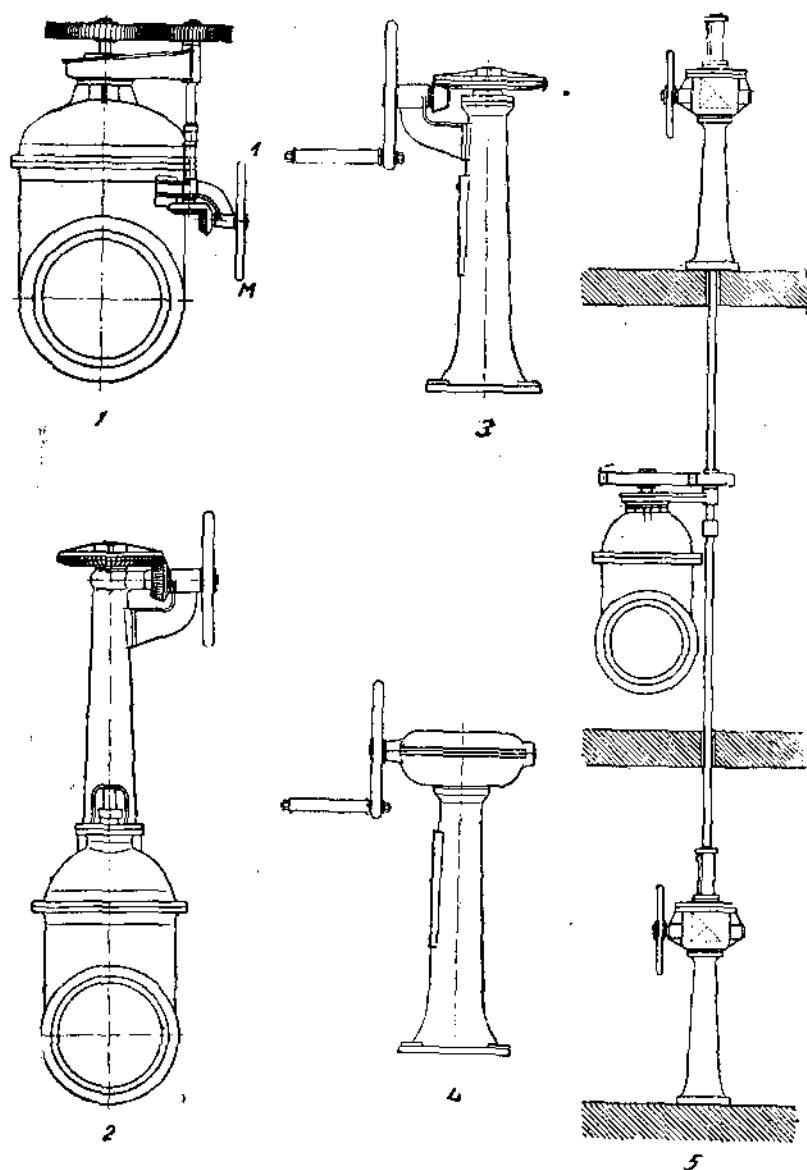
Легкий тип сжат и имеет малую строительную длину, длина же тяжелого типа, например, для трубы 400 мм, вдвое больше: 600 мм вместо 300 мм для легкого типа. Большая строительная длина задвижек часто очень неудобна, ибо требует много места; поэтому необходимо изготовление коротких стальных задвижек на давления до 10 атм. и выше.

Для поворачивания шпинделя на его квадратную головку надевается маховичок. Управление большими задвижками требует много усилий, поэтому часто применяются зубчатые и конические передачи.

На фиг. 121 показаны разные способы управления задвижками. Рис. 1 показывает пониженное положение маховичка мм при очень больших задвижках.

На рис. 2 маховичок, наоборот, поднят вверх для управления с площадки. Рис. 3 — колонка с конической передачей, поставленная на перекрытии, под которым находится задвижка. Рис. 4 — то же, но с закрытой передачей. На рис. 5 изображено управление задвижкой с нижнего и верхнего этажей.

На фиг. 122 горизонтально и высоко расположенная задвижка приводится в движение целью.

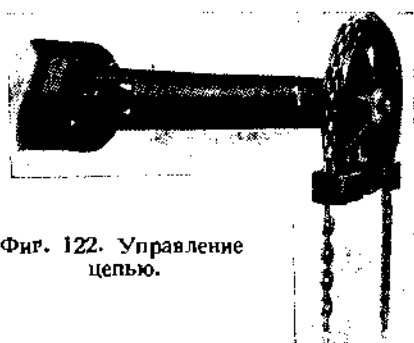


Фиг. 121. Управление задвижками.

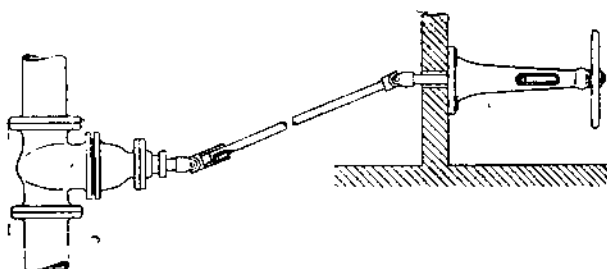
На фиг. 123 изображено управление задвижкой косым стержнем.

Для облегчения открытия на больших задвижках устраиваются обводные трубки с малыми задвижками или кранами для перепуска воды с одной стороны на другую с целью выравнивания давления с двух сторон.

Описанные до сих пор наиболее употребительные задвижки имеют неподнимающийся стержень; на фиг. 124 показана задвижка с поднимающимся стержнем; нарезка при поднимании клина выходит наружу. По подъему стержня легко су-



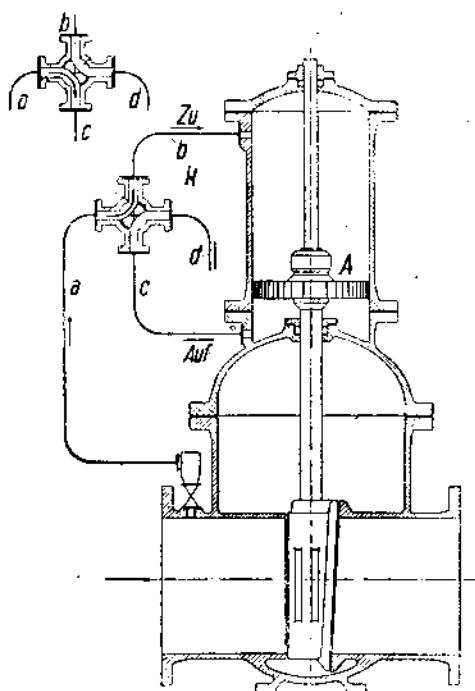
Фиг. 122. Управление цепью.



Фиг. 123. Управление косым стержнем.



Фиг. 124. Задвижка с поднимающимся стержнем.

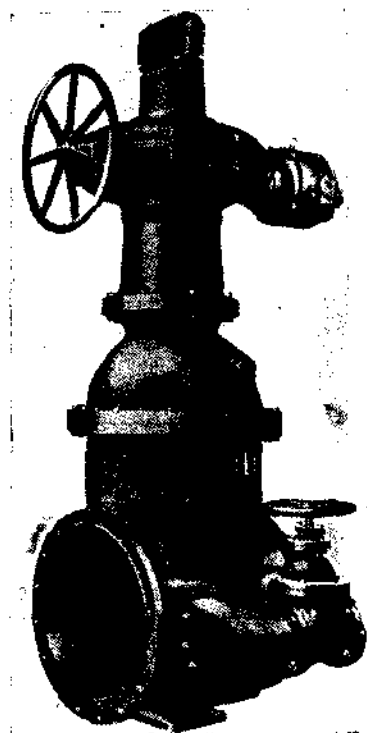


Фиг. 125. Схема гидравлического управления задвижкой.

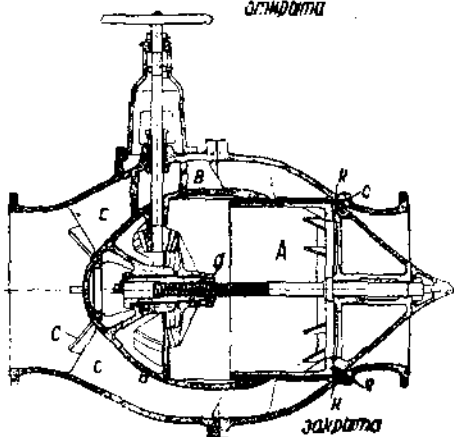
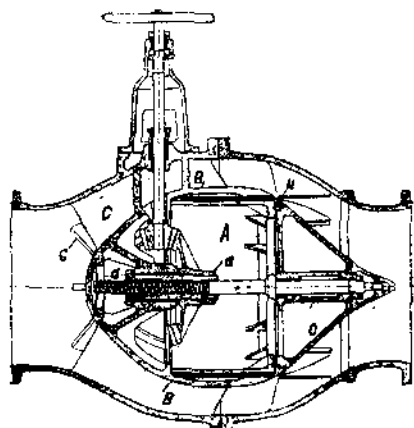
дять о степени открытия задвижки. Для задвижек с неподнимающимся стержнем необходимо особое приспособление для показания степени открытия.

Механизация управления задвижкой делается гидравлическим и электрическим способом. На фиг. 125 показан гидравлический способ управления.

Клин поднимается и опускается поршнем водяного цилиндра А. Поворотом крана *к* напорная вода *а* впускается по одну сторону поршня *б*; в это время вода с другой стороны поршня по *с* и *д* уходит в канализацию. На фиг. 126 изображен конструктивный чертеж гидравлической задвижки. Гидравлическое управление задвижкой очень надежно. До войны оно производилось у нас по особому заказу.



Фиг. 127. Электрическое управление задвижкой.



Фиг. 128. Кольцевая задвижка.

На фиг. 127 изображено электрическое управление задвижкой. С одной стороны находится электромотор, а с другой — маховичок для ручного управления.

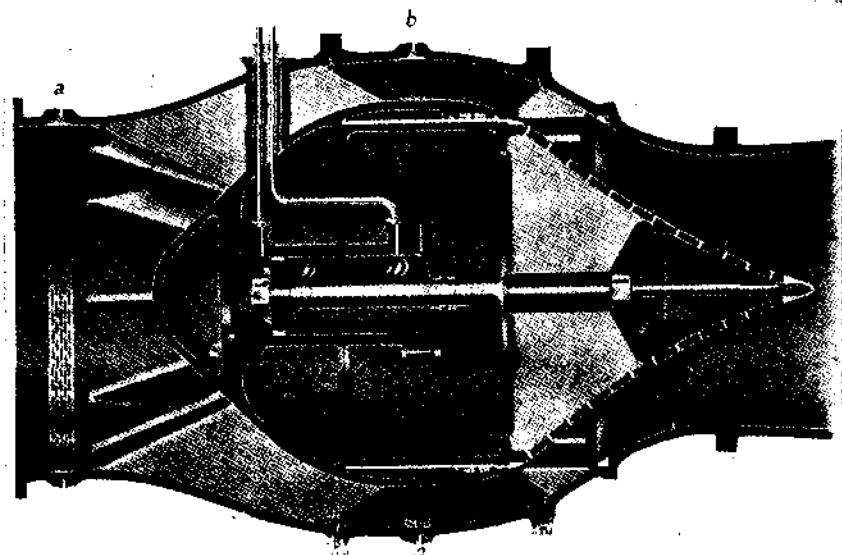
И гидравлические и электрические задвижки могут быть легко приспособлены для управления издалека.

11. Кольцевые задвижки

Примененные впервые для очень больших водоводов гидравлических установок кольцевые задвижки Джонсона начали применяться и на водопроводах. На фиг. 128 изображена кольцевая задвижка вверху в открытом положении, внизу — в закрытом. Цилиндрическая запорная часть А вдвигается и выдвигается из неподвижной внутренней части ВВ, прикрепленной ребрами с к наружной трубе. Запорное бронзовое кольцо *кк* упирается в коническое кольцевое седло *е* и плотно к нему пригнано.

Передвижение задвижки производится посредством конической зубчатой передачи. Нарезная втулка *dd* навинчивается на винт запорной части. Дырочки *oo* служат для впуска и выпуска воды при передвижении задвижки.

На фиг. 129 изображено гидравлическое управление кольцевой задвижкой. Путем перемещения поршня в водяном цилиндре *DD* задвижка открывается и закрывается. Эта же задвижка служит и для измерения расхода. Кольцевое сужение *bb* играет роль сужения в трубе Вентури. Две трубки от *a* и от *b* подводятся к измерительному прибору, как и в водомере Вентури.



Фиг. 129 и 130. Гидравлическое управление кольцевой задвижкой, служащей в то же время и водомером.

Кольцевые задвижки гораздо легче в управлении клиновых задвижек, так как трение уплотняющих поверхностей отсутствует, благодаря чему и уплотняющие кольцевые поверхности мало изнашиваются. Вследствие плавности движения струй воды в кольцевых задвижках и при частичном открытии не образуется вихрей и связанных с этим сотрясений.

Кольцевая задвижка конструируется и таким образом, что служит одновременно и обратным клапаном.

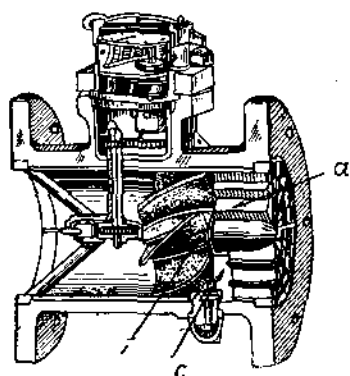
12. Водомеры

Учет поднимаемой воды должен вестись обязательно; это необходимо как для технического, так и для хозяйственного контроля; поэтому на нагнетательных водоводах всегда должны ставиться водомеры, а на более крупных установках — и самопишущие приборы вместе с водомерами. На станциях обыкновенно применяются водомеры Вольтмана и Вентури.

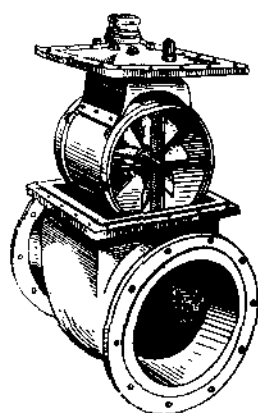
Водомер Вольтмана показан на фиг. 131 и 132. Главная его часть состоит из вертушки с винтовыми лопастями. Для температур, не превосходящих 30°C , вертушка делается из целлулоида, а вал — из стальной трубки. Удельный вес колеса с валом очень близок к удельному весу воды; благодаря этому давление вала на подшипники ничтожно и потеря на трение очень мала. Вращение вертушки пропорционально скорости движения воды и обратно пропорционально шагу винтовых лопастей.

От вала червячной передачей вращение передается вертикальному стерженьку, а через него — счетному аппарату, построенному по образцу часового механизма.

Для правильного действия водомера необходимо, чтобы вода подходила к нему ровной струей. Для выпрямления струи фирма «Мейнеке» в водомерах от 50 до 300 мм всегда ставит струенаправители *a*.



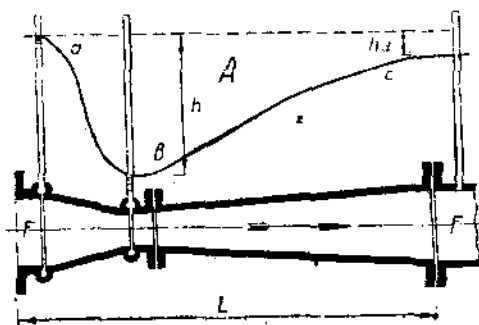
Фиг. 131. Водомер Вольмана.



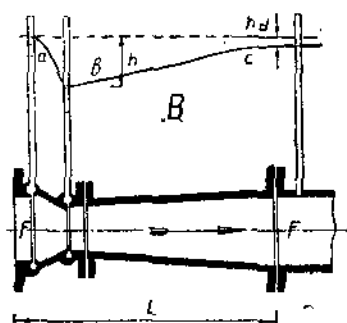
Фиг. 132. Водомер Вольмана с выемной вертушкой.

При наличии такого аппарата водомер можно ставить непосредственно за задвижкой или коленом, в противном же случае необходим участок прямой трубы до водомера длиной 1—2 м и за ним — немного меньше; чем больше диаметр, тем больше длина прямой трубы. Потеря напора в водомере невелика и доходит до 0,25 м.

Для регулирования водомера служит маленький щиток *C*. Переставлением этого щитка посредством ключа снаружи можно часть струи направить в сторону и тем уменьшить или увеличить скорость вращения вертушки.



Фиг. 133. Обыкновенный водомер Вентури.



Фиг. 134. Укороченный водомер Вентури.

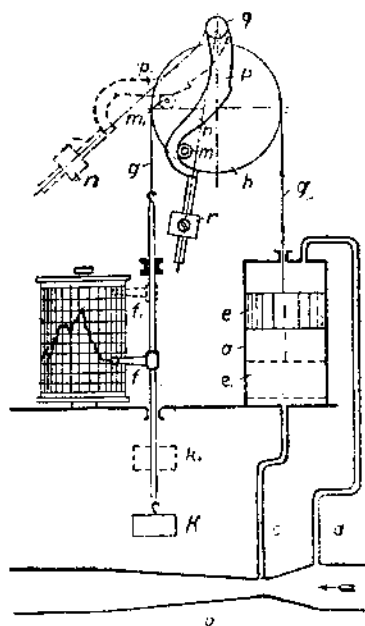
Водомер Вольмана ставится или одинакового диаметра с водоводом или несколько меньше; тогда необходимы два перехода. Диаметр водомера надо выбирать по данным завода. Водомеры Вольмана строятся для диаметров 50—1000 мм. Область их учета колеблется от 1 : 20 до 1 : 30. Водомеры Вольмана устанавливаются как горизонтально, так и вертикально, с движением воды снизу вверх и сверху вниз.

На фиг. 133 изображен обыкновенный водомер Вентури, а на фиг. 134 — укороченный фирмы «Мейнеке». В длинном водомере отношение площади трубы к сужению 1 : 4, а в коротком 1 : 2,4. Кривые *abc* показывают изменение давления в водомере. Разность напоров в широкой и суженной трубе *h* для наибольшего допустимого расхода в длинном водомере достигает 6 м, а в коротком — 2 м.

Потеря напора в водомере при наибольшем расходе в первом случае 0,6—0,9, а во втором — около 0,2—0,3 м, т. е. от 10 до 15% разницы напоров.

Укороченный водомер представляет значительные преимущества перед длинным, так как требует меньше места и меньше потери напора, а то и другое очень важно.

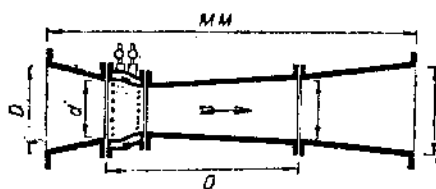
Длинные водомеры применяются с ртутной передачей к счетчику; благодаря



Фиг. 135. Водяная передача к регистрирующему прибору.

большому удельному весу ртути при такой передаче необходима значительная разность напоров в трубе и в сужении. Короткие водомеры работают с водяной передачей давлений по обе стороны поршня в водяном цилиндре, как показано на фиг. 135, где изображен регистрирующий аппарат Мейнке.

Движение поршня *e* происходит под влиянием разности давлений в трубках *c* и *d*. Движение поршня по тросу *g* с противовесом *k* передается блоку *h* и штифту *f*, чертящему на барабане *i*, вращающемуся при посредстве часового механизма.



Фиг. 136. Укороченный водомер Мейнке.

На блоке укреплен ролик *m*. На ролик упирается рычаг *p*, имеющий ось вращения в *q*. При движении троса *g* вверх по дуге *mm* рычаг *p* движется по ролику своей кривой поверхности *n* и перемещается в верхнее положение *p*.

При отсутствии движения в трубе *b* поршень стоит сверху, при движении давление *bc* уменьшается и поршень опускается, вращая блок *h* и поднимая рычаг *p* с противовесом *g*. Давление рычага *p* на поршень рассчитано так, что движение штифта по барабану происходит не пропорционально напору *h*, а пропорционально скорости *v*, т. е. $\sqrt{h}$.

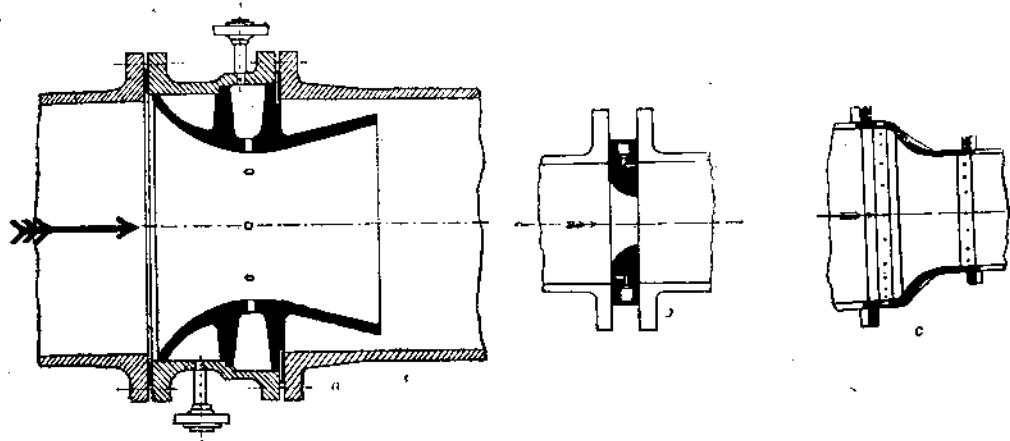
Область учета водометров Вентури — от 1 : 5 до 1 : 12; строятся они для диаметров 50—1000 мм.

Длина обыкновенного водомера Вентури приблизительно равна 5 диаметрам. Длина укороченного вместе с переходными патрубками *M* по фиг. 136 меньше в $1\frac{1}{3}$ раза, а длина одного водомера раза в 2,5—3 меньше. Укороченные водомеры Мейнке обычно имеют значительно меньший диаметр *d* (фиг. 136), чем диаметр водовода *D*; так, для водоводов от 300 до 550 мм диаметр равен 250 мм, от 400 до 700—300 мм, от 500 до 900—соответственно 400 мм; от 600 до 1200—500 мм и т. д.

На фиг. 137а показана вставка Вентури, вполне заменяющая трубу Вентури. По исследованиям, произведенным фирмой «Сименс» и другими, потеря напора во вставке менее 15% разности напоров в широкой трубе и в сужении, т. е. такая же, как и в обыкновенной трубе Вентури. Форма вставки имеет большое влияние на величину потери. Фирма опытным путем нашла самые выгодные формы. Восстановление скоростного напора требует от 3 до 6 диаметров длины трубы от конца вставки. Поэтому задвижки и проч. нельзя ставить ближе 3 диаметров от конца вставки.

Чугунная отливка трубы Вентури не обладает большой прочностью, вставку же Вентури легко приспособить для высоких давлений.

Измерительный фланец (137b) применяется широко для пара и воздуха, для воды рекомендуется для труб до 300 мм; потеря в нем велика: 40—60% разности напоров. Измерительная насадка (фиг. 137с), которую можно ставить вместо конического перехода, не даст никакой дополнительной потери напора. Применяется на больших водоводах.



Фиг. 137а, б, с. Вставка Вентури.

Порциальные водомеры, сконструированные впервые проф. Ланге, также применяются на станциях, но для них необходима совершенно чистая вода: в противном случае ответвления легко засариваются. Для удобства установки и съемки водомеров около них ставятся компенсаторы.

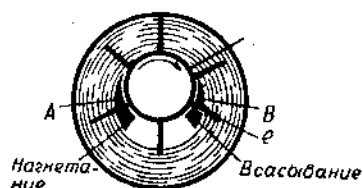
13. Вакуум-насосы. Эльмо-насосы

Всасывающие обратные клапаны представляют лишнее сопротивление во всасывающем водоводе; требуют смены уплотняющих кожаных или резиновых прокладок, и поэтому на больших насосных станциях их не ставят, а заполнения насосов водою достигают отсасыванием из насосов воздуха вакуум-насосами, водяными эжекторами и проч. При наличии вакуум-насоса всасывающая труба не требует за собою никакого ухода в течение десятков лет. Но зато усложняется оборудование станции лишними, хотя и маленькими, машинами. На больших станциях это усложнение теряется в общем оборудовании, но на маленьких установках, это обстоятельство становится уже обременительным.

Иногда вакуум-насосик вращательного типа устанавливается на продолжении вала насоса; тогда при пуске мотора приводится в действие насосик, всасывающий воздух из центробежного насоса, и таким образом насос пускается в ход.

Поршневые сухие вакуум-насосы не могут непосредственно отсасывать воздух из насоса. Между вакуум-насосом и центробежным насосом устанавливается вакуум-котел. Воздух отсасывается из котла, а через него и из насоса; когда воздух будет высосан из насоса, тогда пойдет вода; чтобы не допустить воду до вакуум-насоса и устанавливается вакуум-котел. Того же можно достигнуть, приподняв всасывающие трубы вакуум-насоса таким образом, чтобы высшая точка их была на 10,33 м выше уровня всасываемой воды.

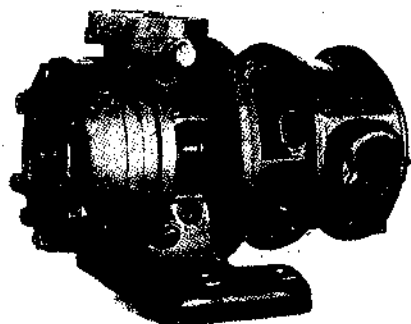
В последнее время для высасывания из насосов воздуха чаще всего применяются, благодаря простоте и дешевизне, ротационные-воздушно-водяные на-



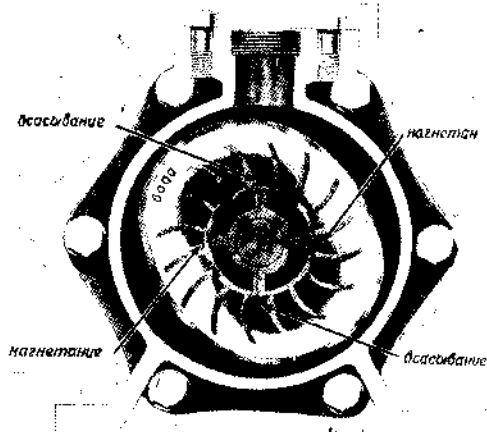
Фиг. 138. Схема водокольцевого насоса (эльмо-насоса).

сосы, получившие в Германии название эльмо-насосов. Они требуют мало места и всасывают прямо из насоса, так как могут забирать одинаково как воздух, так и воду.

Схема эльмо-насоса показана на фиг. 138. Действие его основано на принципе водяного кольца (Wasserringpumpe). В цилиндрическом кожухе *AB* вращается эксцентрично поставленное колесо *K* с радиальными лопатками. Справа в плоской стенке кожуха есть всасывающее отверстие в виде полумениска. Слева—такое же нагнетательное отверстие (оба закрашены черным). При вращении колеса по стрелке вода под влиянием центробежной силы принимает форму цилиндрического кольца, прижатого к стенкам кожуха *AB*, а мениск под кружком *K* остается свободным. Благодаря этому лопатка *e*, вращаясь по стрелке, открывает свободное пространство *B*, куда и засасывается вода или воздух. При



Фиг. 139. Эльмо-насос.



Фиг. 140. Схема американского водокольцевого насоса.

передвижении влево воздух или вода, заключенная в мениске, вытесняется лопатками через левое отверстие *a*, так как мениск постепенно уменьшается и сходит на-нет.

На фиг. 139 показан общий вид эльмо-насоса с мотором. Всасывающий и нагнетательные патрубки направлены вверх, так как вода всегда должна быть в насосе. Ниже приведена таблица размеров и производительности эльмо-насосов фирмы «Сименс и Шуккерт». Эльмо-насосы изготавливаются и у нас, в Сумах и Москве. Они могут служить не только для отсасывания воздуха, но и как водяные насосы в малых установках.

В виду малых размеров насоса его, фундамент можно установить вплотную к стене и тем свести до минимума занимаемое им место.

На фиг. 140 показана схема американской конструкции водокольцевого мокро-воздушного насоса.

Производительность насоса в литрах в минуту и требуемая мощность в киловаттах при числе оборотов 2850 в минуту и разной высоте подъема

Высота подъема															
4 м		6 м		8 м		10 м		12 м		15 м		30 м		60 м	
л/мин	квт	л/мин	квт	л/мин	квт	л/мин	квт	л/мин	квт	л/мин	квт	л/мин	квт	л/мин	квт
550	1	380	1,1	280	1,2	180	1,25	100	1,35	30	0,44	30	0,80	30	1,6
1500	2,2	1100	2,4	800	2,5	500	2,5	300	2,0						

Эльмо-насос не требует задвижки на напорном водоводе. Благодаря этому, а также самовсасыванию он очень удобен для автоматизации работы насоса и применяется в мелких автоматических водоснабжениях.

Фирма «Сименс и Гирш» выпустила недавно другой самовсасывающий центробежный насос под названием «Sihirimpne», описанный у Кванца—«Современные центробежные насосы», Москва, Гостехиздат, 1929 и 1932 гг.

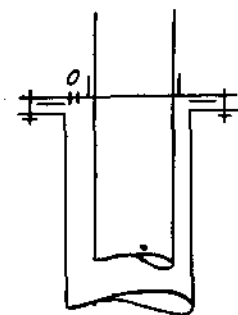
14. Присоединение насоса к скважине

Всасывающий патрубок насоса можно непосредственно присоединить к обсадным трубам скважины (фиг. 141), но при этом, конечно, невозможно залить насос водой. Такое устройство может работать или при наличии вакуум-насоса, или, если статический уровень в скважине выше насоса, т. е. насос самозаливающийся, между насосом и скважиною в этом случае необходима задвижка.

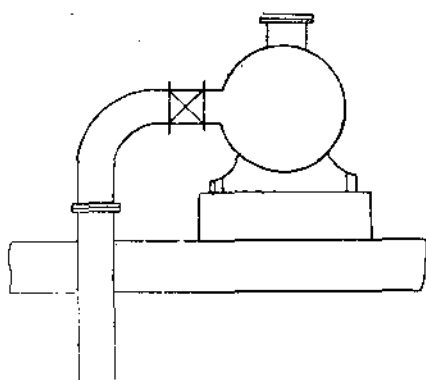
Высокое стояние уровня воды в скважинах явление редкое, и поэтому обычно насосы имеют особую всасывающую трубу, опущенную в обсадные трубы скважины. Для всасывающих труб обыкновенно применяются железные трубы с нарезными муфтами, как самые удобные для узкого пространства в обсадной трубе; для простых колодцев могут применяться и фланцевые соединения. Длина всасывающей трубы должна быть такою, чтобы конец ее, опущенный в воду, не обнажался ни при какой нагрузке насоса, иначе произойдет засасывание воздуха и насос сорвет или сбросит, т. е. прекратит подачу воды.

Пределом для глубины всасывания центробежным насосом можно считать 8 м, поэтому всасывающая труба должна быть длиною, считая от оси насоса, 9—10 м. Если уровень воды в скважине во время работы не понижается более, скажем, 1—2 м, т. е. если скважина мощная, а насос слабый, тогда, конечно, нет надобности в большой длине всасывающей трубы: достаточно опустить ее на 1—1,5 м ниже наивысшего рабочего уровня.

Устройство всасывающей трубы осложняется тем, что нужно герметически закрыть конец буровой скважины, через который опускается в нее всасывающая труба. Это необходимо по санитарным соображениям — чтобы защитить воду от попадания в нее каких бы то ни было загрязнений. Герметическое закрытие обсадных труб достигается несколькими способами. На харьковском водопроводе на всасывающую трубу обыкновенно навинчивают широкий фланец (фиг. 142), который соединяется болтами с фланцем, насаженным на обсадную трубу. Резиновая прокладка между фланцами обеспечивает герметичность соединения.



Фиг. 142. Присоединение к скважине на Харьковском водопроводе.

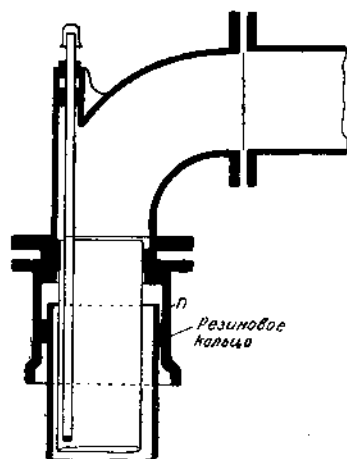


Фиг. 141. Присоединение насоса к обсадной трубе.

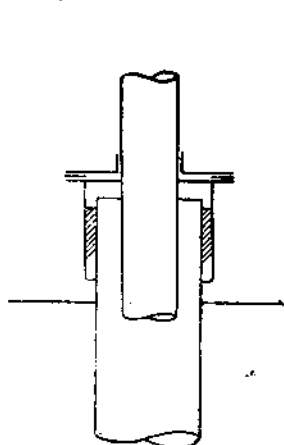
Для возможности замера уровня воды в скважине, как во время работы, так и во время остановки насоса, в большом фланце продельвается отверстие, закрываемое нарезной бронзовой пробкой. На фиг. 143 показано устройство всасывающей трубы для сифонов, а также и для насосов. На 90° колене устроен прилив, через который пропускается маленькая трубка, примерно 25 мм, служащая для измерения уровня воды. Если бы было оставлено только отверстие, то измерение уровня можно было бы производить только во время остановки насоса. Трубочка же, опущенная ниже рабочего уровня воды в скважине, дает

возможность производить измерение и во время работы насоса; сверху она закрыта шапочкой.

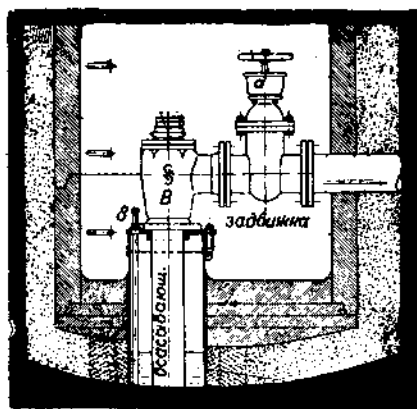
Всасывающая труба, опущенная в обсадные трубы скважины, на фиг. 143 показана медной. В наших условиях это, конечно, пока невозможно, но от этого не меняется суть дела. Чугунный фланцевый партубок надевается на обсадные трубы и уплотняется резиновым кольцом. Фланец медной трубы зажимается между чугунными или железными фланцами с резиновыми прокладками.



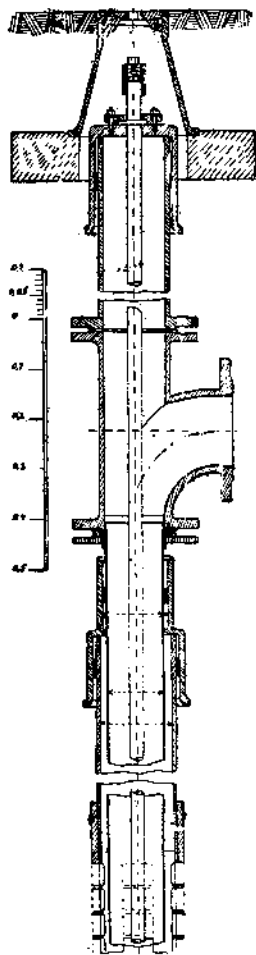
Фиг. 143. Конструкция А. Тима.



Фиг. 144. Упрощенное соединение всасывающей трубы со скважиной



Фиг. 146. Водомер Вольмана на скважине.



Фиг. 145. Другая конструкция А. Тима.

Описанная конструкция предложена А. Тимом; в ней обсадные трубы чугунные в виду их большой долговечности. Это возможно только при мелких колодцах. У нас обыкновенно для этой цели применяются железные трубы.

Применение патрубков упрощает оборудование, так как не всегда обсадная труба может кончаться нарезкой, на которую можно было бы навернуть фланец; производить же нарезку конца обсадных труб большого диаметра на месте трудно. Кроме того, в этом соединении достигается подвижность патрубка, благодаря чему его легко приспособить к фланцу колена, хотя бы он был немного скошен.

При косине фланцев по отношению друг к другу и невозможности повернуть их приходится ставить между ними клинообразные свинцовые кольца, специально отливаемые каждый раз по замерам расстояния между фланцами.

Возможны и другие способы заделки конечного фланцевого патрубка на обсадной трубе. Сама обсадная труба обыкновенно заделывается в бетонный пол;

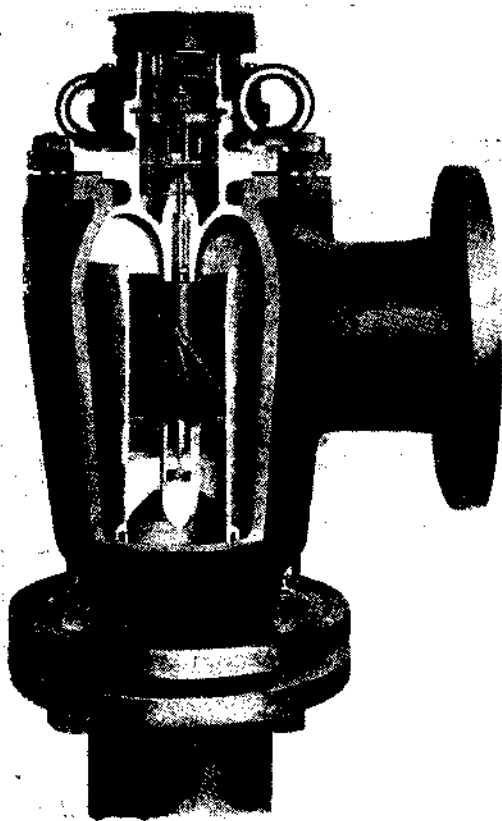
в бетон же можно заделать и патрубок или же залить цементным раствором промежуток между трубами, — при этом получится, конечно, жесткое соединение. Его легко сделать гибким, если законопатить смоленой паклей и залить асфальтом или вообще смолой (фиг. 144).

На фиг. 145 показана другая конструкция тимовского оборудования. Здесь все, кроме медной всасывающей трубы и железной наблюдательной трубки, отлито из чугуна — по причине его большой стойкости против ржавчины. Резиновые кольца здесь применены в трех местах.

Неудобство последних конструкций заключается в том, что в верхней части трубы будет собираться воздух, выделяющийся из воды при разрежении, и может нарушать работу насоса. Эти конструкции приспособлены главным образом для сифонов; там при постоянном отсасывании воздуха, они работают, вероятно, удовлетворительно, ибо Г. Тим в своей брошюре (*Der gusseiserne Rohrbrunnen* 1925 г.) перечисляет много мест с грунтовыми водосборами, где они применяются. Для насосов следует применять только первую конструкцию с глухим коленом (фиг. 143).

На фиг. 146 показано соединение со скважиной с установкой на ней угольника с водомером Вольтмана В. Такое устройство очень удобно, так как для водомера не требуется особой площади, а постановка водомера на каждой скважине даст возможность вести постоянный контроль за ее производительностью. Задвижка, поставленная у водомера для выделения скважины на случай ремонта, снабжена сосудом с водой *a* для предупреждения засасывания воздуха через сальник; *b*—трубка с колпачком для замера уровня.

На фиг. 147 изображен водомер в вырезе.



Фиг. 147. Водомер Вольтмана в вырезе.

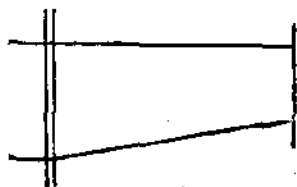
15. Всасывающие трубы

Длину всасывающих труб следует делать возможно короткой с наименьшим числом колен и поворотов. Это требование надо проводить тем строже, чем ближе высота всасывания к пределу 6 м для центробежных насосов.

Непременным условием для правильной работы всасывающих труб является отсутствие перегибов, образующих воздушные мешки. Всасывающая труба должна иметь непрерывный подъем к насосу. Выделяющиеся из воды при пониженном давлении во всасывающей трубе пузырьки воздуха, а также воздух, просачивающийся через неплотности, должны без задержки двигаться вместе с водой к насосу, а это возможно только при непрерывном подъеме всасывающего водовода к насосу. При переходе с большого диаметра на меньший надо применять косой переход, а не прямой (фиг. 148). Известны случаи нарушения работы насоса из-за этой причины.

Стыки всасывающего водовода должны быть возможно более непроницаемы для воздуха. Это требование имеет тем большее значение, чем длиннее всасывающая линия и чем больше высота всасывания, а в практике встречаются всасывающие водоводы длиной несколько сот метров.

Некоторые специалисты требуют, чтобы для всасывающих водоводов применялись только фланцевые стыки



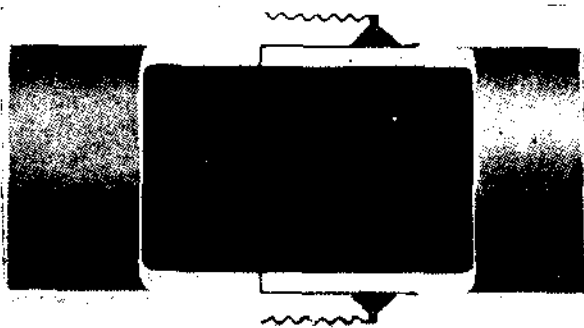
Фиг. 148. Косой переход.

для чугунных труб и нарезные муфтовые для железных. Как общее правило, это требование не имеет основания. Очень многие насосные станции имеют раструбные соединения на всасывающих водоводах со свинцовой заливкой и в течение десятков лет не испытывают никаких

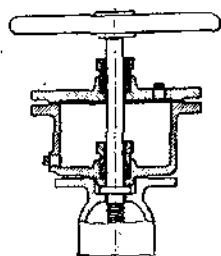
осложнений от этого (харьковский, рублевский водопровод и многие другие). Однако при предельной высоте всасывания или при очень длинных водоводах на непроницаемость стыков нужно обратить особое внимание, — там можно применить и фланцевые стыки.

Сварные железные трубы при хорошем выполнении сварки дают всасывающему водоводу полную непроницаемость.

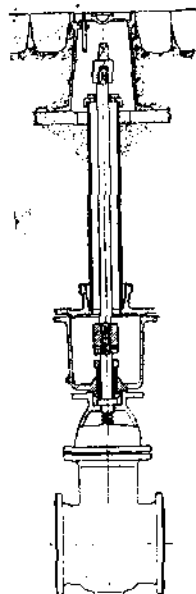
В Германии давно уже применяется с большим успехом резиновый раструбный стык для всасывающих и сифонных водоводов. Он рекомендуется также классическим трудом Lüger und Weyrauch, Wasserversorgung der Städte, 1916 г. Этот стык при посредстве круглого резинового кольца устраивается, как показано на фиг. 145, для стыков колен буровых скважин¹. В последнее время резиновый стык очень сильно рекламируется и для напорных водоводов. На фиг. 149 показана конструкция такого стыка «Gawa Muffe». На раструб навинчивается муфта и прижимает резиновое кольцо, поставленное между ними. Нарезка как на раструбе, так и на муфте получается отливкой без шва, благодаря чему этот стык очень дешев. Нужно признать, что такое устройство стыка обладает крупными преимуществами перед всеми другими способами и, вероятно, найдет широкое применение.



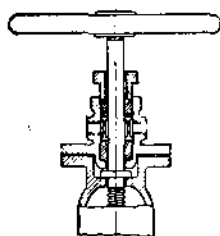
Фиг. 149. Резиновый стык.



а



в



с

Фиг. 150. Задвижка с водяным затвором.

¹ При таких стыках нельзя допускать напора во всасывающих трубах, поэтому всасывающий клапан не должен ставиться.

Наши труболитейные заводы, к сожалению, не могут еще производить такую тщательную отливку, какая здесь необходима.

Задвижку на всасывающем водоводе необходимо ставить тогда, когда насос заливной, т. е. помещен ниже статического уровня воды. В противном случае задвижка не ставится; если всасывающий водовод обслуживает только один насос, такое устройство наиболее благоприятно для работы насоса. При небольшой длине всасывающих труб лучше всего каждому насосу давать особую трубу. При обслуживании одним всасывающим водоводом нескольких насосов задвижки на ответвлениях необходимы. Задвижки на всасывающих водоводах могут пропускать воздух через свои высыхающие сальники. Для предупреждения этого за границей на всасывающие трубы ставятся специальные задвижки с резервуарчиками с водою над сальниками, благодаря чему сальники не высыхают и закрытые водою не могут пропустить воздуха (фиг. 150). На фиг. 150, с к сальнику подводится напорная вода.

В верхней части задвижки собирается воздух и может вызвать затруднение при работе. Фирма «Аллис Чалмерс» в виду этого рекомендует ставить задвижки на всасывающих водоводах не вертикально, а горизонтально.

При наличии воздушного мешка во всасывающем водоводе приходится прибегать к многократному пуску и остановке насоса прежде, чем удастся его ввести в работу. Путем таких толчков понемногу выбирается воздух из воздушного мешка, но во время работы насос снова прекращает подачу воды, когда воздух опять накопится в мешке.

Если на воздушном мешке поставить кран и выпустить воздух во время заливки насоса, тогда пуск насоса не встречает препятствий.

16. Напорные трубы

Напорные трубы внутри станции обыкновенно устраивались из чугунных фасонных частей с фланцевыми соединениями как для удобства разборки, так и для прочности стыков. На поворотах напорные трубы подвергаются усилиям, стремящимся разрушить соединения. При раструбных соединениях в этом случае пришлось бы колена укреплять особыми железными связями, а фланцевые стыки прочны и не требуют никаких дополнительных укреплений.

Все расширяющееся применение сварки к железным трубам, очевидно, вытеснит чугунные фасонные части из оборудования станций. Пригонка и сварка на месте железных труб дает много преимуществ при оборудовании станций: 1) не нужно очень точно проектировать все детали оборудования водоводами, так как пригонка производится на месте; 2) не нужно приспособлять все изгибы и проч. к установленным фасонным частям, так как посредством гнутья или сварки железных труб легко приспособиться ко всем местным особенностям; 3) разрывы чугунных труб случаются благодаря усиленным напряжениям, вызванным сборкой или тем же механическим усилием, а также плохому качеству литья, — и тогда станция заливается водою; железные трубы при хорошей сварке вполне обеспечивают от таких аварий.

17. Правила проектирования соединительных труб

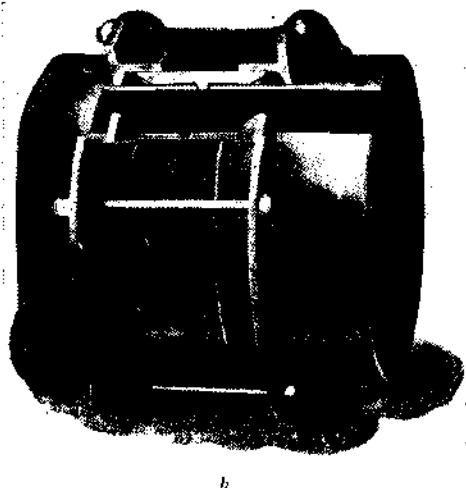
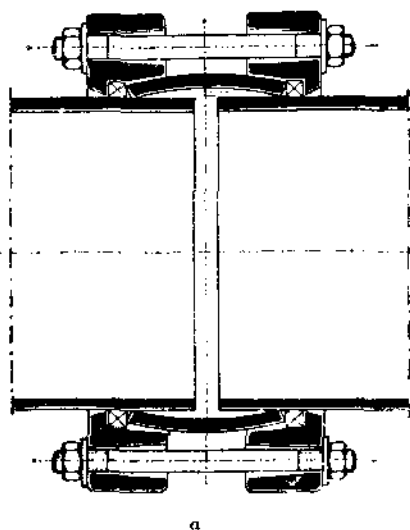
При проектировании соединительных трубопроводов нужно руководствоваться следующими соображениями:

1) Диаметры труб должны быть подобраны так, чтобы скорости в них были около метра или немного более; при этом условии потери внутри станции будут небольшими.

В некоторых проектах больших станций потери напора доходят до 5 м. Если общая высота подъема 50 м, то потери на станции составляют 10%; эта величина недопустимо велика. Чтобы свести к минимуму потери на станции, необходимо после постановки задвижки на насосном патрубке сейчас же переходить на такие диаметры, которые давали бы указанные скорости.

Если при скорости в 3 м общая потеря на станции достигнет 5 м, то при уменьшении, благодаря увеличению труб, скорости до 1,5 м потеря уменьшится в четыре раза.

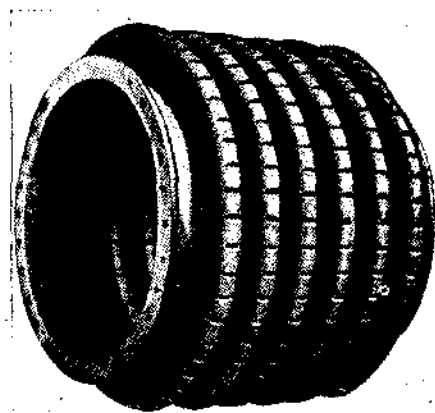
На прямоугольных тройниках теряются значительные напоры, поэтому в американской практике для уменьшения потерь на станции часто применяют косые соединения водоводов.



Фиг. 151а, б. Стык Жибо.

Изображенные на фиг. 154 расположения насосов и водоводов одной из новейших американских насосных станций сводят потери станции до возможного минимума.

На фиг. 155 показана схема одной насосной станции.



Фиг. 152. Компенсатор волнистый.

Здесь, как отчасти и на предыдущем чертеже, насосы расположены вперемежку, чтобы всасывающие и напорные водоводы можно было подвести без крутых поворотов.

Соединение напорных водоводов сделано под прямым углом, что при малых скоростях в трубах даст и малые потери, при больших же скоростях выгоднее косые соединения.

Взаимное расположение труб и насосов зависит от величины расхода. При малых расходах насосы сравнительно с трубами велики, они занимают главное место и около них легко извиваются трубы, которые легко подобрать для умеренных скоростей. При больших расходах трубы по сравнению с насосами становятся очень много места, извивать их поэтому около

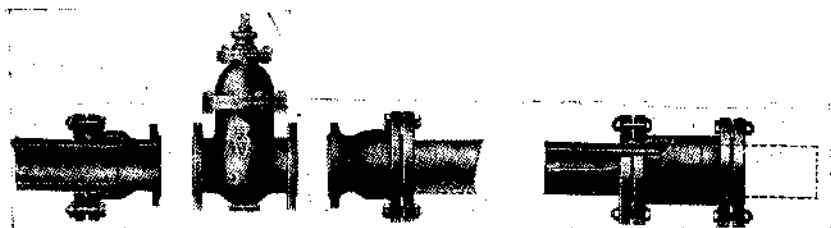
большими, повороты их требуют насоса уже не приходится.

Теперь уже не трубы подгоняются к насосу, а насос ставится так, чтобы трубы подходили к нему прямо — без колен. Здесь место насоса определяется трубопроводами и насосы часто ставятся вперемежку, причем моторы меняют места (фиг. 154 и 155), тогда как при малых и средних расходах все насосы устанавливаются в ряд — насосы в одну сторону, моторы — в другую.

2. Вес труб не должен передаваться на насос, особенно при боковых патрубках, чтобы не перекосить. Трубы должны поддерживаться особыми опорами, кронштейнами и проч.

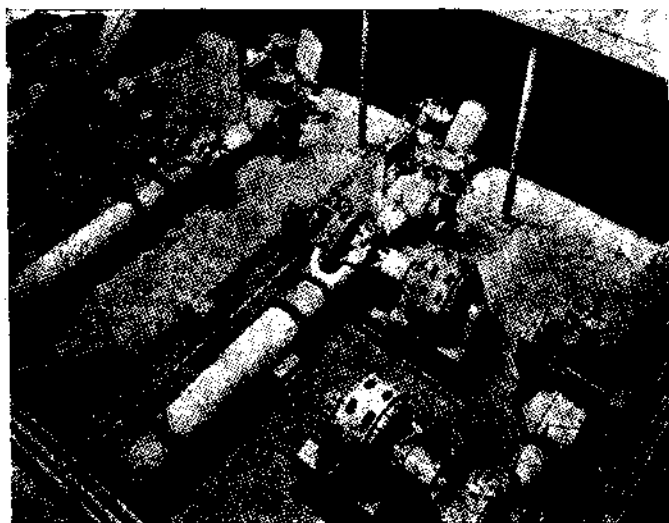
3. Устройство всасывающих труб должно быть таково, чтобы всасывание производилось легко, без затруднений (см. об этом ниже — «Из нашей практики»).

4. Устройство напорных водоводов путем надлежащих соединений и расстановки задвижек должно обеспечить безостановочную работу станции с полной нагрузкой при аварии какой-либо части соединительных водоводов, задвижек, насосов и проч.



Фиг. 153. Компенсаторы с резиновыми кольцами «Бопп и Рейтер».

Это требование особенно строго должно применяться там, где, как в доменных и мартеновских цехах, остановка станции недопустима ни на одну минуту. В городских водопроводах со значительными напорными резервуарами, дающими возможность остановить на некоторое время насосную станцию, возможны отступления от строгого выполнения этого правила.

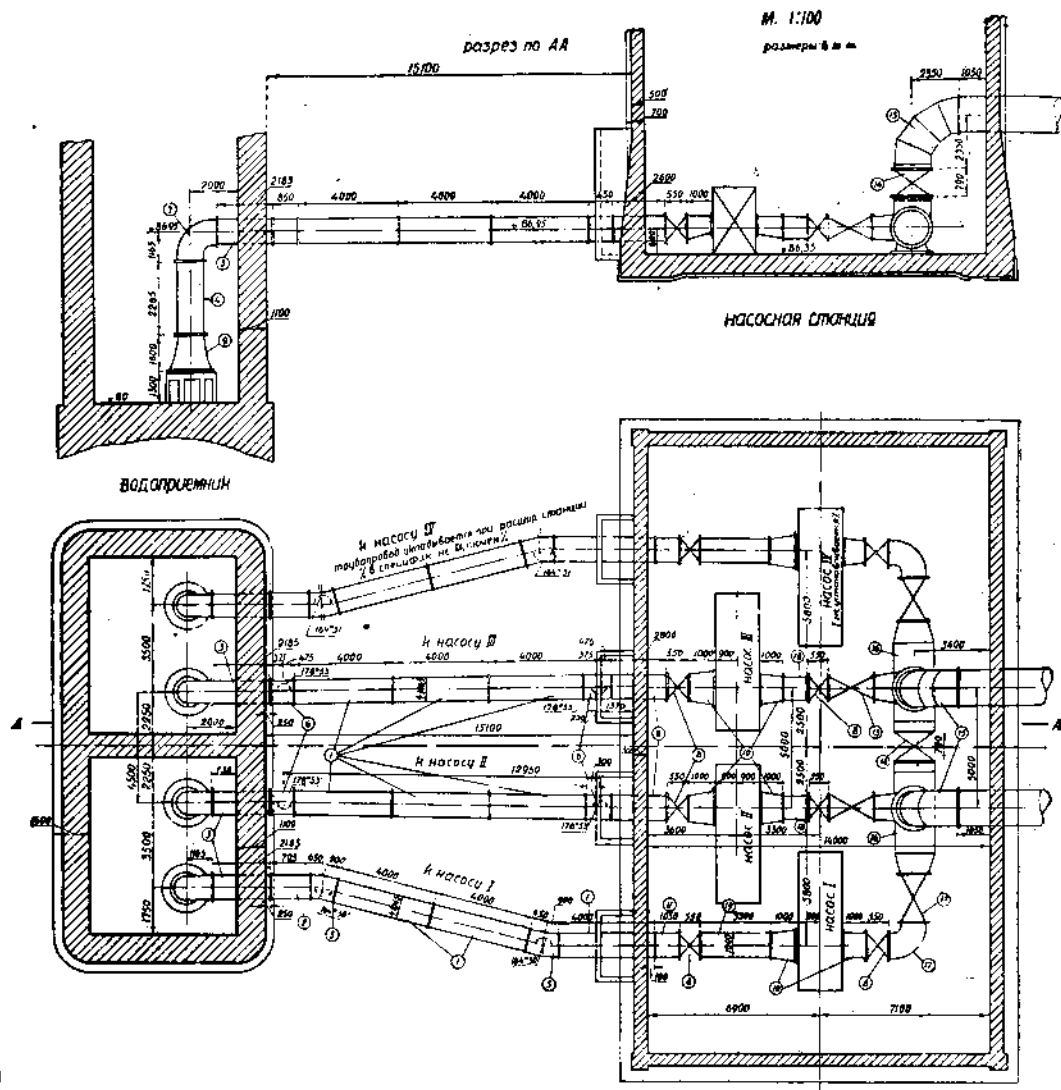


Фиг. 154. Водопроводная станция в Бруклине, Нью-Йорк.

5. Температурные напряжения водоводов не должны передаваться на насос. Это достигается путем постановки компенсаторов. Для этой цели очень удобен резиновый стык, описанный выше, или стык Жибо (фиг. 151a, b, 152, 153).

На это обстоятельство обращали до сих пор мало внимания. На магнитогорской заводской станции был случай срыва фундамента насоса со срезкой болтов при сжатии от охлаждения напорного водовода (см. Санитарная техника № 19). Если всасывающие трубы подходят с одной стороны, а напорные с другой, то действие их взаимно уравнивается, вызывая только в корпусе насоса вредные

напряжения. Если же всасывающая труба идет вниз, как на Магнитогорской станции, а напорная — в бок, тогда получается наиболее опасное положение.



Фиг. 155. Водопроводная станция ЭСХАР.

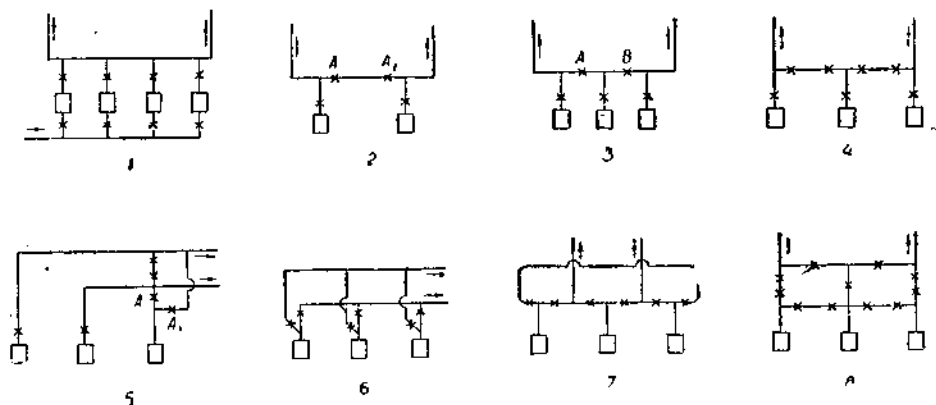
6. Напорные трубы подвергаются на поворотах большим гидростатическим усилиям, которые обычно воспринимаются трубами и фланцевыми соединениями.

Но, если для предупреждения температурных напряжений ставится компенсатор, тогда трубы разрываются и уже не могут противодействовать продольным усилиям, которые передаются на насос. Для защиты насоса от таких усилий нужны особые укрепления.

Требование пп. 5 и 6 приобретает тем большее значение чем, больше диаметры и длины соединительных труб. При небольших и недлинных трубах обыкновенно обходятся без компенсаторов, а следовательно не возникает и требований п. 6. Расположение труб с длинными коленами изгибов создает благоприятные условия для компенсации температурных напряжений самими изгибами.

18. Из американской практики

В американском водопроводном журнале I. A. W. W. A. за январь 1930 года инж. Кенингем пишет: «Немногие детали водопроводного дела пользовались таким пренебрежением и развивались без здоровой инженерной мысли, как соединения насосов с напорными водоводами. Вероятно, не более 10% станций имеют правильно расположенные соединительные трубы и задвижки. Автору известно много случаев, когда из-за ремонта трубы или задвижки останавливается целиком или в большей части водоснабжение города».



Фиг. 156. Схема соединения напорных труб.

Хорошее соединение насосов с водоводами, по мнению автора, должно удовлетворять следующим условиям:

- а) допускать выделение любого насоса, задвижки и участка трубопровода без ослабления подачи воды;
- б) допускать подачу воды любым насосом в любой водовод или, по крайней мере, допускать возможно большую гибкость в этом отношении;
- в) допускать быстрое оперирование задвижками, особенно в случае аварии;
- г) обеспечить свободный доступ для осмотра и ремонта задвижек и соединительных частей;
- д) обеспечить надежные и дублированные соединения для водоснабжения самой станции.

Две фигуры 156 и 157 с эскизами соединений поясняют применение этих правил. Чертеж 1 на фиг. 156 показывает фактическое выполнение в одной из новых насосных станций. Здесь полное нарушение вышеприведенных правил. Четыре насоса имеют одну всасывающую и одну напорную трубу. Ремонт какого-либо участка трубы или какой-либо задвижки останавливает всю станцию. Всасывание через один водовод четырьмя насосами вызовет затруднения при пуске насосов.

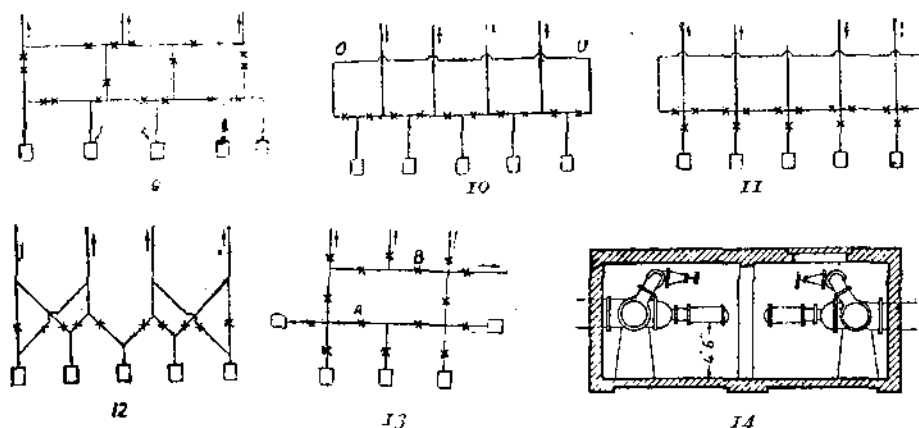
Чертеж 2 дает правильное соединение двух насосов и двух водоводов. Если бы вместо двух задвижек А и А₁ была только одна, то ремонт этой задвижки останавливал бы всю станцию. При соединении насосов и водоводов по черт. 3 ремонт задвижек А или В выводит из строя один водовод и два насоса. Вставивши в местах А и В по две задвижки, достигаем того, что ремонт трубы или задвижки выведет из строя только один насос и один водовод; так устроено на черт. 4.

Черт. 5 и 6 показывают — первый неудачное соединение: при ремонте задвижек А и А₁ останавливаются два насоса и один водовод; второй — правильное соединение: при ремонте любой задвижки выключается только один насос и водовод. Число же задвижек в обоих случаях одинаковое. На черт. 7 показан другой способ достижения тех же результатов с теми же шестью задвижками.

На черт. 8 показано соединение того же числа насосов и водоводов, что и в предыдущих примерах, но путем постановки 11 задвижек вместо 6 достигнуто

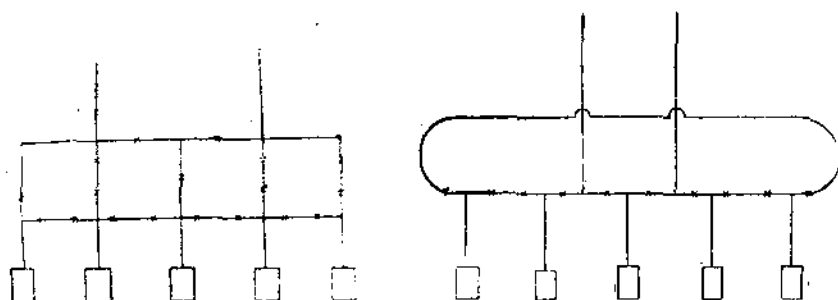
то, что ремонт любой задвижки может вывести из строя только или один насос или один водовод, но не выводит, как в предыдущих случаях, сразу и насос и водовод.

На черт. 9 фиг. 157 показано устройство соединений насосной станции г. Мемфиса, Теннесси: четыре или пять насосов соединены с тремя водоводами. Ремонт в одном месте, на трубах или задвижке, останавливает только один насос или только один водовод.



Фиг. 157. Схема соединения напорных труб.

На черт. 10 показано соединение пяти насосов с четырьмя водоводами в Канзас Сити. Оно может быть расширено для любого количества насосов, а также может быть и сокращено. Ремонт в любом месте выключает один насос или один водовод, но не оба вместе. Обводная труба *ОД* может быть уложена или выше или ниже напорных водоводов. Здесь имеется только десять задвижек, тогда как на черт. 9 их 18.



Фиг. 158. Схема соединения напорных труб.

Соединение на черт. 11 отличается от черт. 10 тем, что насосы нагнетают прямо в водоводы, тогда как на фиг. 10 трубы от насоса к напорному водоводу делают два крутых поворота под углом 90° , при этом дважды теряется скоростной напор.

На черт. 12 каждый насос соединен с двумя водоводами косыми патрубками, чем уменьшаются потери на поворотах, хотя усложняется соединение. Расположение задвижек позволяет выключить любой насос или любой водовод.

На черт. 13 показано очень неудачное соединение на одной из крупных городских станций в Америке: ремонт задвижки *А* выключает сразу три насоса, а ремонт задвижки *В* выключает три водовода.

Приведенные примеры соединений на черт. 10—13 имеют 4—5 напорных водоводов. Большое число водоводов дает гибкие схемы соединений. При близости расположения насосной станции от разводящей сети осуществить эти схемы не-

трудно, но при значительном удалении станции от города приходится проектировать чаще всего два водовода, иногда три.

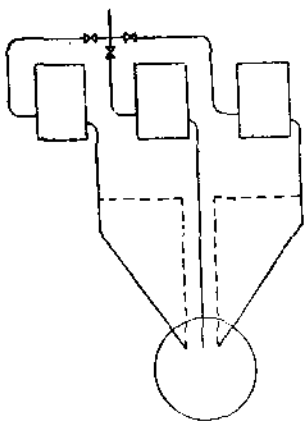
Схема черт. 6 с двумя напорными водоводами и присоединением каждого насоса к обоим водоводам допускает любое увеличение числа насосов. Другие схемы с двумя водоводами черт. 7 и 8 допускают добавку еще двух и более насосов, как показано на фиг. 158 (черт. 1 и 2).

Там, где необходима непрерывность работы станции, а именно — в городских водоснабжениях без напорных резервуаров или с очень малыми резервуарами и в промышленных водоснабжениях для охлаждения доменных, мартеновских печей и пр., где остановка водоснабжения недопустима, там схема соединения водоводов на станции должна быть разработана со строгим соблюдением указанных условий. Там же, где имеются значительные напорные резервуары, допускающие без ущерба для потребителей остановку станции на несколько часов, возможны упрощения в схемах соединения.

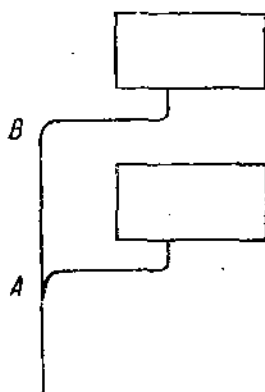
На черт. 14 фиг. 157 показана подземная камера, в которой расположены соединительные трубы с задвижками. Диаметр труб — 600 мм, задвижки — с гидравлическим управлением и с перепусками, на которых поставлены ручные задвижки. Большая глубина камеры сделана для того, чтобы по полу можно было перемещать трубы и фасонные части. Устройство такой камеры освобождает насосную станцию от всех соединительных водоводов; в машинном зале помещаются только насосы с двигателями, что значительно уменьшает и удешевляет стоимость машинного здания.

19. Из нашей практики

На фиг. 159 и следующих показано расположение всасывающих и нагнетательных труб малых и средних станций. Всасывание лучше всего обеспечивается отдельными всасывающими водоводами для каждого насоса (фиг. 159, сплошные линии). Только при таком условии могут быть выполнены все требования, указанные раньше, для всасывающих труб. Возможна укладка и по пунктирным линиям. Если из двух насосов, обслуживаемых одной всасывающей трубой (фиг. 160), работает только один, тогда общая всасывающая линия не вызывает осложнений. Следует только ответвления в А и В делать под острым, а не прямым углом, к чему наш сортамент фасонных частей, к сожалению, не приспособлен.



Фиг. 159. Схема всасывающих водоводов.



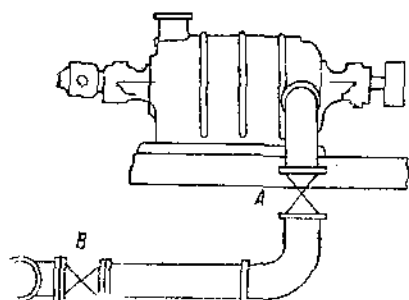
Фиг. 160. Схема одного всасывающего водовода.

При похожем на фиг. 160 расположении всасывающих труб на Зуевской станции Макеевского завода оказалось, что оба насоса можно пустить сразу, но при работе одного насоса нельзя пустить другой. Присоединение всасывающей трубы и расположение задвижки на ней показано на фиг. 161. Под задвижкой в вертикальном колене А может скопиться воздух, — этим объясняется неудача

пуска одного насоса во время работы другого. Чтобы предупредить скопление воздуха под задвижкой, ее рекомендуют ставить у самой всасывающей трубы В.

При расположении всасывающих труб по фиг. 162 при пуске также встречаются затруднения: на одной станции Донбасса, при работе насоса А насос В пускается без затруднений, но при работе насоса В насос А и С нельзя пустить.

Жалобы на подобное явление приходилось слышать и из других мест. Предполагают, что причиной этого является скопление воздуха в трубопроводе *оq*, или *ор* (фиг. 162), поэтому и здесь следует задвижки ставить около точки *о*, как показано на чертеже.



Фиг. 161. Присоединение насоса к всасывающему водоводу.

Изучение затруднений при всасывании из одного водовода привело автора к следующим заключениям. Во всасывающей трубе выделяется благодаря пониженному давлению воздух; к нему может присоединяться воздух, засасываемый через неплотности стыков. Воздух движется вместе с водом к насосу в верхней части трубы. Если к одной всасывающей трубе присоединено два насоса, то какой

из насосов — первый или второй — будет испытывать затруднение при пуске — зависит от способа присоединения насосов к главной всасывающей трубе. Если ответвления к насосам сделаны в верхней части главной всасывающей трубы,¹ тогда воздух устремится в первое ответвление и при работе первого насоса будет без помех удаляться насосом и до второго насоса не дойдет; поэтому второй насос пускается при работе первого насоса без затруднений. При работе же второго насоса пуск первого насоса встретит трудности, потому что воздух по прежнему направится прежде всего в ответвление первого насоса, так как оно стоит первым по пути и только, наполнив это ответвление, воздух пойдет ко второму насосу и будет удаляться им. Если теперь начнем пускать первый насос — он не возьмет, потому что при открытии задвижки на ответвлении всасывающей трубы воздух из ответвления перейдет в насос, а насос с воздухом, как известно, пустить нельзя.

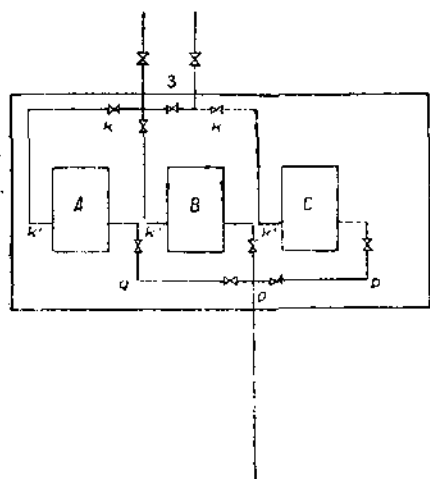
Если ответвления из главной всасывающей трубы сделаны сбоку и трубами меньшего диаметра, тогда первый насос пускается легко при работе второго насоса, но трудности возникают при пуске второго насоса во время работы первого. Благодаря боковым ответвлениям пузырьки воздуха,двигающиеся по верхней части главной всасывающей трубы, легко проходят ко второму насосу, где и заполняют ответвление всасывающей трубы. Поэтому пуск второго насоса при работе первого встречает те же затруднения, что и первый насос в предыдущем случае.

Очевидно, чтобы устранить накопление воздуха в ответвлениях, задвижки надо ставить не у насоса, а непосредственно у главной всасывающей трубы; так поставлены задвижки в немецких станциях, пользующихся одной всасывающей трубой для пяти насосов. Такое расположение задвижек должно устранить затруднения при пуске одних насосов во время работы других. Пуск всех насосов одновременно обыкновенно не вызывает затруднений.

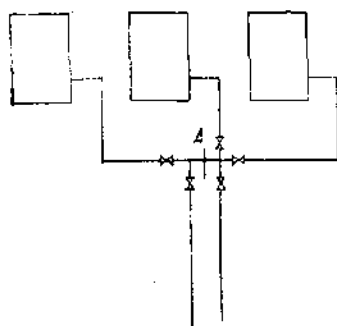
На фиг. 162 одна всасывающая труба обслуживает три насоса; для обеспечения непрерывности работ на случай ремонта всасывающей трубы, укладывают две всасывающих трубы (фиг. 163), при этом необходима установка пяти задвижек. Однако ремонт любой задвижки останавливает всю станцию. Чтобы обеспечить работу хоть одного насоса на случай ремонта одной из пяти задвижек, необходима установка еще одной задвижки в точке А. Но ремонт задвижки А также останавливает всю станцию. Чтобы обеспечить безостановочность работы и при ремонте задвижки А, надо в точке А поставить рядом две задвижки. Таким образом,

¹ I.A.W.W.A. 1933 March, Soltion Suction Lift Problem.

чтобы обеспечить непрерывность работы станции, необходимо семь задвижек (фиг. 164). При трех же всасывающих трубах (фиг. 159) не нужно никаких задвижек, и ремонт одной трубы совершенно не затрагивает двух других; кроме того,

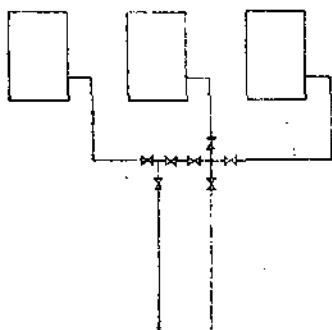


Фиг. 162. Схема с одним всасывающим водоводом для трех насосов.

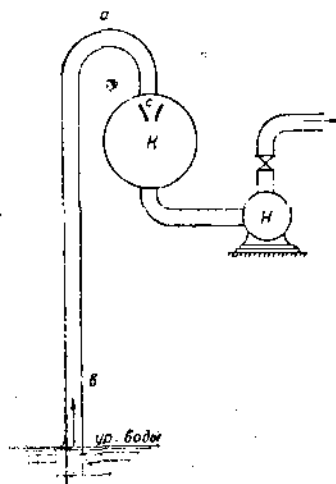


Фиг. 163. Схема с двумя всасывающими водоводами для трех насосов.

исчезают всякие осложнения, связанные с работой трех насосов из двух всасывающих труб, поэтому трем отдельным всасывающим трубам надо отдать предпочтение.



Фиг. 164. Схема с двумя всасывающими водоводами для трех насосов.

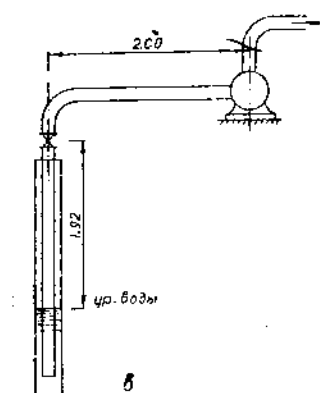


Фиг. 165а. Приспособление для самовсасывания; *b* — всасывание из скважины.

Непрерывность подачи воды станцией требует также не менее двух нагнетательных водоводов. На фиг. 162 на напорном водоводе помещено шесть задвижек, по изложенным уже соображениям в точке 3 нужны две задвижки. Задвижки на напорных трубах от насосов обыкновенно ставятся у самого насоса $k'k'$; этим избегается загромождение прохода kk и облегчается несколько управление насосом при пуске (не нужно отходить от насоса к задвижке K).

Инж. Кенингем также указывает на затруднения при всасывании несколькими насосами из одного водовода и поэтому рекомендует для каждого насоса отдельную трубу. В Германии станции постройки А. Тима (фиг. 204) имеют от-

дельные всасывающие линии для каждого насоса, но постройки новейшего времени резко порывают с этим правилом и допускают всасывание пятью насосами из одной всасывающей линии.



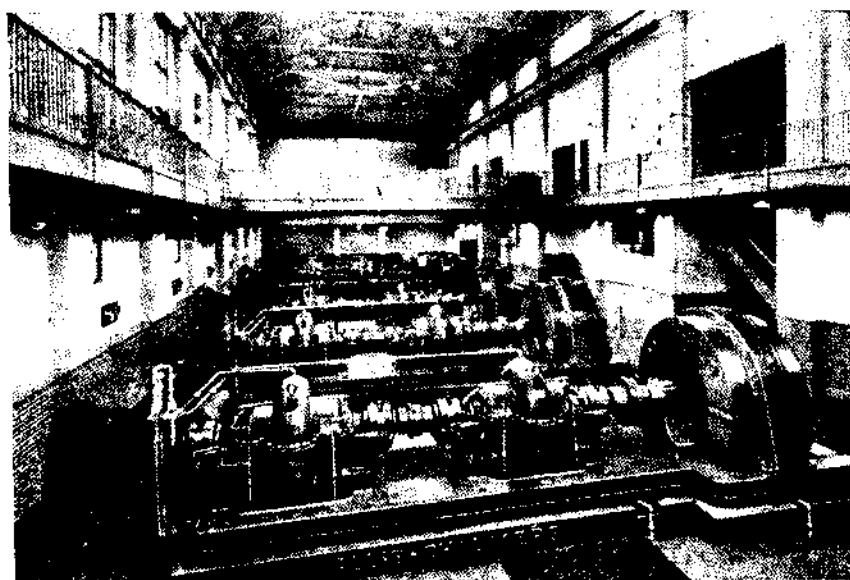
Фиг. 165b. Установка пробной откачки.

Лет восемь тому назад в английских журналах было опубликовано изобретение, дающее возможность самовсасывания центробежным насосом. Выше насоса *H* (фиг. 165a) помещается котел *K*, соединенный снизу с насосом, а сверху со всасывающей трубой *ab*. Перед пуском котел и насос наполняются водою, труба *ab* остается пустою. После пуска насос выкачивает из котла *K* воду; вследствие этого в котле и в трубе *ab* получается разрежение, достаточное для подъема воды по трубе *ab* в котел *K*; таким образом обеспечивается приток воды к насосу, воздух же постепенно высасывается из котла благодаря инжекторному действию сопла *c*.

В связи со всем изложенным интересно привести случай из практики автора. При пробной откачке из скважины из-за отсутствия всасывающего клапана поместили задвижку на всасывающей трубе, как показано на фиг. 165b, на 1,90 м выше уровня воды в скважине; длина горизонтальной части трубы была около 2 м и при таких условиях пуск насоса удавался.

20. Последовательная работа насосов

При недостаточном напоре, создаваемом одним насосом, иногда пропускают воду через другой насос такой же производительности для повышения напора на требуемую величину. У нас такие установки встречаются редко, в Англии же



Фиг. 165c. Насосная станция г. Питсбурга.

и Америке — это частое явление, причем оба, а иногда и три, насоса приводятся в действие одним электромотором при посредстве эластических муфт.

На фиг. 165c показана такая станция в г. Питсбурге с насосами фирмы А. Чалмерс. Всего на станции 6 агрегатов, состоящих каждый из одного мотора и двух

одинаковых насосов. Два агрегата имеют насосы по 91 000 м³ в сутки с общим напором обоих насосов 82 м; мощность мотора—1500 л. с. Четыре других агрегата подают по 106 000 м³ в сутки каждый на высоту 110 м. Мощность каждого мотора — 2250 л. с.; число оборотов всех агрегатов — 720.

Общий коэффициент полезного действия каждого агрегата от электросети к воде 85%.

Почему вода подается последовательно через два насоса, вместо того чтобы применить один двухколесный насос? При современном состоянии насосостроения самым высоким коэффициентом полезного действия обладает одноколесный насос с двухсторонним всасыванием и высотой напора не более 60 м. Поэтому при больших напорах выгоднее применить два последовательно работающих насоса, чем один двухколесный. Невыгодно также увеличивать число оборотов одноколесного насоса для повышения напора. Коэффициент полезного действия указанных насосов больших размеров доходит до 90% и выше.

21. Водяные удары и борьба с ними

В напорных трубопроводах при быстром закрытии задвижек возникают водяные удары. Основные исследования по этому вопросу произведены Жуковским и Алиеви. При внезапной остановке насоса получается более сложное и мало изученное явление: сначала вода продолжает двигаться в прежнем направлении и создает пониженное давление, потом движение поворачивается обратно и, если перед насосом нет обратного клапана, то вода пойдет через насос и начнет вращать его в обратную сторону; при большом напоре в водоводе скорость вращения насоса и мотора становится чрезмерно большой и опасной для агрегата. Кроме того, вымываемые из трубы, случайно попавшие туда предметы могут повредить колесо насоса.

Чтобы не допустить обратного тока воды через насос, обыкновенно устанавливаются обратные клапаны. Но быстрое закрытие обратного клапана при обратном движении воды создает водяной удар, т. е. повышение давления, опасное для прочности труб и стыков. Для борьбы с этой опасностью принято ставить при обратных клапанах предохранительные клапаны; но обыкновенный предохранительный клапан действует неудовлетворительно. Подъем его начинается только тогда, когда давление уже поднялось выше нормального. Кроме того, благодаря инерции, клапан поднимается недостаточно быстро по сравнению с быстротой подъема давления и потому давление успевает достигнуть большой величины. Быстрое закрытие этого клапана поддерживает колебания ударной волны, мешая ее успокоению.

При небольших напорах устройство водяной колонны или башни издавна применялось с большим успехом для ликвидации водяных ударов.

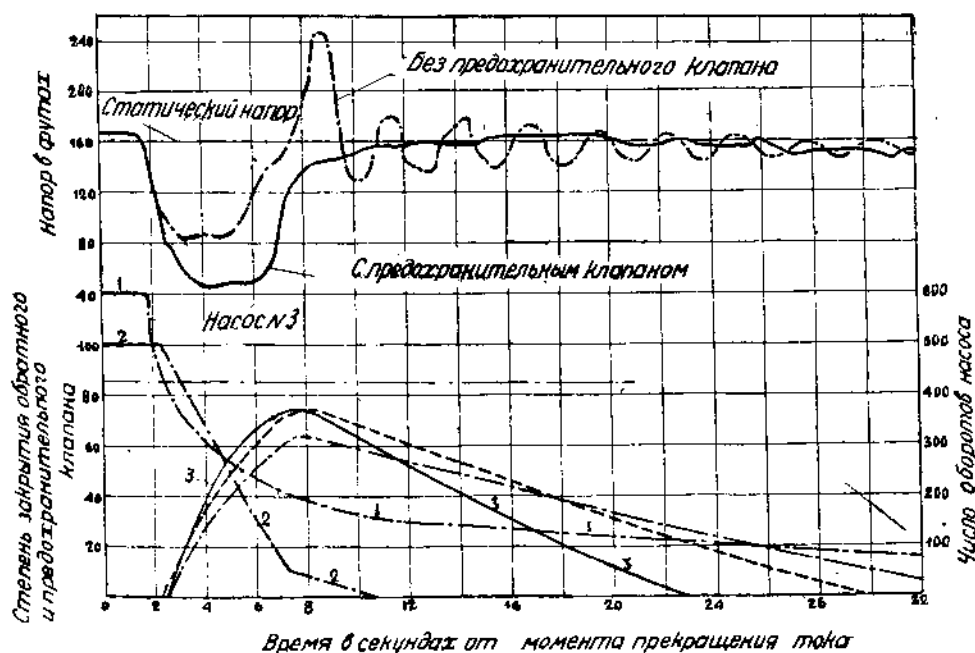
Установкой на нагнетательной трубе воздушного котла достаточных размеров, определяемых расчетом, можно ослабить удар до желаемой степени. Но тут возникает затруднение: воздух постоянно растворяется в воде; чтобы поддерживать необходимый объем его, в котле нужна периодическая автоматическая работа компрессора, что усложняет устройство.

Новый американский предохранительный клапан Surge Suppressor устроен таким образом, что открытие его начинается одновременно с прекращением подачи электроэнергии и до подхода обратной волны он достигает полного открытия, благодаря чему избыток воды успевает вылиться во-время и давление таким образом не поднимается выше нормального. Закрытие клапана происходит медленно.

На фиг. 165d (Water Works Engineering, September 20, 1933, г.) пунктирная кривая сверху показывает ход давления без предохранительного клапана, а сплошная кривая — после постановки предохранительного клапана указанной конструкции. Рабочее давление в насосе было около 160 фут. (50 м). После перерыва тока давление падает в течение 2 секунд, затем обратная волна поднимает его до 75 м, после чего идут затухающие колебания.

После постановки предохранительного клапана давление падает ниже сейчас же за прекращением тока благодаря свободному истечению воды через открытый клапан; потом давление поднимается только до статического напора.

Интересны нижние кривые: первая из них показывает число оборотов насоса после прекращения тока. Насос по инерции продолжает вращаться и через 30 секунд еще сохраняет почти 100 оборотов из первоначальных 600. Вторая ломанная линия показывает скорость закрытия обратного клапана. Все время закрытия клапана — 7 секунд. Под конец кривая делает излом, становится положе и закрытие замедляется, чтобы избежать удара клапана о седло. Третья кривая сплошная и две того же типа кривые пунктирные изображают открытие и закрытие предохранительных клапанов. Было установлено три одинаковых предохранительных клапана; диаметр отверстия каждого клапана — 300 мм.



Фиг. 165d. Диаграмма напора и открытия клапанов.

При одном клапане достигалось только смягчение удара, но не полное его устранение. Отношение площади отверстий всех клапанов к сечению трубы 1 : 12. Открытие клапана начинается сейчас же после перерыва тока и в 5—6 секунд достигает своей полной величины. Закрытие же идет медленнее—16—30 секунд.

Кривые сняты на насосной станции Кротонского озера Нью-Йоркского водопровода, где имеется три насоса производительностью 246 000 м³ в сутки каждый; моторы — по 3000 л. с. с числом оборотов 600. Диаметр водовода 1830 мм и длина его — 480 м (W. W. E., 1933 г. 20 сентября).

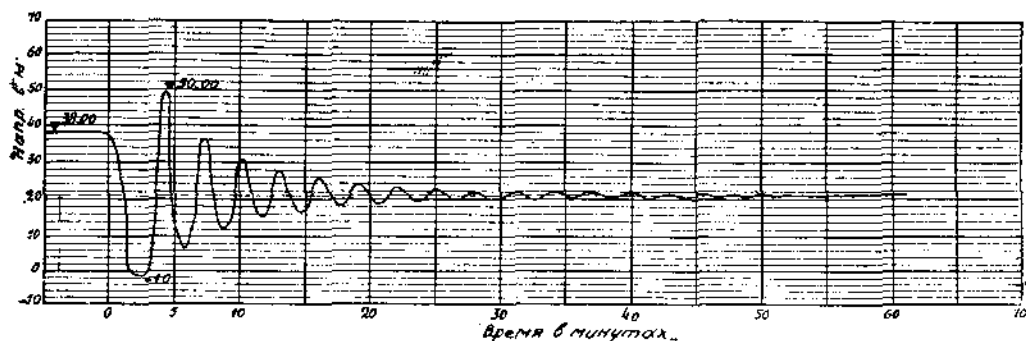
Воздушный котел. Благодаря малой длине водовода в предыдущем случае обратная волна появляется очень быстро,—через 5—6 секунд. На фиг. 165 изображена диаграмма колебаний в воздушном котле, установленном на 29-километровом напорном водоводе от Лецлингер-Гейде до Магдебурга (GW, №19, 1933 г.). Объем воздушного котла — 15 м³; установлен он на насосной станции с целью ослабления водяных ударов при внезапном прекращении тока. Диаметр водовода — 800 мм, расход — от 30 000 до 40 000 м³ в сутки. Благодаря большой длине водовода длина волны здесь уже измеряется не секундами, а минутами.

Статическое давление здесь 21,2 м. Рабочий напор на насосах 38 м. Обратная волна поднимается до 50 м, т. е. только на 12 м выше рабочего напора. Если бы не было воздушного котла, она достигла бы гораздо большей величины.

Затухание волны требует не менее получаса. Клапаны Нью-Йоркского водопровода лучше выполняют свое назначение, чем воздушный котел Магдебурга, так как они достигают полного погашения обратного удара.

Воздушные котлы на Рублевской станции Московского водопровода расположены горизонтально над напорными трубами и соединены с ними патрубками такого же диаметра, как и трубы.

Pelton Surge Suppressor изготовляет Baldwin South Work Corp. Southwork Division Philadelphia.



Фиг. 165е. Диаграмма колебаний напора.

Гидравлическая задвижка как обратный и предохранительный клапан. В качестве запорного клапана в Мангейме на новой станции Rheinau установлена кольцевая задвижка фирмы «Релинг», показанная детально на фиг. 128, служащая в то же время и водомером. Эта же задвижка служит одновременно обратным и предохранительным клапаном. Привод задвижки — гидравлический от напорного водовода, но не непосредственно, а через аккумулятор (фиг. 165f). При нормальном статическом давлении в водоводе вода из него по небольшому ответвлению и через обратный клапан попадает в аккумулятор, поднимая груз.

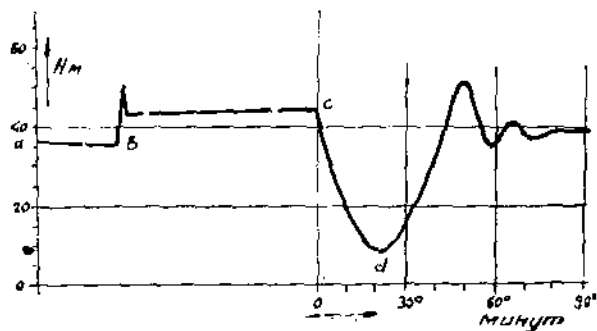
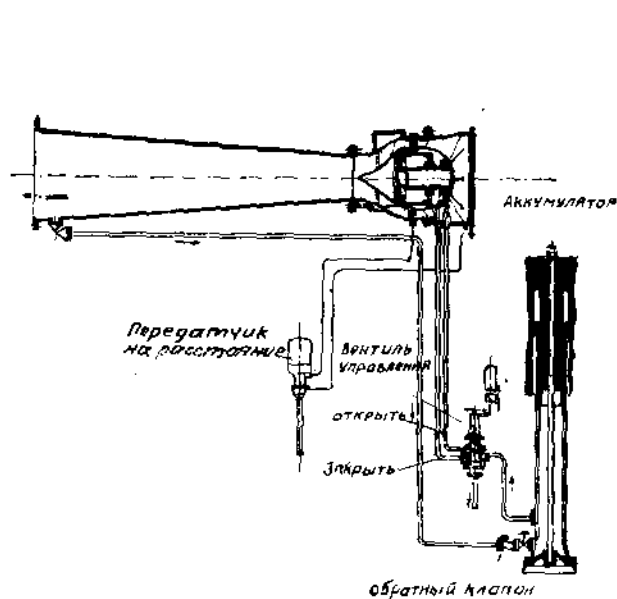
Из аккумулятора вода по особой трубке идет к распределительному крану. При нормальной работе задвижка открыта; как только прекращается ток в моторе, электромагнит от того же тока перестает удерживать распределительный кран в состоянии открытия задвижки; под давлением веса или пружины он переставляется в положение закрытия — и задвижка закрывается. Но объема воды в аккумуляторе хватает только на закрытие ее на $\frac{4}{5}$. В это время в трубоводе давление падает низко, как показывает диаграмма фиг. 165f, и обратный клапан аккумулятора закрывается, а вода из водовода через открытую на $\frac{1}{5}$ задвижку вытекает через насос; когда обратная волна поднимает давление в трубоводе, вода из него снова пойдет в аккумулятор, а из аккумулятора — в задвижку и закроет ее до конца.

На фиг. 165f показана диаграмма давления в напорном водоводе. На участке *ab* — статическое давление, в точке *b* — пуск мотора и до точки *c* — динамическое давление; в точке *c* — остановка мотора и падение давления под влиянием продолжающей двигаться по инерции воды; в точке *d* начинается обратная волна с другого конца водовода; она поднимается немного выше динамического напора и быстро успокаивается.

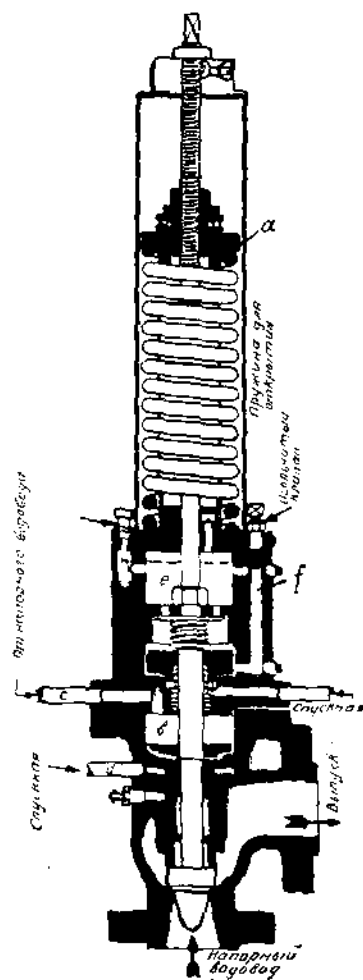
Это устройство отличается простотой и применимо как при кольцевой, так и при клиновой гидравлической задвижке. Тут видно, насколько гидравлическое управление задвижкой при насосе выгоднее электрического: оно дает возможность задвижке легко выполнять, кроме своего назначения, еще два дополнительных, а именно: обратного клапана и предохранительного клапана (gWF 1930 г., № 28).

Новая насосная станция г. Локпорта штата Нью-Йорка оборудована гидравлической задвижкой, служащей обратным и предохранительным клапаном (I. A. W. W. A., 1932 г. april).

Применение запорной задвижки в качестве предохранительного клапана связано однако с опасностью, что обратный ток воды через насос, хотя бы и уменьшенный прикрытием задвижки, при значительной продолжительности приведет агрегат в чрезмерно быстрое и опасное вращение в обратную сторону. Поэтому гораздо лучше применение особого клапана, названного американцами Surge Suppressor—поглотитель удара.



Фиг. 165f. Кольцевая задвижка с аккумулятором.



Фиг. 165g. Поглотитель удара.

На фиг. 165g представлен разрез такого клапана с отверстием 100 мм. С виду он похож на обыкновенный пружинный предохранительный клапан, но здесь пружина не закрывает, а открывает клапан, напирая на верхний фланец *a*.

Закрывание же клапана производится напором воды трубопровода на диск *b*. В закрытом состоянии клапан держится разностью давлений на диск *b* сверху и на клапан *k* снизу. Напорная вода подводится к диску *b* трубкой *c*. Трубка *d* дренирует воду, просочившуюся через уплотнение диска, чтобы не создалось противодавление.

При падении давления в трубоводе после остановки насоса, пружина преодолевает напор на диск *b* и открывает клапан; при повышении давления от обратной волны клапан снова закрывается.

Быстрота открытия и закрытия регулируется масляным тормозом, причем открытие совершается в три-четыре раза быстрее, чем закрытие. Достигается это тем, что масло передвигается с одной стороны поршня на другую не только

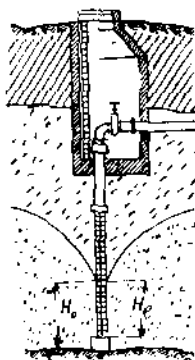
через дыры поршня, но и через обводный канал с игольчатым клапаном *f*. Клапан пропускает масло только сверху вниз при открытии; снизу же вверх клапан масла не пропускает, поэтому оно принуждено передвигаться только через отверстие поршня, т. е. в три-четыре раза медленнее.

«Обычный обратный клапан бывает достаточно там, где скорость движения воды низка и где напорная линия очень коротка или где нагнетание производится в водопроводную сеть, которая сама ослабляет удары»¹.

VI. РАСПОЛОЖЕНИЕ СТАНЦИЙ. ЗДАНИЕ СТАНЦИИ

1. Расположение станций относительно скважин

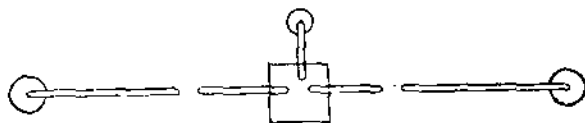
Насосное здание часто строится непосредственно над скважиной, так что скважина помещается внутри здания, как и при поршневых насосах; но здесь это сравнительно редкий случай; скважины чаще всего располагаются вне здания. При расположении скважины в здании в потолке над скважиной должен быть оставлен люк достаточных размеров для производства работ по ремонту скважины и постановке и опусканию всасывающих труб.



Фиг. 166. Колодец над скважиной.

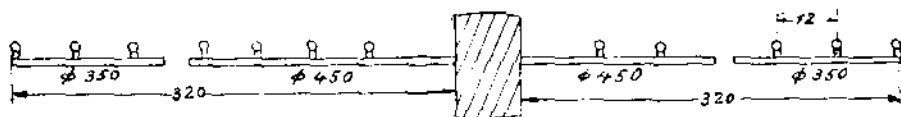
Если станция обслуживает несколько скважин, тогда над каждой скважиной устраивается смотровой колодец (фиг. 166).

При эксплуатации одного воденосного горизонта скважины приходится располагать на расстоянии нескольких



Фиг. 167. Скважины на Верецаковке.

десятков метров одна от другой, чтобы уменьшить взаимное влияние скважин, выражающееся в уменьшении дебета каждой из них. Только путем испытаний первых двух-трех скважин можно выяснить наиболее выгодное расстояние



Фиг. 168. Мытищенская станция.

между скважинами. При близком расположении скважин удобно оборудование их и эксплуатация, но зато понижается дебет каждой скважины. При редком расположении имеет место как раз обратное явление: хорош дебет, но затруднительнее оборудование и эксплуатация.

В Харькове меловые скважины на Верецаковке соединены по три в одну станцию. Расстояние между скважинами 80 м, насосная станция расположена посредине между ними (фиг. 167). Мытищенская станция московского водопровода при первом устройстве обслуживала 50 скважин. Все скважины, как показано схематически на фиг. 168, расположены в один ряд на расстоянии в среднем 12 м одна от другой. В середине линии скважин на 6 м ниже поверхности располо-

¹ Symposium on Water Hammer, 1933 г. При бедности литературы по водным ударам в трубах названное издание представляет большой интерес. К сожалению, оно не могло быть использовано полностью из-за позднего получения.

жена насосная станция, забирающая воду путем двух всасывающих ветвей из всех 50 скважин. Над каждой скважиной устроен деревянный колодец. Длина каждой всасывающей ветви, обслуживающей 25 скважин, 320 м; диаметр — от 350 до 450 мм. Общий дебет—свыше 200 л/сек. Глубина скважины—около 25 м.

Впоследствии для усиления подачи воды из скважин, что связано с понижением уровня воды в них, пришлось поставить в каждую скважину вертикальный центробежный насос. Это была первая установка вертикальных центробежных насосов в России.

При эксплуатации двух или нескольких водоносных горизонтов скважины могут располагаться очень близко одна от другой. Многие подстанции харьковского водопровода обслуживают две скважины: одну подмеловую, глубиной 640 м и другую, рядом расположенную меловую, глубиной около 100—120 м. Такая совместная эксплуатация скважин разных горизонтов одним насосом возможна только при небольшой разнице статических уровней обоих горизонтов. Интересно отметить, что подстанция № 10 обслуживала три скважины — одну подмеловую и две меловых, расположенных в нескольких метрах одна от другой. Несмотря на такую близость, меловые скважины почти не оказывали никакого влияния одна на другую. Такое явление очевидно объясняется своеобразным расположением трещин, по которым циркулирует вода в мелу.

Одна скважина с одним насосом не обеспечивает непрерывности водоснабжения: в случае ремонта насоса или мотора подача воды прекращается. Два насоса с моторами устранят этот недостаток только отчасти, потому что на случай ремонта скважины и два насоса не помогут. Непрерывность подачи воды, очевидно, может быть обеспечена только двумя скважинами и двумя насосами с моторами при них.

Если потребность в воде по сравнению с дебетом скважины невелика, тогда можно устроить одну скважину недалеко от другой; роль второй скважины в этом случае будет запасной. При других же условиях скважины обыкновенно располагают в 20—100 м друг от друга, но насосы устанавливают в общем здании; удобнее всего это сделать посредине между скважинами.

2. Сифоны

При неглубоком расположении уровня грунтовых или артезианских вод чаще всего подвод воды из многих скважин к одной станции делается посредством сифонов. Отказываться от сифонов приходится только тогда, когда рабочий уровень в скважинах падает ниже поверхности земли на 9—10 м.

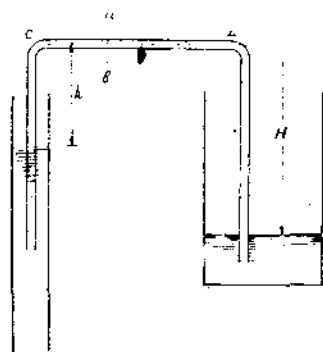
Сифоны очень распространены в Германии, где около 90% всех водопроводов питаются подземной и главным образом неглубоко лежащей грунтовой и речной водой, фильтрующейся через берега рек и озер. Сифонное устройство дает возможность понизить уровень воды в скважине до 8 м и облегчает контроль за подводом воды к станции, разделяя сифонным колодцем заборный водовод на две части: сифонную и всасывающую. В тех случаях, когда по топографическим условиям сборный водоприемник расположен на несколько метров ниже поверхности скважины, подача воды из водоприемника может производиться самотеком, без подъема насосами (Шолларский сифон бакинского водопровода); обычно же из сборных водоприемников вода забирается насосами.

Длина отдельной сифонной линии доходит иногда до 4—6 км и более, а обслуживаемое количество скважин — до нескольких сотен (сифоны берлинских водопроводов из Мюггельзее и проч.).

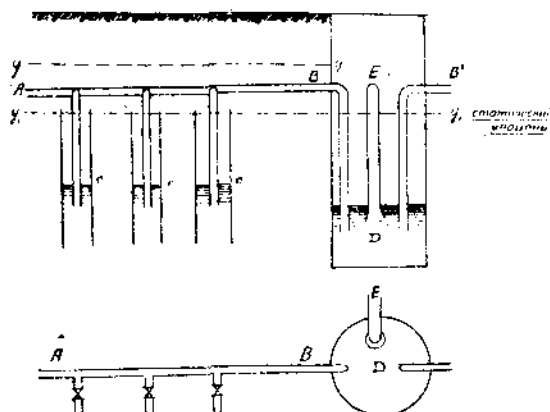
Принцип действия сифона (фиг. 169) состоит в том, что на сечение ab трубы CD , заполненной водой, действует со стороны C давление, равное атмосферному минус высота h , а со стороны D — то же атмосферное давление, но без водяного столба H . Так как $H > h$, то давление со стороны C больше, чем со стороны D , поэтому вода и движется со стороны большего давления в сторону меньшего. Движение будет продолжаться до тех пор, пока существует разность уровней, определяемых высотами h и H . При $h = H$ движение прекратится.

Схема сифонного оборудования скважин показана на фиг. 170 в плане и профиле. AB — сифонный водовод; cc — отдельные буровые колодцы; D — сифонный

водосборник, откуда вода забирается насосами через всасывающую трубу *Е*. Один водосборник может обслуживать несколько сифонных линий, в данном случае две линии *АВ* и *В'*, соединяющие ряд колодцев, расположенных по одну и по другую сторону сифонного водосборника. Устройство водоприемника показано на фиг. 171. Каждый колодец на случай ремонта отделяется от сифонного водовода задвижкой. На фиг. 146 показано оборудование колодца водомером и задвижкой перед присоединением его к сифонному водоводу. Последнее лучше делать под косым углом, как показано на фиг. 171а. Здесь большой сифонный водовод уложен в тоннеле для удобства наблюдения за ним.

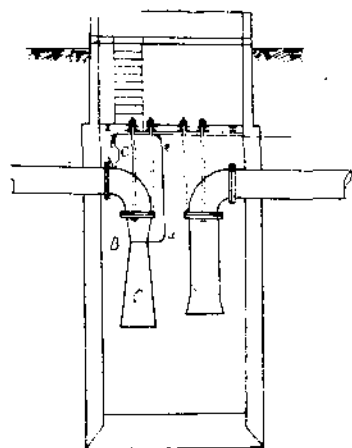


Фиг. 169. Схема сифона

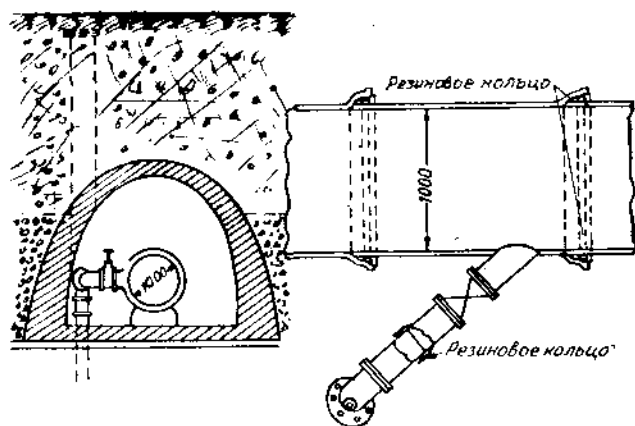


Фиг. 170. Схема сифонного оборудования.

Если статический уровень во время остановки работы поднимается выше сифона *уу* (фиг. 170), тогда сифон заполняется водою, и зарядки не требуется; в большинстве же случаев статический уровень бывает ниже сифонного водовода *уу*.



Фиг. 171. Устройство сифонного водоприемника.

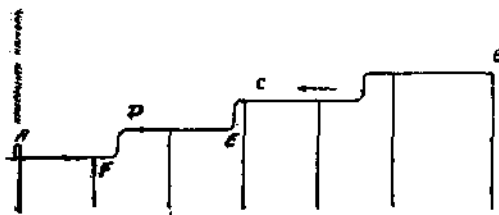


Фиг. 171а. Сифон в тоннеле.

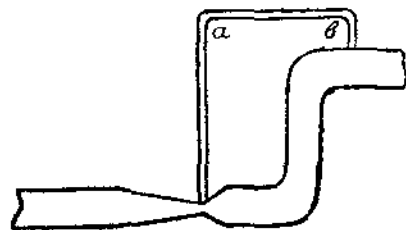
в таком случае сифон, прежде чем пустить его в работу, надо заполнить водою т. е. зарядить. Для этой цели служит вакуум-насос; при отсасывании из сифона воздуха он наполняется водою.

Чтобы воздух не проникал в сифон, стыки сифонных труб должны заделываться очень тщательно. В Германии, как уже упоминалось, с успехом применяют рас-трубные соединения с резиновыми кольцами. Но как бы хорошо сифон ни был защищен от наружного воздуха, появление воздуха в сифоне неизбежно, потому

что воздух при уменьшении давления выделяется из воды. Растворимость газов в воде прямо пропорциональна давлению. Чтобы выделяющийся из воды воздух не скопился и не образовывал препятствий для движения воды, необходимо сифонный водовод укладывать с непрерывным подъемом, лучше по движению воды, — тогда пузырьки воздуха вместе с водой будут передвигаться к водосборнику, и при повороте сифона в водосборнике вниз С (фиг. 171), воздух начинает скопляться перед поворотом, откуда его нужно удалять. Для этой цели поставлен воздушный колпачок и трубка от него к вакуум-насосу.



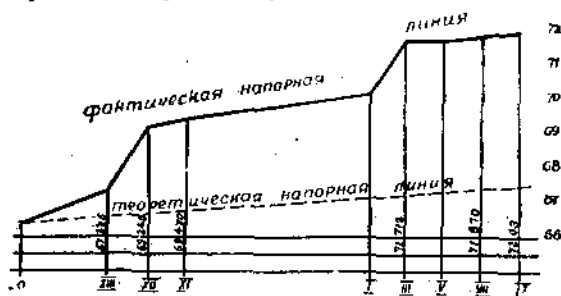
Фиг. 172. Бакинский сифон с перепадами.



Фиг. 173. Труба Вентури для удаления воздуха.

Автоматического удаления воздуха можно достигнуть путем устройства в конце нисходящего колена сифона трубы Вентури и сужение этой трубы В соединить с местом скопления воздуха С трубкой *дв*. Эта конструкция предложена впервые проф. Ю. В. Ланге, а после пришла к нам из Германии как новинка (фиг. 171).

Сифон бакинского водопровода (фиг. 172) очень отличается от типичной формы сифона. Поверхность у приемной камеры значительно ниже, чем у самого дальнего



Фиг. 174. Диаграмма работы Бакинского сифона.

из участков BC, CD сифонная труба уложена с подъемом в 0,001 по направлению течения воды. Таким образом воздух движется вместе с водой, но у перепада в точках С и D останавливается. Чтобы перевести воздух из точки С в нижний водовод ED, участок вертикальной трубы SE делается меньшего сечения, чтобы довести скорость до 2 м/сек; при такой, и даже меньшей, скорости воздух переносится током воды из точки С в точку Е, откуда по подъему в 0,001 движется к точке D и т. д. Автоматическое удаление воздуха на бакинском сифоне происходит вполне удовлетворительно. Проф. Ланге предложил вместо сужения перепадов вставлять ниже перепада трубу с сужением (фиг. 173), тогда пониженное давление в сужении С вызовет засасывание воздуха сверху по трубке *ав*.

Сифонные водоводы следует рассчитывать с запасами на 10—20%, так как воздух, выделяющийся из воды, увеличивает объем смеси воды и воздуха по сравнению с одной водой. При полном насыщении вода может растворить при 10° С до 30 мг на литр воздуха. Объем этого воздуха в 800 раз больше, т. е. 24 см³. При высоте подъема сифона 8 м разрежение достигнет 0,2 атм., следовательно, объем воздуха увеличится в 5 раз, т. е. достигнет 120 см³ или 12% от объема воды.

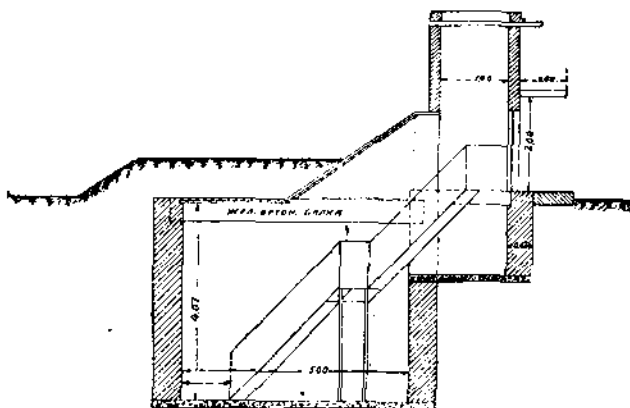
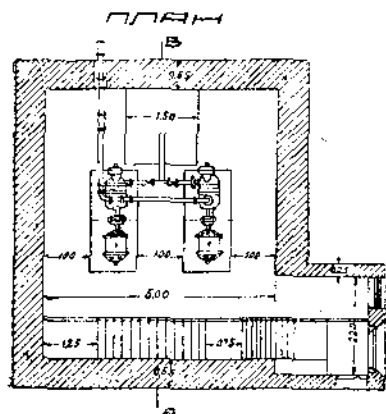
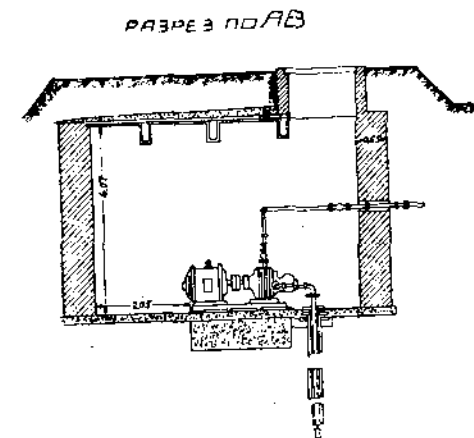
Проверка работы бакинского сифона была сделана автором в 1925 году. На фиг. 174 изображена диаграмма давлений в сифоне, определенная замером уровней во всех скважинах. Кривая напоров или, вернее, вакуумов идет вообще параллельно кривой расчетных напоров, начерченной пунктиром, но в двух местах обнаружены резкие подъемы, вызванные, очевидно, какими-то неисправностями в этих местах. Впоследствии, когда эти неисправности были открыты и устранены, кривая напоров приняла правильное положение.

Более подробные сведения о сифонах можно найти у Сурина—«Водоснабжение»; Гениева — «Промышленное водоснабжение»; об исследовании бакинского сифона — «Санитарная Техника», 1926 г.

3. Здание насосной станции

Для обслуживания одной или немногих скважин устраиваются небольшие насосные станции. Большие насосные станции, обслуживающие десятки, а иногда и сотни скважин (Берлинский водопровод, Рур и т. д.), в своем устройстве не отличаются от больших насосных станций для поверхностных вод. Уровень расположения насосной станции всецело зависит от рабочего уровня воды в скважине. Чаше всего станции приходится углублять, чтобы приблизить насосы к воде. Большому углублению препятствуют обыкновенно грунтовые воды, поэтому углубление станций редко идет далее 10 м.

При высоком стоянии грунтовых вод и в особенности в плавунках работу приходится часто вести опускным способом. В этом случае круглая форма станций является наиболее выгодной. Здания прямоугольной формы, хоть и более тяжелые в конструкции, также легко поддаются опусканию в плавунках.



Фиг. 175. Проект насосной станции для Березовских минеральных вод.

При невысоком стоянии грунтовых вод здания возводятся обыкновенно из хорошо обожженного кирпича. Если рассчитывать толщину стенок на давление грунта, то она выйдет значительной. При грунтах глинистых и лесовых давлением земли можно пренебречь, так как в действительности его нет, и стены выемок держатся вертикально. Толщина стенок в 2—2,5 кирпича бывает в таких слу-

чаях вполне достаточна при глубине 4—6 м, нужно только стены класть или впритык к стене котлована или хорошо трамбовать засыпанный промежуток между ними.

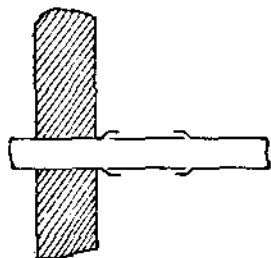
Бетонное дно в случае давления грунтовой воды снизу должно быть заменено железобетонным, рассчитанным на давление столба воды, определяемого самым высоким горизонтом стояния грунтовых вод. Состав бетона должен быть рассчитан на водонепроницаемость. Стены должны быть хорошо оштукатурены снаружи до уровня самых высоких грунтовых вод. Обсадные трубы при бурении подвешиваются на хомутах; в этих же хомутах они и забетонировываются в дне (фиг. 175). Железобетонное или бетонное по железным балкам перекрытие должно быть рассчитано на нагрузку слоем земли в 1—1,25 м для отопления. Над скважиной, если она внутри здания, должен быть в перекрытии люк. Вход в станцию должен быть сделан в виде лестницы, чтобы доступ в здание был удобный (фиг. 175).

При расположении станции на метр и ниже уровня высоких грунтовых вод необходим уже расчет стей на давление грунта с водой. В этом случае необходимо предусмотреть удобный сток по полу просачивающейся грунтовой воды к приямку, откуда она может выкачиваться насосом. Часто для этого применяют стенные ручные насосы Альвейера.

4. Ввод труб в здание

При проходе чугунных труб через стены здания вследствие осадки здания легко может произойти поломка трубы. Чтобы предупредить это, в сухих грунтах трубу не заделывают прочно в стену, а оставляют для нее отверстие, чтобы и при осадке здания стена не надавила на трубу.

Если вход трубы в здание расположен в грунтовой воде, тогда, конечно, трубу надо очень тщательно заделать в стене, причем лучше это делать одновременно с кладкой самой стены, так как в этом случае легче добиться хорошей, плотной заделки трубы. Железные трубы здесь удобнее чугунных — в виду отсутствия у них хрупкости. При чугунных же трубах следует сейчас же за стеною устраивать два свинцовых стыка, которые позволят трубе изменить свое положение при осадке стены, не ломая ее (фиг. 176), или же применить здесь стык Жибо.



Фиг. 176. Ввод труб в здание.

При выкопке котлованов для станций и рвов для труб часто ошибаются и выкапывают на большую глубину, чем нужно, затем трубы укладывают на подсыпанный грунт, причем от давления насыпанной на них сверху земли трубы часто ломаются. Необходимо неукоснительно соблюдать правило, чтобы труба лежала на естественном грунте, в случае же небольшой перекопки можно подсыпать щебень, хорошо утрамбовав его в грунт, или хороший песок, утрамбованный с поливкой водой. При глубокой же перекопке лучше класть трубы на каменных или бетонных столбах или стенках.

5. Здания средних и больших станций

Устройство больших станций для подземных вод ничем существенным не отличается от насосных станций для речных вод. Речные воды должны очищаться, поэтому речная станция должна иметь насосы двух подъемов: первый подъем подает сырую воду на очистные сооружения, а второй — очищенную уже воду подает в город; если же по местным условиям совместить в одном здании оба подъема невозможно, то устраиваются две отдельные станции.

Подземные воды нередко также приходится очищать от железа; в таком случае и здесь приходится устраивать первый подъем на обезжелезивающие сооружения и уже очищенную воду вторым подъемом подавать в город. Насосы второго подъема обыкновенно помещаются на поверхности, и поэтому и здания для них

строятся обычного типа. Насосы же первого подъема приходится понижать, чтобы достигнуть допустимой высоты всасывания при рабочем уровне в скважинах. Это вызывает в свою очередь необходимость углубления здания насосной станции первого подъема часто значительно ниже уровня грунтовых вод. Если же станция для первого и второго подъемов общая, то здание делится на две части: пониженную — для насосов первого подъема и нормально расположенную на поверхности земли — для насосов второго подъема.

В таком же положении находятся и речные станции. Насосы первого подъема приходится располагать в углубленной в землю части здания, чтобы высота всасывания от самого низшего уровня в реке не превосходила 4—6 м. Во время весеннего половодья уровень в реках поднимается так высоко (на Днепре — до 8 м, на Волге — до 15 м), что стены станции оказываются под большим напором речных или поднятых грунтовых вод.

Первый подъем может производиться штанговыми насосами, горизонтальными и вертикальными центробежными насосами и эрлифтами (как в Харькове). После обезжелезивания в случае надобности, а то и непосредственно первым подъемом вода подается в резервуар и из него насосной станцией второго подъема — в город.

Заглубленные ниже уровня грунтовых вод станции первого подъема теперь обычно строятся из железобетона. Стены рассчитываются на давление не только воды, но и разжиженного грунта. Рамные конструкции оказываются экономнее конструкций по образцу подпорных стен. Железобетонный пол станции должен выдерживать давление воды снизу вверх от столба воды, считая с основания пола до наивысшего уровня грунтовых вод. При большом заглублении конструкция пола получается тяжелой. Устойчивость станции должна быть проверена на пловучесть. Веса здания часто бывает недостаточно для противодействия подъему его давлением воды. Приходится иногда увеличивать толщину стен. Более дешевый способ увеличения устойчивости здания состоит в выпуске пола станции за ее стены; таким образом вокруг здания получается панель; давлением земли на эту панель легко противодействовать всплыванию станции. Для полного обеспечения устойчивости станции вес ее вместе с земляной загрузкой на панель должен превосходить максимальное давление воды процентов на 25—50. В запасе еще остается трение стен о землю.

6. Изоляция станций от воды

Важной задачей при устройстве станций является достижение непроницаемости стен и пола для воды. В резервуарах для воды обыкновенно ограничиваются штукатуркой — цементным раствором 1:2 или 1:1,5. Небольшое просачивание через эту штукатурку, если оно случается, не имеет никакого значения для прочности резервуаров. Другое дело — насосная станция: в машинном зале должно быть сухо. Это важно для предупреждения ржавления металлов и для сохранения изоляции моторов и проч., поэтому стены и пол станции должны быть совершенно водонепроницаемы.

Самой лучшей изоляцией в настоящее время, повидимому, является покрытие стен кожтолем, т. е. плотным толем или рубероидом со смолою. Для изоляции пола по бетонной подготовке устилается толь или рубероид в два, иногда в три слоя, причем листы обильно смазываются смолою; швы перекрываются и на этом настиле набивается железобетонный пол. Стены должны быть покрыты в два слоя снаружи, причем толь приклеивается к стене, хорошо промазанной смолою, и в свою очередь хорошо смазывается для наклейки на него второго слоя. Стена, на которую наклеивается кожтоль, должна быть совершенно ровная, все недостатки бетонировки должны быть тщательно замазаны, иначе, если под толем окажется углубление в стене, давлением воды толь будет разорван и изоляция испорчена. Эта изоляция хорошо держится, если помещается между двумя стенками, поэтому кожтоль следует снаружи покрывать или тонкой бетонной стенкой или стенкой в $\frac{1}{2}$ кирпича.

Состав смолы, применяемой на Днепрострое и называемой пеколем, таков:

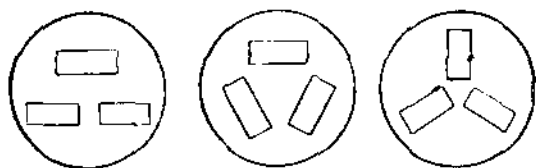
Пеколь № 1	Пеколь № 2
1 часть пека	1 часть пека
1 часть бензола	0,4 части газовой смолы
0,1 части канифоли.	0,2 части серы.

1 кг № 1 стоит 50 коп., № 2 — 30 коп. На покрытие 1 м² за два раза расходуется 400 г. Описанным способом изолировались обе береговые насосные станции Днепрокомбината — техническая и питьевая. Таким же образом изолирован Берлинский метрополитен.

Следует упомянуть здесь о другом способе достижения водонепроницаемости бетонных стен. Здание или резервуар на несколько дней наполняется известковой водой, т. е. насыщенным раствором извести. Растворимость извести 1 : 800. Затем стены смазываются несколько раз щеткой 5-процентным раствором квасцов и после этого также несколько раз 5-процентным раствором железного купороса.

7. Расположение насосов и труб

Насосы располагаются на станциях обыкновенно рядами, как показано на фиг. 199 и следующих. Расстояние между двумя соседними насосами делается от 1 до 2—3 м, в зависимости от величины насоса. В таких же пределах обычно колеблется и расстояние насосов от стен здания. Большая ширина здания невыгодна вследствие трудности перекрытия больших пролетов, поэтому станции обыкновенно развиваются в длину и насосы располагаются также в длину в один или два ряда.



Фиг. 177. Расположение насосов в круглом здании.

Электрическое оборудование станции становится тем сложнее и требует тем больше места, чем больше мощность станции. Проектирование помещений как самого машинного зала, так и пристроен для электрооборудования должно

быть согласовано со специалистом электротехником.

Углубленные ниже уровня грунтовых вод насосные станции нередко из-за статических выгод цилиндрической конструкции делают круглыми. Примерное расположение насосов в круглом здании показано на фиг. 177.

Трубы в насосной станции могут быть расположены частью в проделанных в полу каналах, частью в подвальной галлерее, а также над полом машинного здания, как на фиг. 154 и 155. Подвалы применяются для станций средних и крупных размеров, если пол станции находится на уровне или немного ниже поверхности земли. При заглублении станции, особенно ниже уровня грунтовых вод, устройство подвала становится дорогим, и тогда приходится обходиться каналами в полу, закрываемыми чугунными или железными рифлеными против скольжения плитами. Это обычный способ укладки труб в малых станциях, как более дешевый по сравнению с подвалами. При устройстве подвалов необходимо перекрытие над подвалом рассчитывать на нагрузку машинами, так как при монтаже и при ремонте машины, снятые с фундамента, ставятся на пол (обязательны деревянные подкладки для защиты плиток пола от раздавливания). Это обстоятельство сильно удорожает устройство перекрытия, но отказаться от этого нельзя, так как всякие предписания не нагружать пол машинами очень быстро забудутся.

Чтобы не передавать вибрации машин на перекрытие, для него иногда рядом с фундаментами машин устраивают особые опоры в виде столбов.

При значительном углублении станции в грунтовые воды пол станции несет большую нагрузку от давления воды снизу, поэтому устройство каналов становится обременительным; в таком случае всасывающие трубы укладываются прямо по полу, а напорные поднимаются вверх, выше человеческого роста, и поддержи-

ваются особыми подставками или кронштейнами. Для удобства перехода через лежащие на полу трубы устраиваются лестнички.

Если пол станции загроможден большими трубопроводами, тогда обыкновенно вокруг всего здания на некоторой высоте устраивается панель с лестницами для спуска к насосам (фиг. 155). Расширенная в одном месте панель служит в этом случае и площадкой управления. Кабели, подводящие ток к электромоторам, располагаются в подвалах или в особых каналах пола.

Пол машинного зала выстилается плитками, стены на некоторую высоту также часто обкладываются плитками. На станции необходимо поддерживать большую чистоту, так как пыль, попадая в подшипники, увеличивает трение и ускоряет срабатывание подшипников и шеек вала.

8. Стены, перекрытие, освещение, отопление

Стены наземных станций или наземной части станций делаются обыкновенно из кирпича, по последним распоряжениям не толще $1\frac{1}{2}$ кирпича. В стенах необходимы пилястры для подкрановых рельс, если на станции предполагается установка краев. Для средних и в особенности больших станций мостовой кран, обыкновенно ручной, считается обязательным. Малые же станции монтируются и ремонтируются посредством деревянных треног или козел. Высота стен должна быть такою, чтобы кран мог поднять насос или мотор и свободно пронести его над стоящими насосами. Сам кран требует определенной высоты — в зависимости от своих размеров. Для кранов выработаны стандартные размеры, к которым и надо приспособлять высоту здания.

В последнее время стали применять деревянные перекрытия для насосных станций, но это мера, несомненно, временного характера. Вообще же перекрытие лучше делать из негорючего материала вроде железобетона при применении пекобетона для тепловой изоляции. Раньше станции часто покрывались деревом по железным фермам с изоляционными слоями, например, из пробки. Деревянную подшивку можно штукатурить или окрашивать особой огнеупорной краской для уменьшения ее огнеопасности.

Современные станции делаются с возможно большими окнами для обеспечения хорошего освещения. Площадь окон к площади пола не менее 1 : 4. Для ночного освещения, если станция питается током высокого напряжения, необходима установка двух трансформаторов (одного резервного).

Для отопления малых станций применяются простые печи, большие станции отапливаются центральным водяным или паровым отоплением. Часто для станций не нужно особого отопления, так как теплота, выделяемая моторами, достаточна для обогрева помещения зимою. Если к. п. д. мотора 90%, а мощность его, например 300 л. с., то 30 л. с., теряемые в моторе, идут на нагревание станции; 1 л. с. час = 270 000 кал., что в переводе на калории даст $270\,000 : 427 = 623$ калории, а 30 л. с. дадут 18 960 калорий в час.

Таким образом легко подсчитать, сколько тепла развивают моторы в час; сравнив эту величину с теплоотдачей здания, увидим, нужен ли еще дополнительный подогрев. Если станция работает не круглые сутки, тогда отопление необходимо. При полном развитии станции тепла моторов часто бывает вполне достаточно для отопления, но в первое время при слабой работе станции его может оказаться недостаточно, — тогда лучше ограничиться постановкой временных печей. Если увеличение толщины стен может исправить тепловой баланс настолько, что даст возможность обойтись без отопления, следует увеличить эту толщину.

При станции обыкновенно устраивается небольшая мастерская, а также кладовая для смазочного материала и проч. Устройство клозета при станции допустимо только при наличии канализации, а при отсутствии ее нужно устраивать надворные уборные. При станции должен быть установлен кран с раковиной. Для борьбы с пожаром внутри и вне станции должно быть установлено по одному пожарному крану, а на больших станциях — и больше.

9. Смета

Нижеприведенные расценки оборудования насосных станций заимствованы из схемы водоснабжения Донбасса, разработанной Московским водоканалстроем в 1930 году. В виду изменчивости цен на них нельзя смотреть как на точные данные, но они все же дают представление об относительной ценности разных частей насосных станций крупного размера на основании опыта Водоканалстроя:

	Рублей
Насос центробежный высокого давления на 1 квт мощности	80
Электромотор переменного тока с салазками или фундаментной плитой 1 квт	50
Упаковка, перевозка, установка, пробный пуск норм на 1 квт	40
Трансформатор масляный с установкой на месте на 1 квт	50
Электрооборудование станции: подводка тока, распределительный щит, измерительные приборы, монтаж и проч.	40
Трубопроводы с задвижкой, установкой и опробованием	50
Здание станции со служебными помещениями для труб, задвижек и проч.	40
Всего на 1 квт установочной мощности	350
Если исключить трансформатор, который не всегда нужен, то стоимость 1 квт установочной мощности	300

В этой смете совершенно не учтено деление общей мощности на агрегаты. При дроблении агрегатов увеличится стоимость машин, а также механическое и электрическое оборудование. Сюда включены все накладные расходы строительных организаций. Стоимость станции принята для наземного простого здания. В случае углубления здания в грунтовые воды стоимость его может возрасти вдвое и даже более.

Обслуживающий персонал (по Водоканалстрою)

Заведующих станцией	1
Электромашинистов	4
Электромонтеров	3
Слесарей	3
Рабочих	3
Итого	14

Нужно признать, что обслуживающего персонала насчитано много.

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.

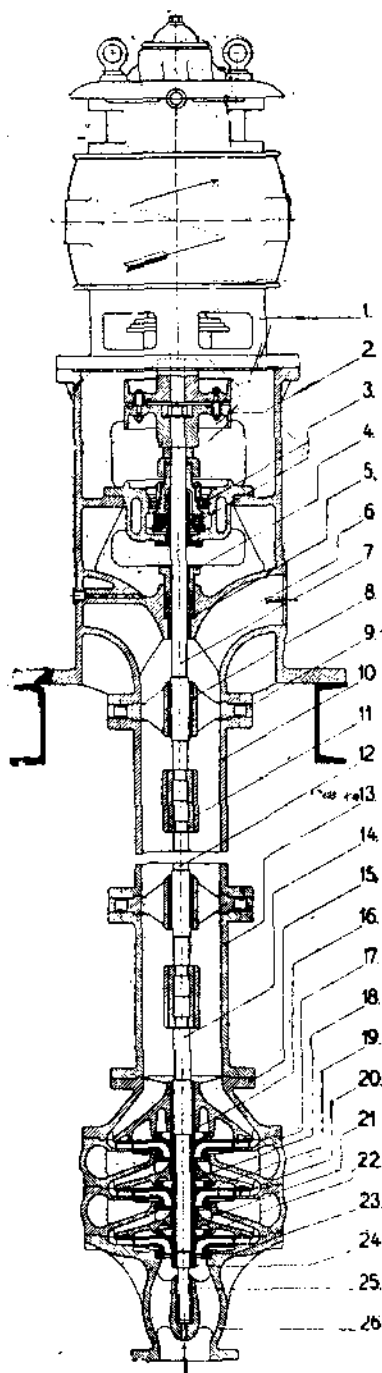
Рабочие колеса закрепляются на оси, помимо шпонок, концевой гайкой 24, а между колесами вставляются бронзовые втулки 27. Каждое рабочее колесо имеет два уплотняющих кольца снизу и сверху (спереди и сзади) колеса 22, 23; против каждого кольца рабочего колеса имеется такое же уплотняющее кольцо в неподвижном корпусе насоса. Щель между ними менее 1 мм. Уплотняющими кольцами отделяются пространства с разными напорами; благодаря малой величине щели утечка ничтожна.

Вал из сименс-мартеповской 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.

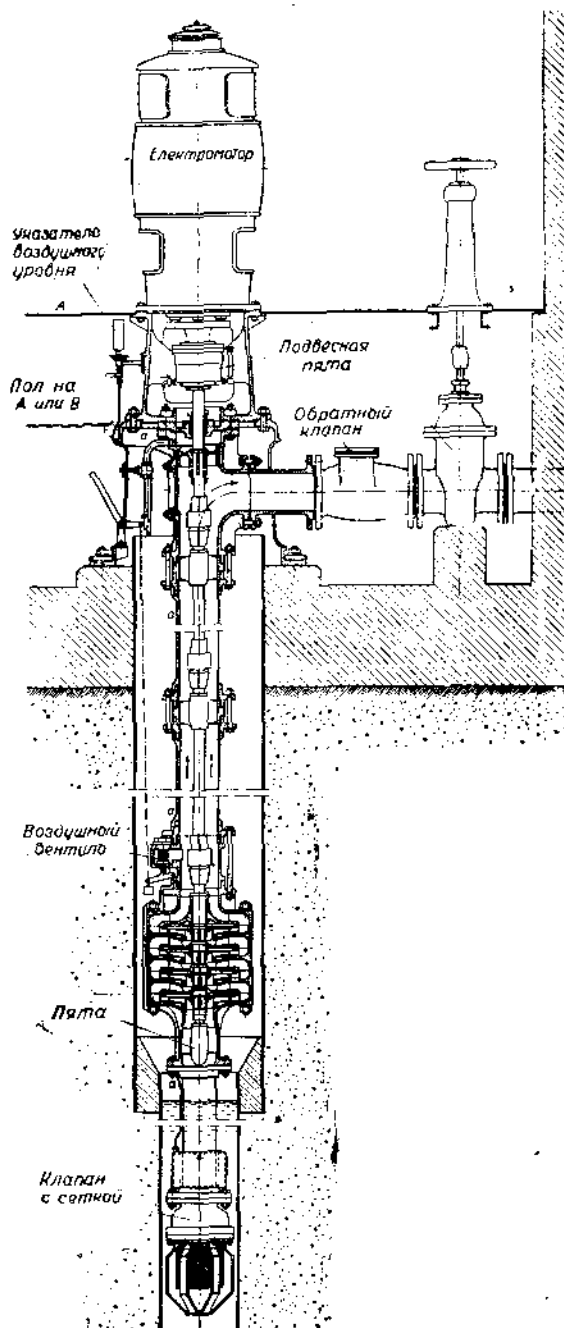
Вал и подшипники располагаются в насосной трубе, несущей напорную воду. Эта труба на фланцах 9 подвешивается к станине насоса, и весь насос находится в висячем положении, чем обеспечивается вертикальность положения вала, необходимая для нормальной работы насоса. Если в косою скважине насос примет косою положение, то трение в подшипниках настолько увеличивается, что приведет 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—эластическое соединение; 3—шариковая подвесная опора; 4—сальник; 5—штулка (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—основная 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 пятую для своего вала.

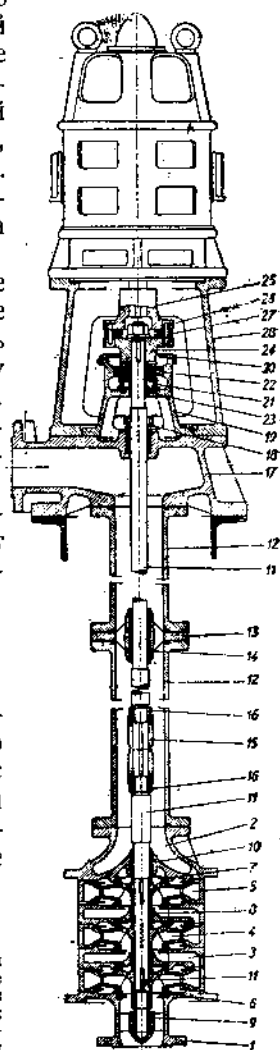
Насосы этой конструкции строятся фирмой для диаметров буровых скважин от 250 мм и выше. Производительность насосов колеблется от 1 до 80 л./сек. при напоре от 10 до 120 м. Наибольшая глубина погружения насоса — 45 м., но фирма «Егер» строит насосы и на 60 м глубины.

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 наросшена 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 колоде 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 «Оддессе»

На фиг. 180 показан насос фирмы «Оддессе» Maschinenfabrik Oddesse, 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

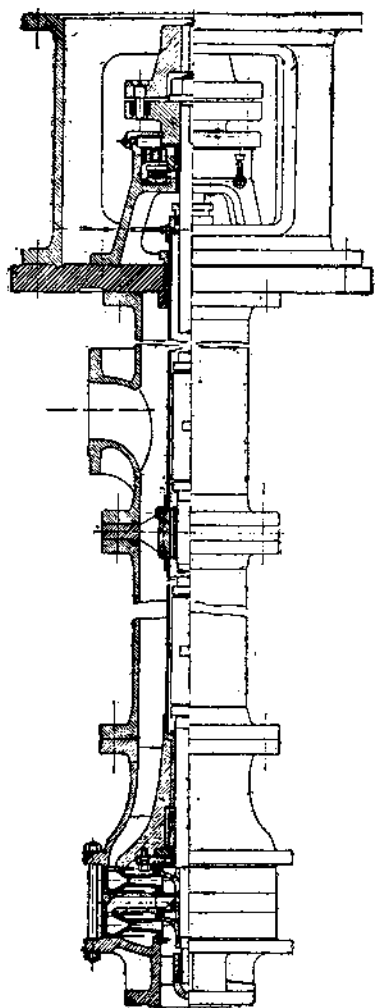
Фиг. 180 Насос «Оддессе».

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—ножные 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.

5. Показатель уровня

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.

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.

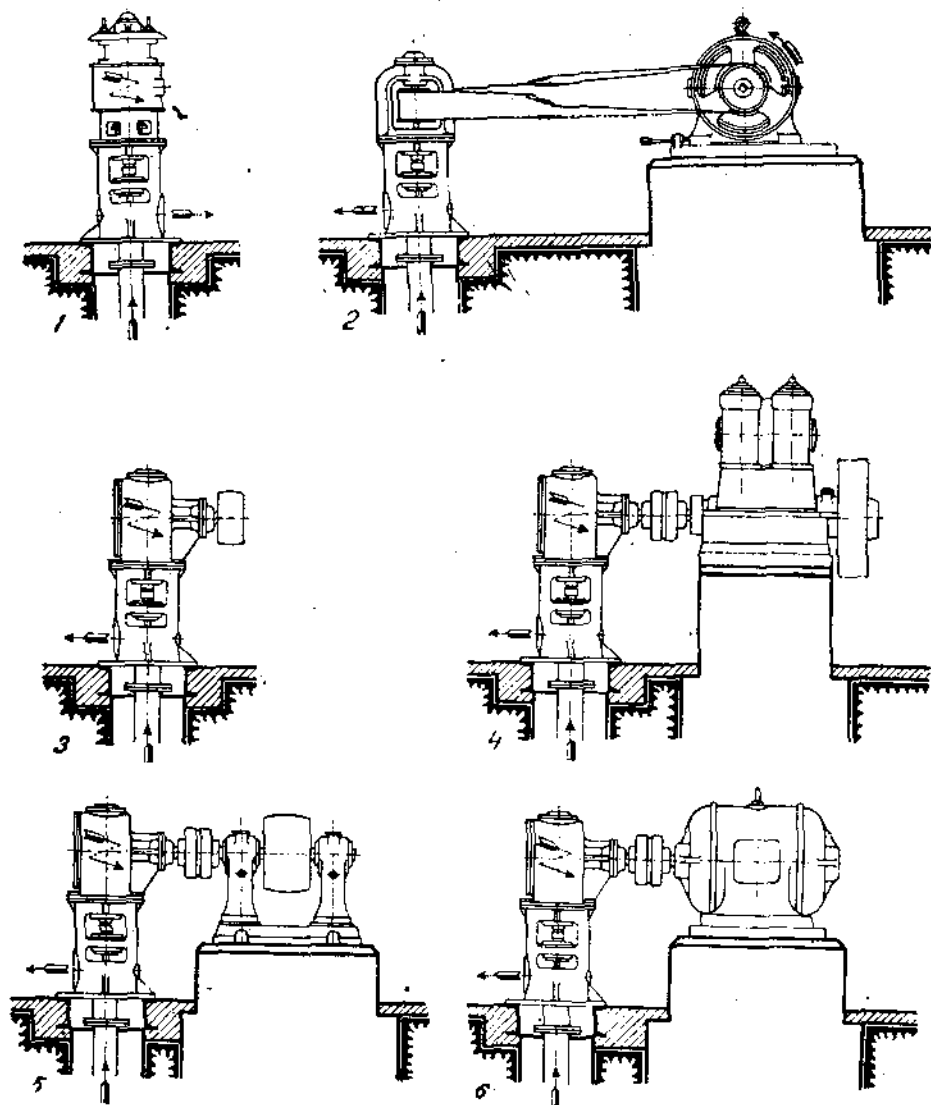
Для наблюдения за уровнем при каждом насосе устанавливается пневматический показатель уровня воды. Он состоит из погруженной в воду трубки или колокола *к*, прикрепленного ко всасывающей трубе у самого ее основания, т. е. если имеется всасывающий клапан, то у клапана. Отсюда трубка *ааа* по насосу и насосной трубе поднимается вверх (фиг. 179) и подходит к манометру. Около манометра находится ручной воздушный насос. Если показать не-

много 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.

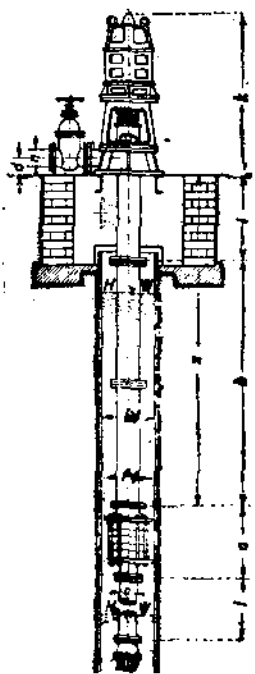
На черт. 3 (фиг. 182) зубчатая коническая передача, помещающаяся в цилиндрической головке, от вертикального насоса к горизонтальному шкиву. На черт. 4 (фиг. 182) — такая же зубчатая коническая передача к горизонтальному валу с соединительной муфтой, а от нее — к горизонтальному мотору внутреннего сгорания.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

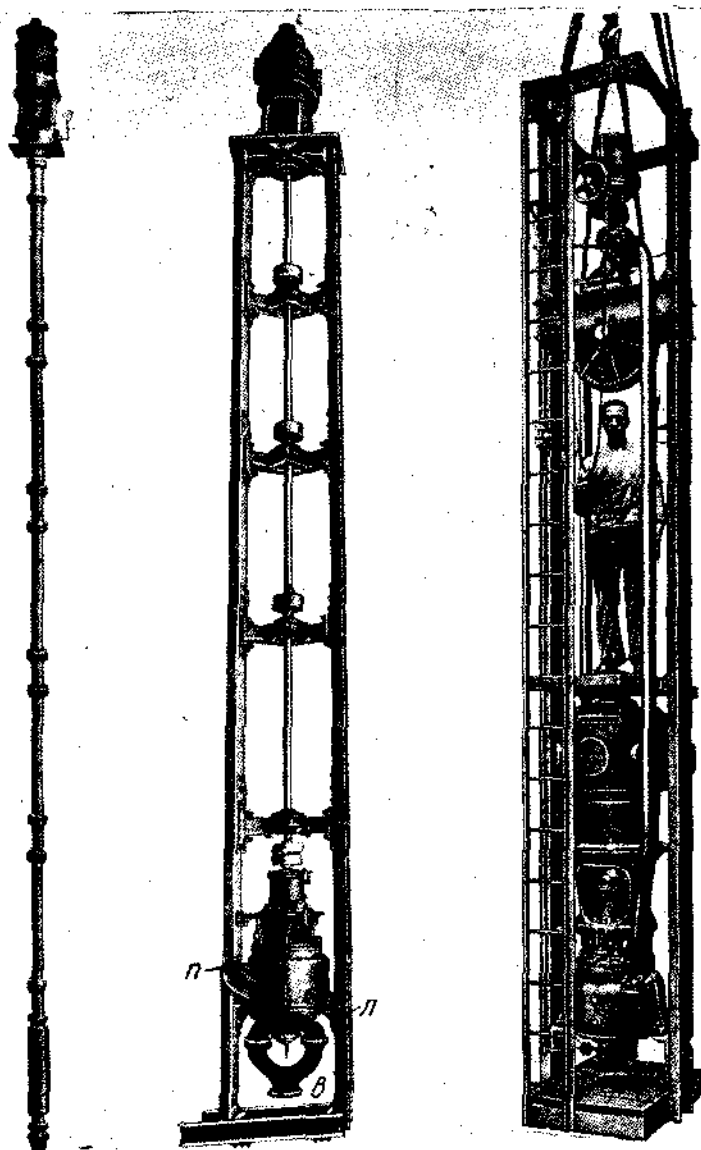
место двигателя внутреннего сгорания занято горизонтальным электромотором. Потеря энергии на зубчатую передачу — от 5 до 10%.

Насос фирмы Одессы 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 напорного насоса 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 «Одессы».



Фиг. 184. Шахтные насосы.

2800 оборотах только — 4. Такое ограничение числа рабочих колес вызывается необходимостью подальше 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, прикрепленных к раме *л*. Всасывающий патрубок *в*—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 висячая. 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, глубиною 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

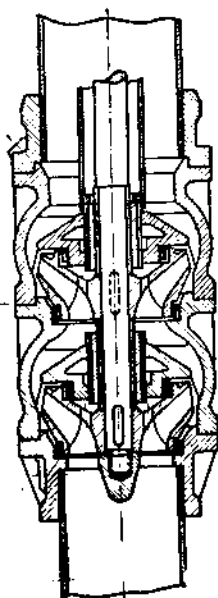
1. Немецкие насосы

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.

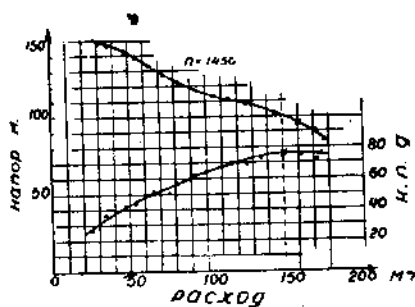
На фиг. 185 показан такой насос фирмы «Клейн, Шанцлин и Бексер» (Франкенталь, Пфальц). Они строятся для скважин, начиная со 100 мм диаметром и глубиной до 60 м, на подачу до 700 м³/час и напором до 150 м. Согласно характеристике к. п. д. доходить до 76% (одного насоса без учета потерь в подшипниках вала). На фиг. 185b показан винтовой насос той же фирмы для узких скважин при $d = 100$ мм, $Q = 20$ м³/час, при $d = 150$ мм, $Q = 100$ м³/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 «Одессе». 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 *HH*; благодаря этому потери на трение на поворотах уменьшаются.

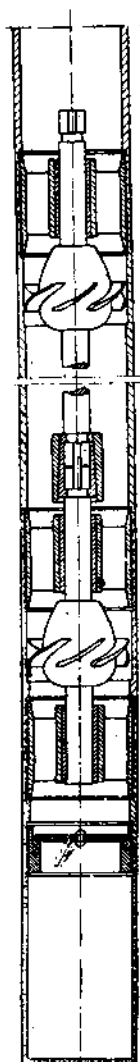


Фиг. 185.

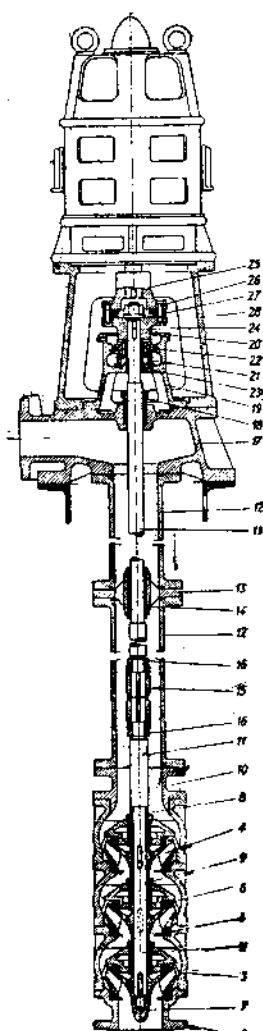


Фиг. 185a

Фиг. 185, 185a, 185b. Глубоководный насос «Клейн, Шанцлин и Беккер».



Фиг. 185b.

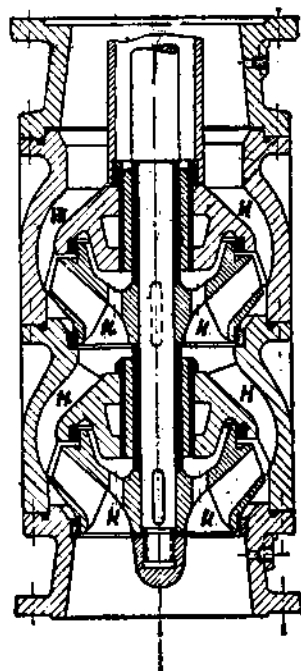


Фиг. 186. Глубоководный насос «Одессе».

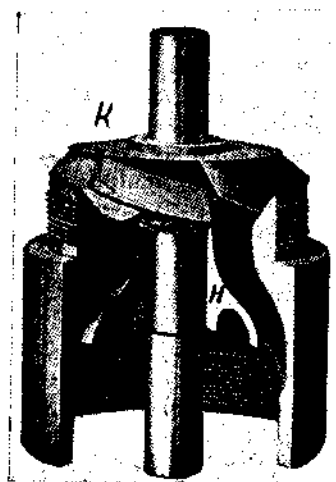
2 — всасывающая крышка; 3 — корпус насоса; 4 — рабочее колесо; 5 — нижнее уплотняющее кольцо; 6 — верхнее уплотняющее кольцо; 7 — нижняя гайка вала; 8 — установочная втулка, укрепленная на валу; 9 — втулка; 10 — переход; 11 — вал насоса; 12 — насосная труба; 13 — подшипник; 14 — втулка подшипника; 15 — 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 приводы; 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 нагнетат. трубы
норм.	миним.			1450 п.	2800 п.				
265	215	210	50	2600	2000	900	70	30	30
235	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 с 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 избегать 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 57. 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 — водой. Такие же подшипники направляют вал вниз и вверх насоса 50, 57.

Соединение вала производится нарезными муфтами 40, 47, концы вала упираются один в другой. Направляющий подшипник вала — с водяной смазкой и с отверстиями для циркуляции воды 43, 44, 42. Втулка — из нержавеющей металла 47. 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 вверх 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 17 дает возможность поднимать и опускать вал на небольшую величину и таким образом устанавливать в надлежащем положении рабочее колесо, не вынимая насоса из скважины; 1 — чугунная крышка мотора с двумя болтами; 2 — кольца для подъема; 4 — статор мотора; 23 — полый вал мотора.

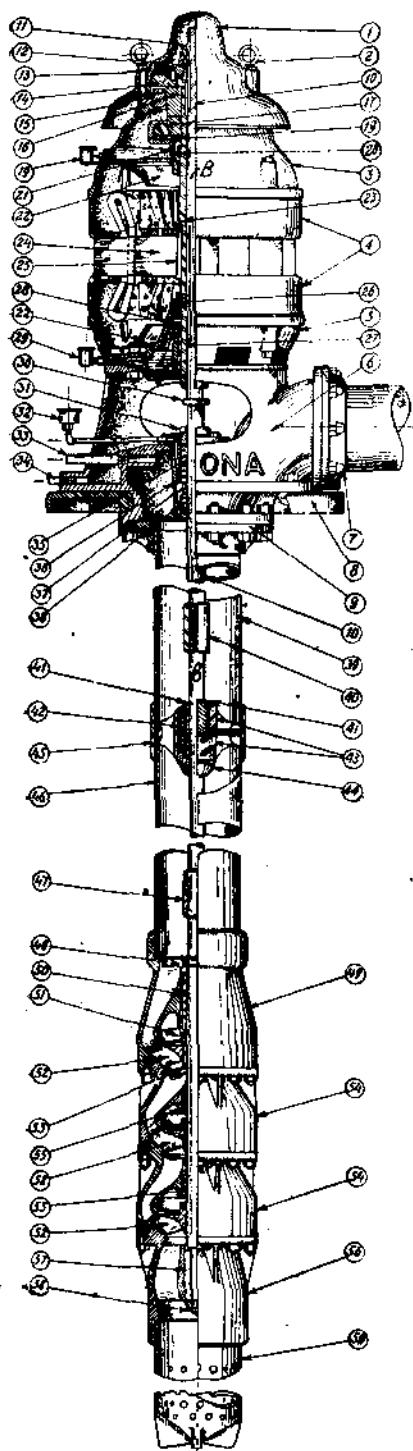
Наибольший насос такого типа, установленный фирмой в Этиванда, Калифорния (фиг. 190) подает 113 л/сек. на высоту 200 м; мощность мотора — 350 л. с. Глубина погружения этого насоса рекордная — 135 м. Подача воды производится для орошения. Насос состоит из двух частей: нижней из 12 ступеней насосов, поднимающих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

3. Характеристики работы насосов

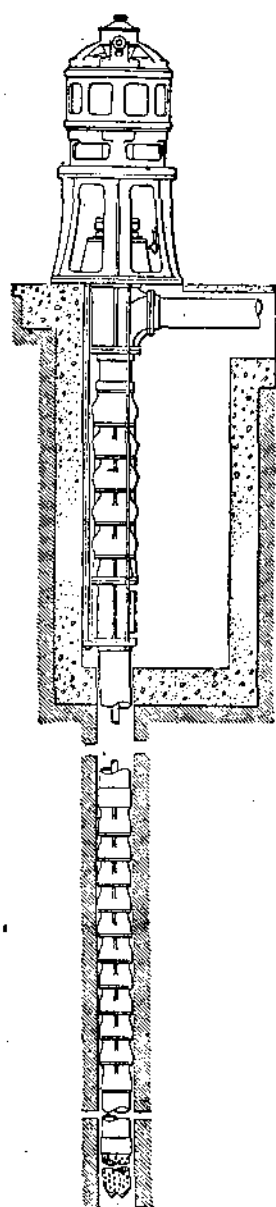
На фиг. 191 показаны кривые, характеризующие работу описанных насосов «Помона». Кривые, помещенные вверху, и кривые мощности внизу, относятся к трем разным рабочим колесам, обозначенным буквами В, С и D.

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 В, С и D пересека-

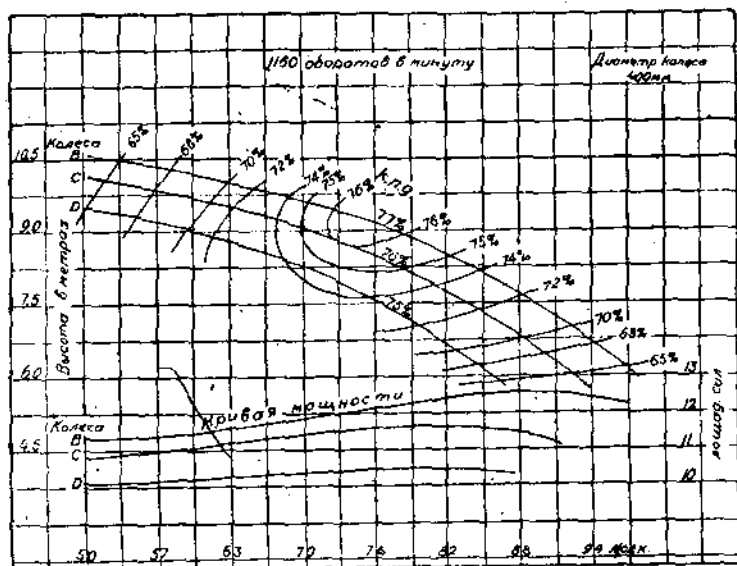


Фиг. 189. Насос «Помона».



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 (Simens 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.

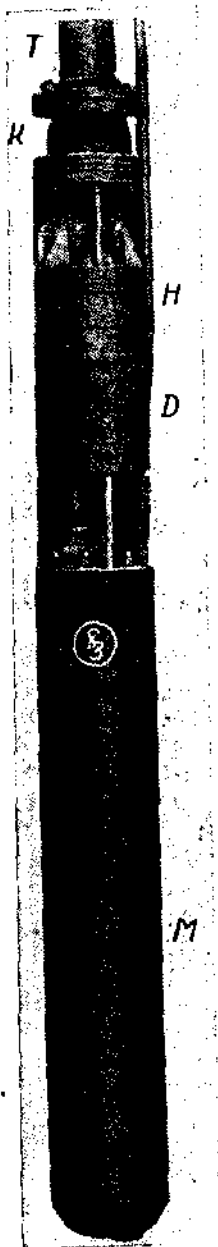
Диаметры погруженных насосов Сименса колеблются от 240 до 370 мм, для обсадных труб — от 275 до 400 мм. Производительность насосов доходит до 50 л/сек. и высота подъема — до 200 м.

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.

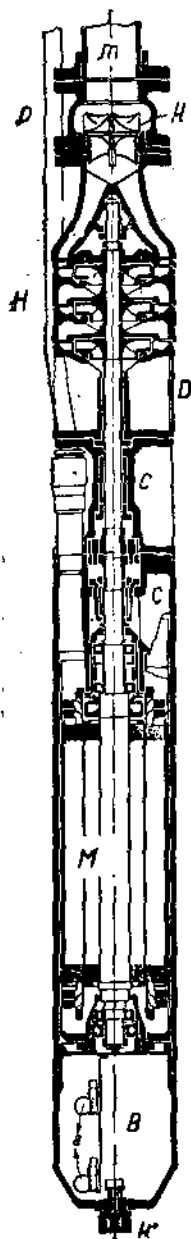
Другая конструкция насоса показана на фиг. 193.; здесь мотор *М* помещается внизу, а насос *Н* вверху. Всасывание происходит между мотором и насосом через дырчатые стенки *Д*; нагнетание здесь проще — прямо в напорную трубу *Т* через обратный клапан *к*.



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



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

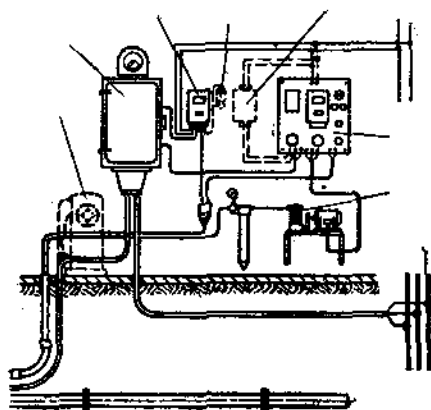
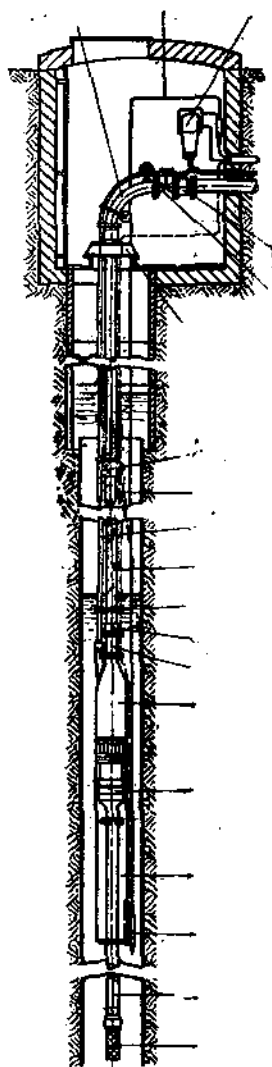


Фиг. 194. Погруженный насос.

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-

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*.

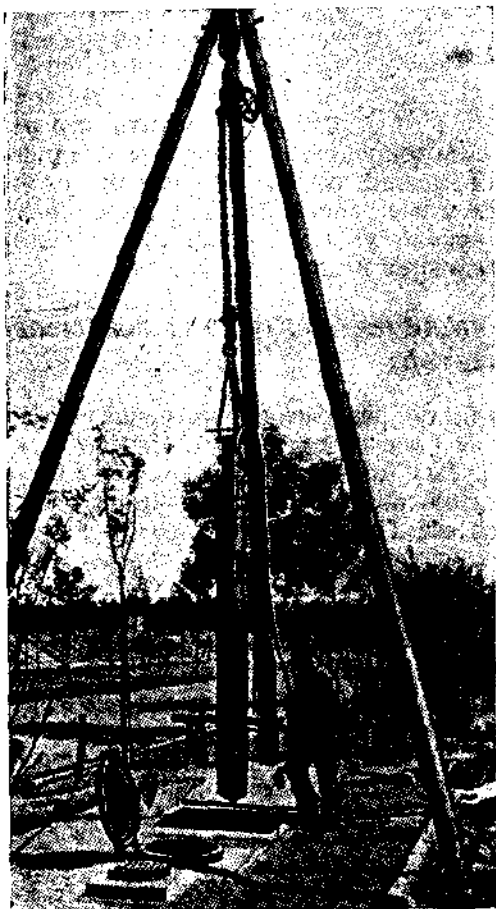
Давление воздуха в колоколе мотора первого типа должно всегда соответствовать глубине погружения, чтобы вода не поднялась в колоколе и не смочила мотора; это достигается работой маленького компрессора, который автоматически включается и выключается при изменении уровня воды в колоколе путем электрических 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 дожидая подхода воды к верхнему контакту, служащий может сам пустить 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-

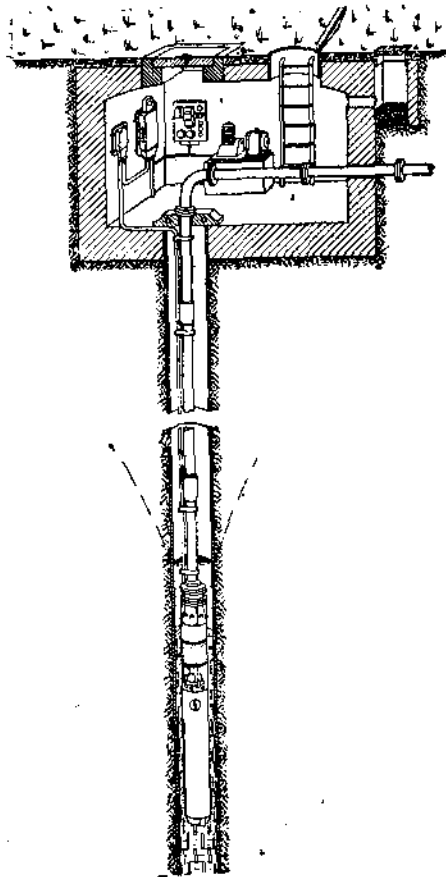
ным вверх. Пока давление воздуха в колоколе равно давлению воды, вода не может войти в колокол, хотя дно колокола снизу открыто. По мере проскальзывания воздуха через какие-либо неплотности давление его понижается, вода в колоколе начинает подниматься и замыкает контакты, приводящие в действие компрессор,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

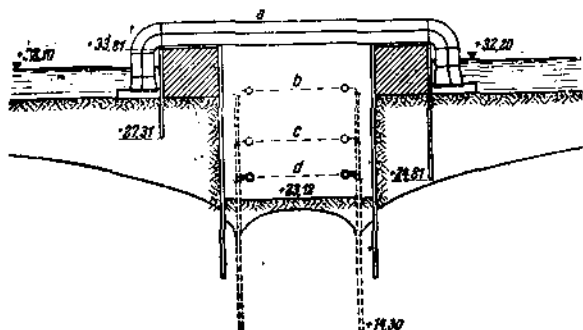


Фиг. 197. Подземная установка.

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

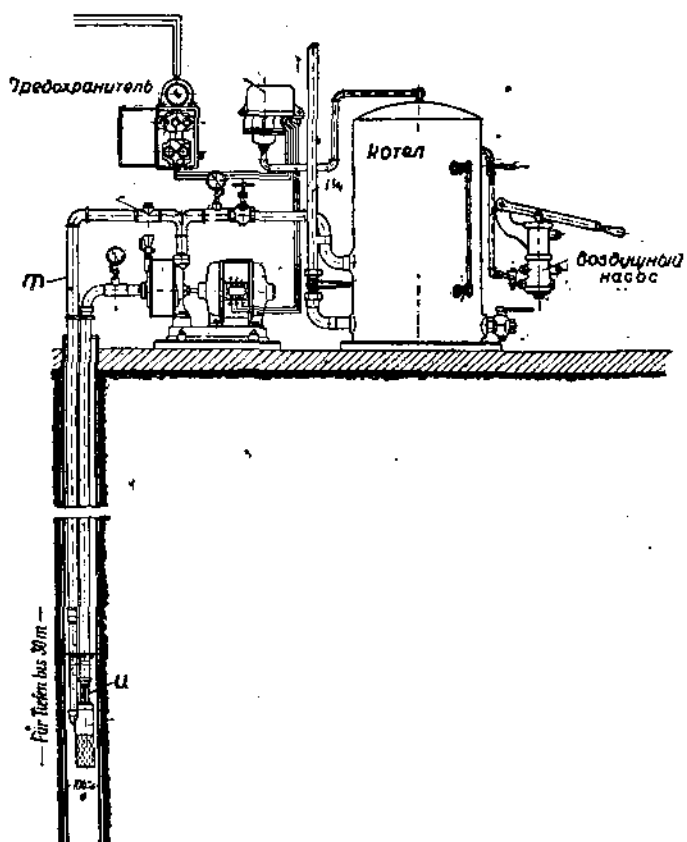
Еще в 1911 году фирмой бр. Кертинг было предложено применение водоструйного аппарата-инжектора для повышения высоты всасывания. Инжектор вставляется в нижнюю часть всасывающей трубы и должен находиться ниже рабочего уровня поднимаемой воды. Вода к инжектору подводится по трубке от напорного трубопровода 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.

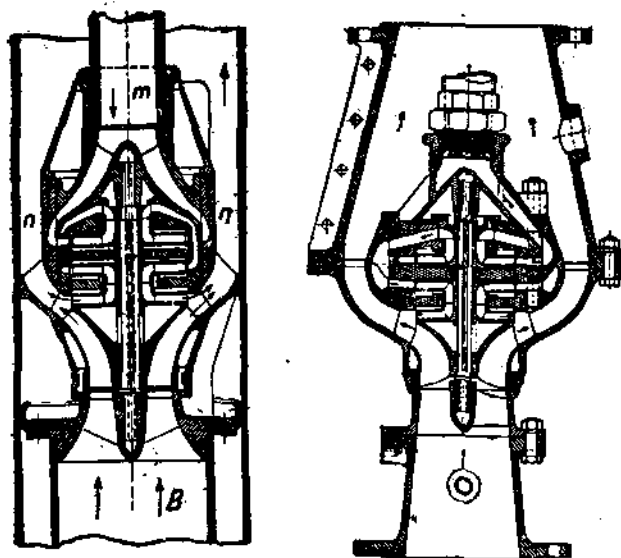
8. Водяная турбина для той же цели

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.



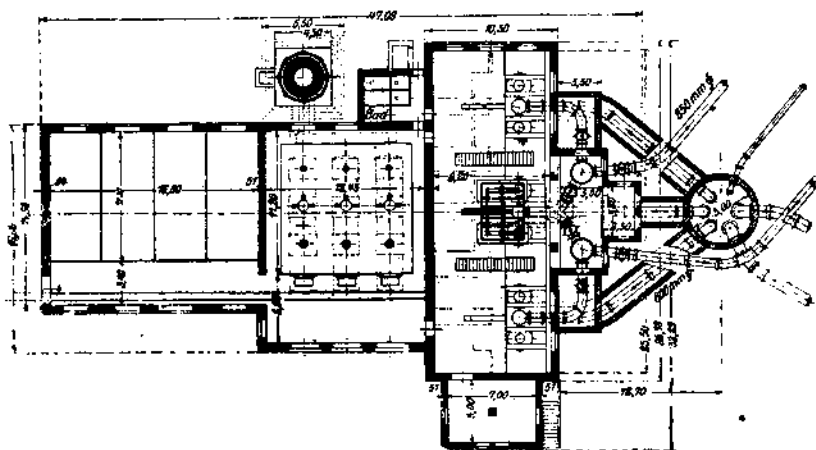
Фиг. 200. Гидроцентробежный насос.

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

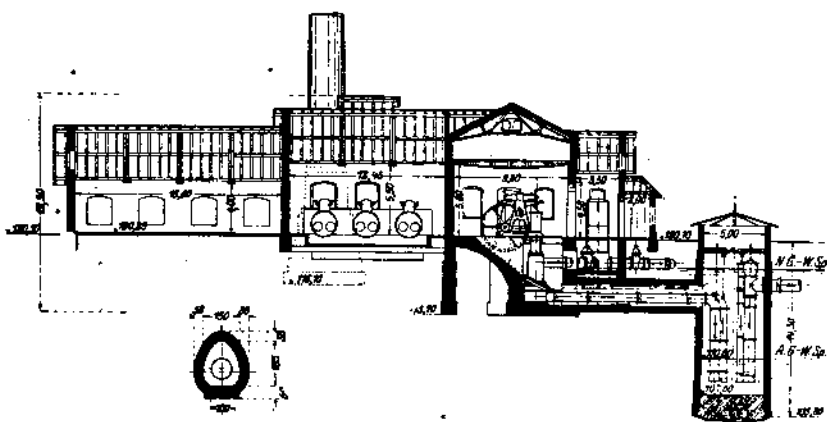
1. Станция постройки А. Тима

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.

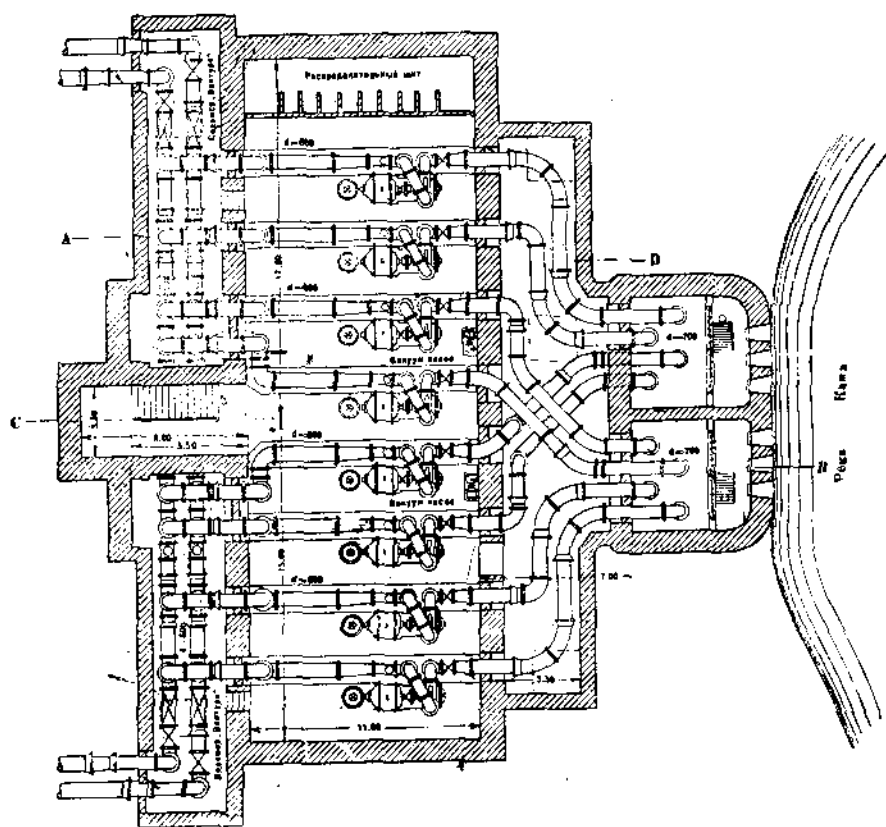
нены каждый с двумя насосами. В местах соединения находятся воздушные котлы, необходимые при плунжерных насосах. Приемный колодец достаточен диаметром всего 5 м, несмотря на большую производительность станции.

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,

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

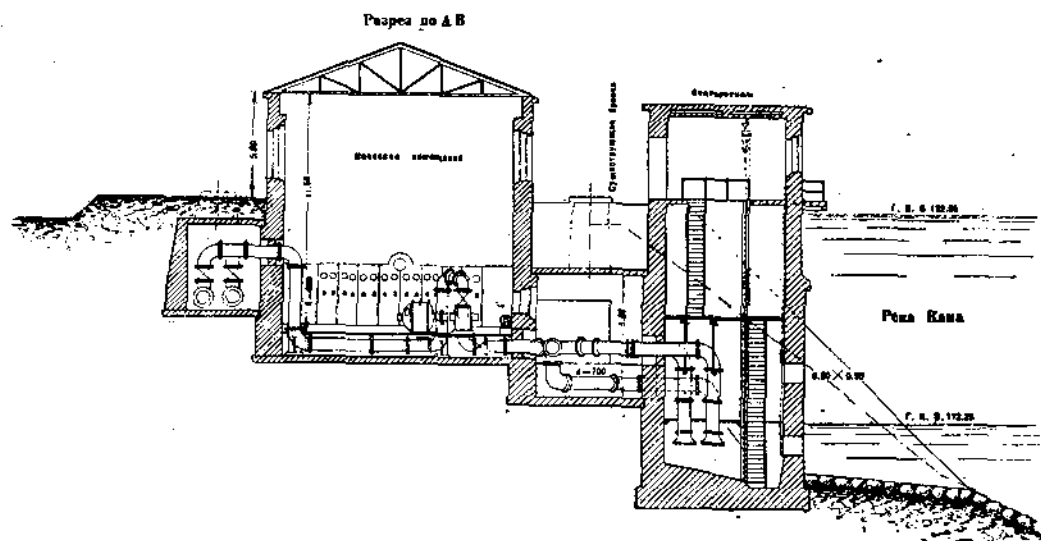


Фиг. 205. Проект станции Березниковского комбината.

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 $3000 \text{ м}^3/\text{час}$ каждый;

мощность двигателя—250 л. с. Насосы другой группы производительностью по 2500 м³/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.

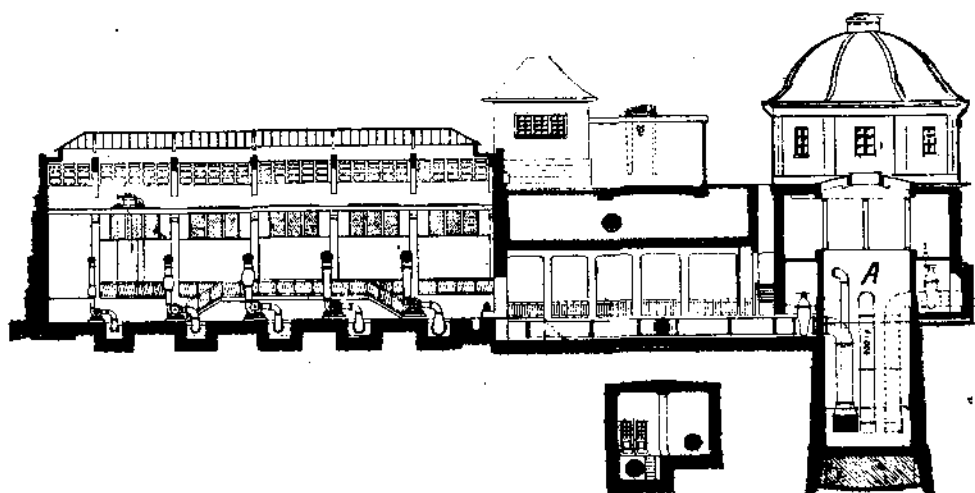
4. Станции г. Мангейма

На фиг. 207 и 208 показаны насосные станции г. Мангейма новейшей постройки. Здесь интересно отметить, что напорные трубы заглубленных станциях выведены вверх 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 установить 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.

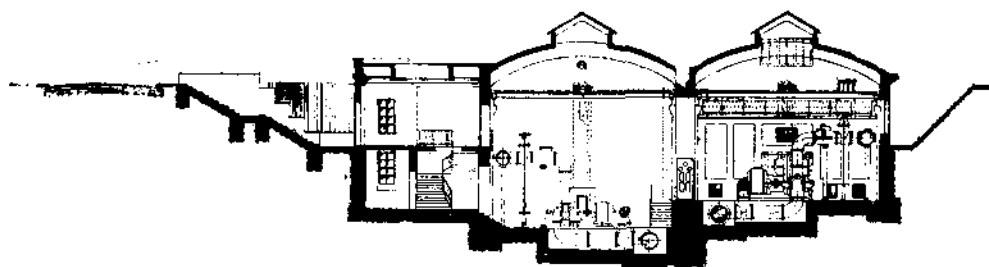
Особенностью этой насосной станции является ее разделение на два подъема, несмотря на отсутствие очистки воды. Первый подъем подает воду в запасные резервуары емкостью 10 000 м³, откуда вода самотеком подается в насосы второго подъема, расположенные в соседнем справа машинном зале (фиг. 208), немного 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 галлерею, показанной на фиг. 207 в продольном и внизу в поперечном разрезе. На всасывающей трубе посредине галлерей 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 м³/час. Непонятно также пристрастие к разнообразию размеров насосов; подражания оно, во всяком случае, не заслуживает.



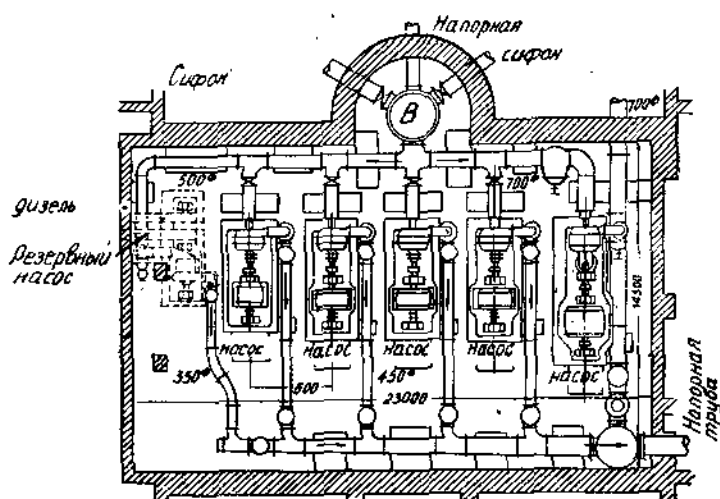
Фиг. 208. Станция г. Мангейма.

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

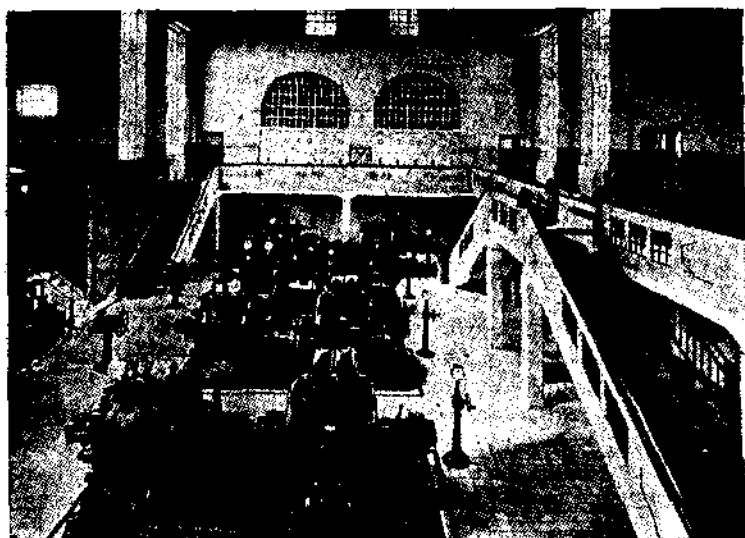
На фиг. 209 показана станция самого крупного районного водоснабжения Германии Staatliche Landeswasserversorgung Württembergs в Нидер-Штоцингене, пущенная в эксплуатацию в 1917 году. Водоснабжение охватывает 100 городов и поселений со Штутгартом во главе. Обслуживаемое население — 450 000 чел., подается в сутки 43 000 — 78 000 м³. 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 м³/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 м³/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.

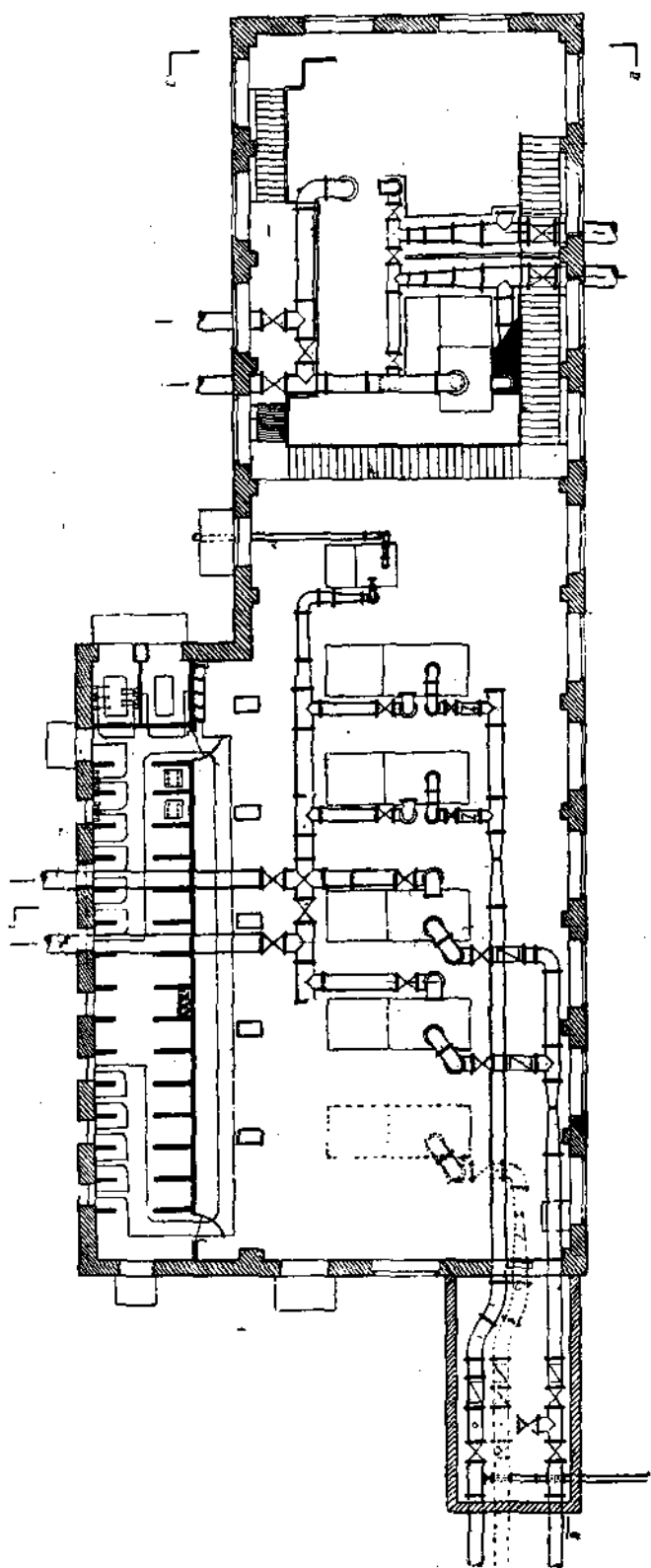
Насосы второго подъема работают всегда заливаемыми, так как резервуар чистой воды имеет отметку уровня воды 65,5 м, а ось насосов — 61,3 м.

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 м³/час; моторы — по 500 л. с. Высота напора второй группы насосов — 120 м, производительность — 600 м³/час.

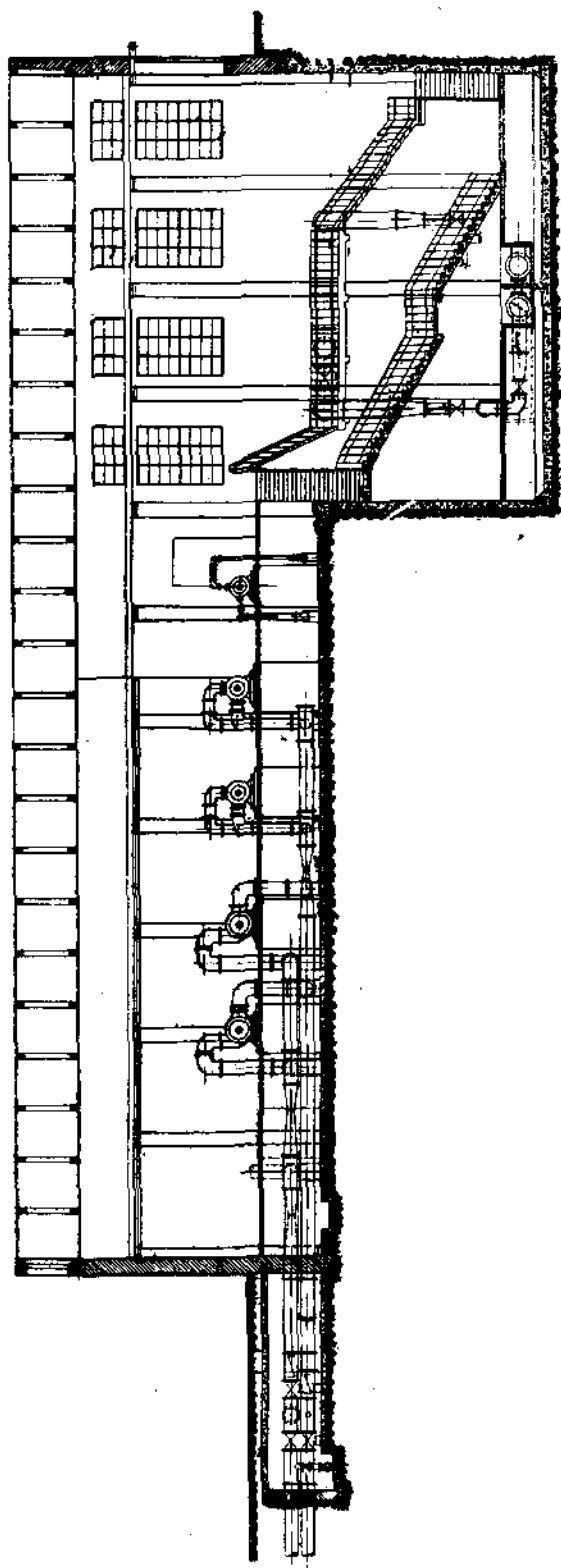
Каждая группа состоит только из двух насосов — одного рабочего и другого запасного. Для второй группы предполагается установить еще один насос; при дальнейшем развитии два насоса второй группы, т. е. на напор 120 м, будут в работе и один в резерве. Резерв здесь недостаточен, следовало бы оставить место не для одного, а, по крайней мере, для двух насосов. При четырех насосах на 600 м³/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 м³/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 10/011 свода.

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 охладительный бассейн газоочистки. Четыре насоса, симметрично расположенные в правом конце станции, подают теплую воду от мартенов в свои охладительные бассейны.

Центральная группа в пять насосов подает воду двумя 700 мм водоводами в домны. 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.

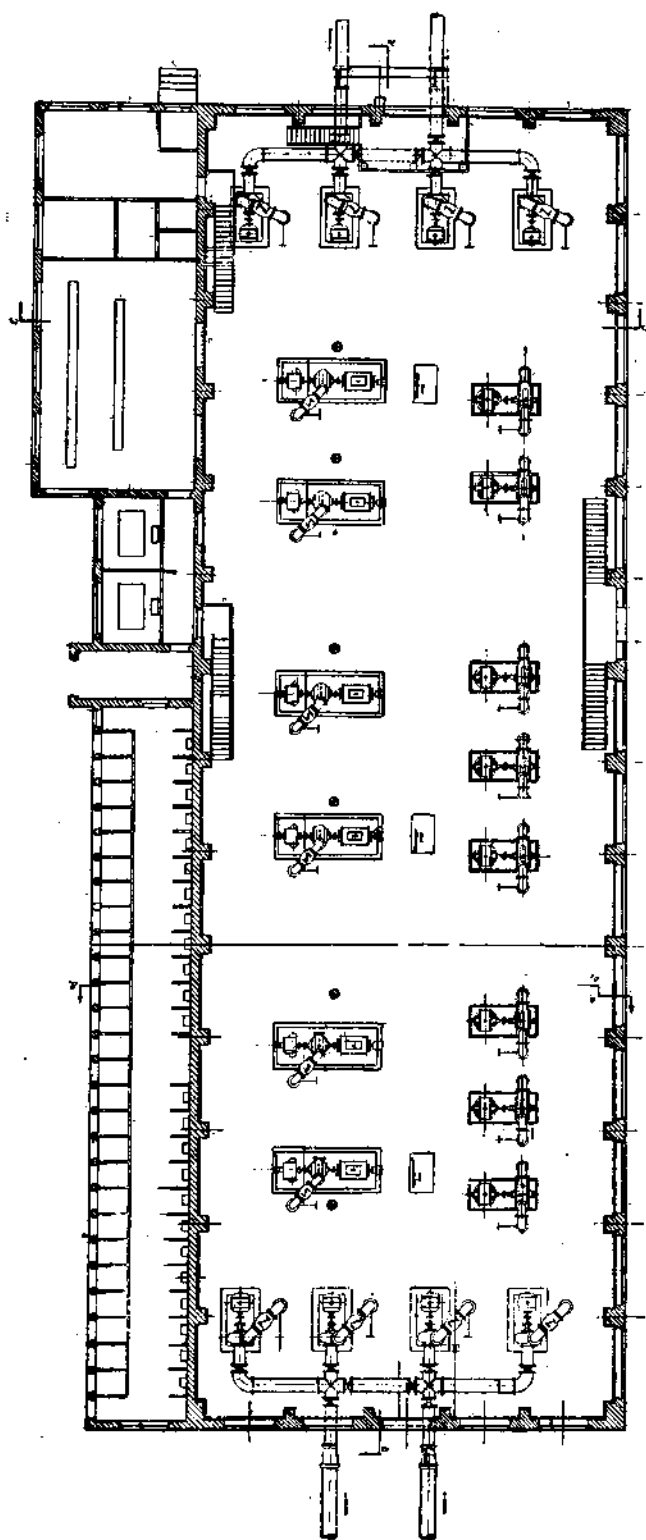
Вода забирается насосами из охладительных бассейнов; отметка уровня воды в бассейнах домен и мартенов — 97 м, а оси насосов — 95, 50. Насосы группы газоочистки (фиг. 214 слева) расположены ниже ввиду большего углубления бассейнов газоочистки. Для надежности работы насосов все они находятся под давлением воды в охладительных 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.

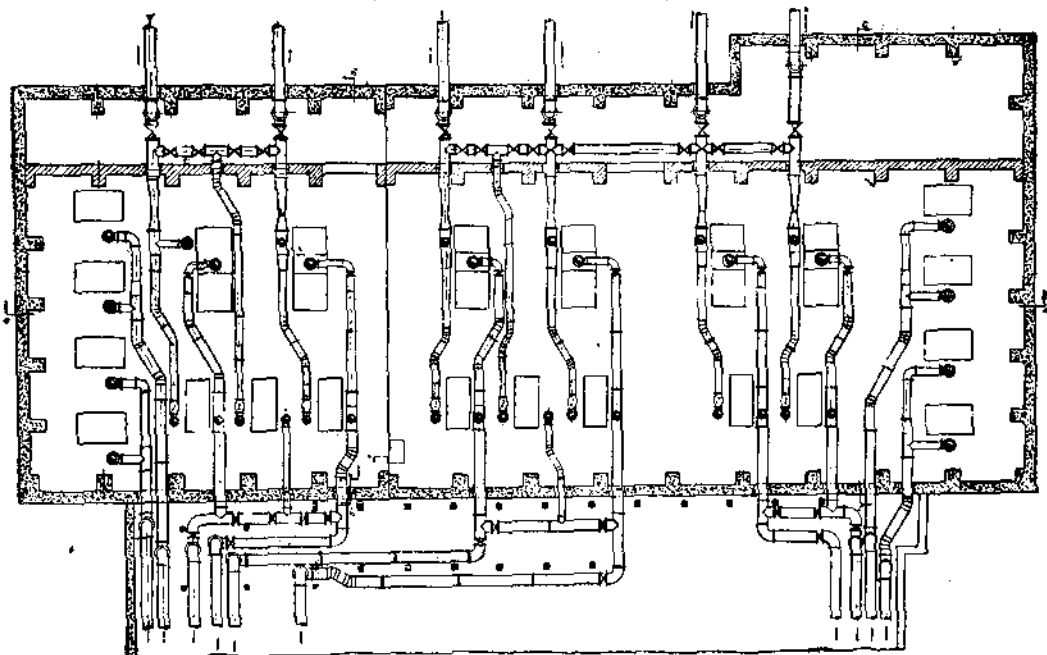
Площадь машинного зала $67 \times 21 = 1400$ м², электрораспределительное устройство помещается в пристройке с задней стороны, а справа от него находятся бытовые помещения — кабинет и мастерская. Машинный зал обслуживается мостовым краном на 10 т.

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 будут 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).

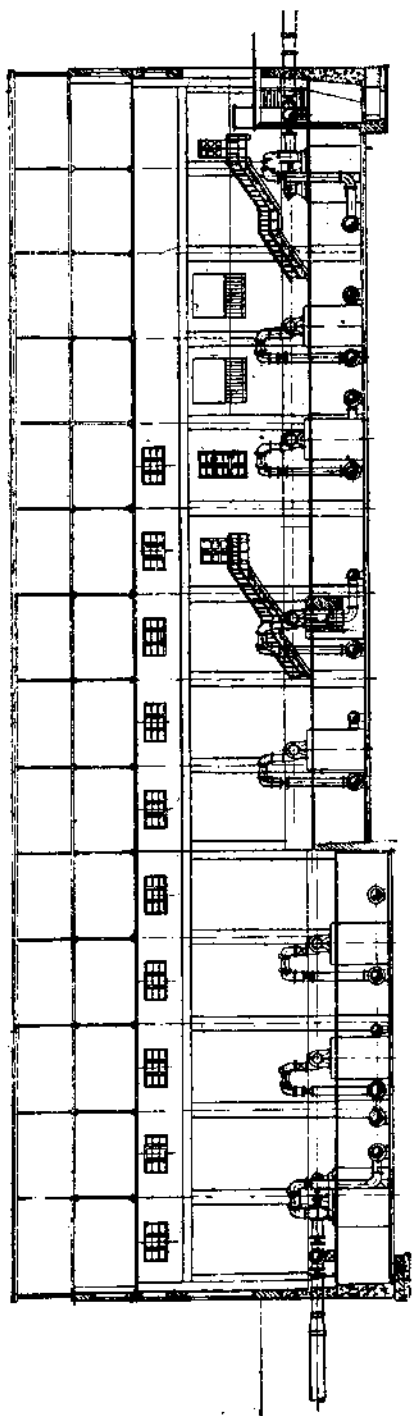


Фиг. 213. Проект главной станции Запорожстали.

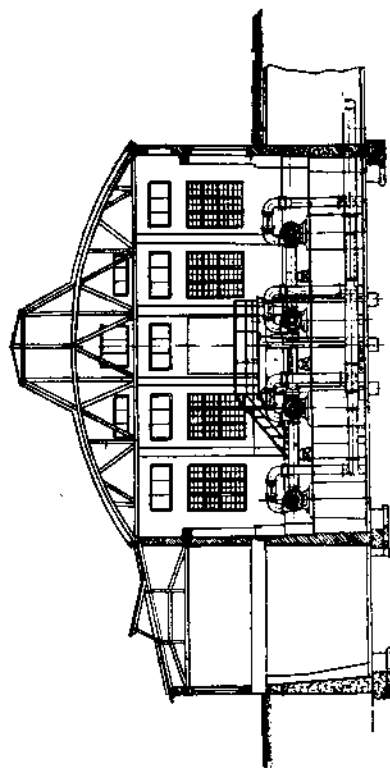
Наименование цехов или устройств, обслуживаемых группой насосов	Насосы	Напор в м	Пронзв. 1 насоса м/час.	Кол-во насосов	Кол-во моторов	Кол-во паротрубин	Мощн. 1 мотора	Общ. мощн. рабоч. л. с.		Общая установл. мощ. в л. с.			
								1 очер.	2 очер.	1 очер.		2 очер.	
										элект.	пар.	элект.	пар.
Бризгалки бассейнов мартен. цехов	Импорт . .	10	1400	4	4	—	90	180	270	270	—	360	—
Бризгалки 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 паротруб. З-да «Борец»	45	1800	2	2	2	500	850	1200	1700	1000	2050	1000
		48	1188	3	3	—	350						
Мартен. и цеха инструмент. стали	Импор-ти. с электромотором и паротруб. З-да «Борец»	45	2000	2	2	2	350	900	1450	1450	1100	1800	1100
		48	1188	2	2	—	350						
Газоочистка	Ф. «Борзиг» с электромотором и паротруб. З-да «Борец»	45	1800	2	2	2	500	1200	1650	1700	1000	2050	1000
			48	1188	3	3	—						
Итого. .				22	22	6	—	3350	4900	5450	3100	6700	3100



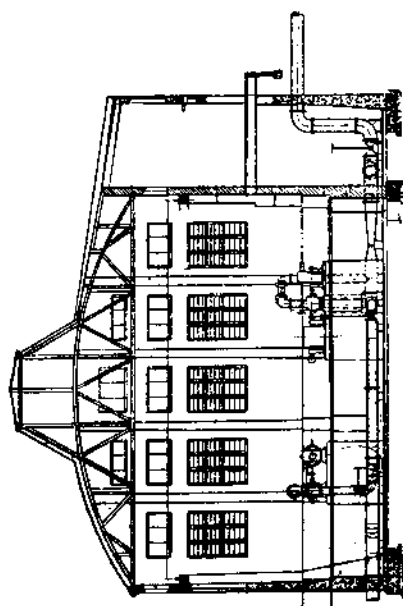
Фиг. 213а. Проект главной станции Запорожстали.



Фиг. 214. Проект главной станции Запорожстали.

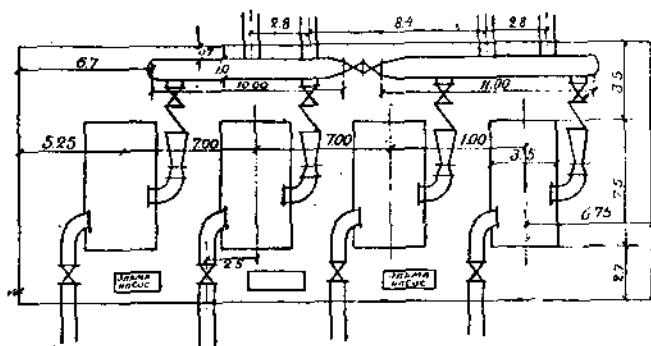


Фиг. 214а. Проект, главной станции Запорожстали.



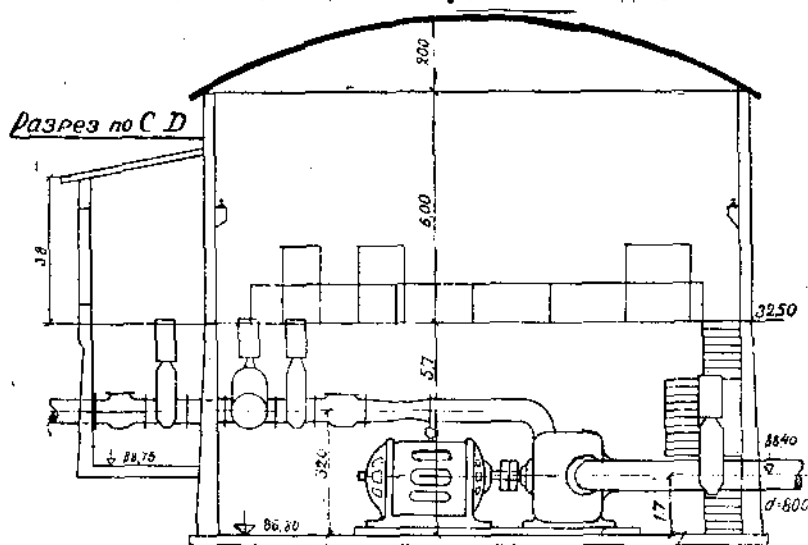
8. Станция на Северном Донце

На фиг. 215 и 216 представлен проект насосной станции харьковского речного водопровода. Станция рассчитана на подачу 200 000 м³ 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.

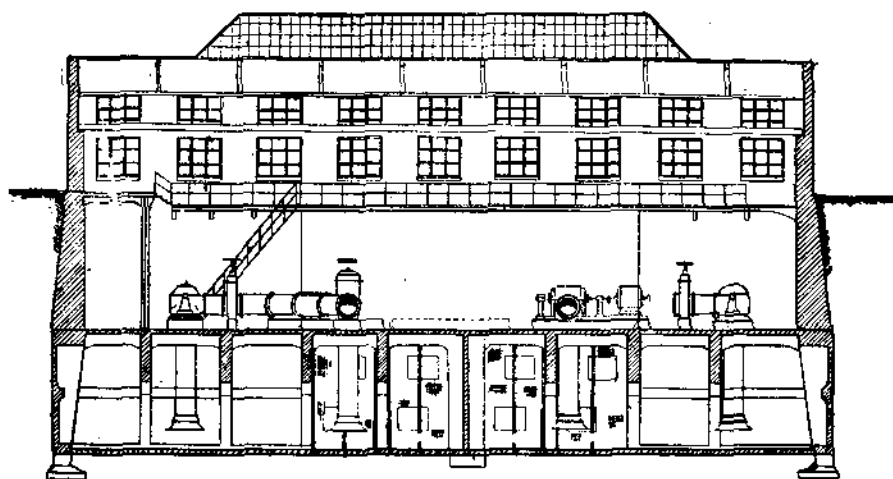
всасывающей трубе необходима, так как во время половодья насосы заливаются водой. Задвижка запроектирована с гидравлическим приводом, но тут можно ограничиться и ручным приводом, так как закрываться задвижка будет только во время ремонта насоса, совпадающего к тому же с половодьем.



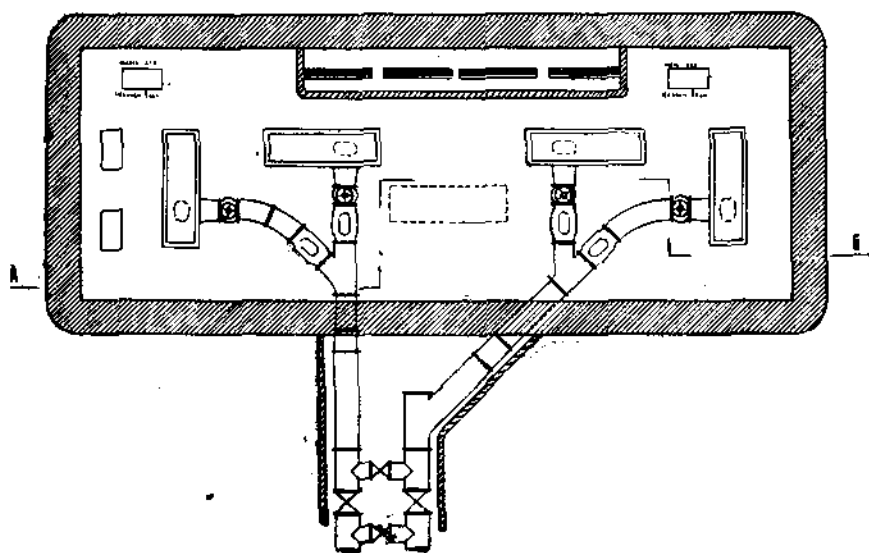
Фиг. 216: Проект станции на р. Северном Донце для г. Харькова.

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, удерживался 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 м³/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.



1:100 1/2" = 1 м

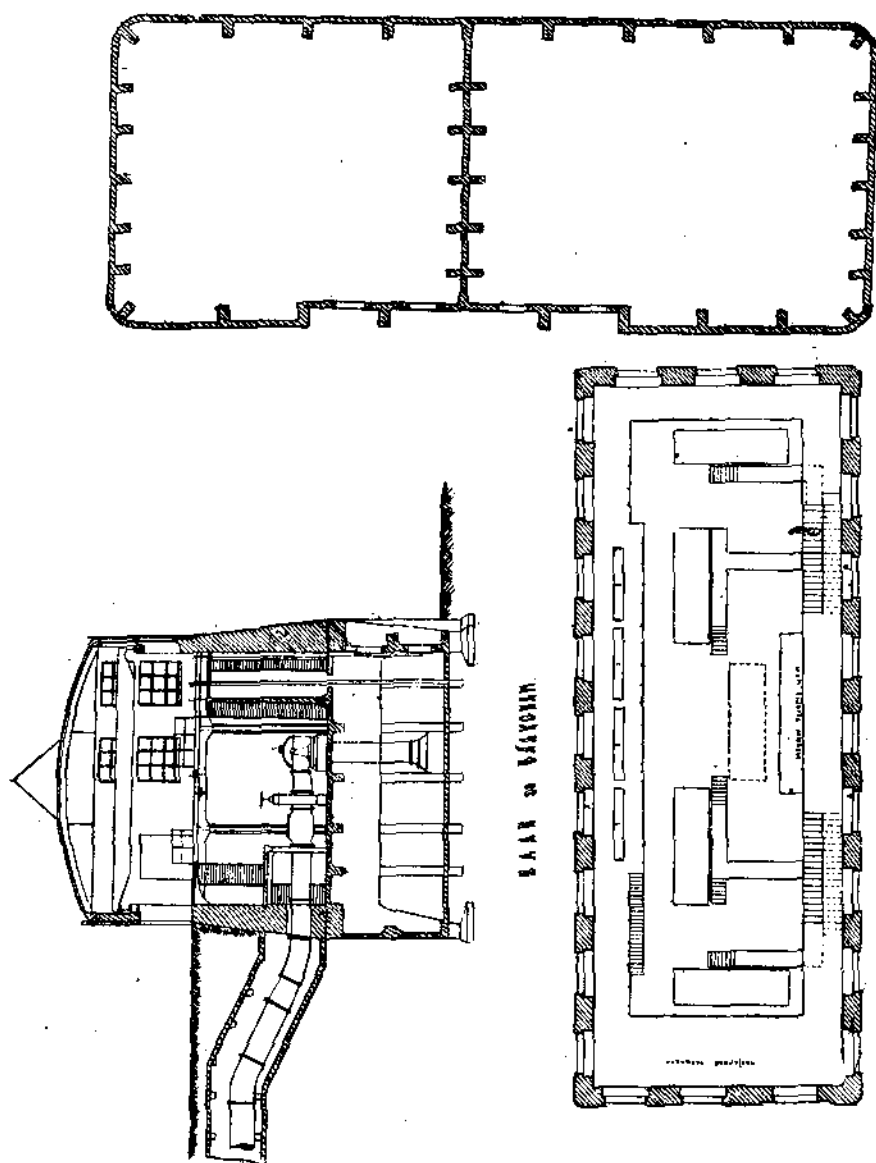


Фиг. 217. Станция в Каменском.

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 по-степенно. 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 м³ в сутки и до 2 м при подаче 200 000 м³. 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 Днепре. 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 Днепра. 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.

Заводууправление 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 заводууправление 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 осаждения песка и защиты от донного льда.

Не далее полукилометра от описанной станции выше по Днепру 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).

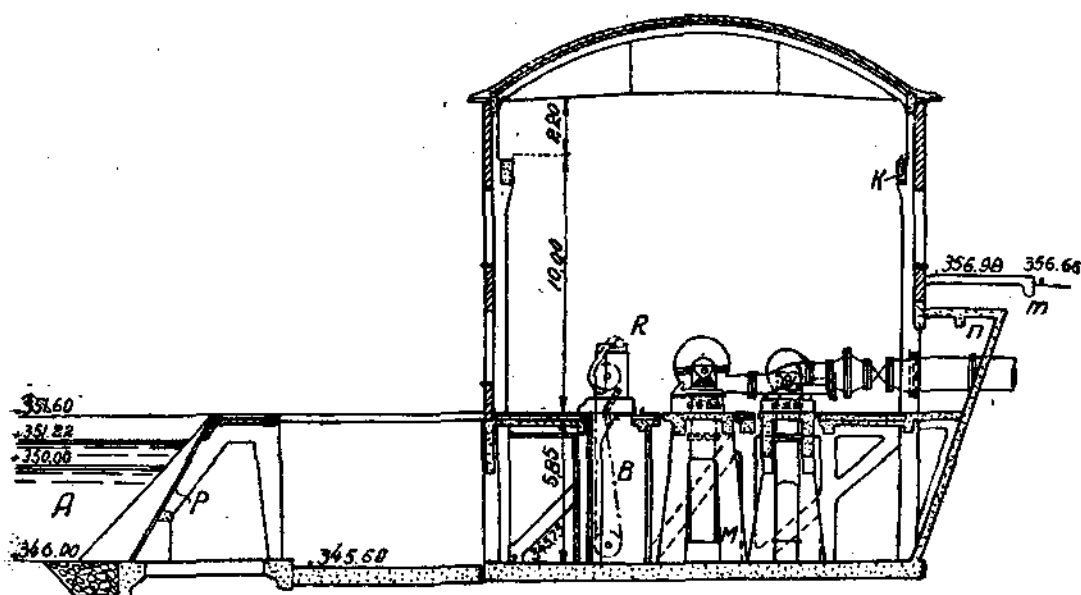
«В канале поставлены грубые решетки для задержания из воды крупных примесей. Решетки могут разбираться по частям для ремонта и смены.

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 в пруде 350 м) таким образом рабочая площадь сетки составляет 8,64 м². При работе всех 13 поставленных сеток каждая из них должна будет пропускать воду со скоростью 600 мм/сек¹.

¹ 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 в пруде 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 сверху 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 м³ (по расчету):

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

Во вторую очередь — 445 990 м³ (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 м³, подающие вместе 302 400 м³ — 297 000 м³; во вторую очередь — три, производительностью по 151 200 м³, подающие вместе 453 600 м³ — 445 900 м³.

Соответственно указанной подаче станция оборудуется (ко второй очереди) тремя большими насосами высокого давления производительностью по 151 200 м³, нагнетающими воду в три водовода диаметром 1050 мм.

При каждом таком большом насосе устанавливается малый насос половинной производительности, т. е. на 75 600 м³, нагнетающий воду в тот же водовод, что и большой насос.

Насосы среднего давления будут подавать воду для воздухоувок в количестве до 600 000 м³.

Для обеспечения этой подачи будут работать четыре насоса производительностью по 151 200 м³, подающие вместе 600 800 м.

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

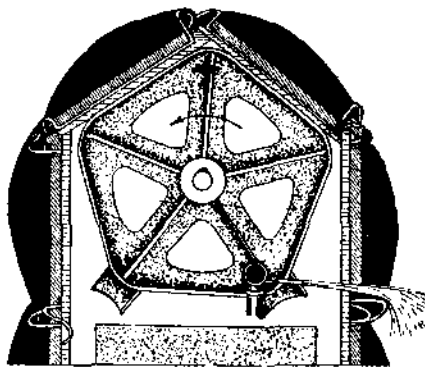
Для зарядки всасывающих линий устанавливаются три вакуум-насоса. От каждого насоса идет короткая нагнетательная труба 1200 мм до распределительного горизонтального железного котла, помещаемого в особом каменном колодце (камере) вне здания насосной станции. От этого котла идут пять водоводов диаметром 1000 мм к воздухоулкам. 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 отростков.

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 поступает 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.



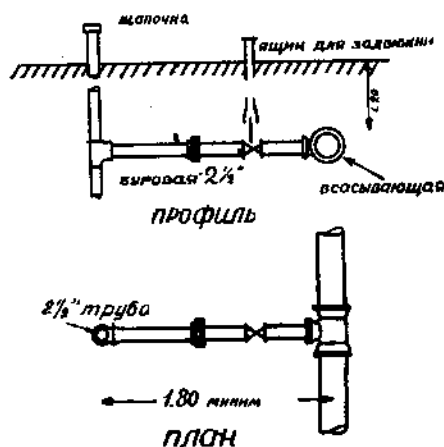
Фиг. 221. Вращающиеся сетки.

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

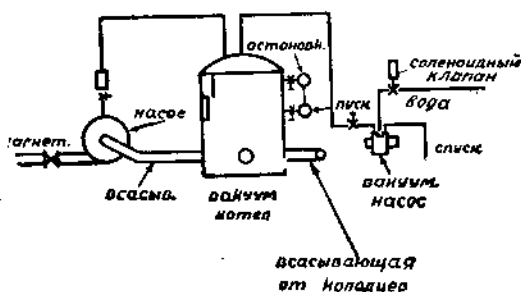
Крупный недостаток также имеется и на напорной стороне. Котел, соединяющий все трубы, имеет только одну задвижку посредине. Ремонт этой задвижки остановит всю подачу воды на мартеновские цеха. Если бы вместо котла была просто соединительная труба, то три-четыре задвижки на ней обеспечили бы непрерывность 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 м³ 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.

Эксплоатация 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 *xy*. 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

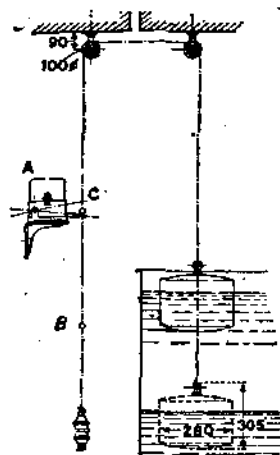
Лет тридцать тому назад появились первые попытки устройства автоматических насосных станций¹ для небольших городов. В настоящее время такие станции строятся уже и для крупных городов, например, Берлинские станции постройки 1929—1933 г., GW 1933 г., № 38, 39 и 40. Автоматическое включение моторов и насосов 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 поплавка верхнее утолщение *C* опускает рукоятку и выключает мотор. Расстояние между утолщениями *B* и *C* определяет, при каких колебаниях уровней происходит включение и выключение насосов.

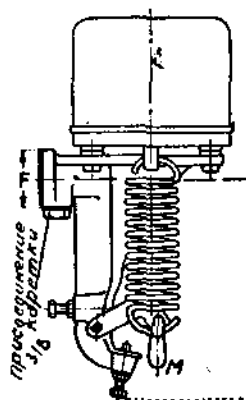
В резервуарах, не защищенных от охлаждения, вода зимою может замерзать и прекращать работу поплавок. В таком случае применяется установка маленького резервуара сбоку от главного резервуара, соединенного с ним утепленной трубкой. Резервуарчик легко изолировать от холода; в нем устанавливается поплавок; вместо троса 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. 224d. 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.

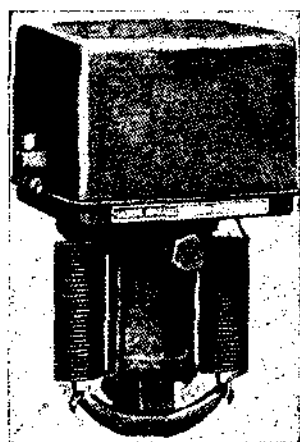
¹ Первая автоматическая насосная станция для канализационных вод в России устроена автором совместно с Д. С. Черкесом в 1908 году в Харьковской губернской больнице.



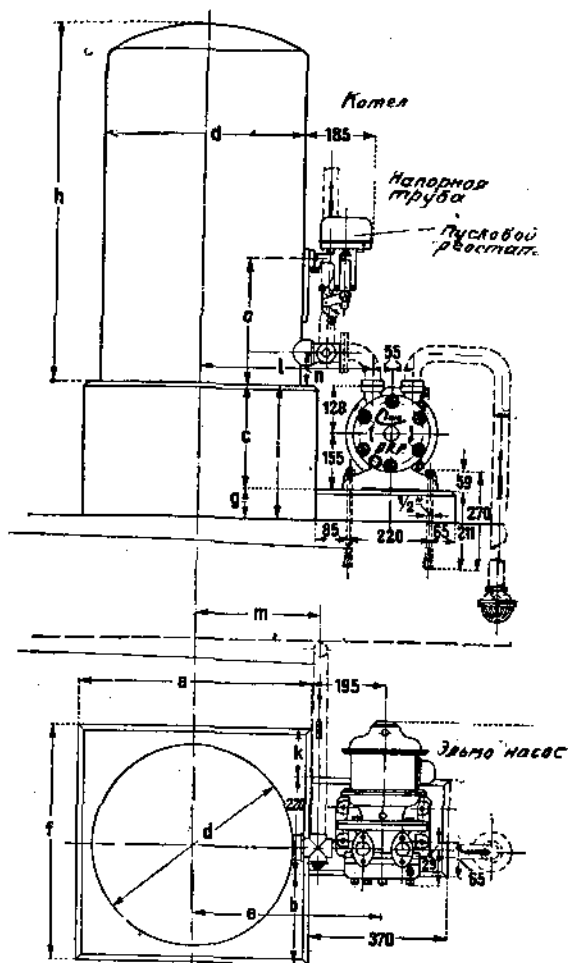
Фиг. 224а. Автоматический пуск поплавком.



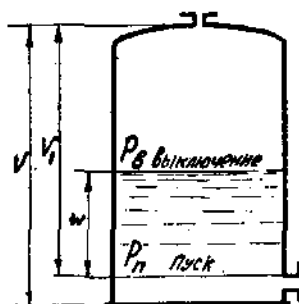
Фиг. 224с. Прибор для автоматического пуска напором.



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 м³/час (рис. 224е),

P_n — давление при пуске в атмосферах;

P_s — давление при выключении в атмосферах;

S — допустимая средняя частота включения приборов в час;

V — объем воздушно-водяного котла в м³;

V_1 — полезный объем котла в м³;

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

T_p — время в часах, необходимое для наполнения насосом, при подаче Q м³/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

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

откуда

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

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

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

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

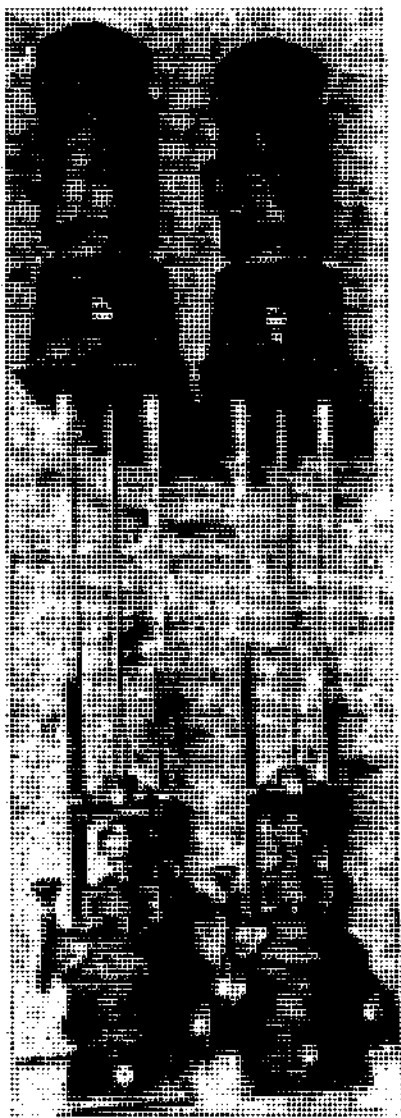
Следует упомянуть, что сжатый воздух растворяется постепенно в воде и уносится ею, поэтому необходимо его пополнение при малых котлах ручным способом, а при больших — компрессором или особым сосудом, соединяемым трубками при помощи кранов с водяным и воздушным пространством. Сосуд наполняется воздухом 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

. 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 дорогах 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-



Фиг. 225. Насосы фирмы Одессе.



Фиг. 226. Насос Эсслингер.

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.

2. Станция Великого Запорожья

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 водопроводами 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 разделить 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 заливыми, 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 поднимающейся 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 «Оддессе», но в действительности насосы заказаны английской фирме «Матер и Платт». Вот характеристики этих насосов:

Производительность одного насоса	1500 м ³ /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.

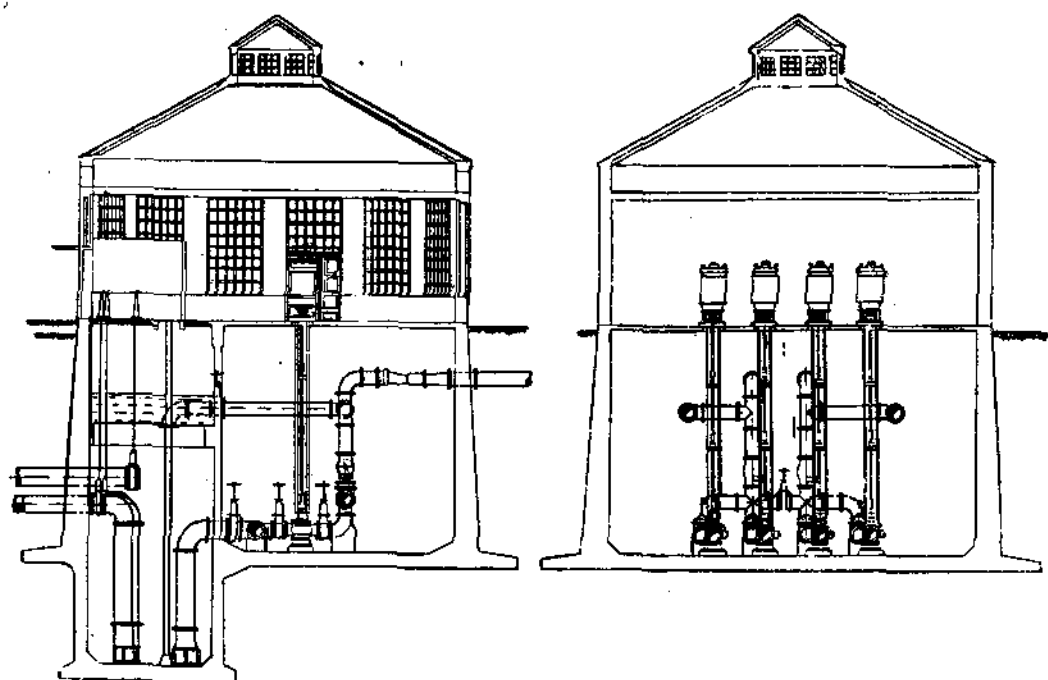
На фиг. 229 показана немецкая насосная станция с тремя вертикальными насосами. Две всасывающие трубы соединены каждая с двумя насосами при посредстве сложных фасонных частей и восьми задвижек.

Лучше было бы дать каждому насосу отдельную всасывающую трубу.

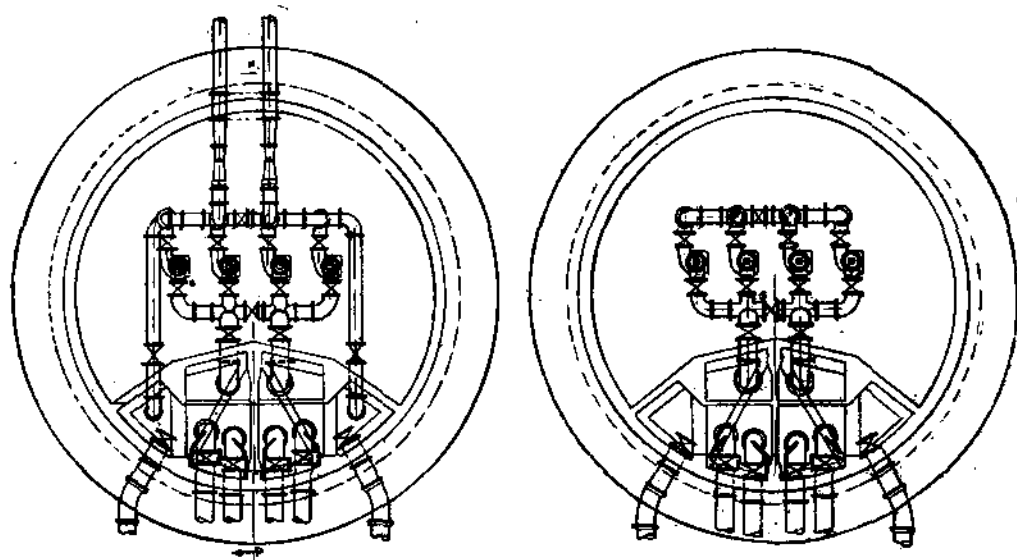
На станции установлен вакуум-насос для отсасывания воздуха из насосов и насосик для откачки просачивающейся через стены грунтовой воды.

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

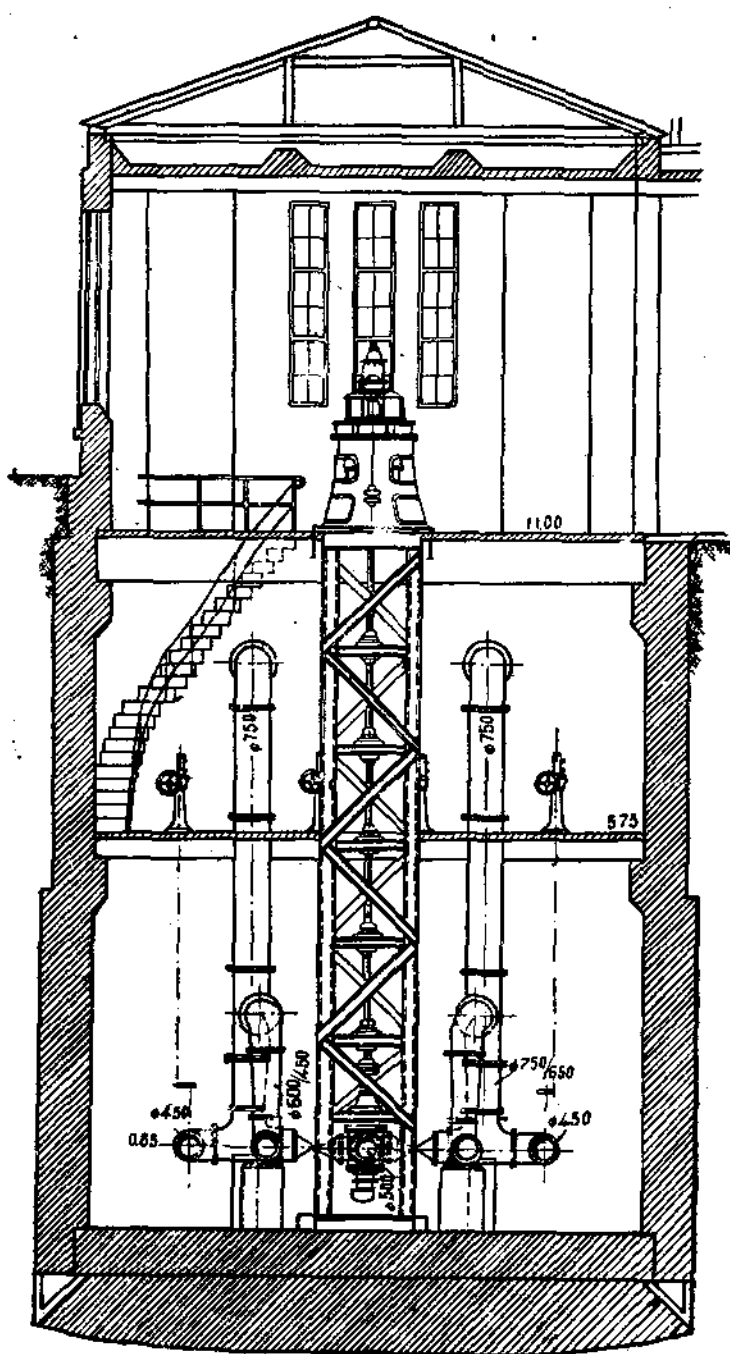
Запорожская станция изолирована от воды двумя слоями рубероида с проклейкой пиколом.



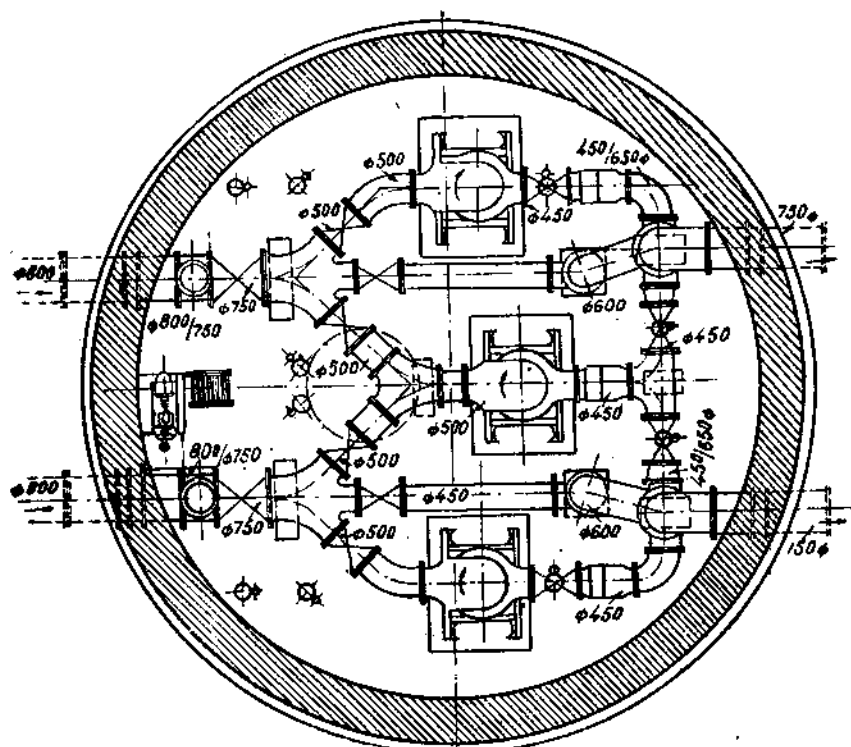
Фиг. 227 Станция Великого Запорожья.



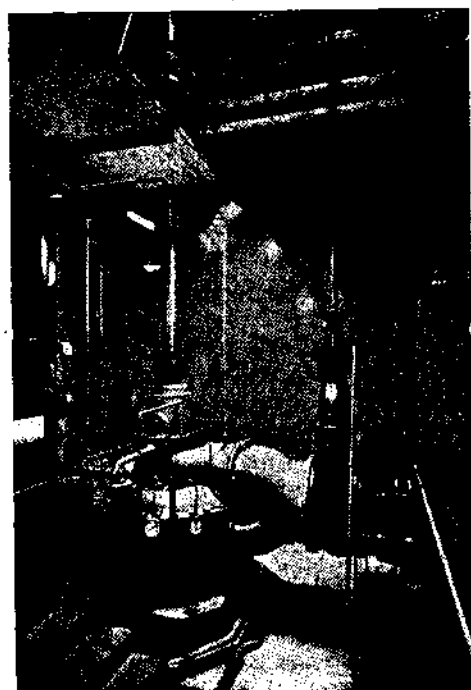
Фиг. 228. Станция Великого Запорожья.



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 «Оддессе» для Запорожской станции. Насос трехступенчатый, расположен на конце 500 мм фланцевой трубы. Производительность — $1500 \text{ м}^3/\text{час}$, 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».

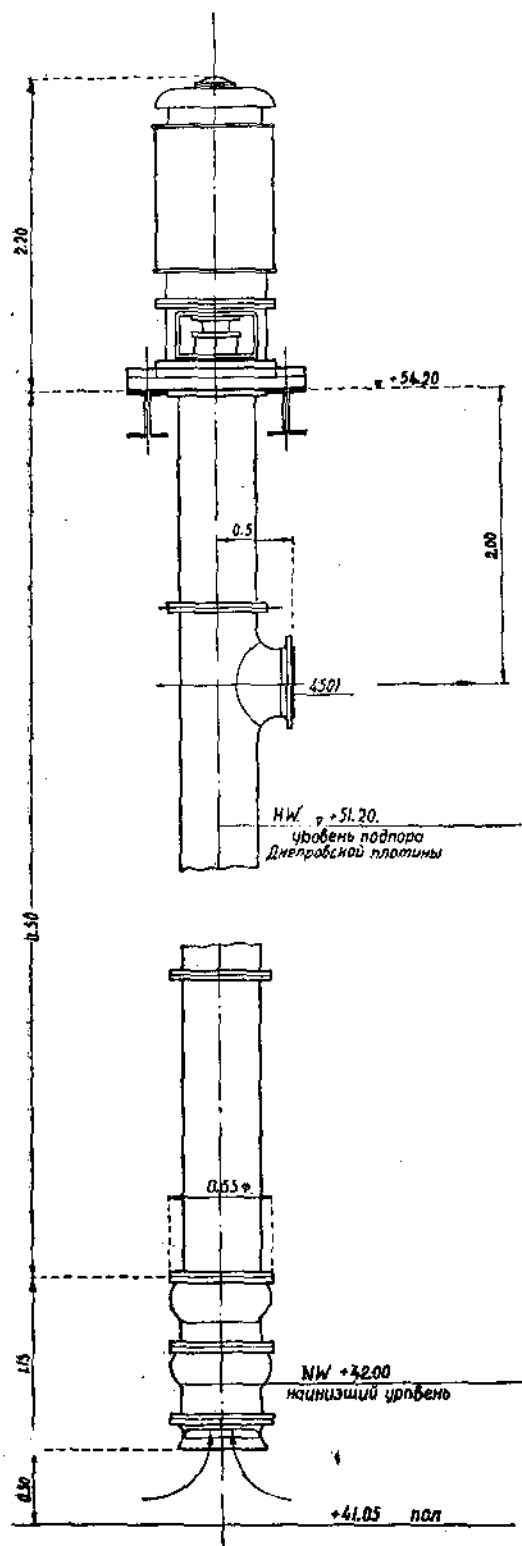
4. Станция г. Дюссельдорфа

На фиг. 235 представлена насосная станция г. Дюссельдорфа.

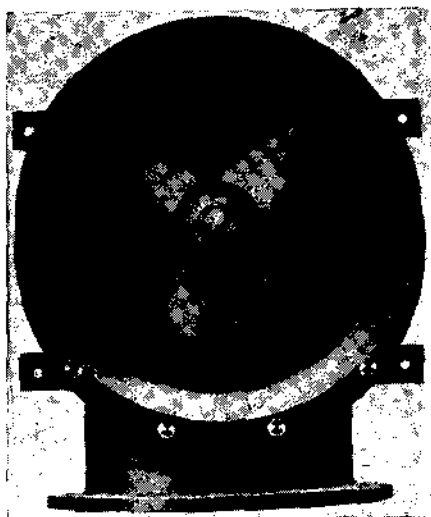
Насосы поставлены фирмой Эслингер. На фиг. 235 хорошо видно расположение вертикальных насосов, вертикальный вал имеет три направляющих подшипника, прикрепленных к балконам. От оси насоса до верхнего пола 14,55 м. Вверху на перекрытии расположены вертикальные моторы; ввиду большого расхода каждый насос подает 1 м^3 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^3 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 «Эслингер» поставила на них сальники при проходе через стену станции.



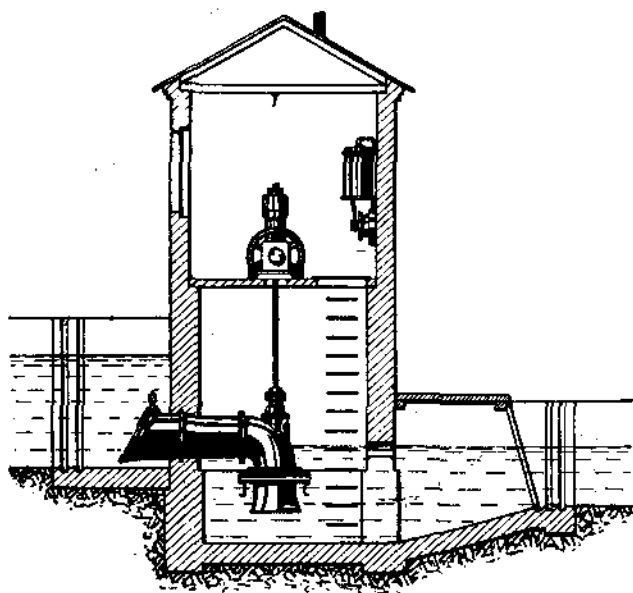
Фиг. 231. Насос погруженный в воду.



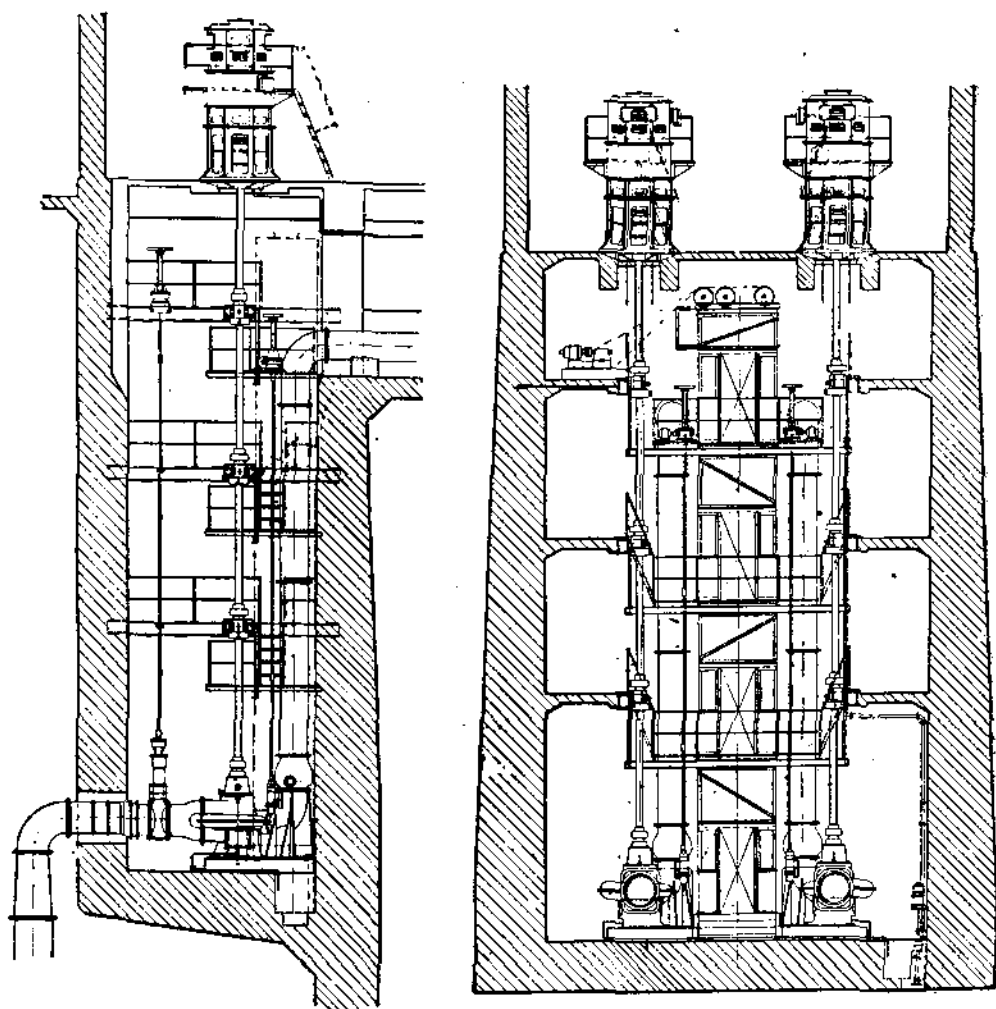
Фиг. 232. Пропеллерный насос.



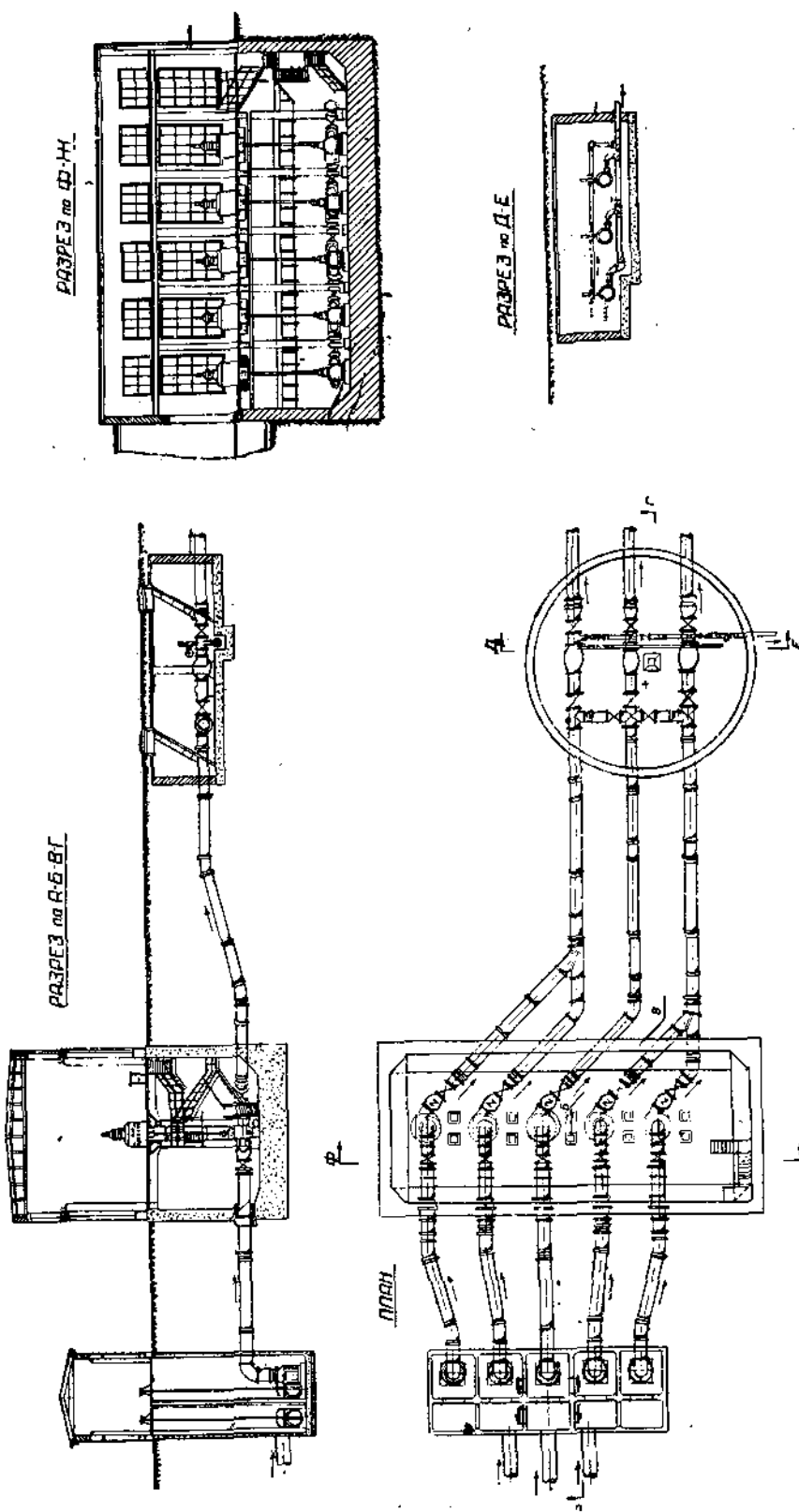
Фиг. 233. Пропеллерный насос.



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, гавамуфта и проч.

6. Насосная станция Shipton Moynе в Англии

Совершенно не похоже на оборудование наших станций оборудование станции в Shipton Moynе 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 м³/час, а работает 16 час. в сутки¹.

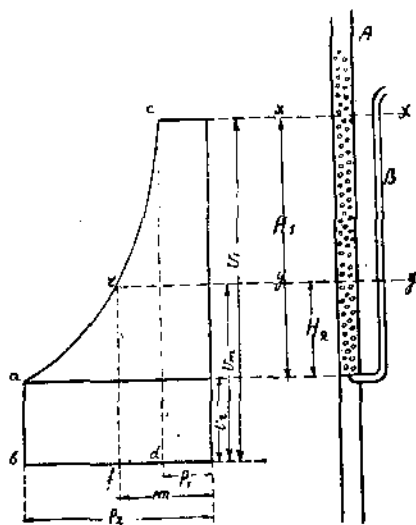
¹ Water und Water Engineering, May 20, 1933.

1. Общие понятия

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

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

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, добиваясь возможно-большого раздробления пузырьков воздуха, равномерно смешанных с водою. В водопроводном деле большее применение нашел второй способ выпуска воздуха; на нефтяных же промыслах применяется первый способ.

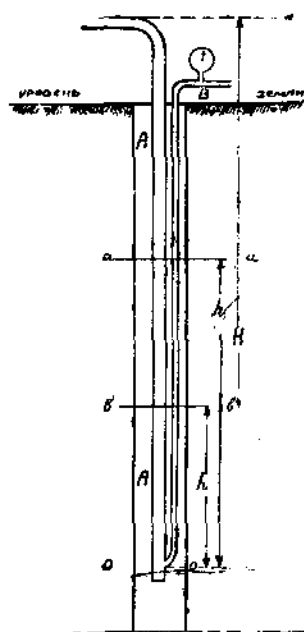


Фиг. 236. Схема эрлифта.

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 пуска 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 выдавить 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	3,80	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 15	до 15 м	70—66
» 30	до 30 м	66—55
» 60	» 60 »	55—50
» 90	» 90 »	50—43
» 120	» 120 »	43—40
» 150	» 150 »	40—33

Фирма Ingersoll-Rand Company 11. Broadway New York рекомендует несколько иные величины:

Высота подъема		Процент погружения
от 45	до 40 м	70—65
» 90	до 75 м	60—55
» 120	» 120 »	65—50
» 180	» 180 »	45—40
» 210	» 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 $\pi = \frac{100h}{h+H}$, где π 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 :

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

Подставим вместо букв числовые значения. p_1 — атмосферное давление при v_s , 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

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

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 :

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

При разных процентах погружения коэффициент C для метрических мер изменяется следующим образом:¹

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:

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

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

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

Взяв отношение

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

получим:

$$v' : v_a = KE.$$

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

Высота подъема	K	E	KE	Примененный к. п. д.
H				
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.

¹ В английских мерах эта формула имеет вид:

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

v_a 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

I. 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 γ_m пренебрежем весом воздуха в виду его незначительно величины по сравнению с водой:

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

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 η к плотности ρ делением вязкости воды на плотность смеси.

Из уравнения движения жидкости

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

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

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

откуда

$$i = \frac{c\nu^2}{Rg}.$$

Здесь i — единичная потеря напора; R — гидравлический радиус; g — ускорение силы тяжести; ν — 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 сплюсчиваются, 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 опережает 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 внезапнее происходит увеличение объема, т.е. вдувание воздуха. На эту потерю обратили внимание только в последние годы; для уменьшения ее впуск 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.

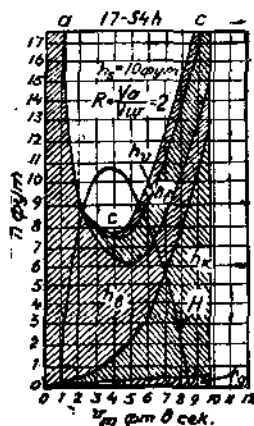
Потери в эрлифтах, подсчитанные Суиндином по опубликованным данным некоторых установок

	Preesall Lance wl	Purchas series D wl	Chino Copper Tailings Lift	Скв. №6 Харьк. вод.
Диам. подъем. трубы . .	100 мм	143 мм (с.)	375 мм	200 мм
Погружение h	61,2 м	96 м	25,4 м	47,5 м
Высота подъема H	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

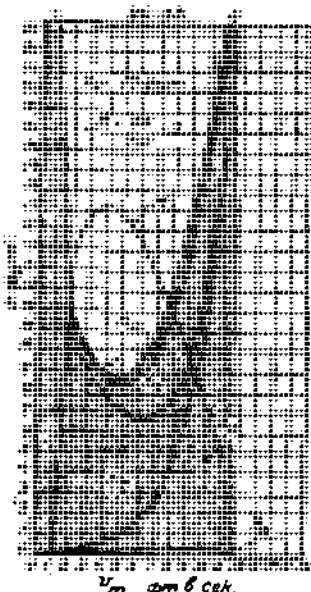
	Preesall Lance wl	Purchas series D wl	Chino Copper Tailings Lift	Скв. № 6. Харьк. еод.
Коэф. полезн. действ. вычисленный	24,0%	67,5%	55,6 %	56
Средняя скорость воз- душно-водяной смеси.	27,6 %	%	59,6 %	
Скорость при выходе .	5,6 м	3,1 м	5,15 м	2,95 м
Скорость при входе .	13,4 »	5,2 »	7,0 »	4,7 »
Потеря 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.

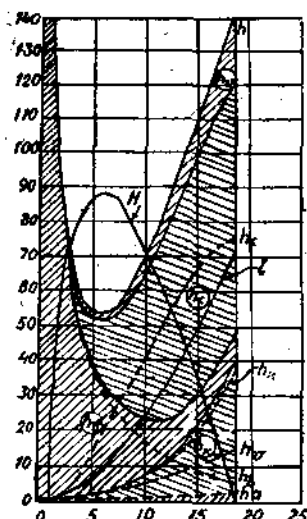
Первая установка явно неудачная — потери, зависящие от скоростей, очень



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 $\frac{V_{вод.}}{V_{возд.}} =$



Фиг. 240. Диаграмма эрлифта $d = 50$ м. Погружение 30 м $\frac{V_{вод.}}{V_{возд.}} = 2$

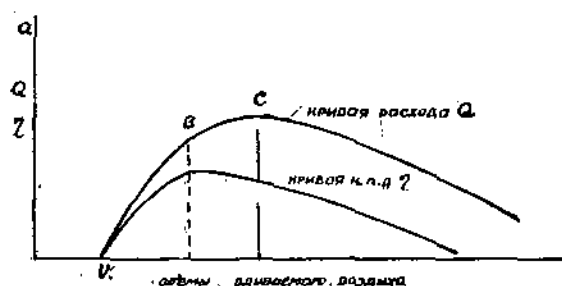
велики, поэтому и к. п. д. очень мал. Виной всему малый диаметр трубы. Вторая установка при подаче того же количества воды 12 л. с. и при много большей высоте подъема, при почти в 1,5 раза большем диаметре трубы дает очень высокий к. п. д. — 67,5%; скорости умеренные и потери от них малы.

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_v — 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_a 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.

Диаграмма на фиг. 240 составлена для эрлифта того же диаметра 50 мм, но глубина погружения 30 м. Потеря на трение при больших скоростях подъема становится, как видно из фигуры, доминирующей.

ХIII. 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. Обыкновенно 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 во в 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: 60% погружения — на 12%, для 50% — на 22% и для 40% — на 37%.

При конической трубе, уширяющейся кверху, подача может быть увеличена на 25%. По мере подъема сжатого воздуха вверх объем его от расширения увеличивается, скорости движения смеси возрастают, а вместе с ними возрастают потери на трение; при расширении трубы кверху потери на трение будут уменьшены, уменьшится также и потеря на излив — вследствие уменьшения скорости сливающейся 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	Производи- тельность л/сек	Минимальный диа- метр 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 ² 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 вязкости для газов иной, чем для воды.

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

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

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;

γ —удельный вес газа при данном давлении — в кг/м³. Так как давление вначале и конце трубопровода разнится на величину потери напора, то нужно брать удельный вес, соответствующий среднему давлению.

Коэффициент сопротивления β зависит от g ; эта зависимость выражается следующей таблицей:

g	β	g	β	g	β	g	β
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 м³ 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/м²; для атмосферного давления эта величина выражается в 10 000 кг.

Первый пример. Определить потерю напора при пропуске 20 м³ 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 β , соответствующий этому расходу, по таблице = 0,97.

Удельный вес воздуха, сжатого до 6 атм, в 6 раз больше удельного при веса воздуха при атмосферном давлении. При 15° вес 1 м³ 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 м³/мин., давление—3 атм, $d = 50$ мм, $l = 100$ м.

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

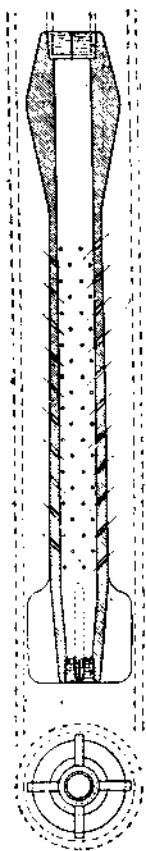
Третий пример. Все условия предыдущего, кроме давления, которое вместо 3 = 6 атм:

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

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-

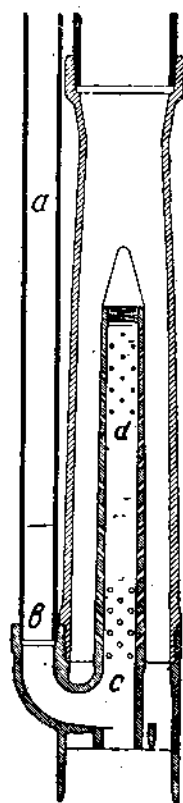
живаются и на воздушную трубку через некоторые промежутки. Коническое уширение над башмаком *aa*, повидимому, делается для лучшего перемешивания воздушных пузырьков с водой. Польза от него сомнительна, а сужение сечения вызовет лишние потери напора.



Фиг. 242. Башмак для центрального впуска воздуха.



Фиг. 243. Башмак для впуска снаружи.



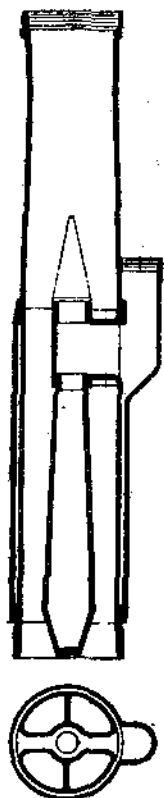
Фиг. 244. Башмак для подвода снаружи.

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.

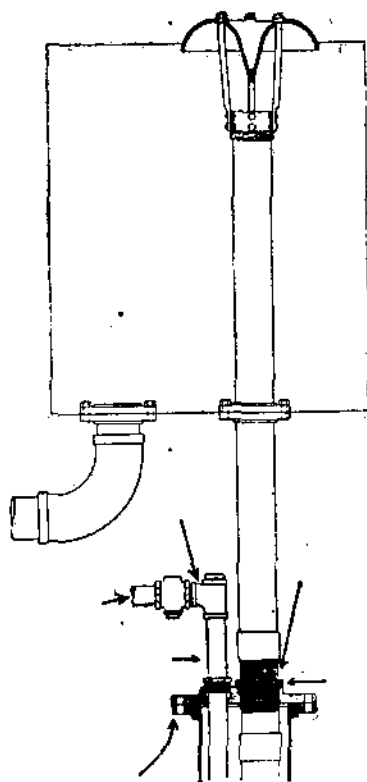
4. Башмак для наружного подвода воздуха

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.

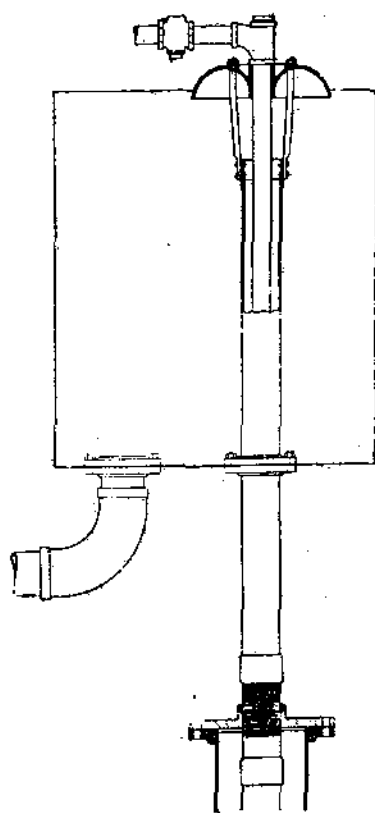
Другой способ устройства башмака показан на фиг. 244. Здесь подведенный снаружи сжатый воздух по трубке *ab* впускается в продырявленную центральную расположенную насадку *cd* из нержавеющей материала, иначе отверстия под влиянием ржавчины будут увеличиваться. На фиг. 245 показан башмак для подъемных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



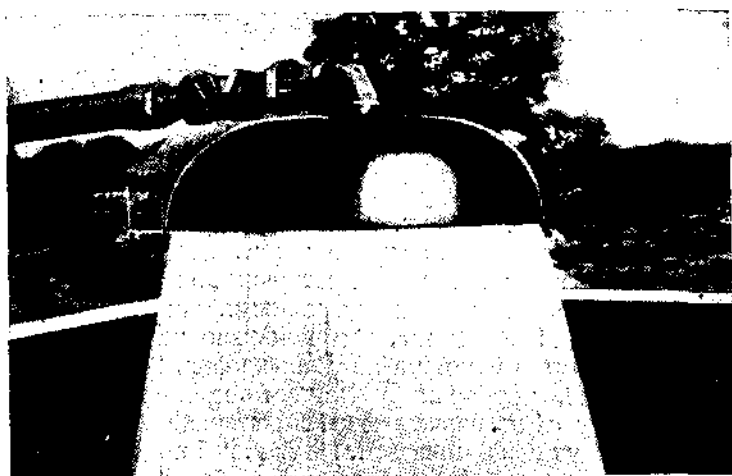
Фиг. 245. Башмак для больших труб.



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



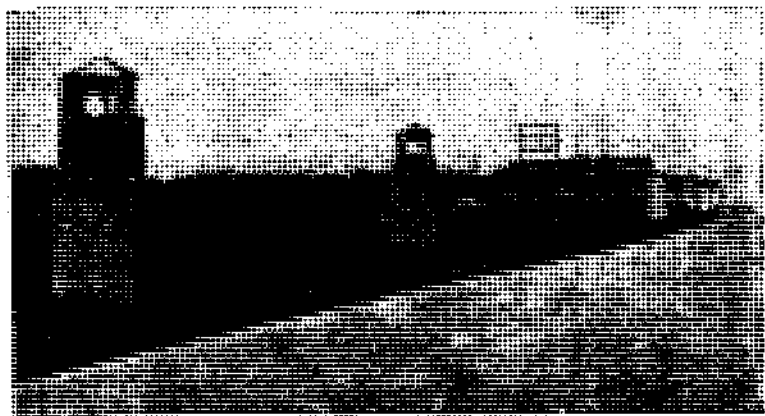
Фиг. 247. Бак с зонтиком для внутреннего впуска воздуха.



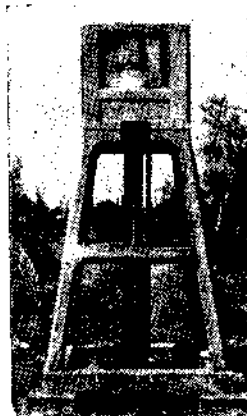
Фиг. 248. Зонт в работе.

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,

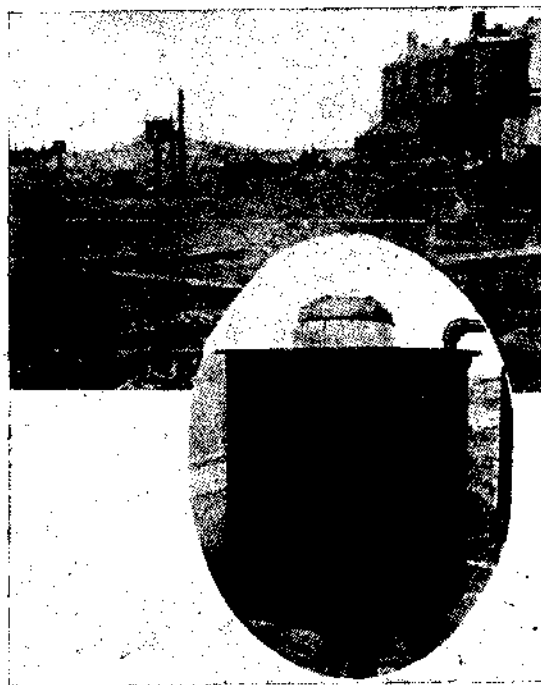


Фиг. 249. Группа скважин с воздухоотделителями.



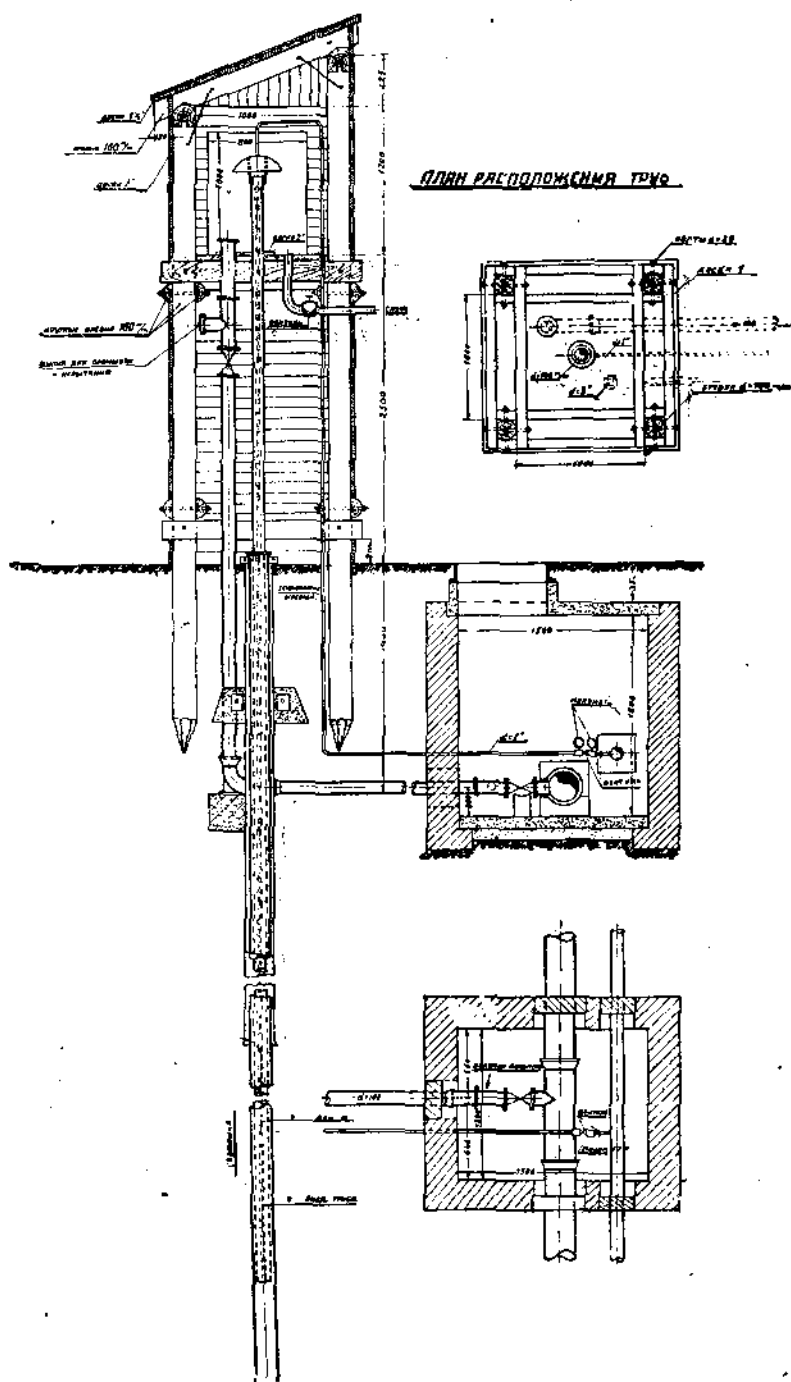
Фиг. 250. Бак на подставке.

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, Оклахома в С. Америке.



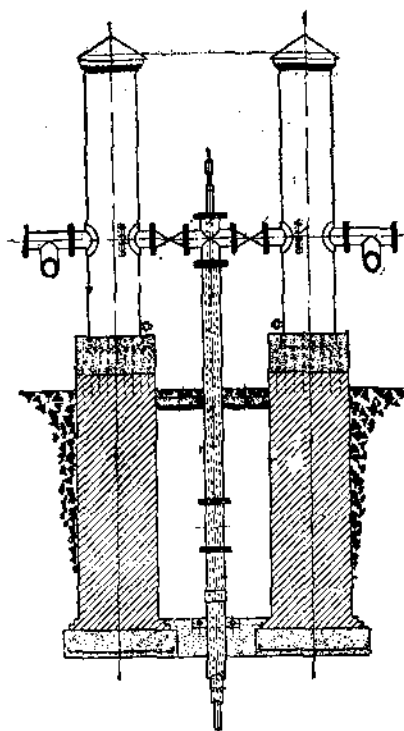
Фиг. 251. Ряд баков на трубе.

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).

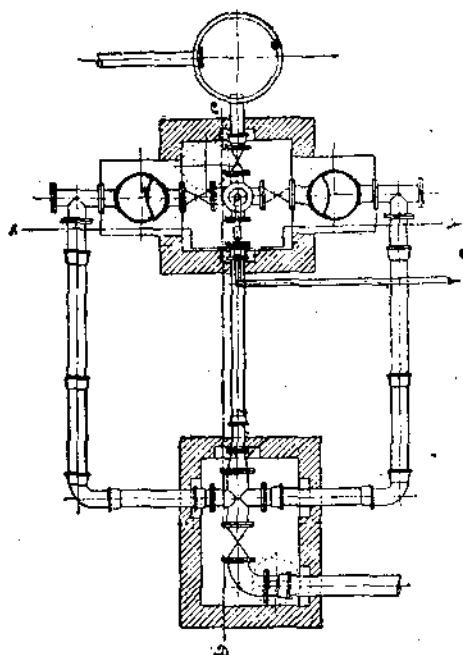


Фиг. 252. Баки Харьковского тракторного завода.

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



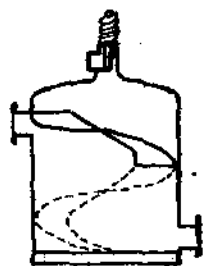
Фиг. 253. Воздухоотделители Харьковского водопровода.



Фиг. 254. Воздухоотделители Харьковского водопровода — план.

заинтересовывает их. Водопроводные сооружения, трубопроводы, резервуары и проч. вообще скрыты от глаз людей под землей, 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 АА (фиг. 253 и 254). Скважина с эрлифтом расположена посредине СС; из трубы СС смесь под прямым углом направляется в направо и налево стоящие колонны из 600 мм чугунных труб. Тут смесь воды и воздуха встречает перегородки п, воздух выделяется вверх и уходит через сетку т, а вода направляется в



Фиг. 255. Циклонный сепаратор в разрезе.



Фиг. 256. Циклонный сепаратор непосредственно у скважины.

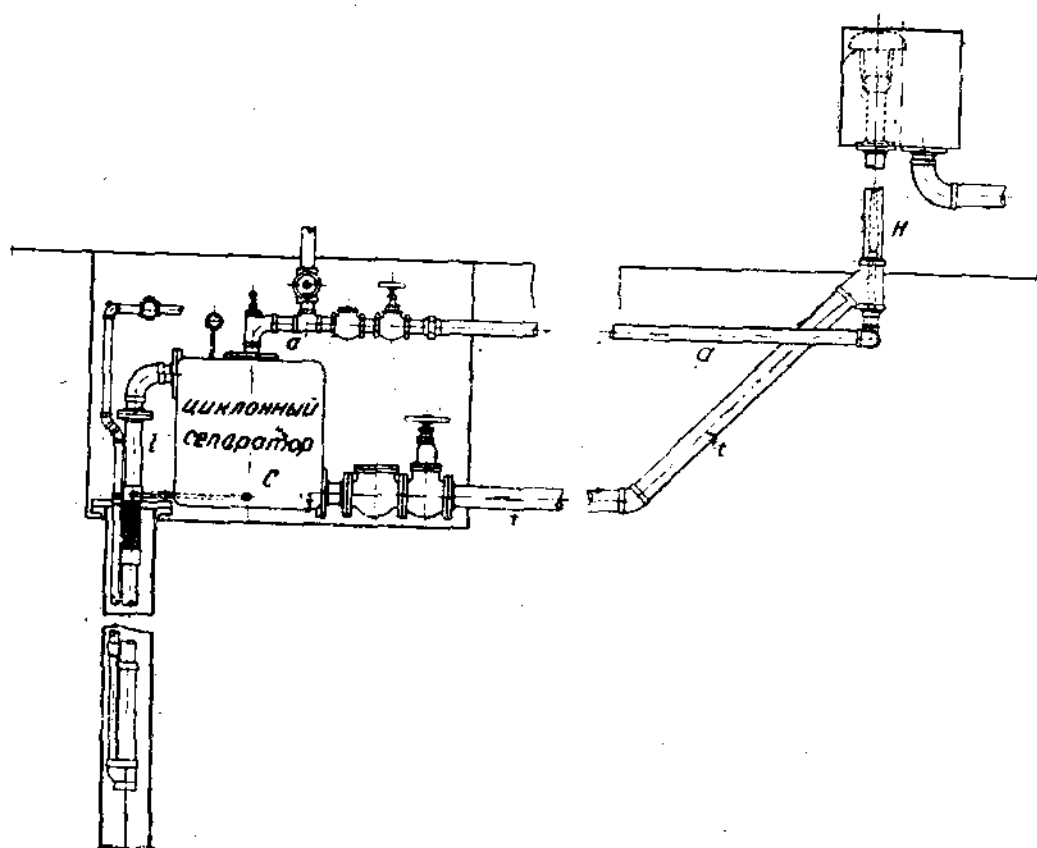
тройник р. Для больших скважин установка делается двойная, как на фиг. 252, а для малых устраивается только одна колонна. Недостаток этого устрой-

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° , 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.

Аппарат 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.

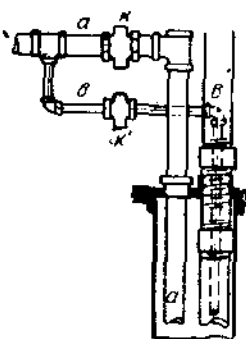
2. Двухэтажные и многоэтажные воздухоподъемники

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.



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 пужно, 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.

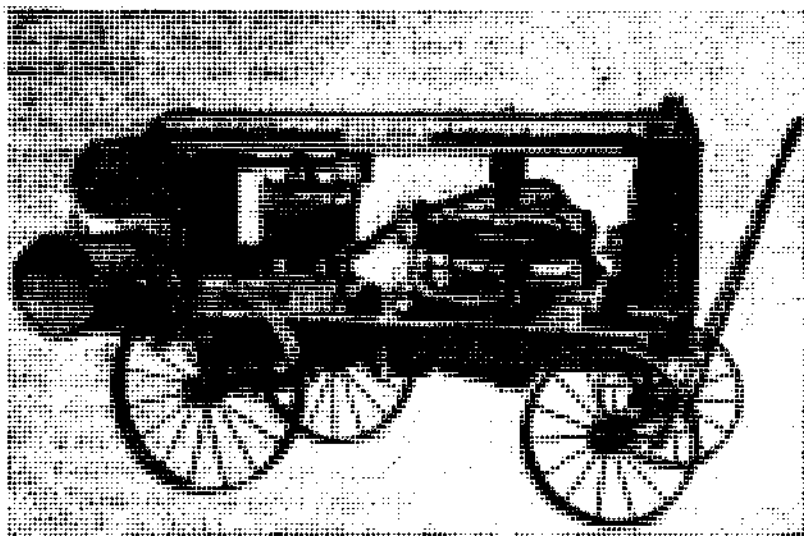
Предварительное испытание скважин очень удобно производить подвижным компрессором. Образец такого компрессора на давление до 7 атм показан на фиг. 259. Впереди находится двигатель внутреннего сгорания, а сзади — верти-

Фиг. 258. Двухступенчатый эрлифт.

кальный двухцилиндровый компрессор. Воздушный резервуар висит сзади внизу, а над ним — бак с жидким горючим. Производительность — 4,5 м³ мин.

4. Разработка скважин

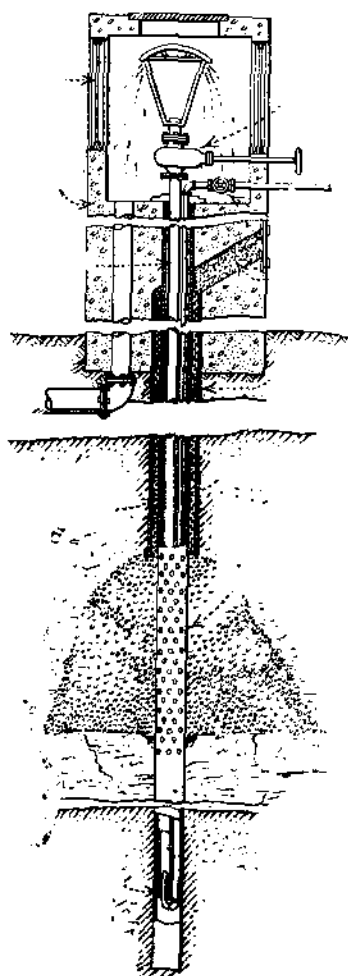
Пробуренную скважину таким компрессором очень удобно прочистить от песка путем длительной откачки и продолжения подъемной трубы до самого дна скважины. При этом впуск воздуха остается на прежней глубине, наращивается



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 оборудуется 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, «Трубочатые 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.—

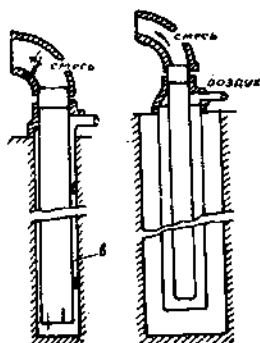
[*] По данным о 40 скважинах в Сураханах (Баку) глубина скважин колеблется от 366 до 1011 м; глубина воздушных труб — от 350 до 756 м. В большинстве скважин диаметр подъемных труб равен 63 мм, но есть скважины с трубами в 40 и 50 мм. Рабочее давление — от 4 до 20 атм; процент погружения — от 10 до 43; расход воздуха 4—13 м³/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:

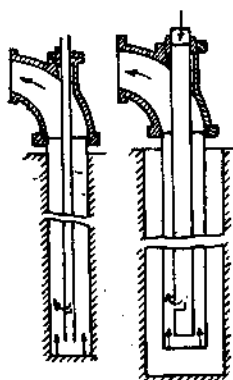
Высота подъемной трубы в м	Коэффициент погружения в %	Коэффициент полезного действия эрлифта в %
22	59	45,8
222	64	38,3
455	40	17,5
576	43,5	13,7

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

показан эрлифт, независимый от обсадной трубы. На фиг. 262 показана центральная подача воздуха: слева—с использованием обсадной трубы, а справа—независимо от нее. Конструкция по фиг. 261 применяется в Баку, а по



Фиг. 261. Эрлифты для нефти. Впуск воздуха снаружи.



Фиг. 262. Эрлифты для нефти. Впуск воздуха изнутри.

фиг. 262 в Америке. Впуск воздуха в одном месте создает громадное ускорение и потерю энергии, особенно при вдувании больших объемов воздуха.

XV. КОМПРЕССОРЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

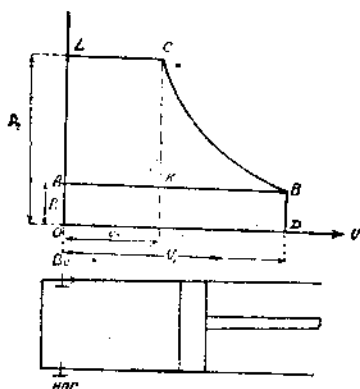
1. Теория работы компрессора

Сжатие воздуха сопровождается, как известно, выделением тепла. Если выделяющееся тепло сейчас же удаляется и температура в начале и в конце сжатия одна и та же, то процесс называется изотермическим. Если теплота во время сжатия совершенно не удаляется, а целиком остается в сжимаемом воздухе, отчего температура его повышается, тогда процесс называется адиабатическим.

В действительности сжатие происходит не по изотерме и не по адиабате, так как охлаждение во время сжатия бывает недостаточным для удаления всего образующегося тепла. Процесс идет обычно при некоторых средних условиях между изотермическими и адиабатическими. Все процессы сжатия подчиняются закону, выражаемому формулой:

$$q_1 v_1^n = q_2 v_2^n = \text{const.}$$

Для изотермического сжатия показатель степени n равен 1, для адиабатического n равен 1,41, а для промежуточных условий, когда сжатие называется политропическим, n находится между 1 и 1,41.



Фиг. 263. Диаграмма сжатия в компрессоре.

2. Работа сжатия

Представим себе цилиндр с поршнем (фиг. 263). При движении поршня вправо в цилиндр засасывается воздух; если пренебречь сопротивлением во вдуывающем клапане, то давление по обе стороны поршня одинаковое и никакой работы не производится. При обратном движении поршня всасывающий клапан закрыва-

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 $(p - p_1) F ds$. 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 $LCFO$ — площадь $OABD$, т. е. всей трапецевидной площади. Эта площадь равновелика площади прямоугольника $MNAB$, Ордината p_1 называется средним индикаторным давлением, так как диаграмма, подобная фиг. 263, вычерчивается обыкновенно прибором индикатором, привинчиваемым к цилиндру компрессора.

$$L = \text{плещ. } MNAB = p_1 \cdot v_2.$$

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

Секундная работа выразится:

$$L_{\text{сек}} = \frac{L n}{60} = \frac{p_1 v_1 n}{60} = \frac{p_1 F \cdot S \cdot n}{60} = p_1 Q_{\text{сек}}.$$

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

$$L_{\text{сек}} = p_1 Q_{\text{сек}}.$$

так как секундная подача воздуха $Q_{\text{сек}}$ 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

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

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

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

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

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

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 м³ 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°
-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

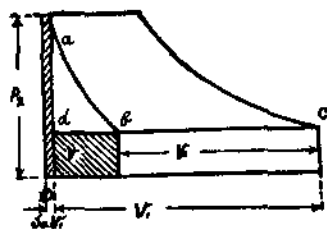
Чтобы выразить это в мощности, допустим, что 1 м³ воздуха, взятый при атмосферном давлении, сжимается в 1 минуту до давления p_2 , тогда потребуется л. с:

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 ударяться о крышки цилиндра; кроме того, к цилиндру примыкают камеры клапанов. 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



Фиг. 264. Диаграмма сжатия при вредном пространстве.

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.

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

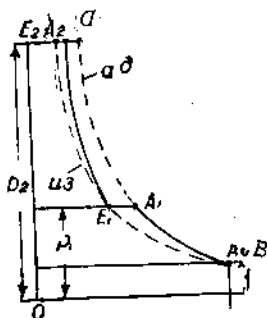
Большое значение для работы компрессора имеет охлаждение. При адиабатическом сжатии требуется максимум энергии, при изотермическом — минимум. Охлаждение бывает сухое и мокрое. В первом случае вода не соприкасается с воздухом, а циркулирует только в рубашках цилиндра и крышек. В многоступенчатых компрессорах 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/м³ 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

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



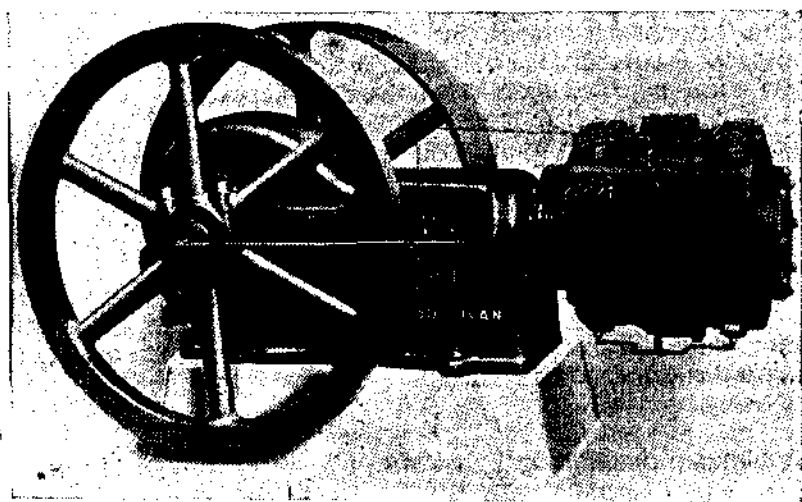
Фиг. 265. Диаграмма двухступенчатого сжатия.

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

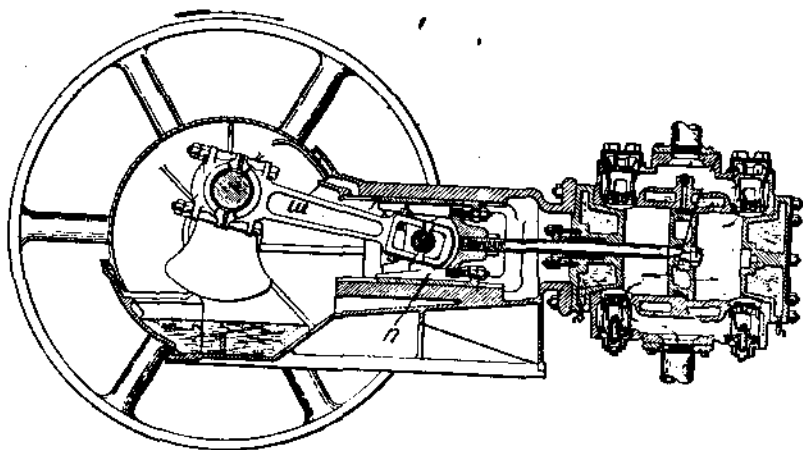
1. Одноступенчатые компрессоры

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-



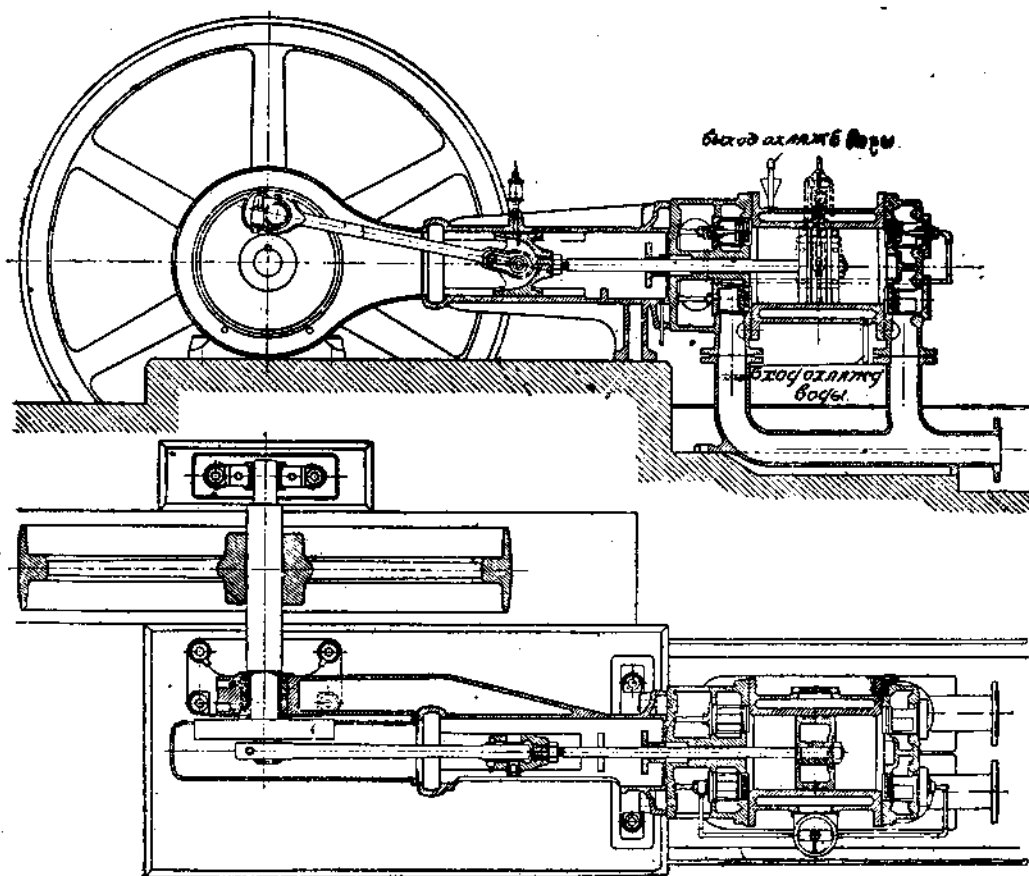
Фиг. 267. Разрез одноступенчатого компрессора «Сулливан».

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 ³ /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	93,3	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

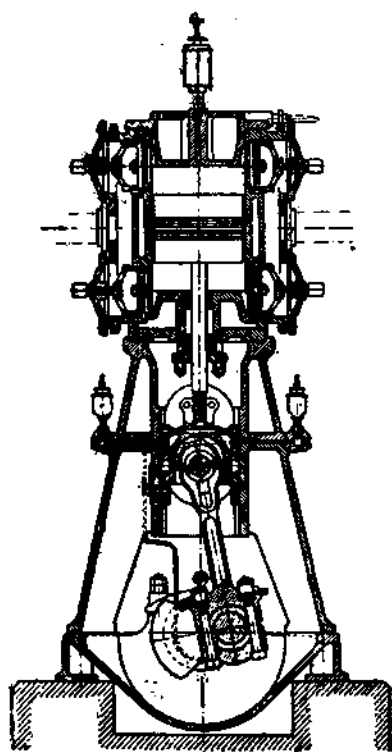


Фиг. 268. Компрессор фирмы «Борзиг».

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 ³ /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 ³ /мин	1	2	4	16
Расход мощности . л. с.	6	16	32	48
Диаметр всас. и напор. трубы мм	50	65	76	100

2. Двухступенчатые компрессоры

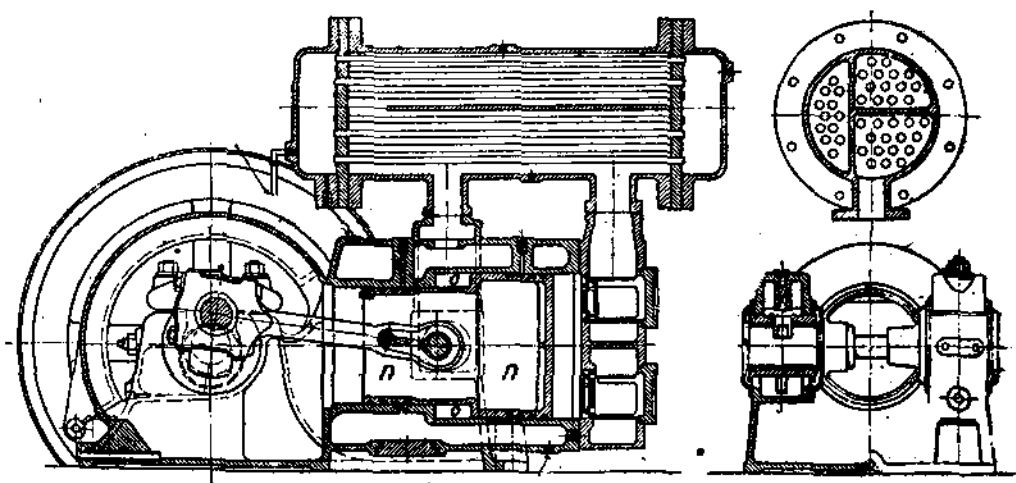
При давлениях выше 8 — 10 атм. обычно применяют двухступенчатое сжатие. На фиг. 270 показан двухступенчатый компрессор фирмы «Борзиг». Первое сжатие происходит в цилиндре справа, сжатый воздух затем направляется в ресивер, расположенный над цилиндром, где и охлаждается почти до первоначальной температуры. Из ресивера воздух засасывается в кольцевое пространство *ОО* 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.

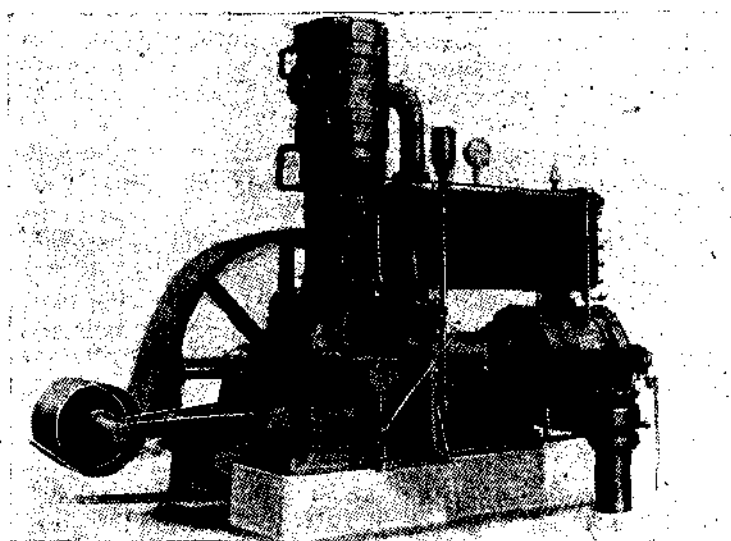
3. Клапаны

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	Оборотов в минуту	Всас. воздуха м³/мин.	Давление 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	96,0	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



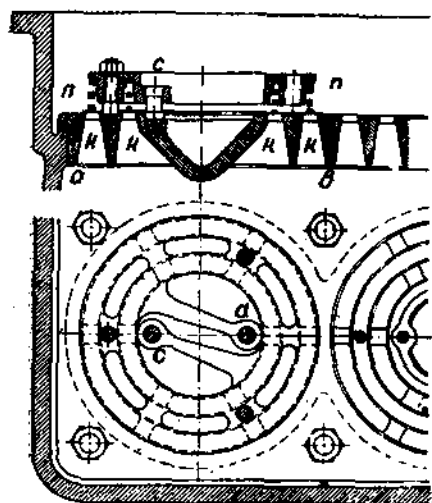
Фиг. 270. Двухступенчатый компрессор «Борзиг».



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.

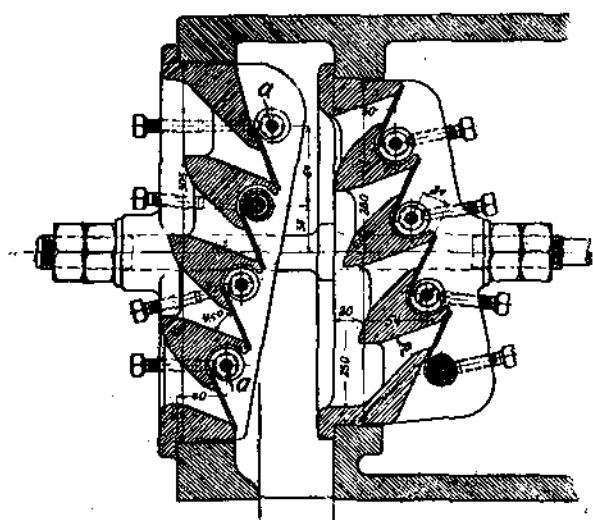
Площадь прохода в седле определяется из уравнения непрерывности потока $f v = F C_m$. Здесь f — площадь свободного прохода, v — скорость газа 20 — 25 м/сек; F — площадь поршня компрессора, а C_m — средняя скорость поршня, колеблющаяся от 1,5 до 4 м/сек.



Фиг. 272. Кольцевой клапан.



Фиг. 273. Клапан «Сулливана».



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 $пп$.

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

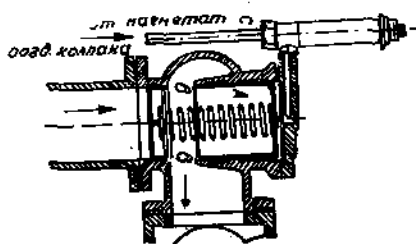
Кроме клапанов применяются в компрессорах и поршневые золотники с принудительной посадкой, управляемые от эксцентрика на валу компрессора. Интересную конструкцию представляют клапаны «Гутермут» (фиг. 274). Стальная пластинка спирально закрученным концом укреплена в a . В открытом состоянии клапан представляет 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 полный поршень *A* удерживается пружиной в своем верхнем положении и через щель *bb* воздух всасывается свободно. При избытке подаваемого воздуха повышенное давление подается по трубке *cc* 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 $\frac{1}{2} \rho v^2$. Так как масса газа в том же объеме в несколько сот раз меньше массы жидкостей, то для того, чтобы $\frac{1}{2} \rho v^2$ 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.

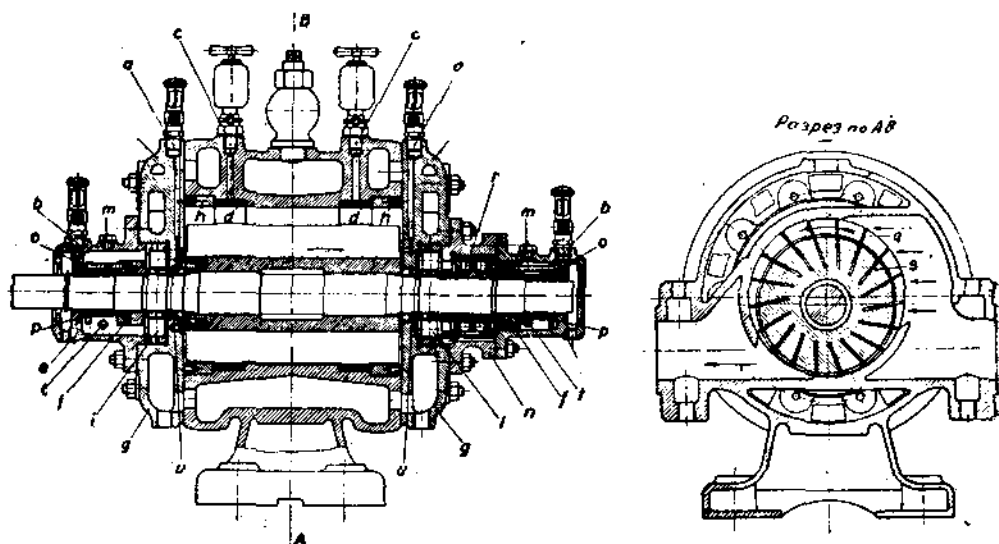
Центробежные компрессоры обыкновенно приводятся в движение паровыми турбинами и носят название турбокомпрессоров. Кривые характеристики центробежных компрессоров также очень похожи на характеристики центробежных насосов. При увеличении подачи при пониженном давлении и здесь сильно возрастает расход энергии. При работе в атмосферу 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 серпообразным рабочим пространством, разделенным радиальными перемещающимися пластинками. На фиг. 276 в двух разрезах показан компрессор Виттиха фирмы «Демаг», Дуйсбург. Движение воздуха показано стрелками. В корпусе компрессора вращается эксцентрично поставленный барабан *C* с подвижными стальными пластинками *q*. Под влиянием центробежной силы пластинки выдвигаются по мере того, как расширяется серповидное пространство при движении от *A* к *B*; по мере сужения этого пространства от *B* к *C* они снова вдвигаются

в свои щели. На дуге *AB* пластинки выдвигаются, и пространство между ними заполняется воздухом атмосферного давления. За точкой *B* начинается сжатие, серп идет на утонение, пространство между пластинками уменьшается и воздух, находящийся в нем, сжимается. За точкой *C* 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:

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

Здесь *D* — диаметр цилиндра, в котором вращается барабан с пластинками; *l* — его длина; *S* — толщина пластинок; *Z* — число пластинок; *2 n*, равное наибольшему выдвигению пластинок, — двойной эксцентрисите оси барабана по отношению к оси цилиндра; *n* — число оборотов в минуту. Компрессор работает как поршневой с площадью поршня в *2 ml*. 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

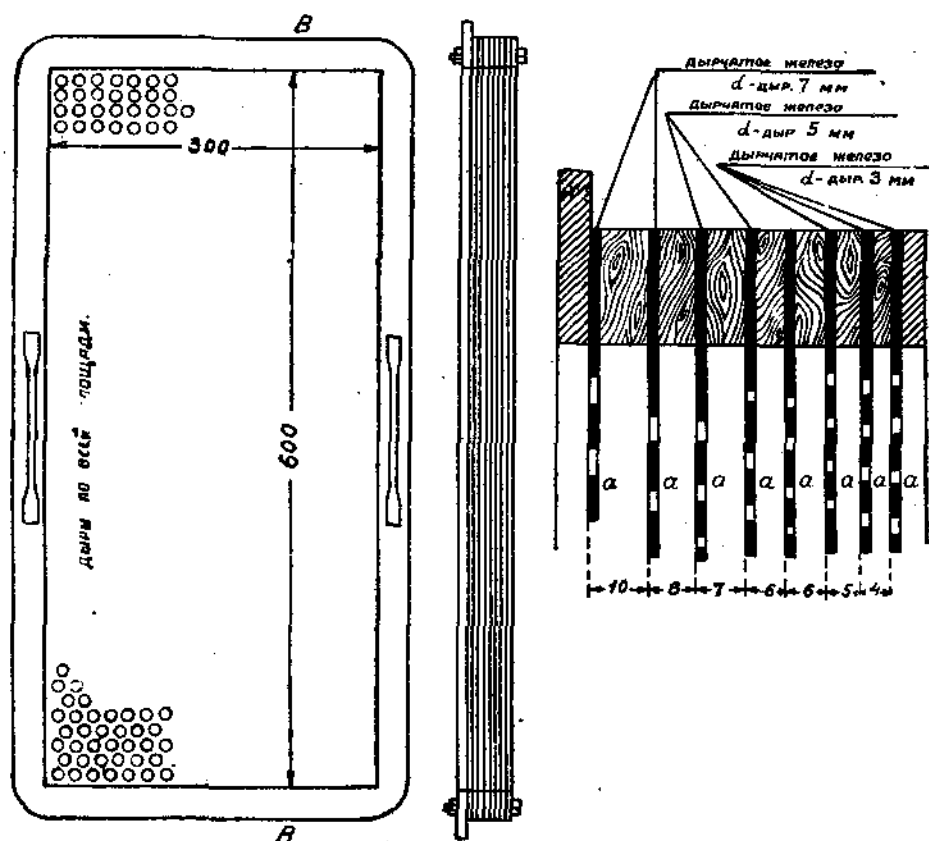
1. Общие соображения

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 керамических 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 преч. Чисто содержимая машина поддерживает у

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 *аа* собираются в раму *ВВ* размером 300 × 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:

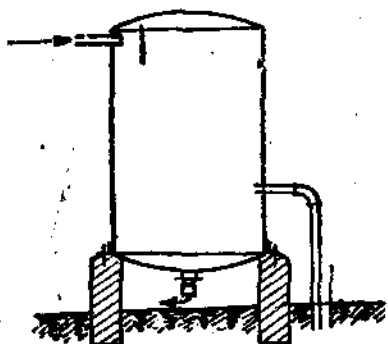
Количество воздуха, проходящего через раму м ³ , час	Сопротивление фильтра в мм водяного столба	Запыленность воздуха мг/м ³	
		До фильтра	После фильтра
700—800	1,5—2,0	2,8	1,1
1500—1700	5—7	41,0	2,5
		87,8	0

При больших расходах воздуха несколько рам вставляются в деревянный переплет.

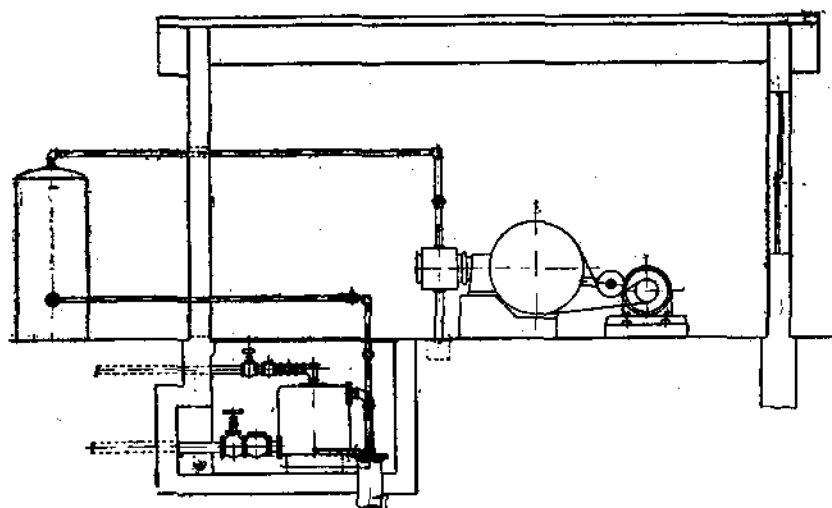
Фильтры помещаются или в особой башенке во дворе станции, как для вентиляции, или же башенка устраивается на крыше. На харьковских станциях фильтры помещаются в камере в подвале, но воздух подводится к ним трубою сверху.

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 выравнивать 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

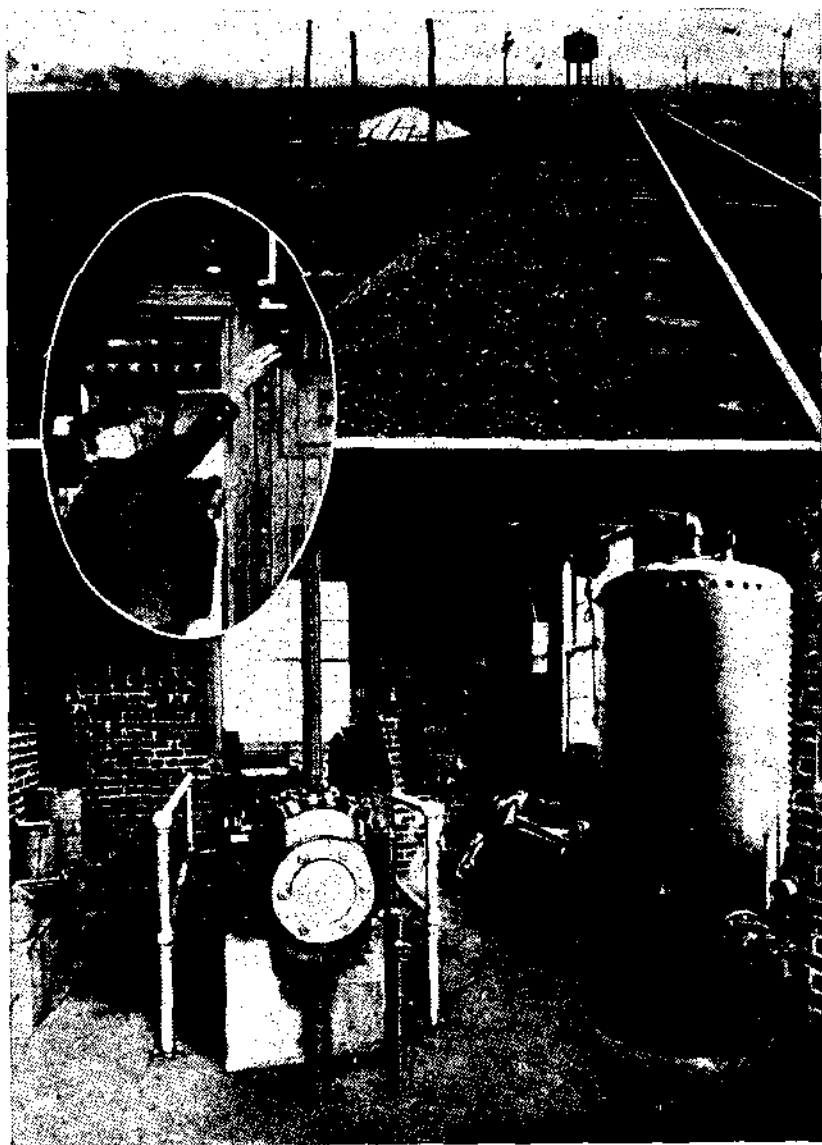
или раз в смену выпускать воду и масло, собирающееся на дне котла; охлаждение же котла выгодно для отделения масла.

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.

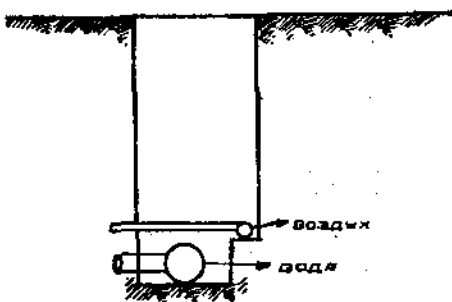
6. Выбор числа компрессоров

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. Необходим еще третий компрессор, чтобы и в этом случае имелся резервный агрегат, который мог бы заменить работающий 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 большого числа агрегатов на крупных станциях дает им гибкость, необходимую при переменной нагрузке станции.

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 изготавливать на всасывающих клапанах регулировочные приспособления.



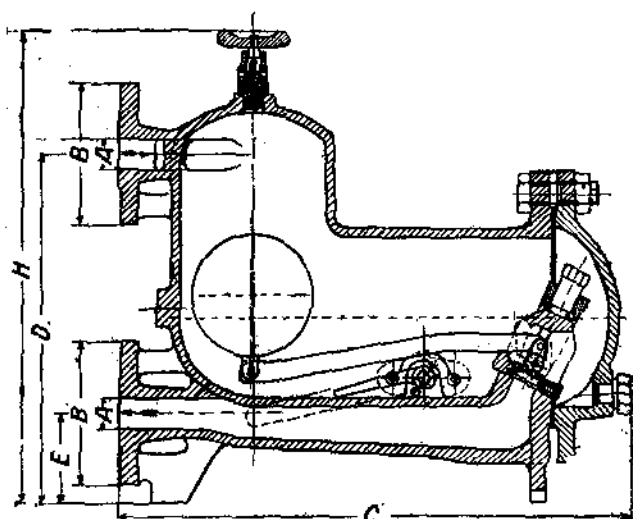
Фиг. 282. Схема укладки воздуховода.

7. Трубопроводы

При эксплуатации одной компрессорной станцией нескольких скважин к каждой скважине должен быть подведен воздуховод и от каждой скважины — водовод. Воздуховоды и водоводы выгоднее укладывать в одной траншее, причем воздуховод 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 II смесь попадает в сепаратор. Выделившаяся в сепараторе вода давлением воздуха, вероятно, около 1—2 абс. атм, передвигается по трубе II к напорной башне, а сжатый воздух по трубе aa также направляется туда и посредством наконечника H образует второй эрлифт в подъемной трубе напорной башни.

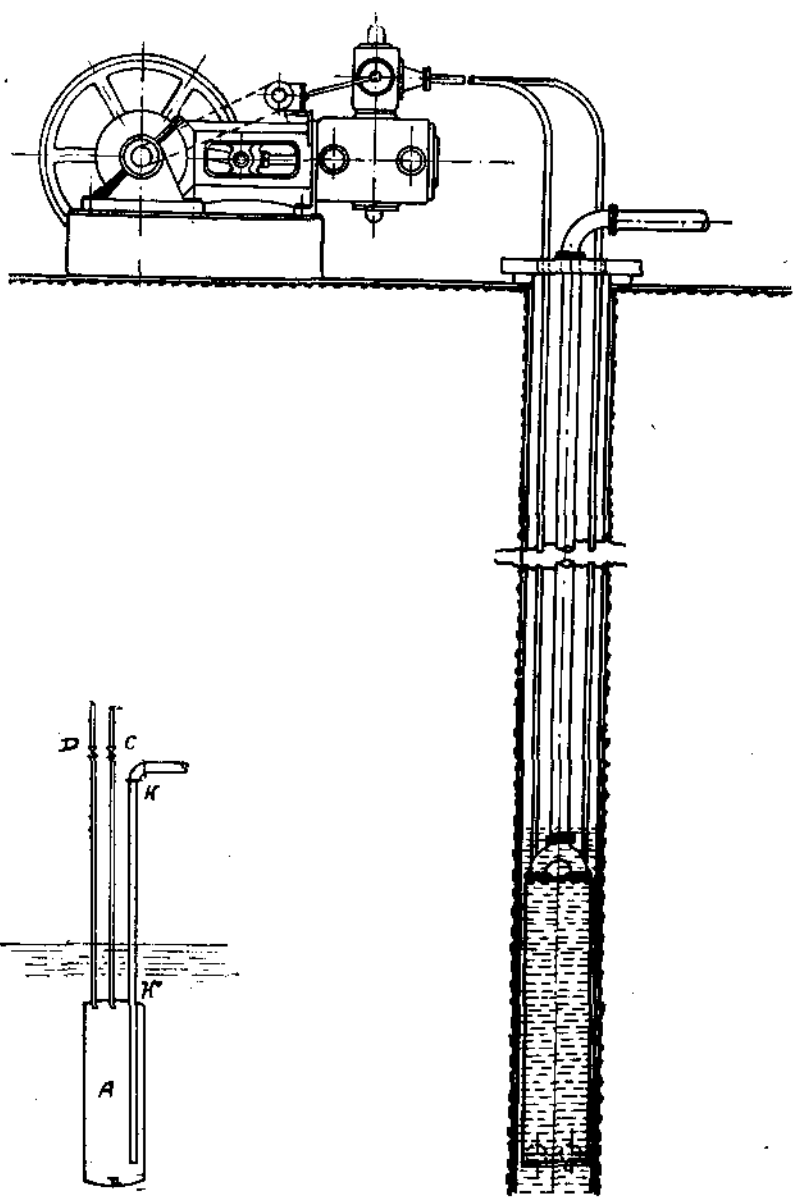
Чтобы мотор мог начать двигаться без полной нагрузки, на компрессоре установлен центробежный регулятор, который в покое и при малой скорости держит открытым особый клапан, и цилиндры работают вхолостую; при полном же числе оборотов клапан закрывается и компрессор начинает работать.

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 Дюбуке (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 мм. 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 м³ в сутки при средней высоте подъема 38,4 м. Расход воздуха был 3,3 м³ на 1 м³ 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 глубиной 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, открывается 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 разрежением, 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.

XVIII. 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.

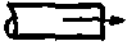
Местные потери

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 около 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 ζ , установленный опытом.

Значение коэф. ζ

1.  При входе в трубу без расширения затрачивается напор $\frac{v^2}{2g}$ на образование 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 ζ по таблице

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

9.  Диафрагма

$\frac{\alpha_1}{\alpha}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ζ	226	48	17,5	7,8	3,8	1,8	0,8	0,3	0,06

10.



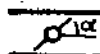
Закругленное колено по таблице при угле 90° , а при угле β° ζ надо умножить на отношение $\beta^\circ : 90^\circ$.

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

11. Задвюжка в круглой трубе

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

12.



Дроссельный клапан в круглой трубе

α°	5°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°
ζ	0,24	0,52	1,54	3,90	10,8	18,7	32,6	118	751

13. Поворот без закругления

α°	20°	40°	60°	80°	90°	120°	140°
ζ	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98	1,86	2,43

14. Колено 90° по нормальному сортаменту ζ от 0,2 для малых диаметров до 0,3 для больших.

15. Для полуколена в 45° половина предыдущей величины. Для меньших углов поворота пропорционально меньше.

16.

 $\zeta = 0,1$. Переходы суживающиеся

17.



Переходы расширяющиеся

α	до 7°	10—15°	20—30°	35—45°
ζ	около 0,2	0,5	0,6—0,7	0,8—0,9

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
----------------	---

Отдел первый

Поршневые штанговые насосы

I. Описание насосов	
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
II. Новые типы насосов	
1. Насосная установка прежнего типа	10
2. Современные установки	11
3. Быстроходные насосы	12
4. Новая конструкция насосов фирмы «Амаг Гильперт»	18
5. Гидравлическое и пневматическое выравнивание работы насоса	21
6. Насосы других фирм	24
7. Балансирные лебедки	27
8. Насосы с двумя поршнями	27
9. Американские насосы	30
10. Наземные здания	31
11. Подземная станция	36
12. Двигатели для насосных станций	36
13. Двигатели завода «Возрождение»	39
14. Двигатели для колхозов	39
15. Деревянный бак	41
16. Фильтры для скважин	42
17. Новозобретенный насос	42

Отдел второй

Центробежные горизонтальные насосы

III. Устройство насосов	
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	55
10. Монтаж насосов и моторов	56
11. Практические данные	57
12. Насосы для загрязненной воды	58
13. Поршневые насосы	60
14. Резервные двигатели	64
IV. Свойства центробежных насосов	
1. Характеристика насосов	66
2. Зависимость между H , Q , N и η	67
3. Кривые при переменном числе оборотов	68
4. Значение формы кривых	69
5. Работа двух или нескольких насосов в общий водовод	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
V. Оборудование станций и скважин	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
VI. Расположение станций. Здание станции	125
1. Расположение станции относительно скважин	125
2. Сифоны	126
3. Здание насосной станции	129
4. Вход 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

VII. Насосы для буровых скважин	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
VIII. Центробежные глубоководные насосы новейшей конструкции	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
IX. Описание насосных станций с горизонтальными насосами	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 Каменском	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
X. Станции с вертикальными насосами	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 Moune в Англии	186

Отдел четвертый

Эрлифты

XI. Воздухоподъемники. Эрлифты	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
XII. Потери в эрлифте	192
1. Главные потери	192
2. Потери на трение	193
3. Потери на проскальзывание пузырьков	193
4. Второстепенные потери	194
5. Диаграммы эрлифтов	195
XIII. Устройство эрлифтов	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
XIV. Эрлифты в работе	205
1. Уход за эрлифтами	206
2. Двухэтажные и многэтажные воздухоподъемники	206
3. Обслуживание многих эрлифтов из одной компрессорной установки	206
4. Разработка скважин	207
5. Эрлифты в нефтяной промышленности	208
XV. Компрессоры и насосные станции	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
XVI. Конструкция компрессоров	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
XVII. Компрессорные станции	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
XVIII. Сравнения глубоководных насосов	228
Приложение	230



ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
13	11 снизу	при тяжелым	и тяжелым
13		фиг. 22	фиг. 21
12		фиг. 21	фиг. 22
16	11 "	значительном превышении надземного подъема над подземным	при значительном надземном подъеме
16		Фиг. 66. Внешний вид трехколесного насоса Клейн Шанцляйн и Беккер	Фиг. 66. Внешний вид пятиколесного насоса фирмы Егер
14			Фиг. 87 повернуть на 180°
17	6 сверху	абсцисса a	абсцисса Q
14	12 "	η_n, η_m, η_p	η_n, η_m, η_p
16	10 "	к. п. д. станций	к. п. д. больших станций
16	6 снизу	$4430: \frac{440}{44}$	$4430: \sqrt{\frac{440}{44}}$
16			Фиг. 105. Надо поставить букву i на продолжении линии se на углу заштрихованной площади и букву k правее в следующем углу.
16	12 сверху	(горизонтальная штриховка)	(не заштриховано)
16	8 снизу	центробежным	поршневым
18	26 сверху	пекобетон	пенобетон
14	22 "	$v_0': v$	$v_1: v_0$
14	24 "	$v': v_0$	$v_1: v_0$
12	15 "	в подъемной трубе нлн	в подъемной трубе н
19			На фиг. 263 надо поставить F на пересечении линии CK с осью абсцисс OD ; букву E в любом месте кривой CB и провести прямую MN параллельно AB так, чтобы площадь прямоугольника $AMNB$ была равна площади $ALCB$.
11	15 сверху	$F\theta BC$	$FDBC$
13			Фиг. 265. Букву B переставить влево на другой конец той же линии
13	16 снизу	поступает сверху	поступает снизу в трубу A
13	16 сверху	старый воздух	сжатый воздух
13	28 "	старый воздух	сжатый воздух