631.6
Л88
УДК [631.672.2+631.624](075.3)

ИБ № 151

Лысов К. И. и Григорьев К. Т.

Л 88 Насосы и насосные станции. Изд. 3-е, испр. и доп. М., «Колос», 1977.

224 с. с ил. (Учебники и учеб. пособия для подгот. кадров массовых профессий).

Учебник предназначен для подготовки машинистов насосных станций и написан в соответствии с программой. Значительное внимание уделено водоподъемным машинам и установкам, лопастным, центробежным, осевым и другим насосам. Даны их классификация и принцип действия. Третье издание (второе вышло в 1969 г.) существенно переработано с учетом новейших достижений науки и техники в области машинного водоподъема.

Л $\frac{40305-111}{035(01)-77}$ 232—77 631.6

Козьма Иванович Лысов
Константин Тихонович Григорьев

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Редактор Н. М. Щербакова
Художник М. П. Тельцова
Художественный редактор М. Я. Волкова
Технические редакторы А. Л. Янчова, Л. М. Кузнецова
Корректор А. В. Пригарина

Сдано в набор 19/XI 1976 г. Подписано к печати 2/II 1977 г. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Усл.-печ. л. 11,76. Уч.-изд. л. 12,03. Изд. № 301. Тираж 32 000 (1—22 000) экз. Заказ № 2576. Цена 42 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 103716, ГСП, Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19

Типография им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2.

© Издательство «Колос», 1977

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для выполнения задач, поставленных XXV съездом КПСС в десятой пятилетке в области гидромелиоративного строительства, наша промышленность увеличит выпуск новейших землеройных машин, транспортных средств, механического оборудования, труб, строительных материалов, а также средств автоматизации мелиоративных систем и насосных станций. Возрастет производство современных насосов, электродвигателей, дождевальных машин и приспособлений к ним.

В настоящее время в машинном водоподъеме широко используются высокоэффективные центробежные и осевые насосы с высокими эксплуатационными качествами и к. п. д. Большое распространение получили передвижные и плавучие насосные станции.

Степень механизации и автоматизации мелиорируемых земель с машинным водоподъемом растет с каждым годом. В связи с этим предъявляются повышенные требования к персоналу, обслуживающему насосные станции. Только квалифицированное техническое обслуживание оборудования насосных станций, сооружений гидротехнических узлов, дождевальных машин и мелиорируемых земель может обеспечить своевременную и бесперебойную подачу воды в необходимом количестве для сельскохозяйственных растений и животных и решит задачи по увеличению

производства продуктов сельского хозяйства и улучшению его качества.

Эффективная и бесперебойная работа установок в значительной степени зависит от квалификации лиц, работающих на их монтаже и эксплуатации. Поэтому при решении задач мелиорации земель с применением машинного водоподъема необходимо обеспечить технически грамотное проектирование, строительство и умелую эксплуатацию насосных станций. Цель настоящей книги — научить будущих машинистов насосных станций правильно и рационально использовать вверенную им высокопроизводительную технику.

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ГИДРАВЛИКИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

Жидкостью называют физическое тело, обладающее текучестью и не имеющее своей формы. Жидкости принимают форму того сосуда, в который они помещаются.

Жидкости бывают капельными и газообразными. Капельные жидкости (вода, нефть, бензин, керосин, масла, спирт и др.) почти несжимаемы и очень хорошо поддаются растягивающим усилиям. Газообразные жидкости (воздух и все другие газы) сжимаются хорошо и так же как и капельные, плохо сопротивляются растягивающим усилиям.

К физическим свойствам жидкостей следует отнести удельный вес, сжимаемость, температурное расширение, вязкость, цвет, запах, вкус, мутность и др. Мы остановимся на основных свойствах жидкостей, необходимых для рассмотрения изучаемого курса.

Удельный вес жидкости — это вес единицы ее объема:

$$\gamma = \frac{G}{W}, \qquad (1)$$

где γ — удельный вес, Н/м³ (табл. 1);
G — вес жидкости, Н;
W — объем жидкости, м³.

Относительным удельным весом жидкости называют отношение веса данной жидкости к весу такого же объема дистиллированной воды, взятой при температуре 4°С. Относительный удельный вес не имеет размерности.

Плотностью жидкости называют массу в единице ее объема

$$\rho = \frac{m}{W}, \qquad (2)$$

где ρ — плотность, кг/м³;
m — масса, кг;
W — объем, м³.

Вес жидкости G равен:

$$G=mg,$$

где g — ускорение свободного падения.

Подставляя в выражение (1) значение G, получим:

$$\gamma=\frac{mg}{W}, \qquad (3)$$

а из формулы плотности (2) $m=\rho W$, тогда

$$\gamma=\rho g, \text{ или } \rho=\frac{\gamma}{g}. \qquad (4)$$

При изменении температуры и давления объем капельных жидкостей изменяется незначительно, плотности жидкостей можно принимать постоянными.

Таблица 1. **Удельный вес некоторых жидкостей**

Жидкость	Удельный вес, Н/м³	t°C
Вода:	9810	4
дистиллированная	10 000—10 100	4
морская	8440—9120	15
Нефть	7750—7770	15
Керосин	6870—7360	15
Бензин	8630—8730	15
Соляровое масло	8730—9025	15
Смазочное масло	8730—9220	15
Мазут	7750—7840	15
Спирт	133 300	0
Ртуть		

Сжимаемость жидкостей. Если жидкость, находящуюся в замкнутом сосуде, подвергать сжатию, то она будет уменьшаться в объеме. Обозначим через: W — первоначальный объем жидкости; W_1 — объем жидкости после сжатия: $p=\frac{P}{F}$ — удельное давление на жидкость, то уменьшение объема будет равно:

$$W-W_1.$$

Относительное уменьшение объема жидкости $W-W_1$ при действии давления p называют коэффициентом объемного сжатия:

$$\beta_W=\frac{W-W_1}{pW}, \qquad (5)$$

где β_W — коэффициент объемного сжатия.

При давлениях до 5 кПа β_W практически остается постоянным ($\beta_W=0{,}000048$ см²/кг).

Обратный коэффициент объемного сжатия называют модулем упругости (для воды $E_0=2070$ МПа).

Сжимаемостью жидкостей при обычных давлениях пренебрегают и учитывают ее при расчетах гидравлического удара и при передаче давлений на расстояния.

Температурное расширение жидкостей — увеличение жидкости в объеме при нагревании. Исключение составляет вода, объем которой при нагревании от 0 до 4°С уменьшается, а при дальнейшем повышении температуры возрастает. Изменение объема жидкости в зависимости от температуры характеризуется коэффициентом температурного расширения, который показывает относительное увеличение объема жидкости при повышении ее температуры на 1°С.

$$\beta_t=\frac{W-W_1}{t^\circ W}, \qquad (6)$$

где W — первоначальный объем;
W_1 — объем после изменения температуры на t°С.

Коэффициент температурного расширения зависит от давления, под которым находится жидкость. У воды β_t возрастает с увеличением давления при повышении температуры от 0 до 50°С и уменьшается с возрастанием давления при дальнейшем увеличении температуры. У большинства жидкостей β_t снижается с возрастанием давления при любой температуре.

§ 2. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ И ЕГО СВОЙСТВА

Если жидкость, налитая в сосуд, находится в состоянии покоя, то на нее действуют силы массы и поверхностные силы.

Действие сил массы зависит от объема налитой жидкости в сосуд и ее удельного веса, а поверхностных —

от действия на этот объем каких-либо других внешних сил (давление пара в цилиндре паровой машины, давление атмосферы на поверхности жидкостей и др.).

Таким образом, абсолютное гидростатическое давление на единицу площади, погруженной в жидкость, равно:

$$p_{абс} = p_0 + \gamma h, \qquad (7)$$

где $p_{абс}$ — абсолютное гидростатическое давление на единицу площади;
p_0 — удельное давление на свободной поверхности в открытом сосуде, равное атмосферному;
γ — удельный вес жидкости;
h — глубина погружения горизонтально расположенной площадки под уровень жидкости;
γh — избыточное гидростатическое давление.

Избыточное давление на всю площадку называется полным гидростатическим и равно:

$$P = F\gamma h. \qquad (8)$$

Гидростатическое давление всегда направлено по перпендикуляру к внутренней поверхности, действует одинаково во всех направлениях и зависит от положения точки в пространстве, то есть от глубины ее погружения под уровень жидкости. Чем глубже погружена точка под уровень жидкости, тем больше давление и, наоборот, с уменьшением глубины погружения давление снижается.

§ 3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Давление измеряют пьезометрами, жидкостными и механическими манометрами и вакуумметрами.

Пьезометр — это открытая сверху стеклянная трубка диаметром 5—10 мм, имеющая измерительную шкалу, по которой берется отсчет высоты столба жидкости (рис. 1). Нижний конец пьезометра опускают в жидкость на уровне точки, в которой измеряют давление. Под давлением жидкость поднимается по трубке на определенную отметку h (высоту). Давление определяют по формуле

$$p_{изб} = \gamma h,$$

$$\text{или} \quad h = \frac{p_{изб}}{\gamma}.$$

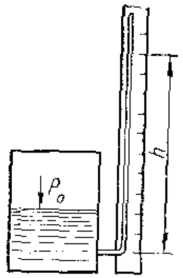


Рис. 1. Пьезометр.

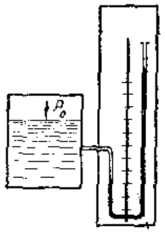


Рис. 2. Ртутный термометр.

Пьезометром можно также измерить и абсолютное давление:

$$p_{абс} = p_{атм} + \gamma h,$$

где $p_0 = p_{атм}$ — атмосферное давление.

Жидкостные манометры отличаются от пьезометров тем, что давление в них измеряется столбом ртути (рис. 2). Их преимущество заключается в том, что высота стеклянной трубки может быть уменьшена в 13,6 раза.

Абсолютное гидростатическое давление для сечения а—а будет равно:

$$p_{абс} = p_{атм} + \gamma_{рт} h,$$

где $\gamma_{рт}$ — удельный вес ртути ($\gamma_{рт} = 0{,}133$ Н/см^3);
h — разность уровней столба ртути.

Механические манометры бывают пружинные и мембранные. У пружинных манометров стрелка, показывающая давление на шкале, соединена с пружиной, на которую давит среда, а в мембранных — на мембрану. Этими манометрами можно измерять высокие давления.

Вакуумметры (жидкостные и механические) служат для измерения вакуума (разряжения) или давления, недостающего до атмосферного. Конструкция и принцип действия вакуумметров аналогичны конструкции и принципу действия манометров.

Вакуумметрическое давление определяют по формуле:

$$p_{вак} = p_{атм} - p_{абс}. \qquad (9)$$

§ 4. ПОНЯТИЕ О СКОРОСТИ И РАСХОДЕ

Жидкости могут перемещаться в открытых и закрытых руслах с определенными скоростями.

Средняя скорость потока v (м/с) — частное от деления расхода потока на площадь его живого сечения.

$$v = \frac{Q}{\omega}, \qquad (10)$$

где Q — расход жидкости;
ω — площадь живого сечения.

Живым сечением потока ω, м² (рис. 3) называют поперечное сечение потока, перпендикулярное его направлению.

Расход потока Q (м³/с или л/с) — объем жидкости, проходящей в единицу времени через живое сечение потока.

При перемещении жидкостей в них различают равномерное и неравномерное установившееся движение. Равномерное — установившееся движение жидкости, при которой средняя скорость потока и его живое сечение не меняются по длине. Неравномерное — установившееся движение, при котором средние скорости и живые сечения потока изменяются по его длине. Примером такого движения может служить движение воды в реках или трубах с изменяющимся живым сечением.

Движение потока жидкости может быть напорным и безнапорным. Напорным потоком называют такой поток, у которого частички жидкости соприкасаются по всему периметру с твердыми стенками русла или трубопровода. Например, движение воды в напорных трубопроводах насосных станций. Безнапорным потоком называют такой поток, который имеет свободную поверхность жидкости, соприкасающуюся с воздухом, например, движение жидкостей в естественных и искусственных руслах, а также в трубопроводе при частичном заполнении жидкостью его поперечного сечения.

Рис. 3. Формы живых сечений.

§ 5. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Уравнение неразрывности потока. Рассмотрим установившееся движение жидкости в каком-либо русле переменного сечения при атмосферном давлении (рис. 4). Выберем в нем два произвольных сечения *I—I* и *II—II*, нормальные к оси потока. Обозначим через v_1, v_2 — скорости и ω_1, ω_2 — живые сечения потока. Примем стенки русла абсолютно жесткими, тогда:

$$v_1\omega_1 = v_2\omega_2 = \ldots = Q = \text{const}. \qquad (11)$$

Это уравнение называется уравнением неразрывности, или уравнением постоянства расхода.

Уравнение Бернулли для потока жидкости. Выберем в потоке жидкости в русле переменного сечения (рис. 5) два произвольных сечения I—I и II—II нормальных к оси потока (v_1, v_2 — средние скорости потока, z_1, z_2 — положения центров сечений относительно линии сравнения 0—0).

В центры сечений поставим пьезометры, в них жидкость поднимается на высоты $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$, которые определят гидростатические давления в сечениях. Кроме гидростатического давления, поток жидкости обладает и скоростным напором: в сечении I—I — $\frac{v_1^2}{2g}$ и II—II — $\frac{v_2^2}{2g}$.

При движении жидкости от сечения I—I к II—II произойдет потеря энергии потока, равная Σh_w, затраченная им на преодоление трения, возникающего между

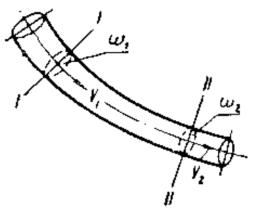


Рис. 4. Русло переменного сечения.

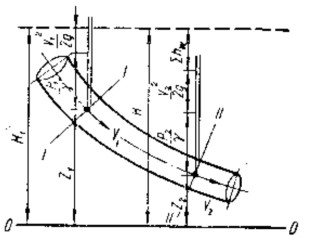


Рис. 5. Схемы к выводу уравнения Бернулли.

§ 4. ПОНЯТИЕ О СКОРОСТИ И РАСХОДЕ

Жидкости могут перемещаться в открытых и закрытых руслах с определенными скоростями.

Средняя скорость потока v (м/с) — частное от деления расхода потока на площадь его живого сечения.

$$v = \frac{Q}{\omega}, \qquad (10)$$

где Q — расход жидкости;
ω — площадь живого сечения.

Живым сечением потока ω, м² (рис. 3) называют поперечное сечение потока, перпендикулярное его направлению.

Расход потока Q (м³/с или л/с) — объем жидкости, проходящей в единицу времени через живое сечение потока.

При перемещении жидкостей в них различают равномерное и неравномерное установившееся движение. Равномерное — установившееся движение жидкости, при которой средняя скорость потока и его живое сечение не меняются по длине. Неравномерное — установившееся движение, при котором средние скорости и живые сечения потока изменяются по его длине. Примером такого движения может служить движение воды в реках или трубах с изменяющимся живым сечением.

Движение потока жидкости может быть напорным и безнапорным. Напорным потоком называют такой поток, у которого частички жидкости соприкасаются по всему периметру с твердыми стенками русла или трубопровода. Например, движение воды в напорных трубопроводах насосных станций. Безнапорным потоком называют такой поток, который имеет свободную поверхность жидкости, соприкасающуюся с воздухом, например, движение жидкостей в естественных и искусственных руслах, а также в трубопроводе при частичном заполнении жидкостью его поперечного сечения.

Рис. 3. Формы живых сечений.

§ 5. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Уравнение неразрывности потока. Рассмотрим установившееся движение жидкости в каком-либо русле переменного сечения при атмосферном давлении (рис. 4). Выберем в нем два произвольных сечения *I—I* и *II—II*, нормальные к оси потока. Обозначим через v_1, v_2 — скорости и ω_1, ω_2 — живые сечения потока. Примем стенки русла абсолютно жесткими, тогда:

$$v_1\omega_1 = v_2\omega_2 = \ldots = Q = \text{const}. \qquad (11)$$

Это уравнение называется уравнением неразрывности, или уравнением постоянства расхода.

Уравнение Бернулли для потока жидкости. Выберем в потоке жидкости в русле переменного сечения (рис. 5) два произвольных сечения I—I и II—II нормальных к оси потока (v_1, v_2 — средние скорости потока, z_1, z_2 — положения центров сечений относительно линии сравнения 0—0).

В центры сечений поставим пьезометры, в них жидкость поднимается на высоты $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$, которые определят гидростатические давления в сечениях. Кроме гидростатического давления, поток жидкости обладает и скоростным напором: в сечении I—I — $\frac{v_1^2}{2g}$ и II—II — $\frac{v_2^2}{2g}$.

При движении жидкости от сечения I—I к II—II произойдет потеря энергии потока, равная Σh_w, затраченная им на преодоление трения, возникающего между

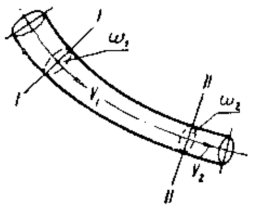


Рис. 4. Русло переменного сечения.

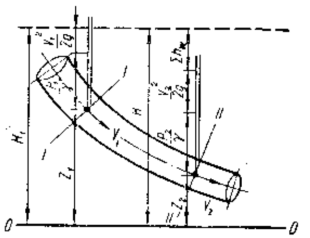


Рис. 5. Схемы к выводу уравнения Бернулли.

l — длина трубопровода;
Q — расход, пропускаемый по трубопроводу.

Потери напора на местные сопротивления возникают вследствие изменения скорости по величине и направлению и зависят от местных сопротивлений.

Местные потери напора определяются формулой.

$$h_{мм} = \xi \frac{v^2}{2g}, \qquad (16)$$

где ξ — коэффициент местного сопротивления;
v — средняя скорость движения жидкости.

§ 7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБАХ И БОРЬБА С НИМ

Гидравлическим ударом называется мгновенное повышение давления, вызванное внезапным изменением скорости движения жидкости в трубопроводе.

Изменение скорости движения жидкости может произойти в результате быстрого закрытия задвижки или мгновенной остановки насоса. Сам же центробежный насос обеспечивает равномерную подачу воды в трубопровод и при нормальных условиях работы и правильной его эксплуатации не может быть причиной для возникновения гидравлического удара. Если же нормально работающему насосу прекратить подачу электроэнергии, то насос остановится, а масса воды в трубопроводах продолжает по инерции двигаться со скоростью постепенно уменьшающейся до полной остановки, всасывая за собой воду из всасывающего трубопровода. Затем столб жидкости под действием силы тяжести будет двигаться в напорном трубопроводе к насосу с возрастающей скоростью и, встретив на своем пути обратный клапан (если он установлен у насоса), закроет его, в результате чего произойдет гидравлический удар, который вызовет мгновенное повышение давления.

При отсутствии обратного клапана двигающийся поток воды в трубопроводе заставит рабочееколесо насоса работать в обратную сторону (подобно турбине), что может вызвать скручивание вала насоса и вызвать аварию агрегата.

Мгновенное повышение давления в напорном трубопроводе вызовет сжатие жидкости, сопровождающееся расширением напорного трубопровода и повышением

напряжений в материале труб вплоть до разрушения стыковых соединений и разрыва труб. Практика эксплуатации трубопроводов утверждает, что 75% аварий, возникающих на водоводах, происходит от гидравлических ударов из-за внезапной остановки насосов.

Н. Е. Жуковским была выведена формула для определения повышения давления при гидравлическом ударе без разрушения сплошности потока

$$\Delta h = \frac{av^2}{g}, \qquad (17)$$

где Δh — ударное давление сверх геометрической высоты подъема воды насосом;
a — скорость распространения волны давления;
v — скорость движения жидкости в трубопроводе до возникновения гидравлического удара;
g — ускорение свободного падения.

Н. Е. Жуковским было установлено, что скорость распространения ударной волны зависит от упругих свойств материала труб, отношения толщины стенок трубы к ее диаметру и упругих свойств транспортируемой жидкости.

Для воды

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_0 d}{E\delta}}}, \qquad (18)$$

где E_0 и E — модули упругости воды и материала труб;
δ и d — толщина и диаметр напорного трубопровода.

Возникшее ударное давление распространяется со скоростью a от насосной станции к напорному или водовыпускному резервуару, где давление постоянно. Достигнув резервуара, волна давления, отразившись, направится обратно к насосу.

Время прохождения ударной волной двойного пути (от насосной станции до резервуара и обратно) равно:

$$T = \frac{2l}{a}, \qquad (19)$$

где l — длина трубопровода.

Экспериментальные исследования показали, что гидравлические удары наиболее опасны в длинных трубопроводах и трубопроводах с крутым подъемом их в головной части.

В отдельных случаях, при внезапной остановке агрегата, может произойти разрыв сплошности потока (за насосом в напорном трубопроводе). Это может случиться при остановке роторов агрегата, когда рабочее колесо перестанет подавать воду, а имеющаяся вода будет двигаться в напорном трубопроводе по инерции и при определенных условиях вызовет разрыв потока. Достигнув резервуара, вода будет двигаться в обратном направлении и с большой скоростью устремится в область разрыва сплошности (пониженного давления), в результате чего произойдет гидравлический удар большой силы, большей, чем $\Delta h = \frac{av^2}{g}$.

По исследованиям ВНИИ Водгео гидравлический удар может достигнуть:

$$\Delta h = \frac{av^2}{g} + 2H_{ст}, \qquad (20)$$

а напор в трубопроводе достигает величины

$$H = \frac{av^2}{g} + 3H_{ст}, \qquad (21)$$

где $H_{ст}$ — статический (геометрический) напор насосной станции при нормальной ее работе.

Минимальное давление в местах разрыва сплошности потока может быть равно упругости паров перекачиваемой жидкости.

Для предотвращения возрастания давления в трубопроводе устанавливают пружинные клапаны или гасители гидравлического удара. Эти устройства обеспечивают медленное закрытие сечения трубопровода и смягчение силы гидравлического удара. За рубежом для борьбы с гидравлическим ударом широкое распространение получили специальные конструкции обратных клапанов с замедленной посадкой, достигаемой применением масляных тормозов.

§ 8. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ В ЖИДКОСТИ. ЗАКОН АРХИМЕДА

Рассмотрим тело весом G, плавающее в жидкости (рис. 6). При погружении в жидкость это тело под действием силы тяжести вытеснит какой-то объем жидкости, равный

$$W = Fh, \qquad (22)$$

где F — площадь поперечного сечения плавающего тела;
h — высота слоя вытесненной жидкости.

Если объем W умножить на удельный вес жидкости γ, то мы получим:

$$P = \gamma Fh, \qquad (23)$$

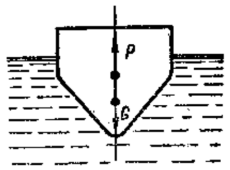


Рис. 6. Плавающее тело.

полное гидростатическое давление жидкости на плавающее тело. Давление P называют подъемной силой и по законам гидростатики оно направлено по вертикали снизу вверх.

Таким образом, подъемная сила равна весу жидкости, вытесненной погруженным в нее телом и направлена по вертикали снизу вверх (закон Архимеда). Закон Архимеда положен в основу теории плавания тел. В теории плавания тел рассматривают основные два положения: плавучесть и остойчивость.

Плавучесть — способность тела плавать в жидкости.

Остойчивость — способность плавающего тела возвращаться в первоначальное положение после удаления сил, вызвавших отклонение тела (крен).

Плавучесть тела зависит от соотношения веса плавающего тела G и подъемной силы P. Возможны три случая плавания тел в жидкости: $G > P$ — тело тонет; $G < P$ — тело плавает в полупогруженном состоянии; $G = P$ — тело плавает в погруженном состоянии.

При воздействии на плавающее тело внешних сил — ветра, крутого поворота и других сил — тело отклоняется от положения равновесия и дает крен. При прекращении действия этих сил тело стремится принять свое первоначальное положение.

В плавании тел различают остойчивое, неостойчивое и безразличное плавание. При остойчивом плавании тело возвращается в свое прежнее положение, а при неостойчивом уже не способно возвратиться в начальное положение, будет все больше отклоняться от него и опрокинется. На основании законов плавания тел основано перемещение и работа плавающих насосных станций.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют капельной и газообразной жидкостью? 2. Что называют удельным и относительным удельным весом жидкости? 3. Что называют плотностью жидкости и по какой формуле ее определяют? 4. Расскажите о сжимаемости жидкостей. Что называют коэффициентом объемного сжатия? Как определяется коэффициент температурного расширения? 6. Что называется гидростатическим давлением и каковы его свойства? 7. Назовите приборы, при помощи которых измеряют давление. 8. Что называют скоростью, живым сечением и расходом? 9. Дайте понятие равномерного и неравномерного установившегося движения жидкости. 10. Что называют напорным и безнапорным движением жидкости? 11. Напишите уравнение неразрывности потока жидкости. 12. Напишите уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. 13. Объясните уравнение Бернулли. 14. Из каких потерь напора слагаются общие потери напора в потоке? 15. Объясните, как происходит гидравлический удар в трубах и напишите формулу повышения давления в трубопроводе. 16. Опишите условия плавания тел в жидкости.

ЗАДАЧИ

Задача 1. Определить избыточное гидростатическое давление $p_{изб}$, действующее на площадку, погруженную в воду на глубину $h=5$ м.
Ответ: 4,9 Н/см².

Задача 2. Определить абсолютное гидростатическое давление $p_{абс}$ на дно открытого цилиндрического сосуда, если глубина воды в нем равна $h=0{,}8$ м.
Ответ: 17,66 Н/см².

Задача 3. Определить полное давление P на дно цилиндрического сосуда $d=30$ см, если в него налита вода высотой $h=10$ см.
Ответ: 69,65 Н.

Задача 4. Определить величину вакуума $p_{вак}$ в сосуде, если абсолютное давление в нем $p_{абс}=4$ м.
Ответ: 0,06 МПа.

Задача 5. Определить высоту столба воды в трубке вакуумметра, если давление в сосуде $p_{абс}=0{,}6$ атм.
Ответ: $p_{вак}=0{,}4$ атм$=0{,}4$ кгс/см$^2=4$ м$=0{,}04$ МПа.

Задача 6. По напорному трубопроводу $d=200$ мм пропускают расход $Q=20$ л/с. Определить среднюю скорость потока v.
Ответ: 0,64 м/с.

Задача 7. Определить расход Q в трубе $d=300$ мм, если средняя скорость в ней $v=1{,}2$ м/с.
Ответ: 90 л/с.

Задача 8. Определить величину повышения давления в трубопроводе Δh в результате внезапной остановки насоса. Трубопровод стальной диаметром $d=300$ мм, толщина стенок $\delta=10$ мм и длина трубопровода 8000 м. Скорость движения воды $v=1{,}8$ м/с, $E_0=2{,}07\cdot10^4$ кгс/см²; $E=2\cdot10^6$ кгс/м².
Ответ: 2,3 МПа; $T=12{,}8$ с.

ГЛАВА 2

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ МАШИН И АППАРАТОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ПОДЪЕМА ИЛИ НАГНЕТАНИЯ ЖИДКОСТИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ НАСОСОВ

Насосы — гидравлические рабочие машины и аппараты, создающие поток жидкой среды (ГОСТ 17398—72). Они работают по принципу преобразования подведенной механической или другого рода энергии в гидравлическую энергию протекающей через них жидкости.

Для привода насосов в действие чаще всего применяют электрические двигатели, реже — двигатели внутреннего сгорания. Все насосы подразделяются на две основные группы: динамические и объемные.

Динамическими называют насосы, в которых жидкость перемещается под воздействием силы на нее в камере, постоянно сообщающейся со входом и выходом насоса. К ним относятся: лопастные, вихревые, лабиринтные, струйные, вибрационные и другие насосы.

Объемными называют насосы, в которых жидкость перемещается в результате периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщающейся со входом и выходом насоса. В эту группу входят: поршневые, плунжерные, диафрагмовые, роторные, шестеренные, винтовые и другие типы насосов.

Специалисты в области орошения, осушения или водоснабжения обычно имеют дело не только с насосами, но и с насосными агрегатами, насосными установками и насосными станциями.

Насосный агрегат состоит из насоса и приводящего двигателя, соединенных между собой передаточным механизмом.

Насосная или водоподъемная установка — насосный агрегат с комплектом оборудования, смонтированным

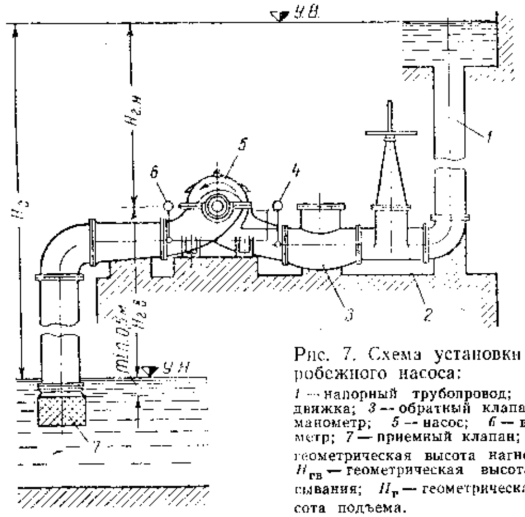


Рис. 7. Схема установки центробежного насоса:

1 — напорный трубопровод; *2* — задвижка; *3* — обратный клапан; *4* — манометр; *5* — насос; *6* — вакуумметр; *7* — приемный клапан; $H_{гн}$ — геометрическая высота нагнетания; $H_{гв}$ — геометрическая высота всасывания; $H_г$ — геометрическая высота подъема.

по определенной схеме, обеспечивающей работу насоса (рис. 7).

Насосная станция — комплекс гидротехнических сооружений и насосных установок, обеспечивающий в совокупности бесперебойную подачу воды в разводящую сеть систем водоснабжения или орошения или ее откачку из осушительных или канализационных систем.

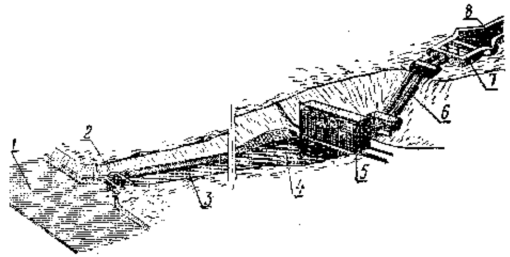


Рис. 8. Схема сооружений насосной станции:

1 — канал; *2* — водозаборное устройство; *3* — подводящий канал; *4* — аванкамера; *5* — здание насосной станции; *6* — напорный трубопровод; *7* — напорный бассейн; *8* — магистральный машинный канал.

Комплекс сооружений, предназначенных для забора воды и подвода ее к зданию насосной станции, самого здания насосной станции, напорных трубопроводов и сооружений для приема поднятой воды, называется гидротехническим узлом машинного водоподъема (рис. 8).

§ 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ И ДЕЙСТВИИ НАСОСОВ

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАСОСЫ

К динамическим насосам относятся центробежные, осевые, вихревые, струйные и другие насосы.

Центробежные осевые и вихревые насосы отличаются вращающимся в неподвижном корпусе рабочим колесом, снабженным лопатками. Колесо, приводимое в движение двигателем, взаимодействуя с жидкостью, сообщает последней некоторое количество энергии, которое и расходуется на создание давления или напора.

Центробежный насос состоит из: рабочего колеса *1*, корпуса насоса *2*, подводящего канала *5* (входная часть корпуса от приемного патрубка насоса до рабочего колеса), отводящего канала *9* (часть корпуса, по которому жидкость, выброшенная из рабочего колеса, отводится к напорному патрубку *7*).

Центробежные насосы обычно располагают выше уровня жидкости в приемном резервуаре (рис. 9), поэтому насос перед пуском необходимо заполнить этой жидкостью. Заливать насос при наличии обратного клапана *4* с сеткой можно через воронку *8* до полного вытеснения воздуха из всасывающего трубопровода *3* и корпуса насоса *2*. Если нет обратного клапана, то для заливки воды нужно отсасывать воздух из корпуса насоса (при закрытой задвижке *6*) специальным вакуумом-насосом.

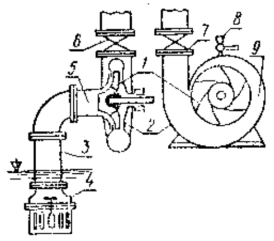


Рис. 9. Схема центробежного насоса:

1 — рабочее колесо; *2* — корпус; *3* — всасывающий трубопровод; *4* — приемный клапан; *5* — крышка корпуса со всасывающим патрубком и подводящим каналом; *6* — задвижка; *7* — напорный патрубок; *8* — воронка; *9* — отводящий канал (улитка).

В центробежных насосах жидкость подается за счет центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса. Она увлекается лопатками и под действием центробежной силы движется от центра колеса к периферии вдоль лопаток. Затем жидкость попадает в отводящий канал, где за счет уменьшения скорости увеличивается напор, а из него поступает в напорный трубопровод. В результате в рабочем колесе насоса у входа на лопатки получается разрежение. Поэтому жидкость из приемного резервуара под действием наружного атмосферного давления станет подниматься по всасывающему трубопроводу в насос, где рабочее колесо ее подхватит и направит в напорный трубопровод. Так устанавливается непрерывное движение жидкости из приемного резервуара через всасывающую трубу и насос в напорный трубопровод. Центробежные насосы — очень распространенные водоподъемные машины.

Так как все центробежные насосы рассчитаны на привод от стандартных электродвигателей и непосредственно соединяются с ними специальными муфтами, то такие установки характеризуются довольно высоким к. п. д., компактностью и надежностью эксплуатации. Эти насосы выпускаются с подачей от 1,5 до 20 000 л/с и напором от 10 до 1000 м.

Осевые насосы (рис. 10, *а*) имеют следующие основные детали: рабочее колесо *1*, корпус насоса *2* и выправляющий аппарат *3*. Рабочее колесо (рис. 10, *б*) состоит из массивной втулки, на которой закреплено от 3 до 6 лопастей, и напоминает пароходный гребной винт или пропеллер вентилятора. Корпус насоса представляет собой трубу с отбортованным нижним входным участком и коленообразно загнутым верхним ее участком. Нижний, плавно очерченный, входной участок корпуса служит подводящим каналом насоса, а участок корпуса за колесом, в пределах выпрямляющего аппарата — отводящим каналом насоса. Лопатки выправляющего аппарата загнуты противоположно лопаткам рабочего колеса и закреплены на неподвижной втулке. Выправляющий аппарат раскручивает поток, закрученный рабочим колесом насоса.

Рабочее колесо этого насоса, так же как и у центробежных, является основным рабочим органом. Его действие на жидкость можно пояснить следующим образом. При движении самолета в воздухе, на его крылья дей-

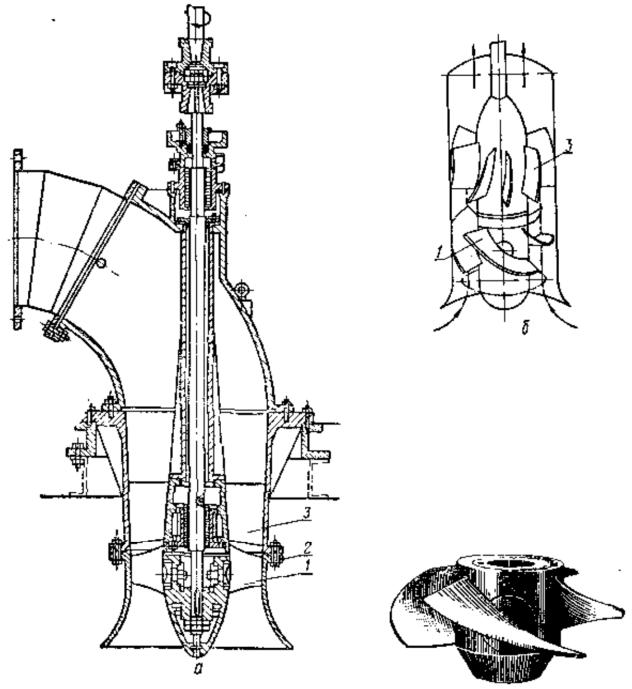


Рис. 10. Осевой насос:
а — общий вид; *б* — схема насоса; *в* — рабочее колесо; *1* — рабочее колесо; *2* — корпус; *3* — выправляющий аппарат.

ствует подъемная сила, уравновешивающая вес самолета. Подобно этому на лопатках рабочего колеса насоса при его вращении в жидкости возникают аналогичные силы, но уравновешивают они вес столба жидкости, под которым это колесо находится.

Ввиду того, что окружные скорости вдоль радиуса рабочего колеса неодинаковы (в центре окружности скорость равна нулю, а на торце лопаток она имеет максимальное значение), то и давления в жидкости вдоль радиуса окажутся разными, возникнут вихреоб-

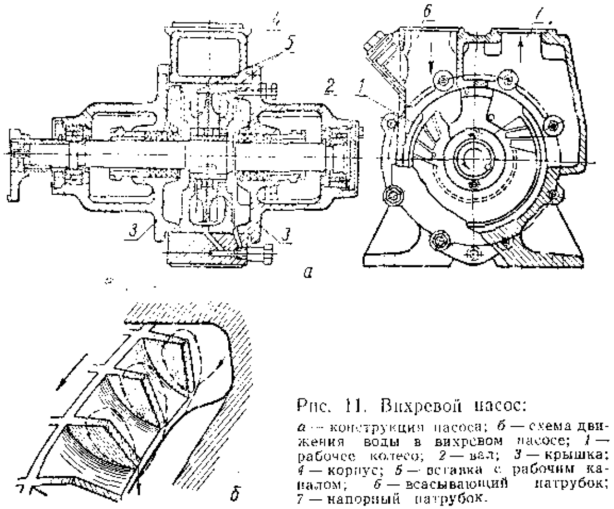


Рис. 11. Вихревой насос:
а — конструкция насоса; *б* — схема движения воды в вихревом насосе; *1* — рабочее колесо; *2* — вал; *3* — крышка; *4* — корпус; *5* — вставка с рабочим каналом; *6* — всасывающий патрубок; *7* — напорный патрубок.

разования и большие потери энергии. Чтобы не допустить этого, в рабочем колесе насоса устраивается массивная втулка с короткими лопатками. В крупных насосах эта втулка делается пустотелой для размещения механизма поворота лопаток рабочего колеса на разные углы атаки. Разворотом лопаток достигается широкий диапазон регулирования подачи насоса при сохранении высоких к. п. д.

Вращение рабочего колеса осуществляется двигателем. В осевых насосах жидкость по выходе из рабочего колеса, кроме поступательного движения, приобретает также и некоторое вращательное движение вокруг оси вала, на что бесполезно тратится часть энергии двигателя. Для устранения этого за колесом устанавливают выправляющий аппарат, который выравнивает движение и повышает к. п. д. насоса.

Осевые насосы находят применение в мелиорации и техническом водоснабжении для подъема расходов от 200 до 90 000 л/с на высоту до 15—20 м.

Вихревые насосы (рис. 11) — разновидность лопастных. Их гидравлическая часть включает рабочее колесо *1* и корпус насоса *4* с крышкой. Рабочее колесо насоса представляет массивный стальной диск с фрезерованными по окружности пазами, образующими лопатки. Внутри корпуса концентрично расположен к оси вала насоса отливной канал *5*, идущий по направлению вращения от входного до напорного патрубка. Между этими патрубками расположена перемычка, подходящая к рабочему колесу с минимальным зазором и перекрывающая не менее двух его лопаток. Перемычка служит для отделения всасывающей области от напорной. Всасывающий и напорный патрубки насоса обычно расположены в верхней части корпуса, что обеспечивает последующее его самовсасывание после одноразового залива при первоначальном пуске. Вихревые насосы предназначены для перекачки жидкостей, не содержащих абразивных примесей. Минимальный зазор между рабочим колесом и корпусом не должен превышать 0,15—0,2 мм.

Принцип действия вихревых насосов, так же как и центробежных, основан на использовании центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса. Однако в их работе имеются и некоторые особенности. При вращении рабочего колеса насоса по направлению стрелки (рис. 11) некоторый объем жидкости из всасывающего трубопровода через всасывающий патрубок *6* поступает в пазы рабочего колеса и двигается при этом в направлении от периферии к центру, то есть иначе, чем у центробежных насосов. Затем этот объем жидкости под воздействием центробежной силы начинает двигаться вдоль лопатки, от центра к периферии колеса (рис. 11, *б*) и, получив скоростную энергию, отбрасывается в сливной канал. В канале скоростная энергия жидкости переходит в энергию давления (в напор). Под действием напора и подсасывающего действия лопаток колеса этот объем жидкости снова попадает на лопатки и цикл повторяется. Таким образом, за полный оборот рабочего колеса указанный цикл повторяется многократно, причем каждый раз происходит приращение энергии и, следовательно, напора. Благодаря этому вихревой насос развивает напор в 2—4 раза больший, чем центробежный с таким же диаметром рабочего колеса.

Недостатки этих насосов: сравнительно невысокий к. п. д. (20—50%) и быстрый износ частей при подъеме воды, содержащей песок.

Вихревые насосы выпускают подачей от 8 до 60 м³/ч с напором от 25 до 250 м. Выпускаются также комбинированные насосы, у которых в одном корпусе размещаются колеса центробежного и вихревого типа. Эти насосы отличаются более высоким к. п. д.

Водоструйные насосы. Струйные водоподъемники приводятся в действие за счет энергии рабочей (вспомогательной) жидкости, подводимой к ним со стороны. Эта жидкость, проходя с большой скоростью через жидкость, подаваемую насосом, смешивается с последней и, передавая ей часть энергии, увлекает за собой. Рабочая жидкость может быть капельной (например, вода) и газообразной (пар). Подаваться насосом могут и капельная, и газообразная жидкости.

На рисунке 12 представлена водоподъемная установка с водоструйным насосом ВН-2-8. Эта установка с центробежным насосом 2К-6 обеспечивает подачу от 1 до 4,5 л/с с глубины H_1, равной от 28 до 8 м. Свободный напор над скважиной составляет в среднем 20 м.

Рассмотрим работу водоструйного насоса ВН-2-8 (рис. 12). Рабочая вода под давлением подводится по трубе *4* к соплу *8*, а из него с увеличенной скоростью попадает в цилиндрический участок—смеситель *9*. Здесь в силу создавшегося разрежения вода из колодца или скважины подсасывается и перемешивается с рабочей водой. Далее смешанный поток воды поступает в расширяющийся участок насоса — диффузор *10*, где (в связи с понижением скорости) давление (напор) увеличивается до такого предела, который обеспечивает дальнейший подъем и перемещение воды по трубе *5* в насос *2* и далее по напорной трубе через задвижку *3* к потребителю.

В Советском Союзе, кроме водоструйного насоса ВН-2-8, имеются и другие конструктивные разработки для водоподъема из колодцев и скважин.

Водоструйные насосы отличаются простотой устройства и обслуживания, так как не имеют трущихся частей и клапанов. Они малочувствительны к загрязненной воде, и потому их часто применяют для перекачки пульпы, угольного шлама, ливневых и сточных канализационных вод.

Недостатки водоструйных насосов — низкий к. п. д., не более 31—35% и необходимость утепления резервной емкости воды для заливки насоса.

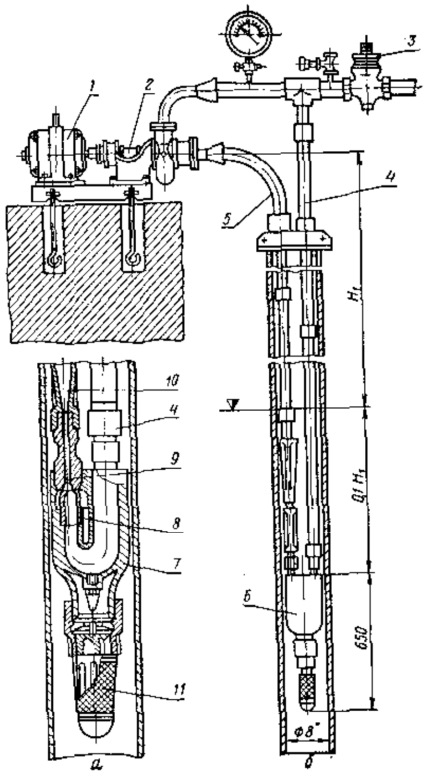


Рис. 12. Водоподъемная установка с водоструйным насосом ВН-2-8: *а* — водоструйный насос; *б* — общий вид; *1* — двигатель; *2* — насос; *3* — задвижка; *4* и *5* — трубопроводы; *6* — водоструйный насос; *7* — корпус; *8* — сопло; *9* — смеситель; *10* — диффузор; *11* — сетка.

В практике сельского водоснабжения водоструйные насосы обычно используют в комбинации с центробежными (рис. 12). Достоинство такой установки состоит в том, что в скважине нет вращающихся деталей, а центробежный насос и электродвигатель располагаются на дневной поверхности, в удобном для осмотра месте.

ОБЪЕМНЫЕ НАСОСЫ

К этой группе насосов относят поршневые (плунжерные), ротационные, диафрагмовые, винтовые и другие насосы.

Рассмотрим **поршневой насос** одностороннего действия с кривошипным механизмом (рис. 13). Здесь клапанная коробка и цилиндр образуют рабочую камеру. Изменение ее объема, а следовательно, и изменение давления в ней создается поршнем, совершающим возвратно-поступательное движение в цилиндре. Это движение происходит при помощи кривошипного механизма, состоящего из вала *9* с кривошипом и шатуна *8*, соединенного с поршнем насоса штоком *12*. Во избежание перекосов поршня в вертикальной плоскости шарнир, соединяющий шток с шатуном *11*, движется между двумя параллельными плоскостями *7*. При движении поршня вправо в рабочей камере создается разрежение — вакуум. Под влиянием атмосферного давления вода из приемного резервуара будет подниматься по всасывающему трубопроводу *1*, и, приподняв всасывающий клапан *2*, поступит в рабочую камеру. Так происходит процесс всасывания воды в поршневых насосах.

Процесс нагнетания осуществляется при движении поршня влево от крайнего положения. В этом случае поршень давит на воду в рабочей камере, под влиянием которого всасывающий клапан *2* закрывается, а нагнетательный клапан *4* открывается, и вода из рабочей камеры вытесняется в напорный трубопровод *5*. Вода поршневыми насосами подается неравномерно. Особенно отрицательно на работе насоса сказывается неравномерность всасывания, так как она ограничивает всасывающую способность насоса. Это обстоятельство приводит к необходимости ограничения частоты

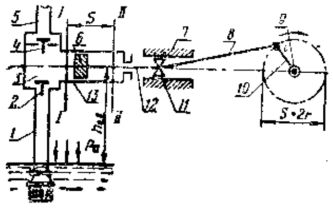


Рис. 13. Схема установки поршневого насоса одностороннего действия с кривошипным механизмом:

1 — всасывающий трубопровод; *2* — всасывающий клапан; *3* — клапанная коробка; *4* — напорный клапан; *5* — напорный трубопровод; *6* — поршень; *7* — плоскость; *8* — шатун; *9* — вал; *10* — кривошип; *11* — крейцкопф; *12* — шток; *13* — цилиндр.

вращения насоса, установке воздушных колпаков и другим неудобствам.

Указанные обстоятельства в основном и определяют малую подачу, большую металлоемкость и дороговизну этих машин. Поэтому поршневые насосы не находят применения в орошении и водоснабжении.

Ротационные, диафрагмовые и даже поршневые насосы в настоящее время нашли широкое применение в устройствах гидроприводов для экскаваторов, тяжелых тракторов, землеройных машин и т. п.

Из перспективных для сельского водоснабжения насосов этого класса необходимо рассмотреть только одновинтовые насосы.

Одновинтовые насосы в артезианском исполнении представляют новый и довольно оригинальный тип водоподъемника для местного (особенно сельского) водоснабжения из колодцев и скважин. Этот насос (рис. 14, *б*) состоит из металлического однозаходного винта — ротора *3* и неподвижного корпуса — статора *2*, внутри которого вращается ротор.

Стальной однозаходный роторный винт имеет во всех сечениях круглую форму и изготавливается с некоторым эксцентриситетом, вследствие чего при вращении выполняет сложное планетарное движение. При вращении ротора вокруг своей оси последняя одновременно вращается по малому кругу в обратном направлении, перемещаясь по внутренней сложной поверхности статора. Поэтому ротор соединяют с приводным валом при помощи гуммированного стального троса или карданного сочленения. Статор изготавливают в виде толстостенной резиновой трубы, прочно заделанной (без возможности прокручивания) в стальной патрубок. Внутренняя поверхность резиновой трубы имеет двухзаходную винтовую нарезку с шагом, в 2 раза бо́льшим шага ротора. Камера всасывания представляет стальную трубу, на одном конце которой имеется нарезка для приворачивания к корпусу насоса (статору), а на другом — обратный клапан с сеткой *1*.

Внутри напорного трубопровода размещается приводной вал с направляющими подшипниками и карданным сочленением. Привод осуществляется вертикальным электродвигателем.

При вращении винта между ротором и внутренней поверхностью статора образуются полости, в которых

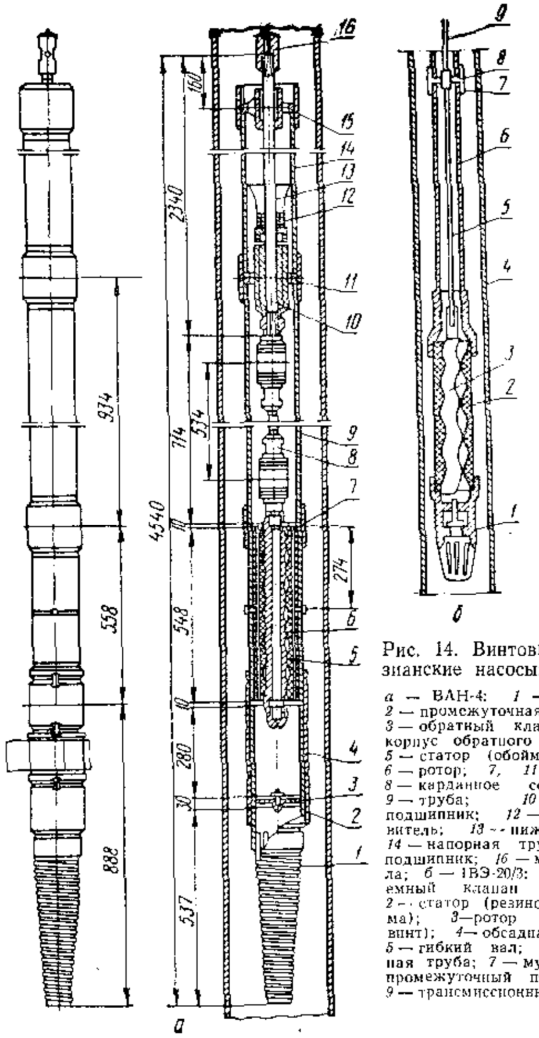


Рис. 14. Винтовые арте зианские насосы:

а — ВАН-4: *1* — фильтр *2* — промежуточная труб *3* — обратный клапан; *4* корпус обратного клапана *5* — статор (обойма винта *6* — ротор; *7*, *11* — муфты *8* — карданное соединени *9* — труба; *10* — нижни подшипник; *12* — пескоул витель; *13* — нижний ва *14* — напорная труба; *15* подшипник; *16* — муфта в ла; *б* — 1ВЭ-20/3: *1* — пр емный клапан с сетко *2* — статор (резиновая обо ма); *3* — ротор (стально винт); *4* — обсадная труба *5* — гибкий вал; *6* — напор ная труба; *7* — муфта; *8* промежуточный подшипник *9* — трансмиссионный вал.

засасываемая жидкость герметически замыкается и перемещается вдоль оси винта в сторону напорного трубопровода.

На рисунке 14, *а* показан насос ВАН-4 с подачей 5 м³/ч, давление 3,6 кг/см², наименьший диаметр скважины 100 мм, наименьший диаметр напорных труб 95 мм. На рисунке 14, *б* представлен новый артезианский одновинтовой насос 1ВЭ-20/3, с подачей при частоте вращения 500 об/мин — 6 м³/ч, давлением 0,3 МПа и мощностью электродвигателя 1 кВт. Эксцентриситет ротора — 10,4 мм и присоединение его к приводному трансмиссионному валу в отличие от насоса ВАН-4 осуществляется гибким стальным валиком диаметром 16 мм и длиной 1,5 м.

Подобная конструкция насоса, как показывают испытания и производственная работа в колхозах Северного Кавказа, отличается надежностью в течение длительного времени (ресурс 12 000 ч).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируются водоподъемные машины? 2. Как подразделяются насосы? 3. Что представляют собой и как работают водоструйные и поршневые насосы? 4. Как устроены и действуют центробежные насосы? 5. Каковы устройство и действие винтовых насосов? 6. Что такое лопастные насосы и какие насосы относятся к этой группе? 7. Каковы устройство и действие осевого и вихревого насосов?

ГЛАВА 3

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РАБОТУ НАСОСОВ И НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

§ 1. НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Насосная установка с центробежным насосом состоит из насосного агрегата и системы трубопроводов, предназначенных для подвода воды из приемного резервуара *1* к насосу *8* и ее отвода в напорный резервуар *5* (рис. 15).

Насосный агрегат включает в себя насос *8*, двигатель *10* и механизм для передачи крутящего момента *двигателя к насосу 9. В качестве передаточного механизма* можно использовать специальные муфты, плоскоременную или клиноременную передачи, редуктор и пр.

Система трубопроводов насосной установки состоит из всасывающего *3* и напорного *4* трубопроводов, оборудованных *арматурой для регулирования, защитными* устройствами и контрольно-измерительной аппаратурой.

Всасывающий трубопровод служит для подвода воды из приемного резервуара к насосу под действием его всасывающей способности или вакуумметрической высоты всасывания насоса, равной

$$H_{вак} = \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma}, \qquad (24)$$

где $\frac{p_0}{\gamma}$ — атмосферное давление на поверхности воды в приемном резервуаре, м;*

* Действительно, принимая размерность атмосферного давления (p_0) в Н/м², а размерность удельного веса воды (γ) в Н/м³, получим, что размерность $\frac{p_0}{\gamma}$ дана в метрах, где $\gamma = \rho g$.

$\frac{p_1}{\gamma}$ — абсолютное давление во всасывающем патрубке насоса (в сечении *I—I*), м. Оно меньше атмосферного и зависит от конструкции насоса.

Вакуумметрическая высота всасывания, как видно из уравнения (24), представляет собой недостаток давления в насосе до атмосферного и измеряется вакуумметром В.

Напорный трубопровод отводит воду от насоса в напорный резервуар под действием абсолютного давления $\frac{p_2}{\gamma}$, развиваемого насосом в напорном патрубке (сечение II—II).

Установленный в точке *n* сечения *II—II* манометр М замеряет, как правило, фактически используемое

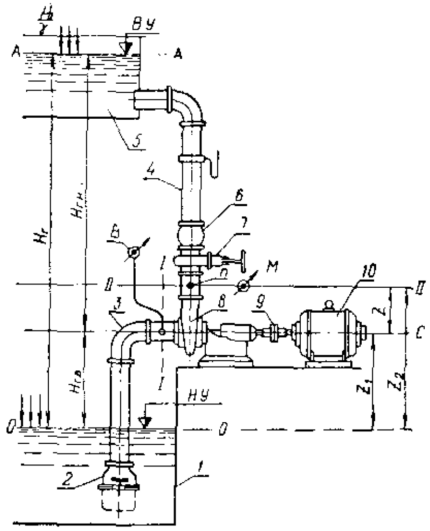


Рис. 15. Схема оборудования насосной установки:
1 — приемный резервуар; *2* — приемный клапан; *3* — всасывающий трубопровод; *4* — напорный трубопровод; *5* — напорный резервуар; *6* — обратный клапан; *7* — задвижка; *8* — насос; *9* — передача; *10* — двигатель.

манометрическое или избыточное (сверх атмосферного) давление:

$$\frac{p_м}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_0}{\gamma}. \qquad (25)$$

В качестве манометра и вакуумметра можно использовать U-образные трубки, заполненные ртутью, которые обладают большой точностью измерений, но слишком громоздки и неудобны в эксплуатации. Поэтому на практике удобнее пользоваться механическими (пружинными) приборами. Пружинный вакуумметр измеряет давление в месте его присоединения к трубопроводу, а пружинный — на уровне расположения его центра. Тогда манометрическое давление в напорном патрубке насоса (сечение $II—II$) будет равно:

$$\frac{p_м}{\gamma} = \frac{p_2 - p_0}{\gamma} + h_1, \qquad (26)$$

где h_1 — превышение центра прибора над местом его присоединения.

Расстояние от оси насоса ($C—C$) до уровня воды в приемном резервуаре ($O—O$) называют **геометрической (геодезической) высотой всасывания** ($H_{г.в}$), а расстояние от уровня воды ($A—A$) в напорном резервуаре до центра насоса **геометрической (геодезической) высотой нагнетания** ($H_{г.н}$).

Превышение уровня воды в напорном резервуаре над уровнем воды в приемном резервуаре — **геометрическая (геодезическая) высота водоподъема** ($H_г$).

Центробежные насосы, как и все лопастные, перекачивают воду практически равномерно, поэтому движение воды во всасывающем и напорном трубопроводах будет установившимся. В этом случае подача насосной установки будет соответствовать расходу воды в трубопроводе (то есть количеству воды, протекающему через его поперечное сечение в единицу времени). Поэтому для определения подачи достаточно измерить расход жидкости в трубопроводах насосной установки.

Расход воды Q в трубопроводах измеряют с помощью мерного бака или напорного резервуара, предварительно обмерив его и отключив все выходящие из него трубопроводы. Затем, включив агрегат, надо отметить по секундомеру или часам с секундной стрелкой время наполнения мерного бака. Разделив объем воды

в баке на время его наполнения, можно получить подачу насосной установки. Если невозможно использовать этот прием, замеряют среднюю скорость движения воды в трубопроводах с помощью **гидрометрических вертушек** или **скоростных трубок.**

Скорости движения воды в разных точках трубопровода разного диаметра неодинаковы, поэтому для упрощения расчетов вводится понятие средней скорости v.

Средней скоростью v (м/с) в данном сечении трубопровода называется такая скорость, которая, будучи умножена на его площадь F (м²), дает расход Q (м³/с), равный действительному, то есть

$$Q = Fv. \qquad (27)$$

Среднюю скорость следует измерять на прямолинейных участках трубопровода на расстоянии $l = 0{,}242r$ от внутренней стенки трубы (где r — радиус трубы).

На насосных установках расход воды обычно замеряют для контроля за работой насосов. Кроме расхода, необходимо замерять еще расход воды, перекаченной за определенный промежуток времени (сутки, неделю, месяц и т. п.). Для этого применяют водомерные приборы.

Подачу воды насосной установкой можно изменить с помощью задвижки, расположенной на напорном трубопроводе непосредственно за насосом. На всасывающем трубопроводе задвижку устанавливают только в том случае, если насос работает при постоянном или временном подтоплении со стороны приемного резервуара.

В насосных установках возможно засорение насосов, трубопроводов или контрольно-измерительной аппаратуры. Кроме того, могут быть и аварии, поэтому на ответственных установках должны быть предусмотрены и защитные средства. Для борьбы с засорением в насосных станциях чаще всего применяют грубые решетки, а иногда на входе во всасывающий трубопровод устанавливают приемный клапан с сеткой — храпок.

Для предупреждения обратного сброса воды из напорного резервуара через насос (при внезапном отключении электроэнергии или по другим причинам) на напорном трубопроводе устанавливают обратный клапан. Для уменьшения давления при гидравлических ударах применяют предохранительные клапаны, воздушные колпаки и другие приспособления.

§ 2. ПОНЯТИЕ О ПОДАЧЕ НАСОСА И НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Подача насоса Q (м³/ч, м³/с, л/с и т. п.) — действительный объем жидкости, перекачиваемый им в единицу времени, ГОСТ 17398—72 предусматривает еще и **массовую подачу** насоса ($Q_м$), представляющую **отношение массы подаваемой жидкости ко времени.**

Кроме действительной объемной подачи насоса, различают теоретическую подачу $Q_т$. Например, в поршневом насосе простого одиночного действия (рис. 13) за полный оборот кривошипного механизма объем воды, вытесненной поршнем, должен быть равен произведению площади цилиндра F на длину хода поршня s, то есть $q=sF$. При вращении вала кривошипного механизма с частотой вращения в минуту n теоретическая секундная подача насоса равна (с учетом того, что в минуте 60 секунд):

$$Q_т = \frac{gn}{60} = \frac{Fsn}{60}. \qquad (28)$$

На самом же деле (при практическом замере) действительная подача насоса Q оказывается меньше теоретической $Q_т$, что объясняется прежде всего обратными утечками жидкости через клапаны. Всасывающий клапан открывается и напорный закрывается одновременно, но не мгновенно. Таким образом, в течение некоторого небольшого промежутка времени под клапаном имеется свободный проход из напорной трубы во всасывающую, через который и протекает жидкость. Кроме того, сам цилиндр не полностью заполняется жидкостью из-за неплотностей между поршнем и стенками цилиндра, из-за испарения жидкости и т. п.

Утечки воды происходят и в других насосах. Для сравнительной оценки обратных утечек жидкости в насосах вводится понятие объемного коэффициента полезного действия $\eta_{об}$

$$\eta_{об} = \frac{Q}{Q_т}. \qquad (29)$$

В современных насосных установках жидкость к насосу подводится и отводится от него по закрытым трубопроводам, работающим без утечек. Поэтому в нормальных условиях подача насоса соответствует подаче насосной установки.

§ 3. ПОНЯТИЕ О ДАВЛЕНИИ И НАПОРЕ НАСОСА И НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Давление насоса — это количество энергии, приобретаемое каждой единицей объема протекающей через насос жидкости, определяемое по зависимости (ГОСТ 17398—72):

$$P = P_2 - P_1 + \rho \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \rho g (z_2 - z_1), \qquad (30)$$

где P_2 и P_1 — давление на выходе и входе в насос, Па;
v_1 и v_2 — скорость жидкости на выходе и на входе в насос, м/с;
z_2 и z_1 — высота центра тяжести сечения выхода и входа в насос, над уровнем воды в приемном бассейне, м;
ρ — плотность жидкости, кг/м³;
g — ускорение свободного падения, м/с².

Напор насоса (ГОСТ 17398—72) определяют из зависимости:

$$H = \frac{P}{\rho g}, \qquad (31)$$

где P — давление насоса, Па;
γ — удельный вес жидкости, равный $\gamma = \rho g$, Н/м³.

Подставив значение P в формулу (30), будем иметь:

$$H = \frac{P}{\rho g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1). \qquad (32)$$

Из уравнения (32) видно, что напор насоса можно рассматривать как его давление, выраженное в метрах столба перекачиваемой жидкости.

Давление на входе в насос и на выходе из насоса измеряется вакуумметром (В) и манометром (М). Для обеспечения незасоряемости труб перед приборами устанавливают трехходовые краны. Давление следует измерять на расстоянии, равном двум диаметрам трубопровода от входного и выходного патрубков насоса (ГОСТ 6134—71).

Если атмосферное давление ($P_а$) измерять в Па и учитывать, что давление на выходе и входе в насос соответственно равны $P_2 = P_м + P_а$ и $P_1 = P_а - P_в$, то формула (32) будет иметь следующий вид:

$$H = \frac{P_м + P_в}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1), \qquad (33)$$

где $\frac{P_м}{\gamma}$ и $\frac{P_в}{\gamma}$ — показания манометра и вакуумметра, м.

Обозначая

$$\frac{P_м}{\gamma}=h_{ман};\ \frac{P_в}{\gamma}=h_{вак}\ \text{и}\ z_2-z_1=z,\ \text{получим}$$

$$H=h_{ман}+h_{вак}+z+\frac{v_2^2-v_1^2}{2g}, \qquad (34)$$

то есть **напор насоса равен сумме показаний манометра и вакуумметра плюс расстояние по вертикали между точками замера давлений и плюс разность высот скоростных напоров между выходом и входом насоса.**

Полный напор насоса H, измеряемый в м, можно записать еще и так:

$$H=M_0+B_0+\frac{v_2^2-v_1^2}{2g}, \qquad (35)$$

где M_0 и B_0 — показания манометра и вакуумметра, приведенные к оси насоса, м;

v_1 и v_2 — *скорости жидкости в местах присоединения трубок* манометра и вакуумметра, м/с.

При расположении измерительных приборов, как показано на рисунке 15,

$$M_0=h_{ман}+z;\ B_0=h_{вак}.$$

Кроме действительного напора насоса H, следует *различать еще напор* **теоретический** $H_т$, *то есть такой* напор, который мог быть, если бы отсутствовали гидравлические сопротивления в самом насосе. Очевидно, что протекание жидкости в изогнутых и расширяющихся каналах рабочего колеса центробежного насоса сопровождается не только потерями напора по длине, но и потерями напора на преодоление местных сопротивлений. *При отсутствии этих потерь данное колесо могло* бы развить теоретический напор больше действительного на величину этих потерь:

$$H_т=H+h_{w_к}.$$

В таком случае отношение действительного полного напора к теорстическому будем называть **гидравлическим** к. п. д. ($\eta_{гид}$).

$$\eta_{гид}=\frac{H}{H_т}. \qquad (36)$$

Давление или напор насоса используется для транспортировки жидкости по всасывающему и напорному трубопроводам насосной установки, *то есть уравновешивается* **геометрической высотой водоподъема** $H_г$ (см. рис. 25) и **гидравлическими сопротивлениями** во всасывающем ($h_{w_в}$) и напорном ($h_{w_н}$) трубопроводах согласно уравнению:

$$H=H_{уст}=H_г+\Sigma h_w,$$

где

$$H_г=H_{гв}+H_{гн},$$
$$\Sigma h_w=h_{w_В}+h_{w_н}. \qquad (37)$$

Уравнение (37) представляет **напор насосной установки,** то есть такой напор, который необходим для перемещения 1 кг жидкости из приемного резервуара в напорный в момент пропуска расхода Q через систему трубопроводов *насосной установки.*

$H_{г.в}+h_{w_В}$ и $H_{гн}+h_{w_н}$ — соответственно **приведенные высота всасывания** и ***нагнетания.***

§ 4. ПОНЯТИЕ О МОЩНОСТИ НАСОСА И НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ. К. П. Д. НАСОСА

Если насос подает за одну секунду из нижнего *бака* в верхний объем жидкости массой m, то совершенная им **полезная работа** (Дж) будет равна:

$$A=mgH. \qquad (38)$$

При *объемной подаче* насоса Q (м³/с) ее масса $m=\rho Q$, а **полезная мощность насоса** (Дж/с или Вт) получит вид:

$$N_п=\rho gQH=\gamma QH, \qquad (39)$$

где Q — *подача,* м³/с;
ρ — плотность жидкости, кг/м³;
g — ускорение свободного падения, м/с²;
γ — *удельный* вес жидкости, Н/м³;
H — напор насоса, м.

Используя уравнение (31), формулу полезной мощности насоса можно представить и в другом виде:

$$N_п=QP. \qquad (40)$$

Если бы насос подавал теоретическую подачу $Q_т$ с теоретическим напором $H_т$, то *теоретическая* (*идеальная*) мощность насоса была бы равна:

$$N_т = \gamma Q_т H_т. \qquad (41)$$

Потребляемая насосом мощность N больше полезной мощности $N_п$ на величину потерь мощности в насосе, которые оцениваются полным к. п. д. насоса η, равным отношению полезной мощности к потребляемой:

$$\eta = \frac{N_п}{N}. \qquad (42)$$

Отсюда **потребляемая насосом мощность** (Вт) будет *равна*:

$$N = \rho g \frac{QH}{\eta} = \gamma \frac{QH}{\mu} = \frac{QP}{\eta}. \qquad (43)$$

Мощность, потребляемая насосом (кВт), определяется *формулой*

$$N = \frac{\gamma QH}{\eta} \cdot 10^{-3} = \frac{\gamma QH}{1000\eta}. \qquad (44)$$

Если принять $\rho = 1000$ кг/м³ и $g = 9{,}8$ м/с², то формула (44) для мощности, потребляемой насосом (кВт) с учетом формулы (43), будет иметь вид:

$$N = \frac{1000 \cdot 9{,}81 QH \cdot 10^{-3}}{\eta} = \frac{9{,}81 QH}{\eta}, \qquad (45)$$

где $\frac{\rho g}{1000} = \frac{\gamma}{1000} = 9{,}81$.

У современных крупных насосов полный к. п. д. достигает 0,9, у малых же он не превышает 0,6.

Сопоставляя потребляемую N и теоретическую $N_т$ мощности насоса, можно заметить, что последняя представляет собой мощность, переданную насосом жидкости после преодоления механических сопротивлений в нем (трение в подшипниках, сальниках и пр.). В таком *случае отношение теоретической мощности $N_т$ к затраченной*, то есть мощности на валу насоса N, будет определять механический к. п. д. насоса:

$$\eta_{мех} = \frac{N_т}{N}. \qquad (46)$$

Заменяя в уравнении (46) величины $N_т$ и N их значениями из выражений (41) и (43) и учитывая уравнения (29) и (36), будем иметь:

$$\eta_{мех} = \frac{Q_т H_т}{QH} \eta = \frac{1}{\eta_{об}} \cdot \frac{1}{\eta_{гид}}.$$

Отсюда

$$\eta = \eta_{мех} \eta_{об} \eta_{гид}. \qquad (47)$$

Полученное выражение, наглядно представляющее взаимосвязь между общим к. п. д. насоса и его частными значениями, зависящими от состояния отдельных конструктивных элементов насоса, имеет большое практическое значение в эксплуатационной практике.

Двигатель обычно соединяется с насосом при помощи специальных муфт, имеющих к. п. д., равный единице. В таком случае величина потребляемой насосом мощности по выражению (45), или, как говорят, мощность на валу насоса N, и будет равна используемой мощности двигателя. Однако, учитывая возможные перегрузки, необходимо иметь некоторый запас в мощности двигателя, поэтому его мощность следует подсчитывать по формуле:

$$N_{дв} = k \frac{9{,}81 QH}{\eta}, \qquad (48)$$

где $k = 1{,}08-1{,}5$ — коэффициент запаса, принимаемый по справочным данным (для двигателей мощностью более 100 кВт принимают $k = 1{,}08-1{,}1$; с уменьшением мощности k увеличивается).

Все другие передачи крутящего момента (ременные, зубчатые и пр.) имеют к. п. д. меньше единицы; поэтому в таких случаях мощность двигателя следует определять по формуле:

$$N_{дв} = k \frac{9{,}81 QH}{\eta \eta_{пер}}, \qquad (49)$$

где $\eta_{пер}$ — к. п. д. передачи.

Мощность двигателя насосной установки, определенную по уравнениям (48) или (49), часто называют ***установленной мощностью*** насосного агрегата.

Нужно иметь в виду, что каждый двигатель сам потребляет энергию извне (например, электродвигатель)

и имеет собственный к. п. д.; поэтому мощность, **потребляемая самим двигателем** (мощность на его клеммах), равна

$$N_{\text{п.дв}} = \frac{9{,}81QH}{\eta\eta_{\text{пер}}\eta_{\text{дв}}}. \qquad (50)$$

Указанная величина и будет представлять **мощность, потребляемую насосной установкой.**

Для учета израсходованной электроэнергии на насосных станциях применяют электрические счетчики, устанавливаемые на щитах управления в стороне от двигателей. Их показания включают не только мощность, фактически потребленную двигателем по уравнению (50), но и мощность, потерянную в проводке между двигателем и прибором. Эта учитываемая на щите мощность определяется выражением:

$$N_{\text{щ}} = \frac{9{,}81QH}{\eta\eta_{\text{пер}}\eta_{\text{дв}}\eta_{\text{пр}}}, \qquad (51)$$

где $\eta_{\text{пр}}$ — к. п. д. электропроводки между двигателем и прибором.

§ 5. ВЫСОТА ВСАСЫВАНИЯ НАСОСОВ. КАВИТАЦИЯ НАСОСОВ

Рассмотрим насосную установку с центробежным насосом, представленную на рисунке 15. Для того чтобы можно было поднять жидкость с уровня 0—0, лежащего ниже оси насоса, насос, как указывалось ранее, должен создавать у входа на лопатки рабочего колеса абсолютное давление, $\frac{p_1}{\gamma}$, которое меньше атмосферного (разрежение, или вакуум). Тогда под действием атмосферного давления $\frac{p_0}{\gamma}$, а точнее за счет разности давлений $\frac{p_0}{\gamma}$ и $\frac{p_1}{\gamma}$ (называемой вакуумметрической высотой всасывания $H_{\text{вак}}$) и происходит всасывание, то есть подъем жидкости до центра насоса. Жидкость поднимается по всасывающему трубопроводу установки; поэтому естественно, что, кроме преодоления геометрической высоты $H_{\text{гв}}$, необходимо затратить часть $H_{\text{вак}}$ на создание в нем скорости $v_{\text{в}}$ и на преодоление гидравлических сопротивлений $h_{w_{\text{в}}}$ на пути движения, то есть:

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_0 - p_1}{\gamma} = H_{\text{гв}} + h_{w_{\text{в}}} + \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}. \qquad (52)$$

Из этого уравнения можно определить высоту установки насоса над минимальным уровнем жидкости в приемном резервуаре:

$$H_{\text{гв}} = H_{\text{вак}} - h_{w_{\text{в}}} - \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}. \qquad (53)$$

Вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{вак}}$ для каждого насоса различна. При расчете геометрической высоты всасывания конкретного насоса $H_{\text{вак}}$ следует принимать по каталогу. Остальные члены уравнения определяются гидравлическими расчетами.

Вакуумметрическую высоту всасывания определяют на заводах опытным путем, она приводится в каталогах при $\frac{p_0}{\gamma} = 10$ м и температуре перекачиваемой жидкости $t \leqslant 20°$. Поэтому при работе насоса в других условиях необходимо в каталожные данные вводить поправки и определять так называемую допустимую вакуумметрическую высоту всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ по формуле:

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{катал}} + \left(\frac{p_0}{\gamma} - 10\right) - (h_{\text{пж}} - h_{\text{пж}t=20°}), \qquad (54)$$

где $\frac{p_0}{\gamma}$ — фактическое атмосферное (барометрическое) давление, принимают в зависимости от высоты над уровнем моря:

высота над уровнем моря, м	600	0	100	200	300
фактическое атмосферное давление $\frac{p_0}{\gamma}$, м	11,3	10,3	10,2	10,1	10

$h_{\text{п.ж}}$ — упругость паров жидкости при данной температуре, м.

Значение упругости:

температура перекачиваемой воды t, °С	10	20	30	50	80	100
упругость паров воды, $h_{\text{п.ж}}$, м	0,12	0,24	0,43	1,25	4,83	10,33

В таком случае допустимая геометрическая высота всасывания центробежного насоса будет:

$$H_{\text{гв}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - h_{w_{\text{в}}} - \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}. \qquad (55)$$

Для поршневых насосов в правую часть формулы (53) следует добавить член, определяющий дополнительные потери напора на преодоление сил инерции жидкости (при возвратно-поступательном движении поршня насоса) и на поддержание всасывающего клапана во взвешенном состоянии. Потери напора на преодоление сил инерции жидкости во всасывающем трубопроводе требуют специального расчета и зависят в основном от длины трубы и частоты вращения; поэтому поршневые насосы отличаются небольшими частотой вращения и длиной всасывающего трубопровода.

Во время работы лопастных насосов при входе на лопатки рабочего колеса обычно создается давление $\frac{p_1}{\gamma}$, меньше атмосферного (разрежение), равное:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - H_{\text{гв}} - h_{w_{\text{в}}} - \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}. \qquad (56)$$

Кроме того, судя по опытным данным, это понижение давления происходит по сечению потока неравномерно и имеет максимальную величину в местах его резких поворотов, то есть на переднем диске у входа на лопатки и на выпуклой стороне лопаток.

Если давление при входе на рабочее колесо лопастного насоса $\frac{p_1}{\gamma}$ по какой-либо причине упадет до давления, равного упругости пара перекачиваемой жидкости, то в потоке, особенно в отмеченных ранее местах наибольшего снижения давления, будут образовываться разрывы, то есть пустоты, заполняемые парами и газами, выделяющимися из этой жидкости. Такой процесс нарушения сплошности течения потока, напоминающий бурное кипение жидкости, называется **кавитацией.**

Образовавшиеся в жидкости паровоздушные пузырьки уносятся потоком в область повышенного давления, где и происходит конденсация пара. До конденсации гидростатическое давление жидкости, окружающей паровоздушный пузырек, уравновешивается внутренним противодавлением его пара и газа. При конденсации занимаемый паром объем мгновенно уменьшается до небольшого объема конденсата и оставшегося разреженного газа; поэтому частицы жидкости, не встречая противодействия, приходят в движение и ускоренно

движутся к центру пузырька. Там они сталкиваются, вызывая мгновенное местное увеличение давления. Это повышение особенно велико, если конденсация пузырька происходит на шероховатой и трещиноватой поверхности, когда частички жидкости проникают в углубления и трещины подобно клину, что сопровождается откалыванием кусочков металла с лопаток или других элементов рабочего класса и некоторой (иногда даже опасной) вибрацией всего насоса. Описанный механический процесс разрушения рабочих колес называется **эрозией.**

Из всего состава атмосферного воздуха наибольшей растворимостью в воде отличается кислород; поэтому газы, выделяющиеся из жидкости в зоне пониженного давления, в основном представлены кислородом. Наличие большой концентрации кислорода, а также непрерывное удаление защитной пленки окислов при механическом разрушении поверхности металла способствуют коррозии. Разрушение гладких поверхностей начинается главным образом с химического разрушения, механическое же — позже, когда поверхность станет шероховатой.

Кроме этих явлений, наблюдается также усиление тепловых, электрических и других процессов, которые либо ускоряют химические реакции, либо свидетельствуют о ходе кавитационного процесса. Так, при кавитации возникают специфический шум, потрескивание, отдельные удары и шорох, напоминающий перекатывание гальки в трубе. Интенсивность этих шумов может характеризовать интенсивность самого процесса кавитации. Треск и отдельные удары, напоминающие слабые выстрелы, объясняются следующим образом. В результате местного повышения давления оставшийся после конденсации пара воздух сильно сжимается и подобно демпферу (пружине) накапливает энергию за счет сработки кинетической энергии окружающей жидкости. В силу этого происходит обратный процесс. Сжатый воздух начинает быстро расширяться. Но быстрое расширение сопровождается взрывом, поэтому и наблюдаются такие специфические звуковые эффекты, как потрескивание и пр.

Кавитация — опасное явление, приводящее к разрушению рабочих органов насоса, поэтому ее необходимо предупреждать.

Для нормальной работы насосов (нормального всасывания) необходимо, чтобы минимальное абсолютное давление в области входных кромок лопаток рабочего колеса p_{min} превышало упругость паров жидкости при данной температуре $p_{пж}$, то есть $p_{min} > p_{пж}$. Для соблюдения этого условия прежде всего требуются правильные расчеты геометрической высоты всасывания и размеров всасывающей линии.

При этом необходимо учитывать возможное увеличение подачи насосов при значительном колебании уровня воды в источнике (например, во время паводка). Опыт показывает, что в таком случае повышается относительная скорость потока в колесе, увеличиваются вихреобразования с отрывом потока от лопаток и в конечном счете происходят кавитационные разрушения.

Не следует также допускать увеличения частоты вращения насоса без должной проверки, так как при этом возрастает подача, а вместе с ней увеличивается и опасность кавитации.

Наконец, необходимо обращать внимание на правильное конструирование водоприемной части насосных установок. Особенно это касается крупных вертикальных насосов с короткими всасывающими трубами, где малейшее закручивание потока во всасывающей камере может привести к усилению неравномерности распределения скоростей и давлений у входа на лопатки колеса и опасности кавитации.

В том случае, если действующая насосная установка работает в условиях кавитации, необходимо прежде всего выяснить причины, вызвавшие ее, то есть установить причины понижения давления в проточной части рабочего колеса, а затем принимать решение. Иногда кавитацию устранить невозможно. Тогда для рабочих органов насоса используют материалы (необработанный чугун, бронза, углеродистая и нержавеющая стали) наиболее стойкие к кавитации. Стойкость металла против кавитационных разрушений может повысить также частота обработки и шлифовка его поверхностей.

Иногда кавитацию можно остановить, увеличив давление в насосе в результате подачи некоторой части жидкости из напорного трубопровода во входной патрубок по специально устроенной обводной линии.

§ 6. ПОНЯТИЕ О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТРУБОПРОВОДА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

При переустройстве сооружений систем орошения или водоснабжения в хозяйствах часто возникают вопросы, связанные с гидравлическим расчетом трубопроводов, и машинист насосной установки должен уметь разрешить их.

Различают сопротивления, связанные с преодолением шероховатости стенок трубопровода при движении водного потока в нем **(гидравлические сопротивления по длине трубопровода)**, и **местные гидравлические сопротивления** в виде внезапного увеличения или сужения сечения трубопровода, его поворотов, различных тройников, крестовин и пр.

Потери напора на трение, то есть напор, затрачиваемый на преодоление гидравлических сопротивлений по длине трубопровода l диаметром d, определяется по формуле:

$$h_{w_{дл}} = s_0 l Q^2, \qquad (57)$$

где s_0 — удельное сопротивление;
l — длина трубопровода, м;
Q — подача, м³/с.

Удельные сопротивления s_0 для некоторых диаметров стальных (вычислены по формуле Ф. А. Шевелева при коэффициенте шероховатости $n=0{,}012$ и скорости воды в трубопроводе $v \geqslant 1{,}2$ м/с) и для асбестоцементных труб (вычислены по сокращенной формуле Н. Н. Павловского при $n=0{,}011$) приведены в таблице 2.

Потери напора на преодоление местных сопротивлений определяются по формуле:

$$h_{w_м} = \varsigma \frac{v^2}{2g}, \qquad (58)$$

где ς — коэффициент местного сопротивления (табл. 3);
v — скорость движения жидкости в трубе, м/с;
g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

Полные или суммарные потери напора в трубопроводе равны:

$$h_w = h_{w_{дл}} + h_{w_м} = \left(s_0 l Q^2 + \Sigma \varsigma \frac{v^2}{2g} \right). \qquad (59)$$

Таблица 2. **Удельные сопротивления s_0 для стальных и асбестоцементных труб**

Стальные трубы (ГОСТ 8732—58, ГОСТ 4015—58*)						Асбестоцементные трубы марки ВТ (ГОСТ 539—60)	
диаметр условного прохода, мм		расчетный внутренний диаметр, мм		Q, м²/с		расчетный внутренний диаметр	Q, м²/с
125	450*	125	458*	106,2	0,1089*	100	266,6
150	500*	147	509*	44,95	0,06222*	119	105,4
175	600*	173	610*	18,96	0,02384*	141	42,7
200	700*	198	700*	9,273	0,0115*	189	8,95
225	800*	224	800*	4,822	0,00566*	235	2,80
250	900*	252	900*	2,583	0,003034*	279	1,12
300	1000*	305	1000*	0,9392	0,001736*	322	0,523
350	1200*	357	1200*	0,4078	0,0006605*	368	0,257
400	1400*	406	1400*	0,2062	0,0002918*	456	0,0819

Примечание. * обозначены диаметры труб согласно ГОСТ 4015—58.

Расход Q, проходящий через трубопровод площадью F, определяют по уравнению (27).

Площадь сечения трубопровода F вычисляют как площадь круга:

$$F=\frac{\pi D^2}{4}\approx 0{,}785d^2. \qquad (60)$$

Диаметр трубы можно определить из формулы:

$$d=1{,}13\sqrt{\frac{Q}{v}}, \qquad (61)$$

где d — диаметр труб, м;
Q — заданный расход, м³/с;
v — принятая скорость воды в трубе, м/с.

В системе трубопроводов насосной установки (рис. 15) имеются два участка, для которых проводят гидравлический расчет, поэтому, пользуясь приведенными зависимостями, рассчитывают отдельно полные потери во всасывающем (от входа и до насоса) $h_{w_в}$ и в напорном (от насоса до бака) $h_{w_н}$.

Затем их суммируют,

$$\Sigma h_w=h_{w_в}+h_{w_н}$$

и по уравнению (37) находят **полный напор насосной установки** H в м. Геометрическую высоту $H_г$ подъема

воды насосной установки определяют как разность отметок уровней в напорном (В. У.) и водоприемном (Н. У.) резервуарах (рис. 15).

Длина всасывающего трубопровода в насосных установках обычно не превышает 30—40 м; допустимые скорости $v_{доп}$ при диаметре трубы до 250 мм равны 1—1,25 м/с, а при диаметре 250 мм и более — 1,2—1,5 м/с. Напорные трубопроводы могут иметь разную длину, и их диаметр обычно определяют технико-экономическим расчетом.

Пользуясь приведенными формулами, можно определить, например, и расположение оси насоса по отношению к уровню воды в источнике при допустимой вакуумметрической высоте всасывания насоса.

Пример. Определите отметку оси насоса (рис. 15) при: подаче — 120 л/с, диаметре всасывающего патрубка — 250 мм; длине всасывающей линии $l=40$ м и ее диаметре $d=350$ мм.

Допустимая вакуумметрическая высота всасывания (по каталогу насосов) равна 3,8 м. Отметка уровня воды в приемном резервуаре 102 м. На всасывающей линии установлены один приемный клапан с сеткой, три колена по 90° и один сужающий переход.

Геометрическую высоту всасывания насоса определяем по формуле (53).

Для этого по формуле (59) находим $h_{w_{дл}}$. Значения s_0 для $d=350$ мм находим по таблице 2, а потери напора по длине по формуле (57):

$$h_{w_{дл}}=s_0lQ^2=0{,}4078\times 40\times 0{,}12^2=0{,}23 \text{ м}.$$

Затем по таблице 3 определяем сумму ζ:

$$\Sigma\zeta=1\zeta_{пр.клап}+3\zeta_{кол}+1\zeta_{пер}=1\times 6+3\times 0{,}5+1\times 0{,}1=7{,}6.$$

Потери напора на преодоление местных сопротивлений находим по формуле (58):

$$h_{w_м}=\Sigma\zeta\frac{v^2}{2g}=7{,}6\,\frac{1{,}2^2}{2\times 9{,}81}=0{,}56 \text{ м}.$$

Полные потери напора во всасывающей линии:

$$h_{w_в}=h_{w_{дл}}+h_{w_м}=0{,}23+0{,}56=0{,}79 \text{ м};$$

$$v_в=\frac{Q\times 4}{\pi D^2}=\frac{0{,}12\times 4}{3{,}14\times 0{,}25^2}=2{,}45 \text{ м/с};\ \frac{v_в^2}{2g}=\frac{2{,}45^2}{2\times 9{,}81}=0{,}3 \text{ м}.$$

Таблица 3. **Значение коэффициентов сопротивления для определения потерь напора на преодоление местных сопротивлений**

Схема 1. Вход в трубу без расширения. $\zeta = 0{,}5$	Схема 2. Плавно очерченный вход в трубу. $\zeta = 0{,}1$	Схема 3. Приемная сетка без клапана $\zeta = 2 \div 3$	Схема 4. Приемный клапан с сеткой. $\zeta = 5 \div 8$
Схема 5. Обратный клапан. $\zeta = 1{,}7$	Схема 6. Колено с углом 90° по нормальному сортаменту. $\zeta = 0{,}5 \div 0{,}6$	Схема 7. Колено с углом 45°. $\zeta = 0{,}1 \div 0{,}15$	Схема 8. Переход сужающийся. $\zeta = 0{,}1$
Схема 9. Переход расширяющийся. $\zeta = 0{,}25$	Схема 10. Тройник в прямом направлении. $\zeta = 0{,}1$	Схема 11. Тройник в направлении ответвления $\zeta = 2{,}0$	Схема 12. Тройник при ответвлении. $\zeta = 1{,}5$; $h = \zeta \frac{v_1}{2g}$

Следовательно, геометрическая высота всасывания насоса

$$H_{г.в} = H_{вак}^{доп} - h_{w_в} - \frac{v_в^2}{2g} = 4{,}8 - 0{,}79 - 0{,}3 = 3{,}71 \text{ м}.$$

Таким образом, отметка оси насоса должна быть не более 102+3,71=105,71 м.

§ 7. ПОДБОР НАСОСА И ДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОГАМ

Подбор насосов производится по соответствующим каталогам с таким расчетом, чтобы обеспечивались требуемая подача Q и напор $H_у$ при максимальном к. п. д. насоса. Но проще пользоваться сводными таблицами или графиками каталога (рис. 16). На этих графиках в координатах Q и H нанесены клетки (поля), ограничивающие область оптимального применения по к. п. д.

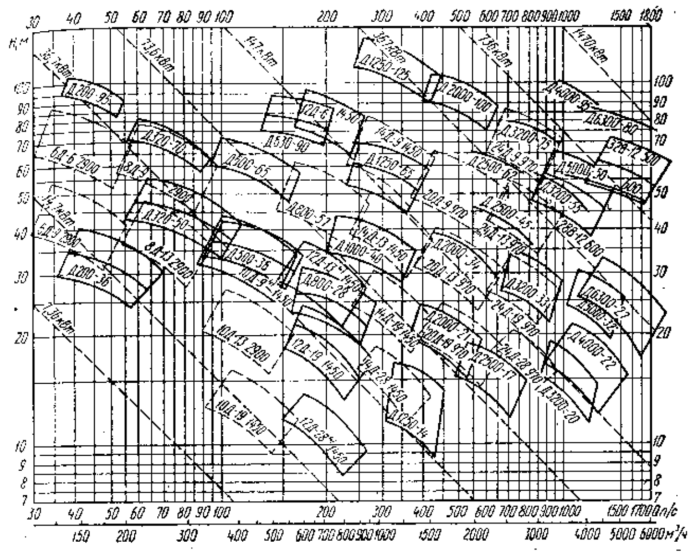


Рис. 16. Сводный график для подбора насосов типа Д и НД (ГОСТ 10272—73).

того или иного насоса. Поэтому пересечение координат с искомыми Q и $H_у$ в любой части клетки будет означать приемлемость обозначенного на ней насоса. После этого выписывают сведения, необходимые для работы и для установки насоса (к. п. д., мощность, частота вращения, высота всасывания, размеры и пр.).

Для подбора двигателя необходимо знать: вид энергии и тип передачи, принятый для насосной установки, исполнение насоса, мощность двигателя, частоту вращения насоса и другие данные, уточняемые со специалистами-энергетиками.

При непосредственном соединении электродвигателя с насосом их частота вращения и исполнение должны быть одинаковыми. Мощность двигателя определяется по формуле (48).

При ременной передаче исполнение двигателя и насоса и их частота вращения могут быть различными.

Мощность двигателя в этом случае определяется формулой (49).

Для насосных установок с мощностью двигателей до 150—200 кВт целесообразнее применять асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, которые обеспечивают надежность работы и простоту обслуживания при непосредственном соединении с насосом.

При наличии указанных данных двигатели следует подбирать также по соответствующим каталогам или справочным материалам, откуда выписываются размеры и другие необходимые сведения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

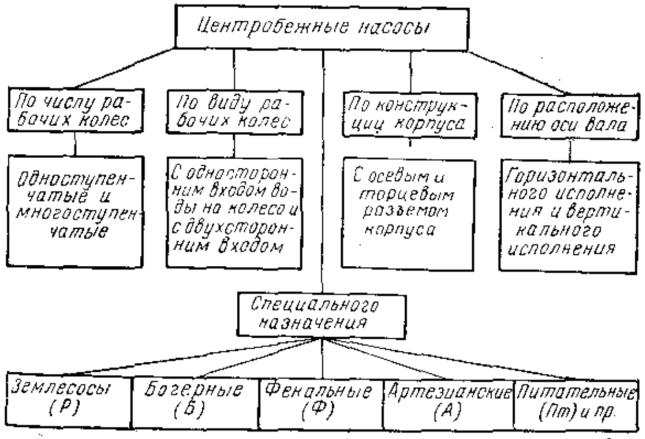
1. Что такое насосная установка и каковы ее основные части? 2. Что такое геометрическая высота всасывания и геометрическая высота нагнетания; вакуумметрическая высота всасывания и манометрическая высота нагнетания? 3. Что называется подачей насоса и средней скоростью трубопровода? Каковы способы измерения подачи насоса? 4. Что такое напор насоса и напор насосной установки? 5. Что такое мощность насоса и насосной утановки? 6. Что такое объемный, гидравлический и механический к. п. д. насоса? 7. Как определяется геометрическая высота всасывания насоса? 8. Что такое кавитация насосов? Каковы причины и следствия кавитации? 9. В чем сущность гидравлического расчета трубопровода насосной установки? 10. Как подобрать тип насоса для обеспечения заданных значений расхода и напора?

ГЛАВА 4

КЛАССИФИКАЦИЯ И УСТРОЙСТВО ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Центробежные насосы обычно классифицируют по принципу, указанному в следующей схеме.



Одноступенчатые, или одноколесные, центробежные насосы бывают с односторонним входом воды на рабочее колесо — консольные насосы (рис. 17) и с двухсторонним входом (рис. 20).

У консольных насосов рабочее колесо закреплено на конце вала, как на консоли. Вал не проходит через подводящий канал, который поэтому имеет наиболее простую форму — прямоосного канала. У насосов двухстороннего всасывания вал проходит через подводящий ка-

нал, вследствие чего его форма усложняется, приобретает полуспиральный вид.

Кроме того, центробежные насосы подразделяют по разъему корпуса относительно вала на насосы с осевым и торцовым разъемами.

Осевой разъем корпуса лучше удовлетворяет требованиям строительно-эксплуатационной практики, так как обеспечивает уменьшение размеров машинного зала станций и позволяет выполнять разборку центробежного насоса без отсоединения его от всасывающего трубопровода.

В Советском Союзе все лопастные насосы стандартизованы. Стандарт на лопастные насосы представляет собой ограниченный список насосов, изготовляемых на заводах.

Стандартизация позволяет сократить число видов насосов, снижает стоимость их изготовления и гарантирует взаимозаменяемость деталей насосов (так как все их детали нормализованы).

По стандарту всем насосам присваивается марка — условное сокращенное наименование.

Ниже приводится маркировка наиболее часто употребляемых в сельском хозяйстве насосов по ГОСТ 10272—73.

Консольные насосы обозначаются буквами К и КМ и имеют марки: aК—$Q_г$ и aКМ—$Q_г/H$, где a — диаметр входного патрубка, уменьшенный в 25 раз и округленный, мм; К — консольный; $Q_г$ и H — соответственно подача (м³/ч) и напор (м) насоса при η_{max}. Например, насос марки 4К-90/34 — консольный насос с диаметром входного патрубка 100 мм, подачей 90 м³/ч и напором 34 м.

Насосы одноколесные с двухсторонним входом воды на колесо (ГОСТ 10272—73) обозначаются Д$Q_г$—H, где Д — двухсторонний вход; $Q_г$ — подача воды, м³/ч; H — напор, м.

Вертикальные консольные насосы обозначаются буквой В и имеют марку $D_н$В—Q/H, где $D_н$ — диаметр напорного патрубка, мм; В — вертикальный; Q — подача, м³/с; H — напор, м.

При применении обточенного (небазового) рабочего колеса в марку насоса вводят дополнительные обозначения. Например, для насоса с базовым рабочим колесом марки 1000В-4/40:

1000В-4/40 — колесо базовое;
1000В-4/40-1 — колесо обточенное;
1000В-4/40-А — колесо, отличное от базового;
1000В-4/40-0 — частота вращения, отличная от номинальной;
1000В-4/40-М — двухскоростной двигатель.

Насосы вертикального исполнения (рис. 19) отличаются от горизонтальных незначительными размерами площади для установки; поэтому их целесообразно использовать на насосных станциях с заглубленным машинным залом.

Многоступенчатые насосы различают трех типов: многоступенчатые секционные (МС), многоступенчатые спиральные, с рабочими колесами одностороннего входа (М) и многоступенчатые спиральные, имеющие первое колесо с двухсторонним, а остальные — с односторонним входами (МД).

Многоступенчатые насосы применяются для водоснабжения, гидромеханизации, откачки шахтных вод, питания котлов и в других областях техники, где требуются большие напоры. В этих насосах вода проходит последовательно через несколько рабочих колес, смонтированных в одном корпусе. Напор насоса равен сумме напоров последовательно расположенных колес, пропускающих один и тот же расход жидкости.

Многоступенчатые секционные насосы имеют обозначения ЦНС$Q_г$Н (ГОСТ 10407—70). Например, ЦНС 180—212: ЦНС — центробежный секционный насос; $Q_г$=180 — подача, м³/ч; H=212 — напор, м при η_{max}.

Особую группу (специального назначения) горизонтальных центробежных насосов составляют насосы для перекачки жидкостей, содержащих взвешенные частицы: фекальные, песковые, землесосы, багерные, изготавливаемые по типу консольных, и артезианские насосы.

Все центробежные насосы, предусмотренные стандартом, рассчитаны на привод от электродвигателей при непосредственном соединении упругой муфтой. Однако насосы типа К могут поставляться и со шкивом для ременной передачи.

§ 2. КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Центробежные насосы **консольного типа** К широко применяют при перекачке чистой холодной воды в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и пр.

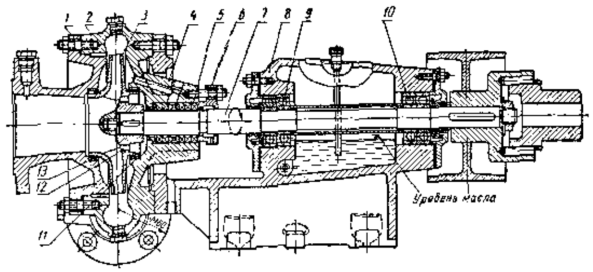


Рис. 17. Центробежный насос консольного типа:
1 — крышка; *2* — корпус; *3* — рабочее колесо; *4* — сальник; *5* — набивка; *6* — крышка сальника; *7* — вал; *8* — стойка; *9*, *10* — подшипники; *11* — задний диск; *12* — отверстия; *13* — уплотнение.

Они представляют собой одноступенчатые горизонтальные насосы, с односторонним входом воды на колесо с подачей от 4,5 до 360 м³/ч при напорах от 9 до 90 м.

Консольные насосы (рис. 17) состоят из корпуса *2*, крышки корпуса *1*, рабочего колеса *3*, вала *7* и опорной стойки *8*. Рабочее колесо *3* с односторонним входом крепится на конце (консоли) вала *7* при помощи гайки и шпонки. Подводящий канал насоса, выполненный в крышке корпуса *1*, имеет вид прямоосного конфузора, обеспечивающего осевой вход жидкости на рабочее колесо. Вода, выброшенная из рабочего колеса, отводится по спиральному каналу (улитке) корпуса. Выход воды из напорного патрубка в напорный трубопровод расположен под углом 90° к оси подвода и может быть повернут соответственно (рис. 18) на 90, 180 и 270°, в зависимости от крепления спирального корпуса шпильками к опорной стойке.

В опорной стойке при помощи распорной трубы и двух крышек закреплены шарикоподшипники *9* и *10*, ко-

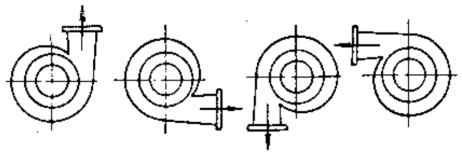


Рис. 18. Возможные положения напорного патрубка консольного насоса.

торые служат опорой для вала и фиксируют положение относительно оси так, чтобы колесо при вращении не касалось стенок корпуса. Смазка подшипников жидкая. Высота стояния масла в ванне контролируется маслоуказателем.

Для уменьшения обратной (щелевой) утечки жидкости из отводящего канала во входное отверстие рабочего колеса (через пространство между передним его диском и стенкой корпуса) под влиянием разности давления p_2 и p_1 применяют простейшую конструкцию плоского кольцевого уплотнения *13* у входа на рабочее колесо насоса.

Для разгрузки рабочего колеса от осевого давления с наружной стороны заднего диска *11* устраивают кольцевое уплотнение и разгрузочные отверстия *12* во втулке колеса. При отсутствии разгрузочных отверстий в рабочем колесе небольших насосов добавочное уплотнение не применяется, и осевое давление воспринимается подшипниками. С устройством кольцевых уплотнений можно ознакомиться при рассмотрении деталей центробежных насосов.

Для плотного закрытия зазора между корпусом и валом (в месте его выхода наружу) устраивают сальниковое уплотнение, состоящее из корпуса сальника *4*, крышки *6*, хлопчатобумажной набивки *5*.

При наличии разгрузочных отверстий в рабочем колесе давление перед сальником снижается до значения, близкого к давлению со стороны всасывания p_1, поэтому для предотвращения подсоса воздуха через сальник в середине его набивки размещают кольцо гидравлического уплотнения, к которому подводится вода из напорной части корпуса. Подвод воды осуществляется по каналу в стенке корпуса или по особой наружной трубке.

Центробежные вертикальные насосы (ГОСТ 19740—74) по конструкции напоминают горизонтальный консольный насос, поставленный вертикально, и предназначены для работы в сельском хозяйстве (орошение), энергетике и пр. Выпускают их 14 типоразмеров с подачей от 1 до 35 м³/с, напором 22—110 м и кавитационным запасом 8—12 м.

Основные детали насоса (рис. 19): рабочее колесо, вал и корпус. Рабочее колесо (стальное у насосов 28В-12, 32В-12 и чугунное у 36В-12) с осевым входом

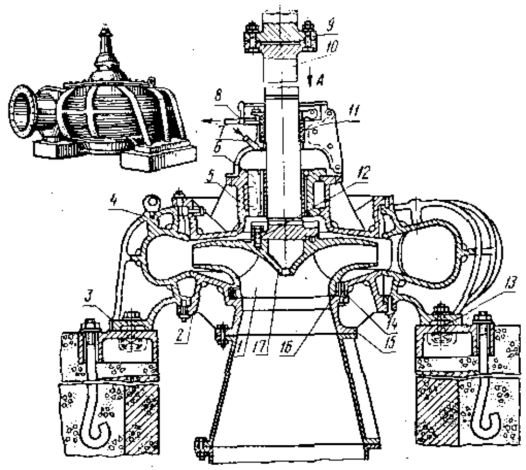


Рис. 19. Вертикальный консольный насос 28В-12:
1 — рабочее колесо; *2* — нижняя крышка; *3* — лапы; *4* — корпус; *5* — верхняя крышка; *6* — направляющий подшипник; *7* — подвод чистой воды; *8* — отвод дренажной воды; *9, 12* — фланцы; *10* — вал; *11* — сальник; *13* — фундаментная плита; *14* — уплотняющее кольцо; *15* — входной патрубок; *16* — защитное кольцо; *17* — колпак.

крепится к валу фланцевым соединением. Вал стальной кованый, около подшипника и сальника защищен электронаплавкой из нержавеющей стали.

Корпус стальной из углеродистой стали, спиральный с верхней крышкой (у насосов 28В-12 две чугунные крышки — верхняя и нижняя). Корпус насосов 52В-11 и 72В-22 с двухзавитковым спиральным отводом, а у насосов 82В-17 — с трехзавитковым, разделенным перегородками для увеличения жесткости корпуса и снижения нагрузки на вал и подшипник от радиальных усилий. Корпус насоса опирается на столбчатые фундаменты двумя лапами и крепится анкерными болтами. Насосы 52В, 70В и 82В после установки и выверки осей заливают бетоном до середины корпуса.

Входной патрубок насоса 28В-12 отлит вместе с нижней крышкой и направлен вниз. Вода обычно подводится по металлическим всасывающим трубам, а у насосов марок 52В-11 и до 82В-17 — по бетонной коленчатой всасывающей трубе, присоединенной к корпусу насоса закладным кольцом с сальниковым устройством.

На верхней крышке корпуса крепится направляющий подшипник и сальниковое уплотнение. Для защиты сальника от нагрева подводится чистая вода. Подшипники лигнофолевые смазывают чистой водой с расходом 0,5—1 л/с и напором на 7—10 м выше рабочего.

Уплотнение рабочих колес (щелевое) из стального защитного кольца, прикрепленного к колесу, и чугунного уплотняющего кольца, прикрепленного к корпусу насоса (у насоса 28В-12 к нижней крышке). Щелевое уплотнение колеса можно ремонтировать без разборки насоса, так как крышка и переходной патрубок съемные.

Соединение валов вертикальных насосов и двигателей — жесткое фланцевое. Фланцы откованы за одно целое с валами.

Осевые усилия и масса ротора воспринимаются пятой электродвигателя.

Насосы одноступенчатые с двухсторонним входом воды на колесо (Д) состоят из корпуса *1*, крышки корпуса *8* и рабочего колеса *12*. Колесо сидит на валу между двумя защитными втулками *18* и закреплено шпонкой (рис. 20). Втулки защищают вал от износа и закреплены на нем при помощи резьбы. Рабочее колесо — двухстороннего входа, поэтому оно разгружено от осевых усилий. Небольшие осевые усилия, возникающие при неравномерном износе уплотнительных колец в процессе эксплуатации или по другим причинам, воспринимаются радиально-упорным подшипником, а у рассматриваемого насоса — радиальным шариковым подшипником.

Сальники состоят из корпуса, крышки *4*, сальниковой набивки *5*, кольца гидравлического уплотнения *6* и грундбуксы *13*. Торцовая поверхность грундбуксы служит опорой для сальниковой набивки. Подтяжка сальника производится нажимной крышкой *4*. Гидравлическое уплотнение осуществляется под напором воды, подводимой по трубкам *7* и *14* из отверстий *15* в крышке корпуса.

Опорами для вала служат радиально-опорные шарикоподшипники *2* и *16*, расположенные на кронштейнах корпуса *1*. Смазка шарикоподшипников густая. У более крупных насосов типа Д применяются подшипники скользящего трения с жидкой кольцевой смазкой. Ох-

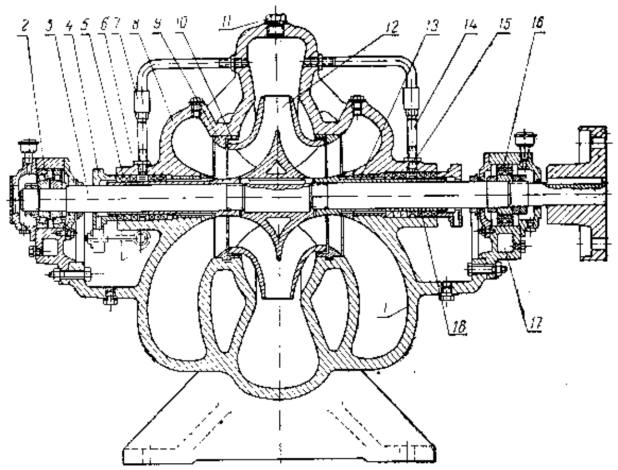


Рис. 20. Центробежный одноступенчатый насос Д1250-65 с двухсторонним входом:

1 — корпус; *2* — подшипник; *3* — вал; *4* — крышка; *5* — набивка; *6* — уплотнение; *7*, *14* — трубки; *8* — крышка корпуса; *9* и *10* — кольца; *11* — пробка; *12* — рабочее колесо; *13* — грундбукса; *15* — отверстие; *16* — подшипник; *17* — камера; *18* — втулка.

лаждение подшипников водяное — через камеры *17*. Вращение вала — против часовой стрелки, если смотреть со стороны привода, при этом входной патрубок насоса должен быть расположен с левой стороны.

Рабочие колеса насосов типа Д имеют лабиринтное уплотнение с одним зубом. Уплотняющий зазор выполнен между двумя уплотияющими кольцами *9* и *10*, одно из которых — неподвижное, закреплено в корпусе, а другое — подвижное, закреплено на рабочем колесе у входа.

Насосы типа Д в отличие от насосов К имеют полуспиральный подвод и спиральный отвод. Разъем корпуса — горизонтальный — вдоль вала (рис. 21), причем напорный и всасывающий трубопроводы подсоединяются к нижней части корпуса. Такая конструкция обеспечивает вскрытие, осмотр, ремонт, замену отдельных деталей или всего ротора без демонтажа трубопроводов и

отсоединения электродвигателя. Для этого нужно только снять крышку насоса. В верхней части крышки насоса имеется отверстие, закрытое пробкой, которое служит для присоединения трубки вакуум-насоса.

Насосы с двухсторонним входом имеют бо́льшую высоту всасывания, чем насосы с односторонним входом, поэтому они нашли широкое применение в орошении и осушении.

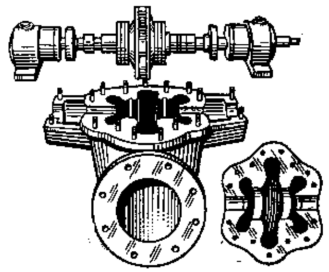


Рис. 21. Центробежный одноступенчатый насос типа Д с откинутой крышкой и приподнятым ротором.

Многоступенчатые насосы выпускают трех типов: МС; М и МД. На рисунке 22 показан насос типа МС — секционный пятиступенчатый насос «Комсомолец», который состоит из всасывающей *6*, четырех промежуточных *4* и напорной *3* секций, стянутых болтами *5*. За рабочими колесами, закрепленными на валу шпонками, находятся направляющие аппараты, отлитые вместе с корпусами секций и служащие отводами. Подвод первой ступени кольцевой. Осевое давление воспринимается гидравлической пятой *1*. Вода, прошедшая через зазор пяты, отводится по трубе *2* во всасывающую секцию насоса. Для предотвращения подсоса воздуха внутрь насоса сальник всасывающей секции имеет гидравлический затвор, вода к которому подводится из отвода первой ступени по каналу *7*, просверленному в ребре всасывающей секции. Вал вращается в подшипниках скользящего трения, расположенных в консолях крайних секций. Подшипники имеют вкладыши с баббитовой заливкой. Смазка подшипников — кольцевая.

Торцовый разъем корпуса и однотипность секций позволяют выпускать серии компактных насосов с различным числом секций (и разными напорами). Но такая конструкция требует полной разборки насоса и отсоединения всасывающего и напорного трубопроводов, то есть длительной остановки всего агрегата для осмотра и ремонта.

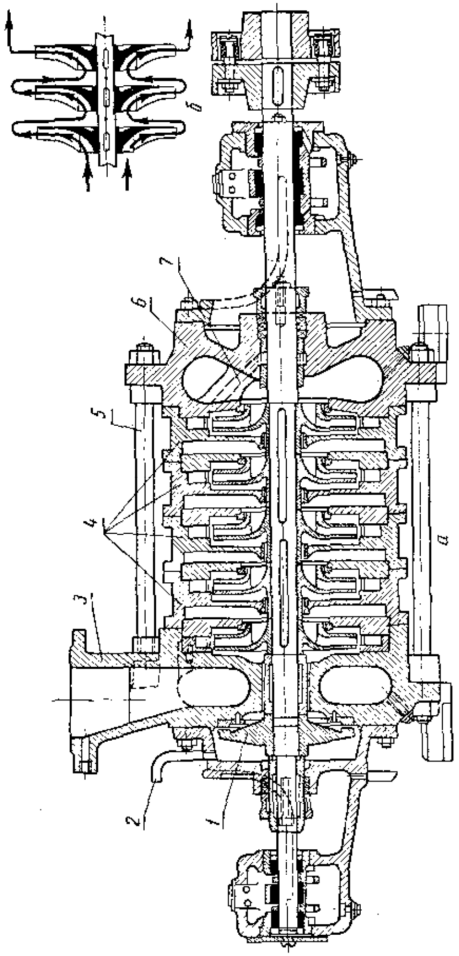


Рис. 22. Пятиступенчатый секционный насос «Комсомолец»:
а — разрез; *б* — схема движения воды; *1* — гидравлическая пята; *2* — труба; *3* — напорная секция; *4* — промежуточная секция; *5* — болты; *6* — всасывающая секция; *7* — канал.

Насосы типа НС имеют меньший к. п. д. по сравнению с другими типами, так как применяемые в них способы разгрузки осевых усилий (гидравлическая пята, разгрузочные отверстия и т. п.) связаны с дополнительной утечкой жидкости, а следовательно, и снижением их объемного к. п. д.

Многоступенчатые спиральные насосы типа М и МД характеризуются хорошими гидравлическими и эксплуатационными качествами и высоким к. п. д., но имеют большие габариты и стоимость, сложны в изготовлении. Поэтому применение их в сельском хозяйстве ограничено.

У многоступенчатых спиральных насосов типа М все рабочие колеса имеют односторонний вход. Для уравновешивания осевого давления их устанавливают на валу парами, с противоположным расположением входных отверстий.

У многоступенчатых спиральных насосов типа МД рабочее колесо первой ступени устроено с двухсторонним входом, а остальные — с односторонним. Это делается для увеличения всасывающей способности насоса, что очень важно при перекачке, например, горячей воды. Используют их в основном для питания прямоточных котлов на тепловых электростанциях.

В оросительных системах с закрытой сетью часто находят применение многоступенчатые насосы марки 3В-$d_н$×i, где 3 — условное обозначение конструкции насоса; В — водяной; $d_н$ — диаметр напорного патрубка, мм; i — число рабочих колес насоса.

Выпускают насосы в исполнениях 3В-200×4 (четыре рабочих колеса, подача 120 л/с, напор 206 м) и 3В-200×2 (два рабочих колеса, подача 120 л/с, напор 106 м).

Число ступеней у таких насосов обязательно парное. В пределах парных ступеней вода перетекает с одного колеса на другое по внутренним каналам, отлитыми в корпусе, а на соседнюю пару — по наружной трубе.

Скважинные центробежные насосы — секционные многоступенчатые погружные насосы, приспособленные для подъема воды из буровых колодцев (скважин) и устанавливаемые в них уровень под динамический. Выпускаются они только в полном установочном комплекте с электродвигателем, в виде специальных скважинных насосных агрегатов.

*В настоящее время заводы такие агрегаты изготав-*ливают двух видов: скважинные насосные агрегаты полупогружного исполнения и скважинные насосные агрегаты погружного исполнения.

Скважинные насосные агрегаты полупогружного исполнения — это комплект из погружного скважинного насоса, соединенного трансмиссионным валом с электродвигателем, расположенным на дневной поверхности скважины. Выпускают их трех марок: АТН (А — артезианский, Т — турбинный, Н — насос), А (А — артезианский) и ЦТВ (Ц — центробежный, Т — с трансмиссионным валом, В — водяной).

Артезианские насосы АТН — это скважинные агрегаты с трансмиссионным валом и трех типоразмеров: 8, 10 и 14 (условный внутренний диаметр скважины).

Например, насос АТН-14-1-6: АТН — артезианский с трансмиссионным валом, 14 — минимальный условный диаметр скважины (внутренний диаметр обсадных труб (мм), уменьшенный в 25 раз, допускающий размещение в нем агрегата); 1 — порядковый номер модели насоса; 6 — число рабочих колес (секций).

Скважинный насосный агрегат с трансмиссионным валом марки АТН-8-1-22 состоит из рабочего узла — собственно насоса, напорного трубопровода с расположенными в нем трансмиссионным валом и приводного узла, состоящего из станины и электродвигателя (рис. 23).

Рабочий узел или насос по конструкции относится к группе центробежных многоколесных секционных насосов в скважинном исполнении. Корпус его сборный из отдельных чугунных секций, соединенных шпильками, внутри которого расположен вал с насаженными на него рабочими колесами.

Каждая секция — это лопаточный полуосевой отвод, отлитый вместе с лопатками направляющего аппарата насоса. Секционная конструкция позволяет довольно просто изменять число ступеней в насосе, а следовательно, и его напор.

Рабочие колеса обычно закрытые и диагональные. В диагональных рабочих колесах вода движется под углом 45° к оси, что позволяет уменьшить наружный диаметр насоса при использовании его в скважинах малого диаметра.

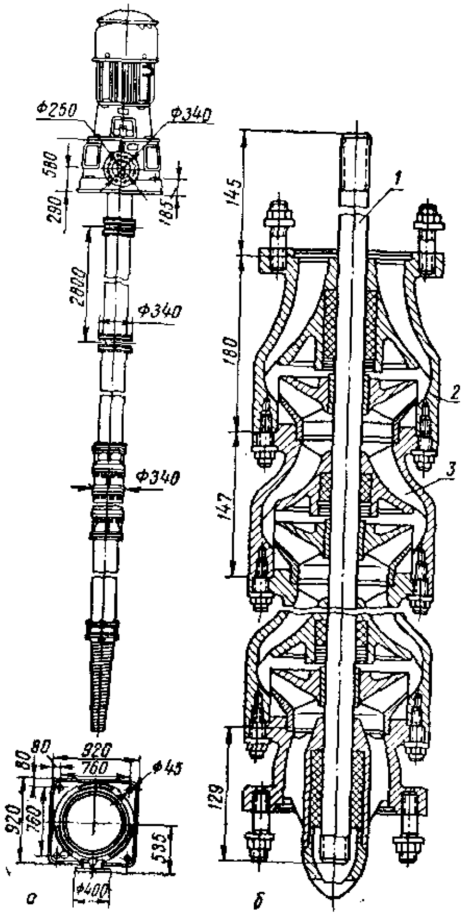


Рис. 23. Центробежный артезианский насос ЦТВ (АТН):
а — общий вид; *б* — рабочий узел насоса с закрытыми рабочими колесами; *1* — вал; *2* — рабочее колесо; *3* — направляющий аппарат.

5 Заказ № 2576

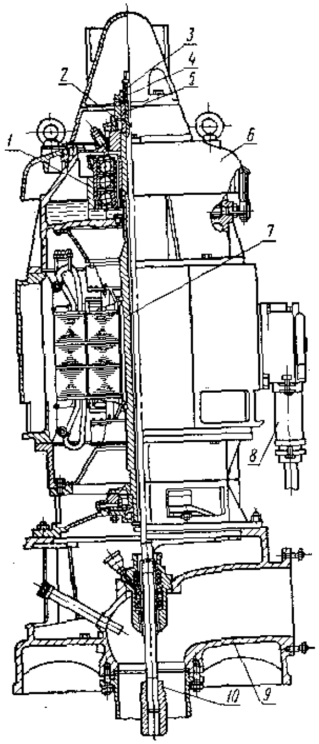


Рис. 24. Электродвигатель и приводная головка насоса АТН-14-1:

1 — пята; *2* — муфта приводная; *3* — приводной вал; *4* — регулировочная гайка; *5* — шпонка; *6* — электродвигатель; *7* — пустотелый вал двигателя; *8* — ввод кабеля; *9* — опорная станина; *10* — соединительная муфта.

Опорами вала служат подшипники, резиновые втулки которых укреплены в гнездах направляющего аппарата. Втулки имеют внутри долевые канавки для смазки и охлаждения их трущихся поверхностей и вала. По этим канавкам водой выносятся попавшие в подшипники частицы песка. Шейки вала в местах соприкасания с резиновыми втулками хромированы.

Напорный трубопровод собирается из отдельных секций, соединяемых фланцами. Внутри трубопровода проходит трансмиссионный приводной вал, передающий вращение от электродвигателя к насосу. В стыках секций напорного трубопровода располагаются чугунные кронштейны с резиновыми направляющими подшипниками приводного вала. Осевые канавки на внутренней поверхности вкладыша служат для прохода воды и смазывания шейки вала.

Приводной вал монтируют также из отдельных секций, соединяемых муфтами с левой резьбой, поэтому насос вращается вправо. Шейки валов хромируются для предохранения их от износа и коррозии.

Опорная станина служит опорой для электродвигателя и всей насосной установки. Она представляет собой чугунную отливку в виде усеченного корпуса с квадратным основанием и с коленом, к которому крепятся трубопроводы: напорный, входящий из скважины и отводящий воду к потребителю. В станине размещаются и подшипники, воспринимающие осевые усилия.

В верхней части колена имеется сальник для уплотнения выхода приводного вала и трубка для подвода воды, смачивающей резиновые подшипники перед пуском насоса.

В процессе работы подшипники смазываются перекачиваемой жидкостью.

Электрические двигатели агрегатов АТН (рис. 24) характеризуются следующими особенностями:

1. Для восприятия гидравлических усилий (в том числе и осевого давления) и веса вращающихся деталей агрегата в электродвигателе установлен радиально-упорный подшипник.

2. Вал электродвигателя выполнен полым для прохода трансмиссионного вала к регулировочной гайке. С помощью гайки, опирающейся на муфту стопорного устройства, регулируются зазоры между рабочим колесом и направляющим аппаратом насоса.

3. В верхнюю часть электродвигателя вмонтировано стопорное устройство (храпового типа), не допускающее вращения ротора двигателя в обратном направлении.

Скважинные насосные агрегаты типа ЦТВ несколько отличаются от АТН. Рабочие колеса агрегатов выполняют с радиальным и диагональным движением воды. Лопаточный отвод — стальной. Вертикальные осевые усилия в насосе (вес ротора, вала, рабочего колеса и давления воды) воспринимаются шариковой пятой, расположенной в опорной станине, под двигателем.

У скважинных агрегатов ЦТВ 10 и ЦТВ 12 возможен привод от дизеля с горизонтальным валом и карданной передачей через конический редуктор, находящийся на опорной станине.

Все рассмотренные насосные агрегаты (АТН и ЦТВ) предназначены для подачи неагрессивной воды, содержащей до 0,1% для ЦТВ и до 0,5% для АТН по массе твердых механических примесей.

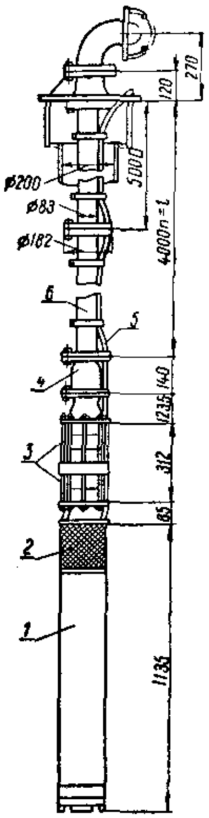


Рис. 25. Общий вид насосного агрегата в артезианском погружном исполнении: *1* — двигатель; *2* — сетка; *3* — насос; *4* — обратный клапан; *5* — кабель; *6* — напорный трубопровод.

Скважинный насосный агрегат в погружном исполнении (рис. 25) представляет комплектный агрегат, состоящий из скважинного секционного центробежного насоса, электродвигателя и водоподъемных труб, удерживающих насосный агрегат в скважине в подвешенном состоянии. Энергия к электродвигателю, расположенному в скважине ниже насоса, подводится сверху по специальному кабелю. Входное для воды отверстие насоса находится между двигателями и насосами и защищено сеткой.

Насосный агрегат, подвешенный в скважине на колонне водоподъемных труб, опускают в воду на такую глубину, чтобы верхний фланец клапанной коробки находился ниже динамического уровня не менее чем на 1,5 м. Днище электродвигателя должно находиться выше фильтра скважины не менее чем на 1 м.

Насосные агрегаты погружного исполнения объединены в единую серию с обозначением ЭЦВ (Э — электродвигатель погружного типа, Ц — центробежный, В — для подачи воды).

На рисунке 26 представлен скважинный погружной насос ЭЦВ6-10-80: Э — электрический, Ц — центробежный, В — водоподъемный агрегат погружного исполнения, 6 — минимальный для этого насоса диаметр рабочей колонны обсадных труб (мм), уменьшенный в 25 раз.

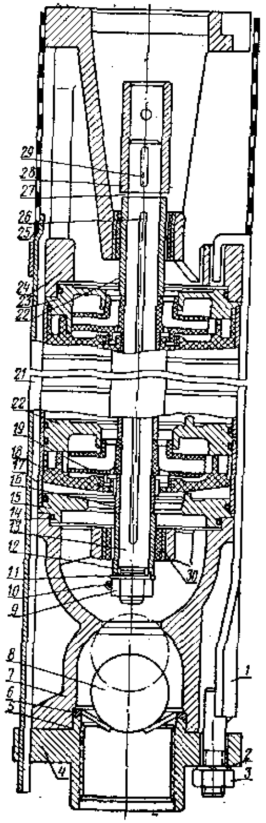


Рис. 26. Погружной артезианский насос ЭПВ-10-80:
1 — стяжка; *2* — пружинная шайба; *3*, *9* — гайки; *4* — головка; *5*, *14* — уплотнительные кольца; *6* — ограничитель; *7* — клапанная коробка; *8* — шар обратного клапана; *10* — шплинт; *11* — стопорная шайба; *12*, *15* и *22* — защитные втулки; *13* — вал; *15* — верхний диск; *17* — обойма; *18* — направляющий аппарат; *19* — рабочее колесо; *20* — промежуточный диск; *21* — кожух; *23* — нижний диск; *24* — основание; *25* — сетка; *26* и *29* — шпонки; *27* — опорное кольцо; *28* — муфта; *30* — верхний подшипник.

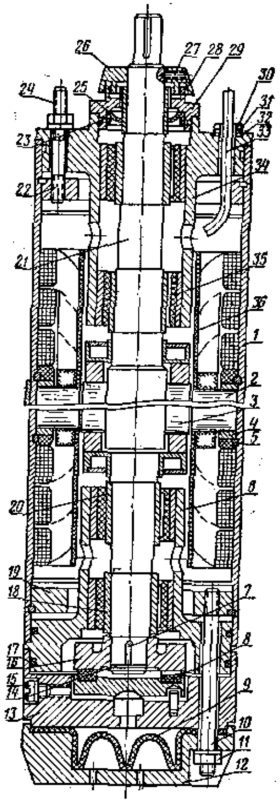


Рис. 27. Электродвигатель типа ПЭДВ:
1 — корпус статора; *2*, *3* — пакеты железа статора и ротора; *4* — нажимная шайба; *5* — упорное кольцо; *6* и *34* — подшипниковые щиты; *7* — шпонка; *8* — подпятник; *9* — диафрагма; *10* и *24* — шпильки; *11* — гайка; *12* — днище; *13* — корпус подпятника; *14* — пружинное кольцо; *15* — пробка для заливки; *16* — пята; *17*, *23* и *32* — уплотнительные кольца; *18*, *20*, *35* — втулки; *19*, *22* — кольца; *21* — вал; *25* — манжета; *26* — пескосбрасыватель; *27* — стопорный винт; *28* — крышка пескосбрасывателя; *29* — винт; *30* — пластина; *31* — шайба; *33* — вывод; *36* — изолирующий цилиндр.

10 — подача, м³/ч, 80 — напор, м. Его рабочие органы (рабочие колеса и направляющие аппараты), защитные цилиндры, пробки, изолирующие кольца и другие детали выполнены из пластмассы. Радиальные подшипники и подпятники резинометаллические.

Радиальные и упорные подшипники насоса смазываются водой, откачиваемой из скважины, а подшипники двигателя (рис. 27) — чистой водой, заливаемой в полость его корпуса через пробку *15* перед опусканием в скважину.

Электродвигатель типа ПЭДВ состоит из статора, ротора, подшипниковых щитков, пяты, подпятника и диафрагмы. Корпус статора представляет стальную трубу *1*, в которую запрессован пакет статора *2*, набранный из листов электротехнической стали. Ротор состоит из вала *21* с напрессованным пакетом *3* такой же электротехнической стали. Подшипниковые щиты *6* и *34* — литые, чугунные, в корпус которых запрессованы резинометаллические втулки *35* подшипников.

Пята *16* и подпятник *8* — элементы упорного подшипника, воспринимают осевые усилия. Диафрагма *9*, установленная в днище *12* двигателя, уравновешивает перепад давлений между внутренней полостью электродвигателя и окружающей средой, который возникает от расширения воды, находящейся в корпусе двигателя, нагревающейся во время работы.

Герметизация двигателя от перекачиваемой воды обеспечивается резиновыми кольцами *17* и *23*, манжетами *25* и диафрагмой *9*. Для защиты внутренней полости двигателя от попадания механических примесей из перекачиваемой воды служит пескосбрасыватель *26*. При нормальной работе насоса его головка *5* должна быть заглублена в воду под динамический уровень на 1—1,5 м.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ДЕТАЛИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

К основным деталям центробежных насосов относятся рабочее колесо, корпус, направляющий аппарат, вал, подшипники, сальники и т. д.

Рабочее колесо — важнейшая деталь насоса, так как оно непосредственно осуществляет силовое воздействие

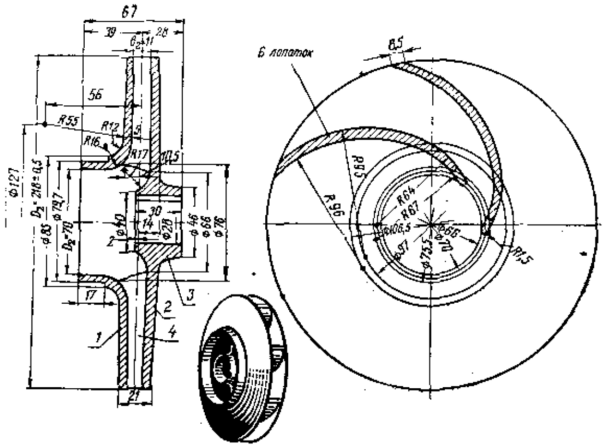


Рис. 28. Рабочее колесо с односторонним входом:
1 — передний диск; *2* — ступица; *3* — задний диск; *4* — лопатка.

на протекающую жидкость и тем самым передает ей энергию двигателя.

По конструкции колеса могут быть с односторонним и двухсторонним входом жидкости.

Рабочее колесо с односторонним входом жидкости (рис. 28) состоит из переднего (наружного) диска *1*, заднего внутреннего диска *3* со ступицей *2* и лопаток *4*, расположенных между дисками. В ступице *2* прорезается шпоночная канавка.

Для насосов малой подачи (ЦНШ-40, артезианские насосы и пр.) рабочие колеса с односторонним входом иногда не имеют наружного диска (колеса открытого типа). В таких насосах корпус должен прилегать к лопаткам с минимально возможным зазором, но при эксплуатации указанное требование по разным причинам не выдерживается, и работа насосов вследствие увеличения щелевых потерь часто оказывается неэкономичной. Поэтому применение открытых колес в насосостроении ограничено.

К преимуществам насосов с закрытыми рабочими колесами следует отнести также наличие в их характе-

ристиках пологой кривой мощности, при которой исключается перегрузка электродвигателей при всех практически возможных эксплуатационных режимах.

Лопатки рабочих колес центробежных насосов изогнуты по ходу вращения назад. Их входной край должен иметь закругление, а выходной — срез. Число лопаток обычно колеблется от 6 до 8, но специальные насосы для загрязненных жидкостей с целью увеличения сечения каналов в колесе устраивают с меньшим числом лопаток (от 2 до 4).

Рабочее колесо с двухсторонним входом имеет два наружных и один внутренний диск со ступицей (рис. 29). Таким образом, обе половинки являются как бы самостоятельными рабочими колесами с односторонним входом; конструктивно они соединены так, что одна сторона колеса представляет зеркальное изображение другой.

Корпус насоса — чугунная или стальная массивная конструкция, состоящая из двух деталей — собственно корпуса и крышки, разъединяющихся в вертикальной плоскости (см. рис. 17). В собранном виде эти две детали образуют внутреннюю полость для размещения рабочего колеса, подводящий канал и спиральный отво-

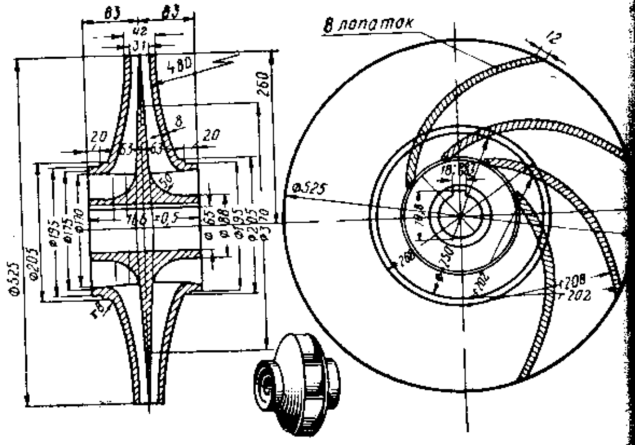


Рис. 29. Рабочее колесо с двухсторонним входом.

дящий канал. Такой улиткообразный корпус крепится к фланцу опорной стойки в любом из указанных на рисунке 18 положений.

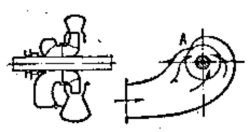


Рис. 30. Полуспиральный подвод.

В других насосах (рис. 21) корпус и крышка корпуса разделяются продольным разъемом в горизонтальной плоскости. Подводящий канал в таком корпусе имеет более сложную форму, а корпус, кроме вышеуказанных функций, выполняет еще и роль опорной станины.

Подводящий канал (всасывающий подвод) должен обеспечивать равномерное распределение скоростей в поперечном сечении потока у входа во всасывающее отверстие рабочего колеса и минимальные гидравлические сопротивления течению жидкости.

Чаще всего применяют прямоосный конфузорный, кольцевой и полуспиральный подводы.

Прямоосный конфузорный подвод (сходящийся конус) обычно используют в насосах консольного типа (рис. 17). Конус выравнивает распределение скоростей и имеет незначительные гидравлические сопротивления, поэтому такой тип подвода жидкости к всасывающему отверстию колеса наилучший.

Кольцевой подвод — кольцевой канал постоянного сечения, расположенный по окружности входа в рабочее колесо, находит применение в многоступенчатых секционных насосах типа МС. Этот тип подвода, напоминающий сплюснутое колено, отличается некоторой неравномерностью распределения скоростей в сравнении с конфузорным. В новейших конструкциях насосов его не используют.

Полуспиральный подвод — это спиралевидный канал, расположенный по окружности входа в рабочее колесо (рис. 30). В отличие от кольцевого он имеет постепенно увеличивающееся сечение от радиального носика А. Полуспиральные подводы лучше распределяют скорости у входа на колесо, чем кольцевые, поэтому они применяются в современных насосах с двухсторонним всасыванием.

Отводящий канал корпуса насоса, или просто отвод, должен собирать жидкость, выбрасываемую из рабочего

колеса, и снижать ее скорость, преобразуя при этом кинетическую энергию потока в потенциальную энергию давления с меньшими гидравлическими потерями. Конструктивные формы отводов: спиральный отвод, направляющий аппарат и кольцевой отвод.

Спиральный отвод — постепенно расширяющийся канал улиткообразной формы, охватывающий все рабочее колесо по окружности выхода и переходящий в прямоосный диффузор у напорного патрубка (рис. 20).

Спиральные отводы из-за простоты конструкции и высокого к. п. д. получили широкое распространение не только в одноколесных насосах одностороннего и двухстороннего всасывания, но и в многоступенчатых спиральных насосах.

Отвод с направляющим аппаратом (рис. 31) в настоящее время применяется в многоступенчатых секционных насосах МС. Он представляет собой неподвижное колесо с лопатками, образующими серию спиральных каналов *FG*, переходящих в каналы диффузорного типа *GN*. Далее располагается безлопаточное кольцевое пространство *BCD*, где жидкость меняет центробежное направление на центростремительное, и затем идут обратные каналы *DE*, которые подводят жидкость к рабочему колесу следующей ступени. В обратных каналах происходит дальнейшее преобразование кинетической энергии в потенциальную. В некоторых марках многоступенчатых секционных насосов имеются и другие конструкции направляющих аппаратов.

Между направляющим аппаратом и рабочим колесом оставляется небольшой радиальный зазор. Направляющий аппарат на 1—2 мм шире рабочего колеса на-

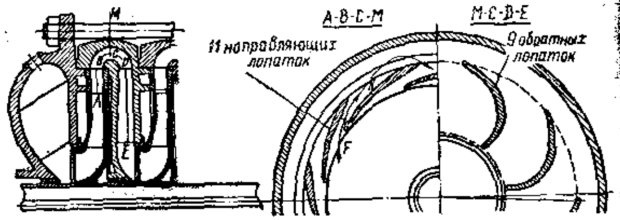


Рис. 31. Радиальный направляющий аппарат.

соса. Число направляющих лопаток примерно такое же, как и у рабочего колеса, но в последнее время наблюдается тенденция к уменьшению числа лопаток до 3—5.

Вал и подшипники — одни из основных деталей насоса. Валы изготовляют из марочных сталей, так как они должны обладать большой прочностью. При сборке и разборке насосов с валами необходимо обращаться осторожно, так как, несмотря на прочность, они легко портятся и теряют балансировку.

Для защиты валов от истирания в сальниках и от коррозии на вал надевают сменные защитные втулки. Колеса закрепляются на валу шпонками и установочными гайками. Ротор насоса (вал в сборе с рабочими колесами) во избежание вибрации должен быть статически отбалансирован (для длинных роторов многоступенчатых насосов требуется еще и динамическая балансировка). На одном конце вала имеется полумуфта для соединения с валом двигателя или шкив для ременной передачи.

Для восприятия радиальных нагрузок ротора применяют подшипники скольжения или качения (шарикоподшипники).

Шарикоподшипники применяются для ротора с небольшими окружными скоростями вала, поэтому их устанавливают на насосах типа К и других, имеющих относительно небольшие диаметры вала и, следовательно, малые окружные скорости. Большой недостаток шарикоподшипников состоит в том, что при их неисправности возможно повреждение и самого ротора.

Подшипники скольжения работают более спокойно, чем подшипники качения, поэтому их используют при изготовлении всех крупных насосов (20НДн, 24НДн, 32Д и др.).

Подшипники скольжения имеют чугунные вкладыши с баббитовой заливкой. Смазка масляная, чаще всего кольцевая.

При больших нагрузках и окружных скоростях вала более 8 м/с необходимо искусственное охлаждение масла. Масло в подшипники подается специальным насосом под давлением. По выходе из подшипников его пропускают через фильтр и охладитель, а затем оно поступает в емкость для дальнейшего употребления. Подобная принудительная циркуляция смазки имеется в круп-

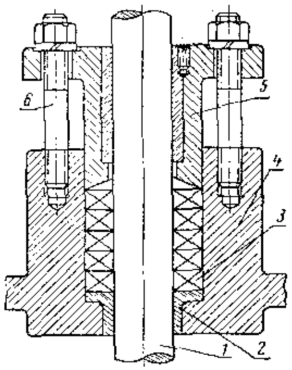


Рис. 32. Сальник (в разрезе):
1 — корпус; *2* — грундбукса; *3* — трубка; *4* — набивка; *5* — крышка; *6* — кольцо.

ных типа В и осевых насосах.

В крупных или специальных насосах, перекачивающих холодную воду, часто применяют резиновые, текстолитовые, лигнофолевые и другие подшипники с водяной смазкой.

Упорные подшипники используют редко, так как они непригодны для работы на высоких окружных скоростях. Поэтому у крупных насосов осевые усилия воспринимаются пятой скольжения.

Для фиксирования вала относительно оси и восприятия осевых давлений в малых и средних насосах устанавливают радиально-упорные шарикоподшипники.

Сальники предотвращают подсос воздуха из атмосферы внутрь насоса через зазор между валом и корпусом или утечку жидкости через этот зазор. Сальник состоит из грундбуксы *2* (рис. 32), помещенной между корпусом сальника *1* и валом, сальниковой набивки *4*, крышки сальника (нажимной буксы) *5* и двух шпилек с гайками. В таком исполнении сальниковое уплотнение размещается с напорной стороны насоса для предупреждения больших утечек жидкости.

Сальниковая набивка приготовляется из специального хлопчатобумажного шнура квадратного сечения, пропитанного техническим жиром с графитом, который нарезают отдельными кольцами и укладывают в пространство между корпусом сальника и валом. После укладки набивку зажимают крышкой сальника *5* при равномерном затягивании гаек на шпильках.

Вследствие значительного трения в сальнике выделяется много тепла, которое отводится жидкостью, просачивающейся через сальник. Поэтому крышку сальника натягивают так, чтобы через него просачивались капли жидкости. В противном случае сальник будет нагреваться и нужно будет отпустить гайки на шпильках.

При длительной работе набивка сальника уплотняется, поэтому гайки его надо периодически подтягивать. Если повторная подтяжка не дает необходимого уплотнения, то набивку меняют. Набивку сальника меняют через 200—500 ч работы в зависимости от степени загрязнения жидкости.

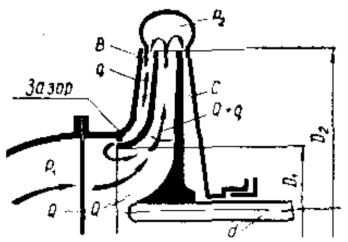


Рис. 33. Схема протекания воды в рабочем колесе и в зазоре между колесом и крышкой корпуса.

Сальники на всасывающей стороне насоса не должны допускать засасывания воздуха внутрь насоса. Поэтому, кроме вышеперечисленных деталей, в этих сальниках имеется еще гидравлический затвор, состоящий из кольца *6* двутаврового сечения, который располагают между кольцами набивки (рис. 32). К кольцу по трубке *3* из напорной камеры насоса подводится под давлением жидкость. Образующееся в сальнике кольцо жидкости препятствует проникновению воздуха в насос. Жидкость из кольца *6* медленно, по каплям вытекает наружу и внутрь насоса, при этом сальник охлаждается.

Уплотнение рабочих колес насоса. Ввиду различия давлений на выходе из рабочего колеса и у входа в него жидкость может перетекать из отводящего канала (через пространство между передним диском рабочего колеса и крышкой корпуса) в подводящий канал насоса (рис. 33). Поэтому подача насоса Q станет меньше подачи его рабочего колеса $Q_к$ на величину утечки жидкости q. Отсюда объемный к. п. д. центробежного насоса равен

$$\eta_{об} = \frac{Q}{Q_к}.$$

Объемный к. п. д. центробежного насоса можно повысить, уменьшив утечку жидкости. Для этого у входа в рабочее колесо делают уплотнение (небольшой зазор около 0,25—0,3 мм) между колесом и корпусом. Стенки этого зазора изнашиваются сравнительно быстро из-за

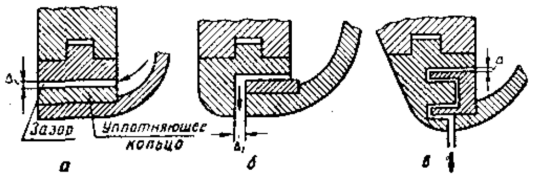


Рис. 34. Конструктивные формы уплотнений рабочего колеса центробежного насоса.

большой скорости течения в нем и особенно при наличии в жидкости абразивных взвесей. Для предупреждения износа рабочих колес и корпуса изготавливают специальные сменные уплотнительные кольца. Их закрепляют на корпусе и на рабочем колесе, и они образуют необходимый уплотняющий зазор. Уплотнительные кольца делают из материала более стойкого, чем корпус и рабочее колесо насоса.

На рисунке 34 показаны используемые в насосостроении виды уплотнений рабочего колеса. Наиболее простое плоское кольцевое уплотнение (рис. 34, *а*). Недостатком этой конструкции является то, что поток жидкости, вытекающий из щели с большой скоростью в направлении, противоположном основному потоку жидкости во всасывающем отверстии колеса, может вызывать в нем неравномерное распределение скоростей. Поэтому плоские уплотняющие кольца применяются для быстроходных колес центробежных (то есть низконапорных) насосов.

В уголковом кольцевом уплотнении (рис. 34, *б*) выходной зазор значительно больше входного, поэтому скорость на выходе из щели настолько мала, что не нарушает движения основного потока при входе на лопатки колеса. Это уплотнение применяют в насосах со средним напором.

При больших напорах, создаваемых колесом центробежного насоса, пользуются лабиринтными уплотнениями (рис. 34, *в*), отличающимися минимальными коэффициентом расхода и щелевыми утечками.

Осевое давление и способы его разгрузки. Для уточнения понятия осевого давления рассмотрим центробежный насос консольного типа (рис. 33).

Отличительная особенность таких насосов, имеющих рабочие колеса с односторонним входом, — возникновение во время их работы осевого гидравлического давления, которое действует против движения жидкости во всасывающем патрубке насоса и стремится сдвинуть вал с рабочим колесом в эту сторону. Возникает оно вследствие отсутствия симметрии в рабочем колесе с односторонним входом. Пусть жидкость во входном отверстии рабочего колеса имеет давление P_1 (обычно меньше атмосферного), а по выходе из колеса, в отводящем канале — P_2 (больше атмосферного).

Ввиду большого свободного пространства между колесом и стенками корпуса давление на каждую квадратную единицу наружной поверхности рабочих колес (в пространствах B и C) можно принять одинаковым и равным P_2. Общее давление на наружную поверхность заднего диска (справа) будет равно:

$$P_{пр} = P_2 \frac{\pi(D_2^2 - d^2)}{4},$$

где $\frac{\pi(D_2^2 - d^2)}{4}$ — площадь наружной поверхности заднего диска за вычетом площади вала.

Общее давление на наружную поверхность рабочего колеса со стороны всасывания равно:

$$P_{лев} = P_1 \frac{\pi(D_1^2 - d^2)}{4} + P_2 \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4}.$$

Давление на рабочее колесо справа больше, чем слева, поэтому результативная сила будет равна:

$$P = P_{пр} - P_{лев} = (P_2 - P_1) \frac{\pi(D_1^2 - d^2)}{4}. \qquad (62)$$

Это и есть приближенная величина осевого давления, направленного справа налево, то есть против движения жидкости, поступающей в колесо.

Для разгрузки осевого давления в одноколесных насосах:

применяют рабочие колеса с двухсторонним всасыванием (рис. 29). Это наиболее эффективный прием разгрузки. Для восприятия остаточных случайных осевых усилий используют шариковые или кольцевые пяты (упорные подшипники) или установочные кольца на валу насоса. При большой частоте вращения крупных

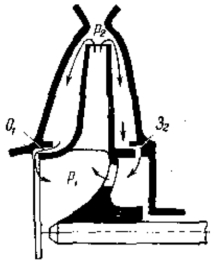


Рис. 35. Схема рабочего колеса с двумя уплотнительными кольцами у входа и разгрузочными отверстиями во втулке.

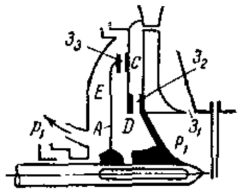


Рис. 36. Схема разгрузочного устройства с помощью гидравлической пяты.

насосов (больших окружных скоростях вала) применяют упорно-радиальные и радиальные глубококанавчатые подшипники;

устанавливают второе кольцевое уплотнение с наружной стороны заднего диска колеса и отверстий во втулке (рис. 35), что выравнивает давление по обе стороны рабочего колеса. Суммарная площадь разгрузочных отверстий во втулке должна превышать площадь зазора не менее чем в 4 раза. Здесь возможны остаточные или случайные осевые усилия (появившиеся, например, в результате неодинакового износа уплотнительных колец), для восприятия которых требуется устройство упорных подшипников.

Разгрузочные отверстия в рабочем колесе насоса уменьшают его к. п. д. на 4—6%, так как щелевые утечки здесь происходят с двух сторон колеса;

устраивают механические пяты в виде упорных подшипников в опорной части насоса. Этот способ отличается минимальной затратой мощности в результате низкого коэффициента трения упорных подшипников.

Для разгрузки осевых усилий в многоколесных насосах:

располагают рабочие колеса с односторонним входом симметрично и взаимопротивоположно. Результат тот же, что и при использовании колес с двухсторонним входом. Остаточные усилия воспринимаются вышеприведенными способами;

применяют уравновешивающий диск (гидравлическая пята). Гидравлическую пяту (рис. 36) — металлический диск A закрепляют на валу с напорной стороны за последним рабочим колесом насоса. Между колесом и неподвижной стенкой корпуса имеется зазор (3_2) и (3_3).

§ 4. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И МАРКИРОВКИ СОВРЕМЕННЫХ ОСЕВЫХ НАСОСОВ

Осевые насосы (ГОСТ 9366—71) изготавливают типа О — с жесткозакрепленными лопастями рабочего колеса и ОП — с поворотными лопастями рабочего колеса с горизонтальным Г и вертикальным В расположениями вала.

Горизонтальные насосы с жестким креплением лопаток выпускают с диаметром рабочих колес: 150, 250, 300, 420, 550 и 700 мм, а вертикальные с диаметром колес 470, 550, 770, 870, 1100, 1450, 1850, 2600 мм с жестко закрепленными лопастями, диаметром от 870 мм и более с поворотными лопастями.

Насосостроительные заводы поставляют осевые насосы восьми модификаций: К — с камерным подводом; МК — малогабаритные с камерным подводом; МБК — моноблочные с камерным подводом, Э — с электроприводом разворота лопастей; ЭГ — с электрогидроприводом разворота лопастей; КЭ — с камерным подводом и электроприводом разворота лопастей; МКЭ — малогабаритный с камерным подводом и электроприводом разворота лопастей.

Маркировка таких насосов принята следующая, например О6-55 или ОП2-110: О — осевой насос, рабочее колесо которого не имеет регулирования, лопасти рабочего колеса закреплены во втулке жестко; ОП — осевой поворотно-лопастной насос, с регулированием лопастей рабочего колеса разворотом; 2 и 6 — номера модели рабочего колеса; 55 и 110 — диаметры рабочего колеса, см.

Осевые насосы изготавливаются с подачей от 0,072 до 40,5 м³/с и напором от 2,5 до 26 м (рис. 37).

Основные узлы этих насосов: рабочее колесо, камера насоса, вал и составной корпус.

6 Заказ № 2576

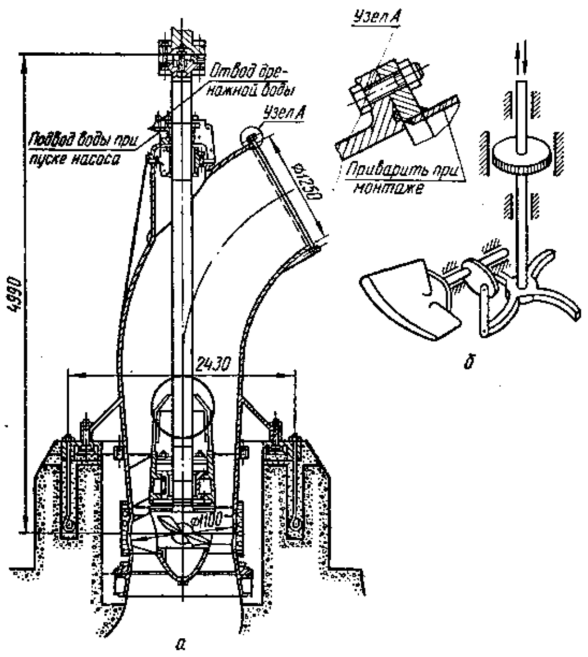


Рис. 37. Осевой насос ОП2-110:
а — узел присоединения насоса к напорному трубопроводу; *б* — схема механизма разворота лопаток.

Рабочее колесо состоит из стальной втулки и закрепленных на ней профилированных лопастей из нержавеющей стали.

Число лопастей для каждого номера модели колеса — различное (для модели колеса № 7—2 лопасти; № 6—3; № 5 и 11—4; № 2 и 8—5; № 3 и 10—6 лопастей).

Втулка рабочего колеса с поворотными лопатками — полая для размещения механизма их разворота (рис. 37, б).

Рабочая камера — стальная, разъемная, цилиндрической или сферической формы, что позволяет проводить

осмотр и средний ремонт рабочего колеса без разборки насоса и двигателя, не нарушая их центровки. Цилиндрические камеры применяют в насосах 0,5, 0,6 и 0,8 с диаметром колес до 700 мм. Остальные насосы поставляются со сферическими камерами.

Вал — стальная поковка с одним верхним фланцем для присоединения к валу двигателя. В насосах типа ОП — валы делают полыми для прохода штока, связывающего механизм разворота лопаток рабочего колеса с приводом.

Привод механизма разворота лопаток в современных насосах механический, но на действующих станциях имеется много насосов с ручным приводом (рис. 38). При механическом приводе лопасти разворачиваются без остановки насоса, а при ручном — при остановленном насосе.

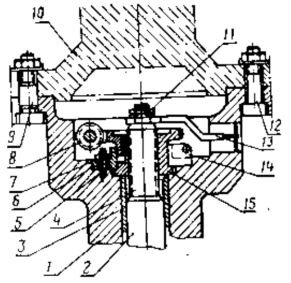


Рис. 38. Ручной привод механизма поворота лопастей насоса ОП2-145:
1 — вал насоса; *2* — тяговой шток привода; *3* — направляющая втулка; *4* — трапециевидная резьба штока; *5* — шпилька; *6* — прижимной диск гайки-шестерни; *7* — гайка-шестерня; *8* — червяк; *9* — призонный соединительный болт; *10* — вал электродвигателя; *11* — гайка и контргайка указательной стрелки; *12* — соединительный болт; *13* — указатель положения лопастей; *14* — фланец вертикального разъема прижимного диска; *15* — упорный гребень гайки-шестерни.

Ручной привод разворота лопастей осуществляется с помощью червячной передачи, заключенной между фланцами валов насоса и двигателя.

Механический привод для разворота лопастей у насосов ОП устраивают электромеханический (электропривод) и электрогидромеханический (электрогидропривод). Электропривод делают в насосах с диаметром рабочих колес до 1100 мм. При диаметре колеса 1450 мм применяют любой из двух, а при диаметрах 1850 и 2600 мм — только электрогидроприводы. У насосных агрегатов типа ОП валы у насосов и двигателей — пустотелые. *Шейки валов наплавляются нержавеющей сталью.*

Корпусный узел включает отвод, диффузор с выправляющим аппаратом, камеру рабочего колеса, конфузорный переход и закладное кольцо.

Отвод малогабаритных насосов — чугунный, направлен под углом 90° к оси насоса, а у насосов основного исполнения — стальной сварной и направлен под углом 60°. На корпусе отвода имеется опора для верхнего направляющего подшипника и торцового уплотнения вала (сальника).

Диффузор с направляющим аппаратом, конфузорный переход и закладные кольца — чугунные.

Опорами вала служат верхний и нижний направляющие подшипники с лигнофолевыми или металлорезиновыми вкладышами, смазываемые перекачиваемой насосом водой. Если она содержит более 50 мг/л взвешенных частиц, то подшипники изолируют манжетами, а воду для смазки подводят по трубам осветленную от специального источника. Расход воды для смазки — 0,5—2 л/с с напором на 7 м больше напора.

Осевые усилия от осевого давления, масса воды и ротора агрегата воспринимаются пятой электродвигателя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируют центробежные насосы? 2. Стандартизация лопастных насосов и ее значение в народном хозяйстве страны. 3. Как маркируют центробежные насосы? 4. Как устроены центробежные насосы консольного типа горизонтального и вертикального исполнения? 5. Устройство и действие горизонтального одноступенчатого насоса с двухсторонним всасыванием. 6. Особенности устройства вертикальных одноступенчатых насосов с двухсторонним всасыванием. 7. Устройство многоступенчатого секционного насоса «Комсомолец». 8. Как устроены многоступенчатые спиральные насосы М? 9. Насосы АТН, их устройство и действие. 10. Особенности устройства погружных артезианских насосов. 11. Рабочее колесо насоса, его значение, устройство. 12. Корпус насоса и его элементы. 13. Вал и подшипники насоса. 14. Устройство и обслуживание сальников насоса. 15. Уплотнение рабочих колес насоса, его устройство, роль и значение. 16. Осевое давление в центробежных насосах, его причины и следствия. 17. Как определить осевое давление? 18. Способы разгрузки осевого давления. 19. Как маркируются осевые насосы? 20. Назовите основные детали осевых насосов? 21. Какими способами регулируют подачу осевых насосов?

ГЛАВА 5

РАБОТА ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ

Все лопастные насосы обычно рассчитывают на определенную подачу, напор, частоту вращения. Но в процессе эксплуатации насосы могут работать и при других Q, H и n, отличных от расчетных. Так, с прикрытием задвижки, установленной на напорном патрубке насоса (рис. 15), будут изменяться его подача, напор и мощность. Подобное изменение будет наблюдаться также при наполнении напорного резервуара, присоединенного к трубопроводу (рис. 15), и в других случаях.

Для правильной эксплуатации насоса необходимо знать взаимосвязь между подачей, напором, потребляемой мощностью и другими параметрами этого насоса при различных условиях его работы. Для этой цели существуют характеристики насосов — графики, выражающие зависимость напора, мощности и к. п. д. насоса от его подачи при постоянной частоте вращения рабочего колеса и постоянном его диаметре (рис. 39).

Эти характеристики, называемые **рабочими,** строятся по результатам испытаний насосов в заводских лабораториях и служат основными техническими документами, определяющими технико-экономические показатели насосов.

По рабочим характеристикам находят технико-экономические показатели, серийно выпускаемых, центробежных горизонтальных насосов, а для осевых и крупных вертикальных центробежных насосов пользуются **универсальными характеристиками** (рис. 40).

Рассмотрим особенности применения рабочих характеристик насосов. Из приведенной на рисунке 39 примерной характеристики центробежного насоса

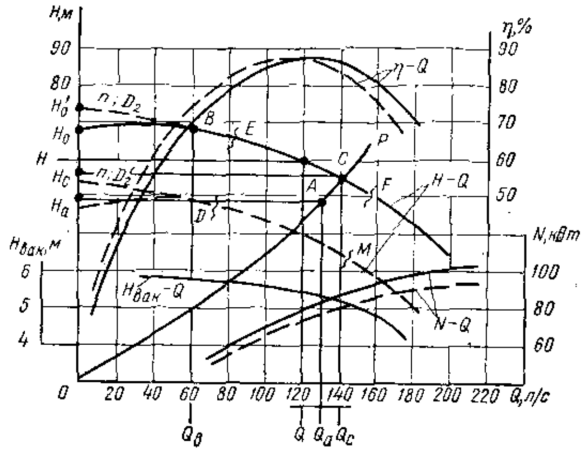


Рис. 39. Рабочая характеристика центробежного насоса.

(сплошная линия) видно, что для определенной и постоянной частоты вращения насоса n оптимальный его режим соответствует подаче Q и напору H при максимальном к. п. д. При закрытой задвижке на напорном патрубке подача насоса $Q=0$, напор равен H_0 (иногда он достигает максимального значения H_0'), а потребляемая мощность N_0 составляет примерно 30% нормальной мощности N. После открытия задвижки, то есть с началом подачи воды, напор в некоторых насосах несколько повышается и достигает максимума, а затем начинает уменьшаться. Левый восходящий участок (H_0B) кривой $H—Q$ характеризуется неустойчивой работой насоса, так как здесь

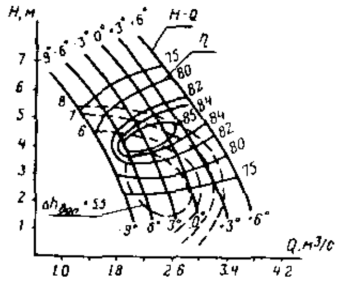


Рис. 40. Универсальная характеристика осевого насоса.

одному и тому же напору соответствуют разные подачи. Работа насосов с подобной характеристикой допустима только при подачах, превышающих $Q_в$.

Работа насосов с непрерывно снижающейся кривой $H—Q$ (см. участок H'_0B) протекает устойчиво во всех ее точках.

Кроме кривых $H—Q$; $N—Q$ и $\eta—Q$, на графике (рис. 39) имеется также кривая $H_{вак}—Q$, показывающая допустимые значения вакуумметрической высоты всасывания насоса при соответствующих подачах.

Для расширения области применения центробежных насосов, которые работают с электродвигателями переменного тока, не допускающими изменения частоты вращения (асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором и синхронные), обрезают рабочее колесо по наружному диаметру. При уменьшении наружного диаметра рабочего колеса на 10—15% к. п. д. насоса практически не изменяется, а подача и потребляемая мощность уменьшаются. В результате этого кривая $\eta—Q$ на графике сместится влево, а кривые $H—Q$ и $N—Q$ понизятся, образуя области $H—Q$ возможной работы рассматриваемого насоса.

Насосы рекомендуется эксплуатировать только в области высоких к. п. д. Следовательно, должна использоваться не вся область $H—Q$, а только ее часть, соответствующая допустимым к. п. д. На практике допустимо снижение его на 7—10% против максимального для данного насоса. Криволинейный четырехугольник $MDEF$ ограничивает рекомендуемую область использования данного насоса. Подобные характеристики приводятся в каталогах для предельной обрезки рабочих колес на 10—20% нормального диаметра. Дальнейшая обрезка не рекомендуется, так как при этом к. п. д. насоса начинает резко снижаться.

При обрезке рабочего колеса центробежного насоса подача и напор изменяются в соответствии с приведенными ниже уравнениями.

$$\frac{Q}{Q_1}=\frac{D_2}{D_2'}; \qquad (63)$$

$$\frac{H}{H_1}=\left(\frac{D_2}{D_2'}\right)^2, \qquad (64)$$

где Q и H — подача и напор насоса при стандартном наружном диаметре рабочего колеса D_2;

Q_1 и H_1 — подача и напор насоса при обрезанном колесе диаметром D_2^1.

В результате совместного решения указанных двух уравнений находим, что

$$H=kQ^2. \qquad (65)$$

Пользуясь указанными уравнениями, можно, например, найти, до какого диаметра нужно обрезать рабочее колесо насоса, чтобы обеспечить необходимую подачу Q_a и напор H_a. Для этого из уравнения (65) после подстановки заданных Q_a и H_a находят коэффициент k. Далее, задаваясь двумя или тремя подачами по шкале Q графика (рис. 39) по уравнению (65), можно определить соответствующие напоры. При вычислении напоров k, найденное в уравнении (65), сохраняется постоянным. По значениям Q и H строят кривую P—O, которая обязательно пройдет через заданную точку A с координатами Q_a и H_a и пересечет H—Q в точке C. После этого, например, по уравнению (63) искомый диаметр рабочего колеса D_2':

$$D_2'=\frac{Q_a D_2}{Q_c}.$$

В насосах, имеющих направляющие аппараты или уплотнения на выходе из колеса, срезают только лопатки. В насосах спирального типа (без направляющих аппаратов) обтачивают как лопатки, так и диски колеса.

Предел обточки рабочих колес зависит от коэффициента быстроходности:

$$n_s=3{,}65\frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \qquad (66)$$

где Q — подача насоса, м³/с;
H — напор насоса, м;
n — частота вращения, об/мин.

Ниже приведены рекомендуемые пределы обточки:

для колес с n_s от 60 до 120 . . . . . 20—15%;
„ „ „ n_s „ 120 „ 200 . . . . . 15—11%;
„ „ „ n_s „ 200 „ 300 . . . . . 11— 7%;

§ 2. ПЕРЕРАСЧЕТ РАБОЧЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСА НА ДРУГУЮ ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ

Другой прием расширения области применения центробежных насосов — изменение их частоты вращения *.

Зависимость подачи, напора и мощности центробежного насоса от частоты его вращения характеризуется следующими уравнениями пропорциональности **.

$$\frac{Q}{Q_1}=\frac{n}{n^1}; \qquad (67)$$

$$\frac{H}{H^1}=\left(\frac{n}{n_1}\right)^2; \qquad (68)$$

$$\frac{N}{N_1}=\left(\frac{n}{n_1}\right)^3, \qquad (69)$$

где Q, H и N — подача, напор и мощность при нормальной частоте вращения насоса n по характеристике из каталога;
Q_1, H_1 и N_1 — те же величины, но при другой частоте вращения насоса n_1.

Решая совместно первые два уравнения, получим новое:

$$H=k_1Q^2, \qquad (70)$$

где k_1 — коэффициент, характеризующий кривую пропорциональности, называемую уравнением кривой пропорциональности.

Для одной кривой пропорциональности этот коэффициент постоянен.

Имея характеристику насоса для частоты вращения n и пользуясь уравнениями (67) и (68), можно построить новую характеристику насоса для другой частоты вращения n_1.

Для этого надо задаться на известной кривой H—Q какой-либо точкой 1 с параметрами Q и H при частоте вращения n (рис. 41) и, подставив их в уравнения (67) и (68), найти Q_1 и H_1 для точки $1'$ с заданной частотой вращения n_1. Также находят параметры точек $2'$, $3'$ и т. д. Соединив эти точки, получим кривую напоров

* Этот прием используют и для осевых насосов.

** Уравнения пропорциональности — это частный случай законов подобия для насосов, так как в данных условиях при постоянных размерах рабочего колеса меняется только частота его вращения.

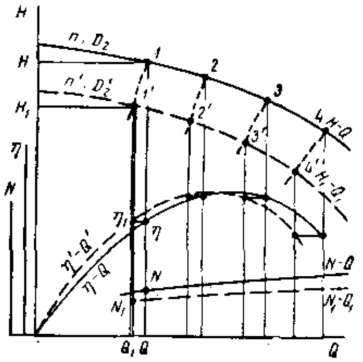


Рис. 41. Графические построения при пересчете рабочих характеристик насоса с одной частоты вращения на другую.

H_1—Q_1, новую характеристику насоса для частоты вращения n_1.

При построении кривой к. п. д. (η_1—Q) пользуются тем, что к. п. д. насоса при изменении его частоты вращения в довольно широких диапазонах остается практически постоянным.

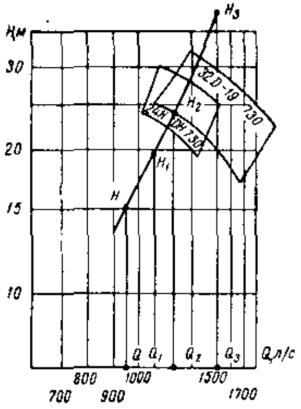


Рис. 42. Графические построения при отсутствии в каталоге насоса с необходимой подачей и напором.

Согласно ГОСТ 6134—58, уменьшение частоты вращения до 50% практически не вызывает изменения к. п. д. насоса. Поэтому к. п. д., соответствующий точкам 1, 2, 3, 4 и т. д. на кривой H—Q переносят без изменения соответственно точкам 1′, 2′, 3′, 4′ и т. д.

Кривую мощности N—Q пересчитывают по уравнению пропорциональности (69).

При подборе насосов по заданным Q и H иногда сталкиваются с отсутствием их в каталогах. Тогда пользуются уравнением кривой пропорциональности (70). Вначале после подстановки в это уравнение заданных Q и H находят коэффициент k. Затем, задаваясь различными подачами (рис. 42), и по тому же уравнению определяют соответствующие им напоры. Величина k_1 в уравнении (70) при подсчетах принимается одинаковой и равной найденному значению. Вычисленные H для соответствующих Q откладывают на графике (рис. 42) с несколькими кривыми напоров H—Q разных насосов и полученные точки соединяют плавной кривой. Построенная таким образом кривая пропорциональности обязательно пройдет через начало координат, через точку с заданными Q и H и пересечет несколько кривых H—Q для разных насосов. Затем, пользуясь, например, уравнением пропорциональности (67), можно вычислять, с какой частотой вращения тот или иной насос лучше всего может обеспечить заданную подачу Q и напор H.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО РЕЖИМА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Насосная установка, как указывалось ранее, включает насосный агрегат и систему трубопроводов, которые в процессе работы находятся в определенной технологической связи. Действительно, для перемещения жидкости по системе трубопроводов насосной установки (рис. 15) необходим избыточный напор

$$H = H_г + \Sigma h_w, \qquad (71)$$

и этот напор создается насосом за счет работы двигателя. Другими словами, напор насоса должен быть равен сумме геометрической высоты водоподъема и гидравлических сопротивлений системы трубопроводов.

Потери напора на гидравлические сопротивления в трубопроводах зависят от квадрата скорости v течения в них и согласно выводам гидравлики могут определяться еще и уравнением:

$$h_w = \left(\Sigma\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)\frac{v^2}{2g}, \qquad (72)$$

где λ — коэффициент шероховатости стенок трубопровода, а остальные члены те же, что и в уравнении (59) (см. § 6, глава 3).

Учитывая, что $v=\frac{Q}{F}$ (F — площадь живого сечения трубопровода), будем иметь:

$$h_w=\left(\Sigma\zeta+\lambda\frac{l}{d}\right)\frac{Q^2}{2gF^2}. \qquad (73)$$

Для заданного трубопровода l, d, F, $2g$, λ постоянны, поэтому формулу (73) можно записать так:

$$h_w=AQ^2, \qquad (74)$$

где $A=\left(\Sigma\zeta+\lambda\frac{l}{d}\right)\frac{1}{2gF^2}$ — постоянная для трубопровода величина, характеризующая его размеры и материал.

В таком случае напор насосной установки, необходимый для перемещения в нем жидкости с подачей Q, согласно уравнению (35) будет:

$$H=H_г+AQ^2. \qquad (75)$$

Это уравнение связывает между собой все величины, характеризующие систему трубопроводов насосной установки, и потому называется гидравлической характеристикой этой системы.

Пользуясь указанным выражением, можно построить эту характеристику в графическом виде, если задаваться различными подачами Q (рис. 43). На рисунке ясно видно, какие нужны напоры для той или иной подачи по заданной системе трубопровода.

При построении на одном чертеже характеристики насоса и характеристики трубопровода (совмещение графиков) получим график (рис. 44), характеризующий работу насосной установки.

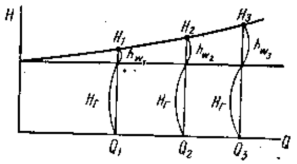


Рис. 43. Характеристика системы трубопроводов насосной установки.

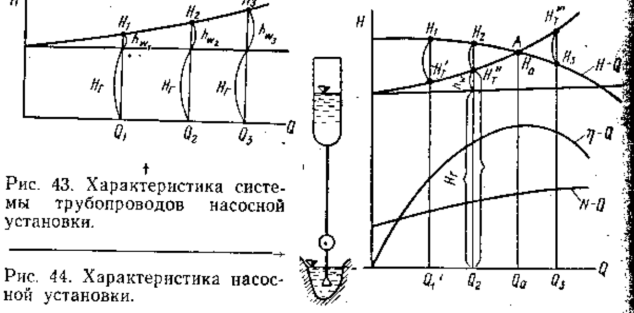


Рис. 44. Характеристика насосной установки.

Характеристика насоса дает представление об условиях и возможностях создания напора для того или иного расхода при определенной частоте вращения.

Характеристика трубопровода показывает, какие требуются напоры для обеспечения транзита тех же подач по трубопроводам насосной установки. С увеличением подачи до Q_a имевшееся вначале значительное превышение возможных напоров над потребными постепенно уменьшается. При подаче Q_a возможный напор насоса оказывается равным напору, необходимому для транспортирования жидкости в системе трубопроводов насосной установки. И, наконец, при дальнейшем увеличении подачи происходит рост нехватки напора у насоса по сравнению с потребным напором установки.

Точка А пересечения кривой H—Q насоса и кривой потребных напоров системы трубопроводов насосной установки называется рабочей точкой насосной установки. Она показывает единственно возможную подачу данного насоса в заданную систему трубопроводов установки без регулирования его работы. Этим условием определяется и подбор насосов по каталогу, так как обычно стремятся подобрать насос так, чтобы его напор при оптимальном к. п. д. был равен расчетному напору насосной установки.

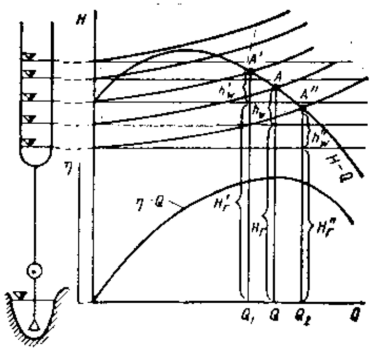


Рис. 45. Влияние положения уровня воды в резервуаре на работу насоса.

В реальных условиях работы насосных установок, особенно при водозаборе из открытых водоисточников (рек, озер, водохранилищ) с переменными уровнями воды в них, положение рабочей точки на кривой $H—Q$ непостоянно. Так, при наполнении напорного резервуара установки рабочая точка А перемещается по кривой $H—Q$ влево (см. точку А′ на рис. 45), так как при этом увеличивается геометрическая высота водоподъема $H_г$, а кривая гидравлических сопротивлений в трубопроводах остается без изменений. При опорожнении напорного резервуара кривая гидравлических сопротивлений трубопровода ввиду уменьшения геометрической высоты водоподъема $H_г$ опустится вниз и рабочая точка из положения А переместится вправо (см. точку А″ на рис. 45). Это обстоятельство следует обязательно учитывать при проектировании насосной установки, так как с увеличением подачи мощность насоса возрастает, а всасывающая способность его уменьшается.

§ 4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Любой насосной установке с определенным насосом и системой трубопроводов, если судить по ее характеристике, соответствует только одна подача. Между тем по ряду причин требуемая подача может меняться. Так, при высоких и непродолжительных паводках подача и мощность насосной установки резко возрастают. В остальное время года нормальная подача и расходуемая мощность значительно меньше, чем при паводке. В таком случае асинхронный электродвигатель, подобранный по максимальной мощности в паводок, в нормальных условиях оказывается недогруженным. Для того чтобы не снижать коэффициента мощности ($\cos\varphi$) электродвигателя в это время, следует подбирать двигатель по нормальной мощности, а для предупреждения перегрузки в период паводка уменьшать подачу насоса путем регулирования.

Для того чтобы изменить подачу установки, необходимо изменить либо характеристику насоса, либо характеристику системы трубопроводов. Это изменение характеристик (без нарушения конструкции насоса и трубопроводов) называется р е г у л и р о в а н и е м.

Регулирование центробежных насосов осуществляется либо при помощи задвижки, либо изменением частоты вращения.

Регулирование подачи насосной установки задвижкой (дросселирование). Этот прием изменяет характеристику трубопровода насосной установки. Действительно, прикрытие задвижки на трубопроводе равносильно вводу добавочного гидравлического сопротивления, поэтому согласно уравнению (70) характеристика трубопровода должна стать (как показано на рис. 46) более крутой. Здесь рабочая точка А определяет подачу насосной установки $Q_а$ при полностью открытой задвижке. Прикрывая немного задвижку, получим другое положение рабочей точки (на рисунке точка Б) и соответствующую ей меньшую подачу $Q_б$. Дальнейшее перекрытие задвижки сопровождается соответственным снижением подачи вплоть до ее полного прекращения. Работа насоса при закрытой задвижке не влияет на его гидравлические качества. Однако в этом случае вследствие перегрева жидкости и корпуса насоса могут произойти недопустимые термические деформации. Поэтому длительная работа насоса при закрытой задвижке нежелательна (да и бесцельна вследствие неэкономичности).

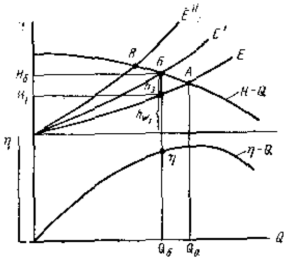


Рис. 46. Изменение режима работы насоса при регулировании подачи задвижкой.

При подаче $Q_б$ напор насоса $H_б$ складывается из напора, необходимого для перемещения воды по системе трубопроводов установки при открытой задвижке H_1, и потерь напора в задвижке $h_з$, то есть

$$H_б = H_1 + h_з. \qquad (76)$$

При уменьшении подачи (например, до $Q_в$) потери на дросселирование увеличиваются. Таким образом, регулирование подачи задвижкой вызывает дополнительные потери энергии, которые ухудшают эксплуата-

ционный к. п. д. установки ($\eta_{э.уст}$), определяют его так:

$$\eta_{э.уст.} = \frac{N_у}{N}, \qquad (77)$$

где $N_у = \frac{\gamma Q_б H_1}{102}$ — необходимая мощность для перемещения жидкости в трубопроводе насосной установки с открытой задвижкой;

$N = \frac{\gamma Q_б H_б}{102\eta}$ — затраченная мощность на валу насоса при дросселировании.

Отсюда эксплуатационный к. п. д. установки будет равен:

$$\eta_{э.уст.} = \frac{H_1}{H_б}. \qquad (78)$$

Приведенные выше уравнения показывают неэффективность этого способа регулирования, поэтому на мелиоративных (особенно на автоматизированных) насосных станциях его не применяют. Но на небольших водопроводных насосных станциях с ручным управлением регулирование задвижкой благодаря исключительной простоте, дешевизне осуществления и надежности в работе еще используется при уменьшении подачи не более чем на 10—15% от заданной.

Регулирование подачи изменением частоты вращения насоса. Изменение частоты вращения насоса, как было описано в § 2 настоящей главы, приводит к изменению его характеристики. Этот прием не вызывает дополнительных потерь напора, так как к. п. д. насоса практически сохраняется постоянным в широком диапазоне регулирования*. Для осуществления этого способа регулирования нужны двигатели с переменной частотой вращения. К ним относятся электромоторы постоянного тока, паровые двигатели и двигатели внутреннего сгорания. Наиболее распространенные асинхронные двигатели являются практически нерегулируемыми, так как необходимые для этого устройства либо слишком дороги, либо в настоящее время дефицитны.

* Подачу осевых насосов можно изменять также путем разворота лопаток рабочего колеса на разные углы.

§ 5. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА НАСОСОВ НА ОДИН ТРУБОПРОВОД

Подача воды несколькими насосами в общий напорный трубопровод называется параллельной работой насосов. Этот способ применяется в том случае, когда один насос не обеспечивает заданной подачи и потому приходится применять два или три насоса, суммарная подача которых равна требуемой, либо когда обычные способы регулирования насосов не обеспечивают нужного изменения подачи станции.

Для параллельной работы чаще всего применяют насосы с одинаковыми характеристиками, но при этом не исключается возможность использования насосов с разными характеристиками. Ниже приведена общая методика определения режима параллельной работы насосов.

На рисунке 47 представлены рабочая характеристика двух одинаковых центробежных насосов и схема их присоединения к одному общему напорному трубопроводу. Из схемы видно, что независимо от одиночной или параллельной работы насосов по их всасывающим или присоединительным трубопроводам проходит подача только одного насоса. Магистральный напорный трубопровод в одном случае пропускает подачу одного насоса, а в другом двух.

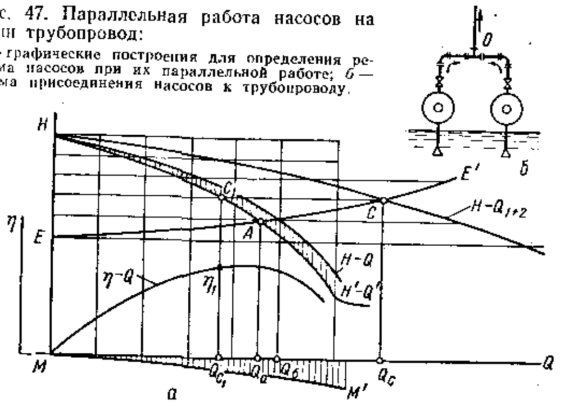


Рис. 47. Параллельная работа насосов на один трубопровод:
а — графические построения для определения режима насосов при их параллельной работе; *б* — схема присоединения насосов к трубопроводу.

Учитывая это, потери напора определяют отдельно для магистрального и отдельно для всасывающего и присоединительного трубопроводов. Зная потери напора в магистральном трубопроводе $h_{w_м}$, по уравнению $H=H_г+h_{w_м}$ строят графическую характеристику этого трубопровода (кривую Е—Е′). Затем строят кривую потерь напора для всасывающего и присоединительного трубопроводов (М—М′). Далее приводят характеристику насоса к узловой точке, исключая (вычитая) потери напора во всасывающем и присоединительном трубопроводах (определяемых кривой М—М′) из соответственных напоров насоса по кривой $H—Q$. Пересечение кривой характеристики магистрального трубопровода Е—Е′ с кривой характеристики насоса $H′—Q′$, приведенной к узловой точке, дает рабочую точку А и определяет подачу одного насоса в рассматриваемую систему трубопроводов $Q_а$.

При незначительных гидравлических сопротивлениях во всасывающем и присоединительных трубопроводах (по сравнению с магистральными) этими потерями можно пренебречь, и тогда подача одного насоса будет приблизительно равна $Q_б$.

После указанных подготовительных построений переходят к определению режима параллельной работы насоса. Для этого, пользуясь правилом для параллельной работы (по которому подачи насосов складываются при одинаковых напорах), строят суммарную кривую $H—Q_{(1+2)}$.

Пересечение этой кривой с кривой характеристики трубопровода Е—Е′ даст новую рабочую точку С, которая и определит суммарную подачу $Q_с$ двух насосов при параллельной работе.

Проведя линию CC_1 параллельно оси абсцисс, получим ее пересечение с приведенной кривой напоров насоса $H′—Q^1$ в точке C_1, которая определит подачу каждого насоса $Q_{с_1}$ в момент параллельной работы, его к. п. д. (η_1) и расходуемую при этом мощность (N_1).

Суммарная подача двух насосов ($Q_с$) при параллельной работе (см. рис. 47) меньше суммы подач этих же насосов $Q_а$ при одиночной работе в той же сети трубопроводов (то есть $Q_с<2Q_а$). Разность $2Q_а—Q_с$ — дефицит подачи, зависит от крутизны кривой $H—Q$. Чем положе кривые, тем больше дефицит подачи и тем менее выгодна параллельная работа насосов.

§ 6. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Последовательная работа центробежных насосов применяется в тех случаях, когда при постоянной подаче необходимо получить такой напор, который не может быть создан одним насосом.

На рисунке 48 даны характеристики двух центробежных насосов $Q—H_1$ и $Q—H_2$, включенных последовательно в систему напорного трубопровода с геометрической высотой водоподъема $H_г$.

Суммарная характеристика этих насосов $Q—H_{(1+2)}$ может быть получена, если использовать известное правило для последовательной работы, по которому напоры насосов складываются при одинаковых подачах.

Кривая Е—E_1 представляет собой характеристику системы трубопроводов, построенную по уравнению $H=H+\Sigma h_ш$ с учетом потерь напора в присоединительном и всасывающем трубопроводах.

Пересечение кривой $Q—H_{(1+2)}$ с кривой Е—E_1 дает рабочую точку А, которая и определяет подачу $Q_а$ такой установки, к. п. д. каждого насоса η_1 и η_2 и расходуемые мощности N_1 и N_2.

При отсутствии потерь напора в присоединительном трубопроводе кривая потерь проходила бы ниже и по-

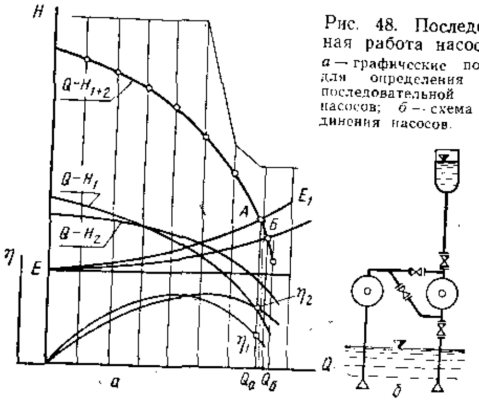


Рис. 48. Последовательная работа насосов:
а — графические построения для определения режима последовательной работы насосов; *б* — схема присоединения насосов.

дача установки была бы больше ($Q_б > Q_а$), то есть последовательное соединение двух насосов менее выгодно, чем применение одного насоса с требуемым напором.

§ 7. ОСОБЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НАСОСОВ

При пользовании универсальными характеристиками необходимые расчеты несколько упрощаются. На рисунке 40 предел области применения насоса обведен жирной линией и нанесена более густая сетка рабочих кривых $H—Q$ с заранее рассчитанными условиями их получения. Так, например, на каждой кривой $H—Q$ универсальной характеристики осевых насосов показаны углы установки лопаток рабочего колеса, при которых обеспечивается работа насоса с параметрами этой кривой. На универсальных характеристиках вертикальных центробежных насосов показаны диаметры их рабочих колес, при которых насос может работать с параметрами, определяющими ту или иную кривую $H—Q$.

Что же касается определения режима работы насосных установок с несколькими параллельно работающими вертикальными центробежными или осевыми насосами, то все необходимые расчеты ведут так, как было описано ранее.

Другая отличительная особенность универсальных характеристик насосов — отсутствие данных о вакуумметрической высоте всасывания. Здесь вместо кривых $H_{вак}—Q$ приводятся кривые $\Delta h_{доп}—Q$, где $\Delta h_{доп}$ — допустимый кавитационный запас, поэтому допустимую вакуумметрическую высоту всасывания при определении посадки насоса следует определять расчетом (глава 3, § 5).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Рабочие характеристики центробежных насосов и их особенности. 2. Организация и проведение испытаний центробежных насосов. Построение рабочих характеристик насосов. 3. С какой целью и как обрезают рабочие колеса центробежных насосов? 4. На схематическом чертеже дается характеристика центробежного насоса с известным диаметром рабочего колеса. Необходимо найти диаметр обрезанного колеса для точки с координатами Q_1 и H_1, лежащей ниже кривой $Q—H$. 5. На схематическом чертеже дается характеристика центробежного насоса с известной частотой вращения n. Перестроить эту характеристику на другую частоту вращения. 6. Что представляет собой и для чего строится графическая характеристика насосной установки? 7. Рассказать о способах регулирования насосов. 8. Даны в схематическом виде характеристики двух одинаковых центробежных насосов и две кривые потерь напора: во всасывающем и присоединительном трубопроводах и в магистральном трубопроводе. Показать на схеме подачу, напор, мощность и к. п. д. этих насосов при одиночной и параллельной работе. 9. Объяснить сущность последовательной работы насосов и показать на схеме метод определения режима их работы. 10. Как установить расположение рабочего колеса насоса относительно минимального уровня воды в источнике?

ГЛАВА 6

НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ И ИХ СООРУЖЕНИЯ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Насосная станция — комплекс насосных установок, гидротехнических сооружений и энергетических устройств, работающих в технологической взаимосвязи и обеспечивающие бесперебойную подачу воды в разводящую сеть систем водоснабжения или орошения, или ее откачку из осушительных или канализационных систем или проще комплекс гидротехнических сооружений и оборудования для подъема воды насосами* (ГОСТ 19185—73). В комплекс независимо от территориального расположения входят все технологически связанные между собой сооружения и оборудование для водозабора, перемещения, подъема и транспортирования воды из источника к потребителю (рис. 8).

Подать воду к потребителю с помощью одной насосной станции не всегда возможно. Поэтому применяют ступенчатый подъем воды несколькими станциями. Первая насосная станция такой водоподъемной лестницы называется **головной насосной станцией** или **станцией первого подъема.** Остальные станции в зависимости от выполняемой работы называют **станциями перекачки** или **подкачки.**

Насосные станции классифицируют также по:

цели и назначению — оросительные, осушительные, водоснабженческие, канализационные и т. п.;

виду водоисточника — станции с водозабором из поверхностных источников (рек, водохранилищ и т. п.), из шахтных и трубчатых колодцев;

виду гидромеханического и энергетического оборудования — электрифицированные насосные станции с центробежными или осевыми насосами или станции с двигателями внутреннего сгорания;

устройству — стационарные и передвижные;

расположению относительно водоисточника — русловые, береговые и врезанные в берег (деривационные) станции.

* Более четкое формулирование здесь затруднено обилием технологических и других факторов, влияющих на состав, типы и конструкции сооружений, входящих в комплекс станции. Но в связи с этим в литературе имеются и различные толкования этого понятия и отсутствие общепризнанной, установившейся классификации насосных станций.

§ 2. СТАЦИОНАРНЫЕ НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ С ВОДОЗАБОРОМ ИЗ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ

Эти насосные станции находят широкое применение в оросительных мелиорациях и отличаются разнообразными конструктивными решениями (рис. 49).

На рисунке 49, *а* представлен наиболее общий случай насосной станции, состоящей из последовательно расположенных: водозаборного сооружения в виде шлюза-регулятора *1*, отводного несаморегулирующего кана-

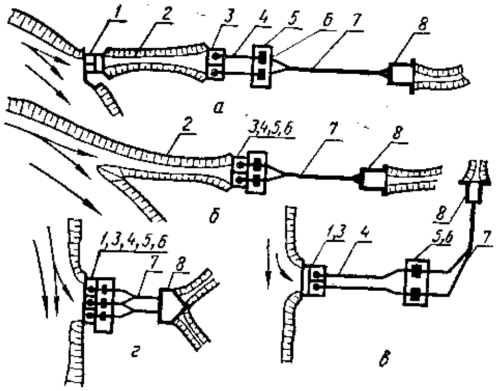


Рис. 49. Типичные схемы оросительных насосных станций:
а и *б* — схемы насосной станции на отводящем (деривационном) канале; *в* — схема береговой насосной станции с раздельно устроенным зданием; *г* — схема береговой насосной станции с совмещенными сооружениями.

ла для подвода воды к зданию станции *2*, водоприемного сооружения *3*, всасывающих трубопроводов *4*, насосных агрегатов *5*, здания станции *6*, напорных трубопроводов *7* и водовыпускного сооружения *8*.

На рисунке 49, *б* показана более упрощенная схема оросительной насосной станции. Здесь отбор воды из водоисточника выполняется путем ее отвода земляным каналом без какого-либо регулирующего сооружения в голове. Такой отводящий *канал называется* саморегулирующимся каналом. Здание станции совмещено с водоприемным сооружением.

Обе станции (рис. 49, *а* и 49, *б*) отличаются расположением здания станции на отводящем канале вдали *от водоисточника с целью сокращения дорогостоящего* напорного трубопровода путем сосредоточения перепада уровней. Такие станции называют **деривационными насосными станциями.**

Береговую насосную станцию (рис. 49, *в*) устраивают *на берегу водоисточника при полном конструктивном* совмещении здания станции с водоприемным и водозаборным сооружениями, исключая самотечный канал.

Такая станция по форме напоминает береговой мостовой устой. Здесь для улучшения устойчивости здания станции иногда ограничиваются совмещением только водозаборного и водоприемного сооружений, а здание станции устраивают отдельно на некотором расстоянии от водоисточника (рис. 49, *г*).

§ 3. ОБЗОР ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

В соответствии с ГОСТ в состав стационарной головной насосной станции могут входить: водозаборное, *деривационное и водоприемное сооружения, здание* насосной станции с насосными установками и водовыпускное сооружение. Рассмотрим их в отдельности.

Водозаборные сооружения служат для гарантированного забора практически чистой воды из источников *водоснабжения при любом положении в них уровней* и независимо от погодных условий. Они являются одним из важнейших элементов любой гидротехнической схемы машинного водоподъема

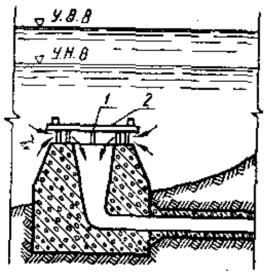


Рис. 50. Водозаборный оголовок крупных насосных станций: *1* — стойки; *2* — плита.

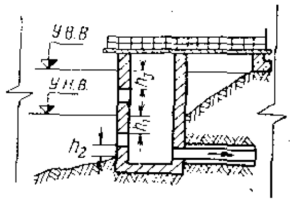


Рис. 51. Незатопляемое береговое водозаборное сооружение типа берегового *мостового устоя.*

По конструкции водозаборные *сооружения объединены* в следующие группы:

русловые, частично или полностью затопленные водозаборные сооружения в виде металлических или железобетонных входных оголовков самотечных трубопроводов (рис. 50);

русловые или островные незатопляемые водозаборные сооружения типа промежуточного мостового устоя;

береговые незатопляемые водозаборные сооружения типа берегового мостового устоя (рис. 51 и 52), или так называемые *бесплотинные и* плотинные, в виде шлюза-регулятора водозаборы.

В мелиоративной практике чаще применяют водозаборные *сооружения типа* оголовок, береговые незатопляемые сооружения типа шлюз-регулятор и особенно бесплотинные водозаборы с *открытым земляным* каналом в земляном русле.

Деривационные сооружения, или как их часто называют водоподводящие сооружения, *обеспечивают* отвод и перемещение воды от

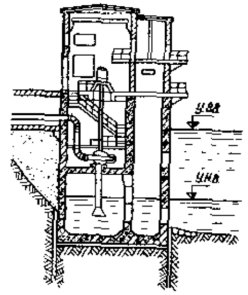


Рис. 52. Здание насосной станции, *совмещенное с береговым* водозаборным и водоприемным сооружением.

места ее забора в источнике к зданию насосной станции. В качестве таких сооружений используют закрытые самотечные (или сифонные) водоводы или открытые каналы.

Закрытые самотечные водоводы устраивают из сборных железобетонных колец, асбестоцементных или чугунных труб не менее чем в две нити. Их применяют на водопроводных насосных станциях. Открытые каналы находят широкое применение в оросительных насосных станциях при наличии подходящих грунтов и рельефа местности и при колебании уровней воды в источнике не более 3—4 м. Отводящие каналы обычно строят без головных шлюзов-регуляторов и называют саморегулирующимися деривационными каналами.

Водоприемные сооружения предназначены для приема воды, подведенной из источника, и создания нормальных условий для ее входа во всасывающие трубы насосов. По конструкции их подразделяют на водоприемники колодезного типа, типа шлюз-регулятор, выполняемых раздельно или совместно со зданием станции, и простейшие бескамерные водоприемники ковшового типа.

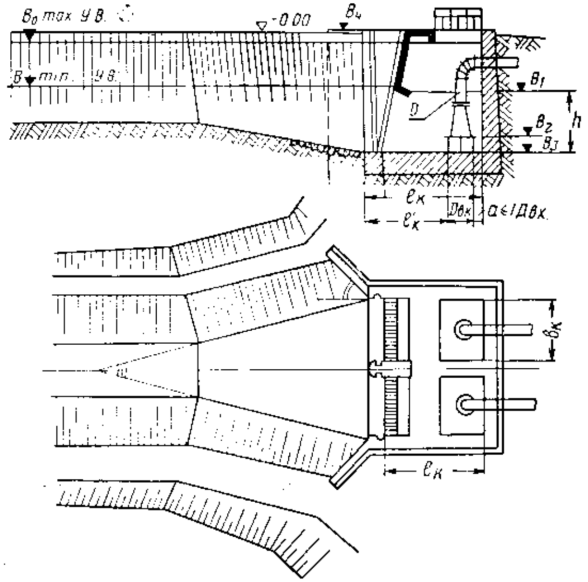


Рис. 53. Водоприемное сооружение типа шлюз-регулятор.

Водоприемники колодезного типа часто используют на станциях питьевого и хозяйственного водоснабжения. В мелиорации их применяют редко.

Раздельные водоприемные сооружения типа шлюз-регулятор устраивают с несколькими безнапорными камерами всасывания (рис. 53). Воду к насосам подводят с помощью всасывающих труб длиной не более 30 м. Применяют их на оросительных насосных станциях при подаче насосами не более 2 м³/с каждый и колебанием уровней водоисточника не более 2—3 м.

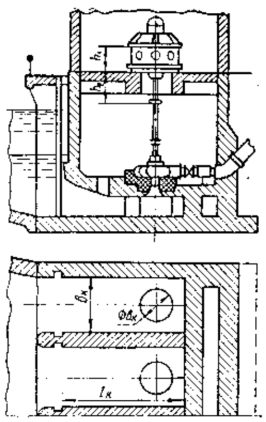


Рис. 54. Совмещенное здание станции блочного типа с камерным водоподводом.

При большей подаче насосов на станции и высоких колебаниях уровней водоисточника устраивают совмещенные со зданием станции водоприемники типа шлюз-регулятор с камерным или коленчатым подводом воды к насосам. Камерный подвод осуществляют в совмещенных зданиях с насосами подачей до 5 м³/с (рис. 54), а коленчатый подвод устраивают в зданиях станций блочного типа с подачей от 3 м³/с и более (рис. 55).

Ковшовые водоприемники (рис. 56) применяют в незаглубленных и раздельных типах зданий станций с 2—3 насосами, подачей до 300 л/с каждый.

Здания насосных станций должны обеспечивать бесперебойную работу, удобство эксплуатации и сохранность оборудования и соответствовать современным требованиям.

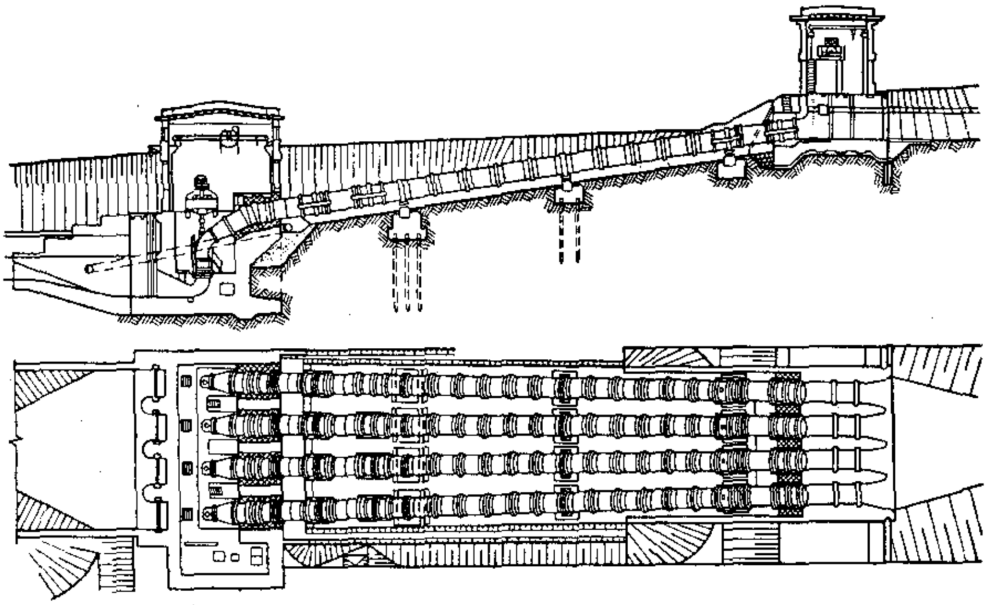


Рис. 55. Совмещенное здание станции блочного типа с коленчатым водоподводом.

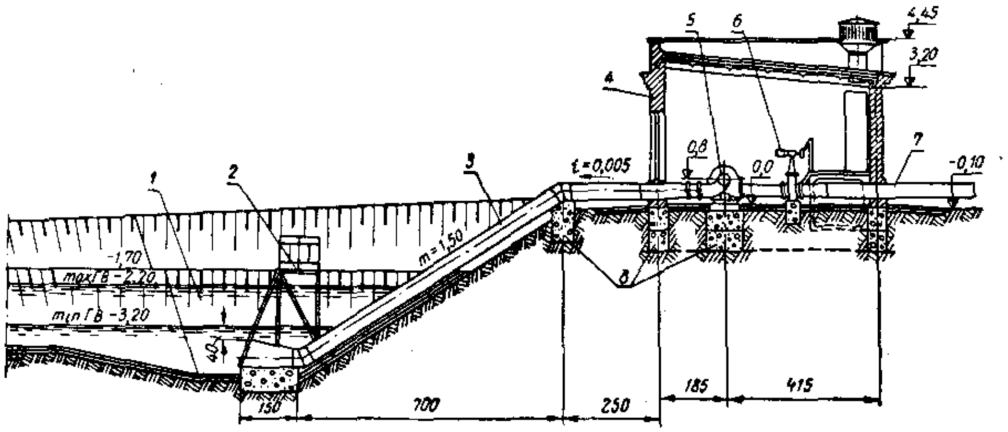


Рис. 56. Незаглубленное и раздельное здание станции на ленточном фундаменте:
1 — ковш; *2* — служебный мостик; *3* — всасывающий трубопровод; *4* — здание станции; *5* — насос; *6* — задвижка; *7* — напорный трубопровод; *8* — сборные фундаменты.

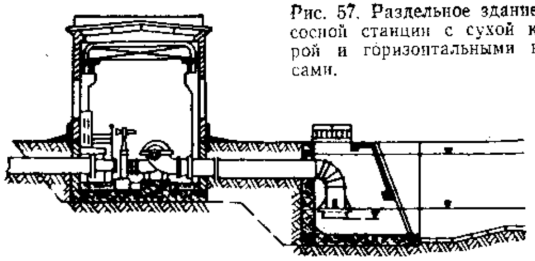


Рис. 57. Раздельное здание насосной станции с сухой камерой и горизонтальными насосами.

По конструкции их подразделяют:

по расположению пола машинного зала (или насосного помещения) станции относительно поверхности земли — на надземные и заглубленные;

по расположению здания относительно других сооружений станционного узла — на раздельные и совмещенные;

по конфигурации в плане — на прямоугольные, круглые и комбинированные.

Раздельные здания насосных станций могут быть с заглубленным и незаглубленным (надземным) машинным залом станции. Раздельные здания с незаглубленным машинным залом (рис. 56) применяют при колебаниях уровней водоисточника не более 2—3 м и с подачей не более 300—500 л/с, а с заглубленным машинным залом (рис. 57) при колебаниях уровней водоисточника более 3—4 м и при работе центробежных горизонтальных насосов с ограниченной высотой всасывания (рис. 59). Однако при необходимости (например, получения лучшей устойчивости сооружения) могут строить такие здания с использованием крупных осевых или центробежных насосов, вертикального исполнения (рис. 58).

Заглубленные и совмещенные с водоприемниками здания насосных станций с насосами вертикального исполнения (рис. 54, 55) или горизонтальными центробежными, установленными под постоянный залив (рис. 59), находят широкое применение в мелиоративной практике.

Величина заглубления здания определяется необходимостью постоянного затопления насосов даже при минимальных уровнях источника. Поэтому отпадает не-

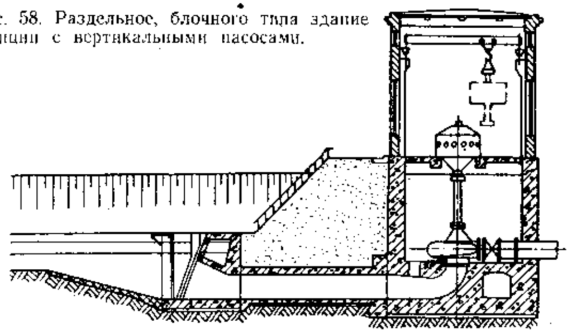


Рис. 58. Раздельное, блочного типа здание станции с вертикальными насосами.

обходимость в установке вакуум-насосов, упрощается процесс пуска основных агрегатов и снижаются затраты на их автоматизацию.

На рисунках 54, 57 и 59 показан камерный тип зданий насосных станций. Их особенность — наличие несущей плиты в основании и подвод воды к насосам, устроенным в виде призматической формы камер всасывания, расположенных непосредственно под полом насосной станции. Все помещения и конструктивные элементы таких зданий характеризуются прямолинейностью форм, поэтому очень удобны для индустриальных методов строительства.

Для устранения закручивания потока перед входом на рабочие колеса насосов во всасывающих камерах устанавливают раздельные стенки (рис. 54). Для проведения ремонтных работ в камерах всасывания устанавливают плоские затворы и откачивают воду из камер дренажными насосами. Для прохода в камеры устраивают люки, которые во время работы насосов закрывают герметически. Такие здания оборудуют вертикальными насосами с подачей до 5 м³/с.

При большей подачи насосов целесообразно применение блочных зданий, у которых воду к насосам подводят по всасывающим коленчатым

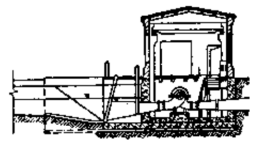


Рис. 59. Совмещенное камерного типа здание станции с горизонтальными насосами.

специальной формы трубам (рис. 55). Отличительная особенность таких зданий — наличие массивного бетонного блока в его основании, где расположены всасывающие трубы, ремонт которых проводят так же, как и для зданий камерного типа.

Подземную часть блочных зданий делают из монолитного бетона с наружной и внутренней гидроизоляцией. Надземную часть всех зданий насосной станции выполняют так же, как промышленного типа. Стены каркасные с заложением кирпичом. Покрытия бесчердачные из унифицированных железобетонных балок и плит. Кровля мягкая, рулонная из нескольких слоев толя или рубероида по утеплительному слою.

В надземной части располагают электродвигатели, электрические распределительные устройства, кабельную монтажную площадку и прочее, а в подземной части здания — основное гидромеханическое оборудование.

Водовыпускные сооружения устраивают в конце напорных водоводов насосных станций любого назначения. Они имеют разную конструкцию и выполняют разные функции. В водоснабжении водовыпускными сооружениями являются подземные резервуары, водонапорные башни и пневматические котлы. В орошении, осушении и водном транспорте водовыпускные сооружения обычно не являются регулирующими. Основные задачи таких сооружений: командование над объектами, например полями орошения; создание оптимальных условий для выпуска воды из трубопроводов в бассейн водовыпуска без ухудшения работы насосов и гашение в нем излишней энергии потока для дальнейшего выпуска воды из бассейна, в земляной канал; обеспечение осмотров и мелких ремонтов отдельных трубопроводов без остановки насосной станции в процессе ее эксплуатации.

Водовыпускные сооружения подразделяют на водовыпуски-делители (рис. 60, *в*) и прямоточные водовыпуски с водобойным колодцем или с водобойной стенкой (рис. 60, *б*).

Для предотвращения обратной утечки воды при остановке насосов водовыпускные сооружения могут устраиваться с быстропадающим затвором (рис. 55); с переливной стенкой типа «косой водослив»; с дросселем или клапаном типа «заклепка» (рис. 60, *в*) и с сифонным выпуском (рис. 60, *а*).

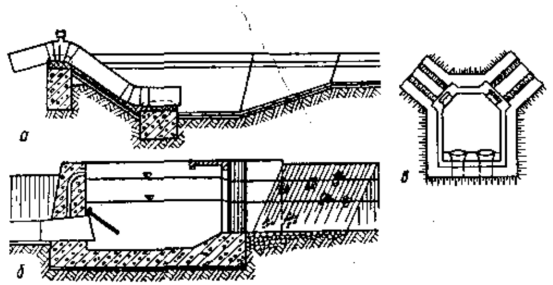


Рис. 60. Водовыпускные сооружения:
а — сифонный водовыпуск; *б* — прямоточный водовыпуск с захлопкой; *в* — водовыпуск-делитель.

Обратная утечка из водовыпускного сооружения с сифонным выпуском при остановке насосов предотвращается клапанами срыва вакуума. Они устанавливаются в верхнем колене сифона и в момент отключения энергии у насоса срывают в сифоне вакуум путем впуска воздуха и тем самым прекращают его действие. К недостаткам сифонных водовыпусков следует отнести трудности, связанные с их герметизацией. Очень часто вследствие попадания воздуха они работают не как сифоны, а как добавочные отрезки трубопроводов с рядом местных сопротивлений.

Таким образом, сифонные водовыпуски требуют более тщательных и систематических осмотров и технических уходов, чем прочие конструкции.

Водовыпуски-делители (рис. 60, *в*) применяются при выпуске воды в разные каналы.

Для отсоединения водовыпуска от отводящего канала во время производства срочных ремонтных работ выходное отверстие из бассейна водовыпуска оборудуют затворами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под термином «насосная станция»? 2. Перечислите виды насосных станций. 3. Что такое головная насосная станция и какие сооружения она может иметь? 4. Назовите типы головных насосных станций. 5. Каково назначение водозаборных сооружений? Перечислите их типы. 6. Какие существуют виды водоприемных устройств на насосных станциях? 7. Для чего предназначено здание насосной станции? Перечислите их типы. 8. Для чего устраивают водовыпускные сооружения?

ГЛАВА 7

ТРУБОПРОВОДЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ИХ ОБОРУДОВАНИЕ

Трубопроводы служат для транспортирования воды от источника к потребителю.

В оросительных насосных станциях воду чаще всего забирают из открытого источника (река, пресное озеро, водохранилище и др.) и подают в водовыпускное сооружение или закрытую оросительную сеть при дождевании, а в осушительных насосных станциях — из сборных резервуаров в реки или овраги.

В водопроводных насосных станциях вода может забираться насосами из открытого источника и подаваться на очистные сооружения. Пройдя соответствующую очистку, она попадает в резервуар чистой воды, а из него с помощью насосов станции второго подъема — в напорнорегулирующее сооружение (водонапорная башня или подземный напорный резервуар) или непосредственно потребителю.

При заборе воды из трубчатых и шахтных колодцев (использование подземных вод для целей водоснабжения) вода насосами подается непосредственно водопотребителю.

Трубопроводы насосных станций делятся на всасывающие и напорные. По всасывающему трубопроводу вода из источника забирается насосом, а по напорному подается насосом водопотребителю. В стационарных насосных станциях трубопроводы размещаются как в самом здании, так и за его пределами.

§ 1. ТРУБОПРОВОДЫ И АРМАТУРА ВНУТРИ ЗДАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Внутри здания насосной станции размещаются трубопроводы основных насосов, выполняющих главную задачу станции, и трубопроводы вспомогательных насосов, обеспечивающих нормальную работу основных

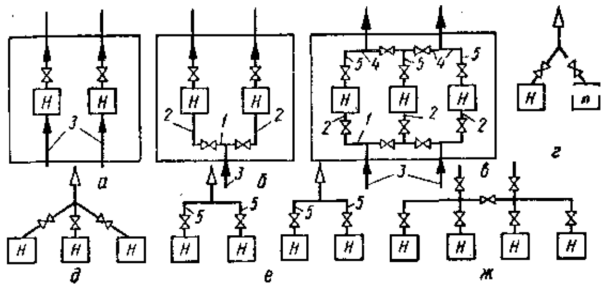


Рис. 61. Схемы всасывающих и напорных коммуникаций:
1 — всасывающий коллектор; *2* — всасывающий соединительный трубопровод; *3* — всасывающий трубопровод; *4* — напорный коллектор; *5* — напорный соединительный трубопровод.

насосов (вакуум-насосов, дренажных, осушительных, противопожарных, отопительных и других).

Вспомогательные насосы устанавливаются в зависимости от назначения насосной станции и условий ее работы.

Всасывающие трубопроводы внутри насосной станции могут иметь различные схемы переключений, обеспечивающие оптимальную и бесперебойную работу агрегатов, установленных в здании станции.

В насосных станциях возможны следующие схемы компоновки всасывающих трубопроводов, в которых число всасывающих труб равно общему числу установленных насосов; числу рабочих насосов; меньше числа установленных насосов. На крупных насосных станциях, как правило, каждый насос имеет свою всасывающую линию.

В мелиоративных насосных станциях всасывающие трубы имеют большой диаметр и малую длину, поэтому устраивать переключающие коллекторы, которые увеличивают размеры здания насосной станции, усложняют эксплуатацию и повышают строительную стоимость сооружений, не рекомендуется. Коллекторы устраивают, если число всасывающих труб равно или меньше числа установленных насосов (рис. 61, *б* и *в*). Как правило, коллекторы применяют на водопроводных насосных станциях.

На рисунке 61, *а* показана схема установки двух насосов со своими всасывающими трубопроводами *3* без задвижек. Задвижки ставят только, когда насос работает под заливом.

На рисунке 61, *б* приведена схема установки двух насосов с одним всасывающим трубопроводом *3* и коллектором *1*, обеспечивающим подвод воды к каждому насосу. На коллекторе расположены две задвижки, с помощью которых отключают насосы для ремонта, а также резервная. Неисправную задвижку заменяют при полной остановке насосной станции.

Такая схема применяется очень редко и только в оросительных насосных станциях, позволяющих временную остановку насосов.

На рисунке 61, *в* приведена схема устрановки трех насосов с двумя всасывающими трубопроводами *3*, из которых два работают постоянно, а третий резервный. На коллекторе *1* и всасывающих соединительных трубопроводах *2* установлены задвижки, позволяющие осуществлять работу агрегатов при выходе одного или двух насосов из строя, а также производить замену задвижек.

Всасывающие трубопроводы, коллекторы и соединительные трубопроводы в основном изготовляют из стальных труб.

Диаметры трубопроводов назначают в зависимости от допустимой скорости воды в трубах. Во всасывающем трубопроводе диаметром до 250 мм скорость следует принимать 1—1,2 м/с, а диаметром 250 мм и более — 1,2—1,6 м/с. В исключительных случаях при малой длине трубопровода и незначительной высоте всасывания скорость во всасывающем трубопроводе можно принимать 1,6—2 м/с.

В настоящее время строительные организации применяют индустриальный метод монтажа насосных станций и узлов трубопроводов — на заводах отдельные трубы и арматуру соединяют в блоки (согласно типовых схем), затем транспортируют к местам их установки и фланцами соединяют с трубопроводами. Этот метод значительно сокращает время на производство работ, монтаж и демонтаж узлов при их ремонте. Особенно эффективен этот метод при строительстве водопроводных широко разветвленных сетей с большим числом узлов и смотровых колодцев.

Трубы соединяют фланцами и сваркой. Фланцевое соединение стальных труб заключается в приварке к трубам фланцев.

Напорные трубопроводы насосной станции, так же как и всасывающие, могут иметь напорные коллекторы, при помощи которых осуществляют подачу воды в различные водоводы. Коллекторы *4* могут быть расположены как в здании насосной станции, так и за ее пределами, в специальных пристройках или на открытых участках напорных трубопроводов. Коммуникация напорных трубопроводов зависит от назначения и условий работы насосной станции, числа установленных насосов и технических требований, предъявляемых к ней.

В работе оросительных насосных станций возможна временная остановка отдельных насосов и всей станции, поэтому коммуникация напорных трубопроводов более простая.

Перерыв в работе водопроводных и осушительных насосных станций не допускается. Они работают неравномерно в течение суток (водопроводные станции второго подъема) и имеют более сложную коммуникацию трубопроводов.

В задачу коммуникаций, кроме переключения насосов на различные трубопроводы, также входит обеспечение постепенного перехода скоростей воды от 5—7 к 1,5—2 м/с. В мелиоративных насосных станциях такой переход осуществляется установкой конически расширяющихся соединительных напорных трубопроводов.

Напорные коммуникации могут быть без переключений (рис. 61, *г, д*), когда число насосов равно числу трубопроводов и каждый из насосов работает самостоятельно на свой трубопровод, а параллельная работа насосов по техническим условиям не предусмотрена. На мелиоративных насосных станциях такая схема возможна при длине напорного трубопровода меньше 100—150 м и использовании насосов марки О и ОП.

При длине трубопровода 100—300 м число его нитей выбирают технико-экономическим сравнением различных вариантов. При длине трубопровода более 300 м, как правило, число нитей меньше числа агрегатов, и насосы должны работать параллельно на один трубопровод.

Рекомендуется к одному напорному трубопроводу подсоединять: в мелиоративных насосных станциях — не

более трех, а в водоснабженческих — не более пяти на-
сосов.

Напорные коммуникации с коллекторами, применя-
ются при числе напорных трубопроводов меньше числ
насосов, установленных в здании насосной станци
(рис. 61, *е*).

Переключение агрегатов может быть частно
(рис. 61, *е*) и полное (рис. 61, *ж*). При частном пер
ключении определенные насосы или группа насосов м
гут работать на один трубопровод, а при полном — л
бой насос может подавать воду в любой водовод.

В схему внутристанционных коммуникаций (без п
реключений) на всасывающем и напорном соединител
ном трубопроводах при установке центробежных нас
сов входят следующие фасонные части и арматура:

на всасывающей линии — косой переход, имеющи
верхнюю горизонтальную образующую; задвижка (пр
подаче воды к насосу под давлением) и монтажна
вставка (подбирается по диаметру всасывающего пат
рубка насоса). В некоторых установках она может от
сутствовать;

на напорной линии — монтажная вставка (подбира
ется по диаметру напорного патрубка насоса), обрат
ный клапан (в мелиоративных станциях при малой дли
не трубопровода и небольшой высоте подъема може
отсутствовать), регулирующая задвижка (подбирается
по диаметру напорного патрубка насоса), переход от
диаметра задвижки к диаметру напорного трубопро-
вода.

Монтажные вставки устанавливают для удобства
монтажа и демонтажа насоса. В качестве монтажной
вставки можно использовать сальниковый компенсатор
который одновременно может воспринимать и линейны
деформации.

Регулирующие задвижки на всасывающем и напор
ном трубопроводах при отсутствии обратных клапано
могут быть автоматизированы. Управляют ими при по
мощи электро- или гидропривода.

Трубопроводы в здании насосной станции размеща
ют так, чтобы обеспечить удобство монтажа и демонта
жа насосных агрегатов, производить осмотр и ремон
самих трубопроводов, насосов, двигателей и всех ме
ханизмов и приспособлений, находящихся в здании на
сосной станции.

Трубы внутри станции укладывают на полу насос-
ных станций. Применяют только в заглубленных насос-
ных станциях, так как такое расположение труб за-
трудняет работу обслуживающего персонала и требует
устройства через трубы переходных мостиков с пери-
лами;

в каналах, закрытых металлическими плитами, стен-
ки которых облицовывают кирпичом, бетоном и железо-
бетоном. Этот вариант рекомендуется при диаметре
труб до 500 мм. Если длина труб незначительна (5—
6 м) и число агрегатов не более 3 могут быть уложены
трубы бо́льших диаметров;

в подвальном помещении, под полом машинного
зала.

Категорически запрещается укладка труб под полом
насосной станции непосредственно в грунте. В поверх-
ностных насосных станциях при большом числе агрега-
тов трубы диаметром более 500 мм укладывают в спе-
циальных подвальных помещениях высотой не менее
1,8 м над агрегатами насосной станции, подвешивая их
к потолку или укладывая по столбам (стойкам) вдоль
стены на высоте не менее 2 м.

§ 2. НАРУЖНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Наружные трубопроводы насосных станций могут
быть всасывающими, нагнетательными и переключаю-
щими.

В насосных станциях, совмещенных с водозабором
(рис. 52) блочного типа (рис. 54), **всасывающие трубо-
проводы** оканчиваются в водоприемнике и вместе с фа-
сонными частями и арматурой размещаются в здании
насосной станции. В насосных станциях раздельного
типа (рис. 57) всасывающие трубы оканчиваются в во-
доприемнике, расположенном на некотором расстоянии
от здания насосной станции.

Всасывающий трубопровод — один из основных эле-
ментов насосной станции. Он должен быть герметичным,
возможно меньшей длины с минимальным числом фа-
сонных частей (колен, отводов, тройников, переходов
и др.) и не должен иметь мест для образования воздуш-
ных мешков.

Герметичность всасывающего трубопровода достига-
ется тщательным соединением труб и фасонных частей,

устанавливаемых на трубопроводе. Всасывающий трубопровод прокладывают из стальных, а иногда и чугунных труб. Деревянные, асбестоцементные и железобетонные трубы не обеспечивают герметичности, поэтому их не применяют.

Соединяют трубы сваркой или фланцами. Сварка обеспечивает достаточную герметичность трубопровода. Фланцевое соединение применяют, если всасывающий трубопровод не засыпают землей. Трубы, уложенные в землю, должны быть покрыты антикоррозийными материалами. В лессах и других просадочных грунтах трубы следует укладывать без засыпки. Только после окончания просадок траншею можно засыпать.

Смонтированный всасывающий трубопровод должен иметь постепенный подъем к насосу (уклон не менее 0,005), чтобы воздух, попавший в него, свободно двигался с водой к насосу. Для уменьшения потерь напора всасывающий трубопровод должен быть возможно меньшей длины, не иметь резких поворотов, расширений, сужений и лишних фасонных частей.

Для обеспечения правильной работы всасывающего трубопровода необходимо избегать образования воздушных мешков, которые возникают в повышенных местах и резких поворотах трубопровода. На рисунке 62 показаны примеры правильного и неправильного монтажа всасывающих трубопроводов.

На всасывающих трубопроводах могут быть установлены всасывающие или приемные клапаны, всасывающие воронки, сетки, задвижки, колена, тройники и переходы.

При расположении насоса выше статического уровня воды в источнике или приемном колодце на конце всасывающей трубы устанавливают **всасывающий, или приемный, клапан.** Он плотно закрывает всасывающую трубу, позволяет заливать всасывающий трубопровод водой перед пуском в работу. Сетка клапана предохраняет насос от попадания в него различных крупных взвесей и плавающих предметов.

Конструкция и размеры приемных клапанов очень разнообразны. На рисунке 63 показан чугунный приемный клапан, состоящий из корпуса, сетки, тарелки и ограничителя подъема тарелки. С всасывающей трубой он соединяется фланцем. Клапаны этого типа изготавливают диаметром от 50 до 600 мм.

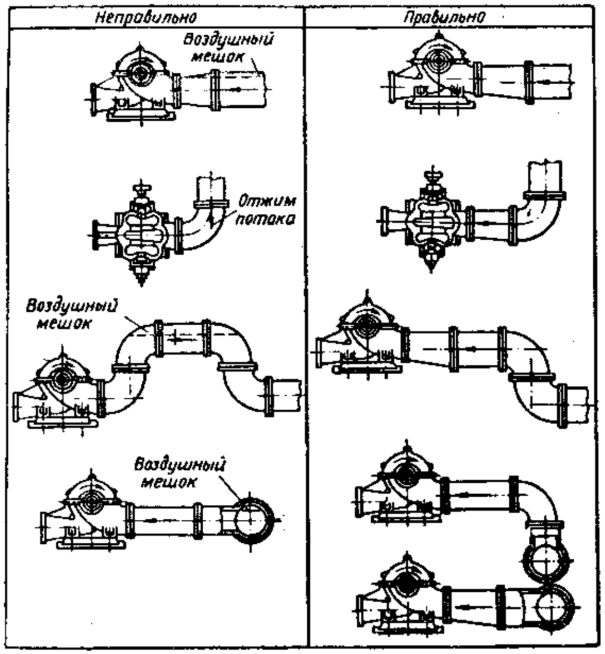


Рис. 62. Присоединения всасывающего трубопровода к насосу.

Сетка приемного клапана (рис. 64) —полый цилиндр с круглыми или прямоугольными прорезями в боковой поверхности и дне. Во избежание частой очистки от засорений общую площадь отверстий обычно принимают в 4—6 раз больше площади сечения всасывающей трубы. Несоответствие общей площади отверстий сетки сечению всасывающей трубы иногда приводит к превышению допустимой высоты всасывания.

Во время работы насоса тарелка клапана приподнята и дает возможность воде проходить к насосу. При остановке насоса под действием собственного веса и давления столба воды во всасывающем трубопроводе тарелка садится на седло и закрывает обратный выход

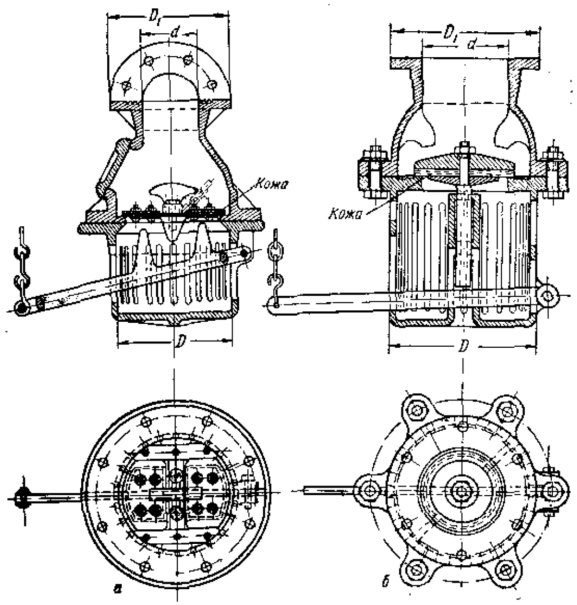


Рис. 63. Приемный клапан.

из всасывающей трубы. Это дает возможность не заполнять трубу водой при последующем пуске насоса.

По типу рассмотренного клапана разработаны конструкции сварных приемных клапанов целиком из стали, которые можно изготовлять в механических мастерских.

Недостаток всасывающего трубопровода, оборудованного приемным клапаном,— частое забивание его плавающими предметами, необходимость очистки и создание излишних гидравлических сопротивлений при всасывании.

На насосных станциях с трубопроводами диаметром более 400 мм применение приемных клапанов не рекомендуется. В этих случаях на конце всасывающего трубопровода устанавливают **приемные воронки** (рис. 65), а насос запускают при помощи вакуум-насоса. Воронки

изготовляют из стали или чугуна и представляют собой расширенную часть трубопровода.

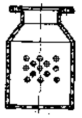


Рис. 64. Приемная сетка.

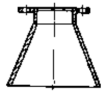


Рис. 65. Приемная воронка.

При установке приемных клапанов и всасывающих воронок для предотвращения попадания воздуха во всасывающий трубопровод входное отверстие всасывающей трубы должно быть заглублено не менее чем на 0,5 м под минимальный уровень воды в источнике. Во избежание захвата грязи и ила входное отверстие должно располагаться от дна источника на расстоянии 1,3—1,5 диаметра всасывающей трубы или 0,4 диаметра расширенной части всасывающей трубы, но не менее 0,5 м.

Если заглубить входное отверстие на требуемую глубину невозможно, то на конце всасывающей трубы необходимо установить экран (рис. 66), предотвращающий образование воронки вокруг трубы.

Задвижками всасывающий трубопровод оборудуют при подводе воды к насосу под давлением (отрицательное всасывание) и при системе переключения всасывающих линий насосной станции.

Всасывающие трубопроводы с насосами соединяют с помощью **переходов.** На правильно запроектированном всасывающем трубопроводе, когда диаметр его больше диаметра всасывающего патрубка насоса, устанавливают косой переход, имеющий верхнюю горизонтальную образующую (рис. 62).

Гидравлическое испытание смонтированного всасывающего трубопровода проводят до засыпки его землей. Давление при испытании назначается такое же, как и для напорного трубопровода.

§ 3. НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Напорный трубопровод служит для транспортировки воды от насоса в водовыпускные сооружения или напорные резервуары. При прокладке напорных тру-

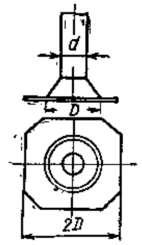


Рис. 66. Схема экрана (диафрагмы) на всасывающей трубе.

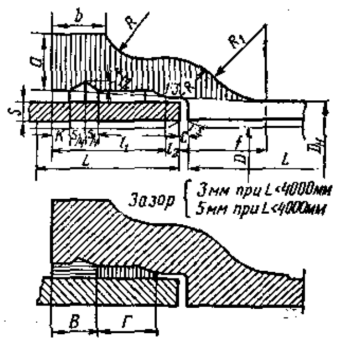


Рис. 67. Раструбное соединение чугунных труб:
а — обозначения по стандарту; *б* — заделка стыка.

бопроводов используют стальные, чугунные, асбестоцементные, железобетонные и другие трубы. Для изменения направления, устройства ответвлений, регулировки подачи воды и осуществления нормальной работы трубопровод оборудуют фасонными частями и арматурой.

В напорных трубопроводах соединения звеньев труб, фасонных частей и арматуры должны обеспечить необходимую герметичность, а глубина укладки напорных трубопроводов — незамерзаемость и непрогреваемость воды (для водопроводов), а также предохранение труб от механических повреждений.

Для слива воды из напорного трубопровода должен быть предусмотрен (в пределах машинного зала) приемный резервуар. Если слив воды из напорного трубопровода самотеком невозможен, устанавливают насос для ее откачки.

Чугунные трубопроводы широко применяют в водопроводах из-за их высокой антикоррозийности, обеспечивающей их долговечность. Иногда срок службы чугунных труб достигает 100 лет.

Недостатки чугунных труб: хрупкость, большой расход металла (в 1,5—2,5 раза превышающий расход стали) и ограниченное допускаемое внутреннее давление (до 1,6 МПа).

Чугунные трубы асфальтируют с внешней и внутренней стороны, что предохраняет их от ржавчины и до некоторой степени снижает потери напора на гидравлические сопротивления.

Чугунные водопроводные трубы и фасонные части изготовляют на нормальное давление не более 1 МПа и на повышенное давление не более 1,6 МПа (ГОСТ 5525—61). Выпускаются чугунные трубы раструбные и фланцевые. У раструбных труб один конец расширен (раструб), а другой — гладкий.

При раструбном соединении (рис. 67) гладкий конец трубы вставляют в раструбный, а пространство между ними плотно заделывают просмоленной паклей примерно на две трети глубины раструба. Оставшуюся часть заполняют уплотняющим материалом, обеспечивающим плотность стыка (цемент, асбестоцемент, серопесчаный сплав, алюминий и свинец). Алюминий используют лишь при ремонте трубопроводов и аварийных работах на неответственных трубопроводах. Заделка стыка свинцом обеспечивает хорошую герметичность и долговечную работу трубопровода, но очень дорога. Применение свинца допускается лишь в исключительных случаях.

Цементным раствором стыки заделывают при прокладке трубопроводов малого диаметра, когда просадка труб исключена. Раствор приготовляется из смеси цемента марки 400 и воды (10—12% массы цемента). Приготовленная смесь легко крошится. Стык заделывают следующим образом. После конопатки стыка просмоленной пеньковой прядью в раструб забивают слой непросмоленной пряди, а затем оставшееся пространство раструба замазывают цементным раствором слоями толщиной не более 10 мм, тщательно уплотняя каждый слой при помощи чеканки и молотка.

Асбестоцементным раствором заделывают стыки так же, как и цементным. Приготовляют его из 30% асбестового волокна и 70% цемента марки 400 (по массе). Асбестоцементная заделка применяется в любых трубопроводах и дает хорошее уплотнение стыков.

При наличии агрессивных вод в местах прокладки трубопроводов цементную и асбестоцементную заделку не доводят до кромки раструбов, а оставляют некоторое пространство для заполнения предохранительным материалом (битум или специальные битумные мастики).

Серопесчаный сплав приготовляется из порошка серы — 64%, песка — 32%, порошка древесного угля — 3% и нафталина — 1% (все по массе). Серопесчаным сплавом и свинцом стык заделывают путем заливки в оставшееся пространство раструба после его заделки просмоленной паклей. Свинец после заливки расчеканивают.

Описанные стыковые соединения раструбных труб не равнопрочны самим трубам. Бо́льшая часть аварий, как

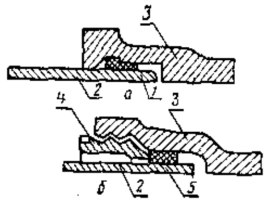


Рис. 68. Стыковое соединение с резиновым уплотнением:

1, б — резиновые уплотнения; *2* — гладкий конец трубы; *3* — раструб; *4* — упорная металлическая муфта.

показал опыт эксплуатации трубопроводов, связана с нарушением стыков.

В целях создания стыковых соединений равнопрочных с трубами и менее трудоемких при монтаже стали применять новые конструкции соединений чугунных раструбных труб с использованием резиновых уплотнений. На рисунке 68 приведены конструкции новых стыковых соединений чугунных труб диаметром от 50 до 300 мм.

В стыке (рис. 68, *а*) показано уплотнение при помощи резинового самоуплотняющегося кольца *1*, предварительно вставленного в раструб *3*. При монтаже гладкий конец трубы *2* вставляют в раструб *3*. В стыке, показанном на рисунке 68, *б* резиновое уплотнительное кольцо *5* круглого сечения вводится в раструбную щель и удерживается в ней упорной металлической муфтой *4*, которая ввинчивается в раструб при помощи специального ключа.

Преимущества раструбного соединения по сравнению с фланцевым: оно дешевле, дает возможность поворота каждой трубы на 2—3°, обеспечивает антикоррозийную стойкость стыка. Поэтому трубы, прокладываемые в земле, как правило, соединяют при помощи раструбов. Фланцевое соединение (рис. 69) представляет собой

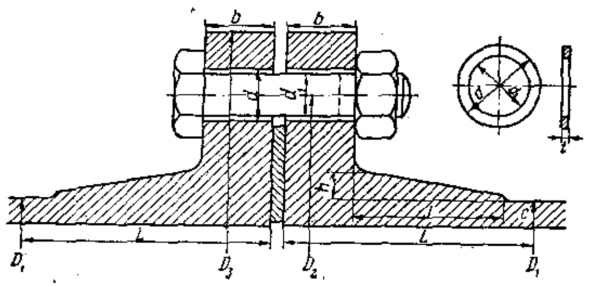


Рис. 69. Фланцевое соединение труб.

болтовое соединение фланцев труб, между которыми проложено уплотнение. Оно жестко и не допускает деформации трубопроводов. Положительное свойство фланцевого соединения — восприятие растягивающих усилий (основное преимущество перед раструбным). Для обеспечения водонепроницаемости стыка между фланцами прокладывают резиновые или пропитанные маслом картонные и другие прокладки.

Картонные прокладки, пропитанные маслом и смазанные суриком, можно применять лишь при небольших давлениях (0,2—0,3 МПа) и в соединениях труб небольшого диаметра (до 200—300 мм).

Фланцевые соединения, как правило, используют только внутри зданий, в смотровых колодцах, местах, доступных для осмотра и позволяющих подтягивать болты.

Фасонные части чугунных трубопроводов применяют для устройства соединений между трубами, при изменении направления трубопроводов, при устройстве ответвлений и для установки арматуры.

Стальные трубопроводы широко используют как для устройства всасывающих и напорных трубопроводов внутри зданий насосной станции, так и для строительства внешних открытых и закрытых водоводов.

Для открытых водоводов применяют стальные трубы диаметром от 50 до 1600 мм (ГОСТ 10704—63) и газоводопроводные — от 50 до 150 мм (ГОСТ 3262—62).

В передвижных насосных станциях используют облегченные сборные напорные трубопроводы: РТ-180; РТ-250 с рабочим давлением p=0,8 МПа (по отдельному заказу могут быть изготовлены диаметром 350 мм) и быстросборные трубы БРТ-250, БРТ-360 со специальными рычажными приспособлениями и ручками, упрощающими их укладку и сборку. Эти трубы значительно экономят время и затраты труда на монтаже и демонтаже напорного трубопровода.

По способу изготовления стальные трубы делят на бесшовные и сварные. Их диаметры очень разнообразны — от 13 до 1600 мм. Трубопрокатные заводы изготовляют трубы различной длины, но не более 15 м.

Стальные трубы соединяются при помощи муфт, фланцев и сварки.

Муфтами трубы соединяют при монтаже трубопроводов малых диаметров (до 150 мм). Плотность стыка

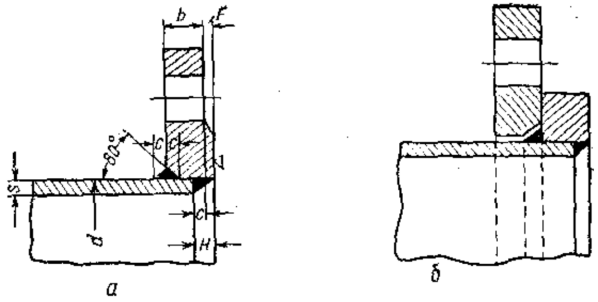


Рис. 70. Фланцевое соединение стальных труб:
а — приварной фланец на стальных трубах; *б* — надвижной фланец на приварном кольце.

соединяемых труб обеспечивается паклей, пропитанной суриком или другими масляными красками. Трубы соединяют следующим образом. На резьбу трубы равномерным слоем наматывают распущенную паклю, свободную от кострики, которую смазывают суриком или белилами; затем навинчивают муфту. После этого на резьбу присоединяемой трубы также наматывают паклю, смазывают суриком и ввинчивают в муфту. Хорошее соединение труб дает конусная резьба.

Фланцевое соединение стальных труб ГОСТ не предусматривает. Оно применяется при установке на трубопроводе фасонных частей и арматуры. Для этой цели фланцы изготовляют отдельно, а затем наваривают на трубы (рис. 70, *а*) или делают надвижными (рис. 70, *б*). При фланцевом соединении труб малых диаметров (до 50 мм) фланцы к трубам присоединяются на резьбе.

Наибольшее распространение получило соединение стальных труб электрической и автогенной сваркой. Сварка труб производится очень быстро, дает прочное и герметичное соединение стыков.

Выбор способа сварки зависит от наличия оборудования и квалификации сварщиков. При правильном выполнении сварки стыки труб получаются хорошего качества при обоих способах. Перед сваркой кромки толстых труб срезают под углом 30—45°, затем стыкуют и между ними наваривают шов, выступающий над поверхностью труб на 2—4 мм. При сварке труб с тонкими

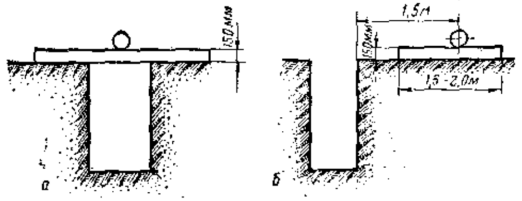


Рис. 71. Схема укладки стальных труб на поверхность земли для сварки:
а — над траншеей; *б* — на бровке траншеи.

стенками (менее 5 мм) кромки не срезают, а шов наваривают шириной, равной 2—2,5 толщины стенок труб.

При строительстве напорных трубопроводов трубы сваривают над траншеей (рис. 71, *а*) или на бровке траншеи (рис. 71, *б*). Сваренные звенья труб (плети) опускают в траншею и там их соединяют. Сборка труб над траншеей облегчает спуск трубопровода в нее, который производится автокранами или специальными трубоукладчиками. Сбрасывать трубопроводы в траншею категорически запрещается.

При монтаже напорных трубопроводов на их устанавливают фасонные части и арматуру, которые заранее подбирают по монтажной схеме. Для труб диаметром от 100 до 600 мм используют чугунные фасонные части, а для труб больших диаметров — сварные, изготовляемые на месте производства работ.

Асбестоцементные трубопроводы широко применяют в гидротехническом строительстве. Материалом для их изготовления служат асбест (20—25%) и цемент (80—75%), взятые по массе.

Отечественные заводы изготовляют асбестоцементные трубы марок ВТ-3, ВТ-6, ВТ-9 и ВТ-12 (ГОСТ 539—65). Последняя цифра обозначает допустимое рабочее давление в трубах в ат. Асбестоцементные трубы выпускают с внутренним диаметром от 50 до 456 мм и наружным диаметром обточенных концов, равным наружному диаметру чугунных труб (ГОСТ 5525—61). Такие трубы долговечны, не ржавеют, легче чугунных и стальных труб, имеют гладкую внутреннюю поверхность. Они дешевле чугунных и стальных.

9 Заказ № 2576

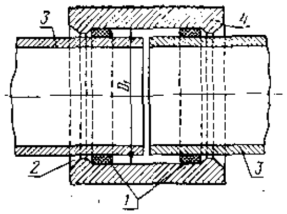


Рис. 72. Соединения асбестоцементных труб двухбуртной муфтой:

1 — резиновые кольца; *2* — замазка цементным раствором 1 : 4; *3* — асбестоцементные трубы; *4* — рабочий кольцевой выступ-бурт, захватывающий резиновое кольцо при натяжении муфты на соединяемые концы труб.

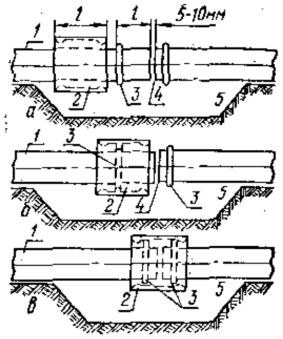


Рис. 73. Последовательность операций по соединению асбестоцементных труб двухбуртной муфтой:

а — установка муфты и резиновых колец; *б* — надвижка муфты; *в* — муфта установлена на место; *1* — асбестоцементные трубы; *2* — двухбуртная муфта; *3* — резиновые кольца; *4* — зазор; *5* — приямок.

Основной их недостаток — плохая сопротивляемость ударам. Поэтому необходимо обращать особое внимание на предохранение труб от механических воздействий во время их транспортировки и укладки в траншеи.

Асбестоцементные трубы соединяют асбестоцементными и чугунными муфтами. Уплотняющей средой в обоих случаях служат резиновые кольца.

Асбестоцементная муфта (рис. 72) с внутренней стороны имеет два кольцевых выступа, причем один из них, имеющий меньшую высоту, называется рабочим. Трубы соединяют следующим образом. На одну из соединяемых труб надевается муфта (рис. 73), обращенная меньшим выступом в сторону стыка. Затем на трубах устанавливают резиновые кольца: одно на присоединяемую трубу на расстоянии 5—10 мм от стыка, а другое — на трубу с муфтой на расстоянии от стыка, равном длине муфты. После этого муфту подвигают к резиновому кольцу и при помощи закрепленного на трубе домкрата (рычажного или винтового) переводят ее на стык. При движении муфта поджимает под себя первое кольцо, а затем, пройдя стык,— второе. Чтобы не перетянуть муфту, на присоединяемой трубе нужно отметить мелом или карандашом половину длины муфты. Движение прекращают, когда срез муфты достигнет нанесенной риски.

Для контроля правильности монтажа стыка необходимо взять присоединенную трубу за свободный конец и легкими пошатываниями потянуть ее на себя. При неудачном соединении труба вывалится из муфты. Не рекомендуется соединять асбестоцементные трубы в дождливую погоду.

Асбестоцементные трубы можно также соединять с помощью чугунной болтовой муфты (рис. 74), состоящей из двух передвижных фланцев, собственно муфты и двух резиновых колец. Герметичность стыка достигается резиновыми уплотнительными кольцами, зажимаемыми фланцами с болтами. Такой стык асбестоцементных труб можно применять лишь в местах, не связанных с засыпкой трубопровода землей.

Фасонные части для асбестоцементных труб — обычные чугунные; для перехода к ним используют специальные чугунные патрубки.

Железобетонные трубы широко распространены в строительстве водоводов. Для улучшения водонепроницаемости эти трубы с внутренней стороны покрывают битумом.

Для устройства водопроводов можно использовать трубы диаметром 500—1600 мм (ГОСТ 12586—67), изготавливаемые с предварительно напряженной арматурой на давление 1,5—1 МПа. Соединяют трубы при помощи раструбов с применением резиновых колец (рис. 75).

Трубы армируются стальными предварительно напряженными продольными стержнями и спиральной арматурой.

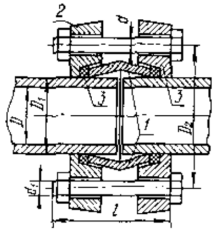


Рис. 74. Соединение асбестоцементных труб чугунной болтовой муфтой:

1 — чугунная втулка; *2* — передвижные фланцы; *3* — резиновые кольца.

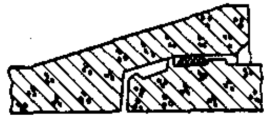


Рис. 75. Соединение железобетонных раструбных труб.

Железобетонные трубы по сравнению со стальными имеют большую стойкость к коррозии; диэлектричность; способность сохранять в условиях эксплуатации гладкую поверхность, а следовательно, и постоянную пропускную способность.

§ 4. АРМАТУРА ТРУБОПРОВОДОВ

Задвижки (рис. 76) применяют для переключения подачи воды насосами в различные трубопроводы, регулирования расхода и напора, а также для включения и выключения отдельных участков трубопровода.

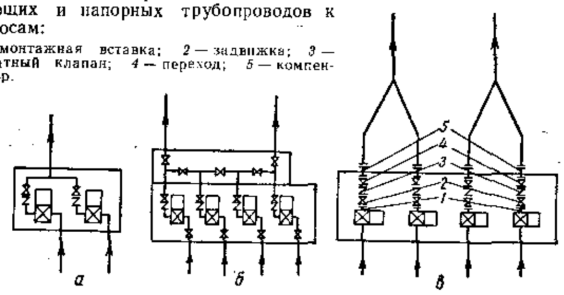
Обработка и притирка уплотняющих колец в параллельных задвижках осуществляются проще и легче, чем в клиновых. Оба вида задвижек изготовляют с выдвижным и невыдвижным шпинделем (болт, на котором монтируется запорное устройство и маховик для вращения).

В трубопроводах с внутренним давлением не более 1 МПа наиболее распространены параллельные задвижки с выдвижным шпинделем, с диаметром проходного отверстия от 50 до 400 мм.

Задвижка (рис. 77) состоит из корпуса *8* и крышки *7*, соединенных болтами с проложенной между ними прокладкой. Устройство, закрывающее проходное отверстие в корпусе задвижки, состоит из двух чугунных дисков — шиберов *9*, подвешенных на нижний конец шпинделя *1*, и чугунного клина *10*, вставленного между дисками. Шпиндель *1* проходит в верхней части крышки через сальник *6*, обеспечивающий водопроницаемость задвижки. В корпусе сальника *5* помещена сальниковая

Рис. 76. Схемы присоединения всасывающих и напорных трубопроводов к насосам:

1 — монтажная вставка; *2* — задвижка; *3* — обратный клапан; *4* — переход; *5* — компенсатор.



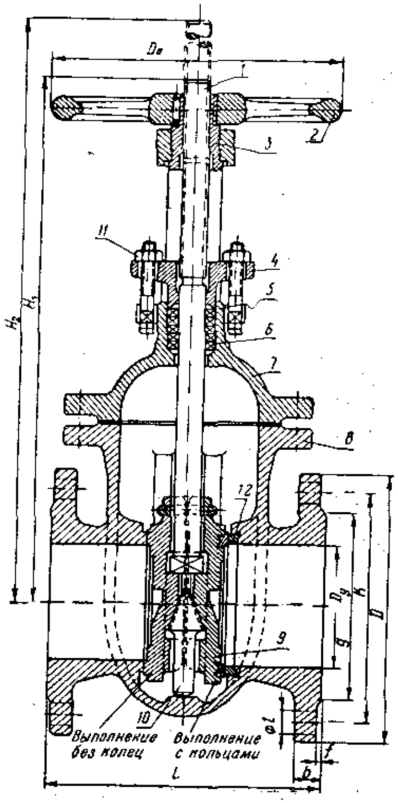


Рис. 77. Параллельная задвижка с выдвижным шпинделем:

1 — шпиндель; *2* — маховик; *3* — гайка; *4* — втулка; *5* — станина корпуса сальника; *6* — сальниковая набивка; *7* — крышка; *8* — корпус задвижки; *9* — чугунный диск-шибер; *10* — чугунный клин; *11* — болт; *12* — бронзовые уплотнительные кольца.

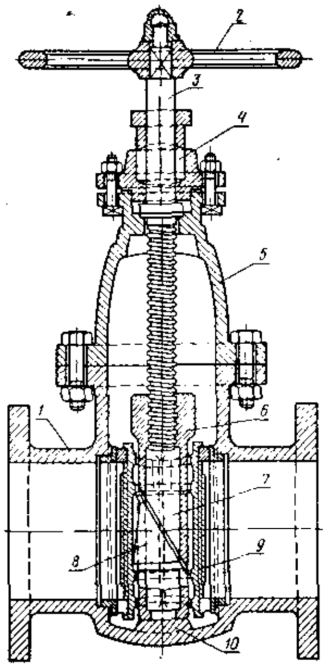


Рис. 78. Параллельная задвижка с невыдвижным шпинделем:

1 — корпус задвижки; *2* — маховик; *3* — шпиндель; *4* — сальник; *5* — крышка задвижки; *6* — гайка; *7, 8* — верхний и нижний клинья; *9* — диск; *10* — выступ корпуса.

набивка из просмоленной пеньки или прографиченного асбеста. Нажимная букса *4* регулирует уплотнение сальниковой набивки посредством подтягивания болтов *11*.

Верхний конец шпинделя проходит через гайку *3* и вверху имеет маховик *2*. При вращении маховика против часовой стрелки шпиндель поднимается вверх вместе с висящими на нем дисками. При крайнем верхнем положении шпинделя диски будут находиться под крышкой в верхней части корпуса задвижки, при этом проходное отверстие будет полностью открыто. При вращении маховика по ходу часовой стрелки шпиндель с дисками опускается вниз и перекрывает проходное отверстие. В крайнем нижнем положении клин *10* упирается в выступ на корпусе задвижки и расклинивает диск *9*, плотно перекрывая проходное отверстие, для чего на диске и корпусе устанавливают уплотнительные бронзовые кольца *12*.

На горизонтальном трубопроводе задвижки расположены вертикально (маховиком вверх) или горизонтально («на ребро»). Чугунные задвижки с невыдвижным шпинделем (рис. 78) изготовляют только больших диаметров (450—1000 мм) и для рабочих давлений от 0,6—1 МПа.

Задвижки на отдельных всасывающих линиях мелиоративных станций (рис. 76) ставят при работе насосов

под постоянным или временным затоплением (заглубленные здания станций). В надземных станциях задвижки на всасывающих трубопроводах не нужны (рис. 76, *а*). На водопроводных станциях (с коллектором на всасывающем или напорном трубопроводах) задвижки необходимы для переключения трубопроводов или отключения отдельных насосов без остановки других (рис. 76). Число задвижек и принятая схема переключения определяются числом насосов и условиями бесперебойной работы станции.

На оросительных насосных станциях допускается временное прекращение подачи воды, поэтому внутристанционные напорные трубопроводы устраивают без переключающего коллектора, и задвижки на них располагаются согласно схеме, показанной на рисунке 76, *в*. Арматура и фасонные части устанавливают в следующем порядке: монтажная вставка *1*, задвижка *2*, обратный клапан *3*, переход *4* и компенсатор *5*.

На напорном трубопроводе задвижки располагают у насоса (после монтажной вставки для регулирования расхода и напора) и на ответвлениях трубопровода. Задвижки, выпускаемые нашей промышленностью, в зависимости от конструкции затвора разделяют на параллельные и клиновые.

В клиновых задвижках проходное отверстие перекрывается специальным сплошным клином (рис. 78). Движение маховика задвижки в ту или иную сторону придает клину возвратно-поступательное движение, связанное с открытием или закрытием проходного отверстия задвижки.

Изготавливают задвижки из чугуна и стали. Выбор материала зависит от внутреннего давления в трубопроводе.

Открытие и закрытие задвижек, установленных на трубопроводах диаметром более 400—500 мм, требует больших физических усилий. Механизация и автоматизация работы задвижек осуществляются путем установки электродвигателя, соединенного червячной передачей с маховиком, или применением специального гидравлического привода (рис. 79).

Применение на насосных станциях электрифицированных и гидравлических задвижек дает возможность управлять ими на расстоянии (дистанционное управление).

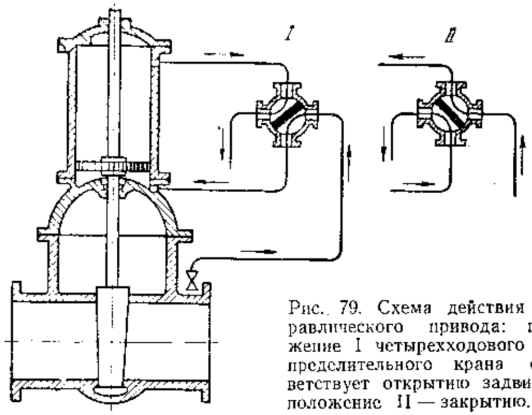


Рис. 79. Схема действия гидравлического привода: положение I четырехходового распределительного крана соответствует открытию задвижки; положение II — закрытию.

Используют также кольцевые задвижки, игольчатые и дисковые поворотные затворы. Проходное отверстие в кольцевой задвижке перекрывается в результате перемещения вдоль оси задвижки конического затвора, уменьшающего или увеличивающего площадь кольца, через которое проходит вода.

В дисковых поворотных затворах проходное отверстие перекрывают поворотом диска вокруг вертикальной оси. При повороте диска на 90° оно открывается полностью. Поверхностные дисковые затворы изготавливают для труб диаметром от 400 до 1600 мм и давления до 1 МПа.

Для предохранения насоса от обратного движения воды и уменьшения утечек на напорном трубопроводе вблизи насоса, устанавливают **обратный клапан** (рис. 80) или другие устройства (дроссели и пр.). Работает он автоматически, пропуская воду только от насоса в напорный трубопровод, и самостоятельно закрывается при обратном движении воды к насосу.

Вследствие быстрого закрытия обратного клапана при внезапной остановке насоса в напорном трубопроводе могут возникнуть гидравлические удары, резко повышающие давление в напорном трубопроводе. Разработаны конструкции обратных клапанов, закрытие

которых замедляется особыми тормозными устройствами.

Обратные клапаны применяют для трубопроводов диаметром от 55 до 600 мм и более.

Для защиты напорных трубопроводов от повышенных давлений, вызванных гидравлическими ударами, на них устанавливают **предохранительные клапаны.** Гидравлические удары особенно опасны на тупиковых участках трубопроводов.

Компенсаторы устанавливают для восприятия линейных температурных деформаций на участках трубопровода, не засыпанных грунтом. Трубопроводы, уложенные в землю, практически не деформируются по длине вследствие трения труб о грунт и относительного постоянства температур. Поэтому компенсаторы ставят только в местах присоединения трубопровода к насосам, резервуарам, колодцам и т. п. Чугунные и асбестоцементные водоводы, обладающие подвижными стыками, в компенсаторах не нуждаются.

В практике строительства водоводов применяются температурные и температурно-осадочные компенсаторы (рис. 81).

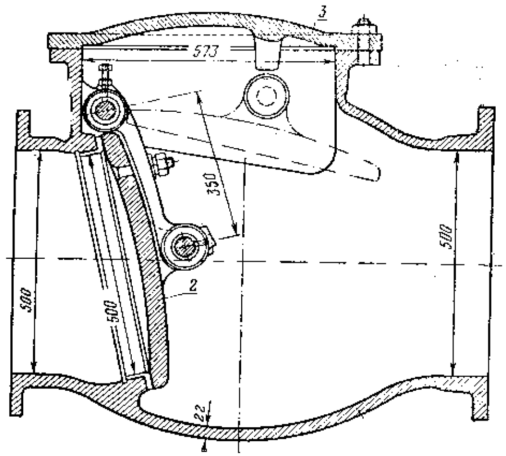


Рис. 80. Обратный клапан:
1 — корпус; *2* — клапан; *3* — крышка.

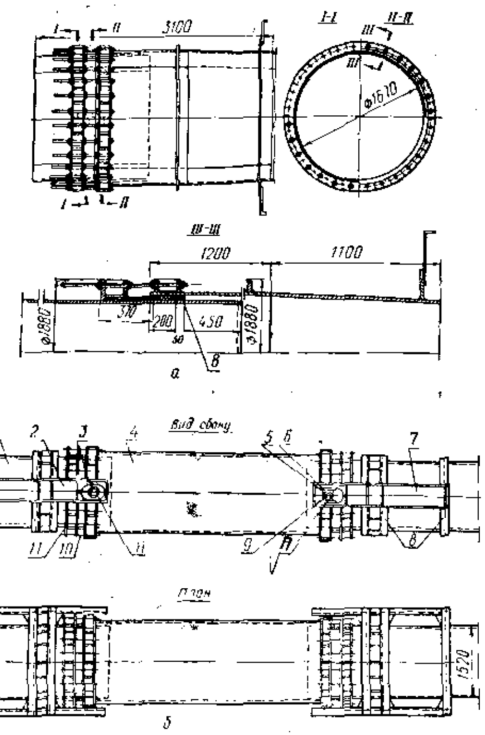


Рис. 81. Температурный (*а*) и температурно-осадочный (*б*) компенсаторы сальникового типа:

1 — патрубок; *2* — консольные балки; *3* — ось неподвижного шарнира; *4* — раструб; *5* — ползун; *6* — направляющие планки; *7* — наружные балки; *8* — опорные кольца; *9* — ось подвижного шарнира; *10* — шпилька с гайками; *11* — забивное кольцо; *Н* — неподвижный шарнир; *П* — подвижный шарнир.

В водонапорных башнях при сварном соединении стояков с днищем резервуара, а также на водоводах, укладываемых по косогору на анкерных опорах (рис. 82), установка температурных компенсаторов (рис. 81, *а*) обязательна. Между первой анкерной опорой и зданием насосной станции для устранения дополнительных напряжений, возникающих при различной

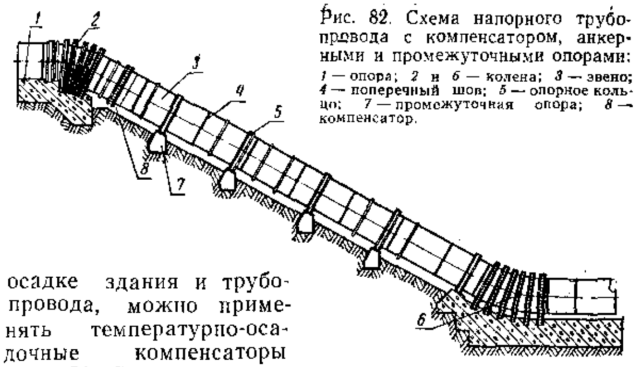


Рис. 82. Схема напорного трубопровода с компенсатором, анкерными и промежуточными опорами:

1 — опора; *2* и *6* — колена; *3* — звено; *4* — поперечный шов; *5* — опорное кольцо; *7* — промежуточная опора; *8* — компенсатор.

осадке здания и трубопровода, можно применять температурно-осадочные компенсаторы (рис. 81, *б*).

При установке компенсаторов необходимо учитывать их компенсирующую способность, то есть разность между максимальной и минимальной длиной участка трубопровода.

При работе водоводов в их повышенных частях скапливается воздух, выделяющийся из воды.

Это ведет к образованию воздушных мешков, ухудшает эксплуатацию водоводов, уменьшает их пропускную способность.

Для автоматического удаления воздуха, скопившегося в водоводе применяют (рис. 83) **вантузы.**

При заполнении водопровода водой (в пусковой период и после ремонта) воздух удаляют также через вантузы и специально установленные для этой цели вентили, которые открывают перед заполнением трубопровода. В некоторых случаях необходимо впустить воздух во всасывающий и напорный трубопроводы. В этих случаях также используют вантузы.

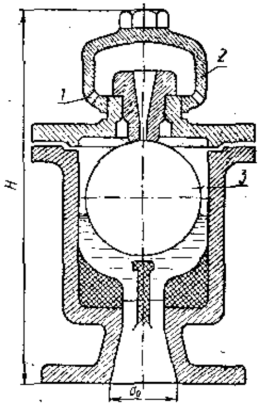


Рис. 83. Воздушный вантуз:

1 — отверстие для выпуска воздуха; *2* — колпачок для защиты воздушного отверстия от загрязнения; *3* — шаровой поплавок.

Вантуз — чугунный или стальной колпак с крышкой, внутри которого помещен шаровой поплавок. В крышку вантуза вмонтирован штуцер с отверстием для выпуска воздуха. Над штуцером установлен колпачок для предохранения отверстия от загрязнений.

Вантуз работает следующим образом. При отсутствии воздуха в водоводе корпус вантуза заполнен водой. Шаровой поплавок давлением воды в трубопроводе прижат к воздушному отверстию и плотно перекрывает его. Воздух, попавший в водовод, пузырьками поднимается

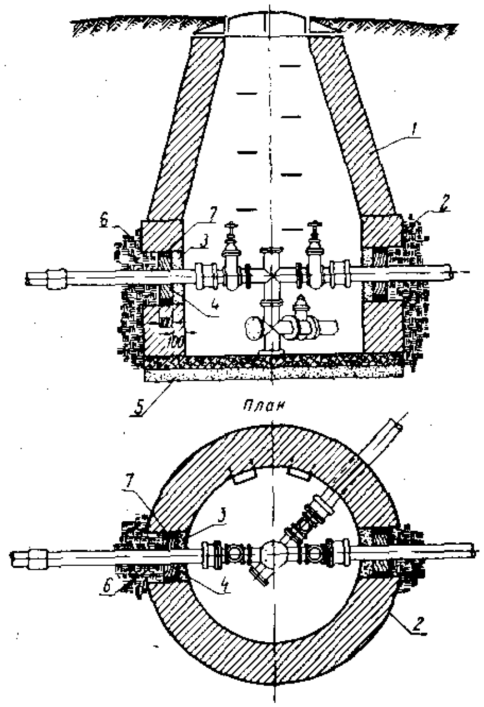


Рис. 84. Кирпичный колодец с водовыпуском в мокрых грунтах:
1 — кирпич; *2* — цементная штукатурка; *3* — заделка проема в стене цементным раствором; *4* — деревянный щит; *5* — щебеночная подготовка; *6* — мятая глина; *7* — конопатка просмоленным канатом.

к повышенным точкам водовода и собирается вверху вантуза. При этом горизонт воды в нем падает, а вместе с ним и поплавок.

В результате воздушное отверстие открывается и воздух выходит в атмосферу. По мере выхода воздуха уровень воды в вантузе вновь поднимается и прижимает поплавок к воздушному отверстию. Таким образом воздух автоматически удаляется из трубопровода.

При ремонте и промывке водовода загрязненная вода из него должна быть удалена через **водовыпуски** (рис. 84). При малых диаметрах водоводов водовыпуски обычно устраивают в смотровых колодцах, расположенных в пониженных местах напорного трубопровода.

Смотровой колодец оборудуют двумя задвижками, позволяющими выключать отдельные участки водовода (рис. 84). Между задвижками расположена крестовина, верхний патрубок которой заглушают, а к нижнему присоединяют вторую крестовину, тройник или отвод. К фланцу крестовины или тройника подсоединяют трубу с задвижкой для отвода воды в канализацию.

Для выпуска воды из напорного трубопровода внутри здания насосной станции устраивают водовыпуск в виде трубы с задвижкой, подсоединенной к напорному трубопроводу в пониженном месте и отводом ее в канализацию или в водоприемник.

§ 5. ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ ТРУБ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРОКЛАДКИ

Глубину укладки труб принимают в соответствии с промерзанием грунта, температурой транспортируемой воды и режимом ее подачи.

Глубина промерзания грунта зависит в основном от климатических условий, а также от характера грунта, наличия растительного слоя, уровня грунтовых вод, толщины снежного покрова и условий прогревания грунта солнцем.

Глубина заложения труб должна быть такой, чтобы зимой вода в трубопроводах не замерзала, летом — не нагревалась (для водопроводов).

Глубину заложения труб принимают на 0,5 м больше глубины промерзания грунта (СНиП—11—31—74).

Ориентировочно она равна: для северных районов — 3—3,5 м; для центральных — 2,5—3 и для южных — 1—1,5 м.

Минимальную глубину заложения труб оросительных трубопроводов, работающих лишь в период плюсовых температур, определяют из условий защиты их от механических повреждений.

Водопроводные линии прокладывают параллельно рельефу местности с постоянной глубиной их заложения и соответствующими уклонами. В местах резкого возвышения рельефа устанавливают вантузы для выпуска и впуска воздуха (рис. 83), а в пониженных — грязевые водовыпуски (рис. 84).

Прокладывают водопроводные линии с учетом расположения других подземных сооружений (канализационных труб, кабелей электроэнергии, теплотрасс, телефона и др.).

Под железными и шоссейными дорогами трубопроводы укладывают в галереи или металлические кожухи (трубы большего диаметра), отводящие воду от этих сооружений при авариях трубопровода. Возможны и мостовые переходы трубопроводов через различные коммуникации.

При пересечении трубопроводов с реками их прокладывают по дну реки (дюкер) в две нитки на глубине 0,5—1 м от дна реки. В начале и конце дюкера устраивают камеры переключения.

В районах распространения просадочных грунтов, сейсмических явлений и вечной мерзлоты трубопроводы прокладывают в соответствии с СНиП—II—31—74.

§ 6. УСТРОЙСТВА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ УСТОЙЧИВОСТЬ НАПОРНОГО ТРУБОПРОВОДА

Трасса трубопровода может проходить по местности с любым рельефом. Если трасса открытого водовода проходит по косогору, то его предохраняют от подмыва нагорными каналами, которые отводят дождевые и талые воды.

При укладке трубопровода по крутым склонам его перегибы закрепляют анкерными опорами, а через отрезки, равные 5—7 диаметрам трубопровода, ставят промежуточные опоры — каменные столбы (рис. 82). На

горизонтальных участках поверхностного трубопровода анкерные опоры устраивают через 200 м.

Для предохранения стыков труб от разрушения внутренними растягивающими усилиями, которые возникают на поворотах и концевых участках трубопровода, опоры делают из кирпича или бетона.

При пересечении трубопроводом стен здания насосной станции, береговых колодцев и других сооружений трубы укладывают так, чтобы при просадке стен он остался невредимым. Для этого в фундаментах и стенах оставляют отверстия, допускающие осадку конструкций до 30 см без повреждения трубопровода. После прокладки труб отверстия заделывают тощим бетоном или мятой глиной. Прокладку труб через стены в водонасыщенных грунтах осуществляют с помощью сальникового устройства или футляров из труб большого диаметра, закладываемых в стены при их строительстве.

Сальниковое устройство — это стальной патрубок на 50—100 мм больше диаметра укладываемых труб, внутрь которого вваривают упорное кольцо. Через патрубок пропускают трубу, а пространство между ними заполняют сальниковой набивкой и уплотняют нажимным фланцем при помощи шпилек и гаек.

При укладке труб в футлярах (трубы диаметром на 150—200 мм больше прокладываемых) трубу через футляр пропускают эксцентрично, а образовавшийся кольцевой зазор заделывают сальниковой набивкой и заливают смолой (битумом). С внешней стороной стены трубу соединяют эластичным стыком (болтовое муфтовое соединение с резиновыми кольцами), чтобы избежать поломки трубы при просадке стены. Участок трубы в футляре может свободно опускаться вместе со стеной, не ломаясь, а только поворачиваясь в стыковых соединениях.

§ 7. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

Водомеры устанавливают для учета подачи и потребления воды на насосных станциях. По принципу действия их делят на скоростные, дроссельные, объемные и др. При подборе водомера нужно учитывать внутреннее давление, область учета, его пропускную способность, потерю напора в нем и условия его установки.

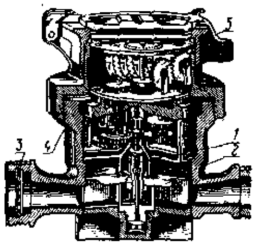


Рис. 85. Крыльчатый водомер:
1 — винт; *2* — крыльчатка; *3* — струевыпрямитель; *4* — бронзовый корпус; *5* — счетный механизм.

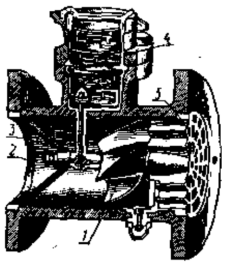


Рис. 86. Турбинный водомер:
1 — турбина; *2* — чугунный корпус; *3* — винт; *4* — счетный механизм; *5* — струевыпрямитель.

В сельскохозяйственном водоснабжении чаще всего используют скоростные водомеры, определяющие суммарное количество воды, прошедшее через них. Действие его заключается в том, что вода, проходящая через него, вращает вертушку в виде крыльчатого колеса турбины или винта с лопастями.

Скоростные водомеры делятся на крыльчатые и турбинные. В крыльчатых водомерах (рис. 85) движение воды перпендикулярно оси вертушки, а в турбинных (рис. 86) параллельно.

Крыльчатыми водомерами измеряют расходы жидкостей от 0,6 до 4 м³/ч и применяют на горизонтальных трубопроводах. Выпускают их двух типов — ВК и ВКМ (ВК-3, ВК-5, ВК-10, ВК-20; ВКМ-3; ВКМ-5, ВКМ-10 и ВКМ-20): ВК — водомер крыльчатый; М — модернизированный; 3,5 и т. д. — характерный расход, м³/ч. Характерным расходом называют расход жидкости, при котором потери напора в водомере равны 0,1 МПа.

По конструкции оба типа водомеров аналогичны. Емкость счетного механизма 10 000 м³, значение наименьшего деления 0,001 м³. Допустимое максимальное давление 1 МПа погрешность ±(2—3) %.

Турбинными водомерами измеряют расход от 4 до 550 м³/ч.

Эти водомеры имеют марки ВВ-50, ВВ-80, ВВ-100, ВВ-150 и ВВ-200, где 50, 80 и т. д. означают условный проходной диаметр водомера. Устанавливают их на горизонтальных, наклонных и вертикальных трубопроводах. Емкость счетного механизма от 100 000 до 1 000 000 м³, погрешность ±(2—3) %, предельное давление 1 МПа.

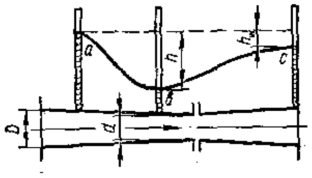


Рис. 87. Водомер Вентури.

У насоса водомеры устанавливают до обратного клапана (по ходу воды). Как правило, скоростные водомеры ставят в таком месте, чтобы до них был прямолинейный участок длиной, равной 5—10 диаметрам трубы, и после них — длиной, равной 3—5 диаметрам.

Водомер Вентури (рис. 87) состоит из конических отрезков труб, узкие концы которых соединены коротким цилиндрическим патрубком, называемым горловиной. Отношение диаметров суженной и расширенной частей конусов $d/D=0{,}3—0{,}7$.

Принцип работы такого водомера основан на уравнениях Бернулли и неразрывности потока. В суженной части водомера скорость движения жидкости увеличивается, а пьезометрическое давление уменьшается, образуя перепад давления h, по которому с помощью дифференциального манометра измеряют расход воды.

Водомер устанавливают на горизонтальных и вертикальных участках трубопровода так, чтобы перед ним был прямолинейный участок длиной $15D$ перед водомером и $5D$ после него. Преимущество водомера Вентури перед ранее рассмотренными заключается в отсутствии движущихся частей, большой пропускной способности и возможности замера подачи загрязненных вод.

Сопло Вентури — разновидность водомера Вентури. В настоящее время наиболее распространено. Водомер состоит из вставного сопла с укороченным по сравнению с конусом водомера Вентури, который вставляется в трубопровод в месте измерения расхода. Устанавливают сопло Вентури на таких же расстояниях от фасонных частей и арматуры, как и водомер Вентури.

Применяют его на водопроводных и канализационных насосных станциях.

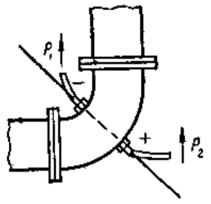


Рис. 88. Колено-водомер.

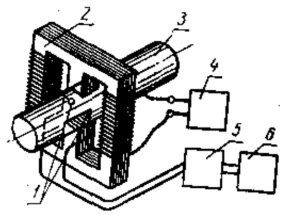


Рис. 89. Индукционный водомер:
1 — электроды; *2* — электромагнит; *3* — труба; *4* — источник питания; *5* — преобразователь; *6* — вторичный прибор.

Диафрагмовые водомеры — комбинированные шайбы-диафрагмы из нержавеющей стали или бронзы, вставляемые в трубопровод в месте измерения расхода.

Разность давлений в диафрагмовом водомере замеряется при помощи дифференциального манометра, а по разности давлений определяется расход.

Колена-водомеры — это водомеры, действие которых основано на измерении разности давлений у выпуклой и вогнутой поверхностей колена (рис. 88). Перепад давлений измеряется при помощи дифференциального манометра. В качестве водомера могут быть использованы обычные стандартные колена. Несмотря на меньшую точность в определении расходов ($\pm 5\%$), они находят широкое применение.

Для измерения расхода чистых и загрязненных вод может быть применен индукционный водомер. Принцип его работы состоит в измерении электродвижущей силы, возникающей при движении жидкости через электромагнитное поле (рис. 89).

Индуктируемая электродвижущая сила при установившемся движении воды пропорциональна скорости и определяется по формуле:

$$E = BDv10^{-8}, \qquad (79)$$

где B — индукция магнитного поля;
D — внутренний диаметр трубы;
v — скорость движения жидкости в магнитном поле.

Если в формуле (79) скорость выразить через расход, то она примет вид:

$$E = \frac{4B}{\pi d^2} Q, \qquad (80)$$

где Q — расход воды, м³.

Из выражения следует, что электродвижущая сила прямо пропорциональна расходу и не зависит от характера распределения скоростей по живому сечению трубы.

Нормальная работа водомера возможна при относительно высоких скоростях движения воды через датчик. Поэтому диаметр трубы отвода, на котором устанавливают датчик, следует определять по формуле:

$$D_0 = 2{,}5\sqrt{\frac{Q_0}{v_n}}, \qquad (81)$$

где Q_0 — верхний предел измерения расхода (табл. 4);
v_n — средняя скорость струи, набегающей на входной участок трубы отвода.

Таблица 4. **Основные характеристики водомеров**

Условный проход датчика, мм	10	15	25	40	50	80
Пределы измерения расходов Q_0, м³/ч	0—0,4 0—0,5 0—0,69 0—0,8 0—1	0—1 0—1,25 0—1,6 0—1 0—2,5	0—2,5 0—3,15 0—4 0—5 0—6,3	0—6,3 0—80 0—10 0—12,5 0 - 16	0—10 0—12,5 0—16 0—20 0—25	0,25 0—31,4 0—40 0—50 0—59
Предельная скорость воды в датчике, м/с	1,4—3,5	1,5—3,9	1,4—4,6	1,4—3,5	1,4—2,3	1,4—3,5

При установке водомера необходимо, чтобы расстояние от датчика до вторичного прибора (самописца, специально проградуированного миллиамперметра типа Н-300) не превышало 100 м. Вблизи этого прибора не должно быть работающих агрегатов и токопроводящих кабелей, которые создают электромагнитное поле и могут исказить показания прибора.

Недостатки прибора: сложность конструкции и создания условий для нормальной работы, недостаточная надежность и высокая стоимость.

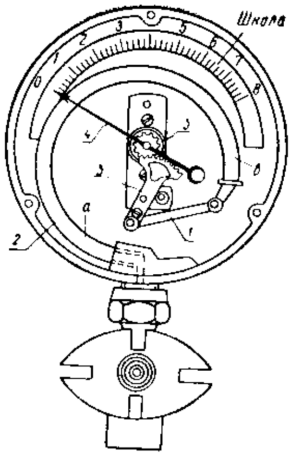


Рис. 90. Трубчатый манометр:
1 — рычаг; *2* — овальная трубка; *3* — зубчатка; *4* — стрелка; *5* — зубчатое колесо; *а* — открытый конец трубки; *в* — запаянный конец трубки.

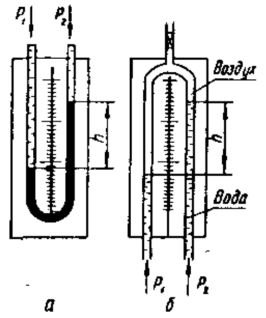


Рис. 91. Дифференциальные манометры:
а — ртуть; *б* — вода.

Расход воды, кроме рассмотренных способов определения расходов воды водомерами в открытых и закрытых руслах, можно определить по формуле.

Скорость в любой точке потока можно измерить при помощи различного типа вертушек, трубками Пито и другими устройствами. Эти способы определения расхода применяют в лабораториях и на насосных станциях при опытно-производственных исследованиях их работы.

Манометрами (рис. 90) измеряют избыточное давление (превышение над атмосферным давлением). Ими можно измерять давление воды, пара и газа. Действие манометра основано на деформации пружины под действием измеряемого давления.

Он состоит из согнутой (овальной) трубки *2* с открытым концом *а*, сообщающимся со средой, давление которой измеряют. Второй конец этой трубки *в* запаян. Измеряемое давление действует на трубку, раскручивая ее. При этом свободный конец движется вправо и вверх. Это движение трубки передается через рычаг, зубчатку и зубчатое колесо стрелке, которая, перемещаясь, показывает на циферблате измеряемое давление. При отсутствии давления стрелка показывает на нуль и упирается в штифт, ограничивающий ее перемещение влево.

Манометр показывает давление в горизонтальной плоскости, проходящей через ось прибора.

Для определения давления, создаваемого насосом, манометр устанавливают на его напорном патрубке через спиральную или дугообразную трубку. Перед ним на трубке ставят трехходовой кран, с помощью которого перед измерением давления продувают воздух, скапливающийся в трубке, включают и выключают его.

Кроме рассмотренного манометра, для измерения давления применяют гидравлические (ртутные и водяные), электрические и самопишущие манометры.

Манометры периодически проверяют в Палате мер и весов, которая ставит на манометр пломбу с указанием даты проверки. Манометр без такой пломбы считается непригодным.

Дифференциальные манометры служат для измерения разности давлений в водомерах. Рабочей жидкостью в манометрах может быть ртуть или вода (рис. 91). Механический поплавковый дифференциальный манометр (тип ДП) может быть снабжен самописцем.

Вакуумметры применяют для измерения разрежения (вакуума), создаваемого насосами, равного разности между атмосферным и абсолютным (меньшим, чем атмосферное) давлением, а также для контроля вакуума в различных аппаратах. Устройство вакуумметра аналогично устройству манометра. Шкала вакуумметра имеет деление от 0 до 10 м.

Вакуумметры устанавливают на всасывающих патрубках насосов или на всасывающем воздушном колпаке (у поршневых насосов). Вакуумметр, так же как и манометр, должен быть снабжен краном для его включения и выключения. Вакуумметр показывает давление в том месте, где подсоединен.

§ 8. ПРИЕМКА И ИСПЫТАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ

Приемка построенного трубопровода заключается в проверке его соответствия проекту и в испытаниях под давлением и оформляется соответствующими актами.

Все отступления от проекта вносятся в исполнительные рабочие чертежи. Для стального трубопровода, кроме указанного, требуется акт на приемку противокоррозийной изоляции и журнал сварочных работ.

Трубопроводы испытывают по участкам длиной 500—1000 м гидравлическим способом или сжатым воздухом, как правило, два раза (до и после засыпки землей). Первое испытание проводят сами строители. До начала первого испытания уложенный в траншею трубопровод частично засыпают землей на высоту 0,5—0,6 м с подбивкой грунта между трубами и траншеей. Стыки труб оставляют незасыпанными для наблюдения за ними во время испытания. На поворотах трубопровода устанавливают упоры, предохраняющие его от смещения во время испытаний. Особенно надежно закрепляют концы испытываемого участка, предварительно закрыв их заглушками — патрубки с глухими фланцами. Использование задвижек вместо заглушек не разрешается.

При испытании стальных трубопроводов торцовые заглушки приваривают к концам испытываемого участка и в дополнительных упорах не нуждаются.

Для наполнения трубопровода водой к нему в самой низкой точке присоединяют линию диаметром 25—50 мм, по которой подводят воду из напорной сети или от насоса. В повышенных точках испытываемого трубопровода устанавливают стояки диаметром 19—25 мм с вентилями для выпуска воздуха. Водой трубопровод следует наполнить медленно, чтобы удалить из него воздух. При наличии воздуха давление в трубопроводе даже при значительной утечке падает медленно, и это может привести к ошибочному заключению о хорошем качестве трубопровода.

Чугунные и асбестоцементные трубы нужно наполнять водой за 24—48 ч до испытания для того, чтобы пеньковая прядь чугунных труб пропиталась водой и уплотнилась под рабочим давлением, а стенки асбестоцементных труб впитали в себя воду. Стальные трубы диаметром менее 250 мм заполняют водой также за 24 ч до испытания. При больших диаметрах трубопровода этот срок увеличивают до 48—72 ч, чтобы выровнять температуру воды, труб и грунта. Перед началом испытания закрывают кран, соединяющий подводящую линию с трубопроводом, и вентиль для выпуска воздуха.

Стальные и чугунные трубопроводы, предназначенные для работы под давлением менее 0,5 МПа, испытывают на давление 1 МПа, которое является минимальным испытательным давлением. При рабочем давлении более 0,5 МПа испытательное давление должно быть на 0,5 МПа больше рабочего. Винипластовые и фаолитовые трубопроводы испытывают лишь при положительных температурах. Фаолитовые трубы испытывают на двойное рабочее давление, но не более 0,7 МПа.

Заполненный водой трубопровод предварительно опрессовывают в течение 15 мин под испытательным давлением. Это давление дает возможность стабилизировать размеры трубопровода, после чего вновь создается испытательное давление, и если в течение последующих 15 мин не обнаружено течи и других дефектов, трубопровод считается выдержавшим испытание.

Гидравлические испытания полиэтиленовых трубопроводов проводят дважды в следующем порядке. В трубопроводе создается 1,5-кратное условное давление, которое поддерживается 30 мин. После этого трубопровод осматривают. При положительных результатах (нет утечек) трубопровод засыпают грунтом и окончательно его испытывают. Для этого создается 1,5-кратное условное давление, поддерживаемое 30 мин периодическим подкачиванием. Затем давление снижают до условного путем выпуска части воды через кран у манометра и трубопровод выдерживают еще в течение 30 мин. За это время достигается стабильность размеров трубопровода и давления. В последующие 15 мин замеряют падение давления в трубопроводе: если оно упадет не более чем на 0,01 МПа, то трубопровод выдержал испытание.

Винипластовые трубопроводы испытывают не ранее чем через сутки после склеивания последнего стыка. Давление при испытании принимается равным рабочему плюс 0,5 МПа.

Трубопроводы из асбестоцементных и предварительно напряженных железобетонных труб испытывают на давление, превышающее рабочее на 0,5 МПа.

Испытательное давление в трубопроводе создают при помощи ручного или механического гидравлического пресса или обычным ручным плунжерным насосом. Установка для опрессовки трубопровода изображена на рисунке 92.

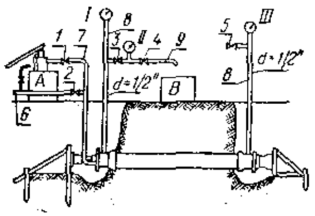


Рис. 92. Схема оборудования участка трубопровода для гидравлического испытания:

I, II, III — манометры; *А* — гидравлический пресс; *В* — мерный сосуд; *1, 2, 3, 4, 5* — вентили; *6* — труба для заполнения трубопровода; *7* — труба гидравлического пресса; *8* — стояки; *9* — труба для выпуска воды в мерный сосуд *Б*.

При предварительном испытании трубопровод выдерживают под давлением не менее 10 мин. После этого давление снижают до рабочего и осматривают трубопровод. Трубопровод считается выдержавшим испытание, если в нем не разорвались трубы, не нарушились стыковые соединения и не обнаружены утечки.

Окончательное испытание проводят в такой последовательности. Давление в трубопроводе при помощи гидравлического пресса доводят до испытательного и в течение не менее 10 мин не допускают его падения больше чем на 0,1 МПа, производя дополнительную подкачку воды прессом. Затем, выпуская воду из трубопровода, снижают давление до деления манометра, близкому к испытательному (начальное давление).

После этого наблюдают за падением давления не менее 10 мин, подкачивая при этом воду из мерного бачка и доводя давление до испытательного. Затем, выпуская воду из трубопровода в мерный бачок, снижают давление до первоначального и определяют утечку воды из трубопровода по формуле:

$$q = \frac{W}{bt}, \qquad (82)$$

где W — разность объемов в мерном сосуде от начала до конца испытаний (разница подкачанного и выпущенного объемов воды);

b — коэффициент давления ($b=1$ при падении давления до 20% испытательного, $b=0{,}9$ при падении давления свыше 20% испытательного);

t — продолжительность испытания трубопровода.

Трубопровод считают выдержавшим испытание, если в нем не разорвались трубы и утечка не превышает допустимой.

Перед пуском водопровода в эксплуатацию его промывают сильным током воды до тех пор, пока промывная вода не будет достаточно чистой.

После этого его дезинфицируют, для чего наполняют на сутки водой, содержащей в 1 л 20—40 мг активного хлора. Затем хлорную воду выпускают и трубопровод повторно промывают чистой водой. На мелиоративных насосных станциях эти работы не выполняют.

Пробная эксплуатация продолжается 8—10 суток, за это время проверяют действие всех приспособлений и арматуры трубопровода.

Гидравлический метод испытания трубопровода имеет и свои недостатки. Часто из-за неудачного соединения стыков труб или арматуры трубопровод дает течь, вода заполняет траншею, и производство работ по устранению недостатков монтажа затрудняется. Зимой вода в трубах может замерзнуть.

Во избежание излишних работ по водоотливу из траншей и для исключения возможности замерзания воды в трубах некоторые строительные организации испытывают трубопровод на заданное давление сжатым воздухом, подаваемым в трубопровод от компрессора. Основным недостатком пневматического испытания трубопроводов является опасность возникновения разрывов труб.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение трубопроводов внутри здания насосной станции? 2. Начертите возможные схемы компоновки всасывающих и напорных трубопроводов. 3. Назначение коллекторов всасывающих и напорных трубопроводов и в каких насосных станциях они устраиваются? 4. Покажите возможные схемы компоновки напорных водоводов мелиоративных насосных станций. 5. Как прокладывают трубопроводы в здании насосной станции? 6. Каково назначение всасывающего трубопровода и требования, предъявляемые к нему? 7. Как обеспечивается герметичность всасывающего трубопровода? 8. Из каких труб сооружается всасывающий трубопровод? 9. Какие фасонные части и арматуру можно устанавливать на всасывающем трубопроводе? 10. Устройство, назначение и условия установки всасывающего (приемного) клапана. 11. Чем оборудуют конец всасывающей трубы при пуске насоса с помощью вакуум-насоса? 12. Когда на всасывающем трубопроводе устанавливают задвижки? 13. Назначение и устройство напорного трубопровода. Требования, предъявляемые к нему. 14. Трубы напорного трубопровода и способы их соединения. 15. Перечислите способы заделки стыков чугунных раструбных труб. 16. Способы сборки и сварки стального напор-

ного трубопровода? 17. Как соединяют асбестоцементный трубопровод при помощи асбестоцементных муфт и чугунной болтовой муфты? 18. Устройство и назначение задвижек. 19. Для чего служит обратный клапан, его устройство, место установки и назначение? 20. Что называется гидравлическим ударом, каковы причины его возникновения и борьба с ним?. 21. Расскажите устройство и назначение компенсаторов и место их установки. 22. Вантузы, место их установки и назначение. 23. Водовыпуски, место их установки и оборудование. 24. Типы водомеров, назначение и условия их установки. 25. Назначение и устройство манометров, место их установки. 26. Назначение вакуумметров и место их установки. 27. Как принимают и испытывают трубопроводы?

ГЛАВА 8

ДВИГАТЕЛИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ С НАСОСАМИ

Для привода насосов в работу на насосных станциях главным образом применяют электрические двигатели. Возможно также использование двигателей внутреннего и внешнего (паровые) сгорания. Иногда для привода насосов, с целью водоснабжения мелких животноводческих ферм, полевых станов применяют ветросиловые установки.

Электроприводом называют устройство, состоящее из электрического двигателя, аппаратуры для управления электрическим двигателем и механической передачи энергии от двигателя к рабочей машине (насосу).

§ 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

На насосных станциях применяют электродвигатели постоянного тока, асинхронные и синхронные двигатели переменного трехфазного тока.

Электродвигатели постоянного тока используют при питании насосной станции постоянным током от небольших электростанций с генераторами постоянного тока. Обычно применяют переменный ток.

Постоянный ток на насосных станциях необходим для автоматизации процессов управления, его получают от генератора постоянного тока, приводимого в действие электродвигателем переменного тока, или ртутного выпрямителя. В настоящее время чаще пользуются выпрямителями переменного тока.

Асинхронные электродвигатели в зависимости от типов обмоток ротора бывают с короткозамкнутым и фазовым ротором. Наиболее простыми из них являются короткозамкнутые асинхронные электродвигатели, которые в отличие от электродвигателей с фазовым ротором не требуют пуска специальных устройств.

У синхронных электродвигателей для получения пускового момента в его роторе устанавливают дополни-

тельную пусковую короткозамкнутую обмотку, подобную обмотке ротора асинхронного электродвигателя. Впоследствии эта обмотка при установившемся движении потока служит для сглаживания колебаний скорости вращения ротора и тока статора, если изменяется напряжение.

§ 2. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ К НАСОСУ

При подборе двигателя к насосу необходимо знать: мощность на валу насоса, частоту вращения вала, режим работы агрегата, исполнение насоса (горизонтальное или вертикальное), напряжение и мощность источника тока.

Подбирают насос по каталогам насосов по заданной подаче Q, полной высоте подъема H и условиям его использования (см. главу 3). Затем по формулам (43, 44) находят мощность двигателя. По мощности, частоте вращения вала насоса, его исполнению, напряжению и мощности источника тока по каталогам подбирают электрический двигатель.

Подбор двигателя по напряжению проводят в зависимости от его мощности и напряжения питающей сети.

Насосные станции снабжаются электроэнергией от городских и районных сетей, находящихся в ведении энергоуправлений или от сетей промышленных предприятий напряжением: 10; 6; 3; 0,5; 0,38 кВ. Если насосная станция питается от сети с напряжением 10, 6 и 3 кВ, то устанавливают двигатели на том же напряжении, так как при этом отпадает необходимость в строительстве понижающих подстанций.

Придерживаясь стандартной шкалы асинхронных двигателей, выпускаемых отечественными заводами, двигатели мощностью от 100 кВт при напряжении 3 кВ и мощностью 200 кВт при напряжении 6 кВ можно принимать на том же напряжении. Двигатели мощностью до 100 кВт принимают напряжением 380 В и реже 500 В, так как совместное питание двигателей и осветительной сети исключается.

При подборе электродвигателей к насосам рекомендуется при мощности до 200—300 кВт устанавливать асинхронные короткозамкнутые двигатели, а более

300 кВт — синхронные высокого напряжения (6 и 10 кВ). Асинхронный двигатель имеет меньшую частоту вращения из-за скольжения ротора.

Среда, в которой приходится работать двигателям, может быть разнообразной. Поэтому по отношению к окружающей среде их делят: на открытые и закрытые с вентиляцией; защищенные от влаги и капель воды; взрывоопасные и герметические. Обмотка двигателей может быть нормальной и противосыростной.

В поверхностных насосных станциях применяют открытые двигатели. В заглубленных и глубоких — защищенные, а в погружных насосах — герметические.

Вал электрического двигателя по условиям его применения может быть горизонтальным и вертикальным. Двигатели с горизонтальным валом крепят на фундаменте при помощи лап, а соединяют с насосом в основном соединительной муфтой. Для крепления вала двигателя с вертикальным валом насоса служат жесткие фланцевые муфты. Отличительная особенность вертикального двигателя от горизонтального — наличие подшипников опорного, упорного или направляющего типа.

При выборе типа двигателя важное значение имеют развиваемые им моменты: при пуске двигателя, нормальной работе и остановке, а также при перегрузках. Моменты двигателя принято называть вращающими, а моменты насоса — моментами сопротивлений. У электродвигателей различают моменты: пусковой $M_п$, номинальный (рабочий-нормальный) $M_н$ и максимальный (во время максимальной перегрузки) $M_м$.

Малыми пусковыми моментами обладают асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, имеющие обмотки роторов с двойной клеткой или с глубоким пазом ($M_п > 1{,}7 \div 2{,}5\ M_н$). Хорошей пусковой характеристикой обладают синхронные двигатели при асинхронном запуске. Данные о моментах электрических двигателей приводятся в каталогах.

Центробежные насосы имеют $M_п$ (при закрытой задвижке) в пределах 40—70% номинального. Осевые (пропеллерные), без устройств для поворота лопастей, могут иметь пусковой момент больше номинального. Поэтому привод в работу осевого насоса с синхронным двигателем производят при асинхронном пуске. Осевые насосы с поворотными лопастями запускаются значительно легче.

§ 3. СПОСОБЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕТЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Существуют три способа включения двигателей в сеть: непосредственный — через линейный выключатель; запуск двигателя через реактор; запуск через пусковой автотрансформатор.

Непосредственное включение асинхронного короткозамкнутого двигателя в сеть при помощи рубильника или магнитного пускателя увеличивает пусковой ток в 3—7 раз по сравнению с номинальным, что вызывает падение напряжения, которое отражается на работе других потребителей тока. Этот способ пуска для мощных двигателей не всегда рекомендуется.

При соответствующем конструировании электрической сети и электростанции большой мощности можно осуществить прямой пуск двигателей от полного напряжения сети (насосные станции канала имени Москвы, Волго-Донского канала имени Ленина и др.).

Запуск двигателя через реактор — статический индуктивный аппарат с одной системой обмоток, служащей для защиты и регулирования электрической сети, широко распространен в практике водоснабженческих насосных станций.

Запуск через пусковой автотрансформатор происходит по следующей схеме: в начале включается нулевой выключатель, замыкающий накоротко (звезда) три фазы автотрансформатора, благодаря чему создастся нулевая точка. Затем включается линейный выключатель, который подключает часть напряжения сети, вращая двигатель на малой частоте (разгон). Через некоторое время выключается нулевой выключатель и включается пусковой переключающий двигатель на рабочее напряжение.

Электроэнергию насосные станции, работающие в сельском хозяйстве, могут получать от различных источников. При снабжении насосной станции током от какой-либо районной электростанции ток к ней подводят от понижающей подстанции. Если насосная станция с двигателями низкого напряжения получает ток от ЛЭП высокого напряжения (10, 6 и 3 кВ), то устраивают понижающую подстанцию, в состав которой входят силовые трансформаторы, аппаратура управления и распределения энергии и др.

Понижающую подстанцию можно расположить отдельно от насосной станции открыто или трансформаторы установить в самом здании в отдельном помещении, изолированном от машинного зала. Иногда устраивают подстанцию для нескольких насосных станций. В ответственных насосных станциях (осушительных от затопления) питание током производится от двух источников.

§ 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ

Короткозамкнутый асинхронный двигатель не имеет контактных колец и щеток, а ротор имеет упрощенную конструкцию, меньшую массу и размер. При автотрансформаторном пуске стоимость короткозамкнутого электродвигателя может быть больше, чем с фазным ротором. Он требует меньшего времени на уход, чем двигатель с контактными кольцами, удобен при дистанционном управлении, не боится повторного включения напряжения, реже нуждается в ремонте.

Для привода вспомогательных насосов, работающих периодически с большим числом включений в сутки, чаще всего применяют короткозамкнутые двигатели.

Фазовые двигатели применяют только в том случае, если невозможно использовать короткозамкнутый асинхронный двигатель.

Установка синхронных двигателей связана с большими затратами по сравнению с асинхронными, так как для их работы требуются постоянный ток, и у них более сложная аппаратура управления цепями ротора и статора. Все это увеличивает стоимость и усложняет оборудование и эксплуатацию двигателя. Синхронные двигатели работают более устойчиво при колебаниях напряжения в сети по сравнению с асинхронными двигателями. Они допускают кратковременное снижение напряжения до 0,6 номинального.

Применяют синхронные двигатели при приводе мелиоративных насосных станций большой мощности (от 300 кВт и выше). Они обладают высоким коэффициентом мощности ($\cos\varphi$) по сравнению с асинхронными двигателями. Коэффициент мощности у этих двигателей может быть равным единице.

§ 5. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ ОТ ДВИГАТЕЛЯ К НАСОСУ

Для механической передачи энергии от двигателя к насосу существует четыре вида соединений: прямое, непосредственное через муфту, через зубчатые колеса и через ременную передачу.

Передача посредством прямого соединения применяется в установках поршневых прямодействующих насосов. У этих насосов поршень паровой машины соединяется с поршнем насоса при помощи общего поршневого штока, и оба поршня внутри цилиндров совершают возвратно-поступательное движение.

При вращательном движении двигателя прямая передача может быть осуществлена устройством общего вала для насоса и двигателя. Такую передачу используют для небольших центробежных насосов и вакуум-насосов (моноблочные насосы). К. п. д. передачи моноблочных насосов равен единице.

Передача энергии непосредственно через муфту возможна в том случае, когда оси двигателя и насоса совпадают, а частота вращения двигателя равна требуемой. На рисунке 93 изображена дисковая эластичная муфта, которая состоит из двух дисков-полумуфт, насаженных на валы насоса и двигателя. Диски на валах крепятся при помощи шпонок. Один из дисков муфты имеет цапфы (пальцы), на которые надеваются резиновые цилиндрические кольца, а другой — цилиндрические отверстия для пальцев. Резиновые кольца служат для поглощения ударов, возникающих во время пуска и работы насоса. Кроме эластичной муфты, существуют и другие разновидности (жесткие муфты сцепления, муфта Гука и др.). Передача энергии через муфту удобна, компактна, не требует дополнительной площади для ее установки. К. п. д. такой передачи равен единице.

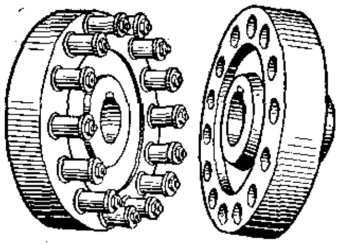


Рис. 93. Соединительная муфта.

Зубчатая передача применяется исключительно для передачи вращательного движения, когда вал двигателя не совпадает с валом насоса. В зависимости от взаимного расположения валов зубчатые колеса делятся на: цилиндрические — для параллельных валов, конические — для валов, оси которых при продолжении пересекаются; гиперболические — для непересекающихся валов.

Зубья цилиндрических колес строятся прямыми, косыми и угловыми (шевронными). Два последних типа применяют в тех случаях, когда нужно уменьшить шум, возникающий при соприкосновении зубьев. Примером гиперболических колес могут служить червячные колеса и червяки, применяющиеся большей частью для перевода быстрого движения в медленное.

Зубчатая передача используется в установках поршневых насосов. Прямая передача, а также передача посредством муфты и зубчатых колес являются составной частью двигателя и насоса. Поэтому они изготовляются на заводах, поставляются потребителю в готовом виде, и с ними приходится иметь дело лишь при монтаже оборудования. Ременную передачу приходится проектировать и монтировать на месте.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислить, какие двигатели можно применять на насосных станциях? 2. Когда применяют электрические двигатели постоянного тока? 3. Какие существуют типы двигателей переменного тока и как их применяют на насосных станциях? 4. Каковы отличительные черты асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазовым ротором? 5. Когда применяют привод насосов от синхронных двигателей? 6. Какие существуют виды передач механической энергии от двигателей к насосам? 7. У каких насосов энергия передается путем прямого соединения? 8. Когда может быть применена непосредственная передача через муфту? 9. Устройство эластичной муфты и ее достоинства.

11 Заказ № 2576

ГЛАВА 9

МОНТАЖ НАСОСОВ

Насосы, изготовляемые машиностроительными заводами, поставляются потребителю в собранном виде или отдельными узлами.

Комплектует насосные агрегаты завод. Центробежные горизонтальные насосы типа К завод поставляет в комплекте с электродвигателем, смонтированным на общей фундаментной плите. Насосы типа Д, осевые насосы типа О, ОП и центробежные вертикальные насосы типа В (для комплектации этих насосов заводу должен быть представлен опросный лист по форме, имеющейся в каталогах насосов, где указывается: марка насоса и двигателя, основные их параметры, условия работы и другие сведения) заводам поставляются раздельно, а скважинные насосы комплектно (насос, электрический двигатель, электрощит, водоподъемные трубы, трансмиссионный вал, а при автоматической установке — ящик системы автоматического управления). Условия комплектации и поставки насосного оборудования регламентируются соответствующими инструкциями.

Крупные насосы собирают на строительно-монтажной площадке. Для их монтажа завод командирует своего специалиста, который руководит работами, осуществляет пуск и налаживает работу насоса.

§ 1. ПОДГОТОВКА НАСОСНОГО АГРЕГАТА К МОНТАЖУ

Прежде чем приступить к монтажу агрегата, выполняют подготовительные работы: составляют график производства монтажных работ, определяют потребность в рабочей силе, оборудуют монтажную площадку грузоподъемными приспособлениями и устройствами, необходимыми для монтажа агрегата. Только после выполнения указанных работ осуществляют реконсервацию, ревизию и монтаж насосного оборудования.

При составлении графика производства работ исходят из ориентировочной продолжительности монтажа, которая определяется по нормам и техническим условиям на монтаж специального оборудования. Оснащение монтажных бригад производится организацией, ведущей монтажные работы.

Завод-изготовитель вместе с насосным агрегатом поставляет также некоторый специальный инструмент, приспособления для монтажа и прокладочный материал.

К работе на грузоподъемных устройствах и механизмах допускаются только лица, имеющие право выполнять грузоподъемные операции.

Чтобы приступить к монтажу насосного агрегата, необходимо иметь техническую документацию, паспорта на двигатель и насос, технические условия, монтажные и сборочные чертежи, заводские инструкции по монтажу и эксплуатации оборудования и др. Вся эта документация поставляется потребителю заводом-изготовителем вместе с агрегатом или пересылается почтой.

Доставленное на строительно-монтажную площадку насосное оборудование подлежит реконсервации. Реконсервацию проводят заблаговременно, с таким расчетом, чтобы очищенные от смазки детали не подверглись ржавлению до начала монтажных работ.

Оборудование, доставленное в упаковке, распаковывают, осматривают и сверяют с записями формуляров. Наружным осмотром проверяют, нет ли повреждений деталей насоса и двигателя.

Масляные покрытия, нанесенные при консервации на заводе, удаляют, промывая мелкие детали в керосине и тщательно протирая их ветошью, а крупные протирая ветошью, смоченной в керосине.

Если консервирующее покрытие плохо смывается или стирается, его соскабливают медными или алюминиевыми пластинками.

Все детали, очищаемые от смазки, просматривают, чтобы выяснить, нет ли на них повреждений.

При реконсервации проверяют подшипники и сальники. Особо тщательно осматривают баббитовые подшипники, вкладыши которых не должны иметь царапин, забоин, трещин и отставания баббита от тела вкладыша. Мелкие повреждения деталей исправляют на месте, а крупные фиксируют актом и передают на исправление

ближайшему ремонтно-механическому заводу. Рекон-сервированное оборудование должно храниться в сухих закрытых помещениях.

§ 2. ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

В настоящее время строительство самых различных сооружений, в том числе и насосных установок, ведется с применением грузоподъемных устройств. Механизация монтажных работ облегчает труд рабочего и ведет к сокращению потребности в рабочей силе, повышает качество выполняемых работ, уменьшает их стоимость и сроки.

Для подъема и опускания деталей насосов, двигателей, фасонных частей и арматуры при монтаже насосных установок применяют монтажные треноги, козлы и стальные балки, оборудованные ручными талями (рис. 94). Таль состоит из червячного колеса *1*, на вал которого насажен цепной блок (неподвижный ролик) с перекинутой через него цепью *2*, служащей для подъема груза. В петле цепи подвешен подвижный ролик *4* с крюком *3* для подъема груза. Один конец цепи закреплен в обойме, а второй висит свободно. Усилие передается посредством тяговой цепи и тягового колеса, насаженного на червячный вал. При монтаже мелких насосных установок применяют тали грузоподъемностью 500—1000 кг.

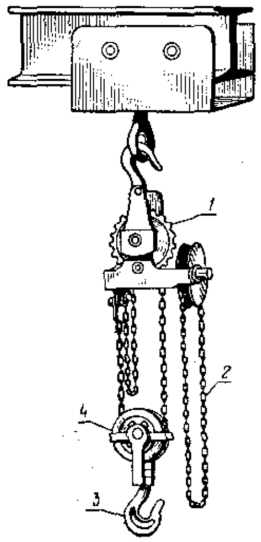


Рис. 94. Таль:
1 — червячное колесо; *2* — цепь; *3* — крюк; *4* — подвижный ролик.

Для подъема и опускания тяжелых деталей иногда используют лебедки, снабженные тросом с подъемным крюком. Лебедка состоит из станины, барабана, на который накручивают трос, и рукоятки, с помощью которой вращается барабан. Между осью барабана и осью рукоятки вводится одна или две пары зубчатых колес, позволяющих значительно сокращать усилия, необходимые для перемещения груза. Для предупреждения самопроизвольного раскручивания лебедки устанавливают храповик с собачкой или ленточный ручной тормоз.

Все указанные грузоподъемные устройства могут перемещать грузы только в вертикальном направлении.

Для перемещения грузов как в вертикальном, так и в горизонтальном положении в здании насосной станции с большим числом агрегатов устанавливают мостовые краны, позволяющие перемещать детали в любую точку машинного зала. Привод мостового крана может быть ручным и электрическим.

Монтаж и демонтаж насосного оборудования трубчатых колодцев можно выполнять при помощи автомобильных кранов.

При производстве монтажных работ применяют канаты или тросы. Чаще всего грузы перемещают с помощью стальных тросов и приспособлений к ним (стропы, крюки и др., рис. 95).

При проведении подъемных работ необходимо: не допускать подвязки груза тросом или канатом, а стремиться захватить его без завязки узлов при помощи стропа (рис. 96) за специальное кольцо или петлю; следить, чтобы центр тяжести поднимаемого груза находился в середине между захватом стропа. Это обеспе-

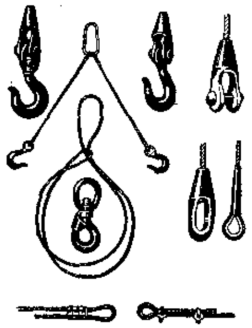


Рис. 95. Стропы и крюки.

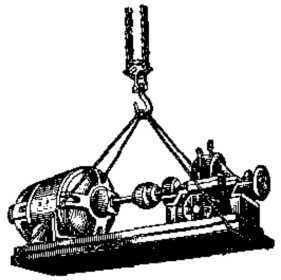


Рис. 96. Подъем центробежного насоса.

чивает равномерную загрузку всех ветвей стропа и равновесие поднимаемого груза; не допускать соприкосновения троса с острыми ребрами поднимаемого груза, применять различного рода прокладки; не допускать превышения расчетной нагрузки на трос.

§ 3. ФУНДАМЕНТЫ ПОД НАСОСЫ

Для обеспечения нормальной работы насосного агрегата его устанавливают на прочном фундаменте. Материалом для строительства фундаментов могут быть бетон, бутобетон, железобетон, бутовый камень и кирпич. Выбор материала фундамента зависит от размеров монтируемого агрегата, его мощности, грунтов основания и наличия местных строительных материалов.

При строительстве бетонных фундаментов марка укладываемого бетона должна быть не менее 90 (прочность на сжатие 9МПа). Хорошим строительным материалом для фундаментов является бутовый камень. Кирпичную кладку (нормально обожженный или пережженный кирпич) применяют только для фундаментов, располагаемых выше уровня грунтовых вод. Марка кирпича должна быть не ниже 150; кладку его следует вести на цементном растворе марки выше 25.

Размеры фундамента в плане определяются габаритными размерами насосного агрегата. Если насосный агрегат смонтирован на общей фундаментной плите, то ширину и длину фундамента под плитой принимают на 5—10 см больше ширины и длины фундаментной плиты.

Глубина заложения подошвы фундамента зависит от мощности монтируемого агрегата, глубины промерзания грунтов и их физических свойств. Она должна быть не меньше глубины каналов трубопроводов, а также глубины фундаментов соседних агрегатов. Фундаменты под агрегаты должны быть разъединены между собой. В местах сопряжения фундаментов с полом насосной станции устанавливают доски на ребро.

В глинистых грунтах, подверженных пучению, глубину фундамента принимают не менее 1,25 м, в песчаных же грунтах она может быть значительно меньше, но не менее 50—70 см.

Фундаментная кладка должна быть выше уровня чистого пола на 10—20 см. Если пол здания насосной

станции подтапливается грунтовыми водами, то его устраивают в виде железобетонной плиты, на которой монтируют насосные агрегаты.

Монтаж насосных агрегатов обычно ведут по монтажным чертежам, и поэтому все размеры фундаментов насосных агрегатов и других элементов насосной станции принимают по проекту.

Обычно фундаменты под насосные агрегаты сооружают в период строительства насосной станции, а монтируют насосные агрегаты несколько позже. Поэтому перед монтажом насосов и двигателей проверяют, нет ли в фундаментах трещин, раковин и пустот. Фундаменты должны быть достаточно прочны, чтобы воспринять статическую нагрузку от веса агрегата и воды, находящейся в насосе и трубопроводе, а также динамическую нагрузку, возникающую в период работы агрегата. При проверке фундаментов допускается отклонение от проектных размеров на ± 15 мм.

Высотные отметки поверхностей, на которых устанавливают двигатели и насосы, должны быть на 30—40 мм ниже подошвы рам или плит, что необходимо для установки прокладок и подливки бетона при монтаже агрегатов.

Качество бетонной кладки проверяют внешним осмотром и обстукиванием молотком. Бетонный фундамент, изготовленный из бетона марки 200, при обстукивании должен издавать звонкий звук и не оставлять заметных вмятин от ударов молотка, а из марки 100— издавать глухой звук и оставлять заметные вмятины от удара молотка.

После проверки фундамента обнаруженные раковины или пустоты обрабатывают зубилом до полного удаления бетона низкого качества, поверхности зачищают стальными щетками, промывают водой и заделывают цементным раствором с мелким заполнителем.

Перед монтажом насосных агрегатов очищают фундаменты от пыли и грязи, освобождают монтажную площадку от посторонних предметов. Размеры монтажной площадки должны быть такими, чтобы на ней разместился наибольший агрегат насосной станции, причем около него должен быть свободный проход не менее 1 м. Кроме того, размеры монтажной площадки должны обеспечить разборку двигателей и насосов при выемке ротора двигателя или вала насоса.

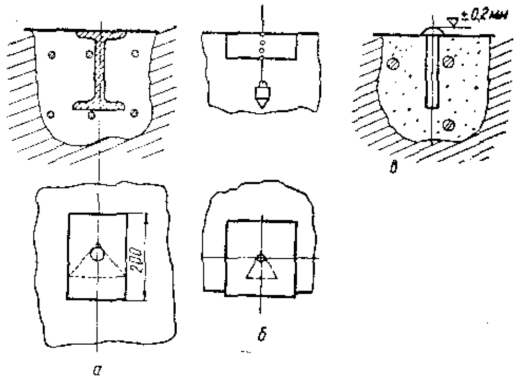


Рис. 97. Плашки (*а* и *б*) и репер (*в*).

При установке агрегата на фундамент особое внимание обращают на то, чтобы точно совпали оси валов двигателей и насосов. Неправильная установка агрегата повлечет за собой нарушение нормальной работы, перегрузку двигателя, чрезмерно быстрый износ подшипников и других трущихся деталей.

Для правильного выполнения монтажа насосного агрегата на фундаменте указывают продольные и поперечные оси и высотные отметки. С этой целью при производстве строительных работ устанавливают реперы и плашки. Репер (рис. 97, *в*) позволяет определить высотную отметку монтируемого агрегата. Необходимую отметку при монтаже агрегата задают с помощью нивелира и реек.

Плашки определяют направление горизонтальных и вертикальных осей. Их изготовляют из отрезков швеллеров, двутавров и других профилей и керном наносят точку, которую обводят несмываемой краской и берут в треугольник при обозначении горизонтальной оси и ряд точек — при обозначении вертикальной оси (рис. 97, *а, б*).

Для проверки осей фундаментов между точками, определяющими положение оси, протягивают шнуры или тонкую проволоку. Для этого в фундаменте устанавливают скобы.

§ 4. МОНТАЖ НАСОСНОГО АГРЕГАТА НА ФУНДАМЕНТЕ

Насосные агрегаты, как правило, устанавливают на металлической сварной раме или плите. Фундаментная рама поставляется заводом или изготовляется по заводским чертежам на строительно-монтажной площадке. Сварную раму изготовляют из продольных и поперечных швеллеров, на которых крепится насосный агрегат (рис. 98).

Перед установкой рамы на фундамент очищают колодцы анкерных болтов от грязи и остатков осыпавшегося бетона. Затем в бетоне вырубают небольшие углубления для установки клиньев и прокладок, при помощи которых агрегат устанавливается в требуемом положении.

Фундаментные рамы крепят к фундаменту анкерными или фундаментными болтами, закладываемыми в колодцы. Затем после выверки горизонтального и вертикального положений фундаментной рамы заливают бетоном. Длину болта обычно принимают 500—700 мм, диаметр — на 3—4 мм меньше диаметра отверстия рамы. Фундаментные болты могут поставляться заводом или изготовляться на месте. При монтаже крупных насосных агрегатов анкерные болты закладывают в бетонную кладку при строительстве фундамента.

Чтобы обеспечить горизонтальное положение вала насоса, подкладки под фундаментную раму кладут так, чтобы опорные плоскости ее под насос и электродвигатель были горизонтальными. До заливки анкерных болтов и фундаментной рамы бетоном опорные поверхности рамы, предназначенные для установки двигателя и насоса, выверяют при помощи уровня, который устанавливают как в продольном, так и в поперечном направлении рамы. Горизонтальности добиваются изменением толщины прокладок.

После выверки горизонтальности и высотного положения рамы при помощи нивелира на раму устанавливают двигатель и насос и центрируют их валы. Горизонтальность валов обеспечивают клиновыми подкладками, помещаемыми под фундаментную раму.

Только после проверки горизонтальности и высотного положения агрегата предварительно затягивают анкерные болты и заливают бетоном. После схватывания

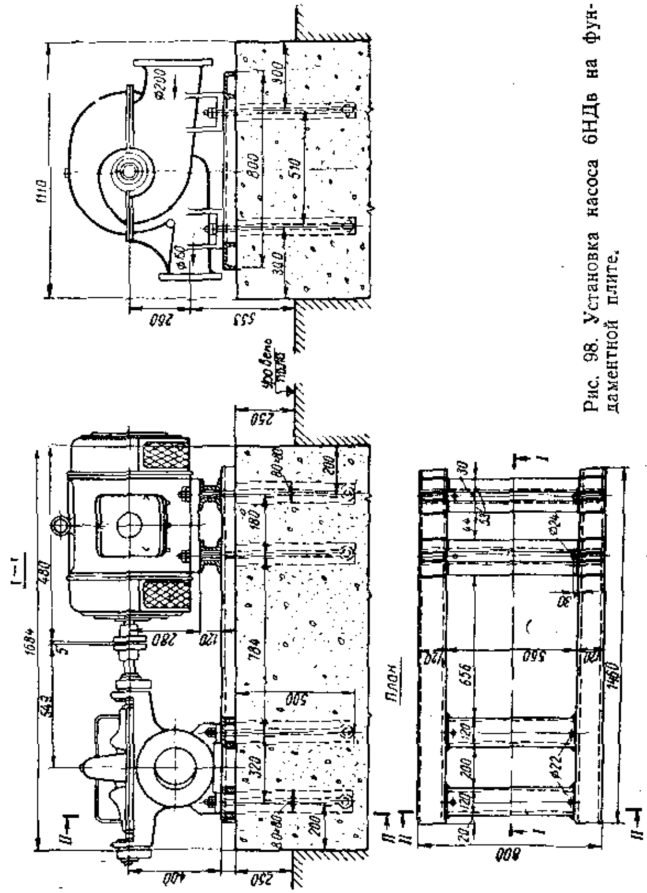


Рис. 98. Установка насоса 6НДв на фундаментной плите.

бетона (через 7—10 суток) их затягивают окончательно и равномерно до отказа, крест-накрест. После завершения монтажных работ проводят контрольную проверку соосности агрегата.

Верхнюю часть фундамента следует зажелезнить цементным раствором с суриком и покрасить, чтобы предохранить от разрушения минеральными маслами.

§ 5. ЦЕНТРИРОВАНИЕ ВАЛОВ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Для того чтобы насосный агрегат работал нормально, валы насоса и двигателя должны быть соосны, то есть их оси должны представлять одну горизонтальную линию. Чаще всего вал двигателя соединяют с валом насоса соединительными муфтами. Соосность валов проверяют, замеряя зазоры по окружности полумуфт и торцовые зазоры между полумуфтами.

Валы насоса и электродвигателя центрируют при помощи линейки и щупа. Для этого валы сдвигают так, чтобы расстояние между их торцами или полумуфтами было 3—5 мм. Зазор замеряют щупом: он должен быть везде одинаков. После этого на полумуфты накладывают поверочную линейку в различных точках и следят за тем, чтобы между линейкой и полумуфтами не было просвета. При обнаружении просвета его замеряют щупом. Затем, применяя подкладки (изменяя их толщину), его ликвидируют. Одновременно с этим замеряют торцовые зазоры в четырех диаметрально противоположных точках. Они должны быть одинаковыми или отличаться не более чем на 0,02 мм.

Кроме рассмотренного способа проверки соосности валов, существуют и более точные, с использованием индикаторов.

§ 6. МОНТАЖ НАСОСОВ ТИПА К

Консольные насосы типа К завод-изготовитель поставляет потребителю на общей фундаментной плите вместе с электродвигателем (рис. 99).

Перед установкой на фундамент следует проверить общее состояние насосного агрегата после транспортировки. Затем провернуть за муфту валы (они должны

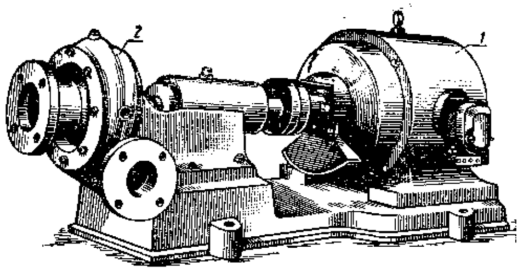


Рис. 99. Насос типа К на фундаментной плите:
1 — электродвигатель; *2* — насос.

свободно проворачиваться от руки). Если они не проворачиваются, освобождают нажимную буксу сальника. Очистив от грязи и пыли фундамент и колодцы анкерных болтов, приступают к установке агрегата. В этом случае разборка насоса не обязательна.

Вначале в колодцы опускают фундаментные болты, а затем устанавливают агрегат на фундамент так, чтобы головки фундаментных болтов прошли через отверстия плиты агрегата, а сама плита встала на подкладки или клинья, поставленные у анкерных болтов. После этого, действуя клиньями или подкладками, по уровню устанавливают агрегат в строго горизонтальное положение.

Проверив соосность валов агрегата указанным выше способом, заливают бетоном фундаментные болты и пространство под фундаментной плитой. Затем спустя 5—7 дней затягивают анкерные болты и проверяют правильность установки.

После монтажа насосного агрегата подсоединяют всасывающий и напорный трубопроводы. Чтобы было удобно снимать крышку насоса при его разборке, на всасывающем трубопроводе между всасывающим патрубком и задвижкой (при ее наличии) или всасывающей трубой устанавливают монтажную вставку — патрубок, присоединяемый на фланцах.

Этим способом можно монтировать и другие горизонтальные насосы, поставляемые на общей фундаментной плите.

§ 7. МОНТАЖ НАСОСОВ, НЕ ИМЕЮЩИХ ОБЩЕЙ ПЛИТЫ

Монтаж горизонтальных насосов, не имеющих общей плиты (типа Д и П), выполняют в следующем порядке. Вначале монтируют насос, а затем электродвигатель.

Проверив состояние фундамента, насос устанавливают на фундамент, пропустив через лапы станины фундаментные болты. Затем известными приемами добиваются горизонтальной установки насоса. Так как насосы типа Д имеют горизонтальный разъем корпуса, то при проверке горизонтальности уровень устанавливают на поверхности разъема в двух портивоположных направлениях. После выверки горизонтального и планового положений насоса заливают фундаментные болты бетоном. Через 6—7 дней после заливки бетоном затягивают гайки фундаментных болтов, наблюдая при этом по уровням за сохранением горизонтальности насоса. Затем устанавливают в корпус вал с рабочим колесом, подшипниками и уплотняющими кольцами. Подшипники монтируют на валу до его установки в корпус. После установки вала проверяют его горизонтальность, поверхность разъема смазывают белилами или солидолом и кладут прокладку из клингерита или других прокладочных материалов и только потом устанавливют вторую половину корпуса (крышку) и крышки подшипников. Крышки равномерно затягивают болтами.

После монтажа насоса приступают к монтажу электродвигателя. Для этого прицентровывают вал электродвигателя к валу насоса, совмещая между собой полумуфты, и заливают бетоном анкерные болты электродвигателя. Через 3—4 дня после затвердения бетона затягивают анкерные болты и центрируют валы по полумуфтам. После выверки валов соединяют полумуфты и проверяют направление вращения двигателя.

§ 8. МОНТАЖ НАСОСОВ АТН

Перед монтажом насоса необходимо провести из скважины откачку с подачей не менее эксплуатационной. Нельзя вести откачку тем насосом, который будет устанавливаться для эксплуатации. До монтажа следует проверить соответствие поперечного размера насоса диамстру скважины в месте установки насоса, а также

ее вертикальность, чтобы избежать перекоса трансмиссионного вала и предупредить преждевременный выход насоса из строя. Насос и напорный трубопровод должны размещаться в скважине с зазорами по 5 мм с каждой стороны.

Для нормальной работы насоса необходимо, чтобы оси трансмиссионного вала и водоподъемных труб были прямолинейны и параллельны между собой.

После проверки скважины шурф вокруг обсадной трубы бетонируют, строго перпендикулярно к ней приваривают фундаментную плиту сплошным швом на высоте 150—200 мм от поверхности земли. Размеры плиты должны быть на 60—80 мм больше станины электродвигателя.

Перед монтажом насоса устанавливают треногу высотой 6—9 м, которую оборудуют грузоподъемными приспособлениями. Монтаж насоса можно вести также и при помощи автокрана.

Трансмиссионные валы должны быть разложены на стеллажах. Резьбы валов просматривают и тщательно очищают от ржавчины и грязи.

Установку монтируют в следующем порядке. Всасывающую трубу соединяют с сеткой и опускают ее в скважину до упора хомута. Затем при помощи грузоподъемных приспособлений поднимают насос и соединяют его со всасывающей трубой.

Трансмиссионный вал собирают в одну колонну вместе с напорными трубами по секциям. В местах соединения труб располагают резиновые подшипники, предварительно натертые тальком.

Секции труб соединяют фланцами, а секции вала — удлиненными бочкообразными муфтами.

Первую секцию присоединяют к фланцу насоса, а затем, наращивая секции, опускают их в скважину на глубину установки насоса. При этом тщательно замеряют длину опускаемых труб.

До монтажа приводной головки с нее снимают трубки маслоуказателя, подвода воды к подшипникам и другие выступающие части. Присоединив отводной патрубок напорных труб, устанавливают станину на фундаментную плиту, приводят ее с помощью подкладок в горизонтальное положение. Затем на вал приводной головки навинчивают регулировочную гайку и вводят его в полый вал электродвигателя. Через окно в опорной

станине на вал надевают резиновое водоотражательное кольцо и вал ввертывают в муфту трансмиссионного вала насоса, но не до отказа. На верхний конец вала приводной головки навинчивают монтажную гайку до упора ее в регулировочную гайку. После этого вал завинчивают в муфту до отказа.

После выполнения указанных работ приступают к регулировке положения рабочих колес насоса. Для этого отвинчивают на несколько оборотов монтажную гайку и приподнимают ротор насоса путем завинчивания регулировочной гайки. Затем затягивают анкерные болты станины. После этого завинчивают монтажную гайку до упора. Регулировочная гайка при этом должна находиться в том же положении. Проверив, что трансмиссионный вал проворачивается свободно, нужно удалить монтажную гайку. Далее нужно отвинтить регулировочную гайку и поставить шпонку между валом головки и полым валом. Завинтив снова регулировочную гайку до образования необходимого зазора между направляющими аппаратами и рабочими колесами, стопорят ее болтом. Затем на приводной головке устанавливают все снятые перед монтажом трубки. Масляные ванны заливают маслом, подтягивают болты нажимной буксы сальника и проверяют вращение колеса насоса.

§ 9. МОНТАЖ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ

Перед монтажом проверяют вертикальность скважины. Допускается отклонение ствола скважины от вертикального положения при условии, если насос будет висеть свободно и не будет касаться стенок скважины. До монтажа ведут откачку воды до полного выноса песка и ила.

Насос должен быть всегда полностью погружен в воду, в противном случае агрегат может выйти из строя. Поэтому минимальный динамический уровень воды в скважине должен находиться выше верхнего направляющего аппарата. Монтаж осуществляется при помощи треноги, оборудованной грузоподъемными приспособлениями, или автокрана в следующем порядке.

Электродвигатель соединяют с насосом, под фланец клапанной коробки прикрепляют хомут, агрегат при помощи лебедки поднимают над устьем скважины, заводят в скважину и опускают вниз до упора хомута на об-

садную трубу. Второй хомут крепят под муфту первой водоподъемной трубы, поднимают и соединяют с фланцем клапанной коробки; при этом к трубе хомутами прикрепляют электрический кабель. Затем поднимают агрегат над скважиной, освобождают нижний хомут и опускают его в скважину до упора верхнего хомута. Таким способом опускают агрегат на полную глубину. К самой верхней трубе присоединяют опорную плиту и укладывают кабель в паз плиты. Приподнимают весь агрегат, снимают хомут, присоединенный к верхней трубе, опускают плиту так, чтобы фундаментные болты прошли в отверстия плиты, после чего закрепляют болты и присоединяют к плите отводное колено. После монтажа агрегата монтируют пусковое оборудование.

§ 10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МОНТАЖЕ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Основные правила техники безопасности при выполнении монтажных работ сводятся к следующему.

1. К работам по монтажу насосных агрегатов допускаются лица, ознакомившиеся с правилами техники безопасности.

2. Монтажная площадка должна быть оборудована станками и приспособлениями, обеспечивающими безопасность выполнения работ. Рабочие места должны быть оборудованы защитными и предохранительными устройствами и хорошо освещены.

3. Для работы на подъемных механизмах (кранах, лебедках, талях и др.) допускаются только лица, умеющие обращаться с ними.

4. Все подъемные принадлежности (цепи, тросы, канаты, стропы, блоки, крюки и др.) должны быть испытаны и иметь бирки с установленной грузоподъемностью.

5. До начала работы грузоподъемные механизмы должны быть проверены на их пригодность к работе. Лебедки перед началом работ осматривают и испытывают пробной нагрузкой (на 25% больше нормальной) в течение 15 мин. При испытании подъемных механизмов особо проверяют работу тормозов и ограничителей. Все находящиеся в работе тросы бракуют, если по длине их на участке в 2 м обнаружено более 10% порванных проволок.

6. Нужно избегать подвязки грузов канатом или тросами с завязкой узлов. Для подъема грузов следует применять стропы или специальные петли и кольца, причем центр тяжести груза следует располагать в середине между захватами сторон.

7. Грузы следует поднимать без рывков и ударов. Во избежание раскачивания грузов при подъеме их удерживают растяжками.

8. При подъеме груза канатами во время передачи их с одного места на другое груз поднимают не менее чем на 1,5 м и выше встречающихся на пути предметов.

9. Во время работы запрещается стоять под поднимаемым грузом.

10. Не разрешается оставлять поднимаемый груз на весу на длительное время.

11. При работе с тросом рабочий должен надеть рукавицы.

12. К электро- и газосварочным работам, а также к пользованию электрическим инструментом допускаются рабочие, прошедшие специальное обучение. При работе с электрическим инструментом необходимо надевать резиновые перчатки, под ноги подстилать резиновые коврики или надевать резиновые сапоги.

13. Защитные заземления и зануления должны проводиться в соответствии с действующими правилами «Устройства электротехнических установок».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком виде, в зависимости от размеров, должны поставляться насосы заводами-изготовителями? 2. Какие работы выполняют при подготовке насосного агрегата к монтажу? 3. От чего зависят длительность и трудоемкость монтажных работ? 4. Как комплектуются монтажные бригады? 5. Как выполняется реконсервация оборудования, подлежащего монтажу? 6. Из каких материалов строят фундаменты под насосные агрегаты? 7. Из каких условий определяют глубину заложения фундамента и его прочность? 8. Что представляет собой фундаментная рама и фундаментная плита и как их устанавливают? 9. Какие приспособления служат для крепления монтируемых агрегатов к фундаментам? 10. Как проверяются горизонтальность и вертикальность монтируемых механизмов? 11. Какие существуют правила при затяжке фундаментных (анкерных) болтов? 12. Как осуществляют центрирование валов насоса и электродвигателя? 13. Как монтируют насосы с общей фундаментной плитой и без нее? 14. Как проводят монтаж насосов АТН? 15. Как выполняют монтаж электропогружных насосов? 16. Назовите основные правила техники безопасности при производстве монтажных работ.

ГЛАВА 10

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

§ 1. ПЛАНОВАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Службой эксплуатации насосных станций охватывается довольно большой круг организационно-технических мероприятий, однако все они в основном направлены на решение трех основных задач: обеспечение надежной и безаварийной подачи в соответствии с плановым графиком водопотребления; обеспечение экономической работы насосной станции, соблюдение условий безопасной работы обслуживающего персонала.

Условия для выполнения перечисленных выше задач на станциях довольно различны, так как определяются трудно увязываемыми между собой обстоятельствами, как техническое состояние сооружений и оборудования насосной станции, снабжение запасными частями и материалами, наличие надежного автоматического управления и защиты оборудования, наличие квалифицированного обслуживающего персонала и т. п. Поэтому, в процессе эксплуатации станций могут иметь место определенные трудности. Для успешного их преодоления необходима четкая и регламентированная система обслуживания и ремонта ее гидромеханического и энергетического оборудования и сооружений.

Плановая система технической эксплуатации (ПСТЭ) представляет совокупность организационно-технических мероприятий по надзору и уходу за сооружениями и оборудованием насосной станции и всеми видами их ремонта, осуществляемых периодически по заранее составленному плану, с целью предупреждения аварий и внеплановых ремонтов и обеспечения бесперебойной подачи воды. Как показал опыт, она является наиболее рациональной и прогрессивной системой.

Система ПСТЭ предусматривает плановое и систематическое проведение следующих видов работ: систематический уход и наблюдение за сохранностью и работоспособностью сооружений гидромеханического и энергетического оборудования станции; периодических осмотров и проверок (ревизий) вышеперечисленных объектов; ремонтов.

В плановой системе технической эксплуатации может быть применена следующая терминология.

Межремонтный период — время между текущими ремонтами в месяцах или часах.

Ремонтный цикл — время (в часах, месяцах и годах) между двумя капитальными ремонтами. Для нового оборудования или сооружений ремонтный цикл охватывает период от начала эксплуатации до первого капитального ремонта. В течение ремонтного цикла каждый вид оборудования или сооружений проходит определенную серию текущих ремонтов (в пределах одного цикла).

Ремонтный режим, или иначе **структура ремонтного цикла,** — число текущих ремонтов между двумя капитальными.

Это понятие выражается условными формулами, например: К-Т-Т-К или К-2Т, К-3Т, К-4Т и т. п., где К — капитальный и Т — текущий ремонты, 2, 3, 4... — число текущих ремонтов между двумя капитальными.

§ 2. НЕОБХОДИМЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПСТЭ

Для обеспечения ПСТЭ необходимо выполнять следующие основные мероприятия: квалифицированный уход, надзор и ремонт на станции; строго соблюдать правила и инструкции технической эксплуатации и сроки ремонта; выявлять и устранять мелкие неисправности в процессе надзора и ухода; своевременно обеспечивать слесарно-монтажными инструментами, материалами и запасными частями; выявлять и анализировать причины неплановых ремонтов, поломок и аварий; точно внести учет работы агрегатов и оперативную отчетность в работе станции; изучать работу сооружений и оборудования, проводить испытания и исследования; всемерно поощрять инициативу персонала в области рационализации и изобретательства и т. п.

§ 3. НЕОБХОДИМАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Для лучшей работы на насосных станциях необходимо иметь следующую документацию: исполнительные чертежи сооружений, паспорта оборудования, инструкции по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и другую техническую документацию; ежегодный график водоподачи; смету на эксплуатационные расходы; плановые технико-экономические показатели работы станции; план проведения осмотра и ремонтов оборудования и сооружений; четкое расписание прав и обязанностей обслуживающего персонала при хорошо продуманной поощрительной системе оплаты труда; журналы учета и отчетности в работе станции; план повышения квалификации обслуживающего персонала.
Вся документация должна отражать состояние эксплуатации станции, облегчать ее проведение.

§ 4. СМЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Смета эксплуатационных расходов включает: отчисления на амортизацию и капитальный ремонт сооружений и оборудования станции*; стоимость содержания обслуживающего персонала; стоимость энергии, затраченной на водоподъем; стоимость смазочных и обтирочных материалов; стоимость текущего ремонта сооружений и оборудования и другие расходы.

Ежегодные эксплуатационные расходы являются цеховыми расходами. Они характеризуют себестоимость только водоподъема без учета общесистемных расходов. Они учитываются в сметах водоснабжающего предприятия (оросительной системы или сельского водопровода) при определении себестоимости его продукции.

Технико-экономические показатели:

1. Стоимость в 1 м³ поднятой воды:

$$C' = \frac{C}{\Sigma W},$$

* Эта статья включается в смету насосных станций, работающих на хозрасчете.

где C — сумма ежегодных эксплуатационных расходов по насосной станции, руб.;
ΣW — количество воды, поднятой насосной станцией за год, м³.

2. Стоимость 1 тонны-метра поднятой воды:

$$C'' = \frac{C}{\Sigma WH},$$

где C — то же, что и выше;
ΣWH — сумма произведений подачи воды, подаваемой станцией, на напор насосов по периодам за год, тм.

3. Ежегодные эксплуатационные расходы на 1 га фактически орошаемой (осушаемой) площади:

$$C''' = \frac{C}{\omega}.$$

4. Коэффициент использования установленной мощности за рабочий период (или за год, при T=8760 ч):

$$\alpha = \frac{N_{ср}}{\Sigma N_у},$$

где $\Sigma N_у$ — сумма номинальных (по паспорту) мощностей всех установленных двигателей главных насосов, кВт;
$N_{ср}$ — средняя мощность (кВт) станции за рабочий период в году, определяемая по формуле:

$$_{ср} = \frac{\Sigma Э}{T_{раб}},$$

где $\Sigma Э$ — количество энергии, потребляемой насосной станцией за год, кВт·ч;
$T_{раб}$ — фактическая длительность работы насосной станции в году, ч.

5. Затраты электроэнергии на 1000 тонна-метров поднятой воды, кВт·ч:

$$Э' = \frac{\Sigma Э}{\Sigma WH} 1000,$$

где $\Sigma Э$ и ΣWH — то же, что и выше.

§ 5. ПЛАН ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

План организационно-технических мероприятий на насосной станции обычно включает мероприятия: по улучшению или внедрению автоматизации управления, механизации и централизации ремонтных работ, повы-

шению качества, уходу за оборудованием и сооружениями, улучшению системы профилактических осмотров и ремонтов с целью увеличения межремонтных сроков и др.;

по организации и проведению производственных испытаний сооружений и оборудования, анализу совместной работы оборудования и сооружений для выявления оптимальных режимов их работы;

по замене или модернизации устаревшего оборудования и сооружений, рационализации учета и отчетности;

по уменьшению потерь воды на фильтрацию и по устранению непроизводительного ее сброса, снижению расхода энергии и воды на собственные нужды и другие мероприятия, способствующие улучшению эксплуатации и снижению себестоимости воды.

§ 6. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАЮЩИЙ ПЕРСОНАЛ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Структура управления насосными станциями очень разнообразна. Она обычно определяется назначением станций и их принадлежностью, видами оборудования и установленной мощностью, степенью автоматизации и другими условиями.

Оросительные насосные станции как цехи предприятия находятся на балансе государственных оросительных систем и потому управляются ими. Оросительными системами управляют областные или краевые водохозяйственные организации либо специализированные управления оросительных систем, подчиняющиеся министерству и водохозяйственным организациям.

В первом случае, как показывает практика, насосные станции и системы работают разобщенно, без систематического обеспечения материалами и запчастями, отсутствует централизация в ремонтно-наладочных работах.

Во втором случае управления оросительными системами, как чисто хозяйственные организации, работающие на правах трестов, могут лучше обслуживать оросительные системы и станции, если будут располагать возможностями централизованного выполнения ремонтных и пуско-наладочных работ выездными бригадами

или в заводских условиях. В обязанности этого управления должно входить также проведение наладки и испытания контрольно-измерительной техники и приборов автоматики, организации и проведения исследований и послеремонтных испытаний сооружений и оборудования станций с целью выдачи конкретных рекомендаций по улучшению режима работы.

Ремонтно-наладочные базы этих управлений должны обслуживать на договорных или других началах также насосные установки, находящиеся в ведении колхозов и совхозов области или края, выпускать запасные части или узлы и даже остро дефицитное оборудование.

Необходимый состав обслуживающего персонала насосных станций и его квалификация определяются мощностью и сложностью установленного оборудования, степенью автоматизации технологического процесса и требованиями ведомственных указаний.

Однако во всех случаях при комплектовании и утверждении штатов надо руководствоваться необходимостью более полного и технически грамотного обслуживания всех трех производственных участков станции (гидротехнического, гидромеханического и энергетического) при разумном использовании возможностей совмещения профессий.

Так, например, на ряде станций малой подачи (до 0,5—1,0 м³/с) обслуживающий персонал может состоять из одного-двух дежурных. Но по мере укрупнения станций появляется необходимость выделения ремонтных рабочих, специализированных производственных участков и назначения администратора для координации их действий и руководства станций.

В случае большого числа мелких и средних станций на оросительной системе последние могут объединяться в кусты или группы с выездной ремонтно-наладочной бригадой для централизованного технического руководства и обслуживания.

§ 7. ПРИМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЯЗАННОСТЕЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ И ПРОВЕДЕНИЮ ПСТЭ

Внедрение плановой системы технического обслуживания насосных станций должно входить в обязанности главного инженера и ответственных руководителей от-

дельных участков предприятия (энергетика и механика оросительной системы).

Контроль за внедрением и руководство проведением ПСТЭ должны осуществлять вышестоящие организации — УОС (Управление оросительных систем) или Областные водохозяйственные организации.

Непосредственно за проведение плановой системы эксплуатации насосных станций отвечают начальники станций или групп станций и их помощники — инженеры (техники) производственных участков.

На этих лиц возлагается:

составление планов и графиков проведения капитальных и текущих ремонтов и профилактических осмотров оборудования и сооружений станции. К составлению планов привлекаются мастера или бригадиры ремонтных бригад;

организация технического инструктажа работников, занятых на ремонтных работах;

составление заявок на материалы, запасные части и оборудование;

проверка обеспеченности предстоящих ремонтных работ материалами, деталями, приспособлениями, механизмами и рабочей силой;

составление смет и другой необходимой технической документации, в том числе рабочих чертежей для заменяемых конструкций и деталей;

организация изготовления запасных частей, деталей и конструкций;

организация труда при производстве ремонтных работ хозспособом с применением передовых методов и механизации;

проверка комплектности и технического состояния оборудования (особенно получаемого);

проведение мероприятий по технике безопасности и охране труда на работах;

ведение учета и отчетности по всем видам работ;

участие в приеме отремонтированных объектов.

§ 8. ДЕЖУРНЫЙ ПЕРСОНАЛ СТАНЦИИ И ЕГО ОБЯЗАННОСТИ

К дежурному персоналу станции относятся все работники, посменно обслуживающие ее производственные участки.

Дежурный персонал должен работать по графику дежурств, утвержденному заведующим станцией; нарушение графика запрещается. В исключительных случаях допускается замена одного дежурного другим с особого разрешения начальника соответствующего производственного участка.

Дежурство одного работника более 8 ч подряд с перерывом между сменами менее 16 ч не допускается.

Каждый дежурный, придя на работу, принимает смену от предыдущего дежурного.

Приемка смены. При приемке смены дежурный должен: ознакомиться с состоянием и режимом работы всего оборудования в объеме, установленном должностной инструкцией; узнать об оборудовании, находящемся в ремонте и о том, за которым во время работы необходимо вести тщательные наблюдения; проверить наличие инструмента, подручных материалов, журналов или ведомостей; прочитать записи и распоряжения за время предыдущего дежурства; оформить приемку и сдачу смены записью в журнале с соответствующими росписями; сообщить ответственному вышестоящему лицу на станции о вступлении на смену и о всех недостатках, замеченных при приемке смены.

Прием и сдача смены при неисправном оборудовании допускаются только с разрешения руководства.

Обязанности дежурного во время дежурства. Каждый дежурный отвечает за правильное обслуживание и безаварийную работу всего оборудования на порученном участке. Он должен строго соблюдать сам и требовать от других лиц выполнения всех установленных правил и инструкций, поддерживать рабочий режим оборудования в соответствии с инструкциями и оперативными указаниями диспетчерской службы предприятия. При возникновении повреждений, дефектов и аварий с оборудованием или сооружениями дежурный обязан немедленно доложить руководству станции и принять необходимые меры к ликвидации неполадок или к их локализации. Аварии устраняют по указаниям соответствующих инструкций и под руководством вышестоящего начальника.

Осмотр всего оборудования и устройств на участке работы для дежурного персонала обязателен. При осмотрах необходимо проверять правильность режима работы, состояние и исправность оборудования, его кре-

леж, смазку и чистоту, чистоту фундаментов, рабочего места и помещения.

Дежурный должен своевременно записывать показания приборов, замеченные неполадки и распоряжения в журналы или ведомости установленной формы.

Дежурный не имеет права оставить свой пост до окончания смены.

§ 9. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ РАБОТЕ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Знание и выполнение правил техники безопасности и противопожарных мероприятий при эксплуатации насосных агрегатов обеспечивают безопасность работы обслуживающего персонала и безаварийность насосной станции.

Ниже приводятся основные правила техники безопасности и противопожарных мероприятий.

1. К эксплуатации насосных станций допускают только механиков, машинистов и слесарей, имеющих документы о присвоении им квалификации.

2. В помещении насосной станции на видном месте вывешивают инструкции по технике безопасности, подробную инструкцию по обслуживанию оборудования и наглядные плакаты.

3. Для оказания первой медицинской помощи при несчастных случаях на насосной станции должна быть аптечка с запасом перевязочных средств и медикаментов. Обслуживающий персонал должен уметь оказывать первую помощь пострадавшим от электрического тока, знать правила оказания первой помощи при ожогах и ранениях.

4. Электродвигатели и электроаппаратура должны иметь надежное заземление. Все вращающиеся части агрегата (соединительные муфты, ременные передачи) ограждают щитами, решетками и прочными перилами. У переходов и мостиков через трубопроводы должны быть прочные перила.

На электронасосных установках должны быть изолированные инструменты и приспособления (штанги, индикаторы напряжений, комплекты переносных заземлений, резиновые коврики, перчатки, сапоги и др.).

5. Каждая насосная станция должна иметь противопожарный инвентарь и соответствующую сигнализацию. Работники станции должны знать правила и приемы тушения пожаров, возникших при загорании нефти, масла, а также тушения пламени, возникшего у электрических машин или аппаратов.

6. Здания насосных станций должны быть освещены так, чтобы можно было правильно и безопасно обслуживать агрегаты и все устройства.

7. Ремонт, смазка двигателей и насосов на ходу, подтягивание болтов на движущихся частях механизмов не допускаются.

8. Помещение насосной станции не следует загромождать посторонними предметами. Полы, лестницы должны содержаться в чистоте. Вентиляция помещения должна обеспечивать подачу чистого воздуха и температуру не более 30—35°С. Температура ниже 10°С не допускается.

За технику безопасности на насосной станции отвечают сменные машинисты, а общий контроль осуществляет механик.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое плановая система технической эксплуатации насосных станций? 2. Какие термины применяются в условиях плановой системы эксплуатации? 3. Что такое «структура ремонтного цикла»? 4. Перечислить мероприятия, обеспечивающие действенность плановой системы технической эксплуатации станции. 5. Какая документация необходима на насосных станциях? 6. Какие виды расходных статей включаются в смету эксплуатационных расходов насосной станции? 7. Назовите примерные технико-экономические показатели насосной станции. 8. Что понимается под термином «оргтехплан»? 9. Как организуется управление насосными станциями и как формируется ее штат? 10. Кто отвечает за внедрение и проведение плановой системы технической эксплуатации насосных станций? 11. Каковы обязанности инженерно-технического персонала станций? 12. Что входит в обязанности дежурного персонала насосной станции? 13. Назовите основные правила техники безопасности при работе на насосных станциях.

ГЛАВА II

ОБСЛУЖИВАНИЕ НАСОСОВ

Для безаварийной работы насосной станции необходимо поддерживать все узлы насосного агрегата в исправном состоянии. Показателем правильного обслуживания насосного агрегата является соответствие действительных параметров насоса его проектной характеристике. Подача насоса и создаваемый им напор должны обеспечить его максимальный к. п. д. При обслуживании насосов надо постоянно следить при помощи водомеров, манометров, вакуумметров, счетчиков потребляемой электроэнергии за работой отдельных агрегатов и всей насосной станции. Только правильное обслуживание насосной станции обеспечит экономичную работу всех ее агрегатов.

§ 1. ПОДГОТОВКА НАСОСА К ПЕРВОМУ ПУСКУ ПОСЛЕ МОНТАЖА И КОНСЕРВАЦИИ

Перед пуском насоса в работу необходимо его осмотреть. Действуя соответствующими ключами, нужно проверить затяжку фундаментных болтов и крепление деталей насоса между собой.

Фундаментные болты затягивают до отказа, но во избежание среза во время пуска насоса их нужно отпустить на пол-оборота гайки.

Гайки крышки насоса, крышек подшипников, соединений всасывающего и напорного трубопроводов с насосом должны быть затянуты до отказа.

Перед пуском насоса проверяют сальниковые уплотнения и состояние подшипников. Набивают солидолом масленки и смазывают трущиеся поверхности. Масляные ванны подшипников промывают керосином, который затем смывают маслом. Масло заливают фильтрованное или непосредственно через фильтр.

Для резиновых или лигнофолевых вкладышей (склеенные тонкие березовые пластины) смазочным материалом служит чистая вода без примесей песка, ила и других взвешенных частиц. Перед пуском агрегата подсоединяют трубопроводы, подающие воду к подшипникам, а по ним пускают смазочную воду. Только после проверки поступления смазочной воды к подшипникам в достаточном количестве можно пускать насосный агрегат в работу.

При передаче энергии от двигателя через ремень проверяют его натяжение и сшивку, обращая внимание на то, чтобы шов был направлен по движению ремня. Затем, потянув за ремень, нужно проверить легкость проворачивания шкивов.

В водоприемнике осматривают сероудерживающую решетку. При засорении решетки плавающими предметами ее очищают.

§ 2. ЗАЛИВ НАСОСОВ ПЕРЕД ПУСКОМ

Большинство центробежных насосов пускают в работу только после заполнения всасывающего трубопровода и самого насоса водой.

Всасывающий трубопровод и насос заполняют водой различными способами.

Залив насоса вручную. Таким способом заливают центробежные насосы в простейших установках при отсутствии воды в напорном трубопроводе и наличии приемного клапана.

Для залива насоса отвинчивают заглушку, которая находится в верхней части корпуса насоса, и через отверстие заливают воду. Если на насосе есть воздушный кран, его полностью открывают. Насос заливают до тех пор, пока из заливного отверстия или воздушной трубки, оборудованной краном, не пойдет вода без пузырьков воздуха.

Залив насоса из напорного трубопровода. Этот способ можно применять только при наличии воды в напорном трубопроводе. При отсутствии обратного клапана насос заливают из напорного трубопровода, открыв регулировочную задвижку. При этом для выпуска воздуха открывают кран на воздушной трубке или верхнюю заглушку.

При наличии обратного клапана всасывающий трубопровод и насос заполняют из напорной линии через специальный обвод обратного клапана по трубе малого

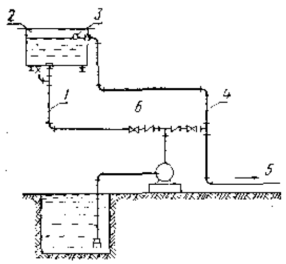


Рис. 100. Схема автоматического залива насоса из напорного бачка:

1 — водовод, подводящий воду к насосу; *2* — бачок; *3* — шаровой регулировочный клапан; *4* — водовод для наполнения бачка; *5* — напорный трубопровод; *6* — обратный клапан.

диаметра, которая во время работы насоса должна быть перекрыта вентилем. Всасывающий трубопровод и приемный клапан при заполнении водой из напорного трубопровода рассчитывают на давление в напорной линии.

Автоматический залив возможен только при наличии приемного клапана на конце всасывающей линии. На рисунках 100 и 103 представлены две самые простые схемы автоматического залива.

Устройство, изображенное на рисунке 100, действует следующим образом. Выше насоса на специальных кронштейных или на металлических балках установлен бачок *2*, из которого заливают насос и всасывающий трубопровод по трубе *1*, присоединенной к напорному патрубку насоса через обратный клапан *6*. Бак наполняется водой во время работы насоса по трубе *4*, присоединенной к напорному трубопроводу *5*. Выпускное отверстие трубы *4* снабжено шаровым регулировочным клапаном *3*, который автоматически закрывается при наполнении бака до требуемой отметки и открывается при сработке горизонта.

Залив насоса при помощи вакуум-насосов. Для создания вакуума в крупных насосах на насосных станциях широко применяют вакуум-насосы (поршневые и водокольцевые). В настоящее время на насосных станциях применяют водокольцевые вакуум-насосы — наиболее простые и компактные (рис. 101).

Кроме водокольцевых насосов типа КВН и РМК, в настоящее время изготавливают водокольцевые вакумм-насосы простого действия типа ВВН и двойного действия ДВВН (ГОСТ 10889—64).

Максимальное разрежение, создаваемое водокольцевыми вакуум-насосами, достигает 0,090—0,095 МПа. Оптимальная подача вакуум-насоса наблюдается при вакууме от 0,04—0,07 МПа.

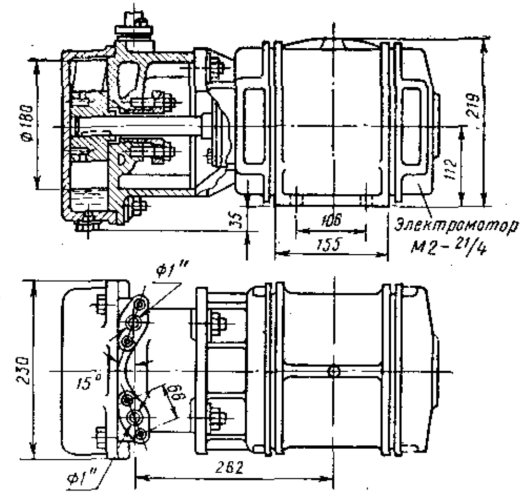


Рис. 101. Водокольцевой вакуум-насос КВН.

Расчетное разрежение, создаваемое вакуум-насосом, должно быть равно допустимой вакуумметрической высоте всасывания центробежного насоса. Подачу вакуум-насоса при его подборе определяют временем, потребным для создания расчетного разрежения, принимаемого 3—5 мин.

На насосной станции устанавливают не менее двух вакуум-насосов (один — рабочий, другой — запасной).

Схема установки для залива при помощи вакуум-насоса изображена на рисунке 102. Отсасывающая труба

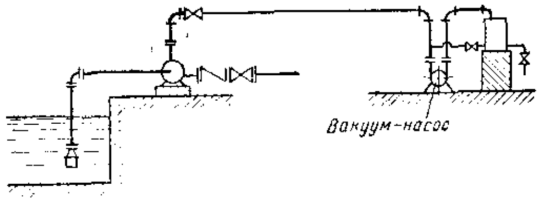


Рис. 102. Схема залива при помощи вакуум-насоса.

вакуум-насоса подсоединяется к верхней точке заливаемого насоса, а напорная — к бачку или непосредственно к канализации.

Перед пуском вакуум-насос заливают водой. При работе насоса необходимо, чтобы через него непрерывно циркулировала вода для поддержания постоянного объема водяного кольца для отвода тепла. Для этой цели к отсасывающей линии подводится вода от специального бачка или водопровода. Температура воды, циркулирующей в вакуум-насосе, не должна превышать 40—50°С. Нагрев регулируется изменением количества циркулирующей воды.

Вакуум-насосы можно применять только для работы на чистой воде. Их выключают тогда, когда вакуумметр, установленный на отсасывающей трубе, покажет требуемое разрежение. При этом условии включают центробежный насос.

§ 3. ПУСК НАСОСОВ В РАБОТУ

Пуск центробежных насосов. После заполнения всасывающего трубопровода и насоса водой необходимо проверить плотность закрытия задвижки на напорном трубопроводе (она должна быть плотно закрыта).

Центробежный насос включают в работу при закрытой задвижке, так как в этом случае насос потребляет минимальную мощность. Это особенно важно при пуске

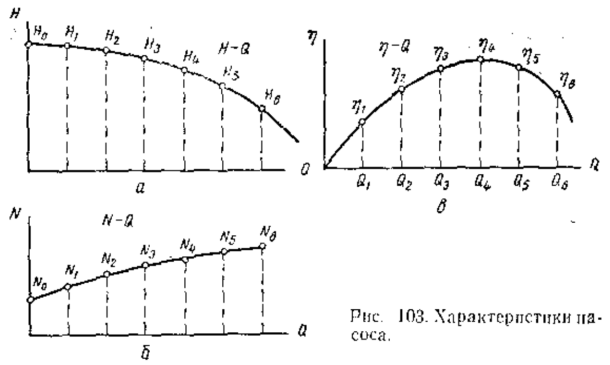


Рис. 103. Характеристики насоса.

насосов, приводимых в работу короткозамкнутыми электродвигателями, у которых потребляемая мощность в момент пуска в 5—6 раз больше нормальной.

В насосных установках, работающих под заливом (с отрицательной высотой всасывания) или при системе переключения всасывающих трубопроводов к насосам, задвижки, обеспечивающие подвод воды к насосу, должны быть полностью открыты.

В установках, имеющих подвод воды к сальникам насоса и подшипникам по специальным трубкам, необходимо открыть краны и убедиться в подаче смазочной воды. Только после того как будет ясно, что вода на смазку подшипников подается в достаточном количестве, насосный агрегат можно включать.

Включение насоса, соединенного с низковольтным электродвигателем эластичной муфтой, производится нажатием кнопки «пуск» магнитного пускателя.

Если насос приводится в работу от двигателя через ременную передачу, то пуск насоса осуществляется посредством холостого шкива. Только тогда, когда двигатель разовьет нормальную частоту вращения, нужно перевести ремень с холостого шкива на рабочий. Проверив по манометру давление, создаваемое насосом (оно должно быть больше рабочего давления), постепенно открывают задвижку на напорном трубопроводе, тем самым дают возможность воде поступать в напорный трубопровод. При отсутствии манометра на насосе его пускают, открыв задвижку на напорном трубопроводе. Задвижка должна открываться через 1—2 мин после пуска, когда насос разовьет нормальное вращение. Длительная работа при закрытой задвижке нагревает воду и не опасна, но при нагревании воды могут расшириться детали насоса и расстроиться их сочленения, что вызовет ненормальную работу насоса.

Для проверки высоты всасывания во время работы насоса открывают кран вакуумметра.

При пуске насосов, приводимых в работу от электродвигателей, необходимо наблюдать за показаниями ваттметров, амперметров и вольтметров.

Пуск насоса АТН. Перед пуском насоса в работу необходимо прежде всего смочить резиновые вкладыши подшипников чистой водой. Для этого открывают кран водозаливного трубопровода и вода, стекая вниз по валу, смачивает резиновые подшипники, предупреждая

13 Заказ № 2578

тем самым нагар вкладышей и выход насоса из строя. Затем поворачивают рукой ротор электродвигателя, чтобы удостовериться в отсутствии заклинивания или заедания вала. После этого включают электродвигатель и немедленно останавливают его. При правильном подключении фаз ротор должен вращаться против часовой стрелки, а при неправильном — повернется на некоторый угол по часовой стрелке и резко остановится вследствие заклинивания одного из шариков контрреверса. В этом случае нужно переключить фазы электродвигателя. Во избежание развинчивания резьбовых соединений секций вала нельзя допускать вращения ротора по часовой стрелке, если контрреверс не сработает при неправильном подключении фаз.

Насос пускают при закрытой задвижке путем включения в работу электродвигателя. Затем открывают задвижку. После появления воды из сливного трубопровода наполняют заливной бак.

Таким способом пускают в работу и винтовые артезианские насосы типа ВАН.

Пуск электропогружных насосов. При монтаже электропогружные насосы устанавливают под уровень воды в скважине. Поэтому при правильном монтаже насосов отпадает необходимость в их заливке.

Первое включение насоса допускается не раньше чем через час после спуска агрегата в скважину; это необходимо для заполнения водой насоса.

При пуске агрегата задвижка на напорном трубопроводе должна быть закрыта.

Пуск осевых насосов. Осевые насосы (пропеллерные и поворотно-лопастные) пускают при открытой напорной задвижке, так как в этом случае насос потребляет минимальную мощность.

Поворотно-лопастные насосы пускают, установив лопасти рабочего колеса на минимальный угол, и только после достижения агрегатом нормальной частоты вращения лопасти рабочего колеса устанавливают на необходимый угол.

§ 4. УХОД ЗА НАСОСАМИ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

Во время работы насосного агрегата машинист насосной установки должен следить за показаниями приборов (манометров, вакуумметров, счетчиков электро-

энергии, вольтметров, амперметров, ваттметров); за температурой подшипников и сальников; прислушиваться к шуму в насосе и следить за общим техническим состоянием насосной установки.

Для наиболее экономичной работы насосной установки необходимо, чтобы в соответствии с характеристиками насосных агрегатов развиваемые напоры и подача обеспечивали максимальный к. п. д.

В первый период эксплуатации насосных станций с раздельными фундаментами под машины и стены здания (ленточные фундаменты) возможна неравномерная их осадка, что может вызвать перекос валов, а вместе с этим перегрев подшипников, сальников и изменение нормальных зазоров между рабочим колесом и уплотнительными кольцами насосов.

Изменение зазоров может быть настолько большим, что рабочее колесо во время работы будет задевать о неподвижные детали, вызывая их износ и уменьшение к. п. д. агрегата. Во время эксплуатации насосных агрегатов необходимо следить за тем, чтобы не было износа лопаток рабочего колеса, периодически контролировать герметичность стыков, находящихся под давлением, затяжку гаек болтов, соединяющих отдельные узлы агрегата между собой, затяжку фундаментных болтов.

При появлении вибрации вала насоса, трубопровода или других частей насосной установки, при металлическом шуме, неисправности арматуры и прочих неисправностях следует немедленно остановить насос, выявить причину, устранить ее. При работе гидромеханического оборудования необходимо поддерживать все части агрегата, его фундамента и пола машинного зала в полной чистоте. Помещение вблизи механизмов убирает дежурный или кто-то другой под наблюдением, а очистку и обтирку механизмов выполняет только сам дежурный.

Все пропуски масла и воды в оборудовании и трубопроводах необходимо немедленно устранять.

Резервные насосы нужно включать в работу на 20—30 мин не реже одного раза в 10 дней, а пожарные насосы — на 5—10 мин ежедневно.

Погружные насосы очень чувствительны к перемене режима работы и частым включениям. При непрерывной работе их детали прирабатываются, а при частых

остановках и включениях приработка нарушается, возникающие при этом толчки снижают прочность ряда деталей насоса и ухудшают работу фильтра скважины. Поэтому график их подачи должен быть равномерным и без перерывов.

Опыт эксплуатации насосных агрегатов показывает, что основными узлами, обеспечивающими бесперебойную и безаварийную работу, являются подшипники и сальники. Поэтому уходу за ними нужно уделять особое внимание.

Наблюдение за показаниями манометра и вакуумметра. Манометры и вакуумметры, установленные на насосах, снабжают кранами для включения их только в момент контроля показаний. Приборы должны показывать нормальное рабочее давление и разрежение. Колебания в показаниях приборов указывают на отклонение от нормальной работы агрегата. Например, при засорении сетки приемного клапана, подсосе воздуха через воронку у приемного клапана и неплотности соединения труб всасывающего трубопровода показания вакуумметра быстро снижаются. Резкое падение давления свидетельствует о прорыве нагнетательного трубопровода, а увеличение давления по сравнению с рабочим может быть вызвано чрезмерным закрытием задвижек на напорном трубопроводе.

При работе насосного агрегата нужно наблюдать за показаниями электрических приборов. Нормальные показания амперметра и ваттметра должны быть отмечены красной чертой. Отклонения в показаниях приборов свидетельствуют о нарушении нормальной работы.

Наблюдение за работой подшипников. При первом пуске насоса в работу необходимо следить за температурой масла подшипников, которую измеряют термометром (у крупных насосов) и на ощупь, приложив руку к корпусу подшипника (у мелких насосов). На многих современных насосных станциях температуру определяют при помощи дистанционных электрических термометров. Температуру масла измеряют до пуска агрегата, а затем через каждые 5—10 мин до тех пор, пока не установится постоянное значение.

Сорт масла должен соответствовать указаниям завода-изготовителя. Температура вкладышей подшипников и пяты не должна быть выше температуры окружающей среды более чем на 45°С и не должна превышать 80°С.

За температурой подшипников агрегата, масла и охлаждающей воды нужно вести систематические наблюдения. Температура входящей охлаждающей воды не должна быть больше 25°С, а выходящей — не превышать температуру входящей более чем на 5°.

При постепенном возрастании температуры тела пяты или одного из подшипников на 2—3° против нормальной их температуры следует проверить систему смазки и произвести испытание масла.

Если повышение температуры продолжается, гидроагрегат надо остановить и произвести ревизию.

Причиной значительного нагрева может быть загрязнение масла, плохая подгонка трущихся поверхностей и недостаточное количество его. Необходимо также следить за смазочными кольцами, чтобы они свободно вращались вместе с валом и равномерно разбрызгивали масло. Уровень масла в подшипнике должен находиться у черты, нанесенной на маслоуказателе.

В течение первого месяца эксплуатации насоса масло нужно менять через 100—120 ч. У баббитовых подшипников масло меняют через каждые 10 дней. В последующие месяцы эксплуатации масло меняют через 800—1500 ч.

При каждой замене масла осматривают вкладыши, обращая при этом особое внимание на состояние баббитовых поверхностей и поверхностных шеек вала.

У лигнофолевых или резинометаллических подшипников с водяной смазкой нужно следить за подачей воды в подшипники и ее чистотой от абразивных примесей.

Сетку фильтра, пропускающего воду к подшипникам, следует часто промывать.

При длительных остановках насосов лигнофолевые подшипники и вал вынимают, смазывают солидолом и хранят на складе.

Смазывают подшипники машинным маслом Л, турбинным Т и М, которое заливают в их корпус. Масло для смазки подшипников должно быть профильтровано. Если в масляные ванны заливают его через фильтр, то перед каждой заливкой сетки фильтра очищают от грязи.

Резиновые подшипники смазывать солидолом или каким-либо другим маслом нельзя.

Наблюдение за работой сальников. Во время работы насоса необходимо следить за состоянием сальников.

После пуска насоса в работу следует отрегулировать затяжку сальника. Нормальной работой сальника считается такая, при которой через тело сальника просачивается вода отдельными каплями и температура его не превышает 60°С.

Чрезмерная затяжка сальника приводит к его перегреву и увеличивает потребляемую насосом мощность.

У насосов типа Д вода служит уплотняющей средой и предохраняет насос от попадания в него воздуха. Поэтому нужно следить за трубками, подводящими воду к сальникам. Они должны быть чистыми.

При недостаточной сальниковой набивке течь через сальник увеличивается. В этом случае к имеющейся сальниковой набивке добавляют новую и, регулируя затяжку болтов нажимной буксы, добиваются нормальной работы сальника. Материалом для сальниковой набивки служит пеньковая, конопляная или хлопчатобумажная прядь, свитая в канат и пропитанная говяжьим салом и графитом. В крупных насосах применяют специально изготовленную фабричную сальниковую набивку.

Во время работы сальника набивка сваливается, насыщается частичками грязи, теряет свои упругие свойства и перестает уплотнять зазор между валом и корпусом насоса. Износившуюся сальниковую набивку заменяют новой. Срок службы сальниковой набивки зависит от степени загрязнения перекачиваемой насосом воды. При работе на чистой воде он составляет 500—600 ч, а на грязной — 150—200 ч.

§ 5. НЕИСПРАВНОСТИ В РАБОТЕ НАСОСОВ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

При работе насосного агрегата могут возникнуть различные неполадки, которые нужно устранить. Наиболее характерные неполадки, причины их возникновения и способы устранения приведены в таблице 5.

§ 6. ОСТАНОВКА НАСОСА

Центробежные насосы останавливают в следующем порядке: медленно закрывают задвижку на напорном трубопроводе (если она установлена); при наличии рабочего и холостого шкива ремень переводят на холостой ход; выключают двигатель.

Таблица 5. **Характерные неисправности в работе насосов и способы их устранения**

Неисправности	Возможные причины	Способы устранения
Насос не запускается в работу	Неправильный подбор электродвигателя (недостаточная мощность)	Проверить, сменить, электродвигатель
	Заедание уплотнительных колец	Разобрать насос, проверить зазоры, доведя их до нормальных
	Насос не создает разрежения	Проверить плотность соединения всасывающих труб во время работы насоса, обведя каждый стык пламенем огня. Воздух будет проходить в месте засасывания пламени
		Проверить всасывающий клапан. Он должен плотно прилегать к седлу и не пропускать воду
	При длинной напорной линии не закрыта задвижка на трубопроводе	Закрыть задвижку, залить насос и пустить в работу
После пуска агрегата прекращается подача воды	Всасывающий трубопровод и насос недостаточно заполнены водой	Повторно залить насос
	Пропуск воды через всасывающий клапан	Осмотреть клапан и устранить неплотности
	Просачивание воздуха во всасывающий трубопровод	Проверить соединение всасывающих труб
	Увеличение высоты всасывания из-за засорения сетки приемного клапана	Осмотреть сетку клапана, очистить ее
	Неправильное направление вращения рабочего колеса	Проверить направление вращения, переключая фазы электродвигателя, или изменить вращение шкива теплового двигателя
	Просачивание воздуха через сальник в результате засорения трубок, подающих к нему воду	Проверить и прочистить трубки и водяной фонарь, заменить сальниковую набивку
	Засорение каналов рабочего колеса	Разобрать насос и прочистить каналы рабочего колеса

Продолжение

Неисправности	Возможные причины	Способы устранения
Насос не обеспечивает полной подачи	Недостаточно открыта задвижка на напорном трубопроводе	Открыть задвижку и отрегулировать подачу воды в трубопровод
	Увеличение вакуумметрической или манометрической высоты	Проверить вакуумметрическую высоту всасывания и, если возможно, опустить насос ниже
		Проверить сопротивления в напорном трубопроводе и уменьшить их
	Образование воздушных мешков во всасывающем и напорном трубопроводах	Проверить места скопления воздуха, придать всасывающему трубопроводу соответствующий подъем к насосу
		На напорном трубопроводе установить воздушные вантузы в местах скопления воздуха
	Недостаточная частота вращения рабочего колеса	Проверить частоту вращения тахометром и обеспечить насосу требуемую частоту вращения
	Износились лопатки рабочего колеса	Наварить лопатки или заменить рабочее колесо
Насос не обеспечивает рабочего напора	Недостаточная частота вращения в рабочем колесе	Проверить частоту вращения и довести ее до требуемой
	Не отрегулировано открытие задвижки	Прикрыть задвижку на напорном трубопроводе, измеряя при этом подачу
	Засорились каналы рабочего колеса	Очистить рабочее колесо от грязи
	Увеличить щелевые зазоры в рабочем колесе вследствие износа уплотнительных колец	Заменить изношенные уплотнительные кольца
Резкий шум в насосе, насос содрогается	Кавитационный режим с резкими характерными стуками	Изменить режим работы, уменьшить высоту всасывания
	Удары рабочего колеса в результате эксцентричности посадки на вал	Центрировать рабочее колесо на валу
	Слабый фундамент, ослабились фундаментные болты	Проверить фундамент, затянуть фундаментные болты

Продолжение

Неисправности	Возможные причины	Способы устранения
Сальник пропускает воду	Сальниковая набивка износилась или неправильно затянута	Заменить сальниковую набивку новой
		Равномерно затянуть нажимную буксу и отрегулировать
Сальники перегреваются	Износилась сальниковая набивка, плотно затянута нажимная букса	Заменить набивку и отрегулировать затяжку сальника
Нагреваются подшипники	Смазка загрязнилась металлом, масло плохого качества	Сменить масло, промыть подшипник и масляную ванну керосином, залить свежее масло
	Забились смазочные канавки	Прочистить канавки и промыть их керосином
	Недостаточное количество масла	Подлить масло до риски маслоуказателя
	Перекос вала	Проверить прямолинейность вала и устранить перекос

При остановке насосов, приводимых в работу от двигателей внутреннего сгорания, медленно закрывают задвижку, а затем останавливают двигатель.

При последовательной работе насосов на один трубопровод сначала закрывают задвижку на насосе, присоединенном к трубопроводу, а затем выключают двигатели. При параллельной работе насосов задвижки закрывают одновременно или поочередно, а затем выключают двигатели.

Поршневые насосы останавливают следующим образом: при открытой задвижке на напорном трубопроводе выключают двигатель, а затем закрывают задвижку.

Останавливают насосы: при окончании работы насосной станции (по графику); для ремонта, который нельзя выполнить на ходу агрегата; при авариях на трубопроводах; при несчастных случаях.

§ 7. ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОСМОТРЫ И ПРОВЕРКИ (РЕВИЗИИ)

Периодические осмотры и проверки состояния оборудования и сооружений проводят обычно в начале и середине поливного периода для выявления неисправно-

стей, износа и других недостатков. Проводит их техническое руководство станции совместно с лицами, ответственными за ремонт и обслуживание.

Осмотры и проверки оборудования и сооружений, выполняемые в конце поливного периода, являются частичной или полной ревизией и должны осуществляться техническим руководством предприятия (оросительной системы для управления предприятиями) с привлечением работников насосных станций. При централизованном выполнении ремонтных работ ревизии проводят технические специалисты предприятия и подрядчика и по существу являются стадией сдачи и приема в ремонт оборудования.

Профилактические осмотры заключаются в проверке:

уровней масла в ваннах подшипников и подпятников, температуры подшипников и масла, поступления масла и охлаждающей воды; общего состояния агрегата (бой вала, вибрация деталей, гул стали и другие шумы);

состояние коллектора, контактных колец и щеток двигателей положения и работы всех реле, аппаратуры автоматики и приборов измерения и контроля, высоковольтного оборудования, компенсаторов, клапанов срыва вакуума и пр.

Ежегодно нужно проводить тарировку контрольно-измерительных приборов на станции.

На автоматизированных насосных станциях состояние всех контактов пусковой аппаратуры проверяют 3 раза в месяц.

Один раз в месяц проверяют регулировку реле времени, напряжения уровня, давления и т. п.

Один раз в 3 месяца, отключив насосную станцию, проверяют защиту.

Ревизия всего гидромеханического и силового оборудования и автоматических устройств проводится один раз в год.

При ежегодной ревизии состояния насоса проверяют: состояние поверхностей всей проточной части насоса, допустимость зазоров в уплотнениях рабочих колес; состояние подшипников; размер продольного и поперечного люфта ротора и его соосность с ротором двигателя; состояние крепления рабочего колеса.

В результате проведенной ревизии насосов все выявленные неисправности его частей устраняют, а изношенные детали заменяют. Те части машин, которые недоступны для осмотра во время их работы, следует очистить или покрасить.

При полной ревизии выполняют примерно те же операции, но с более тщательными осмотрами оборудования в действии поузловыми разборками оборудования и контролем технического состояния отдельных деталей путем их измерения, снятия виброхарактеристик, взятия проб и т. д.

При круглосуточной работе агрегаты разрешается останавливать для осмотров и ревизий на 3—6 ч.

Результаты осмотров и ревизий записывают в дефектные ведомости, журналы осмотров и ремонтов или формуляры.

§ 8. ХРАНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ЗИМОЙ

Работа оросительных насосных станций прекращается после окончания осенних влагозарядковых поливов. Нерабочий период продолжается до подготовки насосной станции к весенним поливам.

По окончании работы насосной станции все ее оборудование и части узла машинного водоподъема осматривают и ремонтируют. При этом составляют акт технического состояния оборудования и сооружений, на основе которого пишут дефектные ведомости, выявляют число необходимых запасных частей и ремонтных материалов. Кроме этого, составляют план проведения ремонтных работ и проводят мероприятия по подготовке насосной станции к зимнему хранению.

Если насосная станция временная, ее демонтируют, а механизмы, трубопроводы, которые могут быть повреждены в весенний паводок, перевозят на склады. Трущиеся, полированные и неокрашенные места агрегата и приспособлений густо смазывают солидолом.

Демонтированное оборудование, требующее капитального ремонта, ремонтируют на месте или отправляют на ближайшее ремонтное предприятие. Особое внимание обращают на те детали и узлы агрегата, из-за которых наблюдались простои во время эксплуатации.

Приводные ремни и арматуру передают на хранение в склад. Измерительные приборы проверяют в специальных мастерских.

Если насосная станция постоянная, то демонтированное оборудование хранится в здании. При подготовке оборудования к зимнему хранению необходимо спустить воду из трубопроводов, насоса и охлаждающих устройств двигателя. Оборудование, подлежащее ремонту на стороне, отправляют в ремонтные мастерские. Оставшееся оборудование консервируют.

В районах с отрицательными температурами воздуха насосные станции в нерабочее время следует отапливать, и температура в помещении, где расположено электрооборудование, не должна быть ниже 5°С, а в неавтоматизированных — ниже 15°С.

Для обеспечения указанных температур в зданиях насосных станций устанавливают различные отопительные системы.

Электродвигатели после очистки от грязи и пыли смазывают и накрывают брезентом.

С наступлением весны необходимо проверить все гидротехнические сооружения насосной станции и степень их повреждения после весеннего паводка. При этом подводящие каналы очищают от насосов и растительности. Тщательно осматривают напорный трубопровод. Особо нужно осмотреть места просадки грунта, свидетельствующие о просачивании воды из трубопровода.

Зимнее время должно быть использовано для повышения квалификации обслуживающего персонала.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие нужно выполнить работы перед пуском насоса в эксплуатацию? 2. Какие приборы устанавливают на насосе? 3. Какими способами можно залить насос и всасывающий трубопровод водой? 4. Как заливается насос водой вручную, из напорного трубопровода? 5. Какие существуют схемы автоматического залива и на чем они основаны? 6. В каких случаях насос заливают вакуум-насосом? 7. Какие вакуум-насосы применяют для залива? 8. Как запускают горизонтальный центробежный насос? 9. Как производится пуск насосов типа АТН и АП? 10. В чем заключаются обязанности машиниста насосной станции? 11. Какая работа подшипников и сальников считается нормальной? 12. Назовите основные неполадки в работе насоса и способы их устранения? 13. Как останавливают центробежные, поршневые и другие насосы? 14. В чем заключаются периодические осмотры и проверки оборудования? 15. Что такое ревизия оборудования и какие существуют виды ревизий? 16. На что следует обращать внимание при профилактических осмотрах и ревизиях? 17. Когда проводят периодические осмотры и ревизии? 18. Как консервируют насосную станцию на зиму?

ГЛАВА 12
РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ

§ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Ремонт сооружений и оборудования может быть текущим и капитальным и проводить по заранее составленному плану. Но в отдельных случаях, например, при авариях, приходится выполнять срочные, непредвиденные ремонтные работы, которые в зависимости от их объема или сложности могут выполняться как текущий или капитальный ремонт, но срочно — вне всякого плана.

После каждой аварии необходимо установить причину аварии и виновников, составить акт.

Текущий ремонт заключается в поддержании сооружений и оборудования насосных станций в рабочем состоянии (устранение мелких повреждений и неисправностей).

К текущему ремонту насосов относятся: промывка масляных ванн подшипников, смена масла, регулировка сальников, очистка фундаментных болтов, осмотр рабочего колеса и подшипников, проверка соосности валов, замена сальниковой набивки, смена прокладок и др.

Текущий профилактический ремонт планируется в денежных и натуральных показателях и выполняется ежегодно по плану-графику, утвержденному вышестоящим техническим руководством и главным инженером предприятия. План профилактического текущего ремонта составляется на основании описей необходимых работ, составленных при периодических осмотрах.

Капитальный ремонт на мелиоративных насосных станциях проводят в осенне-зимний (межполивной) период. После капитального ремонта оборудование насосной станции должно соответствовать техническим требованиям, предъявляемым к новому оборудованию. Капитальный ремонт предусматривает разборку всех или большей части узлов агрегата, а в некоторых случаях полный его демонтаж. При капитальном ремонте выпол-

няют все работы текущего ремонта и заменяют износившиеся детали и узлы агрегата новыми.

Планируемые капитальные ремонты состоят из подготовки, ремонта и испытаний агрегата после его ремонта. Подготовку к ремонту ведут на основании записей в сменном журнале и осмотра агрегата. Подготовляют бланки формуляров, инструменты, материалы, запасные части, такелажные средства и специальные приспособления для выполнения сборки и разборки агрегата.

Прежде чем приступить к разборке оборудования, подлежащего ремонту, проверяют работу всех узлов и частей агрегата при различных режимах, фиксируя расположение деталей маркировкой, замеряя зазоры и занося результаты в формуляры. После этого разбирают механизмы. В процессе разборки осматривают и проверяют все детали, заменяя вышедшие из строя новыми. Все результаты замеров зазоров после сборки заносят в формуляры и сравнивают с предыдущими, полученными при проверке до ремонта, определяя качество проведенного ремонта. После ремонта и сборки насосный агрегат испытывают.

Все объекты, намеченные для капитального ремонта, должны иметь подробное техническое описание ремонтных и наладочных работ, составленных в процессе обследования.

При составлении планов капитального ремонта следует предусмотреть периодичность работ, принятую в том или ином ведомстве, учитывая свой опыт.

Капитальный ремонт выполняется по утвержденным сметам или по расцененным описям работ силами обслуживающего персонала (хозяйственный способ), ремонтной бригадой предприятия или подрядчика.

Выполнение ремонтных работ контролирует техническое руководство станции или группы станций, при этом все выполненные промежуточные (скрытые) работы должны оформляться актами.

Полностью законченные работы должны приниматься комиссией, формируемой ведомством, которая составляет акт приемки отремонтированного объекта, с указанием выполненных работ, качества ремонта, результатов испытания, а также сроков выполнения работы. К актам прилагаются документы об испытаниях, акты о скрытых работах и исполнительные чертежи, если были

заменены конструкции узлов или деталей против существующих.

Непредвиденные (аварийные) ремонты заключаются в срочном исправлении мелких, случайных повреждений, незамеченных ранее, или профилактике, либо в срочном ремонте оборудования, вышедшего из строя в результате аварии. На производство срочных непредвиденных ремонтов обычно резервируется 20—25% ассигнований, выделенных на проведение текущих ремонтов.

§ 2. РАЗБОРКА НАСОСОВ

Разборка насоса типа К. Перед разборкой насоса необходимо подготовить площадку из досок для укладки деталей, до отказа закрыть задвижку на напорном трубопроводе. Если имеется задвижка на всасывающем трубопроводе, ее также закрывают. Затем выпускают воду из насоса, а масло — из масляной ванны, снимают вакуумметр и манометр. Для выпуска воды из насоса отвинчивают нижнюю пробку на кожухе-улитке. Масло из подшипников выливают, поворачивая трубку маслоуказателя головкой вниз.

Разборку насоса начинают со снятия его крышки. Для этого нужно предварительно отсоединить от всасывающего трубопровода монтажную вставку или переход, соединяющий всасывающий трубопровод с насосом. Осторожно отвинтив гайки шпилек, чтобы не повредить прокладку, снимают крышки насоса.

Если нужно осмотреть рабочее колесо, необходимо отвинтить торцевую гайку и при помощи специальных винтовых съемников снять рабочее колесо.

При полной разборке насоса отсоединяют двигатель от насоса, предварительно сняв полумуфты. При ременной передаче снимают шкив с вала насоса, затем крышки подшипников и нажимную буксу сальника, вынимают сальниковую набивку. Если рабочее колесо насоса не снято с вала, то его можно снять вместе с колесом и подшипниками. Для этого ударами молотка через подкладку по торцевой части выбивают вал в сторону всасывания. Остальные детали, если в этом нет необходимости, можно и не разбирать. Сборку деталей и всего насоса выполняют в обратном порядке.

Следует иметь в виду, что детали насоса в основном изготовлены из чугуна, поэтому при разборке и сборке

насоса нельзя наносить удары по чугунным деталям. При этом нужно пользоваться специальными съемниками, а удары наносить посредством выколоток.

Разборка насоса типа Д. Для разборки насоса типа Д сначала снимают манометр, вакуумметр, выворачивают из насоса пробки для спуска воды и масла и разъединяют полумуфты. Затем отвинчивают гайки подшипников, крышки насоса нажимных букс, сальников, снимают крышку насоса и крышки подшипников. После этого вынимают вал со всем его оснащением. Собирают насос в обратном порядке.

§ 3. РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ НАСОСА

Ликвидация каверн и раковин. Лопасти рабочего колеса, лопатки направляющего аппарата, камеры спирального корпуса изнашиваются и разрушаются под действием кавитации и истирания взвешенными в воде частицами песка. В результате на поверхностях деталей проточной части образуются каверны и раковины. Неглубокие каверны (1—2 мм) зачищают наждачным камнем, а глубокие заваривают электросваркой с последующей обработкой наждачным камнем и шлифовкой. Глубокие трещины рассверливают до неповрежденного металла, края обрабатывают зубилом под сварку и заваривают.

После заварки трещин и глубоких раковин рабочее колесо подвергают термической обработке по следующему режиму: нагрев до 600—650°С, выдержка при этой температуре в течение 2—6 ч и медленное охлаждение до температуры 150°С.

В некоторых насосах для лучшей устойчивости против действия кавитации и истирания рабочие колеса изготовляют из нержавеющей стали марки 2Х13 или стали 1Х18Н9Т.

Если детали подвергались кавитационному разрушению, сварку выполняют электродами ЭА1 или ЭФ13. При механическом истирании деталей раковины заваривают электродами 13КН ЛИИВТ или твердыми электродными сплавами Т590 и Т620.

Детали из нержавеющей стали при сварке коробятся, поэтому нужно стремиться предотвратить сильный перегрев начисто обработанной детали.

Нержавеющая сталь марки 2Х13 сваривается плохо. Эту сталь сваривают электродами ОХ18Н9Т, Х18Н12М или Х25Н15.

Раковины и трещины чугунных деталей ликвидируют холодной и горячей сваркой. При холодной сварке температура места сварки должна быть 40—80°С. Сварку ведут специальными электродами из малоуглеродистой стали, красной меди, из чугуна со специальными покрытиями. Высокая твердость наплавленного металла не допускает обработки шва резцом, зубилом или напильником. Обработка ведется только наждачным камнем.

Наварка и сварка электродами из красной меди дают соединение высокой прочности, шов может быть обработан резцами из твердых сплавов.

При горячей сварке деталь подогревают до температуры 500—600°С, а после сварки медленно охлаждают. Трудность нагрева крупных деталей и неудобство сварки горячих деталей ограничивают использование горячей сварки.

Кроме рассмотренных сварок чугунных деталей, существует сварка чугуна чугунными электродами со специальными покрытиями. При этом наплавленный металл получается хрупким, очень твердым и имеет большое число пор и мелких трещин. Сварку чугунными электродами ведут постоянным током при обратной полярности (на электроде плюс).

Кроме электрической сварки чугуна, применяют газовую. Деталь перед сваркой нагревают до 400—600°С, а после сварки медленно охлаждают. Необходимость нагрева деталей, низкая производительность и большая вероятность образования трещин ограничивают ее применение.

Ремонт баббитовых подшипников. При работе баббитовые подшипники изнашиваются. Если на поверхности баббита подшипников обнаружены небольшие задиры, наплывы и царапины, их устраняют шабрением.

Если вкладыши значительно сработались, зазоры между ними и шейками вала превышают допустимые, а само тело имеет раковины и расслаивание металла, то вкладыши заменяют или заливают вновь. Для заливки вкладышей используют баббит марок Б-83 и Б-16.

Процесс заливки вкладышей состоит из следующих операций: подготовки вкладышей к лужению; луже-

14 Заказ № 2576

ния поверхности вкладышей; нагрева и сборки вкладышей; расплавления баббита; заливки баббита.

Для заливки вкладыши, нагретые до температуры 280—300°С, устанавливают в специальное приспособление, строго соблюдая концентричность центральной оправки и вкладыша. Оправку изготовляют из трубы с толщиной стенок 8—10 мм. Нижний конец оправки приваривают к металлическому поддону толщиной 20—25 мм. Диаметр оправки должен быть таким, чтобы между оправкой и вкладышем образовался зазор шириной, равной толщине слоя баббита плюс припуск 4—6 мм. Высота оправки должна быть на 20—30 мм выше высоты вкладыша. Стык вкладыша с поддоном обмазывают составом, состоящим из 14 частей огнеупорной глины (по массе), $\frac{1}{3}$ части асбестового порошка, 14 частей песка и воды до получения консистенции густой сметаны. Перед заливкой баббита все приспособление подогревают до 280—300°С. Заливаемый баббит должен иметь температуру 400—480°С. После заливки производится штыкование железным стержнем для предотвращения образования пустот.

Вкладыш в приспособлении оставляют до полного остывания, затем его вынимают без ударов. После этого вкладыши растачивают с припуском 0,2 мм на сторону для шабрения их при сборке насоса.

Износившиеся подшипники качения и резиновые подшипники заменяют новыми.

Ремонт лигнофолевых подшипников. При значительном подгорании или полном износе поверхности лигнофоля вкладыши подшипников заменяют. Для изготовления вкладышей применяют лигнофоль марки ДСП-А (волокна во всех слоях параллельны), или марки ДСП-Б-10 (волокна десятого слоя расположены перпендикулярно волокнам девяти слоев).

Не рекомендуется применять в подшипниках насосов лигнофоль марки ДСП-В, который имеет низкие механические свойства из-за перпендикулярного расположения волокон.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и виды ремонтов насосного оборудования. 2. Порядок разборки насосов типа К и Д. 3. Как ликвидируют каверны, раковины и трещины в деталях насосов? 4. Как ремонтируют баббитовые подшипники?

ГЛАВА 13

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ СТАЦИОНАРНОГО ГИДРОУЗЛА

При остановках насосов на длительное время лигнофолевые вкладыши вынимают и густо смазывают солидолом. Запасные лигнофолевые вкладыши смазывают солидолом и хранят в сухом помещении.

В состав станционных гидроузлов чаще всего входят головные водозаборные сооружения, водоподводящие каналы или трубопроводы, водоприемные сооружения (береговые колодцы), здания насосных станций и водовыпускные сооружения.

Неисправность любого из этих сооружений может привести к полному прекращению подачи воды. Поэтому для бесперебойной работы насосной станции требуется хорошо налаженная эксплуатация перечисленных сооружений, с систематическими наблюдениями, своевременной ликвидацией неисправностей, профилактическими и реконструктивными работами, предупреждающими возможность повреждений или устраняющими конструктивные недостатки сооружения.

Особенные трудности возникают при **эксплуатации водозаборно-приемного комплекса** (водозаборное сооружение, самотечные трубопроводы и береговой колодец) водоснабженческих насосных станций, поднимающих воду из поверхностных источников (рек, озер, водохранилищ и т. п.).

Речным водозаборным комплексам при круглогодовой работе угрожают ледоходы, сплавляемые бревна, коряги, заносы песком, закупорка донным льдом и шугой. На водохранилищах и озерах водозаборы могут разрушаться волнобоем или заиляться. В теплое время возможно развитие колоний ракушек, сорной растительности и обрастание решеток.

Наиболее часто неполадки в этих водозаборах возникают вследствие зарления самотечных трубопроводов

и берегового колодца, засорения решеток и сеток плавником или забивки их льдом.

Зарастание самотечных трубопроводов в процессе эксплуатации устраняют промывкой обратным током воды из напорного трубопровода или другим способом.

Береговые колодцы очищают вручную или с помощью грязевых насосов.

Входные сороудерживающие решетки на водоприемных отверстиях очищают либо обратным током воды через самотечные трубы при их промывке, либо с лодки металлическими граблями.

Сорную растительность в каналах или водохранилищах уничтожают путем протягивания по дну цепи, прикрепленной к двум лодкам, ручным или механическим скашиванием или специальными гербицидами. Например, обработка водной поверхности пруда хлорбензолом путем его распыления в количестве до 180 л на 1 га предохраняет от появления растительности в течение 3—4 лет.

К сезонным работам на указанных сооружениях относятся: околка льда вокруг водоприемников и оголовков, создание аварийных бригад, ремонтного запаса строительных материалов и инструмента перед наступлением весеннего паводка, осмотр, проверка и ремонт сооружений после паводка и др.

Для предупреждения несчастных случаев работу на реках следует вести только звеньями в составе не менее трех человек в каждом, при соблюдении всех правил техники безопасности.

Эксплуатация водопроводящих и отводящих каналов состоит в поддержании их проектного профиля и сохранении гидравлических качеств его ложа. С этой целью очищают канал от загрязнения, не допускают местных размывов и зарастания его ложа растительностью.

Для предупреждения оползания откосов и заиления каналов при таянии снега и ливнях желательно засевать откосы культурными травами и систематически очищать и ремонтировать нагорные каналы и ливнеспуски.

Бетонные и кирпичные сооружения (здания станции, водоприемные и водовыпускные сооружения) требуют систематического наблюдения и тщательного обследования. Обследования обычно проводят не реже одного-двух раз в год. При этом внимательно проверяют стены (особенно их наружную облицовку и гидроизоляцию),

температурные и осадочные швы, перекрытие и покрытие, фундаменты под машины, сопрягающие открылки и облицовку каналов, а также механическое оборудование гидросооружений (щиты, затворы и подъемные механизмы).

На основании актов обследования и наблюдения составляют план и график производства ремонтных работ.

Гудронные шпонки прогревают и при недостатке в них заполнителя дополняют гудроном. При появлении трещин в стенах, фундаментах и облицовках выясняют причины их возникновения. Трещины заделывают, а места с обнаруженными трещинами берут под особое наблюдение.

Крупные трещины нельзя оставлять незаделанными на период низких температур, поэтому временно их заделывают конопаткой, просмоленной паклей. В дальнейшем после установления причин возникновения эти трещины, а также крупные раковины тщательно расчищают и заделывают бетоном на мелком гравии или цементным раствором.

Места бетонных сооружений, где обнаружены повышенная проницаемость бетона или понижение его механической прочности, восстанавливают торкретированием, цементацией или заменой новым бетоном.

Новый бетон следует укладывать так, чтобы его края были не тоньше 2—3 см, а угол сопряжения со старым бетоном не был меньше 60°. Неглубокие выбоины — в 3—5 см, но развитые по площади можно заделывать цементной штукатуркой толщиной по краям также не менее 2—3 см. Если бетон армирован, следует новый бетон связывать со старым через арматуру, ставя, если нужно, дополнительную арматурную сетку. Поверхность нового бетона затирают заподлицо с поверхностью старого.

Облицовку каналов, особенно за водовыпуском, ремонтируют при их опорожнении, заполняя полости под облицовкой галечниковым грунтом, заделывая повреждения и трещины бетоном, прокладывая в трещины просмоленную паклю.

Размывы крепления каналов на выходе из водовыпускных сооружений происходят в основном при начальном пуске станции и незатопленном отводящем канале из-за неудачной конструкции гасителей или резкого разворота отводящего канала. Для ремонта раз-

мытых мест применяют габионы, отмостку в плетневых клетках или фашины.

Наружные трубопроводы и механическое оборудование гидросооружений нужно содержать в чистоте и исправности. Трущиеся части и механизмы следует регулярно смазывать, они должны быть защищены от пыли и грязи.

Наружные трубопроводы и механическое оборудование гидросооружений нужно содержать в чистоте и исправности. Трущиеся части и механизмы следует регулярно смазывать, они должны быть защищены от пыли и грязи.

Наружные трубопроводы и механическое оборудование окрашивают не реже одного раза в 2 года стойкими красками или лаком.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоят особенности эксплуатации водозаборно-приемного комплекса сооружений насосной станции? 2. Какие неполадки и трудности возникают при эксплуатации водоподводящих и отводящих каналов? 3. В чем состоят особенности эксплуатации и ремонта бетонных и кирпичных сооружений насосной станции?

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Работа 1. **Ознакомление с общим устройством и особенностями эксплуатации насосных станций.** Работа носит экскурсионный характер; ее следует проводить на любых действующих стационарных и передвижных насосных станциях. В процессе ознакомления с устройством и эксплуатацией указанных станций необходимо изучить работу и назначение того или иного оборудования и отдельных сооружений, уяснить организацию эксплуатационной службы и составить краткий отчет с соответствующими эскизными зарисовками и пояснениями.

Работа 2. **Устройство и действие центробежных насосов.** Эта тема изучается на примерах горизонтальных центробежных насосов типа К, Д и МС и центробежных артезианских погружных насосов типа ЭЦВ. По окончании работы проводится зачет.

В состав работы входит: ознакомление с маркировкой насосов и пользование каталогами; изучение устройства этих насосов и практическое освоение их разборки и сборки; знакомство с устройством и действием сальника, с работой подшипников в насосах и особенностями их смазки, с устройством и действием водозаполненных погружных электродвигателей типа ПЭДВ или МАП-3; изучение роли и расположения уплотнительных колец; понятие осевого давления и изучение способов его уравновешивания.

Работа 3. **Процессы пуска, остановки и регулирования центробежного насоса.** Работу проводят на действующей насосной установке, оборудованной задвижкой на напорном патрубке, двумя манометрами перед задвижкой и за нею (по ходу движения воды), вакуумметром, прибором для измерения расхода и прибором для измерения мощности. Насосная установка должна допускать изменение частоты вращения.

Перед пуском насоса необходимо установить состояние насосного агрегата, то есть проверить затяжку сальника, наличие смазки в ваннах подшипников, правильность затяжки фундаментных болтов, исправность муфты и ее ограждения, исправность заземления и т. д.

Насос запускают при закрытой задвижке на напорном трубопроводе в такой последовательности:

заливают насосы и контролируют полноту заливки; включают электродвигатель насосной установки; открывают краны у манометров и вакуумметров и по их показаниям контролируют правильность работы агрегата; полностью открывают задвижку на напорном трубопроводе и снимают показания приборов.

После пуска агрегата в действие необходимо уменьшить подачу насоса (например, на 25%), регулируя задвижкой и сняв показания приборов. Затем для получения указанной подачи насоса регулируют частоту вращения и тоже снимают показания приборов.

При выключении насоса выполняют следующие операции: закрывают задвижку на напорном патрубке насоса, закрывают кран у вакуумметра, выключают электродвигатель и закрывают краны у манометров.

Все показания приборов заносят в таблицу для записей наблюдений и измерений (табл. 1), затем выполняют камеральную обработку их и составляют отчет о работе с краткими выводами.

Таблица 1. **Запись наблюдений и измерений**

Условия опыта	$H_{ман}$ перед задвижкой, м	$H'_{ман}$ за задвижкой, м	$H_{вак}$, м	z, м	Водомер		$N_{п.\ дв}$*, квт	n
					h, мм	Q, л/с		
Полное закрытие задвижки								
При регулировании задвижкой								
При регулировании частоты вращения								

Камеральная обработка опытных данных состоит в вычислении полного напора, подачи, к. п. д. и мощности насоса для всех трех случаев.

Полный напор определять в соответствии с ГОСТ 17398—72 (по формуле 34).

Подачу насоса можно замерять различными водомерами, водосливами или объемным способом. В зависимости от принятого способа графу показаний водомера следует подразделить соответственно принятому способу замера. Так, например, при использовании треугольного водослива в опытах замеряют высоту его наполне-

ния h, а по ней при помощи особых таблиц или специальных формул определяют расход на водосливе Q.

К. п. д. насоса следует определять по указаниям § 4 главы третьей (формулы 29, 36 и 46). Однако при регулировании задвижкой величина к. п. д. насоса соответственным образом ухудшается, поэтому для определения к. п. д. следует использовать указания § 4 главы третьей (формулы 42 и 47) и формулу 77 главы пятой.

Мощность, потребляемую двигателем $N_{дв}$, определяют приборами (например, ваттметром), а мощность N, передаваемую от двигателя к насосу, вычисляют по формуле с учетом к. п. д. самого двигателя η и передачи $\eta_{пер}$:

$$N=\eta_{пер}\eta_{дв}N_{дв}.$$

При соединении двигателя с насосом с помощью муфты $\eta_{пер}=1$; к. п. д. двигателя в этом случае принимают равным 0,9. Результаты подсчетов сводятся в таблицу 2.

Таблица 2. **Результаты камеральной обработки**

Условия опыта	H, м	Q, л/с	η	N, кВт
Полное открытие задвижки				
При регулировании задвижкой				
При регулировании частоты вращения насоса				

В качестве выводов приводится сравнительная оценка рассмотренных приемов регулирования насосов.

Работа 4. **Построение рабочих характеристик центробежного насоса на основании данных его испытания.** Насосная установка для выполнения этой работы (см. рис. 21) должна быть оборудована манометром, вакуумметром, водомером, тахометром, прибором для измерения мощности и задвижкой на напорном трубопроводе.

Испытание насоса ведется при постоянной частоте вращения. Если насосная установка позволяет менять ее, то постоянство вращения насоса достигается регулировкой. При короткозамкнутом электродвигателе с увеличением подачи насоса растет нагрузка двигателя, и частота вращения может несколько уменьшиться; чтобы добиться постоянной частоты вращения насоса, характеристики пересчитывают по уравнениям пропорциональности (формулы 67, 68, 69) в процессе камеральной обработки опытных данных.

Во время опытов подача насоса изменяется регулированием открытия задвижки, установленной на напорном трубопроводе. Испытания рекомендуется начинать при закрытой задвижке, то есть при нулевой подаче. В этот момент напор насоса H_0 обычно достигает максимальной величины, но в отдельных случаях максимальный напор соответствует моменту незначительного открытия задвижки.

При последовательном открытии задвижки подача насоса будет увеличиваться, а напор (за исключением указанных случаев) уменьшаться. Потребляемая мощность насоса будет возрастать по мере открытия задвижки.

Испытание насоса ведут в такой последовательности: запускают насос при закрытой задвижке, соблюдая правила, указанные в предыдущей работе; после установления нормальной частоты вращения снимают показания приборов (вакуумметра, манометра, ваттметра, тахометра) и записывают их в таблицу 3; затем несколько приоткрывают задвижку и после некоторой выдержки для создания установившегося движения на испытательном стенде снимают показания тех же приборов, записывая их в ту же таблицу.

Для построения характеристики насоса необходимо 6—7 раз (по ГОСТ не менее 20 раз) изменять открытие задвижки и при каждом новом ее положении снимать и записывать показания приборов.

Таблица 3. **Запись наблюдений и измерений**

№ п/п	$H_{ман}$, м	$H_{вак}$, м	z, м	$\frac{v_p^2-v_1^2}{2g}$, м	H, м	Расход по водомеру: время t, с	Расход по водомеру: расход $Q=\frac{W}{t}$, л/с	$N_{дв}$, кВт	N, кВт	η	n, об/мин
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

Подачу Q, напор H насоса и мощность, потребляемую двигателем $N_{дв}$, можно измерять так же, как указывалось в работе 3.

Например, подачу насоса можно замерить объемным способом, то есть замерить секундомером время t наполнения какого-либо вымерянного сосуда емкостью W.

Полный напор насоса (м) определяют по формуле

$$H=H_{ман}+H_{вак}+z+\frac{v_2^2-v_1^2}{2g},$$

где $H_{ман}$ — показание манометра, м;

$H_{вак}$ — показание вакуумметра, м;

z — расстояние по вертикали от центра манометра до точки присоединения вакуумметра к патрубку насоса, м;

v_1 и v_2 — скорости во всасывающем и напорном патрубках, м/с.

Потребляемую электродвигателем мощность $N_{дв}$ измеряют ваттметром.

Мощность насоса на валу N (кВт) при к. п. д. передачи $\eta_{пер}=1$ и к. п. д. электродвигателя $\eta_{дв}=0{,}9$ определяют по формуле: $N=\eta_{пер}\eta_{дв}N_{дв}$ кВт.

Полезную мощность насоса (кВт) вычисляют по формуле:

$$N_{\text{п}} = \frac{\gamma Q H}{102} \text{ кВт.}$$

Коэффициент полезного действия насоса находят по формуле:

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N}.$$

Частоту вращения вала насоса n в минуту определяют по тахометру или по счетчику оборотов и секундомеру.

На основании данных таблицы строят график (рис. 103), на котором по оси абсцисс откладывают подачу насоса, а по оси ординат — напор H, мощность насоса N и его к. п. д.

В результате получаем раздельную характеристику насоса.

В каталогах характеристики насосов вычерчиваются в совмещенном виде.

Если в частоте вращения имеется расхождение, то сначала рекомендуется все основные опытные параметры пересчитать на одну и ту же частоту вращения и только потом вычерчивать график.

Работа 5. **Параллельная и последовательная работа центробежных насосов.** Работу выполняют на установке с двумя одинаковыми центробежными насосами, присоединенными к напорному трубопроводу. Манипулируя задвижками, можно получать не только самостоятельное или параллельное, но и последовательное их включение в указанный трубопровод.

В процессе выполнения этой работы необходимо ознакомиться со схемой параллельного и последовательного присоединения насосов к одному напорному трубопроводу, при параллельной работе насосов их подачи суммируются при одинаковых напорах, а при последовательной — их напоры при одинаковых подачах.

Работа 6. **Устройство и действие передвижных прицепных насосных станций (СНП) с приводом от собственных двигателей.** Изучение устройства и действия этого типа сухопутных передвижных насосных станций может быть выполнено на примере станций СНП-25/60, СНП-50/80 или СНП-120/30.

При изучении необходимо обратить внимание на особенности крепления двигателя и насоса на раме-салазках и одноосном прицепе, на приспособления для заливки насосов, способы передачи крутящего момента двигателя к валу насоса, конструктивные особенности насосов и двигателей, приспособления для установки всасывающих трубопроводов при транспортировании.

Работа 7. **Устройство и действие прицепной насосной станции (ПНСТ) на салазках с приводом от трактора.** Работа заключается в изучении общего устройства и действия передвижной тракторной насосной станции ПНСТ-6ПДв. Особое внимание следует обратить на назначение и устройство карданного вала, редуктора и вакуумного бачка, способ заливки насоса перед пуском, а также соединить установку с трактором, проверить действие всех узлов и провести необходимые регулировки.

Работа 8. **Устройство и действие навесной насосной станции (СНН).** Эту работу можно выполнить на примере навесной насосной станции СНН-25/60. В процессе работы знакомятся с устройством и действием станции, изучают устройство насоса-редуктора, рамы и

эжектора, навешивают насосную станцию на трактор, проверяют действие узлов и механизмов, проводят необходимые регулировки.

Работа 9. **Устройство и действие самоходной плавучей насосной станции СНПЛ-240/30.** В процессе работы изучают устройство и действие двигателя, насоса, редуктора, понтона, всасывающих и напорных трубопроводов; знакомятся с реактивным действием средств самоходного передвижения станции, назначения балластных емкостей и средств для монтажа оборудования.

Работа 10. **Трубопроводы и арматура насосных станций.** Цель работы — изучение способов соединения труб из различных материалов; устройства арматуры и фасонных частей, устанавливаемых на трубопроводах.

Учащиеся должны изучить способы и приемы соединения асбестоцементных труб при помощи двухбуртной асбестоцементной муфты и металлического стыка; чугунных раструбных труб с заделкой стыка цементным раствором, серопесчаным сплавом и другими материалами; сварку и склеивание труб из пластмасс. При соединении труб с помощью фланцев учащиеся должны уметь вырезать прокладки из уплотняющих материалов.

При изучении арматуры учащиеся изучают правила сборки, разборки и ревизии задвижек, предохранительных клапанов и другой арматуры.

При знакомстве с измерительной аппаратурой следует обратить внимание на устройство манометров, вакуумметров, водомеров, на правила их установки и взятия отсчетов по их шкалам.

Изучив способы соединения труб из различных материалов, устройство арматуры и фасонных частей трубопроводов, учащиеся знакомятся с правилами их монтажа по специально разработанным монтажным схемам. Желательно включить в эти схемы монтаж узлов из различных материалов.

Работа 11. **Передача энергии от двигателя к насосу.** В этой лабораторной работе учащиеся изучают передачу механической энергии от двигателя к насосу (зубчатая передача, ременная передача и предача с помощью муфты сцепления). В процессе работы учащиеся должны научиться приемам сшивки и сбалачивания ремней, установки полумуфт и соединения их между собой.

Работа 12. **Монтаж насосов.** При подготовке агрегата к монтажу нужно разобрать насос, протереть и промыть отдельные детали в керосине, осмотреть их, тщательно проверить подшипники и сальники насоса (при баббитовых подшипниках проверяют плотность прилегания баббита к телу вкладыша щупом или «на керосин»).

Фундамент под насос проверяют на отсутствие трещин, раковин и пустот, обстукивая его молотком и зубилом. При этом нужно определить качество фундамента и марку бетона.

Перед монтажом агрегата необходимо очистить фундамент и колодцы анкерных болтов от грязи и других посторонних предметов. Затем установить фундаментные болты и раму на клинья или подкладки, проверить горизонтальность установки фундаментной рамы при помощи уровней в двух направлениях (поперечном и продольном).

После выверки горизонтальности и осевого положения фундаментной рамы установить насос, выполнить центрирование валов насоса и двигателя, пользуясь при этом клиновыми подкладками, устанавливаемыми под фундаментную раму; уровень при этом устанавдивают на строганые поверхности. Вертикальное положение агре-

гата можно проверить при помощи нивелира и реек, привязываясь к реперу.

Гайки фундаментных болтов нужно затягивать вначале до их соприкосновения со станиной монтируемого насоса, а затем в несколько приемов крест-накрест до полного отказа. После монтажа насоса центрируют валы насоса и двигателя. Соосность валов проверяют замерами радиальных зазоров по окружности полумуфт и торцовых зазоров между полумуфтами.

При проведении монтажных работ учащиеся должны научиться пользоваться специальным монтажным инструментом и съемниками, приемам нанесения ударов по чугунным деталям.

При соединении трубопроводов с насосом необходимо правильно установить фасонные части и арматуру трубопроводов.

Работа 13. **Обслуживание насосов.** Цель лабораторной работы — научить учащихся приемам обслуживания насосов.

При проведении работы необходимо подготовить насосный агрегат к работе. Для этого внешним осмотром определяют исправность агрегата, правильность соединения двигателя с насосом, очищают агрегат от грязи и пыли, освобождают здание насосной станции от посторонних предметов, проверяют правильность монтажа и установки измерительных приборов, арматуры и фасонных частей. Все обнаруженные недостатки устраняют до пуска насоса в работу. После этого проверяют уровень масла в масляных ваннах. Насос заливают водой из специального бачка, вручную, открывая задвижку на напорном трубопроводе, или при помощи вакуум-насоса.

Тщательность заливки насоса и всасывающего трубопровода водой проверяют, выпуская струю воды из заливного отверстия или специально установленного воздушного крана. После этого насос запускают в работу, замеряя показания приборов (манометра и вакуумметра).

После пуска насоса в работу наблюдают за работой подшипников и сальников. Температуру масла подшипников измеряют термометром или на ощупь. Температура должна быть не более 60—70°С, или не обжигающей руку. Затяжка сальника насоса должна быть отрегулирована так, чтобы через него вода просачивалась отдельными каплями. Плотность затяжки сальника регулируют ключом, позволяющим равномерно отвинчивать или завинчивать гайки шпилек нажимной буксы.

При работе насоса необходимо следить за креплением насосного агрегата с фундаментом и отдельных узлов между собой. Периодически нужно снимать показания манометра и вакуумметра, прислушиваться к шуму и стуку в насосе.

При работе агрегата руководитель занятий может искусственно вводить некоторые неисправности в работу насосного агрегата, а учащийся должен их устранить. При этом учащийся должен знать, какие неисправности можно устранять без остановки и с остановкой работы насосного агрегата. При этом контролируются знания учащихся по технике безопасности.

Каждый учащийся должен научиться приемам остановки агрегата и ухода за ним после окончания работы насосной станции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. **Общие сведения из гидравлики** 5

§ 1. Основные физические свойства жидкостей 5
Удельный вес жидкости (5). Плотность жидкости (5). Сжимаемость жидкости (6) Температурное расширение жидкостей (7).

§ 2. Гидростатическое давление и его свойства 7

§ 3. Приборы для измерения давления . . . 8

§ 4. Понятие о скорости и расходе 10

§ 5. Уравнение движения жидкости 11
Уравнение неразрывности потока (11). Уравнение Бернулли для потока жидкости (11)

§ 6. Потери напора в трубопроводах . . . 13

§ 7. Гидравлический удар в трубах и борьба с ним 14

§ 8. Плавание тел в жидкости. Закон Архимеда 16

Контрольные вопросы 18

Задачи 18

Глава 2. **Классификация и особенности действия машин и аппаратов для перемещения, подъема или нагнетания жидкости** 19

§ 1. Основные понятия. Классификация насосов 19

§ 2. Общие сведения об устройстве и действии насосов 21

Динамические насосы 21
Центробежный насос (21). Осевые насосы (22). Вихревые насосы (24). Водоструйные насосы (26)

Объемные насосы 28
Поршневые насосы (28). Одновинтовые насосы (29)

Контрольные вопросы 31

Глава 3. **Основные показатели, характеризующие работу насосов и насосных установок** 32

§ 1. Насосные установки и их принадлежности 32

§ 2. Понятие о подаче насоса и насосной установки 36

§ 3. Понятие о давлении и напоре насоса и насосной установки 37

§ 4. Понятие о мощности насоса и насосной установки. К. п. д. насоса 39

§ 5. Высота всасывания насосов. Кавитация насосов 42

§ 6. Понятие о гидравлическом расчете трубопровода насосной установки 47

§ 7. Подбор насоса и двигателя по каталогам 50

Контрольные вопросы 52

Глава 4. **Классификация и устройство лопастных насосов** 53

§ 1. Классификация и стандартизация центробежных насосов 53

§ 2. Конструкции центробежных насосов . . 55

§ 3. Основные детали центробежных насосов . 70

Рабочее колесо (70). Корпус насоса (72). Подводящий канал (73). Отводящий канал (73). Вал и подшипники (75). Сальники (76). Уплотнение рабочих колес насоса (77). Осевое давление и способы его разгрузки (78)
§ 4. Особенности устройства и маркировки современных осевых насосов 81
Контрольные вопросы 84
Глава 5. **Работа лопастных насосов в различных эксплуатационных условиях** 85
§ 1. Характеристики лопастных насосов . . 85
§ 2. Перерасчет рабочей характеристики насоса на другую частоту вращения 89
§ 3. Определение рабочего режима насосной установки 91
§ 4. Регулирование подачи центробежных насосов 94
Регулирование подачи насосной установки задвижкой (дросселирование) (95). Регулирование подачи изменением частоты вращения насоса (96)
§ 5. Параллельная работа насосов на один трубопровод 97
§ 6. Последовательная работа центробежных насосов 99
§ 7. Особенности пользования универсальными характеристиками насосов 100
Контрольные вопросы 100
Глава 6. **Насосные станции и их сооружения** 102
§ 1. Определение и классификация насосных станций 102
§ 2. Стационарные насосные станции с водозабором из открытых источников 103
§ 3. Обзор основных сооружений оросительных насосных станций 104
Водозаборные сооружения (104). Деривационные сооружения (105). Водоприемные сооружения (106). Здания насосных станций (107). Водовыпускные сооружения (112)
Контрольные вопросы 113
Глава 7. **Трубопроводы насосных станций и их оборудование** 114
§ 1. Трубопроводы и арматура внутри здания насосной станции 114
Всасывающие трубопроводы (115). Напорные трубопроводы (117)
§ 2. Наружные трубопроводы 119
Всасывающие трубопроводы (119). Всасывающий или приемный клапан (120). Приемные воронки (122). Установка приемных клапанов и всасывающих воронок (123). Задвижки и переходы (123)
§ 3. Напорные трубопроводы 123
Чугунные трубопроводы (124). Стальные трубопроводы (127). Асбестоцементные трубопроводы (129)
§ 4. Арматура трубопроводов 132
Задвижки (132). Обратный клапан (136). Компенсаторы (137). Вантузы (139). Водовыпуски (141).
§ 5. Глубина заложения труб и особенности их прокладки 141
§ 6. Устройства, обеспечивающие устойчивость напорного трубопровода 142
§ 7. Измерительная арматура 143
Водомеры (143). Манометры (148). Вакуумметры (149)
§ 8. Приемка и испытание трубопроводов . . 149
Контрольные вопросы 153
Глава 8. **Двигатели насосных станций и их соединения с насосами** 155
§ 1. Электрические двигатели 155
§ 2. Выбор электрического двигателя к насосу 156
§ 3. Способы включения электрических двигателей в сеть и обеспечение требуемого напряжения 158
§ 4. Сравнительная характеристика двигателей 159
§ 5. Общие понятия о механической передаче энергии от двигателя к насосу . . . 160
Контрольные вопросы 161
Глава 9. **Монтаж насосов** 162
§ 1. Подготовка насосного агрегата к монтажу 162
§ 2. Грузоподъемные устройства 164
§ 3. Фундаменты под насосы 166
§ 4. Монтаж насосного агрегата на фундаменте 169
§ 5. Центрирование валов насосных агрегатов 171
§ 6. Монтаж насосов типа К 171
§ 7. Монтаж насосов, не имеющих общей плиты 173
§ 8. Монтаж насосов АТН 173
§ 9. Монтаж погружных насосов 175
§ 10. Техника безопасности при монтаже насосных агрегатов 176
Контрольные вопросы 177
Глава 10. **Организация эксплуатационной службы на насосных станциях** 178
§ 1. Плановая система технической эксплуатации насосных станций 178
§ 2. Необходимые мероприятия, обеспечивающие ПСТЭ 179
§ 3. Необходимая документация на насосных станциях 180
§ 4. Смета эксплуатационных расходов и технико-экономические показатели работы насосных станций 180
§ 5. План организационно-технических мероприятий на насосных станциях 181
§ 6. Структура управления и обслуживающий персонал насосных станций 182
§ 7. Примерное распределение обязанностей по внедрению и проведению ПСТЭ 183

§ 8. Дежурный персонал станции и его обязанности 184
§ 9. Техника безопасности и противопожарные мероприятия при работе на насосных станциях 186
Контрольные вопросы 187
Глава 11. **Обслуживание насосов** 188
§ 1. Подготовка насоса к первому пуску после монтажа и консервации 188
§ 2. Залив насосов перед пуском 189
§ 3. Пуск насосов в работу 192
§ 4. Уход за насосами во время работы . . 194
§ 5. Неисправности в работе насосов и способы их устранения 198
§ 6. Остановка насоса 198
§ 7. Периодические осмотры и проверки . . . 201
§ 8. Хранение оборудования насосной станции зимой 203
Контрольные вопросы 204
Глава 12. **Ремонтные работы** 205
§ 1. Организация ремонтных работ 205
Текущий ремонт (205). Капитальный ремонт (205). Непредвиденные ремонты (207).
§ 2. Разборка насосов 207
§ 3. Ремонт деталей насоса 208
Контрольные вопросы 210
Глава 13. **Общие сведения об эксплуатации сооружений стационарного гидроузла** 211
Контрольные вопросы 214
Лабораторные работы 214
Работа 1. Ознакомление с общим устройством и особенности эксплуатации насосных станций (214). *Работа 2.* Устройство и действие центробежных насосов (214). *Работа 3.* Процессы пуска, остановки и регулирования центробежного насоса (214). *Работа 4.* Построение рабочих характеристик центробежного насоса на основании данных его испытания (216). *Работа 5.* Параллельная и последовательная работа центробежных насосов (218). *Работа 6.* Устройство и действие передвижных прицепных насосных станций (СНП) с приводом от собственных двигателей (218). *Работа 7.* Устройство и действие прицепной насосной станции (ПНСТ) на салазках с приводом от трактора (218). *Работа 8.* Устройство и действие навесной насосной станции (СНН) (218). *Работа 9.* Устройство и действие самоходной плавучей насосной станции (СНПЛ-240/30) (219). *Работа 10.* Трубопроводы и арматура насосных станций (219). *Работа 11.* Передача энергии от двигателя к насосу (219). *Работа 12.* Монтаж насосов (219). *Работа 13.* Обслуживание насосов (220).