

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

1. НАСОСЫ

1.1. Основные понятия и определения

Насосы – гидравлические машины, предназначенные для перемещения жидкостей под напором. Преобразуя механическую энергию приводного двигателя в энергию движущейся жидкости, насосы поднимают жидкость на определенную высоту, подают ее на необходимое расстояние в горизонтальной плоскости или заставляют циркулировать в какой-либо замкнутой системе. Насос в любом случае гидравлическая машина, преобразующая энергию приводного двигателя в потенциальную энергию давления и кинетическую энергию движущейся жидкости.

Насосный агрегат – насос и двигатель, соединенные при помощи передаточного механизма.

Насосная установка – полностью смонтированный комплект двигателя, передачи насоса с всасывающими и напорными трубопроводами, служащими для подвода перекачиваемой жидкости из приемного резервуара к насосу и ее отвода.

Насосная станция – сложный комплекс насосных установок, устройств и сооружений, обеспечивающих в совокупности бесперебойную подачу воды (отведения сточной жидкости) в соответствии с запросом потребителей.

1.2. Основные параметры насосов

Насосы с точки зрения потребителя характеризуются тремя величинами: **производительностью, напором и мощностью.**

Соотношение между полезной гидравлической энергией и подведенной механической энергией определяется **коэффициентом полезного действия (КПД)**, который характеризует совершенство насоса.

Производительность насоса – количество (объем или вес) жидкости, подаваемой в единицу времени.

Размерность объемной производительности (Q) выражается в $\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{л}/\text{с}$.

Весовая производительность (G) связана с объемной (Q) соотношением:

$$G = \rho Q$$

где ρ – объемный вес жидкости (для чистой воды $\rho \approx 1000 \text{ кг/м}^3$).

$$1 \text{ м}^3/\text{ч} = 1000 \text{ л/ч}; 3,6 \text{ м}^3/\text{ч} = 1 \text{ л/с}$$

Для измерения расхода служат расходомеры различных конструкций и принципа действия (механические, вихревые, ультразвуковые, электромагнитные и др.).

Напор (Н) – приращение удельной энергии перекачиваемой жидкости на участке от входа в насос до выхода из него или разность между удельными энергиями жидкости на выходе и входе в насос.

Напор (давление) выражается в метрах водяного столба (*м*), атмосферах (*атм*), барах (*бар*), килограмм-сила на квадратный сантиметр (*кгс/см²*) или мегапаскалях (*МПа*).

$$10 \text{ м} = 1 \text{ кгс/см}^2 \text{ (1 техническая атм)} \approx 1 \text{ атм} \approx 1 \text{ бар} \approx 0,1 \text{ МПа}$$

$$1 \text{ бар} = 100000 \text{ Па (0,1 МПа)} \approx 10,2 \text{ м}$$

$$1 \text{ атм} = 101325 \text{ Па} = 1,01325 \text{ бар}$$

За рубежом распространены единицы psi (фунт-сила на квадратный дюйм):

$$1 \text{ psi} \approx 0,7 \text{ м} \approx 0,07 \text{ атм}; 1 \text{ атм} \approx 14,7 \text{ psi}$$

Измерение напора (давления) выполняется с помощью манометров, дифманометров, вакуумметров, датчиков давления.

На рис. 1.1 приведены схемы установки насоса, которая позволяет определять напор насоса.

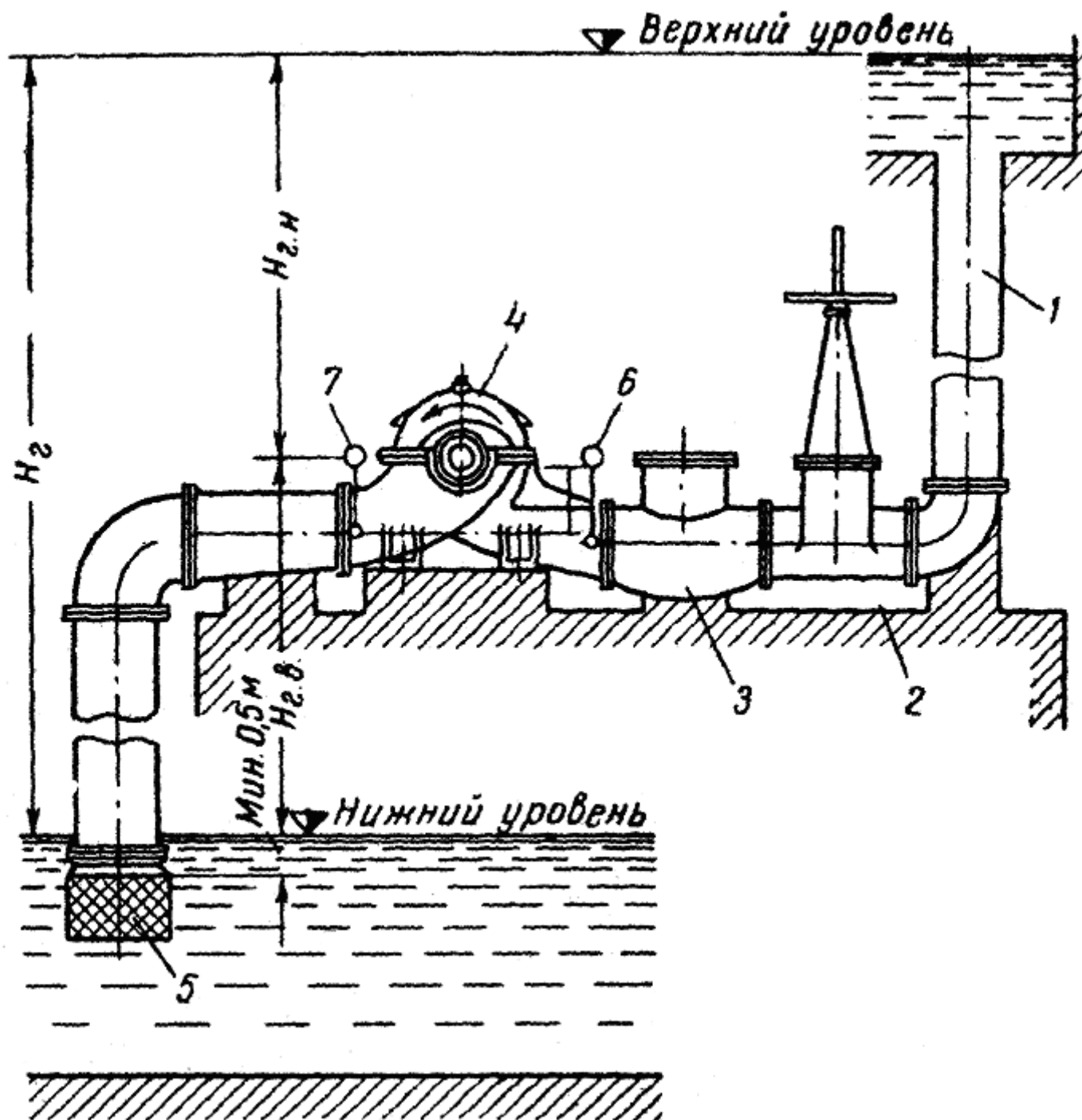


Рис. 1.1. Схема установки центробежного насоса:

1 – напорный трубопровод; 2 – задвижка; 3 – обратный клапан; 4 – насос; 5 – приемный клапан; 6 – манометр; 7 – вакуумметр; $H_{г.н.}$ – геометрическая высота нагнетания; $H_{г.в.}$ – геометрическая высота всасывания; $H_{г.}$ – геометрическая высота подъема

Напор насоса представляет собой сумму статической (геометрической) высоты подъема и гидравлических потерь, возникающих при движении перекачиваемой жидкости по системе всасывающего и напорного трубопровода от нижнего уровня воды до верхнего.

Геометрическая высота подъема представляет собой разницу отметок верхнего и нижнего уровней воды.

Уровни воды, а, следовательно, и статический напор входят в число исходных данных для проектирования насосной установки. Суммарные гидравлические потери для заданной подачи насоса определяются расчетом с учетом конструктивных особенностей: (диаметр, протяженность, материал, оборудование и других) всасывающего и напорного трубопроводов.

Полный напор насоса определяется по формуле:

$$H_{\text{нас}} = H_{\Gamma} + h_{\text{вс}} + h_{\text{нап}},$$

где

$H_{\text{нас}}$ – напор насоса, м;

H_{Γ} – геометрическая высота подъема, м;

$h_{\text{вс}}$ – потери напора во всасывающих коммуникациях, м;

$h_{\text{нап}}$ – потери напора в напорных коммуникациях, м.

Геометрическая высота подъема насоса складывается из геометрической высоты всасывания ($H_{\Gamma.в.}$) и геометрической высоты нагнетания ($H_{\Gamma.н.}$).

$H_{\Gamma.в.}$ – разность отметок уровня воды в источнике и центра колеса.

$H_{\Gamma.н.}$ – разность отметок верхнего уровня воды (напр., в резервуаре) и центра колеса.

Мощность насоса и его коэффициент полезного действия.

Полезная мощность насоса (N_n) равна

$$N_n = \rho g Q H,$$

где

Q – подача насоса, м³/с;

H – напор насоса, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Потребляемая мощность (N) больше полезной мощности на величину всех потерь мощности в насосе. Эти потери оцениваются полным КПД насоса (η), который равен отношению полезной мощности насоса к потребляемой:

$$\eta = \frac{N_n}{N}$$

Потребляемая насосом мощность будет равна:

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

1.3. Классификация насосов

Конструктивное разнообразие насосов чрезвычайно велико, поэтому классификация насосов по их назначению весьма затруднительна. Более логична классификация, основанная на различиях в принципе действия. С этой точки зрения все насосы разделяются на два вида: динамические и объемные. Классификация насосов приведена на рис. 1.2.



В **динамических** насосах жидкость движется под силовым воздействием в камере постоянного объема, сообщающейся с подводящими и отводящими устройствами. В зависимости от вида силового воздействия на жидкость, динамические насосы, в свою очередь, делятся на лопастные и трения.

Объемные насосы работают по принципу вытеснения жидкости из камеры за счет уменьшения ее объема. Периодическое изменение объема камеры происходит за счет возвратно-поступательного или вращательного движения рабочего органа насоса.

Особое внимание нами будет уделено рассмотрению центробежных насосов, так как они составляют абсолютное большинство эксплуатируемых насосов в системах водоснабжения и водоотведения.

1.4. Схема устройства и принцип действия центробежных насосов

Основным рабочим органом центробежного насоса, один из возможных вариантов которого схематично изображен на рис. 1.3, является свободно вращающееся внутри корпуса колесо, насаженное на вал. Рабочее колесо (рис. 1.4) состоит из двух дисков, переднего и заднего, отстоящих на некотором расстоянии друг от друга. Между дисками, соединяя их в единую конструкцию, находятся лопасти, плавно изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Внутренняя поверхность дисков и поверхности лопастей образуют так называемые межлопастные каналы колеса, которые при работе насоса заполнены перекачиваемой жидкостью.

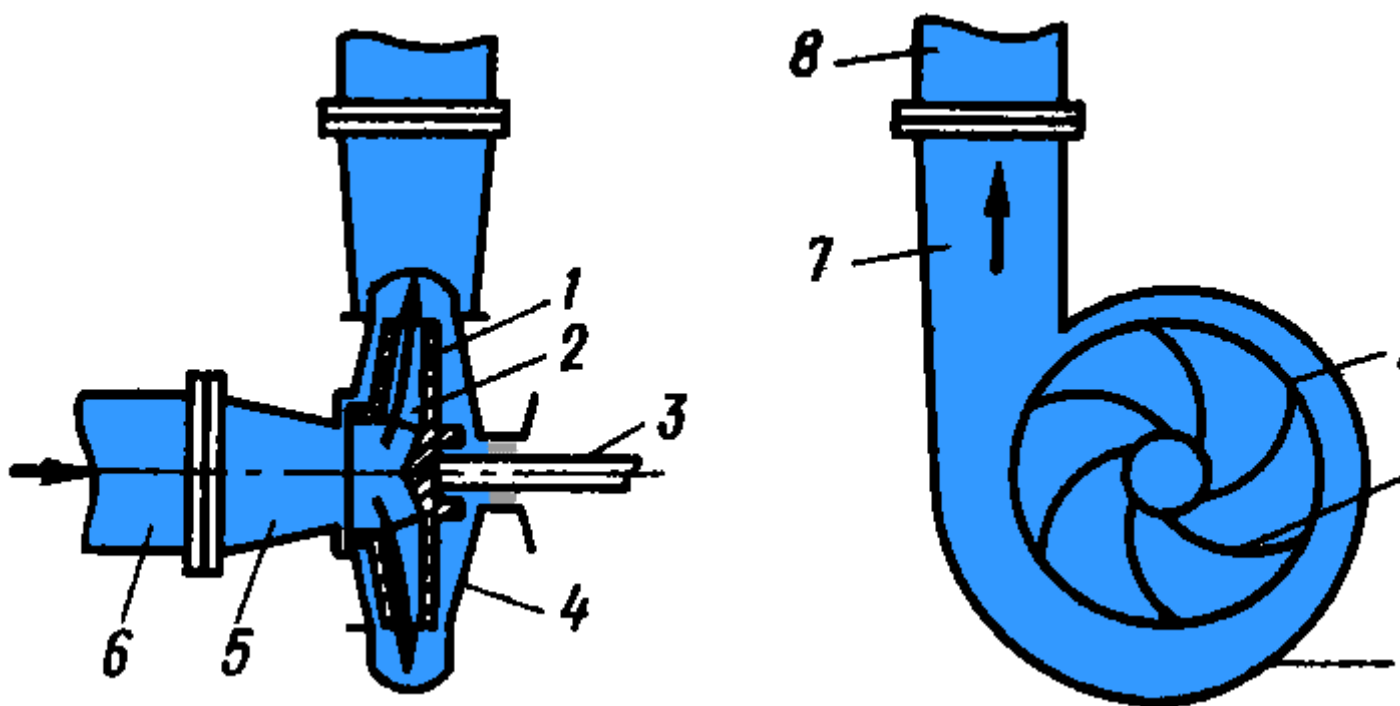


Рис.1.3. Центробежный насос:

а — продольный разрез; б — поперечный;

1 — рабочее колесо; 2 — лопасти рабочего колеса; 3 — вал; 4 — корпус; 5 — всасывающий патрубок; 6 — всасывающий трубопровод; 7 — напорный патрубок; 8 — напорный трубопровод



Рис. 1.4. Различные типы рабочих колес центробежных насосов (а); рабочее колесо со снятым передним диском (б)

При вращении колеса на каждую часть жидкости (массой m), находящейся в межлопастном канале на расстоянии r от оси вала, будет действовать центробежная сила, определяемая выражением:

$$F_{\text{ц}} = m\omega^2 r,$$

где ω – угловая скорость вала, рад/с.

Под действием этой силы жидкость выбрасывается из рабочего колеса, в результате чего в центре колеса создается разрежение, а в периферийной его части повышенное давление. Для обеспечения непрерывного движения жидкости через насос необходимо обеспечить подвод перекачиваемой

жидкости к рабочему колесу и отвод ее от него. Для отвода жидкости в корпусе насоса имеется расширяющаяся спиральная камера (в форме улитки), куда и поступает жидкость, выбрасываемая из рабочего колеса. Спиральная камера (отвод) переходит в короткий диффузор, образующий напорный патрубок, соединяемый обычно с напорным трубопроводом. С торцевой стороны к центру корпуса присоединен всасывающий патрубок, через который с помощью всасывающей трубы подводится перекачиваемая жидкость.

В зависимости от требуемых параметров, назначения и условий работы в настоящее время разработано большое число разнообразных конструкций центробежных насосов, которые можно классифицировать по нескольким признакам:

- **по числу рабочих колес** – одноступенчатые и многоступенчатые
- **по способу подвода жидкости к рабочему колесу** – с односторонним подводом воды и двусторонним подводом воды (т. н. центробежные насосы двухстороннего входа)
- **по компоновке насосного агрегата** (расположению вала) – горизонтальные и вертикальные
- **по способу соединения с двигателем** – приводные (со шкивом или редуктором); соединяемые непосредственно с двигателями с помощью муфты, и моноблочные, рабочее колесо которых устанавливается на удлиненном конце вала электродвигателя.
- **по роду перекачиваемой жидкости** – водопроводные, канализационные, теплофикационные (для горячей воды), кислотные, грунтовые и др.

Напор одноступенчатых центробежных насосов, серийно выпускаемых промышленностью, достигает 120 м, подача $30 \text{ м}^3/\text{с}$.

Серийные многоступенчатые насосы развивают напор до 2000 м, при подаче $0,08 - 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

КПД в зависимости от конструктивного исполнения меняется в широких пределах: от $0,88 - 0,9$ у крупных одноступенчатых насосов до $0,4 - 0,45$ у высоконапорных многоступенчатых.

Основными параметрами, определяющими основные энергетические показатели центробежного насоса (напор, подачу и мощность), являются диаметр рабочего колеса и число оборотов вала (число оборотов двигателя).

1.5. Подобие насосов. Формулы пересчета и коэффициент быстроходности

Предварительное определение расчетных параметров проектируемых насосов, исследования рабочих режимов на моделях и перенос получаемых результатов на натурные насосы возможно на основе теории о механическом подобии движения реальной жидкости. Главное положение этой теории заключается в необходимости выполнения условий геометрического, кинематического и динамического подобия.

- Геометрическое подобие означает подобие всех поверхностей, ограничивающих и направляющих поток.

- Кинематическое подобие в общем виде означает, что безразмерные поля скоростей в рассматриваемых потоках должны быть одинаковы.

- Динамическое подобие означает пропорциональность сил, действующих в соответствующих точках потока.

Изменение диаметра рабочего колеса и числа его оборотов влечет за собой изменение производительности, напора и мощности, потребляемой насосом.

В практике эксплуатации насосов для определения параметров их работы при различных диаметрах (D_1 и D_2) и числе оборотов вала рабочего колеса (n_1 и n_2) используются следующие зависимости, удобные для решения практических задач:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^5$$

В том случае, когда один и тот же насос, перекачивающий одну и ту же жидкость, работает при различных частотах вращения n_1 и n_2 , формулы пересчета еще более упрощаются:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

Коэффициент быстроходности

Одни и те же значения подачи и напора могут быть получены в насосах с различной частотой вращения. Естественно, что конструкция рабочих колес и всех элементов проточной части насоса, равно как и их размеры, при этом меняются.

Для сравнения лопастных насосов различных типов используется коэффициент быстроходности, объединяя группы рабочих колес по принципу их геометрического и кинематического подобия.

Коэффициентом быстроходности насоса (n_s) называется частота вращения другого насоса, во всех деталях геометрически подобного рассматриваемому, но таких размеров, при которых, работая в том же режиме с напором в 1 м, он дает подачу $0,075 \text{ м}^3/\text{с}$.

Численные значения коэффициента определяются по формуле:

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

Для насосов двустороннего входа воды подача Q принимается равной половинной.

Коэффициент быстроходности является важным удельным показателем, который широко используется в качестве характеристики типа насоса. Универсальность этого показателя состоит в том, что он одновременно учитывает три наиболее существенных параметра любого насоса – частоту вращения, мощность (или подачу) и напор. Благодаря этому n_s довольно полно характеризует тип насоса.

В зависимости от величины коэффициента быстроходности насосы бывают:

- тихоходные ($50 < n_s < 80$), $D_2/D_1 = 2,5 - 3,0$;
- нормальные ($80 < n_s < 150$), $D_2/D_1 = 2,0$;
- быстроходные ($150 < n_s < 350$), $D_2/D_1 = 1,4 - 1,8$.

Тихоходные насосы (малый коэффициент быстроходности) имеют большой напор и сравнительно небольшую подачу. Большой напор этих насосов создается за счет увеличения рабочего колеса на выходе D_2 . Небольшая подача, в свою очередь, обуславливается малой высотой рабочего колеса у выхода (l_2) и его диаметром на входе D_1 .

С увеличением быстроходности разница между выходным и входным диаметром сокращается, а высота возрастает.

1.6. Высота всасывания

Высота всасывания относится к числу параметров, имеющих чрезвычайно важное значение при проектировании насосных станций. Высота всасывания, определяя положение насоса по отношению к уровню свободной поверхности в водоисточнике, определяет тем самым и глубину заложения фундамента машинного зала, а следовательно и капитальные затраты на строительство.

Различают геометрическую ($H_{г.в.}$) и вакуумметрическую ($H_{вак}$) высоты всасывания.

Геометрическая высота всасывания $H_{г.в.}$ – разность отметок оси насоса и свободного уровня поверхности воды в резервуаре или в источнике (рис. 1.5).

Вакуумметрическая высота всасывания $H_{вак}$ равна, (м):

$$H_{вак} = \frac{p_{атм} - p_1}{\rho g},$$

где $p_{атм}$ – атмосферное давление, м;

p_1 – давление на входе в насос, м.

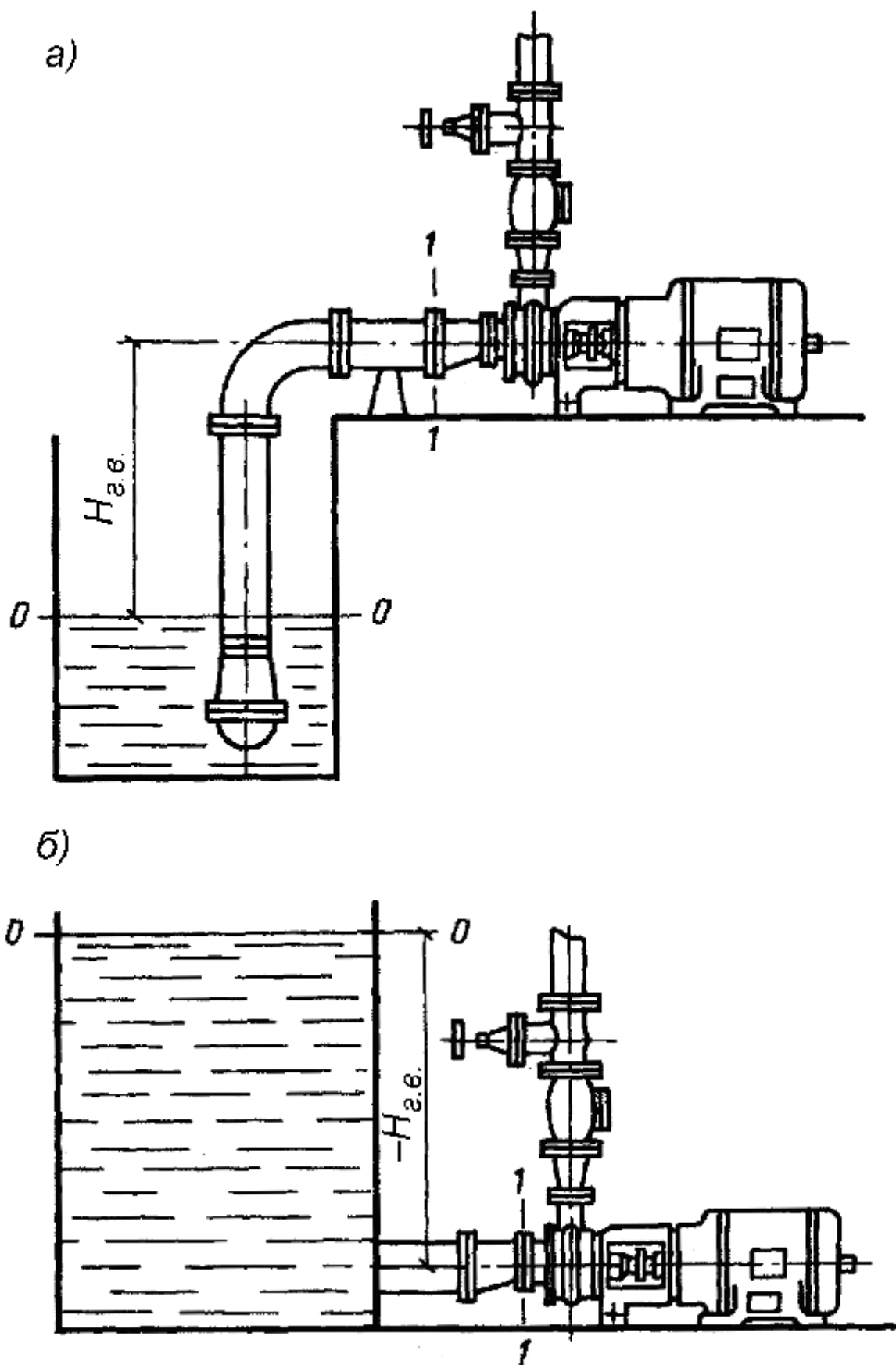


Рис. 1.5. Схемы установки центробежного насоса (к определению высоты всасывания)

Геометрическая и вакуумметрическая высоты всасывания связаны следующими соотношениями:

$$H_{г.в.} = H_{вак} - \frac{v_1^2}{2g} - h_{вс},$$

$$H_{вак} = H_{г.в.} + \frac{v_1^2}{2g} + h_{вс}$$

где – v_1 – скорость при входе в насос, м/с;

$h_{вс}$ – потери напора во всасывающих коммуникациях насоса, м.

Эта зависимость справедлива для случая, когда уровень воды в источнике ниже оси насоса, т.е. когда насос работает с положительной высотой всасывания (рис. 1.5а).

Когда уровень свободной поверхности расположен выше оси насоса, т.е. насос работает с отрицательной геометрической высотой всасывания (рис. 1.5б), соотношения между геометрической и вакуумметрической высотой всасывания примут вид:

$$H_{г.в.} = -H_{вак} + \frac{v_1^2}{2g} + h_{вс}$$

$$H_{вак} = \frac{v_1^2}{2g} + h_{вс} - H_{г.в.}$$

1.7. Кавитация в насосах. Допустимое значение высоты всасывания

При падении абсолютного давления у входа в рабочее колесо насоса, равного давлению насыщенного пара перекачиваемой жидкости, возникает явление кавитации, которое приводит к разрушению материала рабочего колеса и корпуса насоса, уменьшает величины H и η насоса, приводит к срыву работы насоса и даже его разрушению.

Кавитация (пустота) – физическое явление – нарушение сплошности внутри жидкости, т.е. образование в капельной жидкости полостей заполненной газом, парами или их смесью (так называемых кавитационных пузырьков или каверн).

Отсутствие кавитации в насосе определяется условием, при котором давление жидкости на входе в насос не должно опускаться ниже допустимого $p_{пар}$ (давления насыщенных паров жидкости):

$$H_{з.в.} \leq \frac{p_{атм} - p_{пар}}{\rho g} - \frac{v_1^2}{2g} - h_{\theta c} = H_{\theta ак}^{доп} - \frac{v_1^2}{2g} - h_{\theta c},$$

где $H_{\theta ак}^{доп}$ – допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м.

Обычно $H_{\theta ак}^{доп}$ определяется в результате кавитационных испытаний насосов и приводится в паспорте насоса.

Обычно $H_{\theta ак}^{доп}$ дается для нормального атмосферного давления на уровне моря и температуре $t = 35^\circ\text{C}$.

С повышением отметки местности атмосферное давление снижается на $\Delta p_{атм}$. Приближенно можно считать

$$\frac{\Delta p_{атм}}{\rho g} = \frac{\nabla}{900},$$

где ∇ – абсолютная отметка местности в месте расположения насоса.

Если перекачивается нагретая жидкость, то дополнительно следует учитывать и давление ее насыщенных паров $p_{пар}$. Для воды величина $p_{пар}/\rho g$ колеблется от 0,12 м при 10°C до 4,83 м при 80°C . Из этого можно сделать вывод, что при перекачке горячей воды допустимая высота всасывания значительно уменьшается.

Таким образом, в общем случае с учетом отметки установки насоса и температуры перекачиваемой жидкости высота всасывания может определяться по формуле:

$$H_{з.в.} \leq H_{\theta ак}^{доп} - \frac{v_1^2}{2g} - h_{\theta c} - \frac{\Delta p_{атм}}{\rho g} - \frac{p_{пар}}{\rho g}$$

При отсутствии данных о допустимой вакуумметрической высоте всасывания ее величина определяется по формуле:

$$H_{\theta ак}^{доп} = \frac{p_{атм}}{\rho g} - \frac{p_{пар}}{\rho g} - \Delta h_{д} - h_{\theta c},$$

где $\Delta h_{д}$ – допустимый кавитационный запас, м.

Допустимый кавитационный запас можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta h_{д} = \varphi \Delta h_{мин},$$

где φ – коэффициент запаса ($\varphi = 1,2 - 1,5$);
 $\Delta h_{\min}$ – минимальный кавитационный запас, м:

$$\Delta h_{\min} = 10 \left(\frac{n \sqrt{Q}}{C} \right)^{4/3}$$

где n – частота вращения рабочего колеса;

C – кавитационный коэффициент быстроходности. Зависит от коэффициента быстроходности насоса и приводится в справочной и специальной литературе.

В каталогах и паспортах насосов обычно приводится или характеристика $Q - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ или $Q - \Delta h_{\text{д}}$. Для определения допустимой вакуумметрической высоты всасывания через величину допустимого кавитационного запаса используют выражение:

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 10 - \Delta h_{\text{д}}$$

Основные причины кавитации:

- низкое барометрическое давление на входе во всасывающий трубопровод;
- большая высота расположения насоса над уровнем жидкости;
- высокая температура перекачиваемой жидкости;
- большие потери напора во всасывающих коммуникациях насоса.

1.8. Характеристики насоса

Характеристикой насоса называется графически выраженная зависимость основных энергетических показателей от подачи при постоянной частоте вращения вала рабочего колеса, вязкости и плотности жидкой среды на входе в насос.

Значения напора (H), мощности (N), коэффициента полезного действия (η), допустимого кавитационного запаса ($\Delta h_{\text{д}}$) или допустимой вакуумметрической высоты всасывания ($H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$) для ряда значений подачи (Q) представляются в виде системы точек в координатах $Q - H$, $Q - N$, $Q - \eta$, $Q - \Delta h_{\text{д}}$, $Q - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$. Основной характеристикой насоса является график, выражающий зависимость развиваемого насосом от подачи $H = f(Q)$.

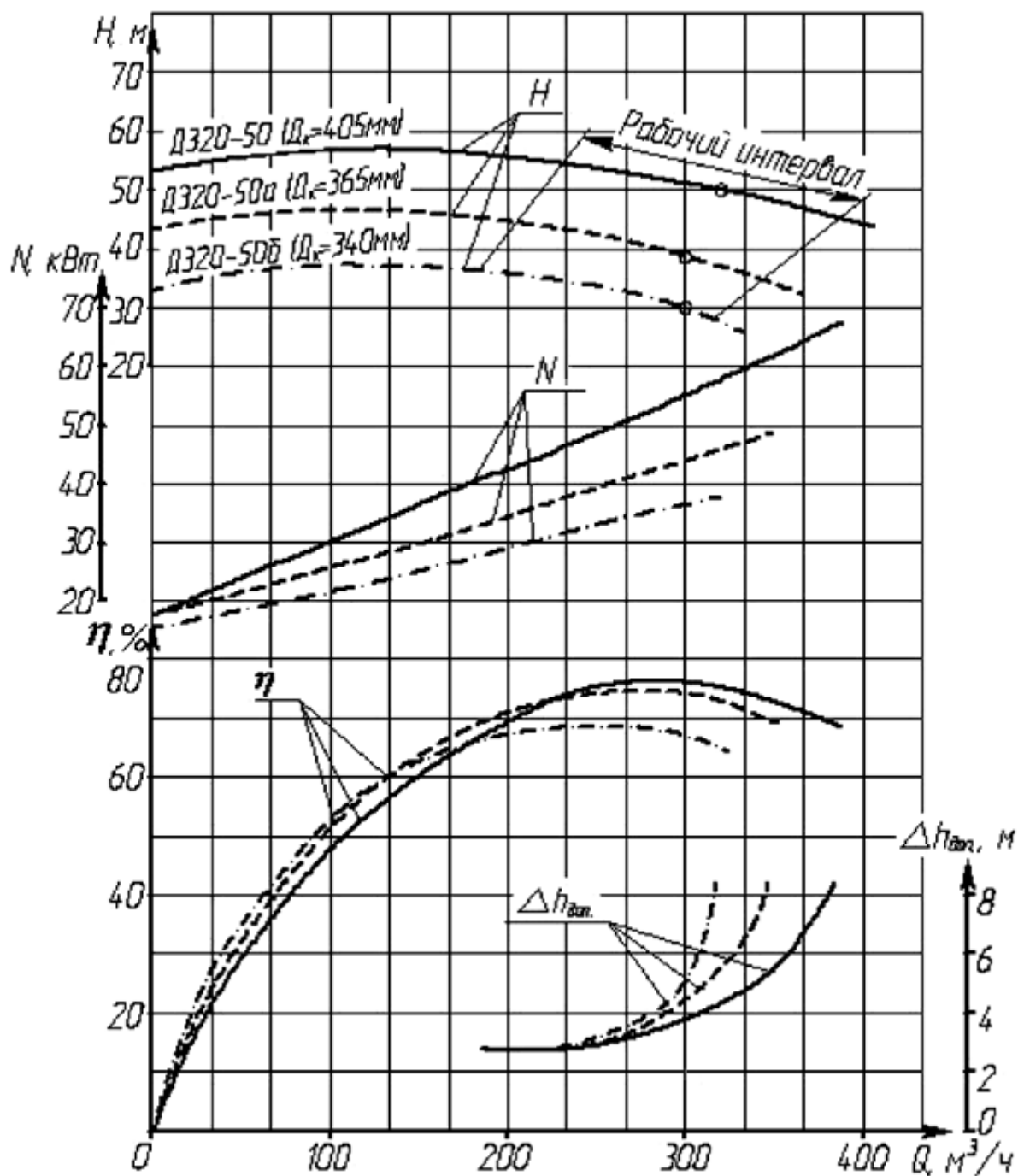


Рис. 1.6. Характеристики центробежного насоса Д320-50.

На рис. 1.6 показаны характеристики насоса Д 320-50. Сплошные линии соответствуют максимальному диаметру рабочего колеса, пунктирные – обточенному до промежуточного и минимального размера.

Области максимальных значений КПД соответствуют номинальная подача $Q_{\text{ном}} = 320 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напор $H_{\text{ном}} = 50 \text{ м}$, значения которых входят в обозначение типоразмера насоса. Область кривой $Q - H$, соответствующая высоким значениям КПД, отмеченная линиями, называется рабочей частью характеристики. При подборе насоса необходимо выполнить условия, при

котором во всех режимах насос работал в области рабочей части характеристики.

Графические характеристики насоса дают наглядное представление об изменении основных его параметров.

Из теоретической зависимости H от Q следует, что с уменьшением подачи напор возрастает и при подаче равной нулю, т.е. при закрытой задвижке на напорном трубопроводе, достигает максимального значения.

Однако некоторые насосы развивают максимальный напор после открытия задвижки, т.е. напор возрастает при начальном увеличении подачи, а затем падает (см. рис. 1.7). Графическая характеристика имеет восходящую ветвь от Q до Q_B . Такие графические характеристики называются восходящими. Из рис. 1.7 видно, что напору H_A соответствуют две подачи Q_A и Q_1 . Изменение подачи насоса наступает внезапно, сопровождается сильным шумом и гидравлическими ударами. Работа насоса в пределах подачи от 0 до Q_2 называется **областью неустойчивой работы**.

Характеристики, не имеющие возрастающей ветви, называются **стабильными**. Режим работы насосов, имеющих стабильную рабочую характеристику $Q - H$, протекает устойчиво во всех точках кривой.

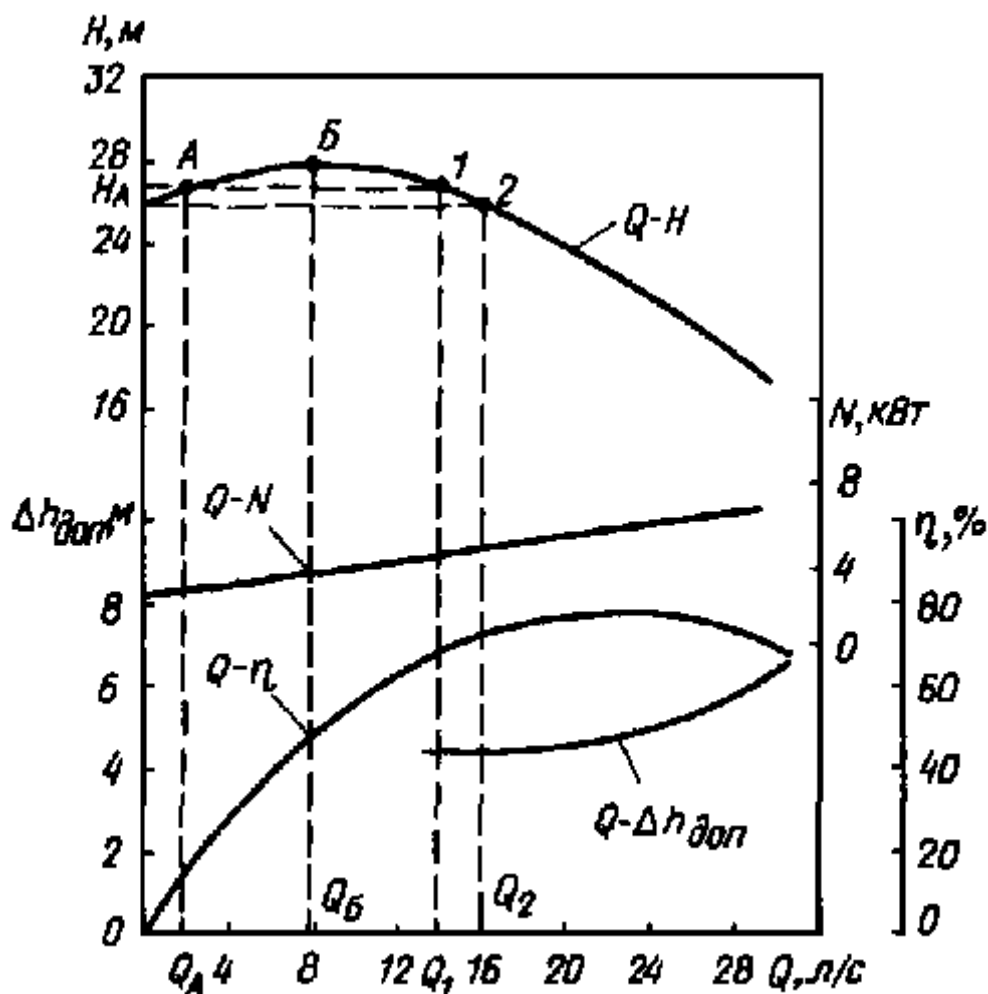


Рис. 1.7. Рабочая характеристика центробежного насоса восходящего типа

Форма характеристики $Q - H$ зависит от коэффициента быстроходности насоса n_s : чем больше коэффициент быстроходности, тем круче кривая $Q - H$. При стабильной пологой характеристике напор насоса даже при значительном изменении подачи изменяется незначительно. Насосы с пологими характеристиками целесообразно применять в системах, где при постоянном напоре требуется регулирование подачи в широких пределах, например в системах подачи и распределения воды без регулируемых емкостей.

Насосы со стабильной крутопадающей характеристикой целесообразно применять в системах со значительными колебаниями напора при необходимости сохранения по возможности постоянной подачи, например на насосных станциях первого подъема из поверхностных источников.

Насосы с восходящими характеристиками рекомендуется применять в системах, где подача не снижается до значения Q_2 (до подачи, соответствующей напору при закрытой задвижке).

1.9. Изменение характеристик насосов при изменении частоты вращения и геометрических размеров рабочего колеса

В производственных условиях часто возникает необходимость пересчета паспортных характеристик, установленных при частоте вращения n , для перехода на другую частоту вращения рабочего колеса n_1 при $D_2 = const$. Из закона динамического подобия при неизменном диаметре рабочего колеса имеем:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}; \quad \frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2; \quad \frac{\Delta h}{\Delta h_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2; \quad \frac{N}{N_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3$$

Полученные выражения называются законом пропорциональности.

Высота всасывания насоса при работе его с частотой вращения n_1 определяется по уравнению:

$$H_{\text{вас}1} = 10 - \left[10 - H_{\text{вас}} \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 \right]$$

где $H_{\text{вас}}$ и $H_{\text{вас}1}$ – допускаемая вакуумметрическая высота всасывания при частотах вращения n и n_1 .

Перемещение режимных точек в координатах $Q - H$ происходит по параболам $H_1 = const \cdot Q_1^2$ (рис. 1.8а).

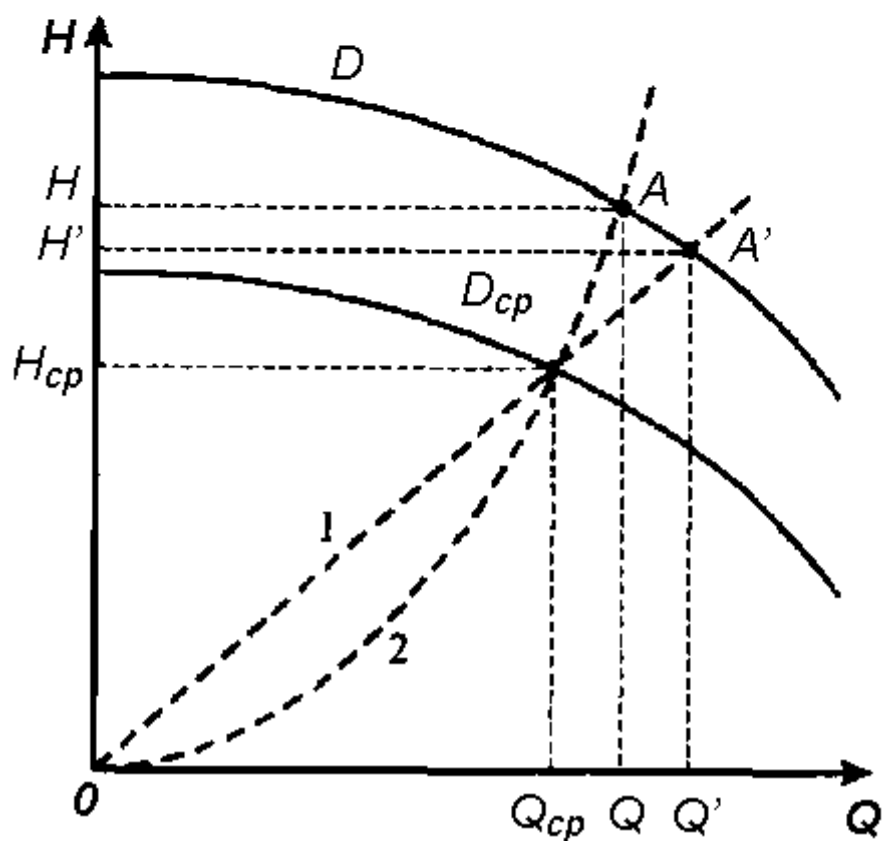
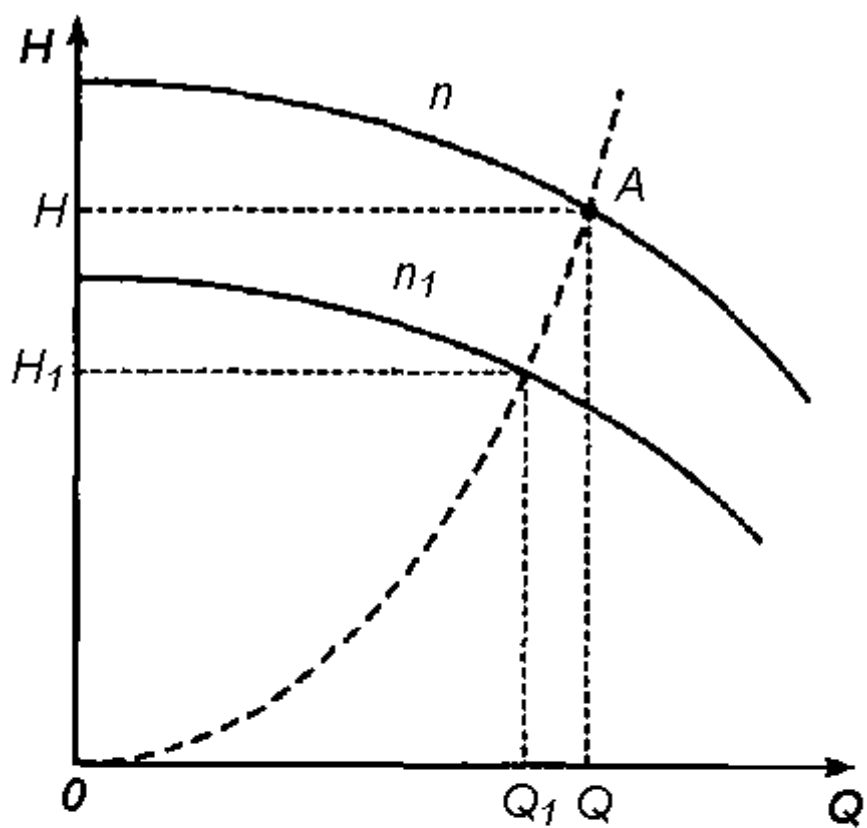


Рис. 1.8. Изменение положения режимных точек на характеристике насоса при изменении частоты вращения (а) и срезке рабочего колеса (б): 1 – при $n_s > 150$, 2 – при $n_s < 150$

Установленный закон пропорциональности позволяет по одной опытной характеристике $Q - H$ построить ряд характеристик насоса в широком диапазоне изменения частоты вращения.

В том случае, когда подобрать центробежный насос непосредственно по каталогу или изменение частоты вращения нецелесообразно, прибегают к обточке его рабочего колеса.

Из закона динамического подобия при неизменной частоте вращения рабочего колеса имеем:

$$\frac{Q_{cp}}{Q} = \left(\frac{D_{cp}}{D} \right)^2; \quad \frac{H_{cp}}{H} = \left(\frac{D_{cp}}{D} \right)^2,$$

где D и D_{cp} – диаметр исходного и обточенного рабочего колеса.

Экспериментальная проверка показала, что для центробежных насосов, имеющих коэффициент быстроходности $n_s < 150$, лучшее соответствие величин Q_{cp} и H_{cp} опытными данным получается при расчете по следующим формулам:

$$\frac{Q_{cp}}{Q} = \frac{D_{cp}}{D}; \quad \frac{H_{cp}}{H} = \left(\frac{D_{cp}}{D} \right)^2; \quad \frac{N}{N_1} = \left(\frac{D}{D_1} \right)^3$$

КПД насоса уменьшается на 1 % на каждые 10 % срезки колеса с коэффициентом быстроходности $n_s = 60 - 200$ и на 1 % на каждые 4 % срезки при $n_s = 200 - 300$.

В зависимости от коэффициента быстроходности рекомендуются следующие пределы срезки колес:

Быстроходность n_s	60 – 120	120 – 200	200 – 300
Допустимый процент обточки $P_{\text{доп}}$, %	20 – 15	15 – 10	10 – 5

Процент обточки колеса определяется как:

$$P = \frac{D - D_{\text{обт}}}{D} \cdot 100\%$$

1.10. Совместная работа насосов и сети

Подача центробежного насоса зависит от напора и, следовательно, в значительной степени от гидравлического сопротивления водоводов и сети. Поэтому система «насос – трубопровод» рассматривается как единая система, а

выбор насосного оборудования и трубопроводов решается на основании расчета совместной работы составляющих элементов системы.

Совместная работа насосов и сети (водоводов) характеризуется точкой материального и энергетического равновесия. Для определения этой точки необходимо вычислить энергетические затраты в системе «водоводы – сеть». Совместная работа насосов и трубопроводов связана следующими зависимостями:

$$H = f(Q_p); h = f(Q),$$

где Q – расчетный расход в трубопроводе;

Q_p – подача воды насосом;

H – напор насоса;

h – гидравлическое сопротивление водоводов и сетей.

Насосы в системе работают в соответствии с характерной для них зависимостью между Q и H , т.е. график работы насоса определяется его характеристикой $Q - H$.

Для построения графической характеристики системы подачи и распределения воды (или отдельных трубопроводов) используют известные уравнения гидравлики. Требуемый напор в системе равен сумме геометрической высоты подъема жидкости и гидравлических потерь в трубопроводах.

$$H_{mp} = H_{\Gamma} + h_{вс} + h_{нап},$$

где H_{Γ} – геометрическая (статическая) высота подъема жидкости, м;

$h_{вс}$ – потери напора во всасывающем трубопроводе;

$h_{нап}$ – потери напора в напорных коммуникациях, водоводах и сети.

Потери напора в трубопроводах складываются из потерь напора и длине ($h_{дл}$) и потерь на преодоление местных сопротивлений ($h_{м}$):

$$h = h_{дл} + h_{м}$$

Гидравлические потери напора по длине трубопровода могут быть определены по формуле:

$$h_{дл} = \lambda \frac{\ell}{D_{тр}} \frac{v^2}{2g}$$

где ℓ – длина трубопровода, м;

$D_{тр}$ – расчетный внутренний диаметр трубопровода, м;

v – средняя скорость движения воды, м/с;

Q – подача (расход), м³/с;

λ – коэффициент сопротивления трению.

Проще всего потери напора определять по таблицам Ф.А. Шевелева для гидравлического расчета водопроводных труб.

Для определения потерь напора в трубопроводе при построении его характеристики $Q - H$ удобно воспользоваться формулой:

$$H_{ол} = SQ^2,$$

где $S = S_0 l$ – сопротивление трубопровода;

S_0 – удельное сопротивление.

Местные сопротивления вычисляются по формуле:

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g},$$

где ξ – коэффициент местных сопротивлений (зависит от вида сопротивления).

Совместная характеристика работы насосов и трубопроводов строится следующим образом (см. рис. 1.9).

На график переносятся характеристика насоса $Q - H$. Проводится прямая $C - D$ параллельно оси Q на расстоянии H_r . К ней прибавляются соответствующие определенным значениям величины потерь напора и строится параболическая кривая $C - E$ (характеристика трубопровода). Точка пересечения характеристики насоса $Q - H$ и характеристики трубопровода (A) является рабочей точкой насоса. По ней определяется Q , H , N , высота всасывания и КПД.

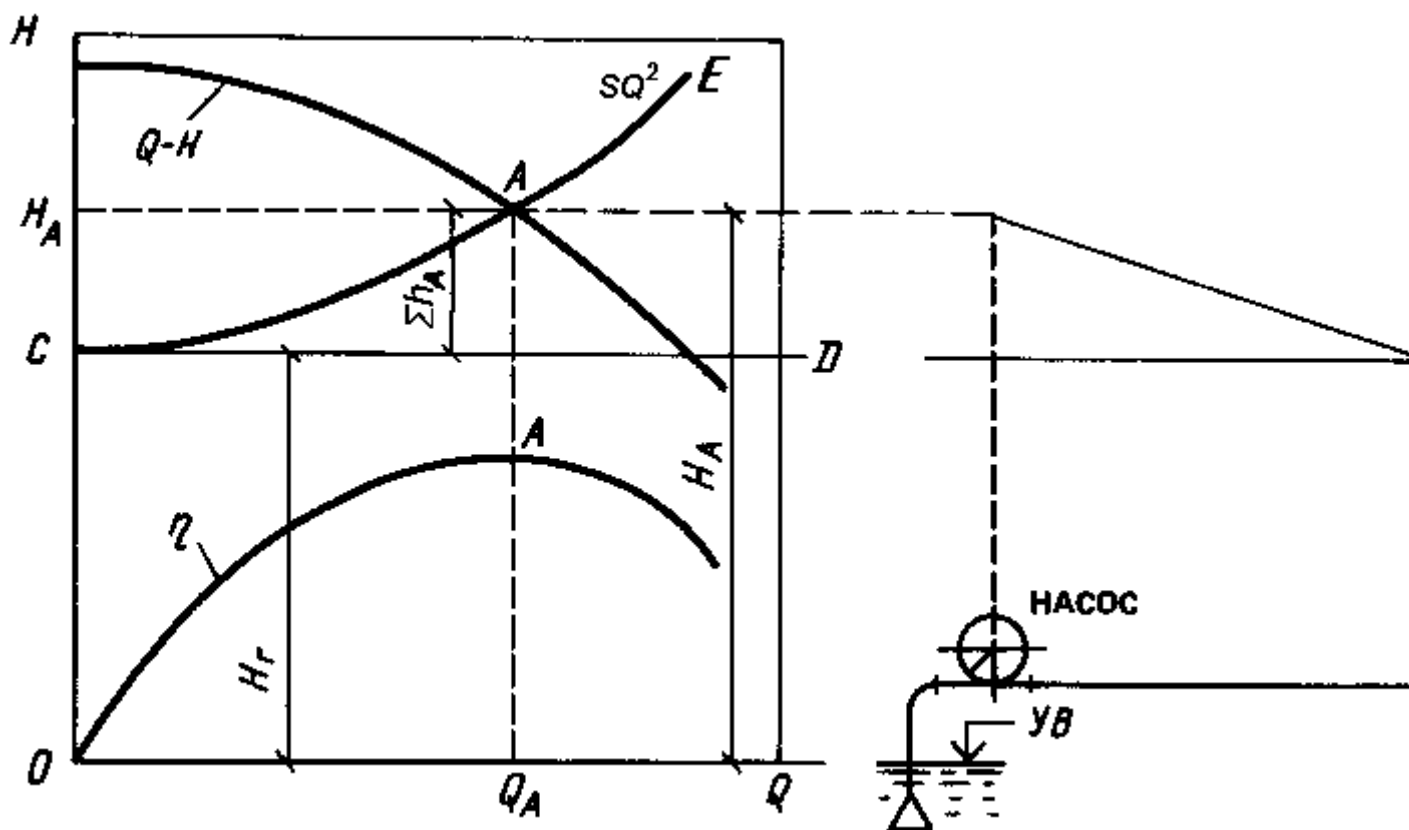


Рис. 1.9. Характеристика совместной работы насоса и трубопровода

1.11. Параллельная работа насосов

Параллельной работой насосов называется одновременная подача перекачиваемой жидкости несколькими насосами в общий напорный коллектор. Необходимость в параллельной работе нескольких одинаковых или разных насосов возникает в тех случаях, когда невозможно обеспечить требуемый расход воды подачей одного насоса или необходимо регулирование подачи насосной станции в широких пределах.

Условием параллельной работы является **равенство напоров**, развиваемым насосами.

При построении характеристики нескольких параллельно работающих насосов на общий напорный трубопровод суммируют подачу насосов при равных напорах (рис. 1.10). Затем строят характеристику трубопровода и находят рабочую точку на их пересечении, которая характеризует общую подачу несколькими насосами (рис. 1.11, точка 1).

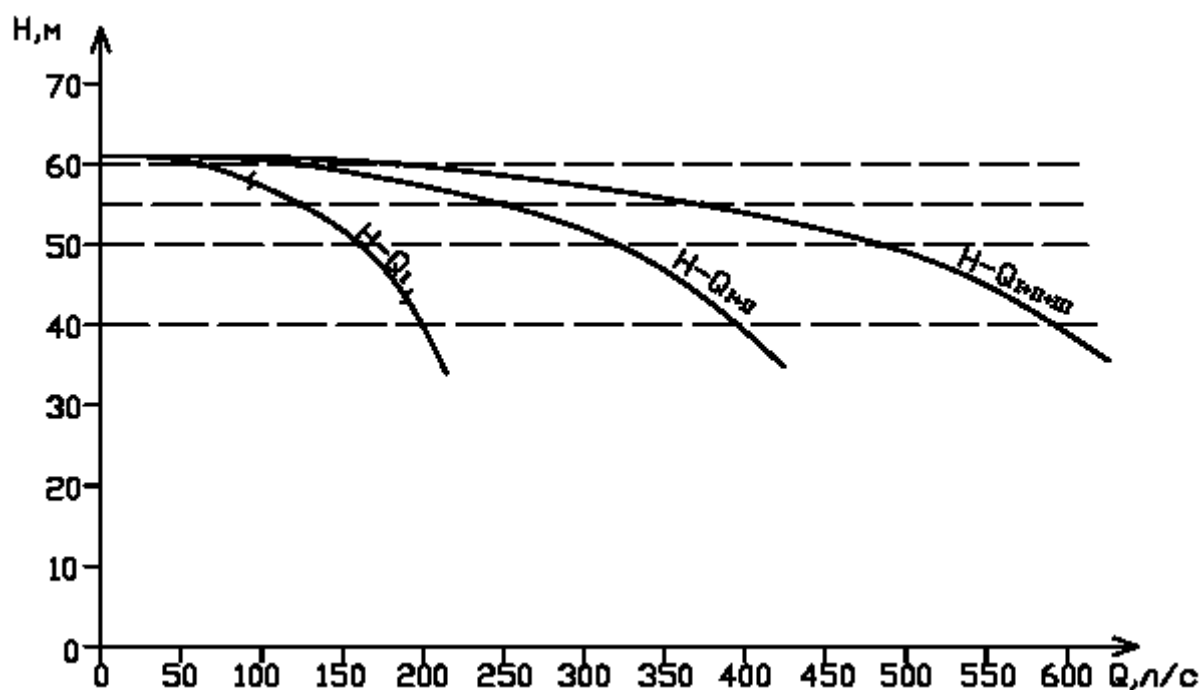


Рис. 1.10. Построение характеристики параллельной работы нескольких насосов

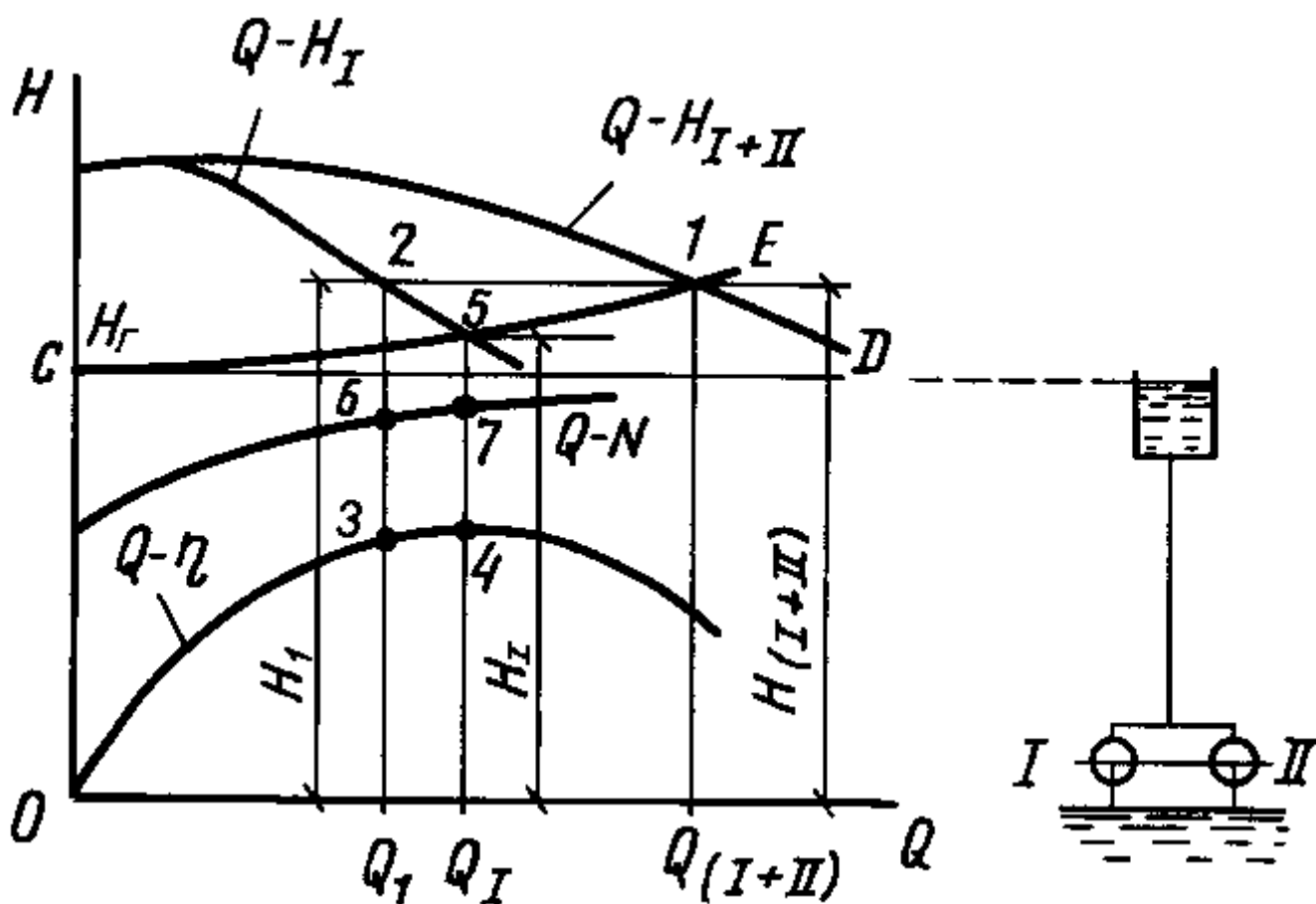


Рис. 1.11. Характеристика параллельной работы двух насосов

Напор каждого насоса (H_1) численно равен напору, развиваемыми всеми насосами (H_{I+II}). Если на станции установлены одинаковые насосы, то подача каждого из них (Q_1) соответствует общей подаче (Q_{I+II}), деленной на число

работающих насосов (см. рис. 1.11). Характеристики насосов при совместной работе определяются по подаче Q_1 (точки 2, 3 и 6, рис. 1.11).

Параллельная работа насосов с **разными характеристиками** может быть осуществлена только с той точки, где развиваемые насосами напоры равны. На рис. 1.12 приведена характеристика параллельной работы двух насосов с разными характеристиками. Кривая $Q - H_I$ характеризует работу насоса с большим напором, а кривая $Q - H_{II}$ – с меньшим.

Характеристики насосов пересекутся с характеристикой трубопровода в точках 1 и 2, и подача каждым насосом будет соответственно равна Q_I и Q_{II} . Характеристика совместной работы строится от точки А, где напоры для насосов равны. В этом случае кривая А – Б пересекается с характеристикой трубопровода в точке С и суммарная подача равна Q_{I+II} , при подаче одним насосом Q_I' и другим – Q_{II}' .

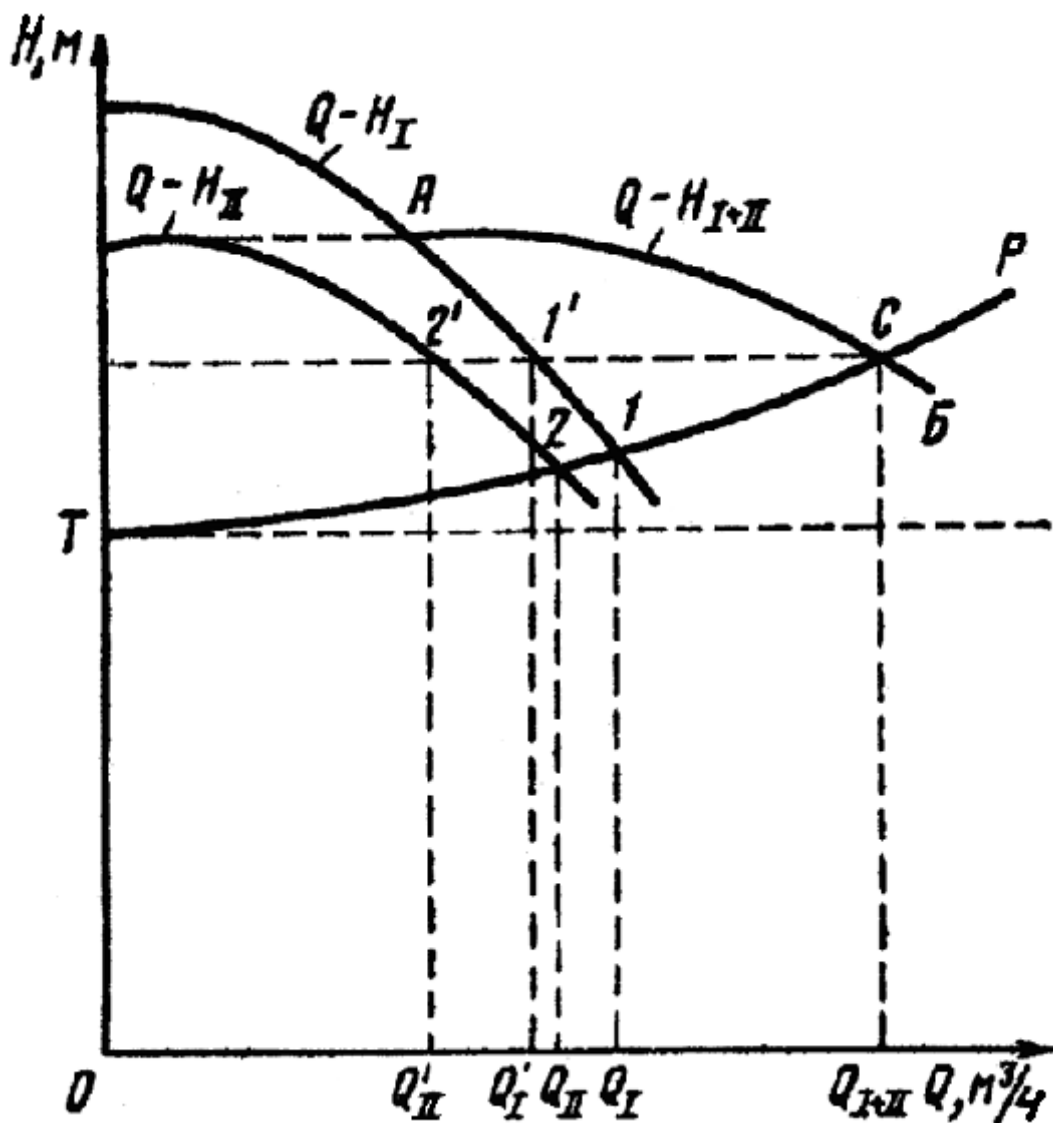


Рис. 1.12. Характеристика параллельной работы двух разных насосов

1.12. Последовательная работа насосов

Последовательной называют работу, при которой один насос подает перекачиваемую жидкость во всасывающий патрубок (трубопровод) другого насоса, а последний подает ее в напорный трубопровод. Применяют ее в тех случаях, когда жидкость подается на очень большие расстояния или на большую высоту, а один насос развить соответствующий напор не может.

Обязательным условие последовательного включения является приблизительное равенство подач в рабочих частях характеристики $Q - H$. Кроме того, следует обращать особое внимание на выбор насосов, так как не все они могут быть использованы для последовательной работы по условиям прочности корпуса. Эти условия оговариваются в техническом паспорте насоса.

Суммарную графическую характеристику $Q - H$ последовательно работающих насосов получают путем сложения каждого насоса при произвольно фиксированных подачах.

Фактическая подача насосами определяется так же, как при работе одного насоса, т.е. на пересечении характеристик $Q - H$ с характеристикой трубопровода (см. рис. 1.13).

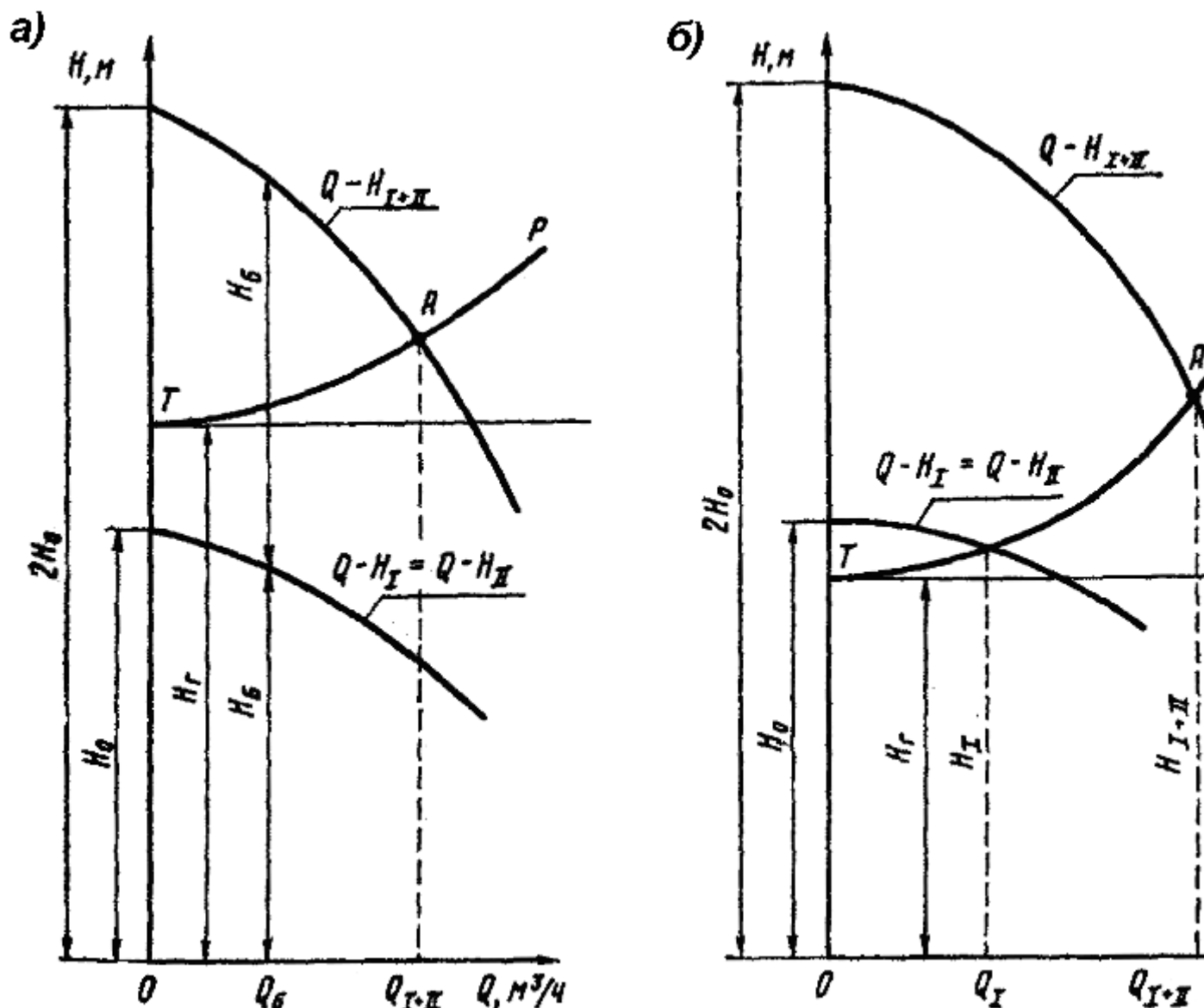


Рис. 1.13. Характеристика последовательной работы двух насосов:
а – при $H_T > H_0$; б – при $H_T < H_0$

1.13. Регулирование работы насосов

Регулированием работы насоса называется процесс искусственного изменения характеристики трубопровода или насоса для обеспечения работы насоса в требуемой точке, т.е. для сохранения материального и энергетического баланса системы.

Одним из наиболее распространенных методов изменения характеристики является способ дросселирования задвижкой на напорной линии насосов (не требует дополнительного оборудования). Дроссельное регулирование представляет собой введение добавочного сопротивления в напорный трубопровод. Существенным недостатком такого способа является неэкономичность и возможность регулирования только в сторону уменьшения подачи.

Регулирование режима работы насоса изменением частоты вращения вала рабочего колеса является наиболее экономичным способом. Изменение частоты вращения ведет к изменению характеристики $Q - H$ насоса таким образом, что точка пересечения характеристики насоса с характеристикой трубопровода соответствует требуемой подачи Q_x с напором H_x .

В современной практике водоснабжения и водоотведения используется различные виды регулируемого привода:

- индукторные муфты скольжения (ИМС);
- асинхронно – вентильный каскад (АВК);
- преобразователь частоты (ПЧ) на основе вентильного двигателя (ВД).

Преобразователи позволяют плавно поднимать производительность насоса от нуля до расчетного значения. Конструктивно преобразователь представляет собой электротехнический шкаф с нижним вводом проводов. Диапазон изменения выходной частоты тока 5-60 Гц.

1.14. Конструкции насосов, применяемых для водоснабжения и канализации

Отечественной промышленностью для использования в системах водоснабжения выпускаются насосы марок К, КМ, Д, ВЦ, ЦНС, ЦМЛ, ЦМК, скважинные А, АТН, ЭЦВ, химические А и АХ, и другие. Для перекачки сточных и загрязненных вод выпускаются насосы марок СМ, СД, СДВ, ПФ, НФ, ПД и другие. Среди зарубежных производителей наиболее известны фирмы Grundfos, Wilo, Flugt, KSB, Lowara, EBARA, ESPA, выпускающие насосное оборудование похожих типоразмеров с аналогичными характеристиками, так и ряд насосов, не имеющих аналогов среди отечественных марок.

Центробежные консольные насосы типа К предназначены для воды с $pH = 6,5 - 8,0$, температурой до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ и содержанием твердых включений размерами до $0,2\text{ мм}$, не превышающих $0,1\text{ \%}$ по массе, а так же других неагрессивных жидкостей, подобных воде по плотности и химической активности.

Насосы горизонтальные консольные с односторонним подводом воды и рабочему колесу (рис. 1.14). Насосы изготавливаются с подачей $5 - 400\text{ м}^3/\text{ч}$, напором $10 - 90\text{ м}$, их КПД находится в пределах $50 - 84\text{ \%}$, допустимый кавитационный запас $4 - 5,5\text{ м}$, коэффициент быстроходности $n_s = 60 - 250$.

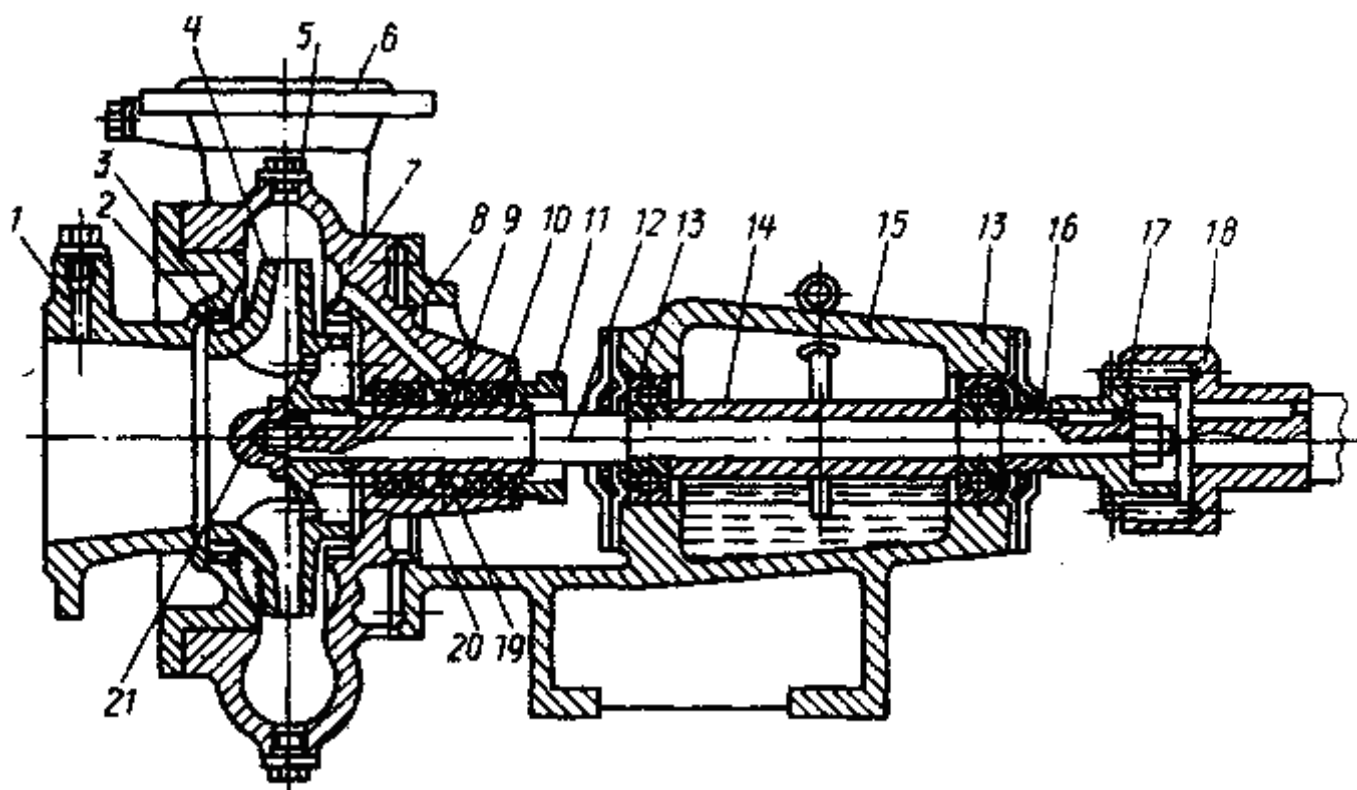


Рис. 1.14. Разрез насоса типа К:

1 – всасывающий патрубок; 2 – уплотняющее кольцо; 3 – защитное кольцо; 4 – рабочее колесо; 5 – штуцер для подключения вакуум-насоса; 6 – напорный патрубок; 7 – спиральный корпус; 8 – кронштейн; 9 – защитная втулка; 10 – сальниковая набивка; 11 – крышка сальника; 12 – вал; 13 – шарикоподшипники; 14 – распорная втулка; 15 – опорная стойка с масляной ванной; 16 – распорная втулка; 17, 18 – полумуфты; 19 – кольцо гидравлического уплотнения; 20 – корпус сальника; 21 – гайка

Конструктивно насосы имеют следующие исполнения:

К – (основное исполнение) горизонтальные консольные с опорой на корпусе, с подводом от двигателя через упругую муфту (рис. 1.15а);

КМ – консольные моноблочные, рабочее колесо установлено на конце удлиненного вала электродвигателя (рис. 1.15б);

КМП – повысительные, для установки в жилых зданиях (рис. 1.16в);

КМЛ – линейные, с расположением осей всасывающего и напорного патрубков в линию, с вертикальной осью вращения (рис. 1.15г).



a)



б)



в)



з)

Рис. 1.15. Внешний вид насосов серии К:
а) К, б) КМ, в) КМП, з) КМЛ

В нормальном исполнении у консольных насосов напорный патрубок направлен вертикально вверх. В зависимости от компоновочных решений всасывающих и напорных трубопроводов он, может быть, повернут вокруг оси насоса на 90° , 180° и 270° .

Пример обозначения типоразмера: К (КМ) 80-65-160 – (К – консольный, КМ – консольный моноблочный, 80 – диаметр всасывающего патрубка (мм), 65 – то же напорного (мм), 160 – диаметр рабочего колеса).

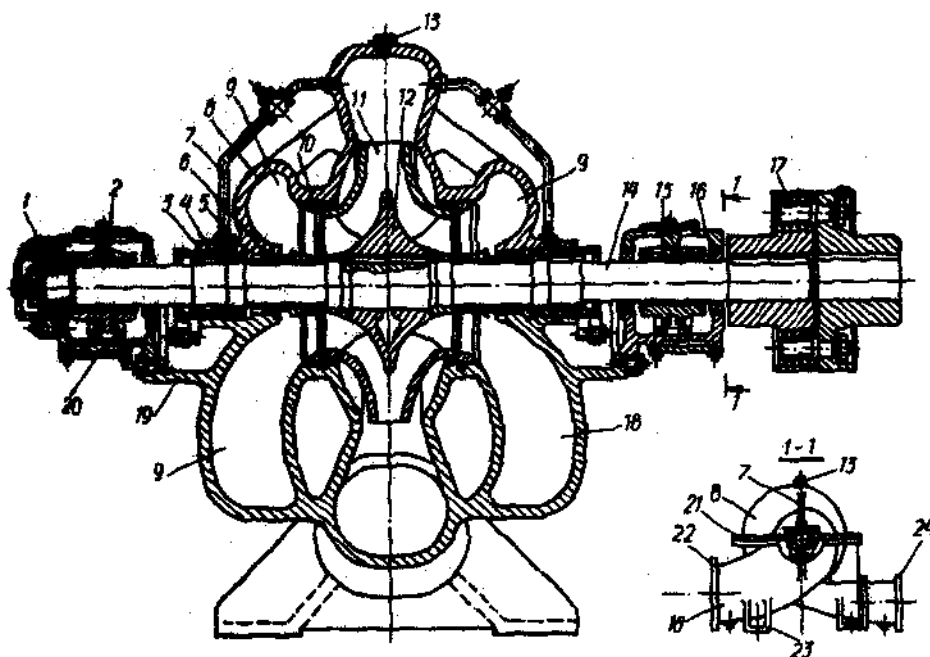
Центробежные насосы двустороннего входа типа Д. Насосы с двусторонним подводом воды на рабочее колесо типа Д предназначены для перекачивания воды и иных жидкостей, сходных с водой по вязкости и химической активности, с температурой до 85°C и содержанием твердых включений размерами до 0,2 мм не превышающих 0,05 % по массе.

Насосы типа Д имеют подачу 100 – 12500 м³/ч, напор 14 – 125 м и допустимый кавитационный запас для рабочей части характеристики 3 – 7,5 м. Их КПД находится в пределах 50 – 73 %, коэффициент быстроходности $n_s = 60$ – 90 (8 лопастей) и $n_s = 130$ – 190 (6-8 лопастей).

Центробежные насосы типа Д (рис. 1.16) – горизонтальные с осевым горизонтальным разъемом корпуса, с полуспиральным подводом жидкости к рабочему колесу имеют ряд преимуществ с другими типами насосов. Они имеют хорошую всасывающую способность. Рабочее колесо с двусторонним

подводом жидкости обладает по сравнению с колесом одностороннего подвода (при одинаковых значениях напора, подачи и частоты вращения) существенно лучшими кавитационными качествами.

Насосы типа Д применяются на насосных станциях первого и второго подъемов, в циркуляционных системах промышленного водоснабжения.



а)



б)

Рис. 1.16. Разрез (а) и внешний вид (б) насоса типа Д:

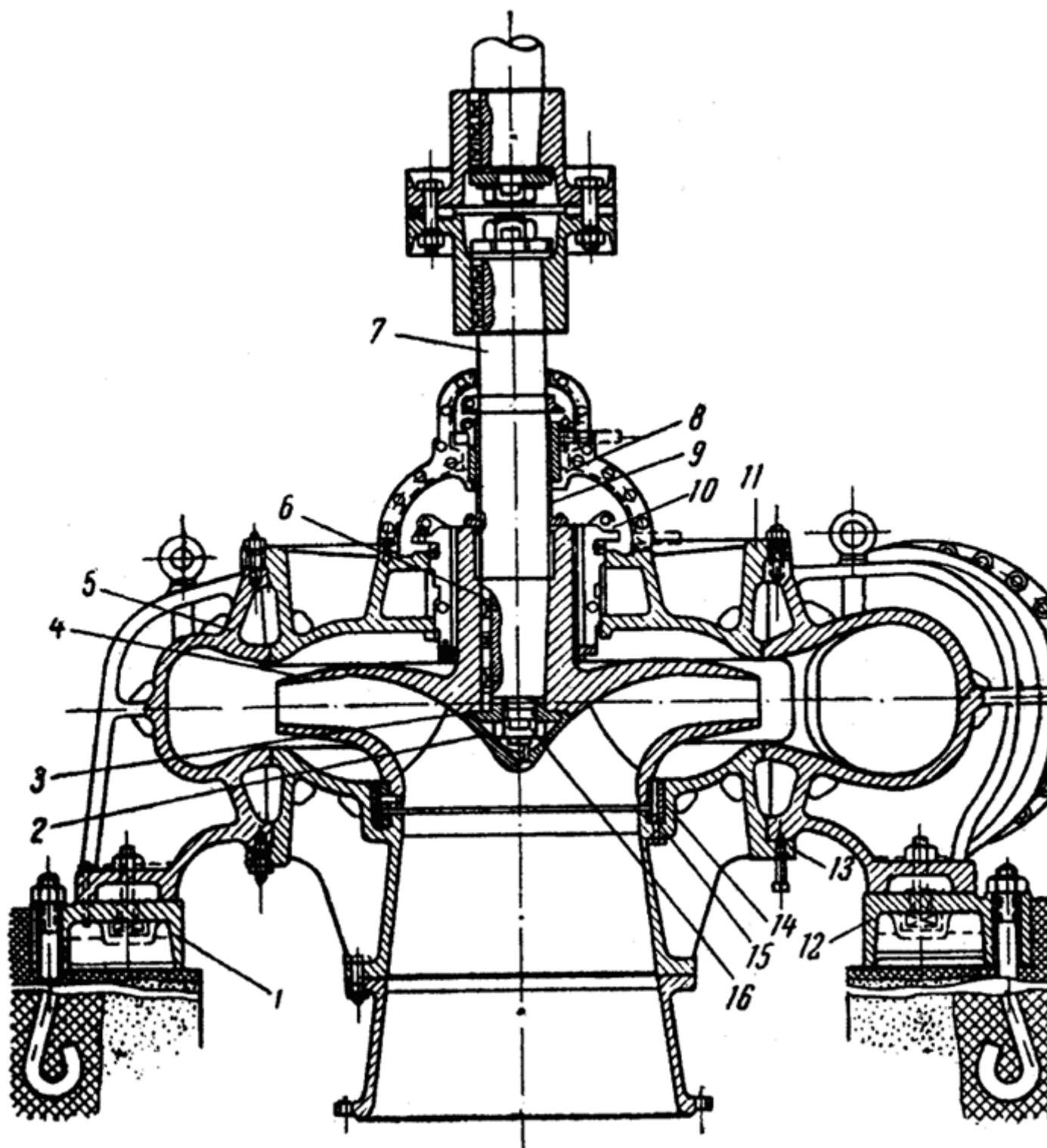
1 – кронштейн; 2 – шарикоподшипник; 3 – сальники, 4 – трубки; 5, 10 – защитные и уплотняющие кольца, 6 – корпус насоса, 7 – спиральный канал, 8, 9 – ведомые и ведущий диски; 11 – защитная втулка; 12 – крышка сальника, 13 – вал рабочего колеса, 14 – муфта, 15 – кольцо гидроуплотнения; 16 – отверстие для стока воды, 17 – входной патрубок; 18 – выходной патрубок

Пример обозначения типоразмера – Д 1600-90 (Д – двустороннего входа, 1600 – номинальная подача ($\text{м}^3/\text{ч}$) при наибольшем значении КПД, 90 – номинальный напор, м).

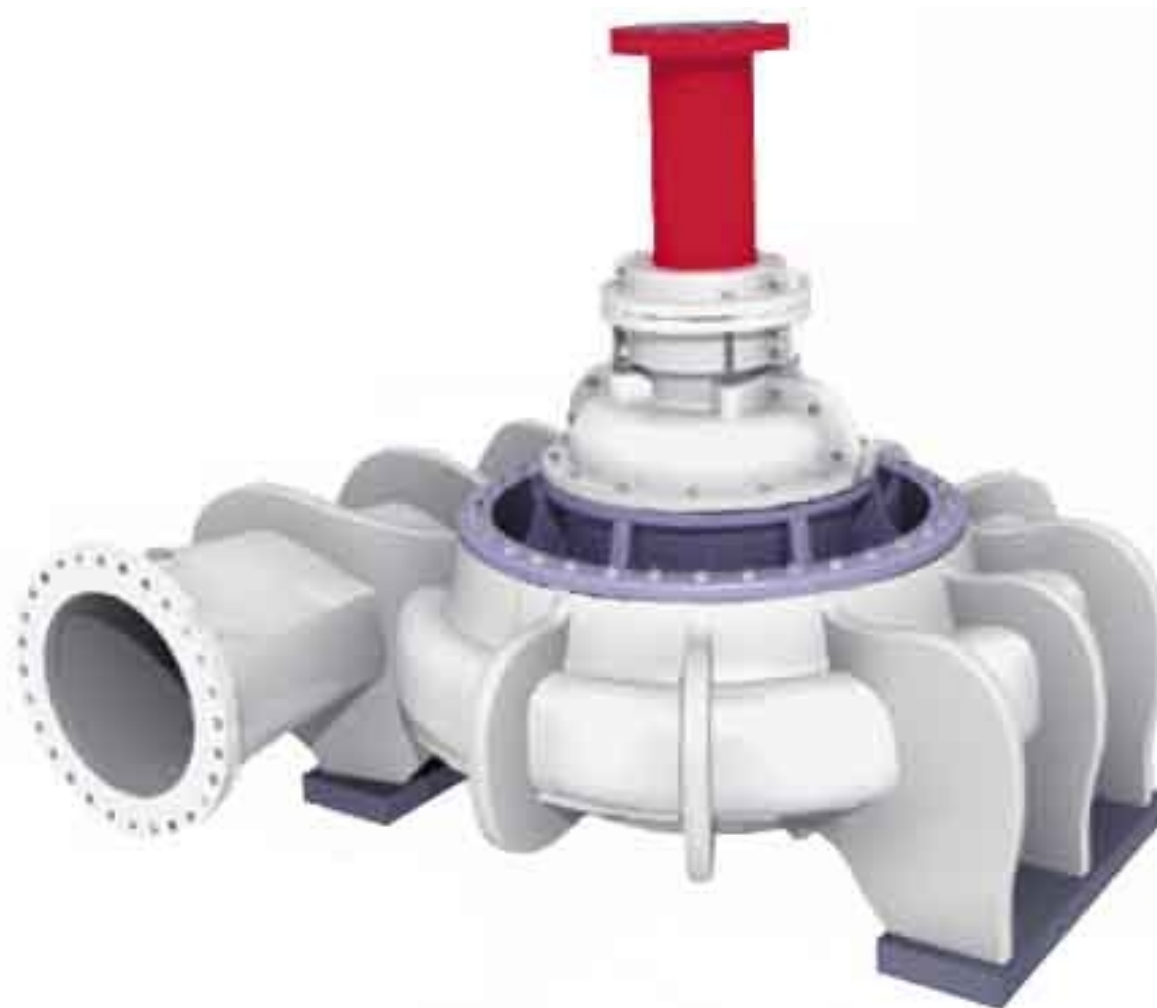
Центробежные вертикальные насосы типа ВЦ предназначены для перекачивания воды с $\text{pH} = 6 - 8$, температурой до 45°C и массовой концентрацией взвешенных веществ не более 0,3 %, размером до 0,1 мм, из которых абразивных частиц не более 2 %, а также других жидкостей, аналогичных воде по вязкости и химической активности.

Насосы изготавливают с подачей от 1 до $35,0 \text{ м}^3/\text{с}$ и напором от 22 до 110 м. Их КПД находится в пределах 87 – 89 %, допустимый кавитационный запас 11,5 – 14 м.

Эти насосы изготавливают с односторонним осевым подводом воды к рабочему колесу (рис. 1.17). Вал насоса кованый стальной с фланцами на концах для крепления рабочего колеса и соединения с трансмиссионным валом. Регулирование параметров насоса осуществляется направляющим аппаратом. Привод насосов типа ВЦ осуществляется вертикальным электродвигателем. Соединение валов двигателя и насоса жесткое фланцевое.



a)



б)

Рис. 1.17. Вертикальный консольный насос: а – разрез насоса; б – внешний вид;
1 – опора; 2 – ролик; 3 – шайба; 4 – рабочее колесо; 5 – корпус; 6 – шпонка; 7 – вал; 8 –
сальник; 9 – втулка; 10 – подшипник; 11 и 13 – верхняя и нижняя крышки; 12 – опора; 14 и
15 – уплотняющие кольца; 16 – гайка

Пример, обозначения типоразмера – 1000ВЦ-16/63 (1000 – диаметр напорного патрубка (мм), ВЦ – вертикальный центробежный, 16 – номинальная подача (м³/с), 63 – номинальный напор, м).

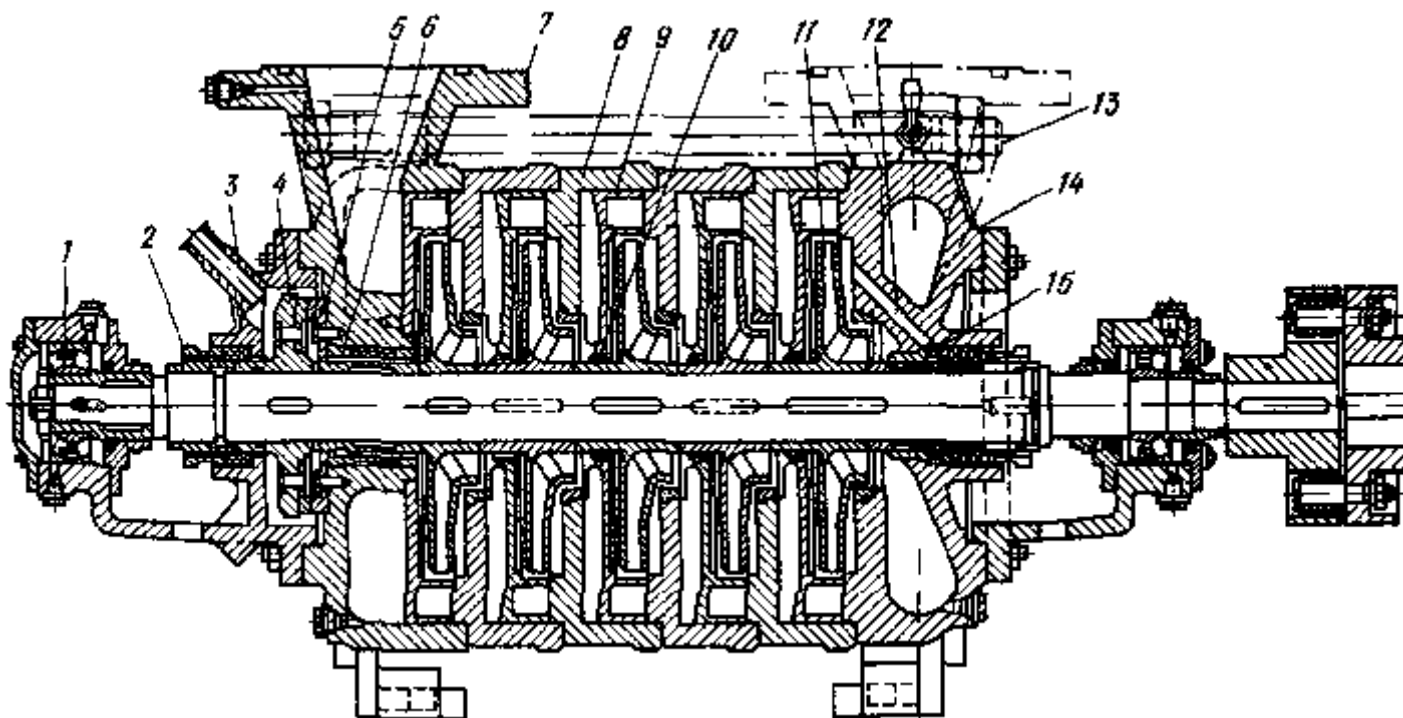
Насосы типа В выпускаются 28 типоразмеров. Насосы 600В-1,6/100 и 800В-2,5/40 изготавливают серийно, остальные – по индивидуальным заказам.

Многоступенчатые центробежные насосы. В этих насосах механическая энергия двигателя передается потоку перекачиваемой жидкости последовательно несколькими рабочими колесами, смонтированными на одном валу, в одном секционном корпусе. Напор этих насосов равен сумме напоров, создаваемых каждым установленным рабочим колесом (рис. 1.18).

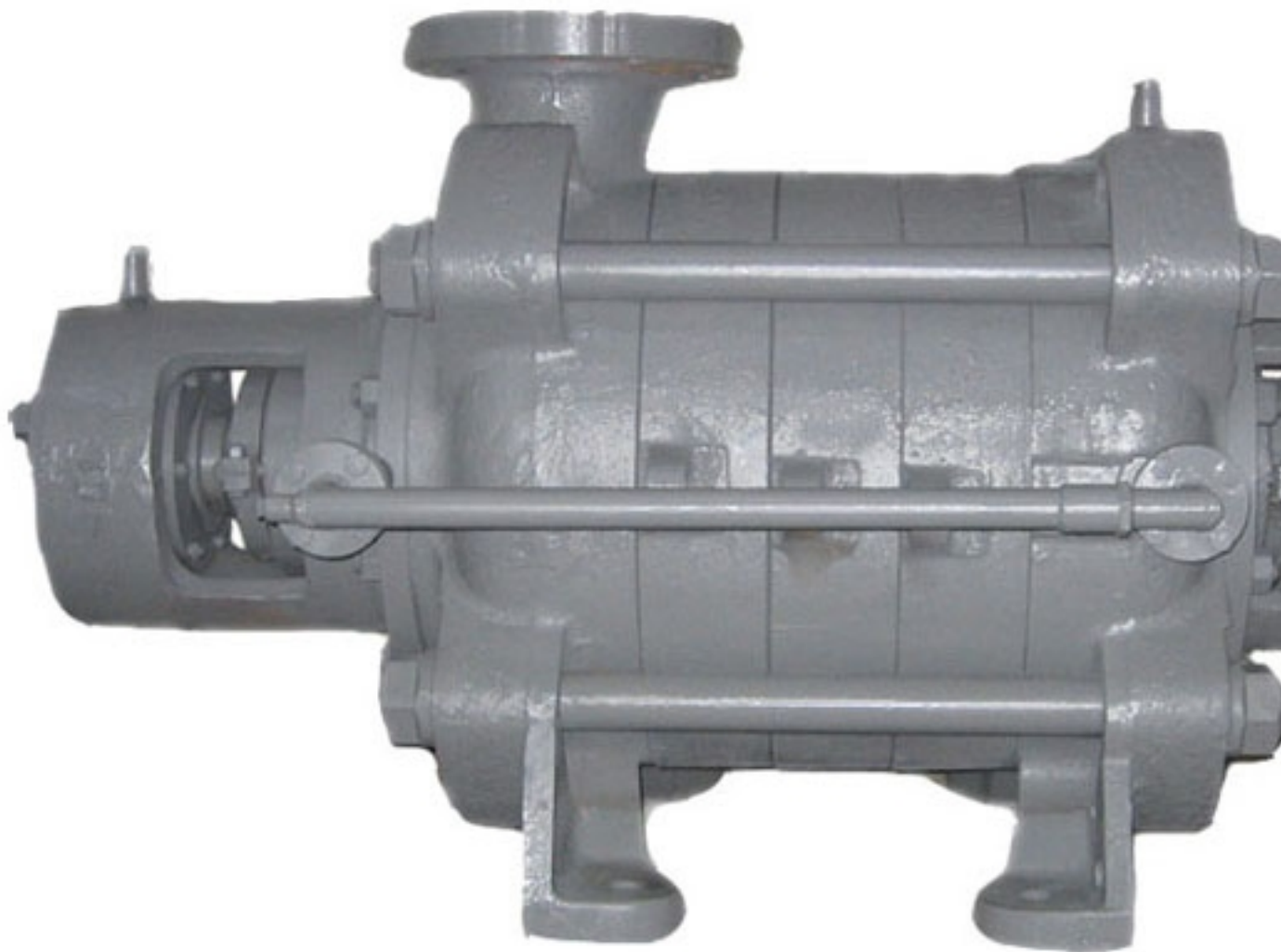
Многоступенчатые насосы предназначены для перекачивания чистой воды с температурой до 60 °С или 105 °С, разделяются на нормальные и высокооборотные.

Корпус многоступенчатого насоса состоит из отдельных секций, число которых равно числу ступеней, минус единица, так как одно колесо расположено в передней крышке. Секционная конструкция корпуса насоса позволяет увеличивать или уменьшать напор, не изменяя подачи.

Многоступенчатые насосы типа ЦНС выпускают с числом рабочих колес от 2 до 10. Насосы имеют подачу от 8 до 1000 м³/ч, напор 40 – 2000 м, КПД = 67 – 80 %.



a)



б)

Рис. 1.18. Насос типа ЦНС: а – разрез насоса; б – внешний вид;

1 – роликовый подшипник; 2 – втулка сальника; 3 – трубка разгрузки; 4 – диск разгрузки; 5 – кольцо разгрузки; 6 – втулка разгрузки; 7 – задняя крышка с напорным патрубком; 8 – корпус направляющего аппарата; 9 – направляющий аппарат; 10 – кольца уплотняющие; 11 – рабочее колесо; 12 – канал; 13 – стяжной болт; 14 – передняя крышка с всасывающим патрубком; 15 – кольцо гидроуплотнения при входе.

Условные обозначения насоса (например, ЦНС 38-44): центробежный насос секционный, подача 38 м³/ч, напор 44 м.

Скважинные насосы. По принципу перекачивания жидкости скважинные насосы относятся к группе многоступенчатых вертикальных насосов. Установка скважинных насосов – в трубчатых колодцах и буровых скважинах – предопределяет особенность их конструкции. Эти насосы имеют минимальные поперечные размеры, а их внешняя форма соответствует форме круглых обсадных труб, внутри которых их устанавливают.

Скважинные насосы изготавливают двух типов: насосы с трансмиссионным валом (артезианские типа А и АТН, рис. 1.19) и погружные (типа ЭЦВ, рис. 1.20).

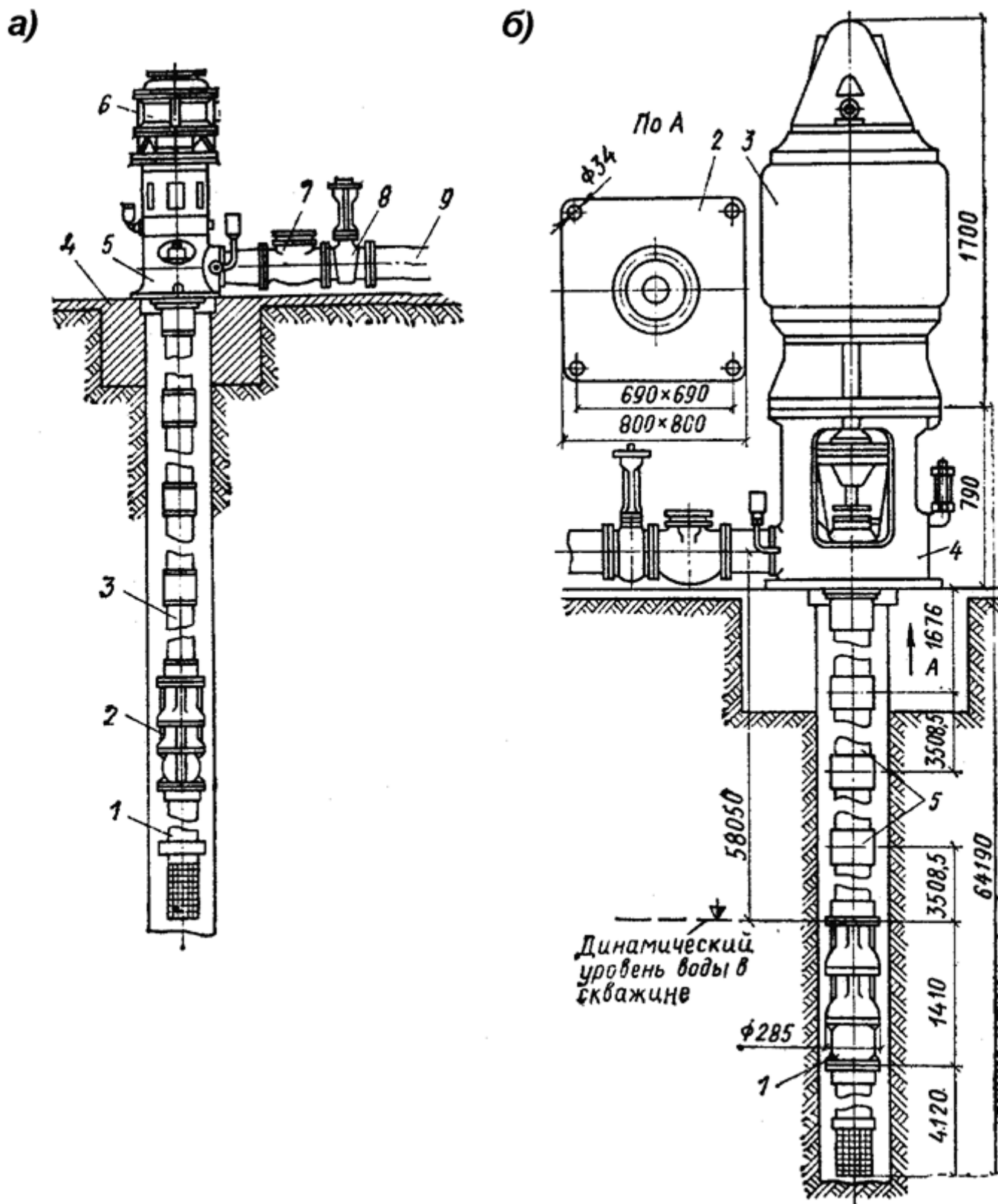


Рис. 1.19. а – установка насоса типа АТН: 1 – всасывающая труба; 2 – насос; 3 – водоподъемная труба; 4 – фундамент; 5 – станина; 6 – электродвигатель; 7 – обратный клапан; 8 – задвижка Лудло; 9 – водоотвод; б – установка насоса типа А: 1 – насос; 2 –

основание опорного корпуса; 3 – электродвигатель; 4 – узел опорной части; 5 – узел трансмиссии.

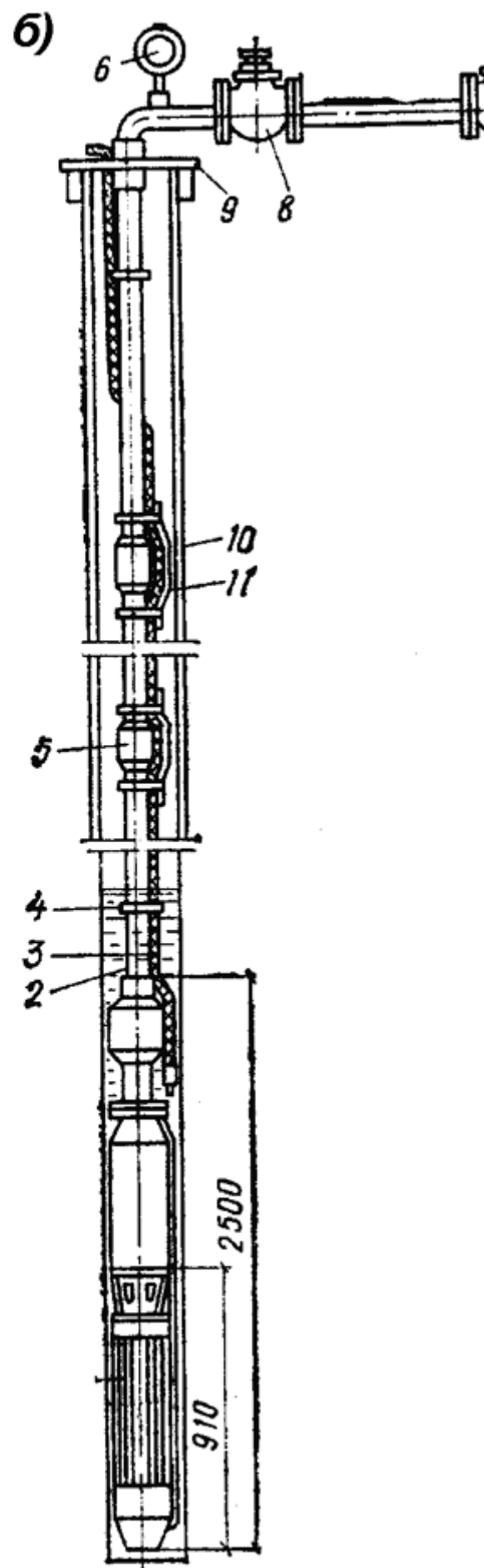
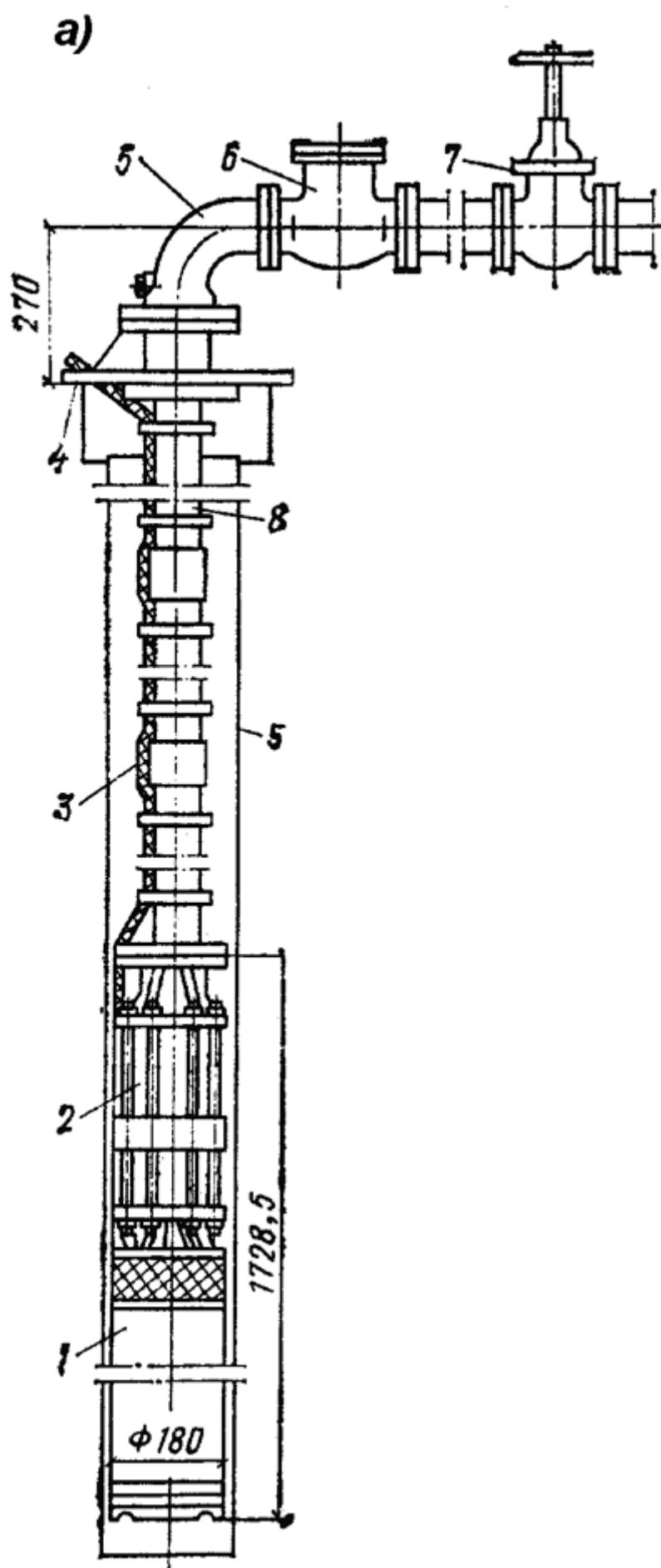


Рис. 1.20. а – установка насоса типа ЭЦВ 20-85; 1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – кабель; 4 – опорная плита; 5 – колено; 6 – обратный клапан; 7 – задвижка; 8 – водоподъемная труба; 9 – обсадная труба; б – установка насоса типа ЭПЛ-6: 1 – насос с электродвигателем; 2 – водоподъемная труба; 3 – кабель; 4 – хомуты крепления кабеля; 5 – муфта; 6 – манометр; 7 – водомер; 8 – задвижка; 9 – крышка скважины; 10 – обсадная труба; 11 – кожух кабеля

Насосы типа ЭЦВ представляют собой агрегат, состоящий из центробежного насоса и погружного электродвигателя с жестким соединением их валов. Они предназначены для подъема воды общей минерализацией не более 1500 мг/л, рН = 6,5 – 9,5, температурой 25 °С и с массовой долей твердых механических примесей не более 0,01 %, содержание хлоридов не более 350 мг/л, сульфатов не более 500 мг/л, сероводорода не более 1,5 мг/л.

Условное обозначения агрегата (например ЭЦВ 8-40-65):

Э – с приводом от погружного электродвигателя;

Ц – центробежный;

В – для подачи воды;

8 – максимально допустимый для данного типоразмера диаметр обсадной колонны (скважины) мм, уменьшенный в 25 раз;

40 – номинальная подача, м³/ч;

65 – номинальный напор, м.

Насосный агрегат подвешивается на колонне водоподъемных труб и спускается в воду на такую глубину, чтобы верхний фланец клапанной коробки находился ниже динамического уровня в скважине не менее чем на 1,5 м. Подшипники насоса смазываются и охлаждаются откачиваемой водой.

Отличительной конструктивной чертой артезианских насосов типа А и АТН (рис. 1.20) является то, что приводной электродвигатель устанавливается над устьем скважины и соединяется с насосом промежуточным трансмиссионным валом. Эти насосы состоят из трех основных узлов: насосного узла, напорного трубопровода с трансмиссионным валом, приводной головки.

Насосный узел представляет собой группу, соединенных шпильками секций, корпусов, внутри которых находится вал с насаженными на нем рабочими колесами.

Условное обозначение насоса (например 24А-18х1):

24 – наименьший внутренний диаметр обсадной колонны (мм), уменьшенный в 25 раз,

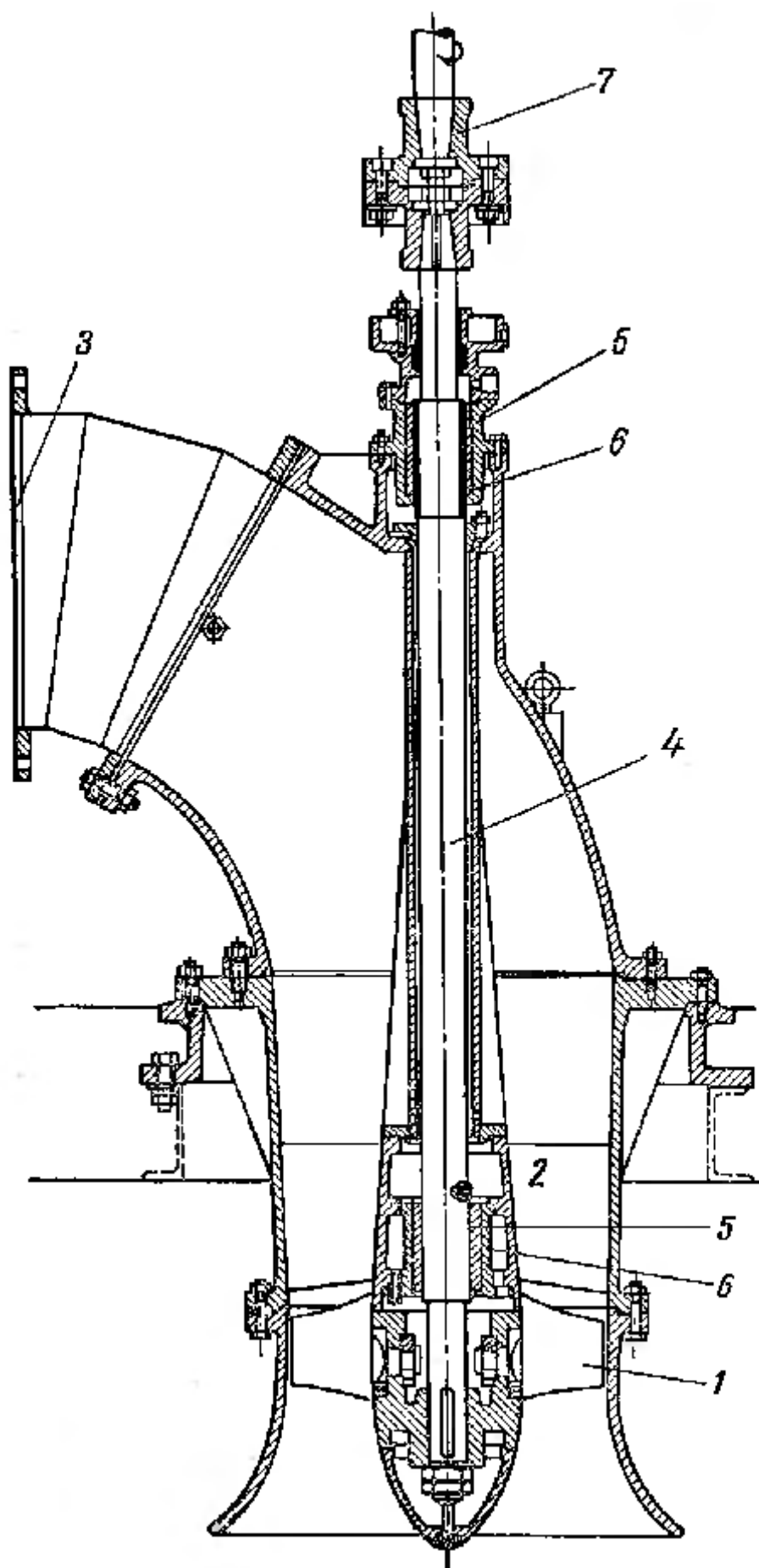
А – артезианский;

18 – коэффициент быстроходности, уменьшенный в 10 раз;

1 – количество ступеней насоса.

Осевые насосы предназначены для подачи больших объемов воды при малой высоте подъема. Осевые насосы изготовляют двух типов: ОВ – осевой вертикальный насос с жестко закрепленными лопастями рабочего колеса открытого типа (основное исполнение); ОПВ – осевой вертикальный насос с ручным приводом поворота лопастей рабочего колеса.

Рабочее колесо (рис. 1.21) осевого насоса состоит из втулки с закрепленными на ней профилированными лопастями (число лопастей принимается от 3 до 6). Внутри втулки размещается механизм разворота лопастей, состоящий из рычагов и крестовины, осевое перемещение которой приводит к повороту рычагов и лопастей. Лопастное колесо размещается в сферической камере, установленной на закладном фундаментном кольце. Вода к рабочему колесу подводится по плавно изогнутому подводу или по камере, которая значительно проще в исполнении. В камере на фланцах присоединен корпус насоса, выполненный в виде цилиндрической трубы, изогнутой под углом. Такая форма проточной части обуславливает максимальную конструктивную простоту осевого насоса по сравнению с другими типами лопастных насосов и обеспечивает минимальные габариты насосной установки при больших подачах.



a)



б)

Рис. 1.21. Осевой насос: а) разрез; б) внешний вид;

1 – рабочее колесо; 2 – выправляющий аппарат; 3 – отвод; 4 вал, защищенный трубой; 5 – вкладыш; 6 – подшипник; 7 – муфта

Насосы типов ОВ и ОПВ имеют подачу $0,5 - 40 \text{ м}^3/\text{с}$ при напоре $2,5 - 23 \text{ м}$ и КПД $84 - 86 \%$. Насосы предназначены для перекачивания воды с температурой не более 35°C и содержанием взвешенных частиц не более 3000 мг/л (из них абразивных частиц допускается не более 2%).

Динамические насосы для сточных жидкостей предназначены для перекачивания бытовых и промышленных вод с рН от 6 до 8,5, плотностью 1100 кг/м^3 , с температурой до 90°C , с содержанием абразивных частиц не более 10% по объему, размером частиц до 5 мм .

Состав сточной жидкости обуславливает особенности насосов для сточных вод, а именно:

- рабочее колесо закрытого типа значительно шире и имеет меньшее число лопастей, чем колесо насосов, перекачивающих чистую воду;
- лопастям придается более обтекаемая форма;
- на корпусе насоса и на входном патрубке имеются люки – ревизии;

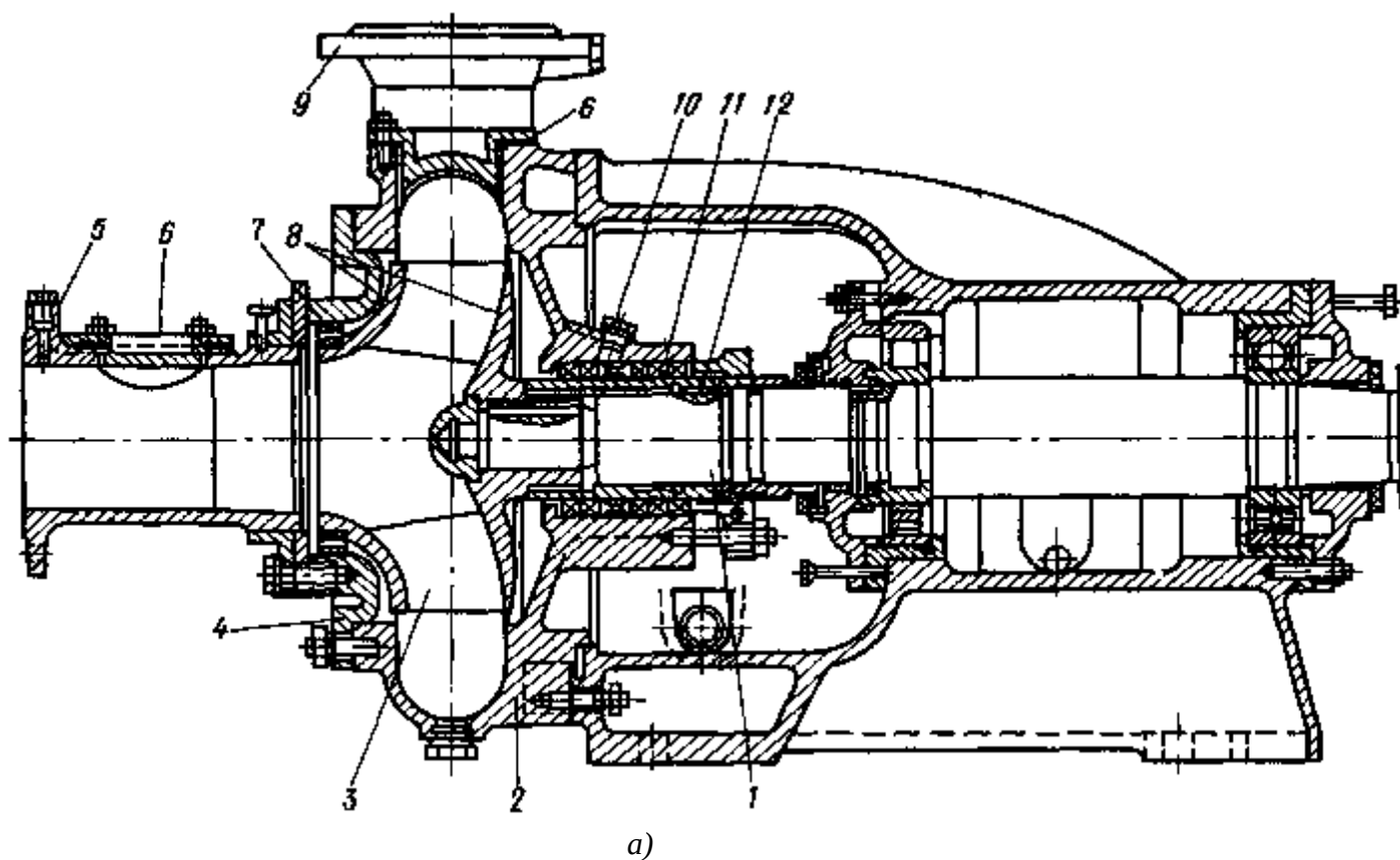
- в зону сальникового устройства подается чистая вода;
- внутренняя полость корпуса защищена сменными дисками.

Насосы выпускаются на подачу 1,9 – 3000 л/с при напоре 5,5 – 110 м и КПД = 45 – 83 %.

Насосы типа СД – горизонтальные (рис. 1.22), СДВ – вертикальные (рис. 1.23). Их корпуса имеют спиральный отвод упрощенной формы, без выступающих частей. Рабочее колесо одностороннего входа закрытого типа имеет от двух до пяти лопастей.

Вход в насос осевой, для вертикальных насосов – через плавно изогнутое расширяющееся колено. Напорный патрубок у горизонтальных насосов, как правило, устанавливают вертикально вверх; при необходимости он, может быть, повернут вокруг оси насоса на 90°, 180°, 270°. Напорный патрубок насоса типа СДВ расположен горизонтально. К подшипникам скольжения крупногабаритных насосов подводится от системы технического водоснабжения чистая вода для их охлаждения и смазки.

Насосы типа СД применяют на малых и средних, а типа СДВ – на крупных канализационных насосных станциях.





б)

Рис. 1.22. Насос типа СД: а) разрез; б) внешний вид;
 1 – вал; 2 – корпус; 3 – рабочее колесо; 4 – передняя крышка корпуса; 5 – входной патрубок;
 6 – люки ревизии; 7 – защитные уплотняющие кольца; 8 – передний и задний диски рабочего
 колеса; 9 – выходной патрубок; 10 – подвод чистой воды; 11 – сальниковое уплотнение; 12 –
 защитная втулка

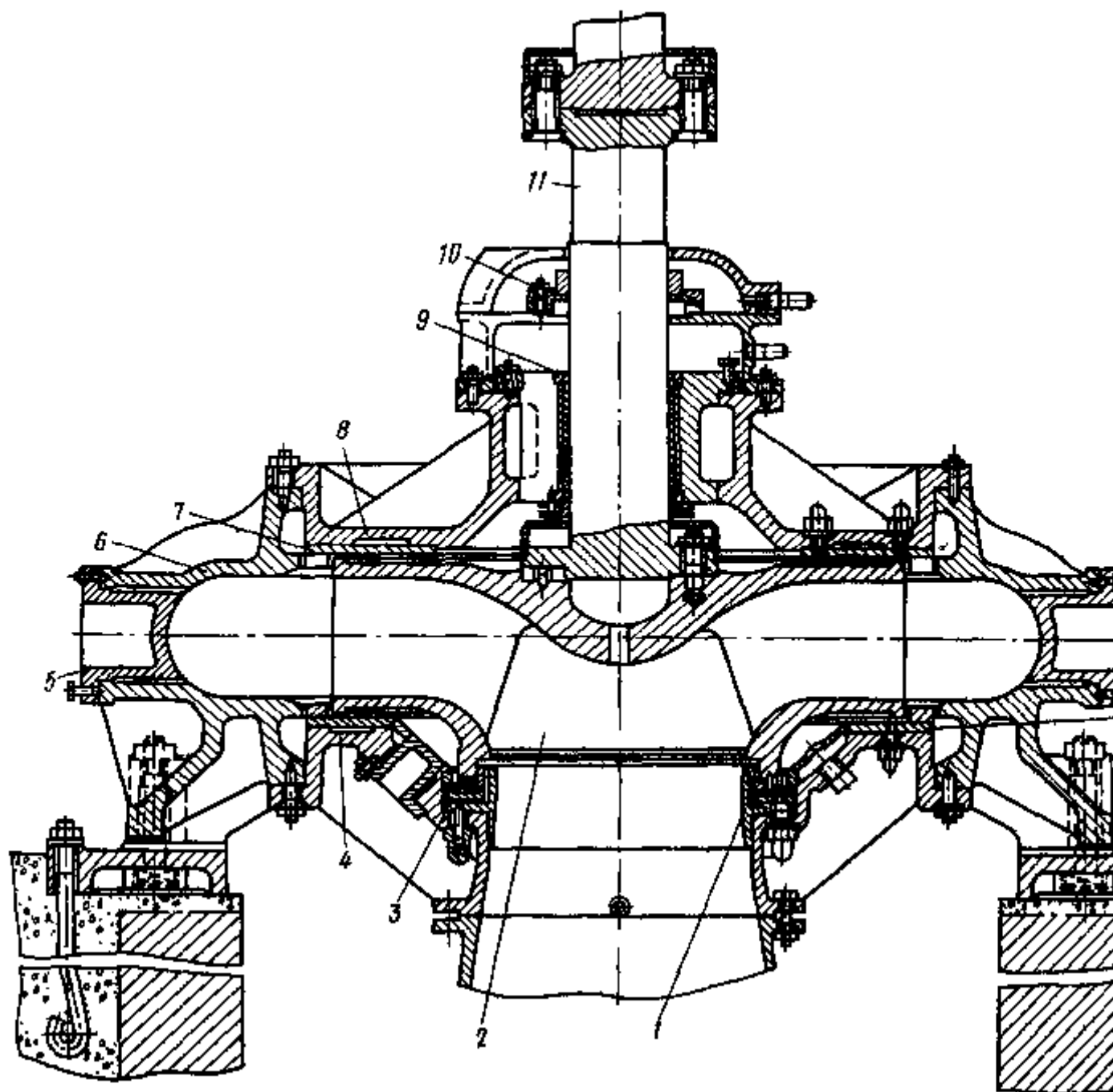


Рис. 1.23. Разрез насоса типа СДВ:

1 – защитное кольцо; 2 – рабочее колесо; 3 – регулируемое уплотняющее кольцо; 4 – нижняя крышка корпуса; 5 – люк прочистки; 6 – корпус; 7 – защитные диски; 8 – верхняя крышка корпуса; 9 – подшипник скольжения; 10 – торцовое уплотнение вала; 11 – вал; 12 – фундаментная плита

Пример обозначения типоразмера – СДВ 24000-28 (СДВ – динамический для сточных жидкостей, вертикальный; 24000 – номинальная подача ($\text{м}^3/\text{ч}$); 28 – номинальный напор, м).

Погружные насосы для перекачивания сточных вод. В настоящее время наибольшее распространение для перекачивания сточных вод нашли

погружные насосы различных фирм – производителей (Flugt, ABS, KSB, Grundfos и др.).

Погружные насосы в первую очередь предназначены для перекачки бытовых сточных вод, ливневых вод и осадка. Один из типов погружного насоса приведен на рис. 1.24.

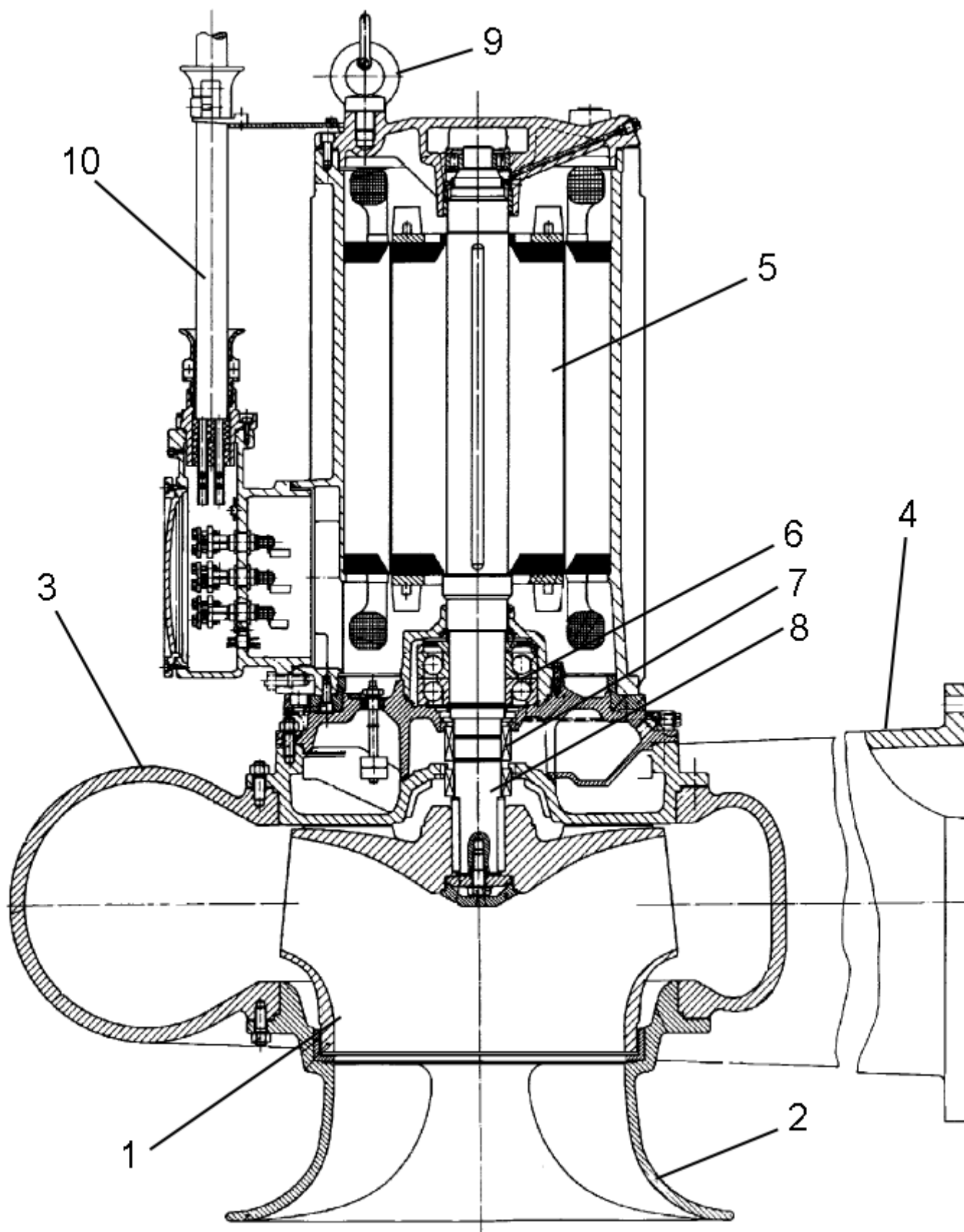


Рис. 1.24. Разрез погружного насоса:

1 – рабочее колесо; 2 – всасывающий патрубок; 3 – корпус насоса; 4 – напорный патрубок с фланцем; 5 – электродвигатель; 6 – подшипники; 7 – торцевое уплотнение вала; 8 – вал; 9 – кольцо для троса; 10 – электрокабель

Основное достоинство погружных насосов – они не нуждаются в дорогостоящем большом и сухом пространстве и не требуют монтажа всасывающих коммуникаций насоса. Диапазон производительности погружных насосов от 2 до 3000 л/с при создаваемом напоре от 3 до 100 м.

Погружные насосы фирмы Flugt имеют обозначения, состоящие из двух букв с последующими четырьмя цифрами, например, СР3201. Первая буква характеризует гидравлическую часть насоса, т.е. рабочее колесо и корпус и обозначается буквами С, В, М, Н и т.д., всего 12 различных конструкций. Вторая буква определяет способ установки насоса: стационарный мокрый Р, переносной мокрый S, стационарный сухой Т и т.д., всего 8 способов.

Насосы типа С, снабжены закрытым канальным рабочим колесом, конструкция которого сводит к минимуму его забивание, и поэтому является идеальным для перекачки сточных вод с крупными твердыми частицами или длинноволокнистыми включениями.

Примеры установки насосов типа С приведены на рис. 1.25 и 1.26.

Для закрепления соединительных лап фундаментные болты вставляются в днище шахты. Соединительные лапы укладываются на днище, после чего в них вставляются направляющие трубы, которые затем закрепляются сверху во входном пространстве шахты посредством державок направляющих труб.

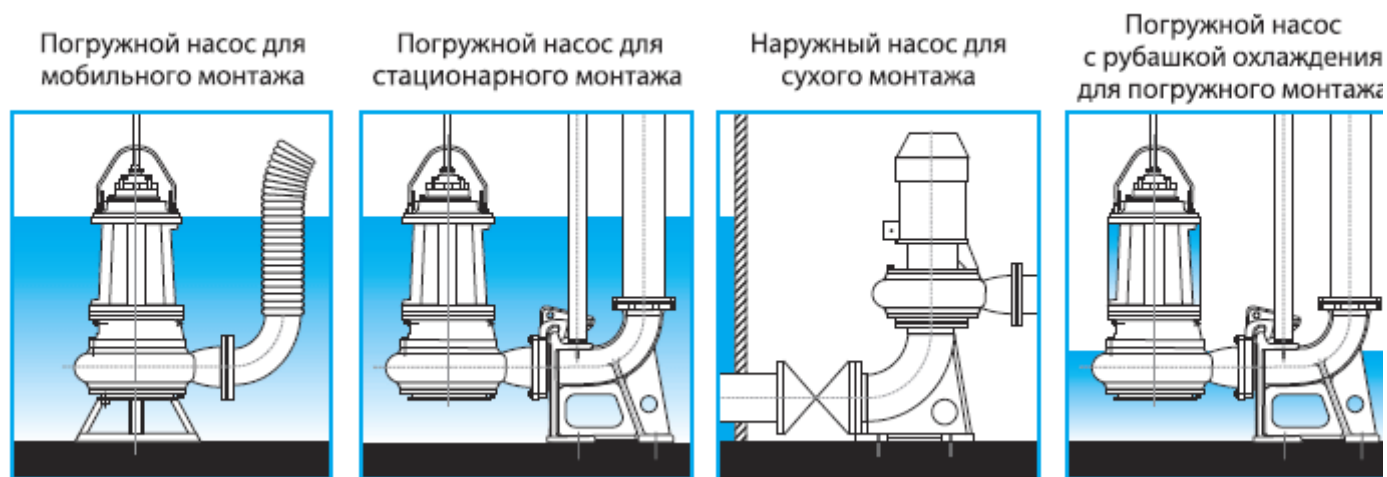


Рис. 1.25. Примеры установки погружных насосов

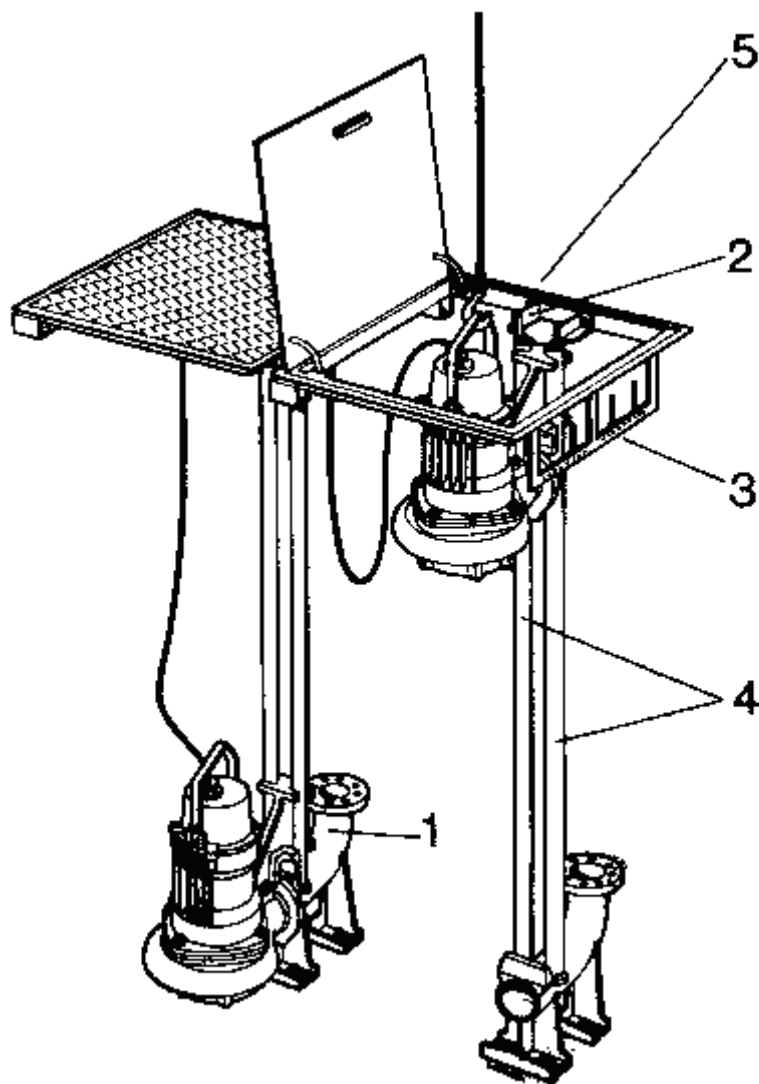


Рис. 1.26. Пример монтажа погружного насоса:

1 – соединительная лапа; 2 – верхняя державка направляющей трубы; 3 – устройство для подвески кабелей; 4 – направляющие трубы; 5 – входная рама

Погружные насосы благодаря своей компактности, высокому КПД, значительному допустимому числу включений в час, равному 15, при любой мощности двигателя, позволяют уменьшить размеры насосной станции.

Регламент эксплуатации погружных насосов прост и предусматривает следующее: один раз в год внешний осмотр агрегата и замена при необходимости масла; один раз в 3 года разборка с возможной заменой износившихся деталей. Насосы не требуют постоянного обслуживающего персонала на станциях любой производительности.

В качестве **вспомогательных насосов** на станциях водоподготовки и очистки сточных вод используются насосы-дозаторы, водоструйные, водокольцевые и шнековые насосы, а также центробежные насосы в специальном исполнении для перекачки агрессивных и загрязненных жидкостей.

Водокольцевые вакуумные насосы предназначены для создания вакуума в насосах или в других аппаратах. Они также могут быть использованы как воздуходувки для создания невысокого напора (3 – 22 м) при использовании сжатого воздуха в технологическом процессе очистки воды.

Вал рабочего колеса водокольцевого насоса установлен эксцентрично в цилиндрическом корпусе насоса (рис. 1.27). Перед пуском корпус насоса заполняется водой примерно до оси вала. При вращении лопасти рабочего колеса захватывают воду, и под действием центробежных сил она отбрасывается к стенкам корпуса насоса, образуя концентрическое водяное кольцо. В верхней точке корпуса, где лопасть рабочего колеса соприкасается с корпусом насоса, нижняя граница водяного кольца соприкасается со ступицей рабочего колеса, а в диаметрально противоположной точке водяное кольцо максимально удалено от ступицы колеса, и погруженными в воду остаются лишь концы лопаток. Образовавшееся серповидное пространство между втулкой рабочего колеса и водяным кольцом и является рабочей полостью. Эта полость разделена лопатками рабочего колеса на отдельные ячейки, объем которых меняется при вращении колеса.

Для поддержания постоянного объема водяного кольца и для отвода тепла, образующегося при сжатии воздуха и трении уплотнителей, в корпус насоса непрерывно подается вода из водопровода или из циркуляционного бачка.

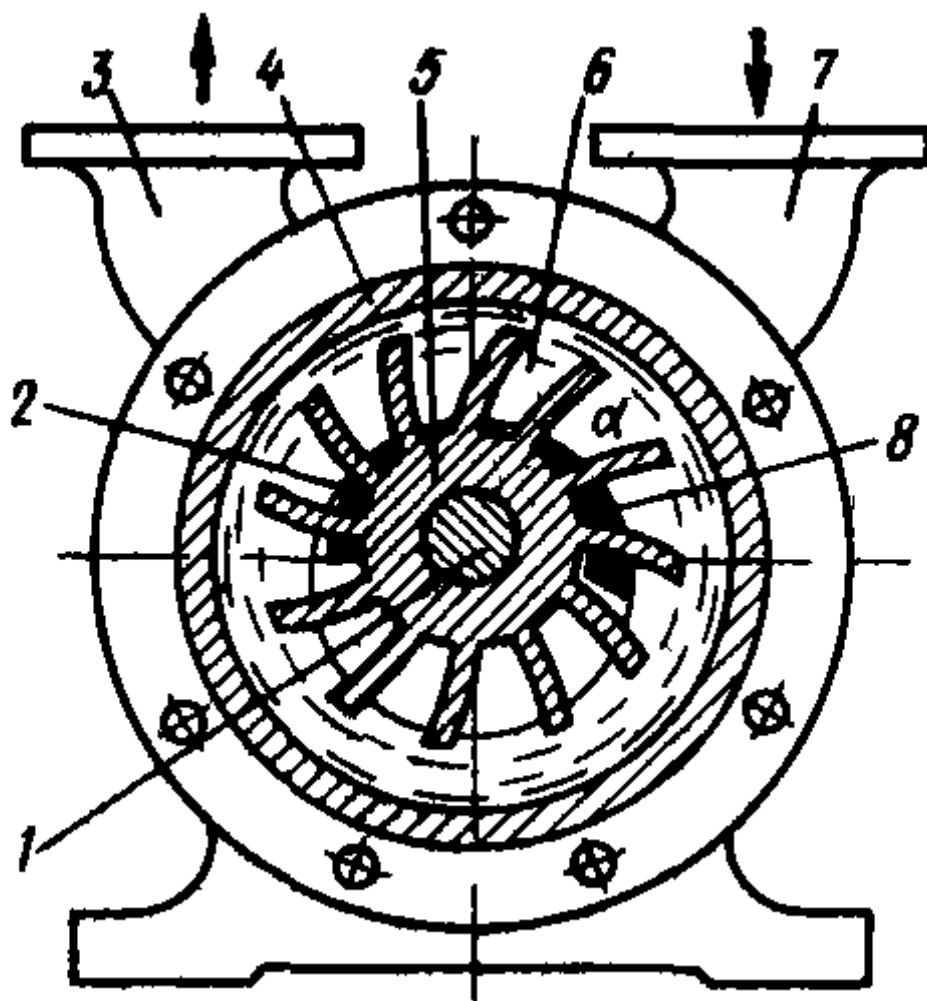
Водокольцевые насосы выпускаются следующих типов:

ВВН – водокольцевой вакуум-насос;

ВК – водокольцевой компрессор;

ДВК – водокольцевой вакуум-насос двойного действия.

Водокольцевые насосы широко применяются на очистных сооружениях. Подача насосов составляет 6,6 – 450 л/с (0,4 – 27 м³/мин), максимальный вакуум – 80 – 97 %, максимальный напор – 3 – 22 м.



а)



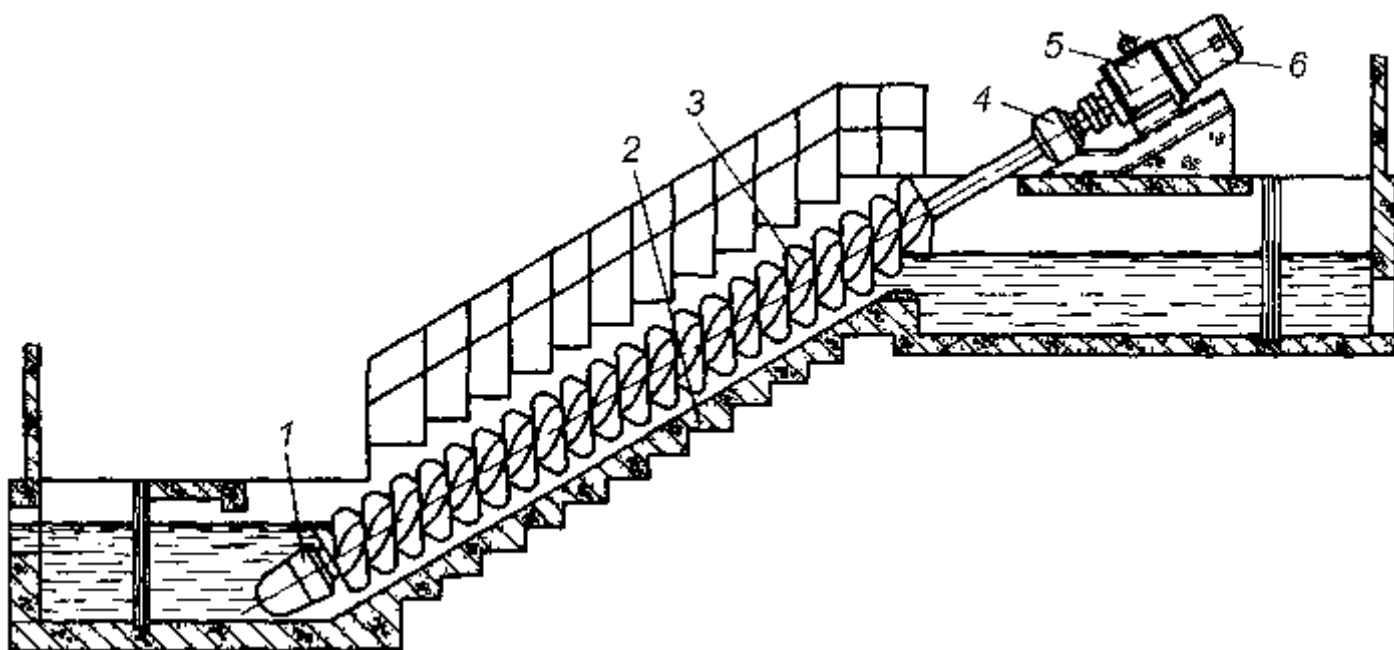
б)

Рис. 1.27. Водокольцевой вакуум-насос ВВН: а- устройство (разрез); б – внешний вид насоса типа ВК;

1 – вал; 2 – нагнетательное окно; 3 – нагнетательный патрубок; 4 – цилиндрический корпус; 5 – рабочее колесо; 6 – водяное кольцо; 7 – всасывающий патрубок; 8– всасывающее окно

Шнековые насосы (рис. 1.28) предназначены для перекачки сточных вод при подъеме их на небольшую высоту (2 – 7 м). Насосы отличаются простотой конструкции и эксплуатации, а также незначительным объемом строительных работ при их установке. На насосных станциях не требуется установка арматуры, которая заменяется простыми плоскими щитами.

Насосы могут работать без предварительной очистки сточных вод на решетках, крупность перекачиваемых включений обуславливается диаметром шнека и трубы шнека, а также его шагом.



а)



б)

Рис. 1.28. Шнековый насос: а) разрез; б) внешний вид;

1 – нижняя опора; 2 – кожух; 3 – шнек; 4 – верхняя опора; 5 – понижающая передача; 6 – электродвигатель

Насосы-дозаторы предназначены для точного дозирования растворов реагентов, их отличительная особенность – возможность точного регулирования подачи насоса, которая мало зависит от давления в нагнетательном трубопроводе.

Насосы-дозаторы по конструкции бывают следующих типов:

- поршневые (плунжерные);
- мембранные;
- перистальтические.

Наибольшую подачу и напор обеспечивают **поршневые, или плунжерные, насосы**. Насосы типа НД – приводные, одноплунжерные, одинарного действия – применяют для перекачивания чистых нейтральных или агрессивных жидкостей, эмульсий и суспензий с температурой не более 85 °С (рис. 1.29а, б). Подача насоса регулируется от 0 до максимума изменением длины хода штока и плунжера.

Насосы-дозаторы с помощью переходных фонарей и муфт можно объединить в двухплунжерные и многоплунжерные агрегаты, присоединяемые к одному электродвигателю (рис. 1.29в). Такие дозаторные агрегаты (ДА) выпускают двух и трехцилиндровыми, и они могут дозировать одновременно два или три реагента. Многоплунжерные насосы применяют также в качестве насосов сверхвысокого давления (до 1000 атм) при подаче воды.

Насосы дозаторы типа НД выпускают с подачей 0,04 – 2500 л/ч и развиваемым напором 100 – 4000 м.

Условное обозначения агрегата (например НД 1,0Р 16/400 К):

НД – тип насоса (насос дозировочный);

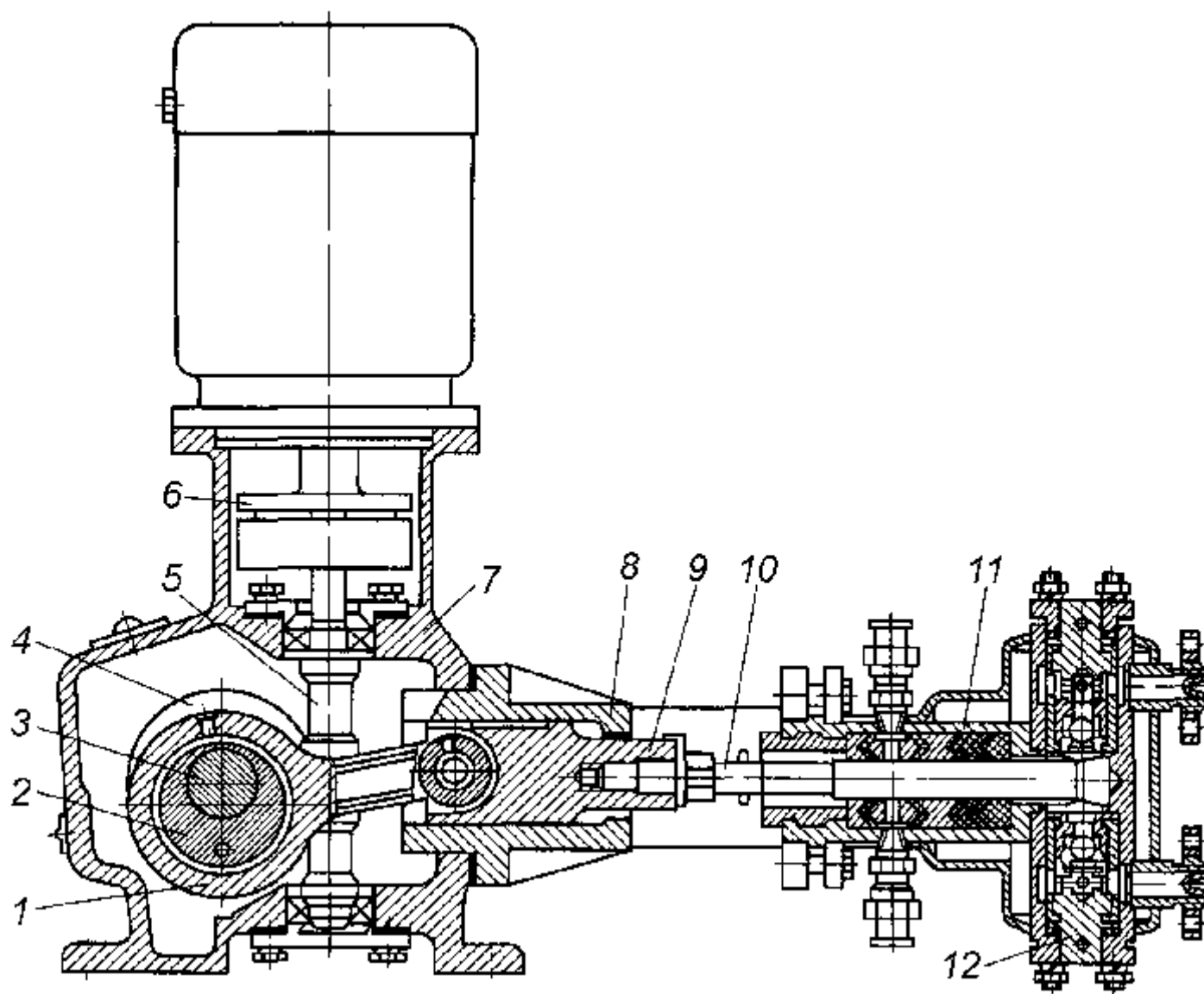
1,0 – точность дозирования, %;

Р – управление подачей – вручную на ходу и при остановленном агрегате;

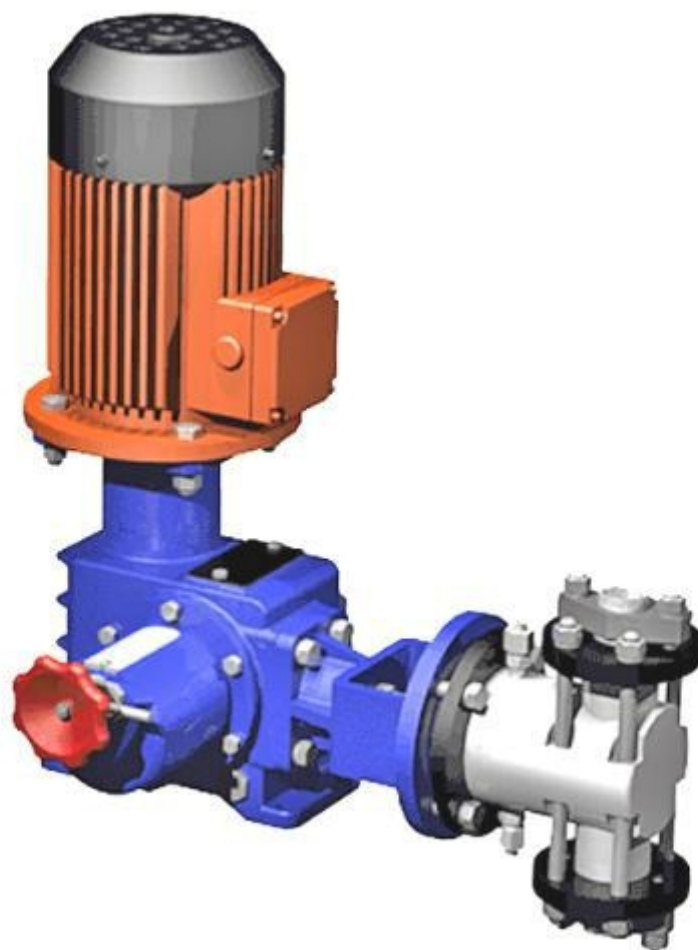
16 – подача (л/ч);

400 – давление на выходе, кгс/см²;

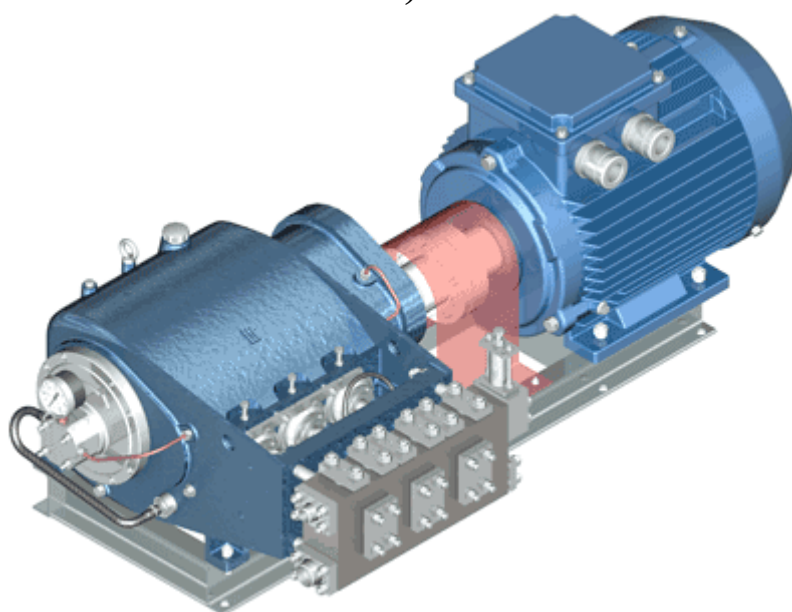
К – сталь типа 12Х18Н9Т.



a)



б)



в)

Рис. 1.29. Плунжерный насос: а) разрез; б) внешний вид насоса типа НД; в) внешний вид трехплунжерного насоса;
 1 – шатун; 2 – эксцентрик; 3 – вал; 4 – червячное колесо; 5 – червяк; 6 – упругая муфта; 7 – корпус редуктора; 8 – кронштейн; 9 – ползун; 10 – плунжер; 11 – корпус гидроцилиндра; 12 – проставок

Мембранные насосы по принципу действия близки к плунжерным, однако в них перемещается не цилиндр (плунжер), а гибкая мембрана, приводом ее толкателя служит электромагнитная катушка, на которую подаются импульсы тока (рис. 1.30). Такие насосы компактнее плунжерных, легко автоматизируются. Подача в них регулируется главным образом изменением частоты колебаний толкателя мембраны (частоты импульсов тока на э/м катушке).



Рис. 1.30. Внешний вид мембранного насоса-дозатора

Насосы для взвешенных веществ широко применяют для откачки гравийно-глинистых и грунтовых вод из котлованов и траншей, а также бытовых и сточных вод, при ремонтных работах на водопроводных и водоотводящих сетях и сооружениях. Наибольшее распространение для этих целей нашли насосы ГНОМ (грязевой насос одноступенчатый моноблочный). Насосы ГНОМ устанавливают вертикально на дно котлованов, траншей, колодцев и камер. Они могут работать при полном или частичном погружении в откачиваемую жидкость. Насосы не могут работать «всухую», без охлаждения откачиваемой жидкости.

К **водоструйным насосам** относятся насосы, работающие на воде, а также эжекторы, работающие на газе или на воздухе, инжекторы – на паре и гидроэлеваторы – на горячей воде.

Действие струйных насосов основано на принципе передачи кинетической энергии от одного потока к другому, обладающей меньшей кинетической энергией. Создание напора у насосов этого типа происходит путем непосредственного смешения обоих потоков, без каких либо промежуточных механизмов.

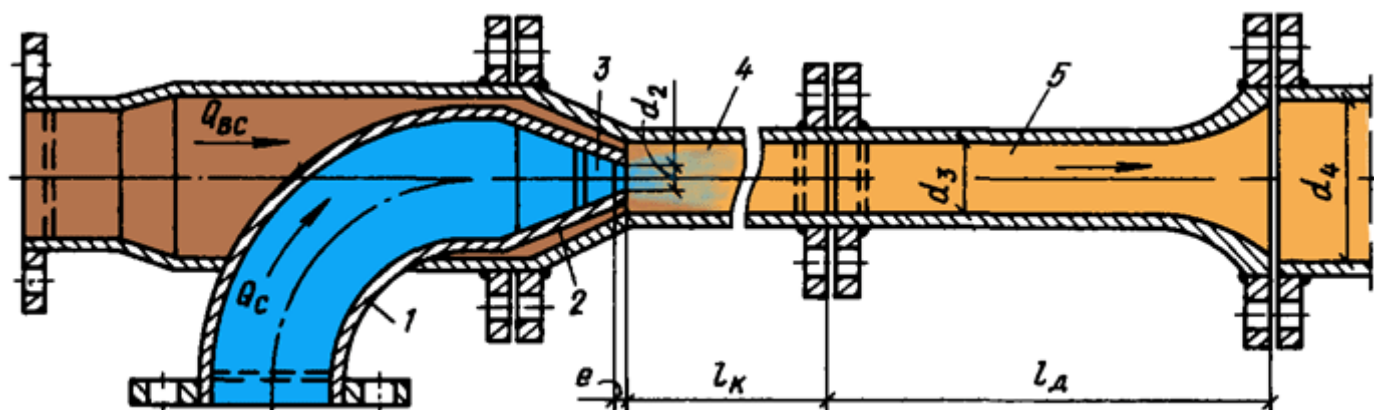


Рис. 1.30. Водоструйный насос:

1 – подвод рабочей жидкости; 2 – насадка; 3 – цилиндрическая часть насадки; 4 – камера смешения; 5 – диффузор

Основные достоинства струйных насосов:

- легкость изготовления (основные элементы – насадки, камера смешения и диффузор, легко изготавливаются из труб);
- отсутствие движущихся частей;
- возможность установки электродвигателя отдельно от насоса;
- возможность перекачивания гравийно-песчаных смесей крупных фракций;
- бесшумность работы.

Основной недостаток – низкий КПД (15 – 27 %).

В водопроводном и канализационном хозяйстве струйные насосы находят применение для:

- заливки основных насосов перед пуском их в работу;
- загрузке и выгрузке фильтрующих материалов на очистных сооружениях;
- выгрузки песка из песколовков;
- перемешивание осадка в метантенках;
- откачивания воды из трубчатых колодцев и скважин.