

# ЛЕКЦИЯ 1

## Тема 1. ВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

### 1.1. Краткая история развития машинного водоподъема и насосостроения

Первые большие общины людей в цивилизованных поселениях сталкивались с проблемой снабжения питьевой водой. Для этой цели строились самотечные каналы. Такие сооружения известны, например, в Сицилии (450 лет до н.э.), римский акведук (342 года до н.э.) и др. Позже (примерно 160 лет до н.э.) стали применять напорные водоводы, которые работали за счет естественного напора водоисточников. Но так как это не всегда было возможно, то встал вопрос о механическом подъеме воды.

Первыми самыми древними водоподъемными устройствами можно считать водоподъемное колесо и архимедов винт, которые применялись в Египте, Вавилоне и Китае. Водоподъемное колесо (чигирь) находит применение и сейчас в Таджикистане для орошения мелких участков земли.

Первый пожарный поршневой насос, изготовленный из бронзы, появился в Александрии около 200 лет до н.э. Он имел все элементы современного поршневого насоса (цилиндр, поршень и клапаны) с ручным приводом. Первый насос с механическим приводом известен как насос Ньюкомена (1805 г.). Это был штанговый насос, приводимый в работу паровым двигателем. По мере развития паровых машин поршневые насосы применялись все шире. Так, в Лондоне в 1860 г. для водоснабжения был установлен самый большой насос, который имел подачу  $1365 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напор 52 м. Позже в качестве движителя стали применять двигатели внутреннего сгорания, а потом и электродвигатели. Кроме поршневых развивались и другие типы объемных насосов. Прообразом шестеренчатого насоса можно считать пластинчатый насос **Ромелли** (1588 г.).

Прародителем центробежного насоса можно считать Леонардо да Винчи (1450 - 1490 гг.), так как ему принадлежат эскизы устройства, в котором для подъема воды использовалась центробежная сила. По этим эскизам француз **ля Демур** в 1732 г. изготовил и продемонстрировал работающую модель первого центробежного насоса.

После разработки теории работы центробежного насоса русским ученым **Эйлером** возникла классическая форма рабочего колеса, кото-

рая была использована в 1818 г. в Бостоне **Андреасом** в так называемом «Массачусете-насосе». В результате значительных преимуществ, которыми обладает центробежный насос, поршневые насосы были отодвинуты на второй план.

До Октябрьской революции Россия не производила своих насосов, а экспортировала их с других стран. За годы советской власти в СССР было построено множество заводов, выпускавших такое количество разнообразных насосов, что их хватало не только для внутренних нужд страны, но и для продажи за границу. Всего в СССР было построено более 5 тыс. насосных станций для орошения и большое количество станций для водоснабжения. Только на Украине к 1970 г. действовало 1110 оросительных насосных станций и каждый год вводилось в строй еще около 200. Известны такие крупнейшие в мире насосные станции, как Верхне-Ингулецкая и Каховская, станции на канале Иртыш-Караганда и на Минско-Вилейской водной системе и много других.

В БССР всего было построено 1870 мелиоративных насосных станций, а к 2000 г. планировалось ввести в строй еще 2000 шт. Огромное множество передвижных насосных станций использовалось для целей орошения. Крупные насосные станции строились в нашей стране и для судоходства. Например, канал имени Москвы имеет 5 насосных станций с подачей каждой до 100 м<sup>3</sup>/с, Волго-Донской канал - 3 насосных станции с подачей 45 м<sup>3</sup>/с и ряд других. Для нужд водоснабжения в СССР расходовалось более 16 млрд. м<sup>3</sup> воды в год, в т.ч. свыше половины этого количества — из подземных водоисточников. Для подъема такого количества воды на поверхность земли требуется около 1.5 млн. комплектов насосов.

## **1.2. Понятия «водоподъемник», «насос», «насосная установка», «насосная станция», «гидротехнический узел машинного водоподъема». Их типы и элементы. Классификация насосов**

**Водоподъемник** — это устройство или рабочая гидравлическая машина, которая изменяет положение жидкости. Например: колодезный журавль, черпаковый подъемник, чигирь, архимедов винт, насос и др.

**Насос** – водоподъемник, который отдает полученную из вне энергию жидкости, протекающей через него, и тем самым меняет ее положение. При этом он обладает способностью всасывания и нагнетания. Насосы бывают двух типов: **динамические и объемные.**

**Динамические** работают по принципу создания от входа до выхода сплошного потока жидкости за счет различных сил: центробежных,

трения, гидростатического давления и др. К ним относятся **лопастные** (центробежные и осевые), **насосы трения** (вихревые, вибрационные, струйные и др.) и **прочие типы** (ленточные, эрлифты, гидравлические тараны и др.).

**Объемные насосы** работают по принципу вытеснения жидкости путем периодического изменения объема занимаемой ею камеры. Это: поршневые, плунжерные, шестеренные, винтовые, крыльчатые и др.

**Насосная установка** (рис 1.1) состоит из всасывающего трубопровода 1, насоса 2, напорного трубопровода 3, запорной арматуры 4 и измерительных приборов 5, которыми являются вакуумметр (в) или мановакуумметр (мв) на всасывающем трубопроводе и манометр (м) – на нагнетательном. Насос, приводимый в действие двигателем любого вида (электродвигателем, двигателем внутреннего сгорания, паровой машиной или вручную), забирает воду из нижнего бьефа (НБ) и подает в верхний (ВБ).

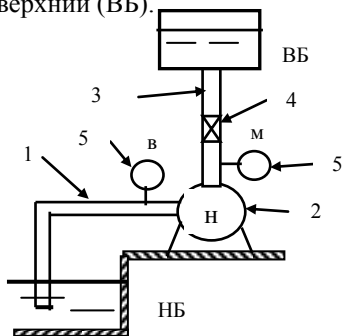


Рис. 1.1. Схема насосной установки

В состав **насосной станции** (рис. 1.2) входят: водозаборное сооружение 1, здание станции 2, в котором размещают минимум две насосные установки 3, внестанционный напорный трубопровод 4, водовыпуск 5 и отводящий канал 6

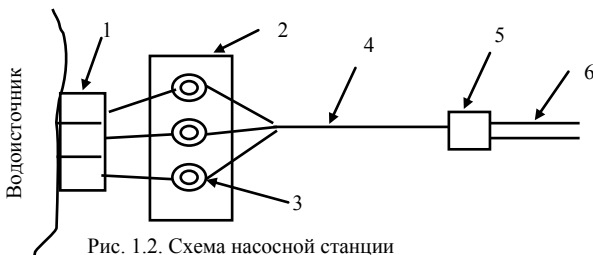


Рис. 1.2. Схема насосной станции

Конструкция насосных станций и тип применяемого оборудования зависят от ее назначения: для орошения или осушения, водоснабжения или обводнения, лесосплава или судоходства

**Гидротехнический узел машинного водоподъема** (рис. 1.3) включает в себя водоподводящее сооружение 1 (трубопровод или канал), одну или несколько насосных станций 2 (с водозаборными сооружениями 3, напорными трубопроводами 4, водовыпускными сооружениями 5) и водоотводящий канал 6, который подводит воду к водозаборному сооружению второй насосной станции. Кроме этого, в его состав могут входить различные гидротехнические сооружения (дамбы, трубы-регуляторы и др.).

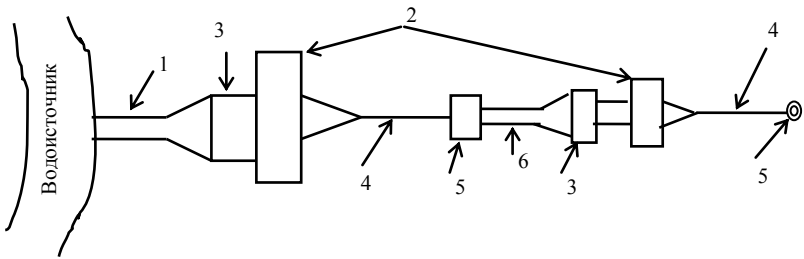


Рис. 1.3. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема

## ЛЕКЦИЯ 2

### Тема 2. ПАРАМЕТРЫ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

#### 2.1. Основные и дополнительные параметры насосной установки

Насосная установка с любым насосом имеет следующие **основные параметры**:

1. **Расход (подача, производительность)** – это объем воды, проходящий через выходной патрубок насоса в единицу времени. Обозначается  $Q$  и имеет размерность  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{л}/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

2. **Напор** — это количество энергии, которое получила жидкость, пройдя через насос, выраженное в метрах водяного столба. Обозначается  $H$ , м. Эта энергия тратится на преодоление высоты подъема  $H_r$  и сопротивление трубопровода  $h_r$ , т.е.

$$H = H_r + h_r \quad (2.1)$$

3. **Мощность.** Обозначается буквой  $N$  и имеет размерность кВт. Мощность, подводимая к двигателю  $N_{дв}$ , частично тратится на его нужды, а большая часть отдается насосу ( $N_e$ ). Насос, получая эффективную мощность  $N_e$ , также частично тратит ее на преодоление механического и гидравлического трения, а большую часть отдает жидкости. Мощность, полученная водой от насоса, называется полезной и определяется по формуле

$$N_{пол} = 9,81 \cdot Q \cdot H \quad (2.2)$$

4. **Коэффициент полезного действия** – есть доля полученной насосом энергии, которая пошла на полезную работу, т. е. отданная жидкости. Обозначается  $\eta$  (или к. п. д) имеет размерность % или доли единицы и определяется по формуле

$$\eta = \frac{N_{пол}}{N_e} \quad (2.3)$$

К **дополнительным параметрам** относятся:

1. *Геометрический (геодезический) напор*  $H_r$  – высота подъема воды, или расстояние между уровнями воды в В.Б. и Н.Б. (рис. 2.1).

2. *Геометрическая высота всасывания* ( $h_b$ ) – это расстояния от уровня воды в нижнем бьефе до оси насоса. Она будет положительной, если насос расположен выше уровня воды (рис.2.1, а) и отрицательной, если его ось расположена ниже уровня воды Н.Б. т.е. насос находится «под заливом» (рис.2.1, б).

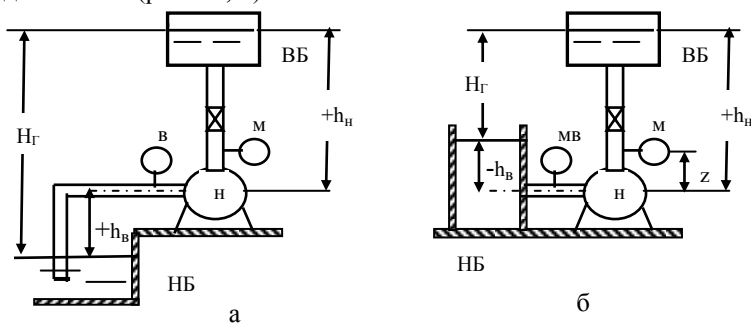


Рис.2.1. Схемы насосных установок: а – с положительной высотой всасывания, б – с отрицательной

3. Приведенная геометрическая высота всасывания складывается из суммы геометрической высоты всасывания и потерь напора во всасывающем трубопроводе

$$H_{в.п} = h_{в} + h_{т.в} ; \quad (2.4)$$

4. Вакуумметрическая высота всасывания

$$H_{вак} = H_{в.п} + \frac{V_{в}^2}{2g} . \quad (2.5)$$

Если в формулу (2.5) вместо  $H_{в.п}$  поставить его значение по формуле (2.4), то получим *показание вакуумметра*

$$H_{вак} = h_{в} + h_{т.в} + \frac{V_{в}^2}{2g} \quad (2.6)$$

В приведенных формулах  $V_{в}$  и  $h_{т.в}$  – скорость и потери напора во всасывающем трубопроводе.

5. Геометрическая высота нагнетания ( $h_{н}$ ) – есть расстояние от оси насоса до уровня воды в верхнем бьефе. Она может быть положительной (рис. 2.1) и отрицательной (рис. 2.2).

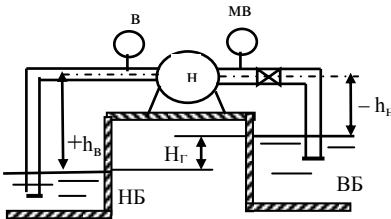


Рис. 2.2. Схема насосной установки с положительной высотой всасывания и отрицательной высотой нагнетания

6. Приведенная высота нагнетания

$$H_{н.п} = h_{н} + h_{т.н} . \quad (2.7)$$

Если в полученную формулу добавить скоростной напор, то получим *показание манометра*:

$$H_{м} = h_{н} + h_{т.н} + \frac{V_{н}^2}{2g} , \quad (2.8)$$

где  $V_{н}$  и  $h_{т.н}$  – соответственно скорость и потери напора в напорном трубопроводе.

## 2.2. Способы замера подачи насоса

Подача (расход) насоса в лаборатории может быть измерена несколькими способами:

1. *Объемным способом.* Для этого необходимы мерный сосуд и секундомер, при помощи которых определяются объем и время его заполнения.

2. *При помощи дифманометра,* установленного на нагнетательном трубопроводе. Дифманометр состоит из местного сопротивления в виде диафрагмы и U-образно изогнутой заполненной ртутью стеклянной трубки, которая своими концами соединена резиновыми трубками с диафрагмой. При движении жидкости через диафрагму в ней создается давление, которое меньше, чем в трубопроводе, в связи с чем ртуть в коленах стеклянной трубки установится на различной высоте  $h$ . Замеряя эту величину, по тарировочной кривой определяют расход.

3. *При помощи мерного водослива.* Замеряется напор на гребне водослива и по его величине по тарировочной кривой определяется расход.

В производственных насосных станциях подача насоса определяется с помощью различного типа водомеров (расходомеров). Наиболее распространены на насосных станциях турбинные, электромагнитные (индукционные) и ультразвуковые расходомеры.

Турбинные расходомеры имеют вертушку, скорость вращения которой пропорциональна скорости потока и, следовательно, расходу воды.

Электромагнитные (индукционные) расходомеры работают по принципу преобразования скорости потока в электрический сигнал.

В основу работы ультразвуковых расходомеров положен принцип изменения скорости распространения ультразвука по направлению потока воды и против него.

## 2.3. Определение напора по показаниям приборов

Для замера напора необходима установка вакуумметра (мановакуумметра) на всасывающей линии и манометра (мано-вакуумметра) на нагнетательной. При помощи этих приборов напор определяется по-разному для различных типов насосных установок.

**а) Для установки с положительными высотами всасывания и нагнетания (рис. 2.3).**

В соответствии с законом Бернулли полная удельная энергия, которой обладает жидкость в сечении 1 – 1 относительно плоскости 0 – 0, составит

$$E_1 = Z_{\text{вх}} + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_B^2}{2g} . \quad (2.9)$$

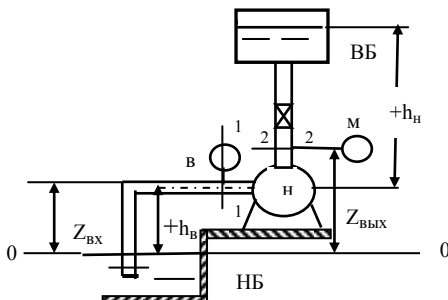


Рис. 2.3. Установка с положительными высотами всасывания и нагнетания

Пройдя через насос, жидкость получает дополнительное количество энергии, которая в сечении 2 – 2 станет равной

$$E_2 = Z_{\text{вых}} + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha V_H^2}{2g} . \quad (2.10)$$

В формулах (2.9) и (2.10)  $P_1$  и  $P_2$  – давления в соответствующих сечениях, а  $V_B$  и  $V_H$  – скорость воды в них,  $\rho$  – плотность жидкости,  $Z_{\text{вх}}$  и  $Z_{\text{вых}}$  – расстояния между плоскостью сравнения 0 – 0 и центрами сечений.

Зная, что напор – это количество энергии, которую приобретает жидкость, пройдя через насос, можно записать:  $H = E_2 - E_1$ , или с учетом формул (2.9) и (2.10), получим

$$H = Z_{\text{вых}} + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha V_H^2}{2g} - Z_{\text{вх}} - \frac{P_1}{\rho g} - \frac{\alpha V_B^2}{2g} .$$

Учитывая, что  $Z_{\text{вых}} - Z_{\text{вх}} = Z$  и, группируя члены, получим

$$H = Z + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} . \quad (2.11)$$

Выразим давления через показания манометра и вакуумметра. Полное давление во втором сечении

$$P_2 = P_{\text{ат}} + P_{\text{м}}, \text{ а в первом } P_1 = P_{\text{ат}} - P_{\text{вак}} .$$

Подставляя эти значения в формулу (2.11), получим

$$H = Z + \frac{P_a + P_M - P_a + P_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} .$$

После приведения подобных, первую дробь поделим почленно

В полученной формуле  $\frac{P_M}{\rho g} = h_M$  — это показание манометра, выражен-

ное в метрах водяного столба, а  $\frac{P_{\text{вак}}}{\rho g} = h_{\text{вак}}$  — показание вакуумметра в метрах водяного столба.

Тогда напор по показаниям приборов можно определить по формуле

$$H = Z + h_M + h_{\text{вак}} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} . \quad (2.12)$$

Если пренебречь высотным расположением приборов и разностью скоростных напоров, то формула (2.12) упростится до вида

$$H = h_M + h_{\text{вак}} ,$$

т.е. после снятия показаний приборов и перевода их в метры водяного столба нужно сложить полученные цифры, что и даст величину напора.

*Пример.* Показание манометра 3 ат (3 кг/см<sup>2</sup>) переводим в м вод.ст. путем умножения на 10. Получим 30 м. Показание вакуумметра 0.2 ат или 2 м. Напор будет 30 + 2 = 32 м.

### **б) Для установки с отрицательной высотой всасывания и положительной высотой нагнетания (рис.2.1, б).**

Поступая аналогично вышеизложенному, получим конечную формулу

$$H = h_M - (\pm h_{\text{мв}}) + Z + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} . \quad (2.13)$$

Здесь  $h_M$  и  $h_{\text{мв}}$  — показания манометра и мановакуумметра с учетом их знаков.

### **в) Для установки с положительной высотой всасывания и отрицательной высотой нагнетания (рис.2.2).**

Вывод конечной формулы аналогичен предыдущим.

Получим:

$$H = h_{\text{вак}} - (\pm h_{\text{мв}}) + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} . \quad (2.14)$$

В полученном выражении отсутствует  $Z$ , так как точки замера пониженного и повышенного давлений находятся на одном уровне.

## 2.4. Определение энергетических показателей

К энергетическим показателям относятся мощность и коэффициент полезного действия. Подводимая к установке мощность замеряется ваттметром. Эффективная мощность  $N_e$ , забираемая насосом, будет несколько меньше подводимой, так как часть ее двигатель тратит на свои нужды (преодоление трения в подшипниках, сопротивление обмоток статора и т.д.).  $N_e$  определяется по графику, составленному с учетом к.п.д. двигателя. Мощность, отданная насосом жидкости  $N_{пол}$ , также будет несколько меньше эффективной в связи с тем, что часть ее тратится на преодоление механического и гидравлического трения. Определяется она по формуле (2.2).

Коэффициент полезного действия – есть отношение полезной мощности к эффективной. Рассчитывается по формуле (2.3) и представляет собой алгебраическую сумму к.п.д. гидравлического  $\eta_r$ , учитывающего потери на трение внутри жидкости, механического  $\eta_m$ , учитывающего потери энергии на механическое трение, и объемного  $\eta_0$ , учитывающего утечки жидкости из насоса. Т.е. полный энергетический к.п.д. будет равен

$$\eta = \eta_r \eta_m \eta_0. \quad (2.15)$$

Здесь все к.п.д. берутся в долях единицы.

## Тема 3. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ НАСОСОВ

Выше было указано, что практически все насосы делятся на два вида: динамические и объемные. Динамические включают в себя среди прочих и лопастные насосы, которые делятся на *центробежные* и *осевые*. Лопастными они называются потому, что основным рабочим органом является рабочее колесо, имеющее лопасти. Однако, в виду того, что рабочее колесо по разному передает энергию потоку жидкости, проходящему через насос, принцип действия этих насосов различен, что обуславливается их конструкцией.

### 3.1. Конструкция и принцип действия центробежных насосов

Схема центробежного насоса показана на рис. 3.1. Рабочее колесо 1 состоит из двух дисков, отстоящих на некотором расстоянии друг от друга. Между дисками, соединяя их в единую конструкцию, находятся лопасти, плавно изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Внутренние поверхности дисков и боковые поверхности лопастей образуют межлопастные каналы колеса. В этих насосах жидкость при входе в рабочее колесо движется в осевом направлении, а затем в самом колесе – в радиальном.

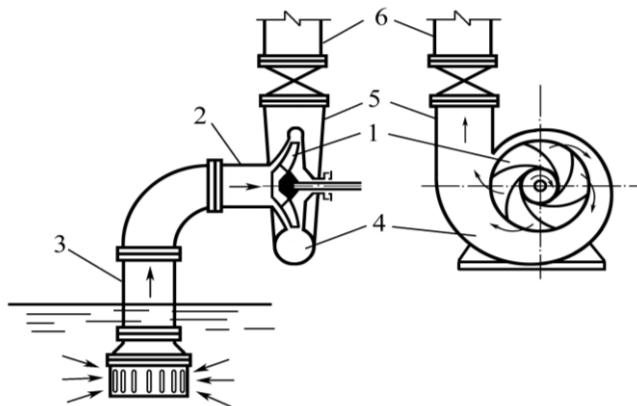


Рис. 3.1. Схема центробежного насоса.

При вращении колеса под действием центробежной силы жидкость непрерывно движется по межлопастным каналам от центра к периферии, при этом каждая частица этого потока приобретает большую скорость, т. е. удельную кинетическую энергию, которая в уравнении Бернулли выражается скоростным напором, т. е.

$$E = \frac{U^2}{2g}, \quad (3.1)$$

где  $U$  – скорость элементарной струйки жидкости.

Эти частицы жидкости, выйдя из лопастного канала, попадают в спиральный канал 4, по которому движутся по направлению вращения рабочего колеса. В связи с тем, что спиральный канал постепенно расширяется, то скорость движения жидкости от сечения к сечению уменьшается, что должно уменьшать удельную кинетическую энергию  $E$ , определяемую по формуле (3.1). Однако, согласно закону сохранения энергии, она не должна исчезать, а может только видоизменяться

(рассматривается идеальная жидкость, поэтому потерь энергии на трение нет). В данном случае в уравнении Бернулли появляется второе слагаемое, представляющее собой удельную потенциальную энергию, т. е.

$$E = \frac{U^2}{2g} + \frac{P}{\rho g}, \quad (3.2)$$

Вода, выходя из каналов, создает у входа в рабочее колесо разрежение. Жидкость подводится через отверстие в переднем диске рабочего колеса 1 с помощью всасывающего патрубка 2 и всасывающего трубопровода 3 (см. рис. 3.1). Движение жидкости по всасывающему трубопроводу происходит за счет разности давлений над свободной поверхностью жидкости в водоисточнике (атмосферное) и в центральной (входной) части рабочего колеса (разрежение). Отвод жидкости из рабочего колеса осуществляется через спиральный канал 4, который переходит в короткий диффузор, образующий напорный патрубок 5, соединяемый обычно с напорным трубопроводом 6 посредством задвижки. При выходе жидкости из спиральной камеры в напорный патрубок происходит еще большее уменьшение ее скорости, кинетическая энергия переходит в потенциальную, увеличивая тем самым первоначальное давление, создаваемое колесом.

Из напорного патрубка вода продолжает движение по цилиндрической трубе с постоянной скоростью, но уменьшающимся давлением  $P$ , в связи с тем, что возрастает вторая составляющая удельной потенциальной энергии так называемая энергия положения  $Z$ . Поэтому уравнение Бернулли примет вид:

$$E = \frac{U^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z. \quad (3.3)$$

Таким образом, за счет центробежной силы, созданной вращением рабочего колеса, вода получила избыточную энергию (напор) и по мере движения по напорному трубопроводу потратила ее на преодоление как сил трения (жидкость реальная), так и сил тяжести из-за увеличения высоты подъема.

### 3.2. Конструкция и принцип действия осевых насосов

Осевые насосы типа О и ОП, одноступенчатые предназначены для подачи чистой воды с температурой не более  $35^{\circ}\text{C}$ , содержанием взве-

шенных частиц не более 3 г/л, размер которых не более 0,1 мм (из них абразивных частиц не более 2%). Насосы применяются для циркуляционного водоснабжения тепловых и атомных электростанций, в оросительных и осушительных системах, в промышленности и других отраслях народного хозяйства. По согласованию с заводом допускается применять насосы для перекачивания других жидкостей.

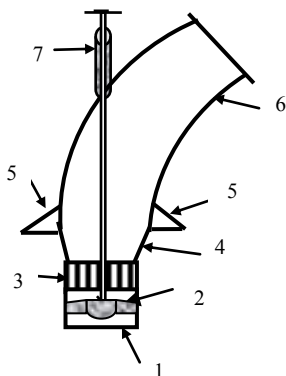


Рис. 3.2. Схема осевого насоса:

- 1 – всасывающий патрубок;
- 2 – рабочее колесо;
- 3 – выправляющий аппарат;
- 4 – диффузор;
- 5 – опорные лапы;
- 6 – напорный патрубок;
- 7 – вал

Конструкция осевого насоса представлена на рис. 3.2. Эти насосы имеют рабочее колесо 2 с лопатками (колесо похоже на гребной винт моторной лодки), которое помещается во всасывающем патрубке 1. Рабочее колесо закреплено на валу 7, который соединяется с электродвигателем.

В осевых насосах при вращении рабочего колеса в результате взаимодействия лопастей с потоком возникает подъемная сила (лопатки давят на жидкость), за счет которой жидкая среда перемещается вверх вдоль оси колеса насоса. 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, в результате чего возникает вихреобразование и жидкость при выходе из рабочего колеса приобретает вращательное движение вокруг оси вала, на что тратится часть энергии. С целью выравнивания движения и повышения КПД насоса выше рабочего колеса устанавливается выправляющий аппарат 3 (рис.3.2) с неподвижными лопастями. В результате на выходе из рабочего колеса происходит преобразование части кинетической энергии в потенциальную, т. е. увеличивается напора насоса. Окончательное преобразование энергии осуществляется в диффузоре

4. Далее вода поступает в напорный патрубок 6 и потом в напорный трубопровод.

В соответствии с ГОСТ 9366–80 «Насосы осевые. Общие технические условия» выпускается два типа осевых насосов: тип О – с жестко закрепленными лопастями и тип ОП – с поворотными лопастями рабочего колеса. Насосы изготавливаются с горизонтальным (Г) и вертикальным (В) расположением вала.

Осевые насосы выпускаются семи моделей (2, 3, 5, 6, 10, 11, 16), по ГОСТ 9366–80 (2, 3, 5, 6, 8, 10, 11), и восьми модификаций: К – с камерным подводом; МК – малогабаритным с камерным подводом; МБК – моноблочный с камерным подводом; МБ – моноблочный; Э – с электроприводом поворота лопастей; КЭ – с камерным подводом и электроприводом поворота лопастей; МКЭ – малогабаритный с камерным подводом и электроприводом поворота лопастей; ЭГ – с электроприводом поворота лопастей.

Условное обозначение марок осевых насосов: ОГ6-25, ОВ5-55МК, О – осевой насос с жестко закрепленными лопатками рабочего колеса; В или Г – с вертикальным или горизонтальным расположением вала; ОП – осевой с поворотными лопастями; цифры после букв (6, 5) – модель типового колеса (номер модели насоса); следующая цифра (25, 55) – диаметр рабочего колеса, см; буквы после цифр (МК) – модификация насоса, которая может не указываться.

## ЛЕКЦИЯ 3

### Тема 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСОВ

#### 4.1 Испытания и характеристики лопастных насосов

Все новые насосы подвергают испытаниям сначала на заводе, а потом при установке по месту эксплуатации. Заводские испытания включают в себя:

- предварительные с целью выявления надежности работы;
- приемочные, в ходе которых устанавливается соответствие требованиям технической документации;
- типовые с целью получения типовой характеристики, которая помещается в каталог насосов.

Эксплуатационные (нормальные) испытания проводят двух видов:

- параметрические с целью уточнения типовой характеристики;
- кавитационные для проверки правильности установки насоса по отношению к уровню воды в Н.Б.

Характеристиками насосов называют графики функциональной связи основных параметров, т.е.  $H = f(Q)$  -напорная характеристика;  $Ne = f(Q)$  - мощностная;  $\eta = f(Q)$  -характеристика к.п.д. (рис.3.3). Они бывают частные, т.е. для конкретной марки насоса, рабочие, т.е. для конкретного насоса, универсальные, т.е. для определенного типа насосов.

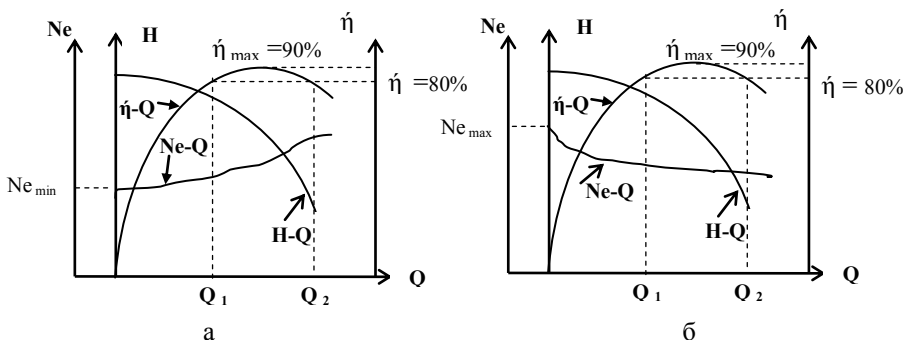


Рис.3.3. Частные характеристики лопастных насосов:  
а — центробежные; б — осевые

Параметрические испытания центробежного насоса будут проводиться при выполнении лабораторной работы, в которой *будут получены рабочие характеристики конкретного центробежного насоса.*

При эксплуатации насосов характеристики используются для следующих целей:

- назначения режима работы в «рабочей области» насоса, т.е. в диапазоне расходов ( $Q_1$  и  $Q_2$ ) соответствующих к.п.д., отличающегося от максимального не более чем на 10 %;
- расчета диаметра трубопровода, подсоединяемого к насосу;
- решения вопроса о возможности и целесообразности параллельного и последовательного соединения насосов для работы на один трубопровод;
- подбора электродвигателя;
- выбора частоты вращения и диаметра рабочего колеса (последнее у центробежных насосов), а также угла установки

лопастей у осевых насосов с целью точного обеспечения расчетных расхода ( $Q_p$ ) и напора ( $H_p$ ).

#### 4.2 Изменение характеристик центробежного насоса

При выборе частоты вращения и диаметра рабочего колеса центробежного насоса с целью точного обеспечения  $Q_p$  и  $H_p$  требуется изменить положение его характеристик. Покажем это на примере напорной характеристики  $H-Q$ .

*а). Изменение положения характеристики частоты вращения рабочего колеса.*

Напорная характеристика  $H_1 - Q_1$  на рис. 3.4. дана при частоте  $n_1$ . Требуется подобрать такую частоту вращения рабочего колеса  $n_2$ , при которой данный насос обеспечил бы подачу  $Q_p$  и напор  $H_p$ , соответствующие расчетной точке  $A_p$ , и пересчитать координаты напорной характеристики так, чтобы она проходила через эту расчетную точку.

Для этого необходимо прежде всего рассчитать и построить параболу подобных режимов, имеющую уравнение

$$H = K Q^2, \quad (3.1)$$

где  $H$  и  $Q$  – текущие координаты параболы,  $K$  – параметр параболы, который находится из условия прохождения ее через точку  $A_p$ , поэтому  $K = H_p / Q_p^2$ .

При найденном  $K$ , задаваясь различными значениями  $Q$  и подставляя их в (3.1), находим соответствующие  $H$ . По эти координатам  $H$  и  $Q$  строим параболу, которая пересекает характеристику  $H_1 - Q_1$  в точке  $A^1$ . В этой точке режим работы насоса при  $n_1$  оборотов рабочего колеса будет подобен режиму работы с оборотами  $n_2$ .

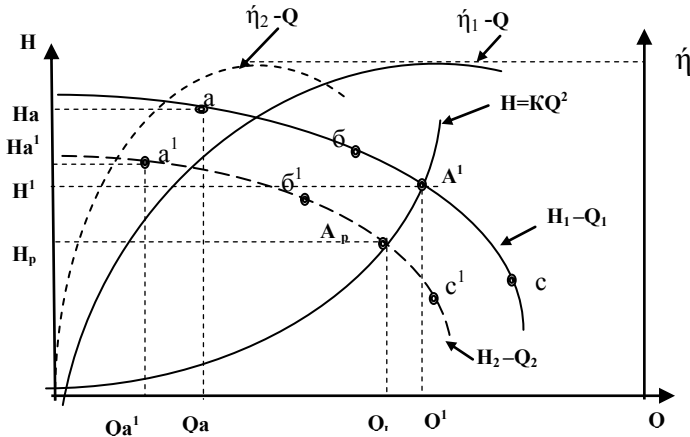


Рис.3.4. Изменение напорной характеристики частотой вращения рабочего колеса

Поэтому для нахождения  $n_2$  воспользуемся формулами пропорциональности

$$\frac{Q^1}{Q_p} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{или} \quad n_2 = \sqrt{\frac{n_1 \cdot H_p}{H^1}}. \quad (3.2)$$

Значения  $Q^1$  и  $H^1$  снимаем с графика и из формул (3.2) выражаем  $n_2$ .

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot Q_p}{Q^1} \quad \text{или} \quad \frac{H^1}{H_p} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2.$$

Для построения новой характеристики, соответствующей найденному числу оборотов  $n_2$ , наметим на характеристике  $H_1 - Q_1$  несколько точек (например, а, б, с) и снимем их координаты  $H$  и  $Q$ . Координаты им подобных точек  $a^1, b^1, c^1$  найдем из формул пропорциональности.

Например, для точки а (рис.3.4):

$$\frac{Q_a}{Q_a^1} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \text{откуда} \quad Q_a^1 = Q_a \frac{n_2}{n_1}.$$

Значение  $Q_a$  снимается с графика (рис.3.4),  $n_1$  – исходное число оборотов, а  $n_2$  – число оборотов, определенное выше.

Аналогично определяется значение  $H_a^1$

$$\frac{H_a}{H_a^1} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2, \quad \text{откуда} \quad H_a^1 = H_a \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

По найденным координатам строят новую характеристику.

Следует отметить, что при изменении числа оборотов К.П.Д. не уменьшается. Кривая  $\eta - Q$  перемещается вправо к оси  $H$  (рис. 3.4).

**б) Изменение положения характеристики обрезаемой рабочего колеса.**

В связи с тем, что вышеизложенный способ обеспечения заданных  $Q_p$  и  $H_p$  не всегда применим, так как для найденного  $n_2$  не всегда можно подобрать электродвигатель, то применяется способ обрезки (уменьшения) диаметра рабочего колеса центробежного насоса. Пересчет характеристики  $H_1 - Q_1$  начинается с определения нового умень-

шенного диаметра рабочего колеса  $D_2$ . С этой целью так же, как было описано выше, строится парабола подобных режимов (рис 3.5) по уравнению (3.1).

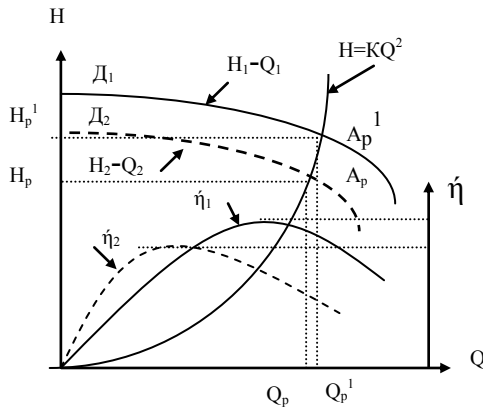


Рис. 3.5. Изменение напорной характеристики обрезкой рабочего колеса ц/б насоса

Для точки  $A_p^1$  снимают значения  $Q_p^1$  и  $H_p^1$  и подставляют их в формулы обточки (обрезки), которые при коэффициенте быстроходности  $n_s \leq 200$  об/мин имеют следующий вид:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2. \quad (3.3)$$

Подставляя координаты точки  $A_p^1$  в формулы (3.3), получим

$$\frac{Q_p^1}{Q_p} = \frac{D_1}{D_2}, \text{ откуда находим } D_2 = \frac{Q_p \cdot D_1}{Q_p^1}.$$

Найдя  $D_2$ , пересчитываем на него характеристику, поступая так же, как было описано выше, но только координаты точек новой кривой определяем из формул (3.3).

Следует иметь в виду, что степень уменьшения диаметра рабочего колеса имеет предел, после которого резко уменьшается к.п.д., а кривая к.п.д., так же как при уменьшении частоты вращения рабочего колеса, перемещается к оси  $H$ . Поэтому прежде чем пересчитывать характеристику, необходимо убедиться в допустимости величины обточки, т.е. должно быть

$$[\Delta d] \geq \frac{D_1 - D_2}{D_1}. \quad (3.4)$$

Допустимый предел обточки  $[\Delta Д]$  находят из справочных таблиц.

## ЛЕКЦИЯ 4 (продолжение Темы 4)

### 4.3 Универсальные размерные и безразмерные характеристики осевых насосов

В связи с тем, что напор и расход осевого насоса изменяется в зависимости от изменения числа оборотов  $n$ , диаметра рабочего колеса  $Д$  и угла установки лопаток  $\theta^0$ , то для каждого из стандартных значений  $n$ ,  $Д$  и  $\theta^0$  нужно иметь свою частную характеристику, число которых станет очень большим, что создаст неудобства пользование ими. Поэтому переходят к универсальным характеристикам, которые бывают размерные и безразмерные.

Размерные универсальные характеристики строятся на основе частных. Пусть имеем насос типа О2-55, где цифра 2 обозначает номер модели, а 55 – диаметр рабочего колеса в см, частота вращения которого  $n = 730$  об/мин. Частная характеристика данного насоса представлена на рис. 3.6 а, построенная при угле разворота лопастей  $\theta_1$ . Отметим на кривой  $\theta_1$  точки, соответствующие нескольким значениям к.п.д., например,  $\eta=50,60$  и  $70\%$ . Эту же кривую с отмеченными точками строим на другом поле  $H-Q$ , где наносим и другие кривые, полученные аналогичным образом, но при угле разворота лопаток  $\theta_2$  и  $\theta_3$  (рис.3.6 б). Точки с одинаковыми к.п.д. соединяем плавными кривыми и получаем размерную универсальную характеристику, которая одна заменила 4 частных. Но для других диаметров рабочих колес и других чисел оборотов требуются свои универсальные характеристики.

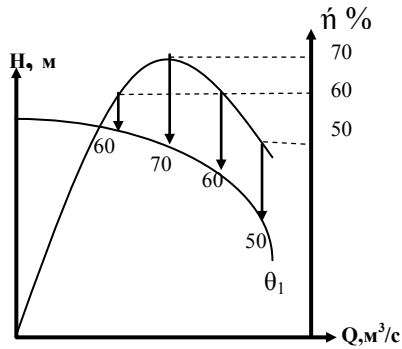
Следовательно, хоть и сокращается количество графиков, но незначительно, что является недостаточной универсальностью такой характеристики.

Этого недостатка лишена универсальная безразмерная характеристика (рис. 3.7), которая строится аналогично вышеизложенному, но в безразмерных координатах  $K_q$  и  $K_H$ , определяемых по формулам

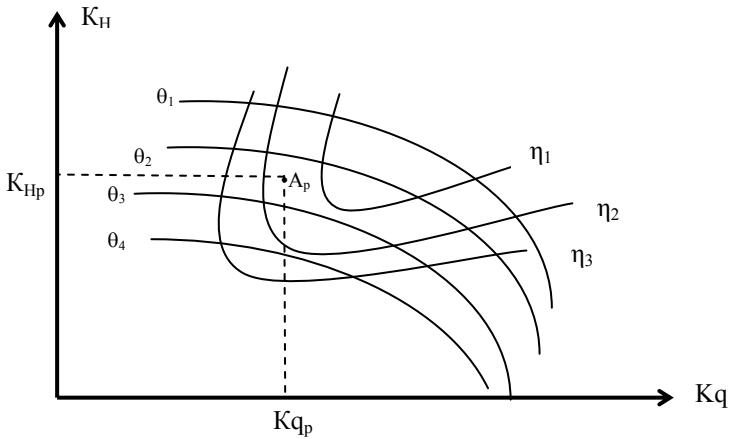
$$K_q = \frac{Q}{nD^3} \quad \text{и} \quad K_H = \frac{H}{n^2D^2} . \quad (3.5)$$

Такие безразмерные характеристики строят для каждой из 7 моделей осевого насоса и применимы для всех стандартных  $n$ ,  $Д$  и  $\theta$ .

Пользование ими осуществляется следующим образом. Пусть заданы  $Q_p$  и  $H_p$ . Задаемся любыми стандартными значениями  $n$  и  $D$  и по формулам (3.5) находим безразмерные координаты  $K_{qp}$  и  $K_{Hp}$  и по ним на безразмерную характеристику (рис. 3.7) наносим расчетную точку  $A_p$ . Если точка  $A_p$  попала в зону максимальных к.п.д., то значит, что задались  $n$  и  $D$  удачно, если нет, то следует задаться новыми  $n$  и  $D$ .



а



б

Рис. 3.6. Построение универсальной размерной характеристики

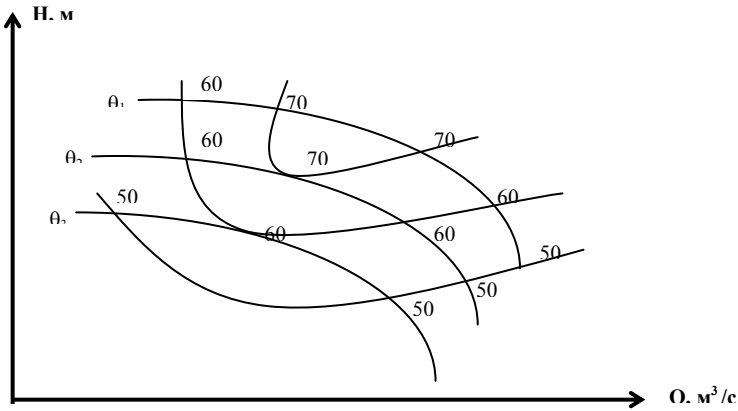


Рис. 3.7. Универсальная безразмерная характеристика осевого насоса

В данном примере путем интерполяции между  $\eta_1$  и  $\eta_2$  устанавливают точное значение к.п.д., при котором будет работать насос, а интерполяцией между  $\theta_2$  и  $\theta_3$  - угол установки лопаток.

#### 4.4 Сводный график рабочих полей

Рабочее поле насоса – есть область, ограниченная сверху и снизу напорными характеристиками при максимальном и минимальном диаметре рабочего колеса, а справа и слева - границами рабочей зоны (рис.3.8).

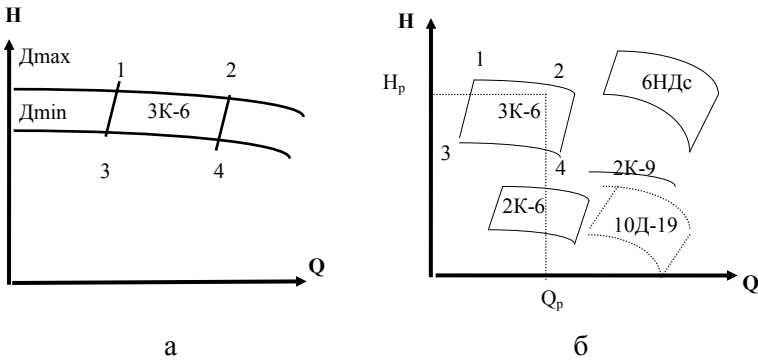


Рис. 3.8. Сводный график рабочих полей

Возьмем для примера напорную характеристику насоса 3К-6 и выделим рабочее поле 1-2-3-4 (рис. 3.8, а). Сняв координаты этих точек, построим отдельно это поле в той же системе координат (рис.3.8, б). Поступив аналогичным образом с другими марками насосов, получим сводный график рабочих полей, который служит для подбора насоса при заданных  $Q_p$  и  $H_p$ .

#### 4.5 Характеристика трубопровода и рабочая точка

Характеристика трубопровода – есть график, показывающий изменение потерь напора в трубопроводе в зависимости от протекающего по нему расхода. График наносится на напорную характеристику насоса с учетом геодезического напора (рис.3.9).

Характеристика трубопровода имеет уравнение

$$H_{тр} = H_{г} + h_{тр},$$

где  $h_{тр}$  – потери напора в трубопроводе, которые можно определить по формулам гидравлики:

$$h_{тр} = \sum \xi \frac{V^2}{2g}. \text{ Скорость } V \text{ можно выразить через расход } V = \frac{Q}{\omega}$$

и поставить в предыдущую формулу. Получим  $h_{тр} = \sum \xi \frac{Q^2}{\omega^2 2g}$

Обозначив  $S = \frac{\sum \xi}{\omega^2 2g}$ , получим уравнение характеристики

$$\text{трубопровода в виде } H_{тр} = H_{г} + SQ^2, \quad (3.6)$$

где  $S$  – коэффициент сопротивления трубопровода.

Это уравнение квадратичной параболы т.е.  $H_{тр} = f(Q)$  или иначе  $H_{тр} - Q$ , которая на графике (рис. 3.9) начинается с  $H_{г}$  при  $Q = 0$ .

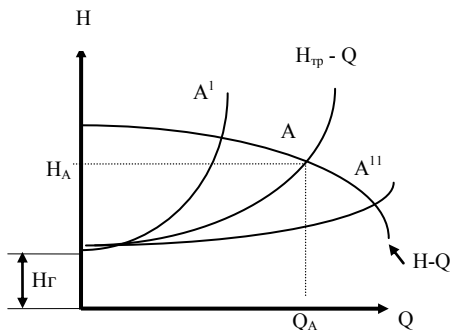


Рис. 3.9. Характеристика трубопровода и рабочая точка

Точка пересечения характеристики насоса ( $H - Q$ ) и характеристики трубопровода ( $H_{тр} - Q$ ) называется рабочей (на рис. 3.9. точка А), в которой напор насоса и потери напора в трубопроводе равны, т.е.  $H = H_{тр}$ . А это значит, что данный насос по данному трубопроводу может подать только расход, равный  $Q_A$  при напоре  $H_A$ . Если требуется уменьшить расход, то необходимо увеличить сопротивление трубопровода (прикрыть задвижку), но тогда характеристика трубопровода станет круче и рабочая точка будет  $A^1$ . Расход увеличится с уменьшением потерь напора в трубопроводе и рабочая точка переместится в положение  $A^{11}$ .

Такое регулирование расхода и напора называется *количественным*, изменение их при помощи числа оборотов или обрезкой рабочего колеса – *качественным*.

## ЛЕКЦИЯ 5

### Тема 5. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА НАСОСОВ НА ОДИН ТРУБОПРОВОД

#### 5.1. Параллельная работа двух насосов

Насосы соединяют параллельно с целью увеличения расхода при том же напоре. Они могут работать каждый на свой трубопровод (рис.4.1, а) или вдвоем на один (рис.4.1, б).

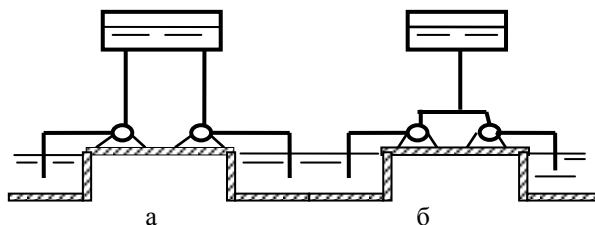


Рис.4.1. Параллельная работа двух насосов

Схема б, изображенная на рис. 4.1, предпочтительнее, так как экономится одна нитка напорного трубопровода. Однако недостаток ее

в том, что из-за значительно возросших потерь напора (ведь по одной нитке должен проходить удвоенный расход) в напорном трубопроводе напора насосов недостаточно для их преодоления. Поэтому трубопровод пропустит только такой расход, потери напора при котором смогут преодолеть насосы, т. е. меньше, чем удвоенный. Проследим это на характеристике (рис.4.2).

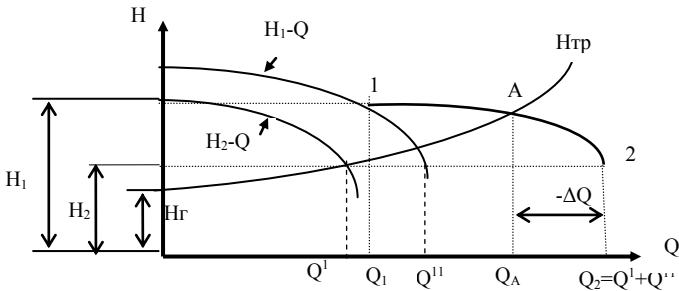


Рис.4.2. Суммарная напорная характеристика при параллельной работе двух насосов

Пусть рабочие частные характеристики насосов одинаковых марок представлены кривыми: первого насоса - кривой  $H_1 - Q$ , а второго -  $H_2-Q$ . Построим суммарную характеристику путем сложения расходов при одинаковых напорах (кривая 1-2).

Максимальная подача двух насосов равна  $Q_2 = Q^1 + Q^{11}$  и возможна при работе каждого насоса на свой трубопровод. В случае, если они будут работать на один, то максимальная подача их будет равна  $Q_A$ , т. к. характеристика трубопровода  $H_{тр}$  пересечет суммарную кривую не в точке 2, а в точке  $A$ , которая является рабочей. В ней и напор насоса и потери напора равны. Так как расход  $Q_A$  меньше, чем  $Q_2$ , то будет недодача расхода в верхний бак, т. е. возникнет дефицит подачи  $\Delta Q$ .

*Следовательно, выигрывая за счет экономии труб, проигрываем в величине подачи.*

## 5.2. Последовательная работа насосов

Насосы соединяют для работы последовательно с целью подачи заданного расхода при увеличенном напоре. Это можно осуществить

либо по схеме а (рис.4.3), либо по схеме б. В первом случае каждый насос работает на свой трубопровод, а во втором - на общий.

Схема б в эксплуатации более удобна, т. к. оба насоса стоят рядом в одном здании, к которому подведена одна подъездная дорога, установлена одна электрическая подстанция, агрегаты обслуживает одна эксплуатационная бригада. При соединении насосов по схеме а, т. е. когда они могут стоять на значительном удалении друг от друга, все вышеперечисленное удваивается, т. к. к каждому насосу надо подвести электроэнергию, подъездную дорогу и т. д. Кроме того, необходимо иметь промежуточный бак, куда подает воду первый насос.

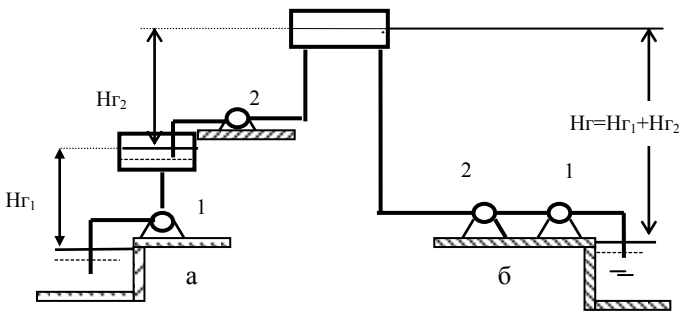


Рис. 4.3. Схемы последовательной работы насосов

Однако схема а имеет и существенный недостаток, наличие которого можно показать на характеристике.

На рис. 4.4 цифрами 1 и 2 обозначены напорные характеристики 1-го и 2-го насосов, которые соединяются для последовательной работы. Если они будут работать каждый на свой трубопровод, то при любом расходе, который проходит сначала по напорной трубе 1-го насоса, а потом 2-го, напоры, развиваемые насосами, будут складываться. Так, при  $Q = 0$  суммарный напор будет равен  $H_1 + H_2$  (в т.3 – начало суммарной кривой), а при  $Q_{max}$  – соответственно  $H^1 + H^{11}$ .

Суммарная напорная характеристика строится путем сложения напоров при одинаковых расходах. Однако суммарная кривая в т.4 не закончится, если насосы будут работать на один трубопровод (рис.4.3, б), так как рабочая точка займет положение А и насосы вынуждены подавать расход  $Q_A$ , что на величину  $\Delta Q$  больше своего возможно максимального расхода  $Q_{max}$ . А это может привести к перегруз-

ке двигателей, которые, возможно, не рассчитаны на мощность, необходимую для подачи расхода  $Q_A$ . Это является недостатком такого соединения насосов для работы на один трубопровод.

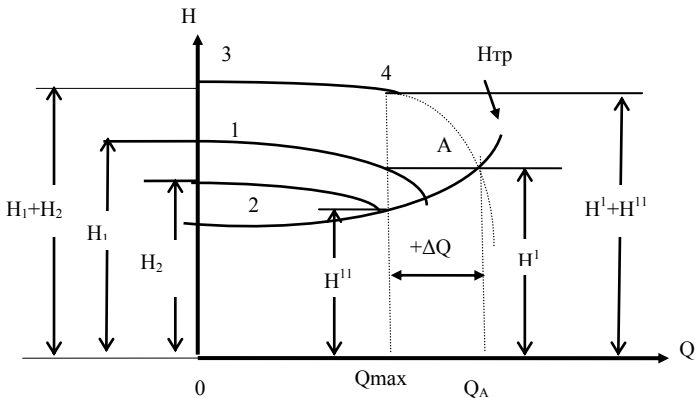


Рис. 4.4. Суммарная напорная характеристика при последовательной работе насосов

## ЛЕКЦИЯ 6

### Тема 6. КАВИТАЦИЯ В ЛОПАСТНЫХ НАСОСАХ

#### 6.1. Понятие о кавитации. Причины ее возникновения и меры предупреждения

Кавитация представляет собой процесс нарушения сплошности потока жидкости, который начинается на тех участках, где давление понижается до критического (давления парообразования) и заканчивается на участках с давлением больше критического. В местах пониженного давления жидкость закипает, в результате чего образуются пузырьки газа, выделяющегося из воды. Эти пузырьки, попадая в зону повышенного давления, схлопываются, частицы жидкости устремляются в микропустоты и, сталкиваясь друг с другом, вызывают локальные гидроудары. Газ снова растворяется в воде, а частицы жидкости, заполняя микропустоты, находящиеся у стенок проточной части насоса, ударяют по металлу, что приводит к его разрушению. Таким обра-

зом, явление кавитации отрицательно сказывается на работе насоса, делая ее неустойчивой и разрушая насосную установку.

Кавитация может быть *профильной*, возникающей из-за неверно очерченного профиля проточной части, *щелевой*, возникающей из-за конструктивных недоработок, и *шероховатой*, которая возникает из-за чрезмерной шероховатости стенок проточной части насоса. За этим следят проектировщики и завод - изготовитель.

При эксплуатации насосов возникновение кавитации возможно по следующим причинам:

- завышенная высота всасывания, т.е. насос установлен на большом удалении от воды;
- низкое атмосферное давление на поверхности воды;
- высокая температура перекачиваемой жидкости;
- большие сопротивления во всасывающей трубе из-за неверно подобранного ее диаметра или из-за большой длины и местных сопротивлений;
- негерметичность всасывающей линии.

***Основной мерой предупреждения кавитации является правильный выбор геометрической высоты всасывания.***

Дополнительные меры: увеличение давления на поверхности воды в нижнем бьефе, понижение температуры жидкости, уменьшение длины всасывающих труб и т. д.

## 6.2. Допустимая высота всасывания

Это такая высота установки насоса относительно уровня воды в нижнем бьефе, по превышении которой возникает кавитация. Следовательно, насос необходимо устанавливать с геометрической высотой всасывания, которая должна быть не больше допустимой, т. е.

$$h_{\text{в}} \leq h_{\text{в}}^{\text{доп}} \quad (5.1)$$

Ранее была получена формула для вакуумметрической высоты всасывания:

$$H_{\text{вак}} = H_{\text{в.п}} + \frac{V_{\text{в}}^2}{2g} \quad (5.2)$$

где  $H_{\text{в.п}}$  – приведенная геометрическая высота всасывания, определяемая по формуле  $H_{\text{в.п}} = h_{\text{в}} + h_{\text{т.в.}}$ ; (5.3)

$V_{\text{в}}$  – скорость во всасывающем трубопроводе,

$h_{\text{в}}$  – геометрическая высота всасывания,

$h_{\text{т.в.}}$  – потери напора во всасывающем трубопроводе.

$$H_{\text{в.п}} = H_{\text{вак}} - \frac{V_{\text{в}}^2}{2g}$$

Из формулы (5.2) выразим  $H_{в.п.}$

Введем в полученное выражение поправки, учитывающие условия работы насоса (температуру воды, давление на ее поверхности), в результате чего получим формулу, по которой определяется допустимая приведенная геометрическая высота всасывания

$$H_{в.п.}^{\text{доп}} = H_{\text{в.п.}}^{\text{доп}} - \frac{V_{\text{в}}^2}{2g} - h_{\text{п.ж}} - (H_{\text{а}} - H_{\text{б}}). \quad (5.4)$$

В полученном выражении:

$H_{\text{в.п.}}^{\text{доп}}$  – допустимое вакуумметрическое давление, после которого наступает кавитация при температуре  $18^{\circ}\text{C}$ . Определяется на основании кавитационных испытаний насоса;

$h_{\text{п.ж}}$  – давление в мм рт. столба, после которого жидкость при данной температуре закипает, т. е.  $h_{\text{п.ж}} = (t^{\circ}\text{C})$ ;

$H_{\text{а}}$  и  $H_{\text{б}}$  – нормальное атмосферное и фактическое барометрическое давления на поверхности воды.

Если в формулу (5.3) подставить значение  $H_{в.п.}^{\text{доп}}$  и выразить из нее  $h_{\text{в}}$ , то получим формулу, по которой определяется допустимая геометрическая высота всасывания, т. е.

$$h_{\text{в}}^{\text{доп}} = H_{в.п.}^{\text{доп}} - h_{\text{т.в}}. \quad (5.5)$$

В формуле (5.5) приведенная допустимая вакуумметрическая высота всасывания  $H_{в.п.}^{\text{доп}}$  определяется по формуле (5.4), в которой необходимо знать  $H_{\text{в.п.}}^{\text{доп}}$ , а последняя определяется на основе кавитационных испытаний. В случае их отсутствия  $H_{в.п.}^{\text{доп}}$  определяется по формуле Тома:

$$H_{в.п.}^{\text{доп}} = H_{\text{а}} - h_{\text{п.ж}} + \frac{V_{\text{в}}^2}{2g} - \sigma H,$$

где  $\sigma H$  – кавитационный запас,  $H$  – напор насоса,  $\sigma$  – коэффициент кавитации, определяемый по формуле Руднева:

для насосов с односторонним входом  $\sigma = 216 n_s^{4/3}/10^6$ ;

для насосов с двухсторонним входом  $\sigma = 136 n_s^{4/3}/10^6$ .

Все эти рекомендации применимы как для центробежных, так и для осевых насосов. Однако в последнее время в практику внедряется несколько другой способ расчета допустимой высоты всасывания, который будет рассмотрен ниже.

### 6.3. Кавитационные испытания

Кавитационные испытания проводят по разомкнутой или замкнутой схемам. Их целью является получение данных для расчета допустимой высоты всасывания. При испытаниях по разомкнутой схеме (они будут проводиться при выполнении лабораторной работы) получают значения  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  в зависимости от расхода, которые наносятся на характеристику насоса. Кривая  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = f(Q)$  называется *кавитационной характеристикой* насоса.

Испытанию по замкнутой схеме подвергают, как правило, осевые насосы. Схема установки представлена на рис 5.1.

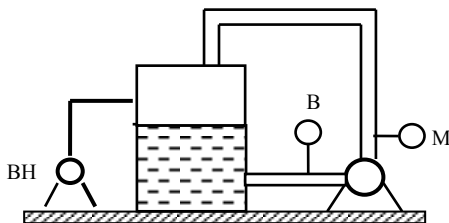


Рис.5.1. Замкнутая схема кавитационных испытаний

Здесь кавитация вызывается за счет постепенного понижения давления вакуумным насосом (ВН) в резервуаре, являющимся нижним бьефом испытываемого насоса. В результате испытаний получают величину кавитационного запаса  $\Delta h$ , который определяется по формуле

$$\Delta h = H_a - H_{\text{вак}} + \frac{V_b^2}{2g}, \quad (5.6)$$

где  $H_a$  – нормальное атмосферное давление,

$H_{\text{вак}}$  – показание вакуумметра, установленного на всасывающей трубе насоса.

Их значения в зависимости от расхода наносят в виде кривых на универсальную размерную характеристику. На безразмерную характеристику наносят кривые, пересчитанные на безразмерные коэффициенты:

$$K_{\Delta h} = \frac{\Delta h}{n^2 D^2} \quad \text{и} \quad K_q = \frac{Q}{n D^3},$$

где  $n$  – частота вращения рабочего колеса,  $\text{об/с}^{-1}$ ,

$D$  – его диаметр.

В этом случае приведенная допустимая вакуумметрическая высота всасывания  $H_{\text{вас}}^{\text{доп}}$  определяется по формуле

$$H_{\text{вас}}^{\text{доп}} = H_a - h_{\text{п.ж.}} - \Delta h . \quad (5.7)$$

Следовательно, при расчете допустимой высоты всасывания по формуле (5.5) в нее подставляется значение  $H_{\text{вас}}^{\text{доп}}$ , определенное по формуле (5.7). Весь остальной расчет проводится также, как было изложено выше.

Определив допустимую высоту всасывания по любой из описанных выше методик и приняв геометрическую высоту всасывания согласно условию (5.1), можно определить отметку оси насоса по формуле

$$V_o = V_{\text{н.б.}} + h_v ,$$

где  $V_o$  - отметка оси насоса,

$V_{\text{н.б.}}$  - отметка воды в нижнем бьефе,

$h_v$  - геометрическая высота всасывания.

Геометрическая высота всасывания должна быть принята в соответствии с формулой (5.1), в которой допустимая высота всасывания определяется по вышеприведенной методике.

## ЛЕКЦИЯ 7

### Тема 7. Прочие типы насосов и водоподъемников

#### 7.1 Классификация объемных насосов

**Струйный насос.** Эти насосы используют энергию подводимой извне воды. Их применяют как основные водоподъемники или вспомогательные для увеличения высоты всасывания основных насосов.

Струйный насос действует следующим образом (рис. 13). К соплу 1, расположенному в начале камеры смешения 2, подается вода и со скоростью 20...50 м/с выбрасывается из сопла. Давление при выходе струи и сопла при таких скоростях в соответствии с уравнением Бернулли падает, в камере смешения создается разрежение, и в нее по всасывающей трубе 3 поступает вода из нижнего бьефа (НБ). Благодаря силам трения, струя увлекает с собой воду и смешивается с ней. Пройдя горловину 4, вода попадает в диффузор 5. Здесь скорость постепенно уменьшается, а давление увеличивается. Из насоса вода под давлением поступает в нагнетательный трубопровод 6.

Если струйный насос выполняет вспомогательные функции, то он называется гидроэлеватором и устанавливается на всасывающей трубе основного насоса 1 (см. стенд).

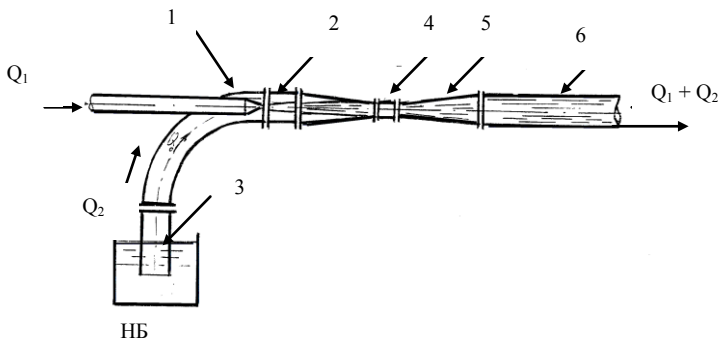


Рис. 13. Струйный насос

Часть воды из напорного трубопровода 2 основного насоса отводится вниз и проходит через сопло 3, понижая тем самым давление в камере смешения, за счет чего через обратный клапан 4 подсаживается дополнительное количество воды, которое вместе с водой, проходящей через сопло, поступает к всасывающему патрубку основного насоса. Такие установки могут поднимать воду с глубины до 30 м, однако КПД их низок и не превышает 30%.

Струйные установки могут применяться также для питания водой паровых котлов тепловых электростанций, но через сопло в этом случае пропускают пар. Называются они **инжекторами**. Если через сопло пропускается воздух, который подсасывает жидкость (например, бензин), то такое устройство называют **эжектором** (в карбюраторах двигателей внутреннего сгорания).

Эти насосы могут служить также и вакуумными, которые отсасывают воздух. Например, они применяются для удаления воздуха из больших конденсаторов.

**Вибрационный насос.** Относится к насосам трения, в которых вода перемещается под воздействием вибрирующего органа, совершающего частые возвратно-поступательные движения (около 6000 в мин). Насос перед запуском погружается в воду, которая через обратный клапан 1 заполняет его. После запуска якорь 8 электромагнита (см.

стенд) 10 при помощи штока 3 передает колебания резиновому диску 2 и диафрагме 5, которая отделяет электромагнитную часть насоса от гидравлической. При движении диска вверх вода приобретает вертикальную скорость и направляется к напорному трубопроводу 12. Обратный клапан 1 открывается и пропускает в насос новую порцию воды. При движении диска вниз вода, находящаяся над диском, по инерции продолжает движение вверх, а вода находящаяся под диском, давит на обратный клапан и закрывает его, не допуская вытекания воды в источник. Таким образом, насос непрерывно подает воду под напором 30...40 м.

**Крыльчатый насос.** Действие крыльчатого насоса аналогично действию поршневого. Оно заключается в том, что при возвратно-поворотном движении крыла, которое плотно прилегает к стенкам неподвижного цилиндрического корпуса, с одной стороны, объем рабочей камеры увеличивается и происходит засасывание жидкости, а, с другой, уменьшается, т. е. происходит вытеснение жидкости, которая занимала этот объем. Так, при движении крыла в направлении, указанном стрелкой (см. стенд), объем правой камеры уменьшается, вследствие чего жидкость, находящаяся в нем, сжимается, открывается нагнетательный клапан 4, а всасывающий клапан 5 закрывается. В то же время объем левой камеры увеличивается и в ней создается разрежение, в результате чего вода через всасывающий клапан заполняет этот объем. Напорный клапан находится в закрытом положении под действием разности давлений над ним и под ним. При обратном ходе крыла назначения камер меняются местами. Недостатки насосов: быстрый износ крыла из-за трения его о стенки корпуса, особенно при перекачке воды, загрязненной песком. Подача их – до 90 л/м, напор – 30...40м, высота всасывания – до 7м, КПД – 80...90%. Применяются с ручным приводом как бытовые или вспомогательные.

**Шестеренный насос.** Относится к типу объемных (роторных) насосов. Состоит из корпуса, всасывающего и нагнетательного патрубков. Внутри корпуса 1 размещаются две шестерни, находящиеся в зацеплении. Одна из них – ведущая 2, так как при помощи муфты соединяется с валом двигателя, а вторая – ведомая 3. Насос работает под заливом, и поэтому жидкость, заполняющая всасывающий патрубок 4, захватывается зубьями шестерен и вдоль стенки корпуса перемещается в нагнетательную камеру 5. При зацеплении шестерен происходит вытеснение жидкости из межзубного пространства, в результате чего в ней возникает повышенное давление, под действием которого она поступает в нагнетательный трубопровод.

Применяются эти насосы для перекачки вязких жидкостей. Преимущество их – простота изготовления и эксплуатации, а недостатки –

пульсация подачи, шум, вибрация из-за неуравновешенности внутренних усилий.

Промышленность выпускает шестеренные насосы с подачей от 0,22 до 144 м<sup>3</sup>/ч с давлением от 0,4 до 2,5 МПа (4 ... 25 атм).

**Винтовой насос.** Относится к типу объемных (роторных) насосов. Могут быть одно-, двух- и трехвинтовые в горизонтальном и вертикальном исполнении.

Основным рабочим органом одновинтового насоса (см. стенд) является однозаходный стальной винт 3, который вращается в двухзаходной резиновой обойме 4. При вращении винта между его поверхностью и обоймой образуются полости, в которых перекачиваемая жидкость герметически замыкается и при дальнейшем вращении перемещается вдоль оси винта к полости напорного патрубка 2. В связи со специфичностью вращения винта соединение его с двигателем должно осуществляться карданным валом или эксцентриковой муфтой.

Эти насосы предназначены для перекачки чистых и загрязненных жидкостей, в том числе и химически активных, в количестве – от 0,3 до 40 м<sup>3</sup>/ч при давлении – от 0,5 до 2,5 МПа (5...25 атм).

**Вихревой насос.** Относится к динамическим насосам, использующим для своей работы силы трения внутри жидкости.

Рабочее колесо 4 (см. стенд и рис.14), закрепленное на консоли вала 1 внутри корпуса 7, имеет по периферии ячейки, в которых при вращении колеса образуются вихри, в результате чего жидкость получает кинетическую энергию. За счет сил трения эти вихри разрушаются при сходе частиц жидкости с колеса в специальный канал 8, устроенный в корпусе насоса, и увлекают в движение по направлению к нагнетательному патрубку другие частицы, находящиеся в этом канале.

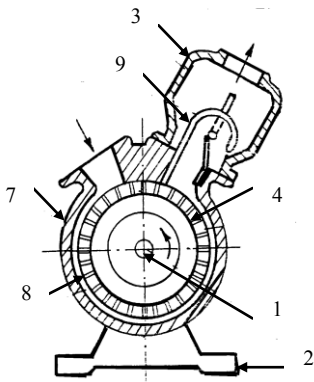


Рис. 14. Вихревой насос

Вследствие этого сложного процесса, протекающего внутри насоса, жидкость получает давление.

Вихревые насосы предназначены для перекачки маловязких жидкостей, не содержащих абразивных примесей. Они имеют подачу от 1,8 до 22,7 м<sup>3</sup>/ч, напор – от 18 до 40 м и могут быть самовсасывающими и несамовсасывающими. Перед запуском несамовсасывающий насос должен быть залит перекачиваемой жидкостью.

Самовсасывающие насосы отличаются устройством на напорном патрубке специального узла, состоящего из колпака 3 и воздухоотвода 9, которые и обеспечивают самовсасывающую способность насоса.

Вихревые насосы могут перекачивать и легкозастывающие жидкости, например, фенол, так как имеют возможность для обогрева корпуса и рабочего колеса. Для этого через специальные отверстия в обогревную камеру насоса 13 подается пар так же, как и под крышку 10, который и нагревает насос.

Необогреваемые вихревые насосы могут применяться как вспомогательные для откачки фильтрационных вод в насосных станциях, для пожарных нужд, для питания небольших котлов и т.д. Преимущество – простота конструкции, малый вес и небольшие габариты, недостаток – сравнительно малый КПД (0,25...0,45).

**Ленточный водоподъемник.** Относится к типу так называемых капиллярных насосов, которые работают с использованием вязкости воды и ее способности капиллярного «прилипания». Применяется в основном в Средней Азии и Казахстане для подъема воды из шахтных колодцев.

Подъем жидкости из колодца 1 (см. стэнд) осуществляется при помощи бесконечной хлопчатобумажной прорезиненной ленты 5, которая перемещается при помощи ведущего блока 3, приводимого в движение двигателем 2. Нижний ведомый блок 4 имеет груз, который служит для натяжения ленты. За счет прилипания к ленте вода поднимается из колодца, и центробежная сила, возникающая при переходе ленты через верхний блок, отрывает воду от ленты и отбрасывает в кожух 6, после чего она стекает по отводу 7 в водоприемный лоток. Глубина подъема воды ленточным водоподъемником может достигать до 250 м при подаче 3...54 м<sup>3</sup>/ч. Коэффициент полезного действия увеличивается с увеличением глубины подъема и находится в пределах 0,24...0,65.

**Водокольцевой вакуумный насос.** Эти насосы применяются в насосных станциях как вспомогательные для заливки водой основных насосов в случае установки их с положительной высотой всасывания.

При вращении рабочего колеса-ротора (см. стэнд), расположенного эксцентрично по отношению к цилиндрическому корпусу 3, вода, которая должна быть залита в насос до его запуска, под действием центробежной силы образует водяное кольцо. Наружным периметром кольцо прижато к стенкам корпуса, а внутренняя часть его отрывается от ротора и открывает две полости, одна из которых соединяется с всасывающим патрубком 1 (полость 5), а вторая (полость 6) – с нагнетательным патрубком 2. При вращении колеса в направлении, указанном стрелкой, при удалении кольца от ступицы ротора в полость 5 будет засасываться воздух, который перемещается лопатками ротора к другой полости 6 и вытесняется в нее (а следовательно, и в напорный патрубок) за счет приближения водяного кольца к ступице рабочего колеса. Таким образом, вакуумный насос, подсоединенный к основному насосу, будет удалять из него воздух и тем самым понижать давление, в результате чего вода заполнит всасывающий трубопровод и корпус основного насоса.

Вода, попавшая во всасывающий трубопровод вакуумного насоса, удаляется из него также через нагнетательную полость и нагнетательный патрубок.

Водокольцевые насосы просты по конструкции и надежны в эксплуатации, но должны работать с чистой водой, иначе будут изнашиваться лопатки ротора, примыкающие с очень небольшим зазором (менее 0,1 мм) к корпусу и к крышке.

Основные параметры водокольцевого насоса: подача воздуха – 0,75...50 м<sup>3</sup>/мин, предельный вакуум – 85...95%, КПД – 20...30%.

**Воздушный водоподъемник (эрлифт).** Действие воздушного водоподъемника, или эрлифта, основано на использовании разности давлений столбов воды и водовоздушной смеси (эмульсии), которые имеют разную плотность. Так, давления в точках 1 и 2 (рис. 15), лежащих на горизонтальной плоскости О-О, должны быть равны, т.е.

$$\rho_a h = \rho_y \dot{h}_y, \quad (34)$$

где  $\rho_v$  и  $\rho_3$  – плотность воды и эмульсии.

Откуда высота столба водовоздушной эмульсии

$$\dot{I}_{\dot{y}} = \frac{\rho_a}{\rho_{\dot{y}}} h . \quad (35)$$

Для создания водновоздушной эмульсии воздух от компрессора 1 подается в скважину по трубе 2 в смесительную камеру 3, откуда образовавшаяся смесь воды и воздуха поднимается по трубе 4 и попадает в сепаратор 5, где воздух отделяется от воды и отводится через трубу 6, а вода поступает к потребителю по трубе 7.

Коэффициент полезного действия эрлифта зависит от относительного погружения его в воду, т.е. от отношения

$$\frac{\dot{I}_{\dot{y}}}{h_{\lambda}} = \hat{E} . \quad (36)$$

Так, при  $K = 3$  и при  $h_r$  до 15м  $\eta = 0,59$ , а при  $K=1,65$  и при  $h_r=100$ м  $\eta = 0,4$ .

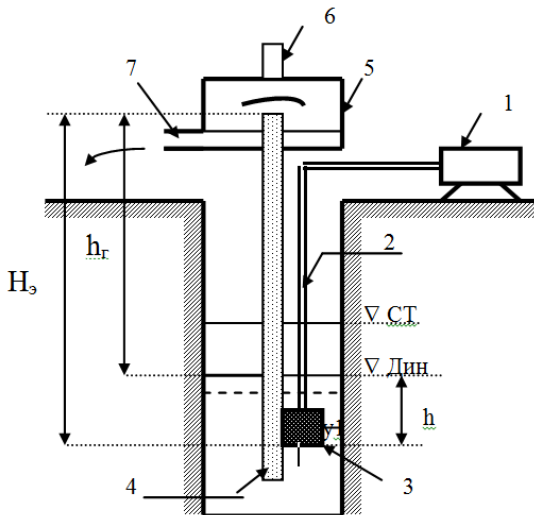


Рис. 15. Воздушный водоподъемник (эрлифт)

Следовательно, чтобы получить большой КПД, необходимо большее заглубление водоподъемной трубы под динамический уровень воды в скважине, что удорожает ее стоимость.

Достоинства эрлифта: простота устройства, отсутствие в скважине механизмов и изнашивающихся деталей.

Недостаток заключается в том, что эрлифт имеет сравнительно низкий КПД и повышенные затраты на эксплуатацию компрессорного хозяйства.

В зависимости от приведения в действие поршня такие насосы бывают прямодействующие, когда на поршень оказывается непосредственное действие, и приводные, когда поршень приводится в движение через кривошипно-шатунный механизм.

Приводные поршневые насосы могут быть одностороннего действия, т. е. насос за один ход поршня всасывает жидкость, а за обратный – нагнетает, а также двустороннего действия, в которых за один двойной (туда и обратно) ход поршня происходит дважды всасывание и дважды нагнетание. Существуют также насосы тройного и четвертного действия. Первый составляется из трех насосов одностороннего действия, а второй – из сдвоенных насосов двустороннего действия.

Маркировка поршневых насосов прямодействующих и приводных: марка парового насоса ПНП-15М: П – поршневой, Н – насос, П – прямодействующий, 15 – номер модели, М – модернизированный; Марка насоса приводного двустороннего действия П-2-3-20К: П – приводной, 2 – двусторонний, 3 – давление 3 ати, 20К – номер модели.

## **7.2 Устройство и принцип работы поршневого насоса двустороннего действия**

Поршень *1* приводится в движение двигателем через кривошипно-шатунный механизм *10*. Цикл работы насоса, соответствующий одному обороту кривошипа, состоит из двух всасываний и двух нагнетаний (рис. 11).

При ходе поршня влево в правой рабочей камере образуется разрежение, вследствие чего нагнетательный клапан *6* закрывается, а всасывающий клапан *5* открывается, и жидкость под действием атмосферного давления поступает через всасывающую трубу в камеру. Одновременно в левой рабочей камере создается повышенное давление, всасывающий клапан *3* закроется, а нагнетательный клапан *4* откроется, через который жидкость втеснится в воздушный колпак *9* и напорную трубу *8*. При ходе поршня вправо в каждой из камер происходит обратное явление. Воздушный колпак служит для улучшения условий работы поршневого насоса: обеспечения более равномерной подачи и уменьшения инерционного действия масс воды.

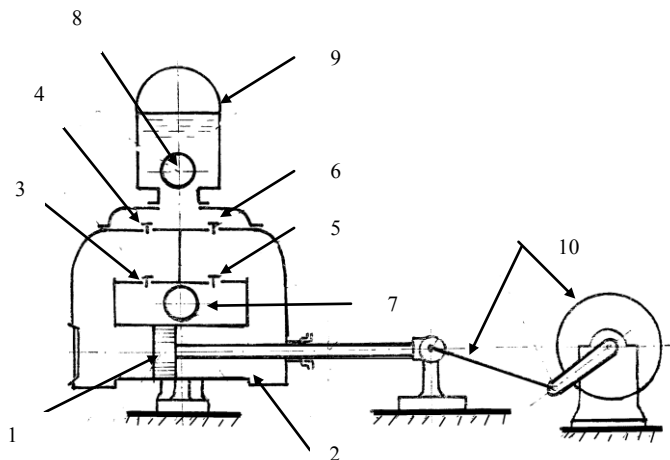


Рис. 11. Схема поршневого насоса двойного действия.

при ходе поршня вправо объем вытесненной жидкости будет

$$W_2 = \left( \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) S. \quad (25)$$

Тогда общий объем составит

$$W_{\text{ia}\ddot{u}} = \frac{\pi D^2}{4} S + \left( \frac{\pi D^2}{4} - \frac{d\pi^2}{4} \right) S. \quad (26)$$

При частоте вращения вала кривошипа  $n$  минуту теоретическая секундная подача насосов выразится формулой

$$Q_{\delta} = \frac{W_{\text{ia}\ddot{u}} \cdot n}{60}, \quad (27)$$

или

$$Q_{\delta} = \frac{\pi n S}{4 \cdot 60} (2D^2 - d^2), \quad (28)$$

где  $Q_{\text{т}}$  – теоретический расход насоса, л/с;

$D$  и  $d$  – диаметры цилиндра и штока, дм;

$S$  – ход поршня, дм;

$n$  – частота вращения вала кривошипа, об/мин.

### 7.3 Устройство и принцип действия поршневого насоса

Гидравлический таран является водоподъемной машиной, работающей от действия гидравлического удара.

Гидротаранная установка (рис. 12) состоит из питающего резервуара 1, питающей трубы 2, самого тарана с рабочей камерой 3, нагнетательной трубы 8 и приемного лотка с треугольным водосливом 9. Для заполнения водой питающего резервуара установлен насос 10.

**Принцип действия гидротарана.** В нерабочем состоянии вода, находящаяся в питающем резервуаре 1, по трубе 2 заполняет рабочую камеру 3 и удерживает рабочий клапан 4 в закрытом положении под напором  $H$ . В момент нажатия на рабочий клапан вода, находящаяся в камере под напором, выливается из-под клапана в приемный лоток 9. После снятия усилия, под действием напора, клапан поднимется в исходное положение и закроет отверстие. Излив прекратится, следовательно, и скорость воды в питающей трубе резко упадет до нуля, что вызовет гидравлический удар.

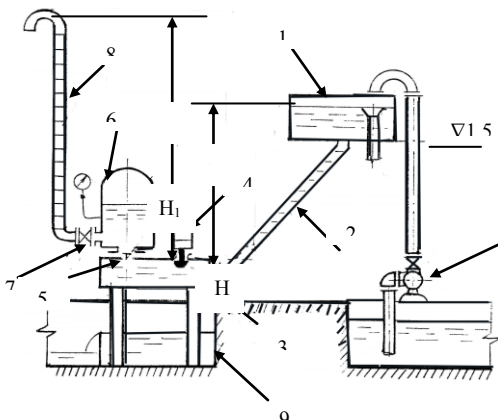


Рис. 12. Схема установки с гидравлическим тараном

В результате этого в камере 3 повысится давление, перепускной клапан 5 откроется и часть воды, сжимая воздух, попадет в воздушный колпак 6, а затем в нагнетательную трубу 8. За счет поступления воды в воздушный клапан и возвращения ударной волны с обратным знаком в рабочей камере понизится давление, перепускной клапан 5 закроется, а рабочий клапан 4 откроется, изливая очередную порцию воды в приемный лоток 9, т. е. цикл повторится и удары будут следовать непрерывно, подавая воду в нагнетательную трубу 8 и частично в приемный лоток 9.

Подобные таранные установки устраиваются на ручьях, родниках как горной, так и равнинной местности для обводнения пастбищ и животноводческих ферм.

Маркировка тарана ТГ-1: Т – таран, Г – гидравлический, 1 – номер модели.

## ЛЕКЦИЯ 8

### Тема 8. СХЕМЫ ГИДРОУЗЛОВ

В состав гидротехнического узла машинного водоподъема в общем случае входят следующие элементы: водоподводящее сооружение с аванкамерой, водозаборное сооружение, здание насосной станции, внешние напорные трубопроводы, водовыпускное сооружение, отводящий канал. В зависимости от условий и назначения насосной станции набор вышеперечисленных элементов гидроузла может быть различным.

#### 8.1 Гидроузлы для орошения

Для орошения сельскохозяйственных культур используется вода как открытых водоисточников (рек, озер, водохранилищ), так и закрытых (шахтных колодцев, артезианских скважин и др.). При заборе воды из открытых водоисточников может устраиваться *береговой или русловой* тип водозабора.

При береговом типе водозабора все его элементы строятся на берегу водоисточника и могут располагаться либо в удалении от уреза воды (раздельный тип), либо непосредственно на урезе воды в водоисточнике (совмещенный тип).

На рис. 6.1, а изображен гидроузел берегового типа, в котором насосная станция удалена от водоисточника (раздельный тип) и не совмещена с водозаборным сооружением, а на рис. 6.1, б насосная

станция совмещена и с водоисточником, и с водозаборным сооружением (совмещенный тип).

При заборе воды на орошение из водохранилища, в случае расположения насосной станции в его нижнем бьефе (рис.6.1, г), вода забирается из донного водовыпуска и подводится к насосной станции коллектором, в который вварены всасывающие трубы насосов.

Русловой тип гидроузла применяется в том случае, когда русло водоисточника пологое и колебания уровней воды значительные. Здесь водозаборное сооружение выносится в такое место русла реки, где имеется достаточная глубина воды (рис. 6.2, а). Иногда водозаборное сооружение совмещают с насосной станцией (рис.6.2, б).

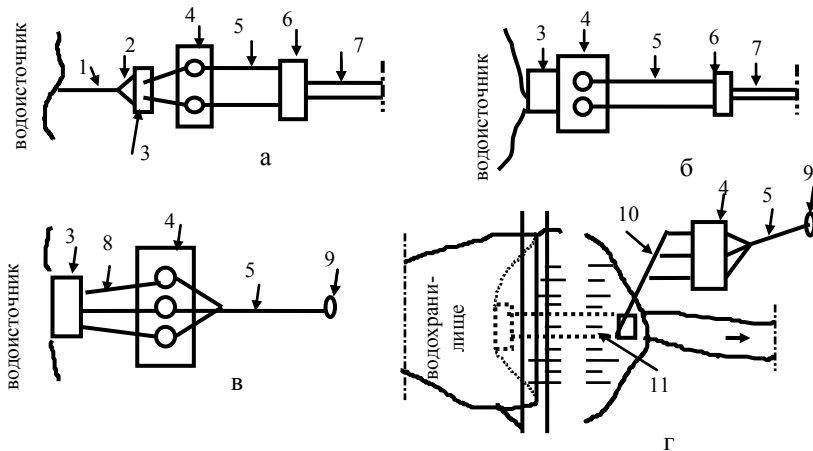


Рис.6.1. Схемы гидроузлов оросительных насосных станций:

а – раздельная; б – совмещенная с водоисточником и водозаборным сооружением;

в – совмещенная с водоисточником, но раздельная с водозаборным сооружением;

г – насосная станция в нижнем бьефе водохранилища.

1 – водоподводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – водозаборное сооружение; 4 – здание насосной станции; 5 – напорный трубопровод; 6-водовыпускное сооружение;

7 – водоотводящий канал; 8 – всасывающие трубы; 9 – гидрант; 10 – водоподводящий коллектор; 11 – донный водовыпуск

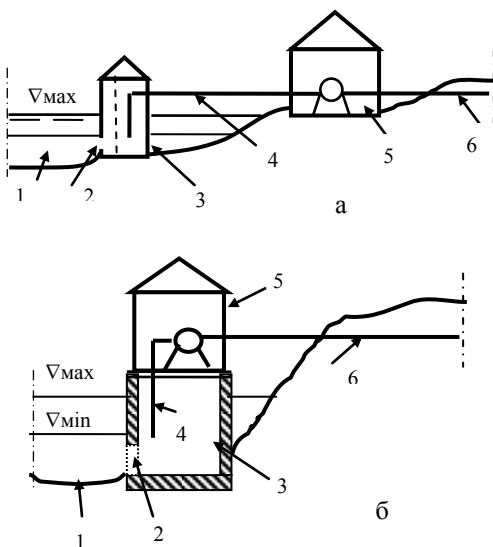


Рис.6.2. Схемы гидроузлов руслового типа:

а – русловой раздельный;  
б – русловой совмещенный

- 1 – водоисточник;
- 2 – входное окно;
- 3 – водозаборное сооружение;
- 4 – всасывающая труба;
- 5 – здание насосной станции;
- 6 – напорный трубопровод

## 8.2 Выбор места забора воды из рек и водохранилищ

Водозабор должен обеспечить необходимое количество воды, требуемое водопотребителем. Место водозабора должно быть благоприятным для строительства и эксплуатации при наиболее низкой стоимости гидроузла.

При расположении водозабора на реке выбирается такой участок, где русло не меняет своего положения и формы, обеспечены нормальные гидравлические и термические режимы, а также санитарно-гигиенические условия.

Выбор места производится изысканиями по 3...5 створам. Здесь должно учитываться расположение всех искусственных сооружений (плотин, подпруд, переходов, мостов и т. д), а также естественные условия. Водозабор располагают на вогнутой части русла в узком месте с большими глубинами и скоростями. На перекатах водозабор располагать нельзя. Он удаляется на 200 м выше или на 500 м ниже по течению от места впадения ручьев.

При заборе воды из водохранилища водозабор располагается на глубоких местах с устойчивым берегом. Нельзя его располагать в истоке водохранилища и на мелких местах с пологим берегом.

### 8.3 Место расположения насосной станции на выбранном створе

После выбора места забора воды намечается трасса (створ), по которой строится продольный профиль (рис.6.3).

Место расположения здания насосной станции выбирается путем проведения технико-экономических расчетов, т.е. сначала определяется техническая применимость нескольких вариантов, а потом выбирается наиболее дешевый из них.



Рис. 6.3. Продольный профиль по трассе напорного трубопровода

Минимальный уровень воды продолжается до момента, когда между ним и поверхностью земли не будет 6 м (створ 5). На участке трассы от створа 1 до створа 5 можно располагать здание насосной станции в любом из намеченных створов (1.2.3.4.5).

Выбор экономически наиболее выгодного створа осуществляется по минимуму приведенных затрат, которые определяются по формуле

$$ПЗ = E K + C, \quad (6.1)$$

где  $E$  – нормативный коэффициент, равный 0,1...0,12,

$K$  – капитальные вложения,

$C$  – эксплуатационные затраты.

Решение этой задачи может быть проведено двумя способами.

1. Для каждого намеченного створа определяются суммарные капитальные вложения на строительство и затраты на эксплуатацию подводящего канала (соответственно  $K_k$  и  $C_k$ ) и напорного трубопровода ( $K_T$  и  $C_T$ ), т. е.

$$K = K_k + K_T \text{ и } C = C_k + C_T.$$

Подставив в формулу (6.1) эти значения  $K$  и  $C$ , для каждого створа определяется значение  $ПЗ$ . Из полученных  $ПЗ$  выбирают минимальное значение, соответствующее какому-то створу, на котором и размещается насосная станция.

2. Для каждого створа подсчитываются приведенные затраты на строительство и эксплуатацию канала  $ПЗ_к = EK_к + C_к$  и трубопровода  $ПЗ_т = EK_т + C_т$ . По этим данным строится совмещенный график (рис. 6.4).

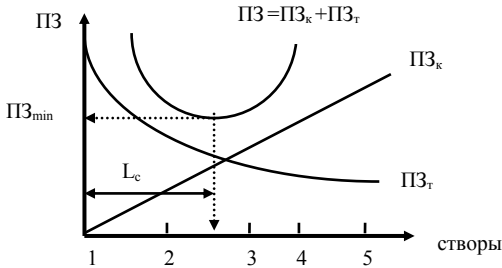


Рис. 6.4. График для определения наивыгоднейшего створа

После этого оба графика складываются в один, который имеет  $ПЗ_{мин}$ . Насосную станцию экономически целесообразно строить на расстоянии  $L_c$  от уреза воды.

Второй способ более точно определяет наивыгоднейшее место расположения насосной станции, хотя он и более трудоемкий.

#### 8.4 Осушительные насосные станции

Осушительные насосные станции строятся на польдерных осушительных системах с машинным водоподъемом.

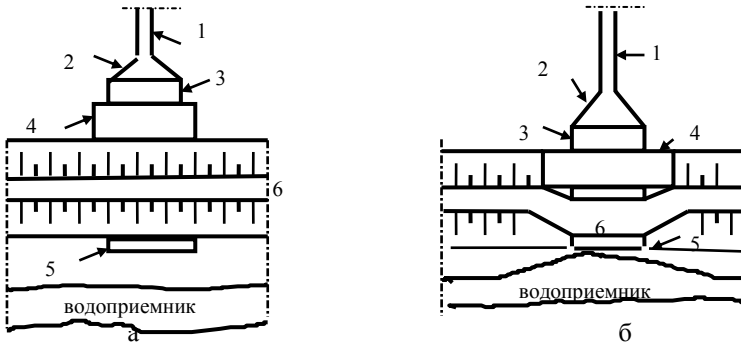


Рис. 6.5. Схемы гидроузлов осушительных насосных станций:  
а — насосная станция расположена перед дамбой; б — в теле дамбы.

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водозаборное сооружение; 4 — здание насосной станции; 5 — водовыпускное сооружение; 6 — дамба обвалования

Забор воды всегда осуществляется из магистрального канала, а водозаборное сооружение чаще всего совмещено с зданием насосной станции. Водоприемником здесь может являться река или водоналивное водохранилище.

Осушительная насосная станция может располагаться перед дамбой (рис.6.5, а), в теле ее (рис.6.5, б) или за дамбой, т.е. в водоисточнике (на барже или понтоне). Место ее расположения зависит от типа применяемого гидромеханического оборудования и от условий строительства и эксплуатации.

### 8.5 Насосные станции для водоснабжения

Для целей водоснабжения вода может забираться из открытых или закрытых водоисточников. В схеме машинного водоподъема в этом случае чаще всего имеются две насосные станции - 1-го и 2-го подъема (рис. 6.6).

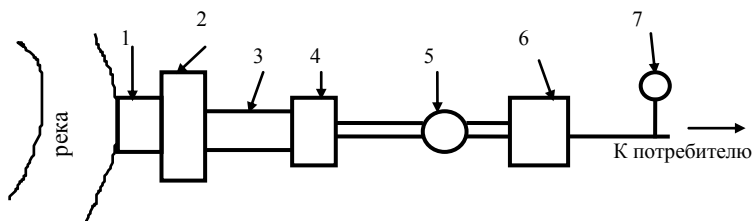


Рис.6.6. Схема гидроузла для водоснабжения из открытого водоисточника:  
1 – водозаборное сооружение; 2 – насосная станция первого подъема; 3 – напорные Трубопроводы; 4 – очистные сооружения; 5 – резервуар чистой воды; 6 – насосная станция второго подъема; 7 – водонапорная башня

В случае наличия в качестве водоисточника пруда или водохранилища водоснабжение сельскохозяйственных промышленных предприятий технической водой можно осуществить с использованием гидравлического тарана, расположенного в нижнем бьефе плотины и забирающего воду из донного водовыпуска (рис.6.7).

Гидравлический таран, расположенный в помещении 4, питается водой, подводимой к нему разгонной трубой 3. При работе тарана часть подведенной воды идет на «холостой» сброс и отводится трубой 5, а часть, приобретая избыточное давление, поступает по трубе 6 к потребителю.

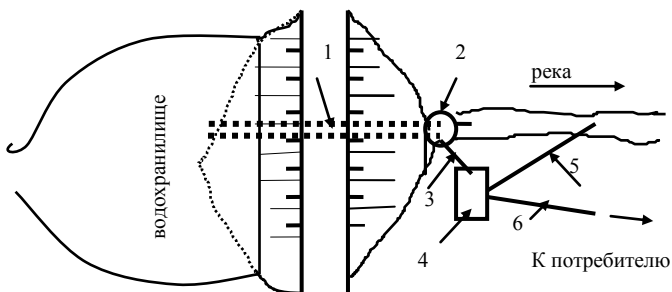


Рис.6.7. Схема забора воды гидравлическим тараном:  
 1 – донный водовыпуск; 2 – колодец; 3 – разгонная труба; 4 – помещение для гидравлического тарана; 5 – сбросная труба; 6 – напорный трубопровод

При заборе воды из закрытого водоисточника (артезианских скважин) насосные станции первого и второго подъемов могут совмещаться в одну (рис.6.8).

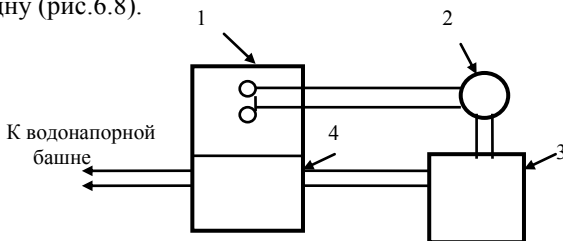


Рис.6.8.Схема гидроузла для водоснабжения из скважин:  
 1 – насосная станция первого подъема; 2 – очистные сооружения;  
 3 – резервуар чистой воды; 4 – насосная станция второго подъема

Гидроузел, показанный на рис. 6.8, называется совмещенным, так как в одном здании совмещены насосные станции двух подъемов.

## ЛЕКЦИЯ 9

### Тема 9. Подбор насосно-силового оборудования

#### 9.1. Определение расчетного напора, расхода и числа агрегатов

В общем случае расчетный напор насосных агрегатов определяется по формуле

$$H_p = H_{Г_{cp}} + \sum h_T + H_{св}, \quad (7.1)$$

где  $H_{Г_{cp}}$  – средний геодезический напор,  $\sum h_T$  – сумма потерь напора в трубопроводах,  $H_{св}$  – свободный (остаточный) напор.

Средний геодезический напор определяется как средневзвешенная величина напоров в различные промежутки времени.

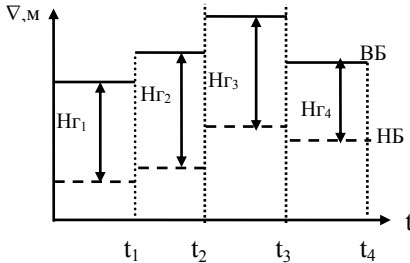


Рис.7.1. График колебания уровней

На рис. 7.1 показан совмещенный график колебания уровней воды в верхнем (ВБ) и нижнем (НБ) бьефах. Средний геометрический напор определяется по формуле

$$H_{Г_{cp}} = \frac{\sum H_{Г_i} \cdot t_i}{\sum t_i}.$$

Для графика, изображенного на рис.7.1 вышеприведенная формула может быть представлена в следующем виде:

$$H_{Г_{cp}} = \frac{H_{Г_1} \cdot t_1 + H_{Г_2} \cdot t_2 + H_{Г_3} \cdot t_3 + H_{Г_4} \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}$$

При колебании уровней воды 2 м и менее средний геометрический напор можно определять упрощенно, т.е.

$$H_{Г_{cp}} = \frac{H_{Г_{max}} + H_{Г_{min}}}{2}$$

На осушительных насосных станциях, где колебание уровней в водоприемнике (ВБ) более 2 метров, средний геометрический напор определяется как максимальная разность отметок уровней воды в верхнем и нижнем бьефах, т.е.

$$H_{г\text{cp}} = \nabla B_{\text{max}} - \nabla H_{\text{min}}$$

Второе слагаемое в формуле (7.1) принимается предварительно по рекомендациям СНИПа, а третье слагаемое задается заданием на проектирование.

Для определения расчетного расхода и числа агрегатов необходимо иметь график водоподачи (рис. 7.2).

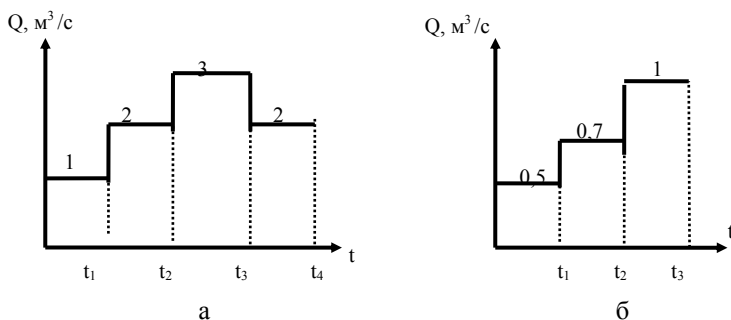


Рис. 7.2. Графики водоподачи

Количество насосных агрегатов зависит от расчетного расхода каждого из них и должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать полное покрытие графика водопотребления;
- иметь минимум капитальных затрат;
- иметь минимум затрат и максимум удобств при эксплуатации.

При этом СНИПом рекомендуется для мелиоративных насосных станций принимать не менее 2 агрегатов, но не более 8.

Для выполнения этих требований необходимо проанализировать график водоподачи, наметить все технически применимые варианты и, выполнив экономическое их сравнение, остановиться на самом выгодном.

Например, для графика водоподачи, показанном на рис. 7.2, а, можно принять 3 агрегата с расчетным расходом каждого  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  или 6 агрегатов с  $Q_p = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Для графика 7.2, б технически приемлемы следующие варианты:

1. Два агрегата с  $Q_p = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  и один с  $Q_p = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

2. Два агрегата с  $Q_p = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  и регулирующая емкость.

Какой из них выгоднее, может показать только экономический расчет.

По расчетным напору и расходу подбирается марка насоса.

## 9.2. Подбор насоса и электродвигателя

В связи с тем, что завод поставляет насосы без электродвигателей, необходимо установить его марку, которая подбирается по 3 параметрам: числу оборотов, мощности и типу исполнения (горизонтальный или вертикальный).

Число оборотов электродвигателя принимается равным числу оборотов рабочего колеса насоса, которое указано в его типовой характеристике. Оно может отличаться в сторону увеличения не более чем на 10 %.

Требуемая мощность электродвигателя определяется по формуле

$$N_{\text{дв}} = \frac{9,81 Q_n \cdot H_n \cdot K}{\eta_n}$$

где  $Q_n$  и  $H_n$  – расход и напор насоса, снятые с его характеристики по правой (для центробежных насосов) или левой (для осевых) границе рабочей области,  $K$  - коэффициент запаса, принимаемый в зависимости от мощности,  $\eta_n$  - коэффициент полезного действия насоса в долях от единицы, снятый также по характеристике при  $Q = Q_n$ .

Тип исполнения двигателя – горизонтальный для насосов Д, НД и К и вертикальный – для насосов О, Оп и В.

# ЛЕКЦИЯ 10 и 11

## Тема 10. Водоподводящие и водозаборные сооружения

### 10.1 Проектирование и расчет закрытых и открытых водоподводящих сооружений. Аванкамера

Водоподводящие сооружения сопрягают водозаборное сооружение насосной станции с водоисточником при ее удалении от него. Они могут выполняться в виде открытых каналов или подземных (напорных или безнапорных) трубопроводов.

Самотечные подводящие сооружения закрытого типа бывают безнапорные и напорные. Металлические трубы укладываются с уклоном в сторону насосной станции. Сечение в большинстве случаев круглое, диаметр которого определяется гидравлическим расчетом по оптимальной скорости 1,5...2 м/с. Для крупных насосных станций подводящие сооружения могут выполняться в виде прямоугольных штолен.

Водоподводящие сооружения открытого типа применяют при следующих условиях:

- экономичность устройства канала и сокращение длины напорных трубопроводов;
- удовлетворительные гидрогеологические условия, допускающие устройство канала без крепления откосов и противодиффузионных мероприятий;
- отсутствие опасности заиливания канала;
- медленные спады воды в водоисточнике, безопасные для устойчивости откосов канала.

Каналы могут быть саморегулирующиеся и несаморегулирующиеся (рис.7.3).

Подводящий канал будет саморегулирующимся в том случае, если при остановке насосов насосной станции уровень воды в нем не выходит из бровок (рис.7.3, а). Если же хоть на одном участке канала (участок с-d, рис.7.3, б) уровень воды превышает поверхность земли, то такой канал называют несаморегулирующимся.

Параметры канала устанавливаются гидравлическим расчетом на основе максимальной подачи насосной станции.

При наличии несаморегулирующегося канала на участках, где вода может выйти из его бровок, проектируют дамбы обвалования, т. е. канал проходит в полувыемке - полунасыпи.

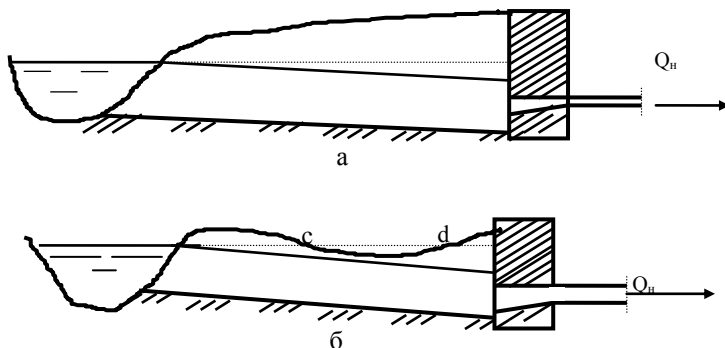


Рис. 7.3. Открытые водоподводящие сооружения:  
 а – саморегулирующийся канал; б – несаморегулирующийся канал

При заборе воды на орошение из реки, канала или водохранилища (при расположении насосной станции в верхнем бьефе его) в случае раздельной компоновки (т. е. насосная станция удалена от уреза воды и вода к ней подводится каналом), а также во всех осушительных насосных станциях выполняется расчет подводящего канала. Полученные расчетом параметры подводящего канала будут приемлемы и для отводящего канала при подаче воды в открытую оросительную сеть.

Расчет канала выполняется в такой последовательности:

1. Устанавливаются исходные данные:

а) расчетный расход насосной станции ( $Q_{н.ст}$ ). В качестве расчетного расхода по графику работы насосной станции принимается максимальный расход, а при наличии форсированного ( $Q_{ф}$ ) – форсированный:

$$Q_{н.ст} = Q_{max}, \text{ или } Q_{н.ст} = Q_{ф};$$

б) коэффициент заложения откосов  $m$ ;

в) коэффициент шероховатости  $n$ ;

г) допустимая скорость на размыв  $V_p$ .

2. Принимается стандартная ширина канала по дну в зависимости от расхода в нем.

3. Определяется площадь живого сечения канала, по которому расчетный расход воды насосной станции движется с размываемой скоростью

$$\omega = \frac{Q_{н.ст}}{V_p}.$$

Затем из формулы

$$\omega = (b + mh)h$$

устанавливается глубина воды в канале

$$h = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4m\omega}}{2m}$$

4. Далее определяется смоченный периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2},$$

и гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi}$$

5. Из формулы Шези  $V_p = C\sqrt{Ri_p}$  определяется уклон дна канала

$$i_p = \frac{V_p^2}{C^2 R},$$

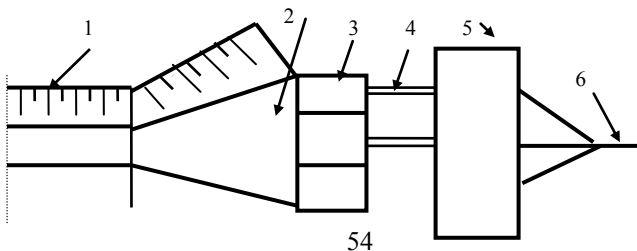
где  $C$  – скоростной коэффициент Шези, определяемый по формуле

$$C = \frac{1}{n} R^{0,16}$$

Полученное значение уклона округляется до первой значащей цифры в сторону уменьшения (например, получено:  $i_p = 0,000685$ ; округляем:  $i = 0,0006$ ), что дает возможность получить фактическую скорость немного меньше размывающей.

### Аванкамера

Подводящий канал при подходе к насосной станции имеет воронкообразное расширение, т. к. его ширина по дну, как правило, меньше ширины водозаборного фронта (ширина водозаборного сооружения). Кроме того, отметка дна канала чаще всего выше отметки дна водозаборного сооружения. Поэтому в целях планового и высотного сопряжения подводящего канала и водозаборного сооружения устраивается аванкамера (рис.7.4).



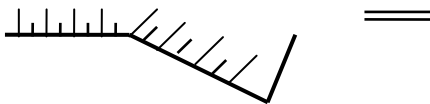


Рис. 7.4. Сопряжение подводящего канала с насосной станцией:  
 1 – подводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – водозаборное сооружение;  
 4 – всасывающие трубы насосов; 5 – здание насосной станции;  
 6 – напорный трубопровод

В плане центральный угол конусности принимается равным  $40...45^\circ$  при скорости воды в канале до 1 м/с, а при большей скорости -  $30...40^\circ$ .

Дно аванкамеры может иметь уклон до 0.2. Оно выполняется из монолитного или сборного железобетона, а откосы крепятся плитами.

Такой плавный переход от узкого потока к более широкому гарантирует обеспечение водой всех камер водозаборного сооружения, т. к. исключает так называемое «явление сбойности» потока.

## 10.2 Назначение и классификация водозаборных сооружений

Водозаборным сооружением называют головную часть насосной станции, через которую вода из источника поступает во всасывающие трубы насосов.

Водозаборное сооружение предназначено для того, чтобы:

- обеспечить забор воды из водоисточника в соответствии с графиком водопотребления;
- давать возможность отключать узел сооружений от водоисточника на время ремонта или аварии;
- не допускать попадания в узел сооружений наносов, плавающего мусора, льда и шуги;

Классифицируются по следующим признакам:

- 1) по назначению (для орошения, осушения, водоснабжения);
- 2) по отношению к насосной станции (совмещенные или раздельные с ней);
- 3) по расположению к водоисточнику (русловые и береговые);
- 4) по конструкции (закрытого и открытого типов).

### 10.3 Определение размеров водозаборного сооружения закрытого типа

Закрытыми водозаборные сооружения называют потому, что они, располагаясь на уресе воды естественного водоисточника, отгорожены от него лобовой стенкой, в которой сделаны водозаборные окна (рис.9.1). Эти сооружения состоят из камер, число которых принимается равным числу установленных насосов.

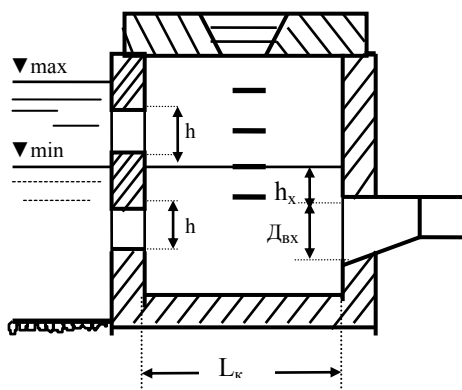


Рис. 9.1. Водозаборное сооружение закрытого типа

Устраивают, как правило, два яруса водозаборных окон. Эта рекомендация объясняется тем, что первые оросительные поливы сельскохозяйственных культур в условиях Белорусской республики делают после прохождения на реках паводка. В этот момент уровни воды высокие и она начинает освещаться и прогреваться сверху. Забор воды осуществляется через верхний ярус окон, а нижние окна – закрыты. По мере понижения уровня воды в реке открывают нижний ярус окон, и вода в колодец поступает через него.

Площадь водозаборных окон ( $\omega = b \times h$ ) определяется исходя из оптимальной скорости 0,5...0,7 м/с, а их ширина  $b$  принимается равной  $1,25h$ .

Ширина камеры водозаборного сооружения  $B_к$  принимается равной  $3D_{вх}$ , но не менее 2 м.

Длина камеры  $L_к$  определяется по формуле 
$$L_к = \frac{Q_n \cdot K}{B_к (D_{вх} + h_x)}$$
, (9.1)

где  $Q_n$  – производительность насоса, который забирает воду из камеры,

$h_x$  – заглубление верха трубы под минимальный уровень, принимается равным  $D_{вх}$ , но не менее 0,5 м и не более 1 м,

$K$  – коэффициент секундного водообмена, т.е. количество секунд, которые необходимы для того, чтобы в момент пуска насоса он мог работать, используя воду, находящуюся в камере, до тех пор, пока не установится постоянный приток в нее.

Следовательно,  $K = W_k / Q_n$ , где  $W_k$  - объем воды в камере при минимальном уровне, который может забрать насос. Коэффициент секундного водообмена зависит от типа насоса и его производительности. Принимается не меньше 15...30 с. Длина камеры также не должна быть менее 2 м.

## ЛЕКЦИЯ 12 и 13

### Тема 11. Проектирование трубопроводов

#### 11.1 Классификация всасывающих труб и технические требования к ним

Всасывающие трубы насосов предназначены для подвода воды к ним из водозаборного сооружения. Классифицируются по следующим признакам:

- по высоте всасывания: с положительной и отрицательной;
- по материалу: металлические, железобетонные, асбестоцементные;
- по способу укладки: открыто уложенные, в грунте, в штольнях;
- по конфигурации: цилиндрические, с односторонним конусом, с двухсторонним конусом, криволинейного очертания, полигонального очертания.

К всасывающим трубам СНИПом предъявляются следующие технические требования:

- число труб принимается равным числу установленных насосов;
- всасывающие трубы с положительной высотой всасывания рекомендуется выполнять стальными с фланцевыми (для открытых) или сварными (для уложенных в грунте) стыками;
- открытые трубы укладывать на опоры, заглубленные ниже глубины промерзания грунта, с расстояниями согласно статическому расчету;

- трубы укладываются с подъемом к насосу с уклоном не менее 0.005;
- при укладке труб под землю в отрытой траншее делается основание толщиной 5...10 см из крупного песка или гравия, а стыки тщательно проверяются на герметичность;
- подземные трубы покрываются битумной гидроизоляцией, а открытые- окрашиваются масляной краской;
- всасывающие трубы должны иметь не более 4 поворотов и длину не более 50 м;
- проход всасывающих труб через стену здания должен быть без жесткой заделки.

Имеются в СНИПе и другие требования, касающиеся строительства и эксплуатации всасывающих труб различных типов.

### 11.2. Конструкция и расчет всасывающих труб различных типов

Всасывающие трубы могут располагаться внутри здания насосной станции или вне ее. Внутри здания располагаются следующие типы труб:

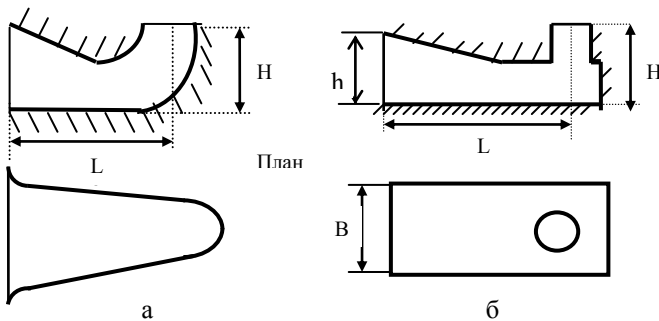


Рис.8.1. Всасывающие трубы: а – криволинейного очертания; б – полигонального очертания

#### 1. Криволинейного и полигонального очертания (рис.8.1.) .

Эти трубы применяются для вертикальных насосов с производительностью  $2 \text{ м}^3/\text{с}$  и более. Выполняются в монолитном железобетоне. Их размеры ( $H$ ,  $h$ ,  $L$  и др.) зависят от диаметра всасывающего патрубка насоса. При этом при диаметре 1 м и более применяются трубы криволинейного очертания, а при меньшем – полигонального.

## 2. Конусные трубы (рис. 8.2).

Всасывающие трубы в виде правильного конуса (рис. 8.2, а) применяются для вертикальных насосов типа В, имеющих положительную высоту всасывания.

Центральный угол конусности  $\theta$  принимается равным  $15..16^\circ$ , а длина конуса определяется по формуле

$$L_k = \frac{D_{вх} - d_B}{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}, \quad (8.1)$$

где  $D_{вх}$  – диаметр конуса на входе, определяемый по формуле

$$D_{вх} = \sqrt{\frac{Q_n}{V_{оп}}} \quad (8.2), \quad \text{при оптимальной скорости } V_{оп} = 0,6...0,8 \text{ м/с,}$$

$d_B$  – диаметр всасывающего патрубка насоса.

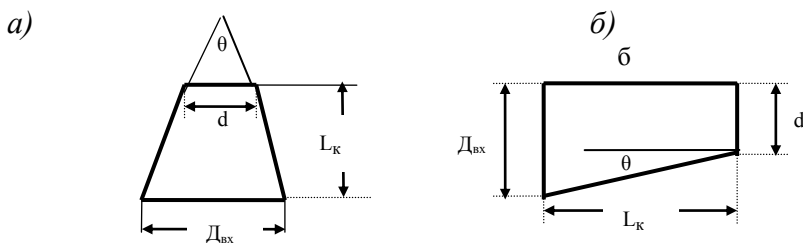


Рис.8.2. Конусные всасывающие трубы: а – правильный конус; б – конус с горизонтальной верхней образующей

Для всасывающих труб в виде неправильного конуса с горизонтальной верхней образующей угол конусности  $\theta$  имеет ту же величину, что и у правильного конуса, но его длина определяется по формуле

$$L_k = (5...6) (D_{вх} - d). \quad (8.3)$$

Эти трубы имеют отрицательную высоту всасывания.

Вне здания применяются цилиндрические трубы с правильным входным конусом (рис.8.3).

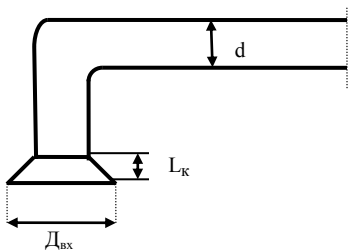


Рис.8.3. Цилиндрическая всасывающая труба

Эти трубы имеют положительную или переменную высоту всасывания и применяются для насосов типа Д, НД, К.

Диаметр входа  $D_{вх}$  определяется по формуле (8.2), а длина входного конуса  $L_k$  – по формуле (8.1), но для угла конусности  $\theta = 30...40^\circ$ . Вместо  $d_v$  в формулу подставляется диаметр цилиндрической трубы  $d$ , определяемый по формуле (8.2), исходя из оптимальной скорости

$$V_{оп} = 1...1,2 \text{ м/с}$$

Внешние всасывающие трубы могут быть и комбинированными, в случае наличия отрицательной высоты всасывания (рис.8.4, а) или когда диаметр трубы больше диаметра всасывающего патрубка насоса (рис.8.4, б).

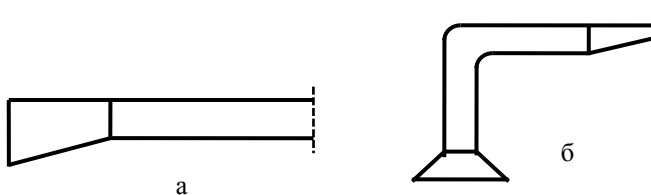


Рис. 8.4. Комбинированные всасывающие трубы

Расчет комбинированных всасывающих труб ведется по частям по формулам, приведенным выше.

### 11.3 Внутростанционные напорные трубопроводы

Напорные трубопроводы, находящиеся внутри здания насосной станции, служат для подачи воды к внешним напорным водоводам, а также для размещения на них запорной и переключающей арматуры. Кроме того, в этих трубопроводах скорость движения воды должна быть уменьшена от  $5...7 \text{ м/с}$  до  $1,5...2 \text{ м/с}$ .

Переключение применяется тогда, когда количество ниток внешних напорных водоводов меньше числа насосов. Оно может быть полным или частичным (рис.10.1).

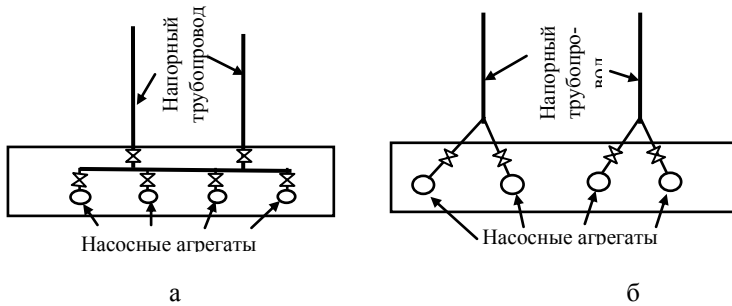


Рис.10.1. Схема переключения напорных трубопроводов:  
а – полное переключение; б – частичное переключение

Число ниток, на которые переключаются насосы зависит от длины трассы внестанционных напорных трубопроводов, количества установленных насосов и назначения станции. Например, в насосных станциях для водоснабжения всегда делают полное переключение насосов с тем, чтобы любой насос мог быть подключен к любой нитке, а в станциях для осушения с короткими напорными трубопроводами вообще переключение не применяют. Здесь каждый насос имеет свою нитку напорного трубопровода.

Расчет внутростанционных напорных трубопроводов сводится к определению диаметров труб и длины переходных диффузоров (рис.10.2).

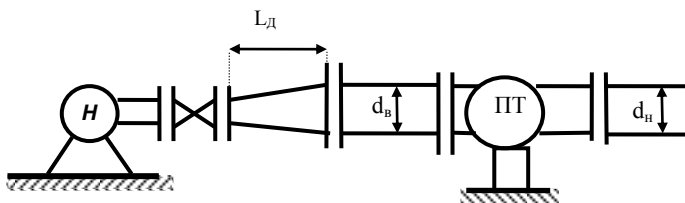


Рис.10.2. Схема внутростанционного напорного трубопровода с переключающим трубопроводом (ПТ)

Диаметр внутростанционного напорного ( $d_{в}$ ) и переключающего (ПТ) трубопроводов определяется по оптимальной скорости 2,5...2 м/с, а диаметр ввнестанционного ( $d_{н}$ ) – по скорости 1.5...2 м/с. Длина диффузора  $L_{д}$  определяется по формуле (10.1) с углом конусности  $\theta = 8...12^\circ$

$$L_{д} = \frac{d_{в.п} - d_{в}}{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}, \quad (10.1)$$

где  $d_{в.п}$  – диаметр всасывающего патрубка насоса

Напорные трубопроводы внутри здания устраивают из чугунных или стальных фланцевых труб и располагают на полу, в каналах, или под перекрытием.

#### 11.4 Проектирование ввнестанционных напорных трубопроводов

Напорные трубопроводы, находящиеся вне здания насосной станции, предназначены для транспортировки воды от внутростанционных трубопроводов до водовыпускного сооружения. Они классифицируются в зависимости:

- от материала: стальные, железобетонные, чугунные, асбестоцементные, пластмассовые;
- от напора: низконапорные (напор до 20 м), средненапорные (напор 20...50 м) и высоконапорные (напор более 50 м);
- от способа укладки: открытые (наземные) и закрытые (подземные).

При проектировании внешних напорных трубопроводов должны учитываться следующие условия:

- 1) должна быть минимальная длина трассы с минимальным количеством поворотов в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- 2) обеспечена доступность для производства работ;
- 3) хорошие гидрогеологические условия;
- 4) предусмотрена возможность опорожнения трубопровода от воды и воздуха при испытаниях, осмотрах и ремонтах, а также защита станции от размыва ливневыми водами и при разрыве трубопровода;
- 5) обеспечена прочность и герметичность трубопровода.

Кроме того открытый трубопровод должен укладываться на опоры. На всех поворотах или через 200 м на прямолинейных участках устанавливаются анкерные опоры (рис.10.3, а), а между ними – катковые (рис.10.3, б).

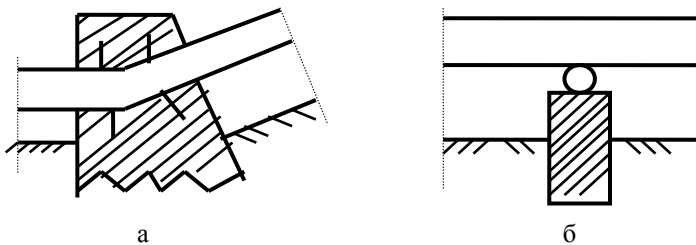


Рис.10.3. Типы опор: а – анкерная; б – катковая

На трубопроводе между анкерными опорами устанавливаются температурные компенсаторы.

При проектировании напорного трубопровода необходимо предусмотреть меры защиты трубопровода от последствий гидравлического удара. Они могут быть следующие:

- 1) подобран материал трубопровода, который в состоянии выдержать повышение давления при гидроударе;
- 2) предусмотрен сброс воды в обратном направлении через насос;
- 3) возможен впуск воздуха или воды в местах разрыва сплошности потока в водоводе;
- 4) установка обратных клапанов выше мест образования разрывов сплошности потока;
- 5) сброс воды через предохранительные клапаны или диафрагмы, разрушающиеся при повышении давления при гидравлическом ударе;
- 6) установка водно-воздушных котлов.

Можно применить одну или сразу несколько мер из перечисленных выше и обосновать это экономическим расчетом.

### 11.5 Конструкция труб из различных материалов

Выбор материала стенок напорного трубопровода делают на основании технико-экономических расчетов.

Техническая применимость того или иного материала оценивается по расчетному давлению, которое определяется по формуле

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{ст}} + h_{\text{т}} + \Delta H,$$

где  $H_{\text{ст}}$  – статический напор, т. е. расстояние от оси насоса до уровня воды в В.Б.,

$h_{\text{т}}$  – суммарные потери в напорном трубопроводе,

$\Delta H$  – повышение давления при гидравлическом ударе, определяемое по формуле,

$$\Delta H = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

где  $V_0$  – скорость воды в трубопроводе,  $a$  – скорость распространения ударной волны, которая зависит от жесткости стенок трубопровода. При абсолютно жестких стенках  $a = 1425$  м/с.

Практическая применимость труб из различных материалов зависит от того, выпускаются ли заводами трубы требуемого диаметра. Следовательно, прежде чем приступить к выбору материала труб, необходимо знать их расчетный диаметр, который устанавливается на основе технико-экономического расчета.

Выше было указано, что кроме стальных и чугунных труб применяют железобетонные и асбестоцементные. Железобетонные трубы бывают сборные и монолитные. Сборные трубы могут быть с предварительно напряженной арматурой и со стальным цилиндром (трубы марки РТНС). Первые выдерживают давления до 15 ати и выпускаются диаметром 0,5...1,6 м, а вторые - более 20 ати с теми же диаметрами. Отдельные звенья труб стыкуются при помощи раструбов или муфт.

Асбестоцементные трубы типа ВТ рассчитаны на давление 6,9 и 12 ати и выпускаются диаметрами от 100 до 500 мм.

Установка на железобетонные и асбестоцементные трубы различной арматуры осуществляется при помощи металлических вставок с фланцами.

Монолитные железобетонные трубопроводы изготавливаются на месте. Внутреннее сечение их обычно круглое. Через 20...25 м устраивают температурно-усадочные швы.

## **11.6 Расчет экономически наиболее выгодного диаметра напорного трубопровода**

Прежде чем приступить к этому расчету, необходимо подготовить следующие исходные данные:

- график водоподачи;
- количество установленных насосов и их производительность;
- схему переключения насосов, количество ниток напорных трубопроводов и их длину;
- стоимость 1 п.м. укладки трубопровода;
- стоимость 1 кВт.ч электроэнергии;
- коэффициент полезного действия насосной установки.

Выбор экономически наиболее выгодного диаметра осуществляется путем рассмотрения нескольких технически применимых вариантов. С

точки зрения оптимальных гидравлических потерь выгодным будет диаметр, при котором вода движется со скоростью 1...2 м/с, но он не всегда может оказаться самым дешевым. Действительно, если скорость движения воды увеличить, то диаметр станет меньше. Стоимость трубопровода также уменьшится. Однако возрастут потери напора, на преодоление которых потребуется дополнительное количество мощности, т.е. электроэнергии, что увеличит стоимость эксплуатации.

Поэтому выбор экономически наивыгоднейшего сочетания капитальных затрат, которые зависят от величины диаметра, и эксплуатационных издержек, зависящих от величины потерь напора, осуществляется по минимуму приведенных затрат

$$ПЗ = E_n K + C, \quad (10.2)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент, который учитывает срок окупаемости вложенных средств (принимается равным 0.12...0.1);

$K$  – стоимость укладки 1 п.м. укладки трубопровода данного диаметра;

$C$  – эксплуатационные затраты, включающие в себя:

$$C = \nu K + aЭ, \quad (10.3)$$

где  $\nu K$  – отчисления на капитальный и текущий ремонты;

$aЭ$  – стоимость электроэнергии, затраченной на преодоление потерь напора.

Для расчета требуемого количества электроэнергии, которая будет потрачена в течение какого-то времени эксплуатации напорного трубопровода, рассмотрим произвольный график водоподачи (рис.10.4).

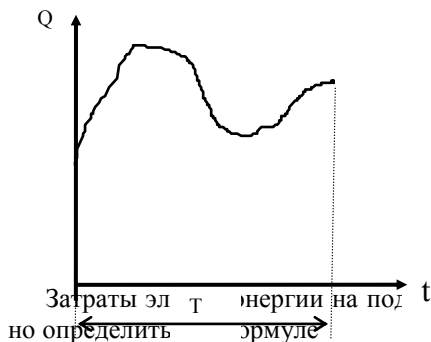


Рис.10.4. Расчетный график водоподачи

воды в течение времени  $T$  мож-

$$\Theta = \int_T \frac{9,81Qh_T}{\eta_{ny}} dt, \quad (10.4)$$

где  $Q$  – расход, который меняется с течением времени  $T$ ;

$h_T$  – потери напора, соответствующие данному расходу, которые можно выразить так:  $h_T = A Q^2$ , (10.5)

где  $A$  - удельные потери на 1 м длины трубопровода.

С учетом (10.5) формула (10.4) примет вид

$$\Theta = \int_T \frac{9,81Q^3 \cdot A}{\eta_{ny}} dt .$$

Вынесем за знак интеграла постоянные величины и получим

$$\Theta = \frac{9,81A}{\eta_{ny}} \int_T Q^3 dt . \quad (10.6)$$

Обозначим  $\int Q^3 dt$  через  $q_{рт}^3 T$ . Тогда формула (10.6) примет вид:

$$\Theta = \frac{9,81A \cdot q_{рт}^3 \cdot T}{\eta_{ny}} , \quad (10.7)$$

Где  $q_{рт}$  – условный постоянный расход, которым заменяется переменный расход  $Q$ . Эта замена правомочна при условии, что затраты электроэнергии на преодоление потерь напора, возникающих при прохождении по трубопроводу в течение времени  $T$  постоянного расхода  $q_{рт}$ , такие же, как и при прохождении переменного расхода  $Q$ .

С учетом этого условия из (10.5) выразим  $A$ , подставив вместо  $Q$  величину  $q_{рт}$ :

$$A = \frac{h_T}{q_{рт}^2} . \text{ Подставив это выражение в (10.7), получим:}$$

$$\Theta = \frac{9,81q_{рт}^3 Th_T}{\eta_{н.у} q_{рт}^2} \text{ или } \Theta = \frac{9,81q_{рт} Th_T}{\eta_{н.у}} . \quad (10.8)$$

Для определения расчетного расхода  $q_{рт}$ , входящего в формулу (10.8), обратимся к формуле (10.6), в которой интеграл был заменен произведением  $q_{рт}^3 T$ .

Если график водоподачи задан в ступенчатом виде, то знак интеграла можно заменить на знак суммы, т.е.

$$\int Q^3 dt = \Sigma(Q^3_i t_i) = q_{рт}^3 T .$$

Откуда

$$q_{\text{рт}} = \sqrt[3]{\frac{\sum(Q_i^3 \cdot t_i)}{T}} \quad (10.9)$$

В формулах (10.8) и (10.9)  $t_i$  - промежутки времени, сумма которых равна  $T$ , т.е.

$$T = \sum t_i$$

Таким образом, расчет экономически наиболее выгодного диаметра напорного трубопровода необходимо начать с определения расчетного расхода  $q_{\text{рт}}$  по формуле (10.9). После чего нужно подсчитать количество затраченной электроэнергии по формуле (10.8), а уж потом определять приведенные затраты (ПЗ) по формуле (10.2). Минимальное значение ПЗ будет соответствовать какому-то диаметру напорного трубопровода, который и принимается в проекте.

## ЛЕКЦИЯ 14 и 15

### Тема 12. Проектирование здания насосной станции

#### 12.1 Типы зданий насосных станций и условия их применения

Здание насосной станции служит для размещения как основного насосно-силового, так и вспомогательного оборудования и коммуникаций трубопроводов (задвижек, водомеров, обратных клапанов и др.).

На тип и конструкцию зданий насосных станций влияют следующие факторы:

- форма соединения здания с водозаборным сооружением (совмещенная или раздельная);
- производительность, тип и конструкция основных насосов;
- режим водоисточника;
- геология и гидрогеология строительной площадки;
- климатические условия;
- виды строительных материалов.

По конструктивным признакам здания насосных станций делятся на **заглубленные** (т.е. основные насосы расположены ниже поверхности земли) и **незаглубленные**, когда насосы установлены на поверхности земли и здание не имеет подземной части.

Заглубленные здания делятся на два типа: *блочные* и *камерные*.

Здания *блочного типа* (рис. 11.1) применяются для крупных насосов с производительностью  $2 \text{ м}^3/\text{с}$  и более, имеющих вертикальный вал

(насосы типа ОВ, ОпВ и В ). С водозаборным сооружением такие здания всегда совмещены, колебания уровней в водоисточнике могут быть любыми, высота всасывания насосов должна быть всегда отрицательной.

Здания *камерного типа* могут быть «с сухой камерой» (рис. 11.2), с «мокрой камерой, но сухим помещением для насоса» (рис. 11.3) и «с мокрой камерой и затопленным насосом» (рис. 11.4). Эти здания применяются для насосов как с горизонтальным, так и с вертикальным валом (насосы типа Д, НД, К, КМ, В, ОВ и ОГ). Их производительность может быть менее  $2 \text{ м}^3/\text{с}$ , а высота всасывания – отрицательной, положительной или переменной. С водозаборным сооружением они чаще всего устанавливаются отдельно. Колебания уровней воды в водоисточнике могут быть любыми.

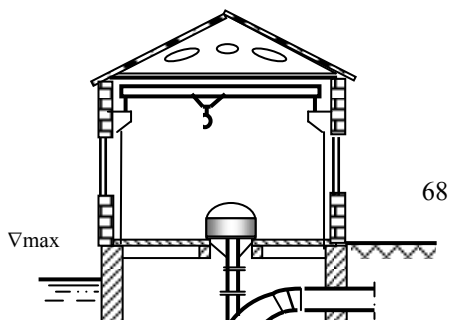


Рис. 11.1. Схема заглубленной блочной насосной станции с насосом типа О.

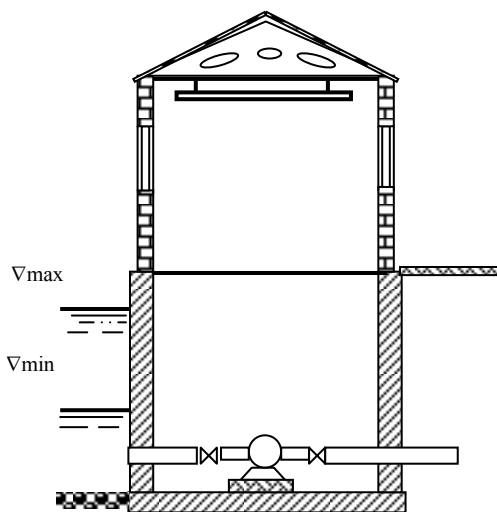


Рис. 11.2. Схема заглубленной насосной станции камерного типа с сухой камерой и насосом с горизонтальным валом.

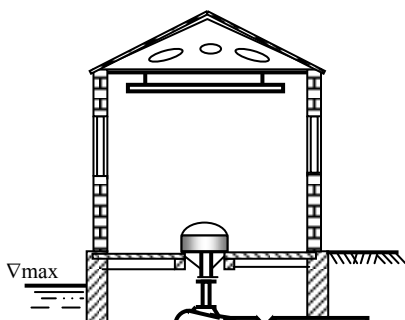


Рис. 11.3. Схема заглубленной насосной станции камерного типа с мокрой камерой, но сухим помещением для насоса типа В.

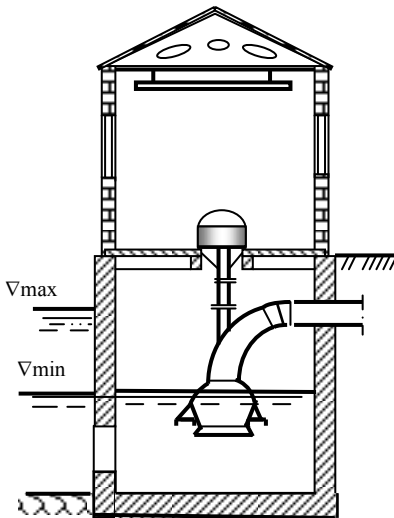


Рис. 11.4. Схема заглубленной насосной станции камерного типа с мокрой камерой и затопленным насосом.

Применение зданий насосных станций **незаглубленного типа** (рис. 11.5) ограничивается следующими условиями:

- а) должны применяться насосы только с горизонтальным валом (насосы типа К, КМ, Д, НД) с производительностью не более  $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- б) высота всасывания насосов должна быть положительной и не меньше чем величина колебания уровней воды в водоисточнике;
- в) с водозаборным сооружением их необходимо устанавливать всегда раздельно.

Если хоть одно из этих условий не соблюдается, то такой тип зданий применить нельзя.

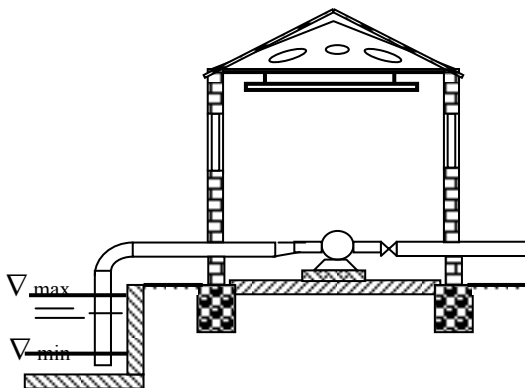


Рис. 11. 5. Схема насосной станции незаглубленного типа.

## 12.2 Основные принципы компоновки зданий насосных станций

Компоновка – есть размещение основного насосно-силового оборудования с соблюдением всех его размеров, исходя из условий удобства монтажа и эксплуатации, и учитывая требования техники безопасности.

Конечным результатом компоновки является установление ширины, длины и высоты здания насосной станции.

Для того чтобы произвести компоновку, необходимо, прежде всего, подобрать насос и электродвигатель и установить их габариты и массу, рассчитать высоту всасывания насоса, запроектировать всасывающий и напорный трубопроводы и установить размеры арматуры, устанавливаемой на них.

Кроме того, необходимо подобрать грузоподъемное оборудование и установить его размеры.

Компоновка проводится с соблюдением следующих условий.

1. Удовлетворение физических и технологических требований, предъявляемых оборудованием, которое включает в себя:
    - учет размеров и массы;
    - установку насосов с расчетной высотой всасывания;
    - соблюдение условий работы, предъявляемых электродвигателем.
  2. Соблюдение требований техники безопасности и обеспечение возможности монтажа и демонтажа оборудования, а также удобства его эксплуатации, которые включают:
    - устройство безопасных проходов требуемой ширины (не менее 0,7м) и лестниц с допустимым уклоном (не более 1:1,5);
    - удаление фланцев труб от стен, пола и потолка не менее чем на 0,3 м, устройство в перекрытии люков, размеры которых позволяли бы извлекать самое крупное оборудование;
    - устройство наблюдательных мостиков, переходов и стремянок, облегчающих доступ к измерительной и запорной аппаратуре;
    - устройство монтажной площадки, достаточного освещения, вентиляции и отопления.
  3. Обеспечение как можно меньшей стоимости строительства и эксплуатации насосной станции, включающее в себя:
    - отказ от излишних незанятых площадей, чрезмерной ширины проходов и лестниц;
    - отсутствие излишних запасов прочности стен и перекрытий;
    - компактное расположение основного и вспомогательного оборудования.
- Вышеперечисленные принципы компоновки здания насосной станции должны неукоснительно соблюдаться студентами при выполнении ими курсовых проектов.

### **12.3 Компоновка подземной части зданий заглубленного типа**

Компоновка зданий насосных станций начинается с подземной части. Сначала располагается ось насоса относительно минимальной отметки воды в водозаборном сооружении, а потом вычерчивается по габаритным размерам насос, к которому подсоединяется всасывающий и нагнетательный трубопроводы с установленной на них арматурой (конусы, задвижки, переходники и т.д.). После этого определяется отметка пола подземной части и устанавливается положение осей вертикальных стен, что даст величину ширины здания, которая должна быть стандартной (4; 4,5; 5; 5,5; 6; 9; 12 м).

Последовательность компоновки подземной части здания насосной станции проследим по рис. 11.6, на котором показано размещение оборудования в подземной части здания камерного типа с сухой камерой и горизонтальным насосом типа Д.

Как видно из рисунка, насос расположен ниже минимального уровня воды в водозаборном сооружении на величину высоты всасывания  $h_v$  и имеет габарит  $l_n$ . Слева к нему подсоединена монтажная вставка длиной  $l_v^{11}$  и задвижка  $l_z^{11}$ , а к ней – всасывающая труба в виде конуса с горизонтальной верхней образующей. С напорной стороны также сначала монтируется монтажная вставка  $l_{в}^{11}$ , а потом задвижка  $l_z^{11}$  и переходник в виде правильного конуса  $l_k$ , от которого отходит напорный трубопровод. Оси боковых стенок толщиной  $\delta_{ст}$  намечены таким образом, чтобы получить стандартную ширину подземной части  $V_{п.ч}$ , которая складывается из суммы стандартных ( $l_n, l_z^{11}, l_v^{11}$ ), расчетных ( $l_k$ ) и назначаемых величин ( $l_v^{11}$  и  $l_{в}^{11}$ ), т.е.

$$V_{п.ч} = \delta_{ст} + a_1 + l_z^{11} + l_v^{11} + l_n + l_{в}^{11} + l_z^{11} + l_k + a_2 .$$

Монтажные запасы  $a_1$  и  $a_2$  принимаются не менее 0,2 м, а за счет назначения длины монтажных вставок  $l_v^{11}$  и  $l_{в}^{11}$  достигается стандартное значение ширины подземной части  $V_{п.ч}$ .

Из рис. 11.6. видно, что высота подземной части складывается из величин:

- $h_{пл}$  – толщины донной плиты;
- $h_{ф}$  – высоты фундамента под насос;
- $h_n$  – габарита насоса;
- $h_v$  – высоты всасывания;
- $\Delta h$  – колебания уровней в водоисточнике;
- $h_0$  – превышения пола над максимальным уровнем воды,

$$\text{т. е. } H_{п.ч} = h_{пл} + h_{ф} + h_n + h_v + \Delta h + h_0 .$$

Величина заглубления верха всасывающей трубы под минимальный уровень воды  $h_x$  должна быть не менее 0,5 м, но не более 1 м.

Длина подземной части насосной станции определяется с помощью проведения плановой компоновки (рис. 11.6).

Из рисунка видно, что длина подземной части здания насосной  $L_{п.ч}$  станции складывается из :

- $\delta_{ст}$  – толщины стенки подземной части;
- $v_1$  и  $v_2$  – эксплуатационных проходов размером не менее 0,7 м;
- $L_{аг}$  – длины агрегата в составе насоса и электродвигателя;
- $L_{м.п}$  – длины монтажной площадки, которая должна быть назначена

на такой, чтобы на ней можно было разместить самую крупную деталь и обеспечить вокруг эксплуатационные проходы не менее 0,7 м.

Таким образом, длина подземной части здания насосной станции может быть определена путем суммирования вышеперечисленных величин, т.е.

$$L_{п.ч} = \delta_{ст} + v_1 + 2 L_{ар} + v_2 + L_{м.п} .$$

В случае, если длина подземной части здания насосной станции равна длине надземной, то она должна быть кратной 6 (если верхнее строение будет каркасного типа) или кратной 1,5 (для верхнего строения бескаркасного типа).

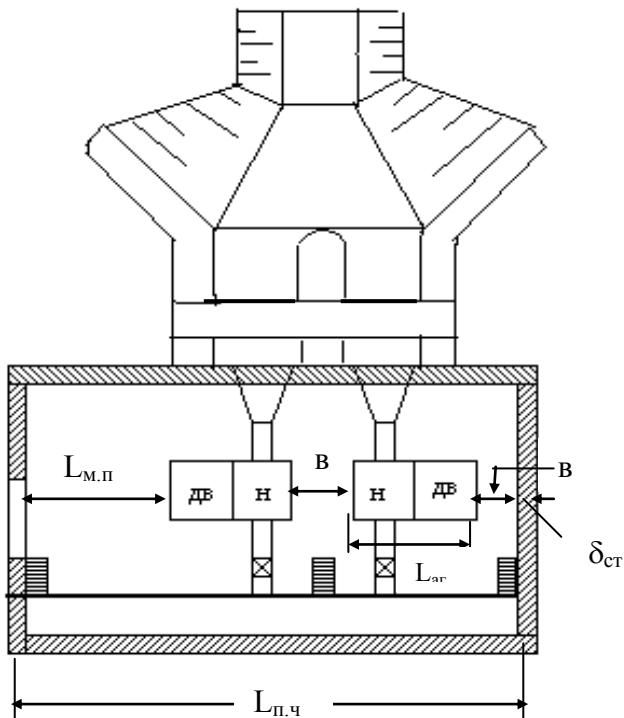


Рис. 11.6. Плановая компоновка насосной станции незаглубленного типа

При большом количестве насосных агрегатов их можно располагать в шахматном порядке. В этом случае увеличивается ширина здания, но уменьшается его длина.

При наличии насосов с вертикальным валом последовательность проведения компоновки будет аналогичной, но отличается тем, что в зданиях блочного типа насос опирается на мощный бетонный блок (отсюда и название «блочное») и вода к насосу подводится снизу по трубе криволинейного или прямолинейного очертания. Если насос с вертикальным валом применяется в камерном типе здания, то сопряжение его всасывающего патрубка со всасывающей трубой осуществляется при помощи колена, которое имеет диаметр всасывающего патрубка.

Кроме того, подземная часть насосных станции с вертикальными насосами имеет железобетонное перекрытие, на котором устанавливается электродвигатель (см. рис. 11.1, 11.3 и 11.4). Расстояние от пола до потолка подземной части должна быть не менее 3 м.

**Компоновка зданий незаглубленного типа** также начинается с установки насоса на расчетной высоте всасывания и подсоединения к нему всасывающего и напорного трубопроводов. К ширине здания предъявляются такие же требования, как и к ширине подземной части у заглубленных зданий, т.е. она должна отвечать стандартным значениям 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 9; 12 м.

Длина здания устанавливается при помощи плановой компоновки точно так же, как было описано выше.

Определив ширину и длину здания, приступают к проектированию верхнего строения насосной станции.

## 12.4 Проектирование верхнего строения

Наземная часть насосных станций проектируется одинаково для незаглубленных и заглубленных насосных станций. Прежде всего выбирается тип верхнего строения, который может быть каркасный или бескаркасный. Каркасный тип здания принимается в том случае, когда в нем предусматривается установка грузоподъемного оборудования грузоподъемностью 5 тонн и более (рис.11.1). Во всех остальных случаях принимается бескаркасное здание с несущими боковыми стенами, изготовленными из кирпича (рис. 11.2, 11.3, 11.4, 11.5).

Каркасный тип здания (рис.11.8) представляет собой жесткий каркас, состоящий из колонн с пилястрами 1, ригелей 2 и плит 3, который несет нагрузку от кровли и грузоподъемного оборудования.

Колонны устанавливаются с шагом 6 м на стены подземной части (в заглубленных насосных станциях) или на собственный фундамент,

если нет подземной части. Они являются главным несущим элементом всего каркаса, так как несут нагрузку и от грузоподъемного оборудования, которое опирается на пилястры колонн.

Ригель 2 имеет двухскатную форму при расстоянии между рядами колонн (пролет) 6 метров и более. В поперечном разрезе он представляет собой железобетонный двутавр.

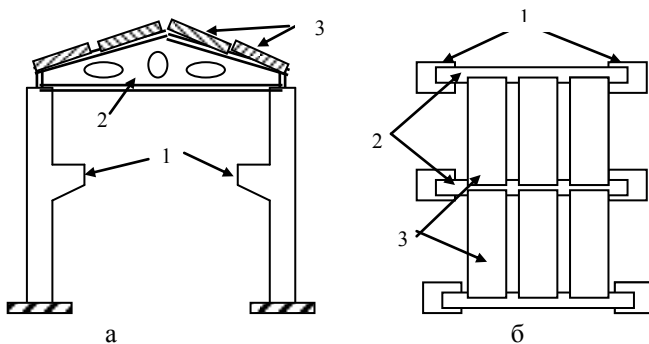


Рис. 11.8. Железобетонный каркас верхнего строения насосной станции:  
а – разрез; б – план

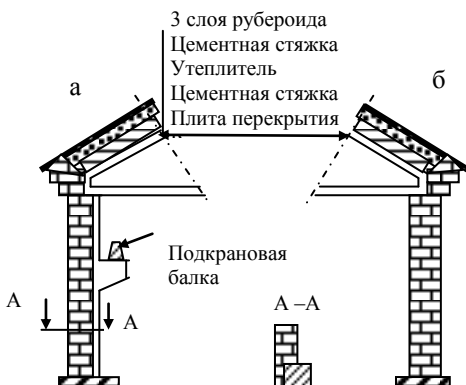


Рис. 11.9. Устройство стен и кровли:  
а – в зданиях каркасного типа;  
б – в зданиях бескаркасного типа.

Боковые стены выполняются или из кирпича, или из сборных железобетонных плит. Если применяется кирпичная кладка, то колонны частично запускаются в нее, как показано на рис. 11.9. а. Толщина стен принимается для отапливаемых зданий 2 кирпича (51 см), а для не отапливаемых – 1,5 кирпича (38 см).

В таких зданиях промышленного типа применяется мягкая кровля с утеплителем (если предусмотрена работа насосной станции в зимний период) или без него. Конструкция кровли с утеплителем показана на рис. 11.9.

Стены зданий бескаркасного типа выполняются из кирпичной кладки (рис. 11.9, б) толщиной 1,5 – 2 кирпича. На них опирается кровля, к которой подвешивается грузоподъемное оборудование. Требования, предъявляемые к устройству кровли, такие же, как и для зданий каркасного типа (рис. 11.9, б).

Габариты верхнего строения зданий насосной станции определяются из условия размещения в нем не только основного (как в зданиях незаглубленного типа), но и грузоподъемного оборудования.

Ширина и длина верхнего строения заглубленных насосных станций обычно принимается равной ширине и длине подземной части.

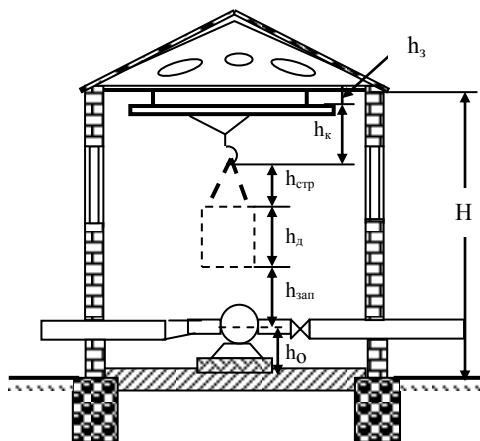


Рис. 11.10. Схема высотной компоновки надземной части здания насосной станции незаглубленного типа.

Высота верхнего строения любого типа насосных станций определяется, исходя из условия обеспечения безопасной транспортировки на монтажную площадку насосов и двигателей (если они установлены в верхнем строении как показано на рис. 1.10) и возможности разгрузки автотранспорта, доставляющего оборудование на монтажную площадку (рис. 11.11).

Как видно из рис. 11.10 высота здания насосной станции незаглубленного типа получается равной

$$H_{н.ч.} = h_0 + h_{зап.} + h_д + h_{стр} + h_к + h_3 ,$$

где  $h_0$  – габарит установленного оборудования;  
 $h_{\text{зап}}$  – запас, который должен быть не менее 0,5 м;  
 $h_{\text{д}}$  – размер самой крупной детали;  
 $h_{\text{стр}}$  – длина строп 0,5-0,7 м;  
 $h_{\text{к}}$  – высота кранового оборудования (берется из [2]) ;  
 $h_3$  – запас 0,2-0,3 м.

В насосных станциях заглубленного типа насосно-силовое оборудование установлено в подземной части здания. Поэтому высота надземной части определяется только исходя из условия обеспечения возможности разгрузки транспорта на монтажной площадке (рис.11.11).

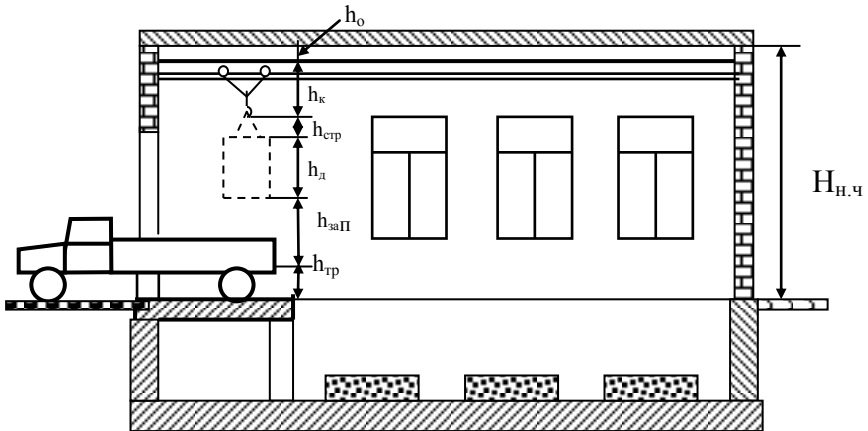


Рис. 11.11. Схема к определению высоты надземной части здания заглубленного типа.

Из рис.11.11 видно, что транспортировке детали насосно-силовое оборудование не мешает, так как оно заглублено. Следовательно, высота наземной части  $H_{\text{н.ч}}$  будет складываться из  $h_{\text{тр}}$  – высоты транспортного средства и тех же величин, как это было указано выше.

Такой же расчет нужно делать и для насосных станций незаглубленного типа для того, чтобы проверить, выполняется ли второе требование к высоте здания, касающееся возможности разгрузки оборудования на монтажной площадке.

Наземная часть здания освещается естественным светом через окна, суммарная площадь которых принимается равной  $1/3 \dots 1/5$  площади пола машинного зала. Для заезда транспорта на монтажную площадку устраиваются ворота размером 3 х 3 или 3 х 4 м.

Пол машинного зала устилается метлахской плиткой, а монтажной площадки – асфальтом.

Кроме того, в наземной части здания размещают щиты управления и подсобные помещения.

## **ЛЕКЦИЯ 16**

### **Тема 12 ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

#### **12.5 Грузоподъемное оборудование**

Грузоподъемные устройства необходимы для монтажа и демонтажа основного насосно-силового оборудования, подъема и опускания затворов, решеток и др. Они могут устраиваться внутри здания насосной станции или снаружи.

Тип грузоподъемных устройств подбирается в зависимости от массы самой крупной детали, которую предполагается поднимать. При максимальной массе до 1 т применяют ручные тали или электрифицированные тельферы. При массе до 5 т и высоте подъема до 18 м применяют однобалочные краны (кран-балки).

В зданиях каркасного типа, которые устраиваются для крупного оборудования массой более 5 т, применяют мостовые двухбалочные краны с пролетом 9,12 метров и более.

Тип и размеры грузоподъемного оборудования подбираются с помощью литературы [2].

В качестве внешних грузоподъемных устройств применяют козловые краны, лебедки и винтовые подъемники.

**П р и м е ч а н и е .** В целях уменьшения ширины здания насосной станции необходимо стараться избегать применения мостовых кранов путем монтажа крупного оборудования по частям. В этом случае можно принять расчетную массу в размере 60% от массы самого крупного оборудования, которое подлежит разборке.

#### **12.6 Вакуумные насосные установки**

Применяют вакуумные насосные установки в том случае, когда основные насосы работают с положительной высотой всасывания. Для заливки водой перед запуском в работу насос подключают к вакуумной установке, схема которой изображена на рис. 2.1.

Чтобы запустить в работу основной насос 1 прежде всего задвижкой 2 необходимо отключить его от напорного трубопровода, а открытием крана 3 – подсоединить к вакуумной линии 9. Потом запустить вакуумный насос 8, предварительно залив его водой из бачка 7, который в свою очередь наполняется водой из сбросной трубы 10 ручным насосом 6.

Вакуумный насос должен работать до того момента, пока из его напорного патрубка 11 не начнет выливаться вода, что является сигналом заполнения водой основного насоса, который можно запускать. После того, как манометр покажет, что насос развивает необходимое давление, закрывают кран 3 и выключают вакуумный насос. Открытием задвижки 2 воду пускают потребителю.

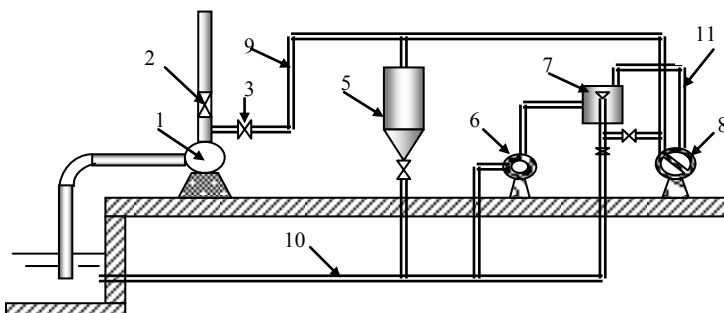


Рис. 12.1. Схема вакуумной установки.

Вакуум-котел 5 устанавливается на вакуумной линии в том случае, когда основной насос часто включается и выключается.

В насосных станциях, как правило, устанавливается одна вакуумная установка, включающая в себя два вакуумных насоса, один из которых рабочий, а второй – резервный. Вакуумная линия подводится к каждому основному насосу, которые запускаются в работу поочередно.

Тип вакуумного насоса подбирается по производительности, определяемой по формуле

$$Q = K \frac{W}{T},$$

где  $K$  – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2 – 1,3;

$W$  – объем воздуха, подлежащего откачке, включающий в себя объемы всасывающей трубы, напорного трубопровода до задвижки и корпуса насоса;

$T$  – время заливки, которое принимается в пределах 5 – 10 мин.

В качестве вакуумных применяются насосы типа ВВН (водокольцевой вакуумный насос), КВН ( компрессорный вакуумный насос) и РМК ( ротационный мокрый компрессор).

### **12.7 Дренажные и осушительные насосные установки**

Дренажные насосные установки применяются только в насосных станциях заглубленного типа с целью отвода воды, попавшей в подземную часть здания в результате утечек из трубопроводов или фильтрации через дно и стены.

Дренажная система подземной части заглубленной насосной станции состоит из дренажного колодца, располагаемого, как правило, под монтажной площадкой, и впадающих в него открытых канавок, проложенных по периметру помещения. Пол подземной части имеет уклон от середины к стенам, поэтому вода по нему стекает в канавки и собирается в дренажном колодце, из которого дренажным насосом сбрасывается в нижний бьеф. Объем дренажного колодца принимают равным 10-15-минутной производительности насоса.

Производительность дренажных насосов принимается в пределах 1...3 л/с, а расчетный напор определяется как сумма геометрического напора (разность отметок воды при максимальном уровне в нижнем бьефе и минимальном в дренажном колодце) и потерь напора в трубопроводе.

Насосы принимают самовсасывающие или центробежные, но устанавливают их под минимальный уровень воды в дренажном колодце. Устанавливают всегда два насоса: один рабочий, а второй – резервный. Двигатели дренажных насосов всегда находятся под напряжением, несмотря на сезонную работу насосной станции, так как они должны

автоматически включаться по мере заполнения дренажного колодца и отключаться при его опорожнении.

Осушительные насосные установки служат для удаления воды из камер водозаборных сооружений в случае ремонта или аварийной остановки основного насоса. В насосной станции малой и средней производительности предусматривается одна осушительная установка с не менее чем двумя осушительными насосами на 4 основных насоса. Работа ее периодическая и поэтому резервные насосы не устанавливаются, а работают оба насоса на одну всасывающую линию, к которой подводятся трубы от приемков, устроенных в водозаборных камерах.

Производительность осушительной насосной установки определяется по формуле

$$Q_{oc} = \frac{W}{t} + q,$$

где  $W$  – суммарный объем воды во всасывающей трубе и камере водозаборного сооружения при максимальном горизонте воды;

$t$  – время откачки, которое принимается равным 5 . . . 8 часам;

$q$  – приток фильтрационной воды через уплотнение затворов, принимается равным 0,5 . . . 1 л/с.

Таким образом, расчетная производительность одного насоса будет равна

$$Q_p = \frac{Q_{oc}}{n},$$

где  $n$  – число осушительных насосов.

По расчетной производительности и напору подбирается центробежный, вихревой или другой насос.

Так как осушительные насосы не могут удалить грязевый осадок в водозаборных камерах, то дополнительно устанавливают фекальные или водоструйные насосы.

## **12.8 Хозяйственные и противопожарные насосные установки**

Хозяйственные насосные установки предназначены для обеспечения технической водой систем охлаждения электродвигателей, трансформаторов, компрессоров, масляных ванн, подшипников и подпятников. Для этих целей применяется чистая вода без механических и химических примесей, которую подает насосная установка, состоящая из

одного рабочего и одного резервного насоса при количестве основных насосов 4 и менее. При большем количестве насосов в насосной станции устанавливается 2 рабочих хозяйственных насоса и 1 резервный.

Противопожарные насосные установки устанавливаются при объеме наземной части здания 1000 м<sup>3</sup> и более. Они используются также для тушения загоревшихся электродвигателей, которые автоматически отключаются от электросети. Для этого вокруг электродвигателя устанавливается кольцевая труба с двумя рядами отверстий диаметром 3 мм, расположенными на расстоянии 10 см друг от друга. Давление в кольцевой трубе должно быть не менее 20...25 м.

Пожарные насосы подбирают с производительностью до 5 л/с и напором, обеспечивающем подъем струи над коньком крыши здания 12 м.

В зданиях, не имеющих противопожарных систем, устанавливают пенные огнетушители из расчета 2 шт. на 1 двигатель мощностью до 100 кВт, 3 шт. на двигатель мощностью до 1000 кВт и 4 шт. при большей мощности двигателей.

## **12.9 Пневматическое и масляное хозяйство**

Пневматическое хозяйство состоит из одного или двух компрессоров и стационарной или переносной системы воздухопроводов. Сжатый воздух необходим для:

- масловоздушных котлов и систем регулирования (давление до 25 ати);

- охлаждения обмоток и торможения роторов электродвигателей (давление до 7 ати);

- очистки сороудерживающих решеток (давление до 6 ати);

- отжатия воды из камер рабочих колес насосов при их разборке;

- образования незамерзающей полыньи по фронту затворов при работе в зимний период.

Кроме этого сжатый воздух необходим для работы отбойных молотков при производстве ремонтных работ сооружений.

*Масляное хозяйство* необходимо для обеспечения маслом систем регулирования (например, угла разворота лопаток осевого насоса), систем принудительной смазки подшипников, систем гидроприводов дисковых затворов и т.д.

В зависимости от компоновки основного оборудования система маслоснабжения может быть самотечной, принудительной (т. е. масло

подается под давлением, которое создает масляный насос), и смешанной. Чаще применяют смешанную систему подачи масла.

Масляное хозяйство состоит из баков, фильтров, масляных насосов, разводящей сети и контрольной аппаратуры. Насосы применяют шестеренные, а масло – турбинное и трансформаторное.

### **12.10 Электрораспределительные устройства**

Питание электродвигателей, пуск, остановка и защита осуществляется на насосных станциях с помощью распределительных устройств, проект которых составляется специалистами-электриками.

Пуск и остановка электродвигателей чаще всего осуществляется непосредственно со щита управления, находящегося в машинном зале.

Распределительные устройства (РУ) всегда располагаются в отдельном помещении, входящем в которое имеют право только электрики. Это помещение может примыкать к торцу здания насосной станции, противоположном монтажной площадке, или составлять со зданием одно целое, или стоять отдельно от него.

Помещение РУ выполняют из негорючих материалов и не отапливают за исключением помещения для дежурного персонала.

## **ЛЕКЦИЯ 17**

### **Тема 13. ВОДОВЫПУСКИ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

#### **13.1 Назначение и типы водовыпускных сооружений**

Водовыпускные сооружения входят в состав гидротехнического узла машинного водоподъема и предназначены для сопряжения напорных трубопроводов с сооружениями, транспортирующими воду к потребителю. Если это осуществляется отводящим каналом, то его называют *машинным*.

В оросительных системах водовыпускное сооружение называют *напорным бассейном*, если оно открытое, и *гидрантом* – закрытое.

В осушительных системах водовыпускное сооружение соединяется или непосредственно с водоприемником (рекой или водоналивным водохранилищем), или с сооружением, подводящим воду к водоприемнику (каналом, лотком, перепадом и т.д.).

В системах водоснабжения вода может подаваться либо в напорный бак, либо в очистные сооружения, либо в разводящую сеть.

Назначение водовыпускных сооружений заключается в следующем:

– обеспечить спокойный выход потока воды, вытекающего из напорного трубопровода, и плавное его сопряжение с водой, находящейся в машинном канале;

– обеспечить деление потока в том случае, если подача воды производится в несколько каналов;

– надежно отключать напорные трубопроводы при внезапной остановке насосов для предотвращения обратного тока воды;

– предотвращать фильтрацию воды из машинного канала вниз вдоль тела напорных труб, если они уложены в грунте.

Все эти функции может выполнять такое гидротехническое сооружение, которое обладает достаточной прочностью и устойчивостью, имеет размеры и конфигурацию, обеспечивающие благоприятные гидравлические условия протекания воды.

Классификация водовыпускных сооружений осуществляется по следующим признакам:

1) по принадлежности к той или иной мелиоративной системе – *осушительные, оросительные* или др.;

2) по методам соединения с каналом – *прямоточные, делители и с консолью-рассеивателем*;

3) по соединению с водоприемником – *на постоянно затопленные и периодически затопляемые*;

4) по соединению со зданием насосной станции – *на составляющие одно целое со зданием без отдельных швов, примыкающие к зданию и на отдельные*;

5) по применяемому материалу – *на железобетонные, массивные (из бутового камня) и смешанные, т.е. из различных материалов*;

6) по способу отключения потока воды, подаваемого в бассейн – *прямоточного типа с затвором механического или гидравлического действия, а также с приемным резервуаром-водосливом, делители с затвором механического действия и прямоточного типа с сифоном*.

### **13.2 Водовыпускное сооружение прямоточного типа**

Конструкция водовыпускного сооружения прямоточного типа с механическим запорным устройством показана на рис.13.1 (запорное

устройство не показано).

Две нитки напорного трубопровода диаметром  $D_{\text{эк}}$ , который был ранее определен на основе технико-экономического расчета, проходят через массивную лобовую стенку и заканчиваются расширяющейся

частью. Каждая нитка имеет свою камеру, которые разделяются бычками. В бычке и боковых стенках сделаны пазы для шандор, посредством которых можно отсоединить канал от водовыпускного сооружения в случае его ремонта. Для обслуживания шандор предусмотрен служебный мостик.

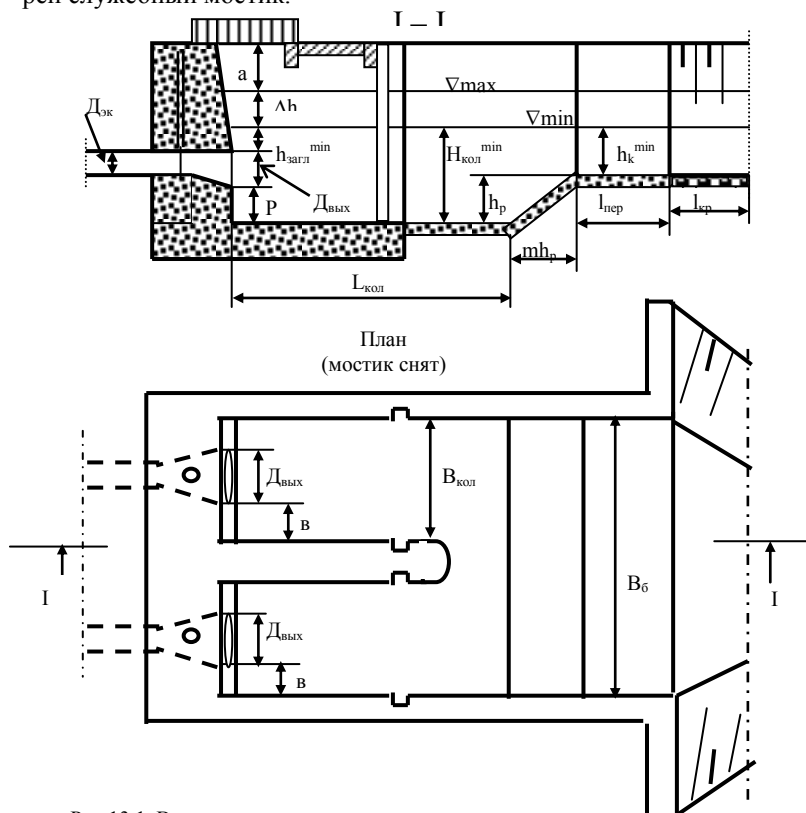


Рис.13.1. Водовыпускное сооружение прямооточного типа с механическим запорным устройством.

Для гашения остаточной кинетической энергии потока, выходящего из напорной трубы, ее конец выполнен в виде диффузора с выход-

ным диаметром  $D_{\text{вых}} = (1,1 \dots 1,2)D_{\text{ЭК}}$  и заглублен под минимальный уровень на величину

$$h_{\text{загл}}^{\text{мин}} = (1..3) \frac{V_{\text{вых}}^2}{2g},$$

где  $V_{\text{вых}}^2$  – скорость потока на выходе из напорного трубопровода. Это заглубление должно быть не менее 5...10 см.

С целью обеспечения плавного (без гидравлического прыжка) сопряжения потока, вытекающего из трубопровода, с водой, находящейся в бассейне, устраивается водобойный колодец, минимальная глубина воды в котором определяется по уравнению

$$H_{\text{кол}}^{\text{мин}} = D_{\text{вых}} + h_{\text{загл}}^{\text{мин}} + P,$$

где  $P$  принимается равным не более 0,2 м.

Глубина этого колодца будет равна:

$$h_p = H_{\text{кол}}^{\text{мин}} - h_{\text{кан}}^{\text{мин}},$$

где  $h_{\text{кан}}^{\text{мин}}$  – минимальная глубина воды в отводящем канале, которая определяется гидравлическим расчетом.

Длину колодца приблизительно можно определить по формуле

$$L_{\text{кол}} = K h_{\text{загл}}^{\text{мин}},$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от формы порога и его величины, определяется из таблицы 13.1

Т а б л и ц а 13. 1.      Значения коэффициента  $K$

$K_d = h_p / D_{\text{вых}}$	Коэффициент $K$ для порога	
	наклонного	вертикального
0,5	6,5	4,0
1,0	5,8	1,6
1,5	–	1,0
2,0	–	0,85
2,5	–	0,85

Из рис. 13.1 видно, что ширина колодца  $B_{\text{кол}} = D_{\text{вых}} + 2v$ , где  $v$  – конструктивный запас, принимается равным 0,25 . . . 0,3 м.

Суммарная длина переходной части и длина крепления определяется по формуле

$$l_{\text{пер}} + l_{\text{кр}} = (4 \dots 5) h_{\text{кан}}^{\text{max}},$$

где  $h_{\text{кан}}^{\text{max}}$  – максимальная глубина воды в канале, определяемая гидравлическим расчетом при максимальной подаче насосной станции.

Конфигурация переходной части зависит от отношения ширины водовыпускного сооружения  $B_6$  и ширины по дну отводящего канала  $B_k$ . При равенстве этих величин скорость воды в канале и на выходе из водовыпуска будут одинаковыми, что создает благоприятные условия протеканию потока.

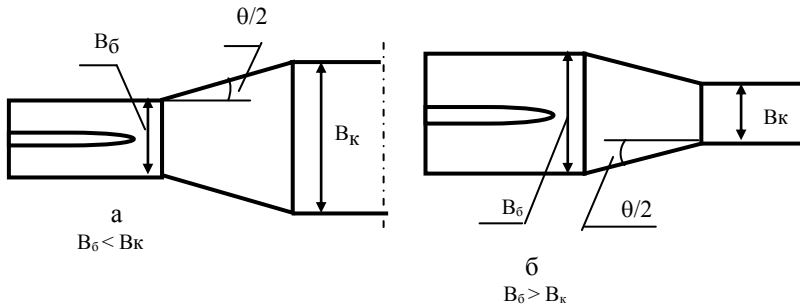


Рис. 13. 2. Схемы сопряжения водовыпускного сооружения с отводящим каналом.

При неравенстве ширины водовыпуска и канала (рис. 13.2) благоприятные условия создаются путем назначения величины центрального угла конусности  $\theta$ , который для схемы а принимается в пределах  $30 \dots 40^\circ$ , а для схемы б –  $40 \dots 50^\circ$ .

Толщина бычка  $\delta$  принимается равной  $0,6 \dots 0,8$  м. Чем больше максимальная глубина воды в колодце сооружения, тем большее значение имеет  $\delta$ .

### 13.3 Водовыпуск-вододелитель

Конструкция водовыпуска-вододелителя представлена на рис. 13.3. Это водовыпускное сооружение отличается от прямоточного тем, что поток, выходящий из напорных трубопроводов, делится на две части при открытии соответствующих затворов. От данного сооружения может отходить и большее количество отводящих каналов.

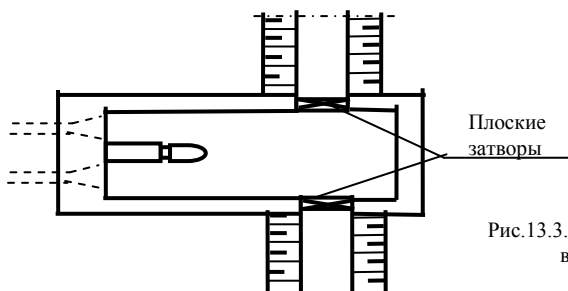


Рис.13.3. Схема водовыпуска-вододелителя.

### 13.4 Водовыпуск прямооточного типа с резервуаром-водосливом

Схема такого сооружения приведена на рис. 13.4. Из рисунка видно, что железобетонное тело водовыпуска 1 располагается в котловане, который сопрягается с отводящим каналом. Напорные трубы выходят в резервуары 2, верх стенок которых расположен на максимальной отметке уровня воды в отводящем канале. При минимальном уровне воды в канале отметка воды в резервуарах при работе насосов остается на уровне верха стенок, через который происходит ее перелив, а при остановке насосов резервуары освобождаются от воды, но ее излив из канала в резервуар невозможен.

Таким образом, резервуары-водосливы служат в качестве запорных устройств, предотвращающих обратный ток воды.

В связи с тем, что поток воды, переливаясь через стенку резервуара-водослива, должен плавно сопрягаться с водой в канале (особенно при ее минимальном уровне), необходимо устраивать гасители в виде искусственной шероховатости 3 и водобойной стенки 4 (рис.13.4).

Диаметр напорной трубы на выходе  $D_{\text{вых}} = (1,1 \dots 1,2) D_{\text{эк}}$ , где  $D_{\text{эк}}$  – экономически наиболее выгоднейший диаметр напорного трубопровода, определенный на основе технико-экономического расчета. Глубина резервуара  $H_{\text{рез}} = D_{\text{вых}} + a_0$ , где запас  $a_0$  принимается в пределах 0,2...0,3 м.

Длина резервуара  $L_{\text{рез}}$  принимается равной  $4D_{\text{вых}}$ , а высота искусственной шероховатости и водобойной стенки  $C = 0,35h_{\text{кр}}$ , где  $h_{\text{кр}}$  – критическая глубина потока, определяемая по формуле

$$h_{\text{кр}} = 3 \sqrt{\frac{\alpha q^2}{g}}, \text{ где } q = \frac{Q_{\text{max}}}{n2D_{\text{вых}}}. \text{ Здесь } n \text{ – число резервуаров.}$$

Ширина обоих порогов принимается равной  $1,2D_{\text{вых}}$ , а угол  $\beta=60-70^\circ$ .

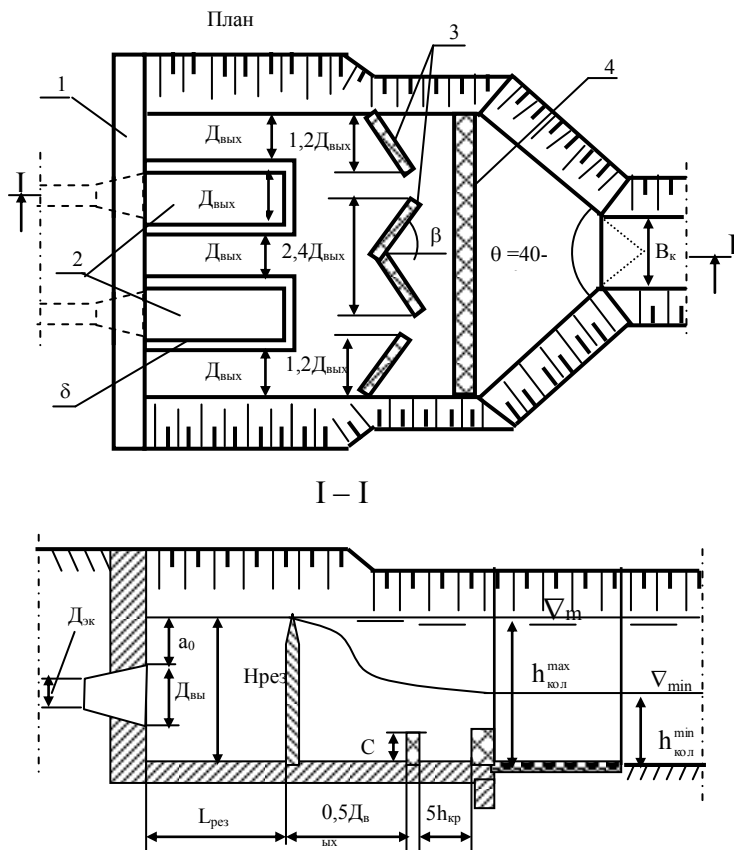


Рис. 13.4. Водовыпуск с резервуаром-водосливом.

Сопряжение водовыпуска с отводящим каналом осуществляется так же, как было описано выше.

### 13.5. Водовыпуски сифонного типа

Этот тип водовыпускных сооружений чаще всего применяется в осушительных насосных станциях, располагаясь с ними раздельно.

Сифонный водовыпуск (рис. 13.5) представляет собой плавно изогнутую трубу, имеющую восходящую 1 и нисходящую 2 ветви, а также горловину 4. Низ горловины превышает максимальный уровень воды в

канале на величину  $\delta = 0,1 \dots 0,15$  м, а в верхней ее части устанавливается клапан срыва вакуума 3.

При пуске насоса вода, поднимаясь вверх по напорной трубе, вытесняет из нее воздух, который должен выходить через открытый клапан срыва вакуума. После того, как вода заполнит сифон, клапан закрывается и в горловине образуется пониженное давление, которое способствует работе насоса. При остановке насоса вода по восходящей ветви стремится двигаться вниз к насосу, а по нисходящей – вниз к бассейну. Это становится возможным, если в этот момент откроется клапан и впустит в горловину воздух. Если же клапан будет закрыт, то сифон станет тянуть воду из бассейна, направляя ее к насосу, что недопустимо. Следовательно, клапан срыва вакуума является наиболее ответственной частью водовыпуска сифонного типа.

Этот тип водовыпуска имеет некоторые преимущества, заключающиеся в следующем:

- отсутствие затворов и бычков, разделяющих камеры;
- надежность и автоматичность работы;
- практическое отсутствие гидравлических сопротивлений из-за создания вакуума в горловине;
- относительно малая стоимость, так как нет бетонных элементов.

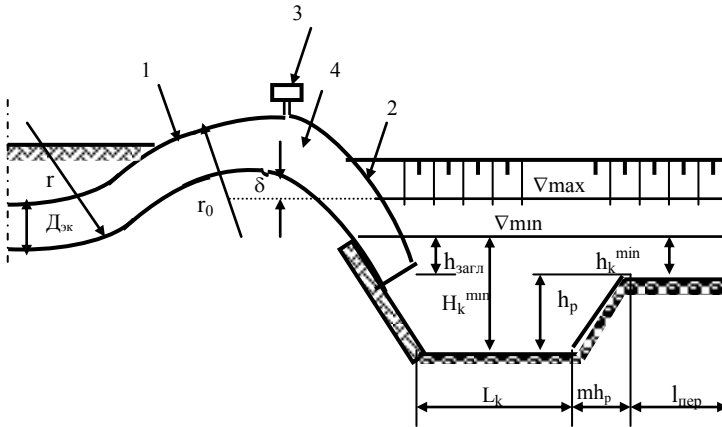


Рис. 13.5. Сифонный водовыпуск.

Расчет сифонного водовыпуска начинается с определения диаметра на выходе, так как конец нисходящей ветви может постепенно расши-

ряться для того, чтобы выходная скорость не превышала 1 м/с. Заглубление верхней кромки выхода под минимальный горизонт определяется по формуле

$$h_{\text{загл}} = (2..3) \frac{V_{\text{в}}^2}{2g},$$

где  $V_{\text{в}}$  – скорость воды на выходе из сифона.

Длину колодца можно принять  $L_{\text{к}} = (1,5..2)D_{\text{вых}}$ ,

где  $D_{\text{вых}}$  – диаметр трубы на выходе.

Радиусы закругления труб  $r = (1,5..2)D_{\text{эк}}$  и  $r_0 = (2..3,5)D_{\text{эк}}$ ,

где  $D_{\text{эк}}$  – диаметр трубы сифона.

Размеры водобойного колодца (бассейна) определяются также как и при расчете водовыпуска прямоточного типа. Его ширина определяется по формуле

$$B_{\text{бав}} = v(n - 1) + D_{\text{вых}},$$

где  $v$  – расстояние между осями напорных трубопроводов;

$n$  – количество сифонов, впадающих в бассейн.

### 13.6 Плановая система технической эксплуатации

Для обеспечения экономичной, надежной и безаварийной подачи воды в соответствии с графиком водопотребления создается плановая система технической эксплуатации (ПСТЭ) насосной станции. Непосредственное создание и реализация ПСТЭ входит в обязанности директора станции или начальника мелиоративного участка.

ПСТЭ предусматривает: наблюдение и уход за оборудованием и их своевременный ремонт; соблюдение правил и инструкций технической эксплуатации; выявление и анализ причин внеплановых ремонтов, поломок и аварий; своевременное обеспечение запасными частями, инструментами и оборудованием для ремонтных работ; изучение работы сооружений и оборудования, проведение необходимых испытаний и исследований; точный учет работы агрегатов и оперативную отчетность в работе станции; соблюдение техники безопасности и противопожарных мероприятий; всемерное поощрение инициативы обслуживающего персонала.

Создание ПСТЭ начинается с комплектования технической и эксплуатационной документации. В *техническую* документацию входят:

- исполнительные чертежи сооружений и оборудования;
- паспорт насосной станции;
- принципиальные и монтажные схемы и заводская техническая

- документация на все его виды;
- комплект технических инструкций по эксплуатации оборудования;
- протоколы испытаний аппаратуры и оборудования .

Если насосная станция ранее была в эксплуатации, то к вышеперечисленным документам добавляются журналы осмотра и текущего ремонта сооружений, гидротехнического и силового оборудования.

В состав *эксплуатационной* (оперативной) документации входят:

- оперативный журнал насосной станции;
- должностные инструкции оперативного персонала;
- журнал учета аварий и брака в работе;
- график работы дежурного персонала;
- журнал заявок на остановку и профилактический ремонт оборудования;
- журнал распоряжений и телефонограмм.

Приведенные перечни технической и эксплуатационной документации могут изменяться в зависимости от мощности и типа насосной станции, а также условий ее эксплуатации.

Вторым этапом реализации ПСТЭ является составление планов капитальных и текущих ремонтов и их выполнение; контроль за обеспеченностью ремонтных работ материалами, запасными частями, инструментами и приспособлениями и своевременное составление заявок на них; наблюдение за ремонтными работами, проверка их качества, участие в приеме отремонтированных объектов; обеспечение техники безопасности и охраны труда на ремонтных работах; учет работы и отчетность о готовности насосной станции к предстоящему рабочему сезону.

Следующий этап подготовки к рабочему сезону заключается в составлении годовой сметы расходов на эксплуатацию, которая утверждается вышестоящим руководителем. Для составления сметы необходимо иметь график водопотребления и водозенергетический расчет, которые позволяют получить следующие прогнозные показатели:

- суммарное количество часов работы насосной станции ( $\Sigma T_{\text{раб}}$ );
- общее количество затраченной электроэнергии ( $\Sigma \mathcal{E}$ );
- суммарный объем поднятой воды ( $\Sigma W$ );
- общее количество выполненной работы, выраженное в тонно-метрах поднятой воды ( $\Sigma WH$ ).

Годовая смета расходов на эксплуатацию включает следующие статьи затрат:

1. Амортизационные отчисления на капитальный ремонт и восстановление, которые определяются как доля от стоимости основных фондов ( капитальных вложений).

2. Затраты на текущий ремонт (также берутся в процентах от капитальных вложений в соответствии с установленными нормами).

3. Стоимость электроэнергии, затраченной на подъем воды за рабочий сезон (определяется путем умножения количества затраченной электроэнергии, определенной в водоэнергетическом расчете, на стоимость 1 кВт·ч).

4. Стоимость электроэнергии, затраченной на собственные нужды насосной станции ( составляет 1...3% от стоимости электроэнергии на подъем воды).

5. Затраты на содержание обслуживающего персонала, которые берутся в зависимости от типа насосной станции и ее мощности.

6. Затраты на топливо, смазочные материалы, транспорт и др. (составляют 8. . . 10 % от суммы предыдущих затрат).

В задачу начальника станции входит проведение рабочего сезона так, чтобы все затраты, которые возникнут во время работы, не выходили за пределы суммы, определенной сметой. Работа насосной станции будет хорошей тогда, если удастся затратить денег на эксплуатацию меньше, чем предусмотрено сметой. Этого можно добиться путем совершенствования технологических процессов, улучшением ухода за сооружениями и оборудованием, уменьшением потерь воды, снижением затрат энергии на собственные нужды, внедрением автоматизации и т.д.