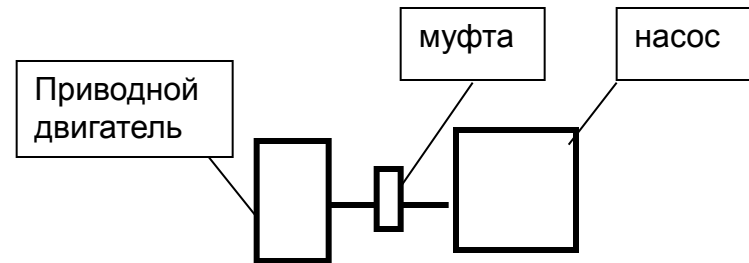


ОБЪЕМНЫЕ НАСОСЫ

Основные понятия и определения.

Система энергетической установки – это совокупность специализированных трубопроводов с механизмами, аппаратами, приборами и устройствами, предназначенных для выполнения определенных функций обеспечения эксплуатации энергоустановки.

Насос – машина предназначенная для перекачки жидкости и передачи энергии от приводного двигателя потоку жидкости.



Насосный агрегат – совокупность приводного двигателя, соединительной муфты и насоса.

ПОДАЧА НАСОСА (Q) – количество жидкости перекачиваемой насосом в единицу времени ($\text{м}^3/\text{час}$; $\text{м}^3/\text{с}$) –это объемная подача.

Массовая подача – $Q_M = \rho \cdot Q$

НАПОР НАСОСА (H) - это приращение механической энергии, получаемое весовой единицей жидкости, проходящей через насос.

$$H = \frac{P_K - P_H}{\rho \cdot g} \quad \text{М.ВОД.СТ}$$

ДАВЛЕНИЕ НАСОСА (P) – это приращение механической энергии, получаемое единицей объема жидкости, проходящей через насос.

$$P = P_K - P_H \quad \text{Па}$$

Связь напора и давления: $P = \rho g H$

Из анализа размерности давления

$$\text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{1}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$$

Из анализа размерности напора

$$H = \frac{P}{\rho g} \quad P - (\text{Па}); \quad \rho - (\text{кг/м}^3); \quad g - (\text{м/с}^2)$$

$$H = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} : \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{м}$$

МОЩНОСТЬ НАСОСА · (N):

-мощность – мощность, потребляемая насосом от электродвигателя

$$N = N_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{эд}} \text{ кВт}$$

$$N_{\text{эд}} = I \cdot U \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$$

-полезная мощность – мощность, сообщаемая насосом перекачиваемой жидкости

$$N_{\text{п}} = Q \cdot P \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$$

К.П.Д. НАСОСА (η) – отношение полезной мощности к мощности насоса

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{эд}}}$$

Вакуумметрическая высота всасывания – это разность между атмосферным давлением p_a и давлением на входе в насос p_B , т.е.

$$H_B = (p_a - p_B) / \rho g$$

Высота всасывания ограничивается минимальным абсолютным давлением $p_{B \min}$, возникающим в области входа в насос, которое должно быть больше давления p_n насыщенного пара перекачиваемой жидкости, т.е. $p_{B \min} > p_n$. В противном случае жидкость в местах возникновения минимального давления вскипит, и нормальная работа насоса нарушится. В процессе эксплуатации вакуумметрическая высота всасывания может изменяться, однако она не должна превышать допустимого значения $H_{B \text{ доп}}$ по ТУ.

Насосная установка – совокупность насосного агрегата, обвязки трубопроводов с запорной арматурой и контрольно – измерительной аппаратурой

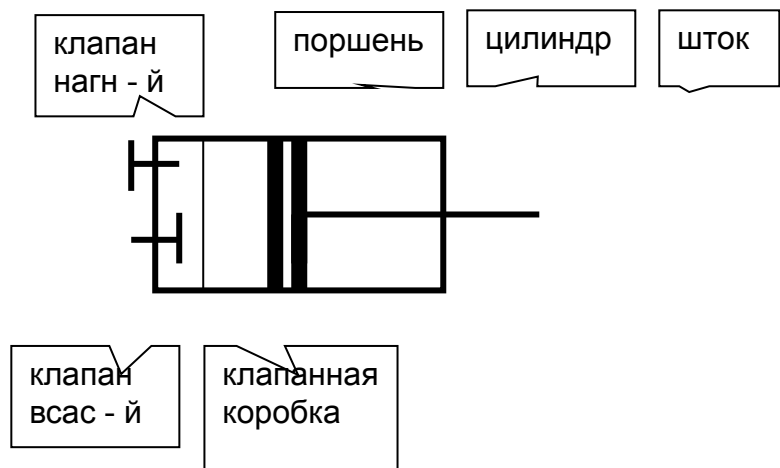
Объемными насосами – называются насосы у которых приращение энергии перекачиваемой жидкости происходит за счет изменения объема рабочих камер, которые периодически сообщаются с входом и выходом насоса

К объемным насосам относятся: поршневые (плунжерные) с поступательным движением тела вытеснения, а также шестеренные и винтовые с вращательным движением тела вытеснения.

Поршневой насос – это возвратно-поступательный насос, у которого рабочие органы выполнены в виде поршней. Поршневые насосы предназначены для работы в тех системах, в которых требуется создавать большие напоры при небольших подачах.

Простейший поршневой насос имеет цилиндр в котором помещается поршень со штоком для соединения с цилиндром. Цилиндр сообщается с клапанной коробкой в которой находятся всасывающий и нагнетательный клапана. К клапанной коробке присоединяются приемный и напорный трубопроводы.

Пространство в цилиндре между поршнем и клапанами является рабочей камерой объем которой зависит от положения поршня.

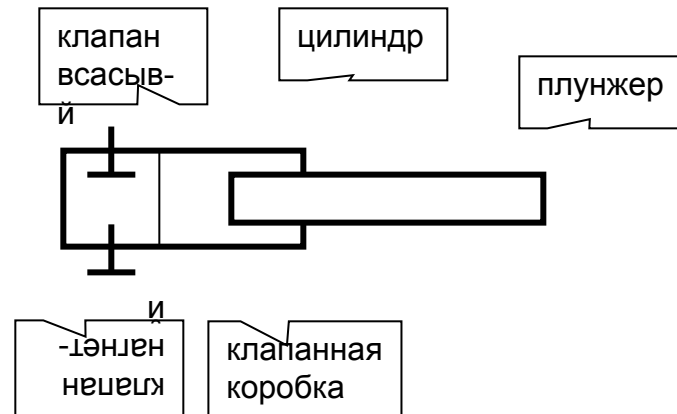


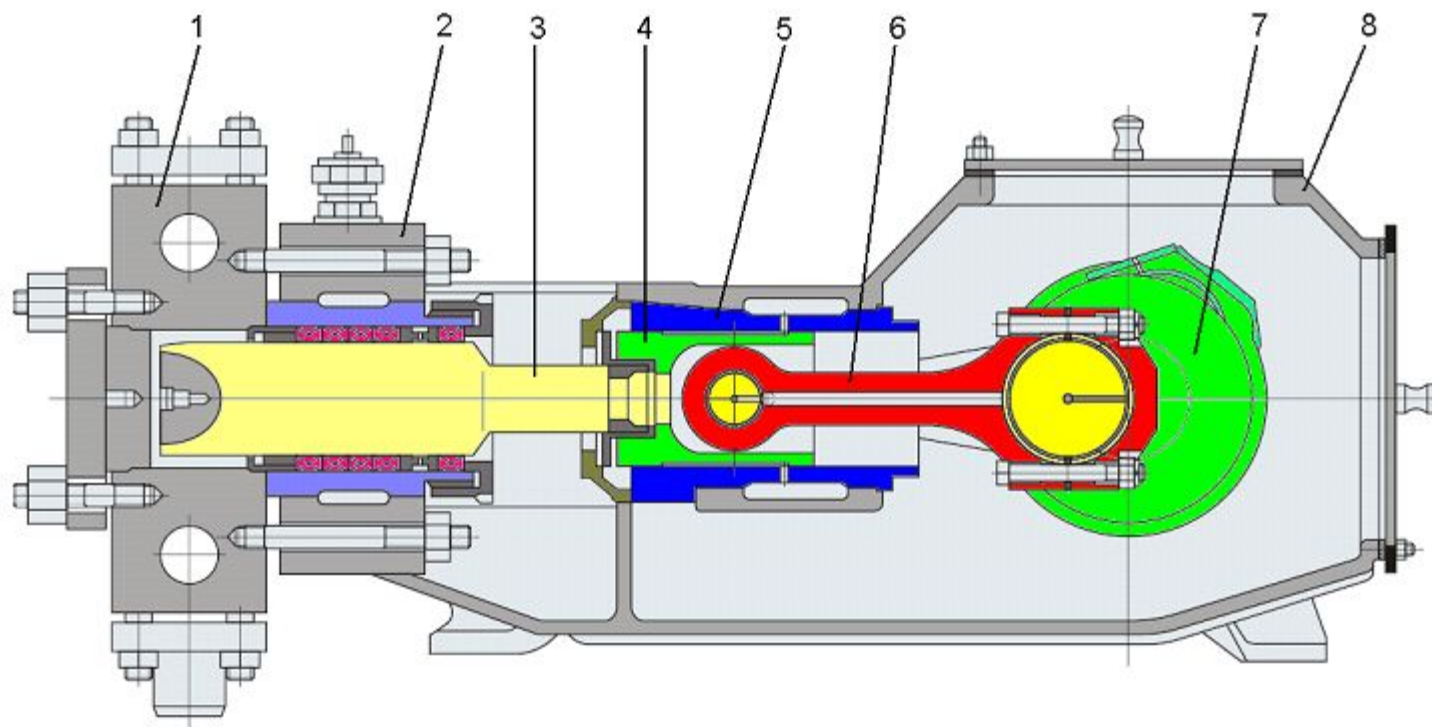
Простейший поршневой насос

Процесс всасывания происходит при перемещении поршня от крайнего левого положения к правому положению. Увеличение объема рабочей камеры сопровождается падением давления в цилиндре ниже давления в приемном трубопроводе. При этом открывается всасывающий клапан и жидкость поступает в рабочую камеру. Процесс нагнетания происходит при обратном перемещении поршня. Уменьшение объема рабочей камеры сопровождается передачей энергии от поршня к жидкости и повышением давления в цилиндре насоса. При этом всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный открывается, и жидкость вытесняется поршнем в напорный трубопровод.

Процессы всасывания и нагнетания за один двойной ход поршня составляют рабочий цикл поршневого насоса.

Плунжерный насос аналогичен поршневому и отличается тем, что в нем вместо поршня применяется утолщенный шток. Это вызвано тем, что поршень не держит высокое давления в цилиндре из-за не плотности поршневых уплотнительных колец. Применение утолщенного плунжера позволяет иметь давление в напорном трубопроводе до 200 кгс/см²





1 – рабочая камера; 2 – корпус гидравлической части; 3 – шток; 4 – ползун; 5 – направляющая; 6 – шатун; 7 – коленчатый вал; 8 – корпус приводной части (станина)

Состав поршневого насоса АЭС:

приводной двигатель;
механическая часть

– предназначена для преобразования вращательного движения быстроходного электродвигателя в приемлемое возвратно-поступательное движение поршня.

гидравлическая часть.

Состав механической части:

1.редуктор:

- червяк;

- червячное колесо;

2.коленчатый вал

3.шатун;.

4. ползун;

5. шток.

Состав гидравлической части:

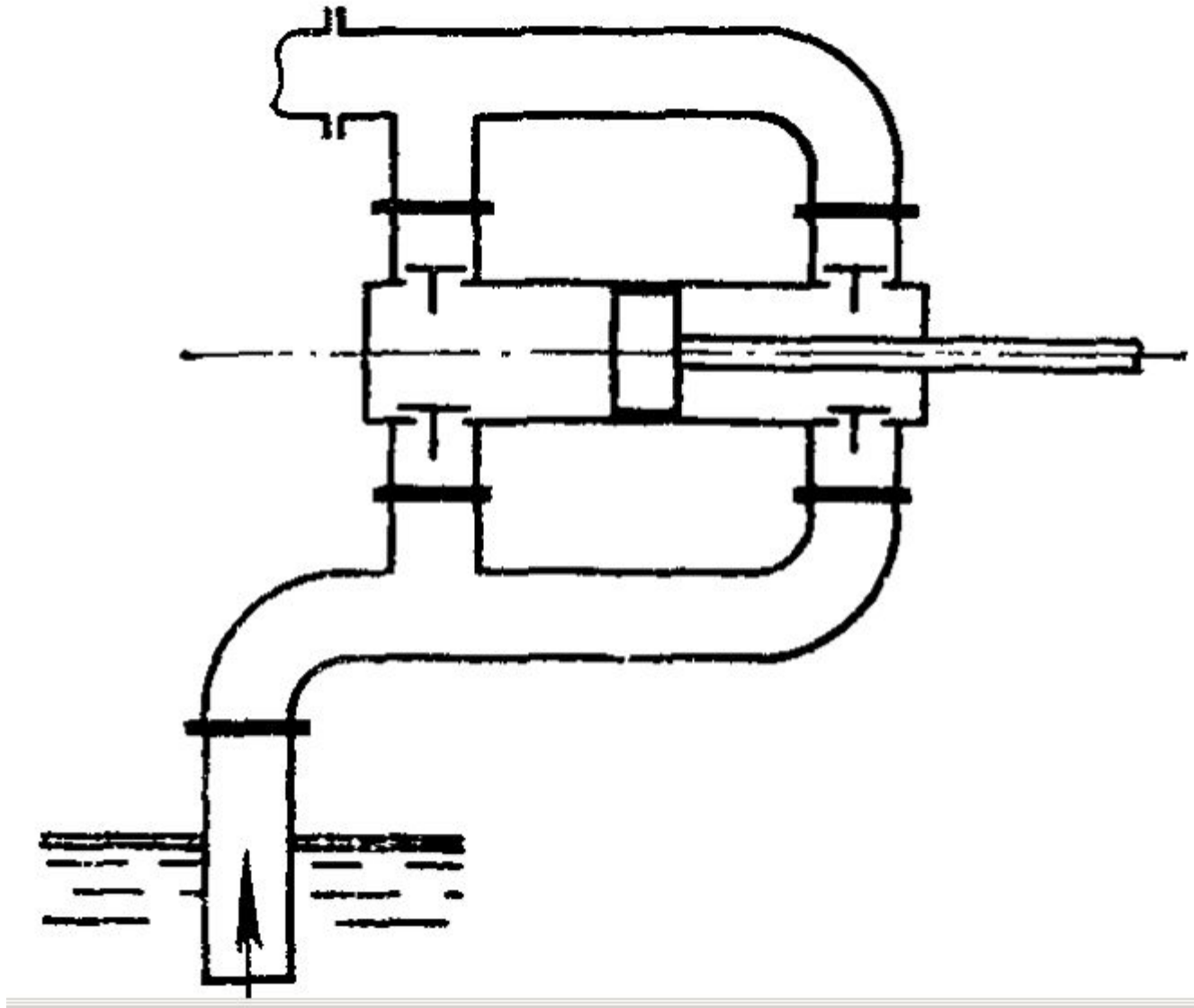
1. цилиндр;

2. поршень (плунжер);

3. клапан всасывающий;

4. клапан нагнетательный;

5. клапан предохранительный.



Классификация

По расположению цилиндров в пространстве насосы делятся на вертикальные и горизонтальные.

Насосы могут быть однопоршневые, двухпоршневые, трехпоршневые и многопоршневые с числом поршней больше трех.

По числу рабочих камер в цилиндре различают насосы одностороннего и двухстороннего действия. Насос двустороннего действия имеет две рабочие камеры, расположенные по обеим сторонам поршня.

По кратности действия различают однократного, двухкратного и многократного действия. Кратность действия i определяется числом рабочих камер насоса.

1. Основы теории поршневого насоса.

Подача насоса – количество жидкости, подаваемой насосом в единицу времени через напорный патрубок.

$$\text{подача} - Q_t = \frac{\pi D^2}{4} S \frac{n}{60} \text{ м}^3/\text{с}$$

D – диаметр цилиндра;

S – ход поршня;

n – частота вращения коленчатого вала

$$\text{Давление} - P = P_k - P_n \text{ Па}$$

2.2. Основы теории поршневого насоса.

Подача насоса – количество жидкости, подаваемой насосом в единицу времени через напорный патрубок.

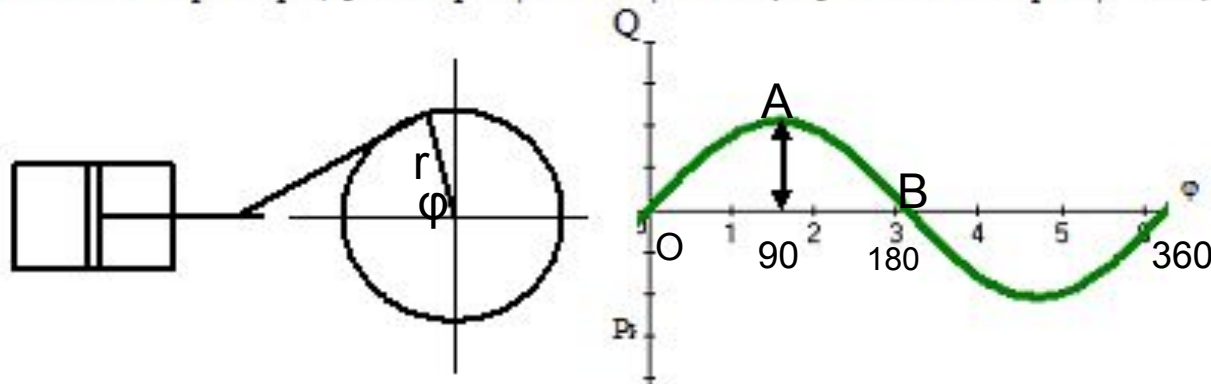
Мгновенная подача – $Q = F r \omega \sin \varphi$

F – площадь поршня (м^2);

r – радиус кривошипа, (м);

$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ – угловая скорость

Подача поршневого насоса неравномерна. Закономерность изменения подачи имеет синусоидальный характер ($Q = 0$ при $\varphi = 0$ и $\varphi = 180^\circ$; $Q_{t \max} = F r \omega$ при $\varphi = 90^\circ$).



При повороте кривошипа на угол от 180° до 360° осуществляется процесс всасывания.

Площадь под синусоидой OAB графика подачи представляет объем жидкости, подаваемой насосом в процессе нагнетания при повороте кривошипа на угол от 0 до π .

Объем V , определяет количество жидкости, подаваемой насосом однократного действия за один двойной ход поршня (за один оборот вала кривошипа). Площадь $OABO$ можно представить равновеликой площадью прямоугольника $ODEMO$, высота которого будет определять *среднюю теоретическую подачу* насоса:

$$Q_{\varphi} = \frac{V_i n}{60} = \frac{2Frn}{60}$$

Учитывая, что $n = \frac{30\omega}{\pi}$, получим

$$Q_{t\text{ ср}} = \frac{Fr\omega}{\pi}$$

Средняя подача не зависит от угла φ и является постоянной величиной при $n = \text{const}$.

Отношение максимальной мгновенной подачи $Q_{t\text{ max}}$ к средней подаче $Q_{t\text{ ср}}$ называется *степенью неравномерности насоса ε* :

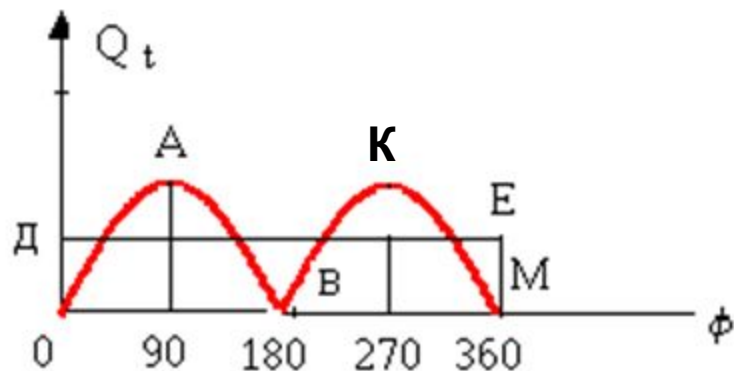
$$\varepsilon = \frac{Q_{t\text{ max}}}{Q_{t\text{ ср}}}$$

Для насоса однократного действия степень неравномерности подачи

$$\varepsilon_1 = \frac{Fr\omega\pi}{Fr\omega} = \pi.$$

Степень неравномерности подачи уменьшается с увеличением кратности действия насоса.

В насосе двухкратного действия за один оборот кривошипа осуществляется два процесса – всасывания и нагнетания. Графиком подачи насоса двухкратного действия являются синусоиды ОАВ и ВКМ. Максимальная мгновенная подача $Q_{t\text{ max}} = Fr\omega$ обеспечивается при $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi = 270^\circ$.



$$Q_{\text{cp}} = \frac{2FSn}{60} = \frac{2Fr\omega}{\pi}$$

Степень неравномерности подачи уменьшается в два раза:

$$\varepsilon_2 = \frac{Fr\omega\pi}{2Fr\omega} = \frac{\pi}{2} = 1,57.$$

Применяемые поршневые насосы трех- и четырехкратного действия имеют степень неравномерности подачи $\varepsilon_3 = 1,047$ и $\varepsilon_4 = 1,11$.

Неравномерность подачи отрицательно влияет на работу поршневого насоса. При неравномерной подаче неустановившееся движение жидкости приводит к возникновению инерционных сил, которые создают дополнительную нагрузку на кривошипно-шатунный механизм и оказывает влияние на изменение давления под поршнем в период всасывания и нагнетания.

Под кратностью действия поршневого насоса понимают число рабочих ходов (число подач), совершаемых в насосе за один оборот коленчатого вала.

$$K = i \times z$$

K – кратность действия поршневого насоса

i - кратность действия поршня

Z – число поршней

Следовательно:

-однопоршневой насос с поршнем одностороннего действия является насосом однократного действия ($k= 1 \times 1$);

-дифференциальный насос – насос двухкратного действия ($k= 2 \times 1$):

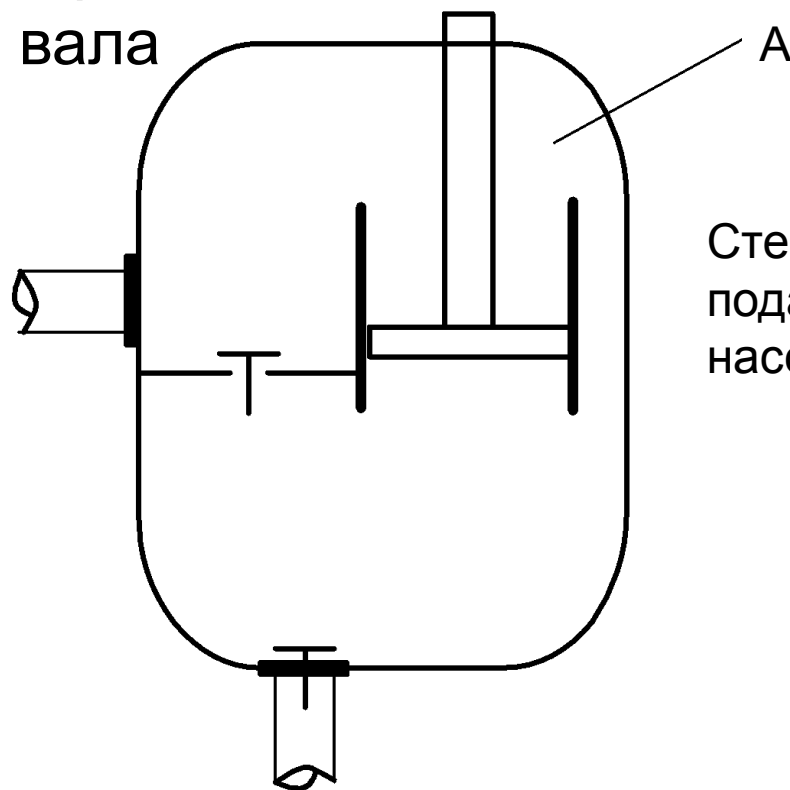
-двухпоршневой насос с поршнями двустороннего действия

- насос четырехкратного действия ($k= 2 \times 2$) и т.д.

Дифференциальный насос имеет утолщенный шток, уплотненный в крышке при помощи сальника.

При движении поршня от верхнего конечного положения к нижнему конечному положению жидкость из цилиндра

вытесняется в освобождающееся над поршнем пространство А и отводящий трубопровод. При движении поршня от нижнего конечного положения к верхнему конечному положению происходит вытеснение жидкости из полости А в отводящий трубопровод и всасывание жидкости из подводящего трубопровода. Таким образом, подача жидкости из цилиндра в отводящий трубопровод разбивается на два хода и не прекращается в течение полного оборота коленчатого вала



Степень неравномерности подачи дифференциального насоса $\varepsilon=1,7$.

Потери энергии и КПД поршневых насосов.

Работа поршневого насоса сопровождается потерями: объемными, гидравлическими и механическими.

Объемные потери возникают из-за протечек жидкости через зазоры в уплотнениях поршней, обратных утечек жидкости, возникающих при запоздании открытия и закрытия клапанов. Величина объемного КПД равна: $\eta_0 = 0,82 - 0,98$.

Гидравлические потери в поршневых насосах незначительны ввиду сравнительно небольшой скорости жидкости в проточных полостях клапанной коробки и в цилиндре, и величина гидравлического КПД равна: $\eta_g = 0,97 - 0,99$.

Механические потери являются затратами мощности на трение между поршнем и стенкой цилиндра, в подшипниках, сальниках, кривошипно – шатунном механизме и редукторе. Величина механического КПД равна: $\eta_m = 0,5 - 0,6$.

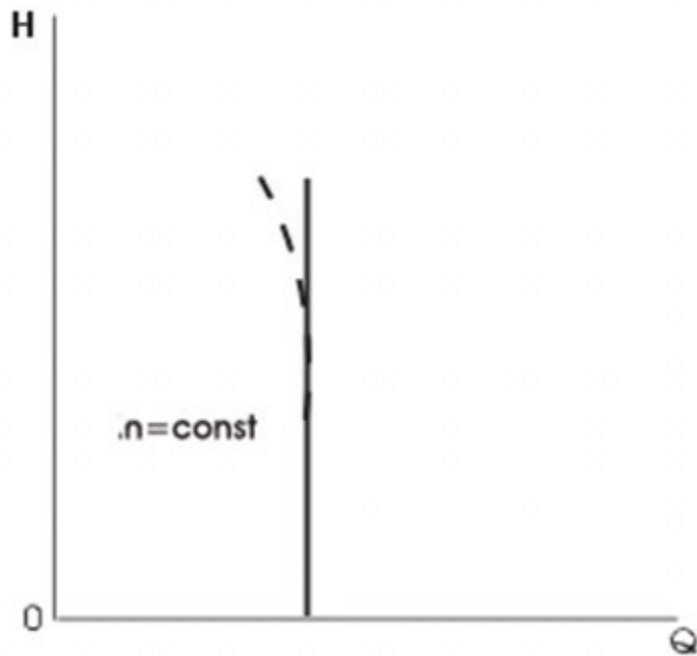
Общий КПД поршневого насоса находится в пределах: $\eta = 0,5 - 0,95$.

Характеристики ПН

Для оценки работы поршневых насосов на режимах, отличающихся от номинального, используют различные характеристики, получаемые при испытании насоса.

У поршневого насоса подача теоретически не зависит от создаваемого им напора. В действительности с увеличением напора происходит незначительное уменьшение подачи, что объясняется возрастанием протечек жидкости в насосе.

а)



б)

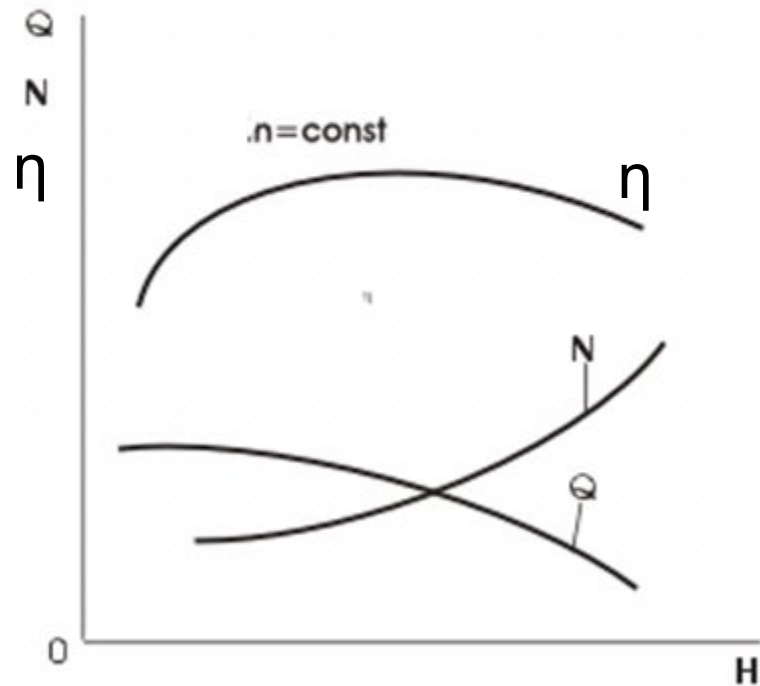




Рис. Характеристики поршневого насоса

На рисунке  а сплошной линией показана теоретическая характеристика, пунктирной линией – действительная характеристика «Q – H» поршневого насоса при постоянной частоте вращения n. Из рисунка видно, что поршневые насосы обладают жесткой характеристикой, что очень ценно при использовании их для перекачивания жидкостей с меняющейся в зависимости от температуры вязкостью.

На рисунке  б представлены кривые зависимости подачи Q, потребляемой мощности N и КПД насоса η от напора H при постоянной частоте вращения. Характеристика η - H показывает, что КПД насоса близок к постоянному в широком диапазоне изменения напора H. Он заметно снижается лишь при чрезмерно высоких значениях H вследствие уменьшения полезной мощности. Мощность N с увеличением напора H равномерно возрастает. Из характеристик можно видеть, что поршневой насос, почти не снижая подачи, способен практически одинаково работать при широком диапазоне изменения напора.

Большое практическое значение имеют характеристики, выражающие зависимость подачи насоса от вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{вак}}$. Характеристику Q – $H_{\text{вак}}$ получают во время испытаний насоса при постоянной частоте вращения и постоянном давлении нагнетания. Она позволяет не только судить об изменении подачи Q с ростом вакуума в рабочей камере насоса, но и установить максимально возможную высоту всасывания при данной частоте вращения.

В качестве примера на рис. представлены кривые характеристики Q – $H_{\text{вак}}$, построенные по результатам испытаний насоса ЭНП на холодной воде при постоянном давлении нагнетания и частоте вращения коленчатого вала, равной 40, 70, 105 и 120 об/мин.

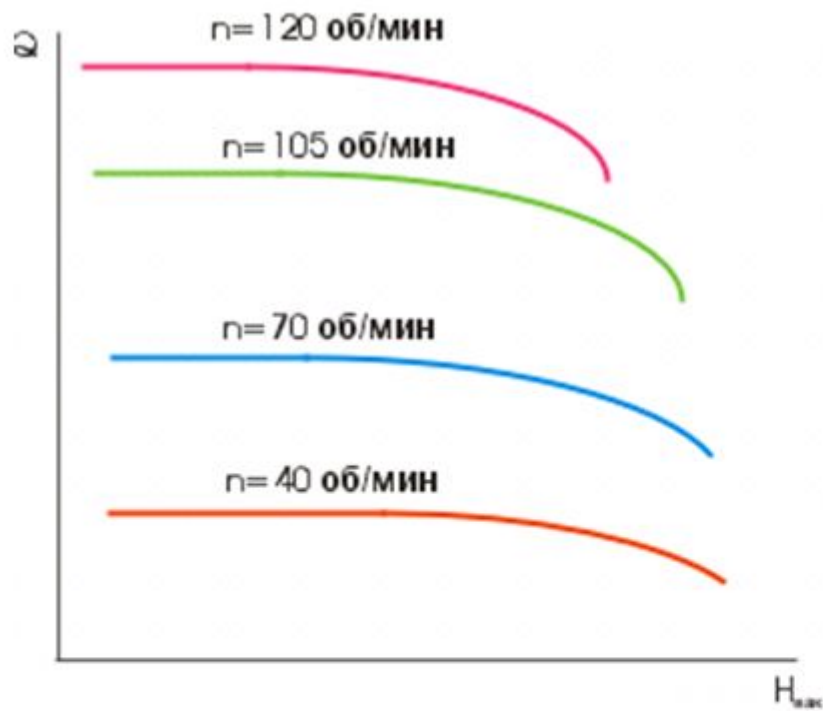


Рис. Характеристика $Q - H_{\text{вак}}$ поршневого насоса

Характеристика показывает, что до наступления кавитации подача насоса при данных значениях n остается постоянной, причем с повышением частоты вращения срыв подачи наступает раньше. Работа насоса в срывной части характеристики сопровождается сильной вибрацией и шумом.

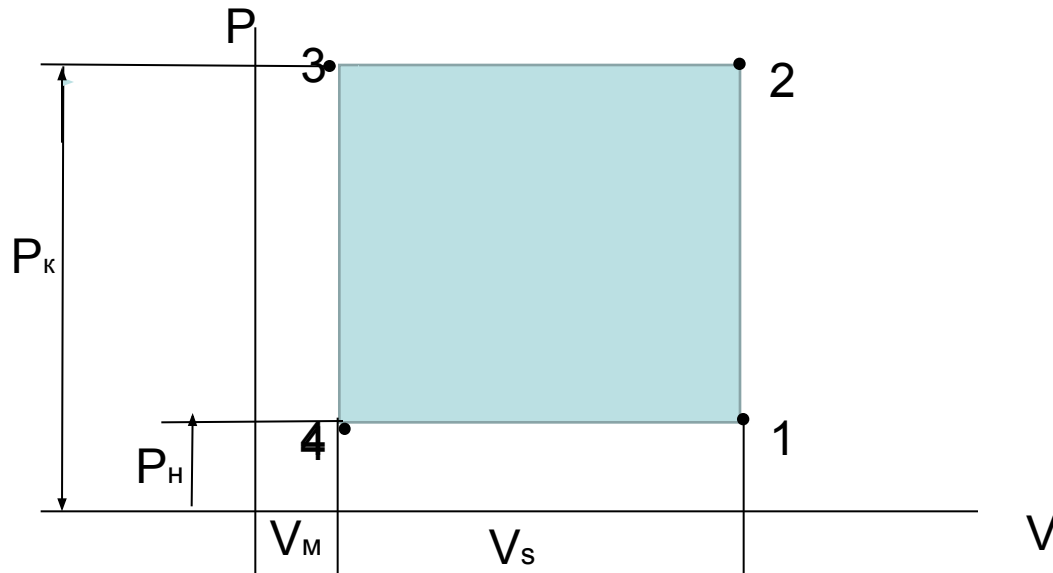
Индикаторная диаграмма работы поршневого насоса

Основной целью исследования работы поршневого насоса является определение работы, затрачиваемой на создание напора и подачи, условий, определяющих расчет на прочность отдельных деталей, гидравлической нагрузки и мощности приводного двигателя.

Представим процессы, происходящие в цилиндре поршневого насоса простого действия, в координатах $p-v$. При рассмотрении теоретических процессов сделаем допущения:

- параметры состояния жидкости в процессе всасывания и нагнетания остаются постоянными;
- жидкость является идеальной;
- отсутствуют протечки жидкости через неплотности;
- наполнение цилиндра происходит под действием атмосферного давления;
- вся энергия двигателя превращается в полезную работу.

Эти допущения позволяют идеализировать реальные процессы, происходящие в цилиндра поршневого насоса. С учетом допущений на рисунке представляем теоретические процессы, происходящие в цилиндре **идеального** поршневого насоса.



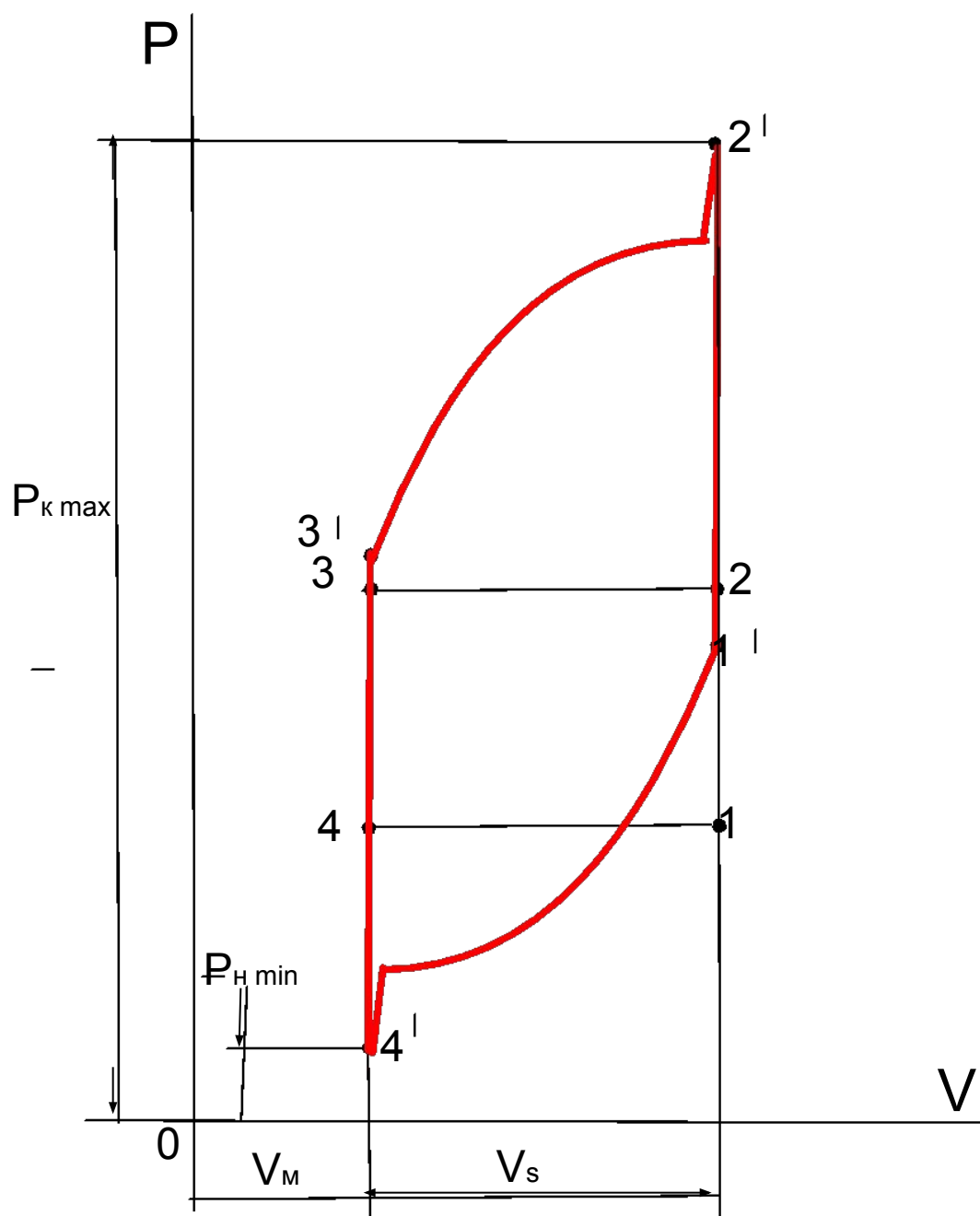
Теоретическая индикаторная диаграмма работы поршневого насоса

Точка 4 в координатах p - v соответствует крайнему левому положению поршня. В этот момент всасывающий и нагнетательный клапан закрыты. При движении поршня вправо объем цилиндра увеличивается и в цилиндр под постоянным давлением P_n начинает поступать жидкость через открывшийся всасывающий клапан. На чертеже процесс 4 - 1 – всасывание. Когда поршень достигнет крайнего правого положения и начнет движение обратно, самодействующие клапаны – всасывающий и нагнетательный – под действием давления в цилиндре соответственно закроется и откроется. Давление в цилиндре мгновенно возрастает (процесс 1- 2) до P_k и начинается процесс нагнетания 2 – 3. Процесс нагнетания заканчивается при крайнем левом положении поршня. Поршень в крайнем левом положении вытесняет из цилиндра жидкость в объеме V_s поэтому при обратном движении поршня давление P_k теоретически мгновенно падает до давления всасывания P_n .

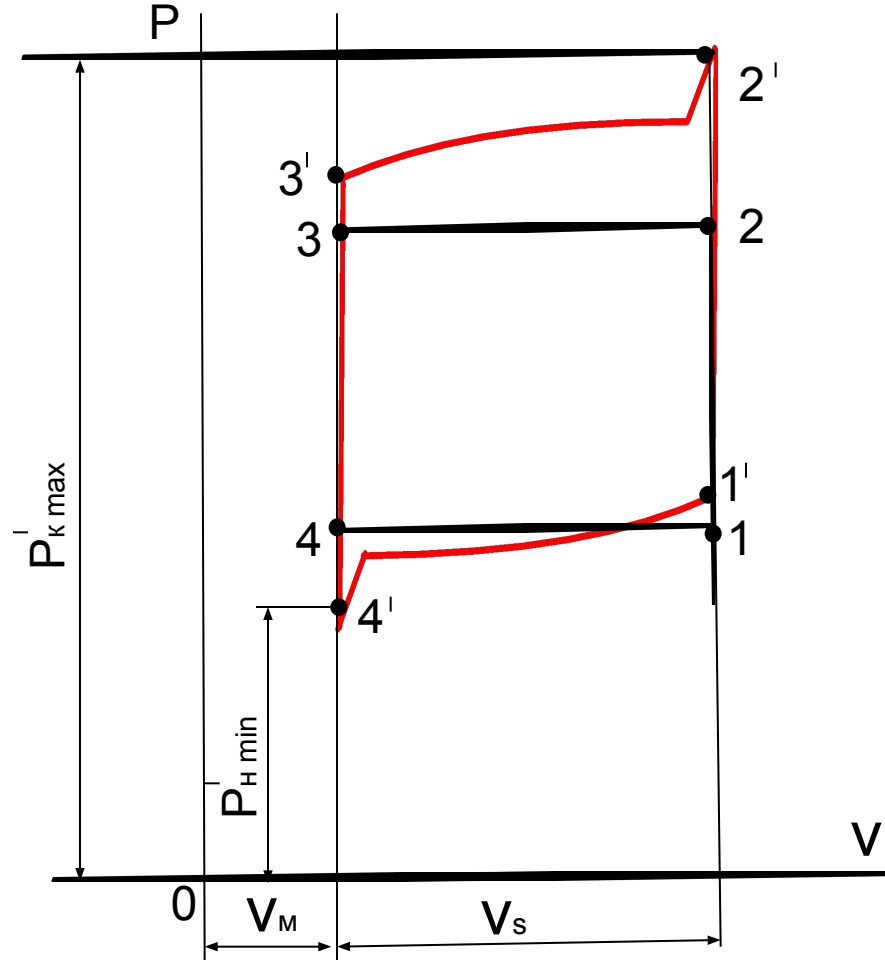
Всасывающий клапан откроется, нагнетательный— закроется и далее повторится рабочий процесс в поршневом насосе.

Таким образом, в координатах P - V мы получили диаграмму, которая ограничена двумя изобарами 4-1 и 2-3 и двумя изохорами 1-2 и 3-4. Такая диаграмма называется **теоретической индикаторной диаграммой**.

На следующем слайде представлена действительная индикаторная диаграмма работы поршневого насоса с учетом изменения давлений под поршнем в период всасывания и нагнетания.



Действительная индикаторная диаграмма работы ПН



Индикаторная диаграмма работы поршневого насоса с воздушными колпаками на подводящем и отводящем трубопроводах

Применение воздушных колпаков приближает диаграмму работы поршневого насоса к теоретической индикаторной программе. Легко видеть, что установка колпаков улучшает всасывающую способность насоса, уменьшает его массогабаритные показатели.

Исследование индикаторных диаграмм работы поршневых насосов позволяет проводить диагностику насоса.

Особенности эксплуатации ПН

Поршневые насосы обладают способностью к сухому всасыванию и большой высотой всасывания. Эта способность позволяет перед пуском насоса не производить заполнение его гидравлической части жидкостью.

Регулирование подачи ПН производится изменением частоты вращения насоса.

Подача ПН практически не зависит от напора, а это значит, что ошибочное закрытие клапана на отводящем трубопроводе или пуск насоса с закрытым клапаном может привести к поломке насоса или отводящего трубопровода.

В период подготовки к работе насоса необходимо провести тщательный осмотр, убедиться в надежности крепления насоса к фундаменту. И прокладки сальника находятся в удовлетворительном состоянии., измерительные приборы исправны, количество и качество масла в системе смазки

соответствуют требованиям к маслу. После осмотра необходимо приготовить систему, открыть клапан на входе и на выходе жидкости, повернуть насос вручную (по возможности) таким образом, чтобы поршни совершили не менее трех двойных ходов. При пуске насоса следует наблюдать за его работой, особое внимание обратить на показания амперметра, мановакуумметра, манометра на системе смазки. Повышенные показания амперметра свидетельствуют о неисправности насоса, повышенное давление в отводящем трубопроводе - о засорении системы, неполном открытии клапанов на отводящем трубопроводе, увеличение вакуумметрической высоты - о засорении фильтра на подводящем трубопроводе. При работе насоса контролируют состояние сальников, их температура, протечки, которые не должны превышать установленных норм, температура масла в системе. Необходимо делать записи в журнале о параметрах и т.д.

Остановка насоса производится остановкой приводного двигателя, после чего закрываются клапана на трубопроводах. Производят осмотр, устранение неисправностей и приводят насос в состояние немедленной готовности к действию.