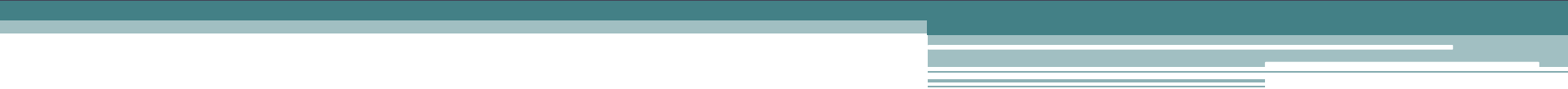


Энергосиловое оборудование промышленных предприятий



Лекция 6. Нагнетательные машины

Нагнетатели

Нагнетатели – машины, служащие для перемещения жидкости и газов и повышения их потенциальной и кинетической энергии.

В зависимости от *вида перемещаемого рабочего тела* нагнетательные машины делятся на две большие группы:

- **насосы** – машины, подающие жидкости;
- **вентиляторы и компрессоры** – машины, подающие воздух и технические газы (характеризуются *степенью повышения давления* ε_p – отношением давления газовой среды на выходе из машины к давлению ее на входе).

Вентилятор – машина, перемещающая газовую среду при степени повышения давления $\varepsilon_p < 1,15$.

Компрессор – машина, сжимающая газ с $\varepsilon_p \gg 1,15$ и имеющая искусственное (обычно водяное) охлаждение полостей, в которых происходит сжатие газов.

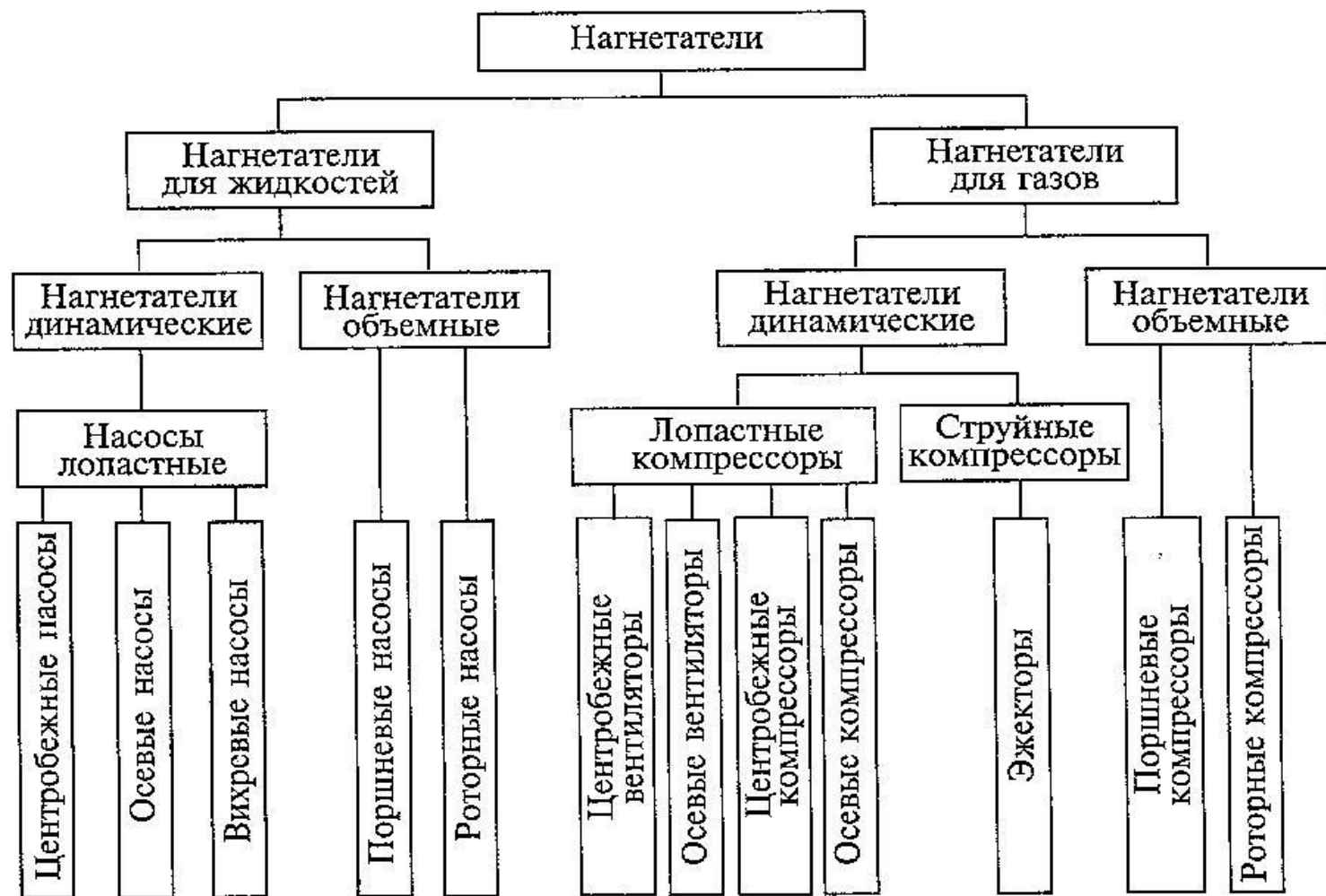
Насосы (согласно ГОСТ 17398–72) подразделяются на две основные группы: *насосы динамические* и *объемные*.

В *динамических* передача энергии жидкости (газу) происходит путем работы массовых сил потока в полости, постоянно соединенной со входом и выходом нагнетателя.

В *объемных* повышение энергии рабочего тела достигается силовым воздействием твердых тел (например, поршня), периодически соединяемым при помощи клапанов со входом и выходом нагнетателя.

Классификация нагнетателей

Классификация нагнетателей может производиться по конструктивным признакам, давлению, развиваемому машиной, назначению в технологическом процессе



Динамические нагнетатели

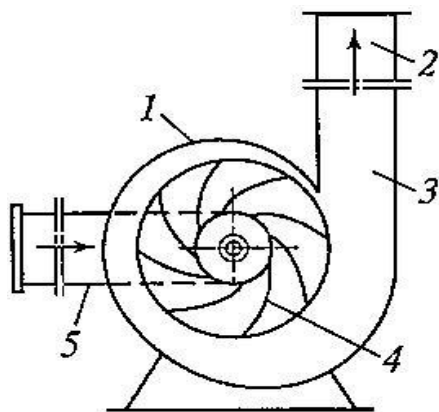
По принципу действия **динамические нагнетатели** делятся на *центробежные, осевые и вихревые*.

Центробежные имеют улиточный корпус, внутри консольно закреплено рабочее колесо с лопатками. Передача энергии осуществляется центробежными силами:

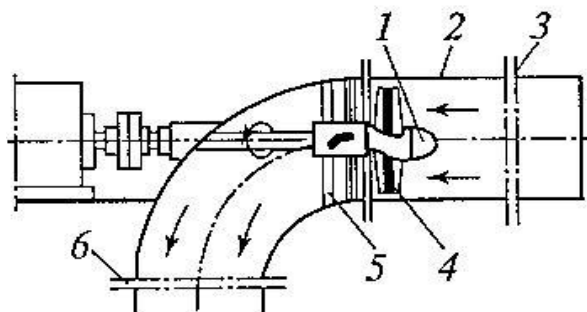
$F_{ц.с} = m \omega^2 R$ [Н], где m – масса, кг; ω – угловая скорость, 1/сек; R – радиус, м.

Осевые имеют колесо с рабочими лопатками, насаженными под углом к оси вращения. При вращении лопатки передают энергию рабочему телу и перемещают его.

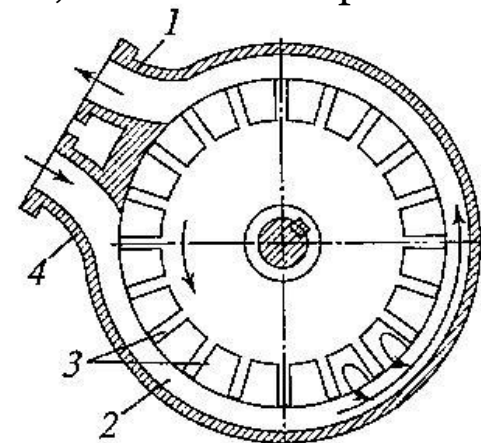
Вихревые имеют концентрично расположенное колесо с плоскими радиальными лопатками. Рабочее тело совершает сложное вихревое движение, повышая энергию.



Центробежный нагнетатель:
1 – корпус; 2 – трубопровод;
3 – напорный патрубок; 4 – лопатки; 5 – патрубок



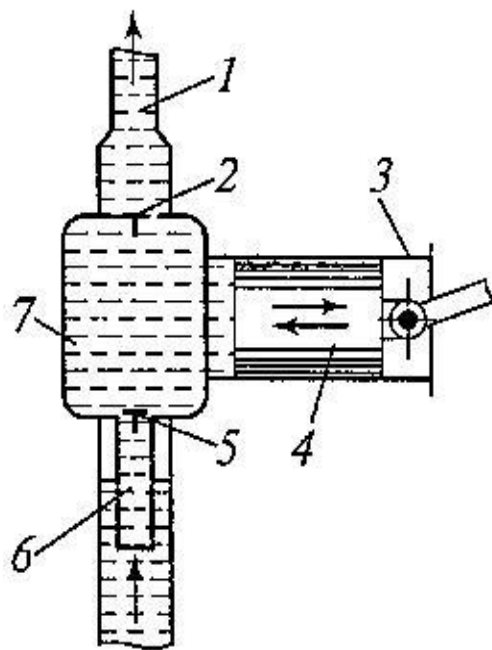
Осевой нагнетатель:
1 – обтекатель; 2 – корпус; 3 – всасывающий патрубок; 4 – лопатки; 5 – лопаточный аппарат; 6 – напорный патрубок



Вихревой нагнетатель:
1 – напорный патрубок; 2 – кольцевой канал; 3 – лопатки; 4 – корпус

Объемные нагнетатели

По принципу действия **объемные нагнетатели** делятся на *поршневые* и *роторные*.

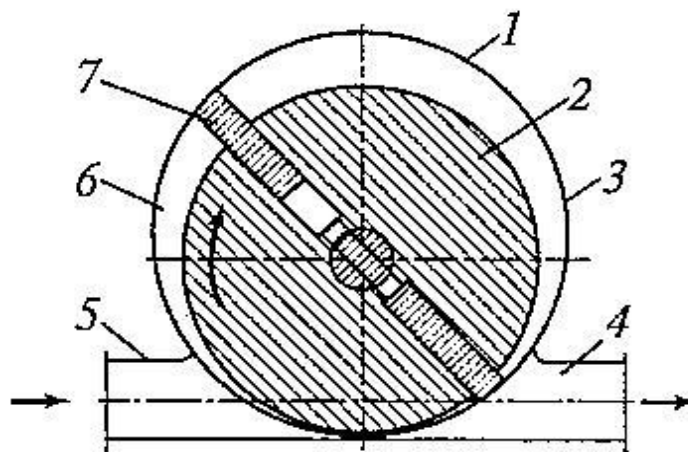


Поршневой нагнетатель:

1 – нагнетательный трубопровод; 2 – напорный клапан; 3 – цилиндр; 4 – поршень; 5 – всасывающий клапан; 6 – всасывающий трубопровод; 7 – клапанная коробка

Поршневые имеют цилиндр и клапанную коробку, плотно соединенные в единый блок. Ускорение поршня,двигающегося синусоидально (и возвратно-поступательно), вызывает появление инерционных сил и ограничивает допустимую скорость вращения кривошипного вала.

Роторные имеют массивный ротор с радиальными прорезями, эксцентрично помещенный в корпус. При вращении пластины отжимаются до упора в корпус и рабочее тело всасывается. Реверсивные, допускают прямое соединение с высокоскоростными двигателями.



Роторный нагнетатель:

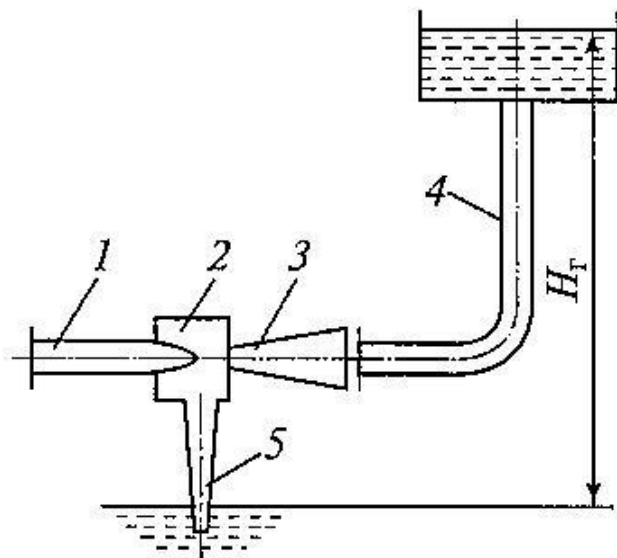
1 – корпус; 2 – ротор; 3, 6 – полости переменного сечения; 4 – напорный патрубок; 5 – всасывающий патрубок; 7 – стальные пластинки

Другие нагнетатели

В промышленных установках для перемещения жидкостей и газов применяют нагнетатели *струйные* и особого типа: *эрлифты* и *газлифты*.

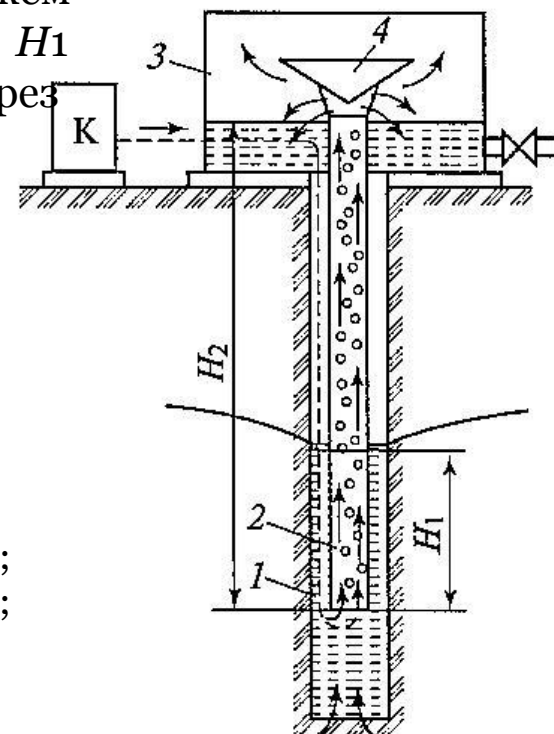
Струйные имеют камеру с низким давлением, куда через суживающее сопло с большой скоростью подается рабочая жидкость. Подъем перекачиваемой жидкости происходит за счет разности давлений на ее поверхности и в камере.

Эрлифты (газлифты) имеют конструкцию труба в трубе, погруженную в жидкость, в нижней части которой барботажем образуется смесь газа и жидкости. Столб жидкости высотой H_1 большей плотности вытесняет смесь на высоту H_2 через сообщающиеся сосуды до момента удара об отбойный конус.



Струйный нагнетатель:

- 1 – сопло; 2 – камера;
- 3 – диффузор;
- 4 – напорная труба;
- 5 – труба



Эрлифт:

- 1 – обсадная труба;
- 2 – подъемная труба;
- 3 – резервуар;
- 4 – отбойный конус

Основные параметры

Основными параметрами, характеризующими работу нагнетательных машин, являются *подача (расход)*, *давление* и *напор*. Ими, а также *плотностью* подаваемой среды определяется энергия, сообщаемая нагнетателем потоку жидкости или газа. Гидродинамическое и механическое совершенство машины характеризуется ее *полным КПД*.

Подача (расход) – количество жидкости (газа), перемещаемое машиной в единицу времени. Для газа – это **производительность** машины.

Подача бывает объемная Q [м³/с] и массовая M (кг/с). Причем $M = \rho Q$.

Давление, развиваемое нагнетателем, определяется уравнением сохранения энергии (*уравнение Бернулли*):

$$p = p_K - p_H + \frac{c_K^2 - c_H^2}{2} \rho + \rho g(z_K - z_H)$$

p_H, p_K – давление жидкости на входе (начальное) и выходе из насоса (конечное), Па;
 ρ – плотность среды (жидкости), кг/м³; c_H, c_K – средние скорости потока на входе и выходе, м/с; z_H, z_K – высоты расположения центров входного и выходного сечений насоса, м.

Объемную производительность принято исчислять по физическим условиям входа в компрессор: $T_{\text{вх}} = 293 \text{ К}$; $p_{\text{вх}} = 0,102 \text{ МПа}$; $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ (для воздуха)

Расчет напора

Напор – высота H столба жидкости или газа, уравновешивающего давление p – это разность удельных энергий, отнесенных к 1 кг перекачиваемой среды.

$$H = p / \rho g$$

Полный напор, развиваемый нагнетателем и исчисляемый в метрах, получим, разделив все члены уравнения Бернулли на ρg :

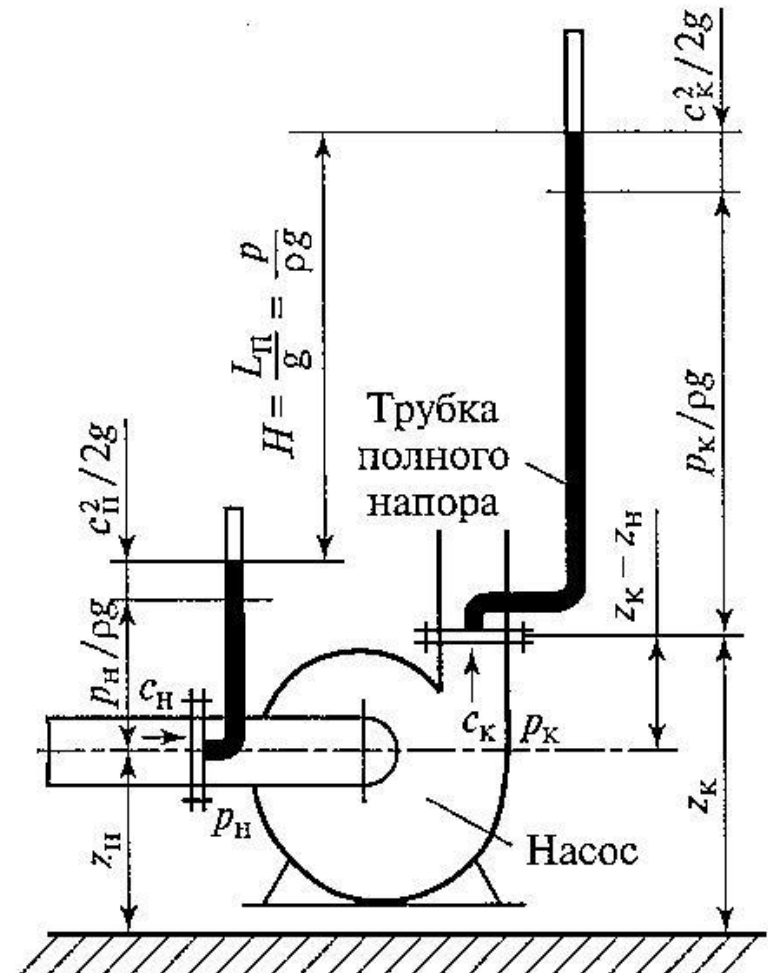
$$H = \frac{p_k - p_n}{\rho g} + \frac{c_k^2 - c_n^2}{2g} + (z_k - z_n)$$

Для нагнетателей, подающих жидкости, можно использовать формулу вида:

$$H = p_k - p_n / \rho g$$

Напор вентиляторов принято выражать в мм вод. ст. При этом 1 мм вод. ст. = 9,81 Па

Схема определения напора, развиваемого нагнетателем:



Работа и мощность

Энергетическое совершенство нагнетателей характеризуется их *удельной полезной работой* L_{π} (Дж/кг), т.е. расходом энергии на 1 кг массы подаваемой жидкости (газа):

$$L_{\pi} = p / \rho = g H$$

Работа L , подводимая на вал нагнетателя, (удельная работа) из-за потерь энергии в нагнетателе $L > L_{\pi}$.

Полезная мощность нагнетателя N_{π} – это работа, сообщаемая нагнетателем рабочему телу в 1 с. Для насосов и вентиляторов:

$$N_{\pi} = \frac{ML_{\pi}}{1000} = \frac{\rho Q g H}{1000}, \quad [\text{кВт}]$$

Для компрессоров:

$$N_{\pi} = \frac{\rho Q L_{\pi}}{1000}, \quad [\text{кВт}]$$

Мощность N (кВт), подводимая на вал нагнетателя от приводного двигателя, из-за потерь энергии определяется: $N > N_{\pi}$ или $N_{\pi} = N - N_{\text{пот}}$.

Энергетическое совершенство нагнетателей оценивается **коэффициентом полезного действия** $\eta_{\text{уст}} = N_{\pi} / N_{\text{эл}}$, где $N_{\text{эл}}$ – эл. мощность двигателя.

Нагнетатель-насос

Система трубопроводов, соединенная с нагнетателем, называется **сетью**. В сети поддерживается постоянное статическое давление $P'_{ст}$.

Стационарный режим (неизменность во времени) – энергия, сообщаемая нагнетателем потоку рабочей среды, равна энергии, затрачиваемой потоком на преодоление *статического давления и сопротивления системы* (сети).

При отсутствии утечек подача нагнетателя равна расходу рабочей среды через систему:

$$M_H = M_{тр} \text{ или } \rho_H Q_H = \rho_{тр} Q_{тр}$$

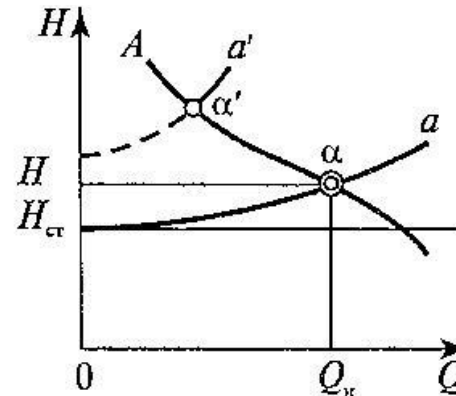
Стационарность режима как уравнение сохранения удельной энергии потока:

$$\frac{p_H}{\rho_H} + \frac{c_H^2}{2} = \frac{p'_{ст} + gH_{\Gamma}}{\rho_{тр}} + \frac{c_{тр}^2}{2} + gh_{тр}$$

где $gh_{тр}$ – потери энергии на 1 кг массы потока на трение.

тогда: $H = H_{ст} + h_{тр}$ или $H = H_{ст} + aQ^2$

где a – коэффициент, оценивающий пневмо- / гидромеханические качества системы

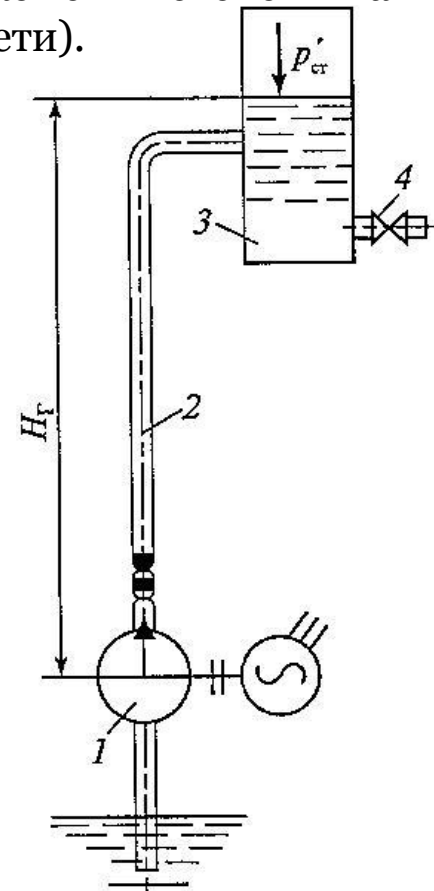


Характеристика
совместной работы
нагнетателя и системы

Гидросистема

«нагнетатель – насос»:

- 1 – нагнетатель;
- 2 – трубопроводная сеть;
- 3 – емкость; 4 – задвижка



Лектор:

Кошарная Юлия Васильевна

к.т.н., доцент кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»

E-mail: kosh_yulia@mail.ru

Тел. (495) 362-73-86; 8-925-524-11-39

Спасибо за внимание.