

1. ПОДАЧА, ДАВЛЕНИЕ И НАПОР, РАЗВИВАЕМЫЕ НАГНЕТАТЕЛЯМИ

Основные расчетные формулы

Подача – количество среды, проходящей через нагнетатель в единицу времени. Она бывает массовой M , кг/с, и объемной Q , м³/с:

$$M = \rho Q. \quad (1)$$

Давление Δp , Па, развиваемое насосами и вентиляторами, согласно стандарту, определяется как разница энергии потока на выходе (точка 2, рис. 1.1) и на входе нагнетателя (точка 1):

$$\Delta p = p_2 - p_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \rho + \rho g (h_2 - h_1). \quad (2)$$

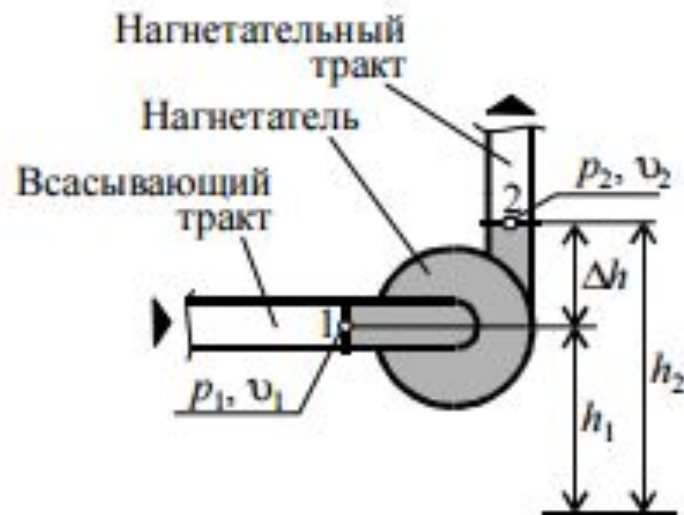


Рис. 1.1. Характеристики насоса

Статическая и динамическая составляющие развиваемого давления:

$$\Delta p_{\text{ст}} = p_2 - p_1 + \rho g (h_2 - h_1); \quad (3)$$

$$\Delta p_{\text{дин}} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \rho; \quad (4)$$

$$\Delta p = \Delta p_{\text{ст}} + \Delta p_{\text{дин}} = p_{\text{ст}2} - p_{\text{ст}1} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \rho. \quad (5)$$

Скорость среды в трубопроводах

$$v = Q / S. \quad (6)$$

Напор – это давление, выражаемое в единицах высоты столба перемещаемой жидкости:

$$H = \frac{p}{\rho g}; \quad p = \rho g H. \quad (7)$$

Напор, развиваемый насосом,

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_2 - h_1. \quad (8)$$

Расчет напора, развиваемого насосом

Насос перекачивает воду. Манометр во всасывающем тракте показывает разрежение 0,05 атм, манометр на нагнетательном тракте – избыточное давление 0,85 атм. Расстояние между манометрами по вертикали 30 см. Диаметры всасывающего и нагнетательного трубопроводов одинаковы. Определить развиваемый насосом напор.

Напор определяется по формуле $H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Delta h$.

Так как $d_1 = d_2$, то $v_1 = v_2$. Переводим давление в Па:

$$p_1 = -0,05 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = -4905 \text{ Па (знак «-» показывает разрежение);}$$

$$p_2 = 0,85 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 83385 \text{ Па.}$$

$$\text{Напор: } H = \frac{83385 + 4905}{9,81 \cdot 1000} + 0,3 = 9,3 \text{ м.}$$

Давление без перевода в Па можно сразу перевести в м вод. ст.:

$$H_1 = -0,05 \cdot 10 = -0,5 \text{ м вод. ст.}; \quad H_2 = 0,85 \cdot 10 = 8,5 \text{ м вод. ст.};$$

$$H = H_1 + H_2 + \Delta h = 8,5 + 0,5 + 0,3 = 9,3 \text{ м.}$$

2. РАБОТА, МОЩНОСТЬ И КПД НАГНЕТАТЕЛЕЙ

Основные расчетные формулы

Удельная полезная работа (сообщаемая одному кг потока):

$$A_n = gH = \frac{\Delta p}{\rho}. \quad (9)$$

Полезная мощность:

$$N_n = M \cdot A_n = \rho g H Q. \quad (10)$$

КПД насосной установки
(рис. 2.1):

$$\eta_{уст} = \eta \eta_{пер} \eta_{эд}. \quad (11)$$

КПД насоса (рис. 2.2):

$$\eta = \eta_g \eta_o \eta_m = \eta_i \eta_m. \quad (12)$$

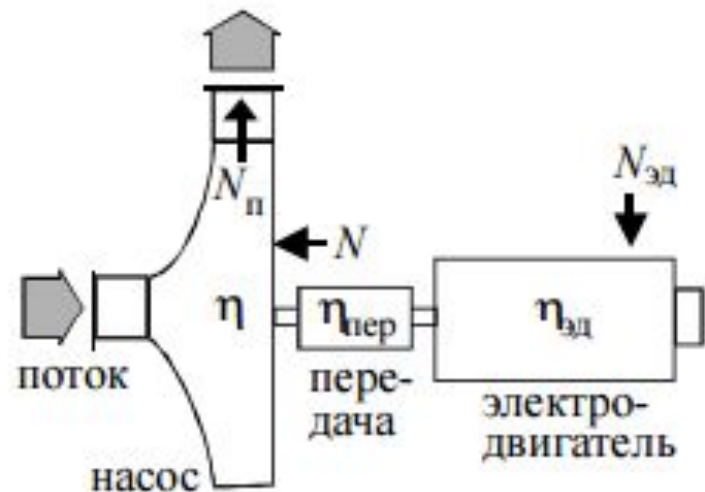


Рис. 2.1. Потери энергии в насосной (вентиляторной) установке

Установки $\eta_{уст}$			
насоса (вентилятора) η		передачи $\eta_{пер}$	электродвигателя (привода) $\eta_{эд}$
внутренний (индикаторный) η_i			
гидравлический η_r	объемный η_o	механический η_m	

Рис. 2.2. КПД насоса и насосной установки

Мощность, подводимая на вал насоса и вентилятора,

$$N = \frac{N_p}{\eta} = \frac{\rho g H Q}{\eta} = \frac{Q \Delta p}{\eta} \quad (13)$$

Мощность, потребляемая электродвигателем,

$$N_{эд} = \frac{N_p}{\eta_{уст}} = \frac{\rho g H Q}{\eta_{уст}} = \frac{Q \Delta p}{\eta_{уст}} \quad (14)$$

Пример 5. Полезная мощность

Определить полезную мощность, если насос перекачивает воду и работает с подачей $2800 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором 60 м .

Переведем подачу к системе Си: $Q = 2800/3600 = 0,78 \text{ м}^3/\text{с}$.

Полезная мощность насоса:

$$N_{\text{п}} = \rho g H Q = 1000 \cdot 9,81 \cdot 60 \cdot 0,78 = 459\,100 \text{ Вт} \approx 460 \text{ кВт}.$$

Пример 6. Мощность, потребляемая электродвигателем

Определить мощность электродвигателя, если насос перекачивает воду с подачей $0,23 \text{ м}^3/\text{с}$ и напором 48 м . КПД насосной установки $0,7$.

Мощность электродвигателя

$$N_{\text{эд}} = \frac{\rho g H Q}{\eta_{\text{уст}}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 48 \cdot 0,23}{0,7} = 154\,700 \text{ Вт} = 155 \text{ кВт}.$$

Характеристики нагнетателей

- Характеристики нагнетателя включают:
 - - напорную характеристику (зависимость напора H от подачи Q);
 - - характеристику мощности нагнетателя (зависимость мощности на валу нагнетателя N от подачи Q);
 - - КПД нагнетателя (зависимость η от подачи Q).
-

Таблица 4.1

**Характеристика насоса
2000В-16/63
(частота вращения 250 мин⁻¹)**

Q, м³/с	0	8	12	16	20
H, м	71	66	61	52	38
η, %	–	73	84	86	65

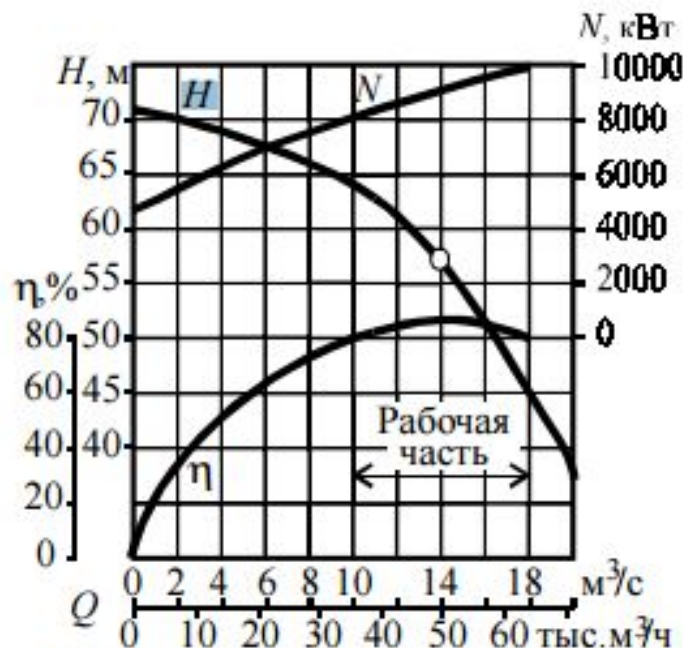
На характеристиках указывается:

- частота вращения;
- обточка рабочего колеса, обозначенная как «а», «б», «в»;
- номинальный режим работы с максимальным КПД $\eta_{\text{макс}}$;
- поле рабочих параметров (рабочая часть): для насосов $\eta \geq \eta_{\text{макс}} - 7\%$, для вентиляторов $\eta \geq 0,9 \cdot \eta_{\text{макс}}$.

При выборе нагнетателей принимают запас:

- для насосов 10% по напору;
- для вентиляторов общего назначения 5% по подаче и 10% по давлению;
- для дутьевых вентиляторов 10% по подаче и 20% по давлению.

Выбор вентиляторов производится по давлению, пересчитанному с заданных условий на нормальные.



**Рис. 4.1. Характеристика насоса
2000В-16/63 (частота
вращения 250 мин⁻¹)**

Пример 9. Определение рабочей точки по графической характеристике

Определить напор и мощность насоса 2000В-16/63, если он работает с подачей $10 \text{ м}^3/\text{с}$.

По данным рис. 4.1 находим: $H = 64 \text{ м}$, $\eta = 0,8$.

$$\text{Мощность насоса при этом } N = \frac{\rho g H Q}{\eta} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 64 \cdot 10}{0,80} =$$

$= 7\,950\,000 \text{ Вт} = 7\,950 \text{ кВт}$, что соответствует графику мощности.

Совместная работа нагнетателей

Параллельное соединение – подачи складываются, напор одинаков (рис. 7.1):

$$\begin{aligned} Q &= \Sigma Q_i; \\ H &= H_i; \\ N &= \Sigma N_i. \end{aligned} \quad (33)$$

Усредненный КПД установки из параллельных нагнетателей (КПД η_i определяются по подаче Q_i через соответствующие нагнетатели):

$$\eta = \frac{\Sigma Q_i}{\Sigma \frac{Q_i}{\eta_i}}. \quad (34)$$

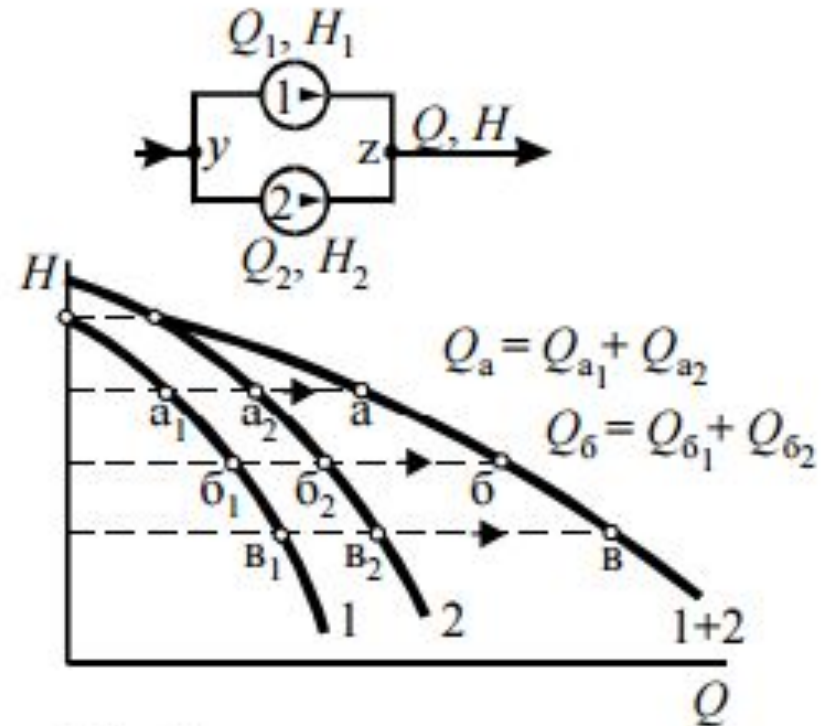


Рис. 7.1. Параллельное соединение и построение суммарной напорной характеристики

Последовательное соединение – подача постоянная, напоры складываются (рис.7.2):

$$\begin{aligned} Q &= Q_i; \\ H &= \sum H_i; \\ N &= \sum N_i. \end{aligned} \quad (35)$$

Усредненный КПД установки из последовательных нагнетателей (КПД η_i определяются по подаче Q_i через соответствующие нагнетатели):

$$\eta = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{\eta_i}}. \quad (36)$$

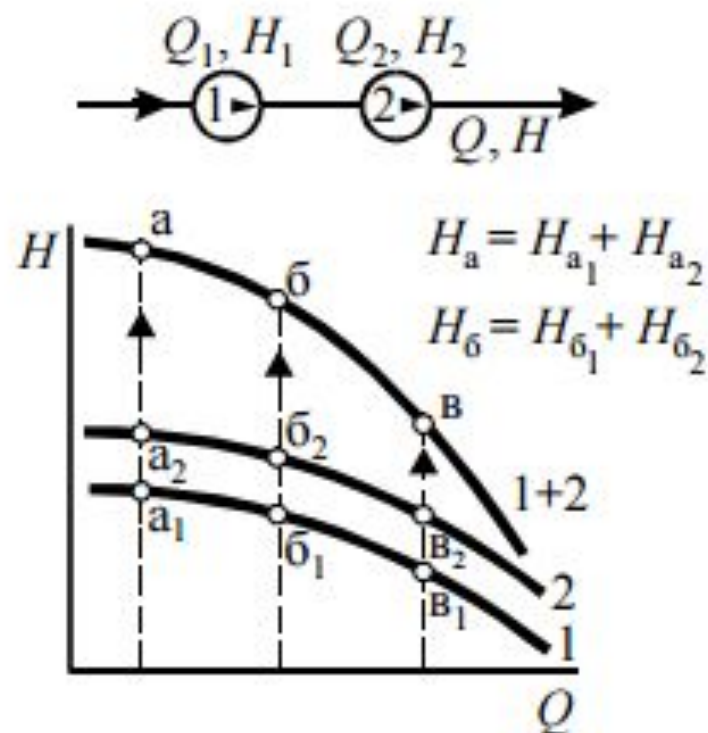


Рис. 7.2. Последовательное соединение и построение суммарной напорной характеристики

Смешанное соединение – схема разбивается на участки с параллельным или последовательным соединениями, рассчитывается суммарная характеристика участка, затем, в дальнейших расчетах, участок рассматривается как один нагнетатель (рис. 7.3).

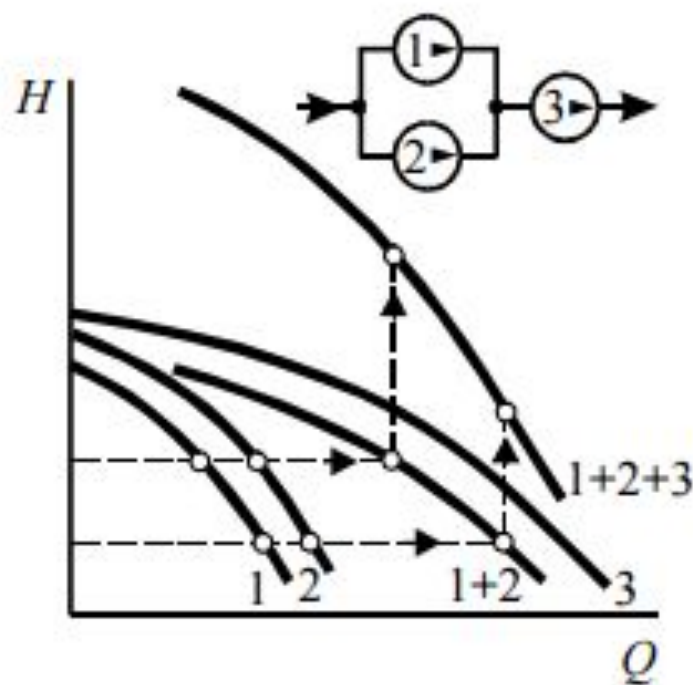


Рис. 7.3. Смешанное соединение и построение суммарной напорной характеристики