

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра автоматизации технологических процессов
и производств

НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЕ **ОБОРУДОВАНИЕ**

Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 15.03.04

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК 66-9 (073)

НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Д.В. Горленков, И.И. Белоглазов, Р.Ю. Феценко*. СПб, 2019. 26 с.

Изложены основные положения дисциплины «Насосно-компрессорное оборудование», приведены примеры решения задач по данной дисциплине. Даны краткие теоретические сведения, необходимые для решения задач, основные расчетные формулы, справочные таблицы.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» по профилю «Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазопереработке».

Научный редактор проф. *В.Ю. Бажин*

Рецензент канд. техн. наук *В.С. Леонтьев* (ЗАО «Безопасные технологии»)

ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазоперерабатывающие предприятия и заводы являются крупнейшими потребителями воды, воздуха, кислорода и других жидких и газообразных сред. С другой стороны, они часто выделяют большие объемы технологических газов и газов от сжигания топлива. Все это обуславливает наличие на таких заводах обширного водовоздушного хозяйства, обеспечивающего получение, транспортировку, использование и обработку воды, воздуха и других сред. Поскольку работа печей невозможна без этого хозяйства, знание его необходимо специалистам нефтегазопереработки, которым приходится решать вопросы охраны водного и воздушного бассейнов.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать принцип действия, основные закономерности, особенности конструкции насосов и воздухоподающих машин, схемы и системы в водо- и воздухообеспечения нефтегазоперерабатывающих заводов. Студенты должны научиться правильно выбирать энергетические устройства для подачи воздуха и воды, определять их показатели и параметры.

Понятие о напорах

Движение жидкости по трубопроводам характеризуется целым рядом показателей, основными, из которых являются скорость, расход и напор.

Чаще всего используется понятие средней скорости движения жидкости в трубе W , усредняемой по сечению трубопровода.

Расходы, представляющие собой количество вещества, проходящее через сечение трубопровода в единицу времени, могут встретиться в трех видах. Это объемный расход Q , массовый расход M и весовой G .

Жидкость, движущаяся по трубопроводам, обладает определенной энергией. В гидравлике принято относить эту энергию к единице веса или объема жидкости (удельная энергия).

Если энергия отнесена к единице веса жидкости, то ее называют напором и обозначают h , а если к единице объема, то – объемным напором h' . Связь между двумя этими видами напора выражают формулой:

$$h' = \gamma \cdot h = \rho \cdot g \cdot h, \text{ Н/м}^2$$

где γ и ρ – удельный вес и плотность движущейся жидкости соответственно н/м^3 и кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Различают несколько видов напора:

- 1) напор положения - геометрический $h_{\text{геом}}$ ($h'_{\text{геом}}$) или геодезический $h_{\text{геод}}$ ($h'_{\text{геод}}$);
- 2) напор давления – пьезометрический $h_{\text{пьез}}$ ($h'_{\text{пьез}}$);
- 3) напор скоростной – динамический $h_{\text{дин}}$ ($h'_{\text{дин}}$);
- 4) напор статический $h_{\text{ст}} = h_{\text{геом}} + h_{\text{пьез}}$ ($h'_{\text{ст}} = h'_{\text{геом}} + h'_{\text{пьез}}$);
- 5) полный напор $H = h_{\text{геом}} + h_{\text{пьез}} + h_{\text{дин}}$ ($H' = h'_{\text{геом}} + h'_{\text{пьез}} + h'_{\text{дин}}$);
- 6) напор потерь $h_{\text{пот}}$ ($h'_{\text{пот}}$).

Движение жидкости по трубопроводам обычно сопровождается потерями энергии (напора) $h_{\text{пот}}$. При этом различают удельные потери энергии на трение $h_{\text{тр}}$ и на местные сопротивления $h_{\text{м.с.}}$. Сумма этих потерь дает суммарные потери напора для данного трубопровода $h_{\text{пот}}$.

Определение суммарных потерь напора при движении жидкости в трубопроводах

Кроме потерь напора на трение, действующих по всей длине трубопровода, встречается еще один вид потерь напора – это потери на местные сопротивления. Местные сопротивления, встречающиеся в гидравлических сетях, можно разбить на 4 группы:

- 1) связанные с изменением сечения потока жидкости (различные сужения и расширения);
- 2) связанные с изменением направления потока жидкости (повороты);
- 3) связанные со слиянием и разделением потоков жидкости;
- 4) различная запорная арматура (задвижки, вентили и т.д.).

Потери напора на местных сопротивлениях $h_{м.с.}$ определяются по простым формулам:

$$h_{м.с.} = \xi \cdot \frac{W^2}{2 \cdot g}, \text{ м}$$

$$h'_{м.с.} = \xi \cdot \frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma, \text{ Н/м}^2$$

где ξ – коэффициент местных сопротивлений, определяемый по справочнику.

Суммарные потери напора в данном трубопроводе складываются из потерь на трение и потерь на местные сопротивления:

$$h_{пот. \Sigma} = h_{мп} + h_{м.с.}, \text{ м}$$
$$h'_{пот. \Sigma} = h'_{мп} + h'_{м.с.}, \text{ Н/м}^2$$

Примеры решения задач

Задача №1

Насос перекачивает 30%-ную серную кислоту. Показание манометра на нагнетательном трубопроводе $1,8 \text{ кгс/см}^2$, показание вакуумметра (разрежение) на всасывающем трубопроводе перед насосом 29 мм рт. ст. Манометр присоединён на 0,5 м выше вакуумметра. Всасывающий и нагнетательный трубопроводы одинакового диаметра. Какой напор развивает насос?

Решение:

1) т.к. диаметры всасывающего и нагнетательного трубопроводов одинаковы, то равны и скорости потоков в них:

$$Q = WF = W \frac{\pi d^2}{4}; W = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

2) Напор, создаваемый насосом, находим по формуле:

$$H = H_H - H_{BC} = (z_H - z_{BC}) + \frac{P_H - P_{BC}}{\gamma} + \frac{W_H^2 - W_{BC}^2}{2g};$$

$$H = z + \frac{(P_{\text{атм}} + P_{\text{ман}}) - (P_{\text{атм}} - P_{\text{вак}})}{\rho g} + \frac{W_H^2 - W_{BC}^2}{\rho g}$$
$$= z + \frac{(P_{\text{ман}}) + (P_{\text{вак}})}{\rho g} + \frac{W_H^2 - W_{BC}^2}{\rho g}$$

плотность 30%-ной серной кислоты $\rho = 1220 \text{ кг/м}^3$.

И если $\frac{W_H^2 - W_{BC}^2}{\rho g} = 0$, то

$$H = 0,5 + \frac{1,8 \cdot 9,81 \cdot 10^4 + 29 \cdot 133,3}{1220 \cdot 9,81} = 15,6 \text{ м}$$

Задача №2

Насос перекачивает жидкость (рис. 1) плотностью 960 кг/м^3 из резервуара с атмосферным давлением в аппарат, давление в котором составляет $P_{\text{изб}} = 37 \text{ кгс/см}^2$. Высота подъёма 16 м. Общее сопротивление всасывающей и нагнетательной линий 65,6 м. Определить полный напор, развиваемый насосом.

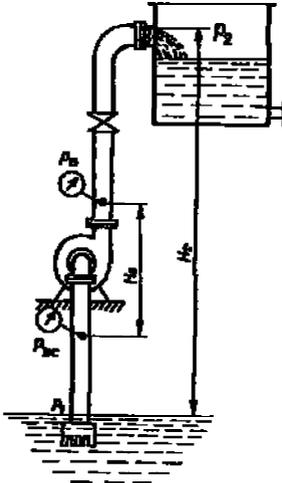


Рис. 1. Насосная установка

Решение:

Напор, создаваемый насосом, находим по формуле:

$$\begin{aligned}
 H &= z + \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \sum h_{\text{пот}} = z + \frac{(P_{\text{атм}} + P_{\text{ман}}) - P_{\text{атм}}}{\rho g} + \sum h_{\text{пот}} \\
 &= z + \frac{P_{\text{ман}}}{\rho g} + \sum h_{\text{пот}} = 16 + \frac{37 \cdot 9,81 \cdot 10^7}{960 + 9,81} + 65,6 \\
 &= 467 \text{ м}
 \end{aligned}$$

Задача №3

Определить к.п.д. насосной установки. Насос подаёт 380 дм³/мин мазута относительной плотности 0,9. Полный напор 30,8 м. Потребляемая двигателем мощность 2,5 кВт.

Решение:

1) Плотность мазута:

$$\rho_{\text{маз}} = \Delta \cdot \rho_{\text{в}} = 0,9 \cdot 1000 = 900 \text{ кг/м}^3.$$

2) к. п. д. выразим из формулы:

$$N = \frac{\gamma Q H}{1000} = \frac{\gamma Q H}{1000 N} = \frac{380 \cdot 900 \cdot 9,81 \cdot 30,8}{1000 \cdot 60} = 1722 \text{ Вт}$$

$$\eta = \frac{1722}{2500} = 0,68$$

Задача №4

Определить производительность дифференциального поршневого насоса (рис.2), который имеет больший диаметр ступенчатого плунжера 340 мм, меньший – 240 мм. Ход плунжера 480 мм, частота вращения 60 об/мин. Коэффициент подачи 0,85. Определить также количество жидкости, подаваемой каждой стороной ступенчатого плунжера.

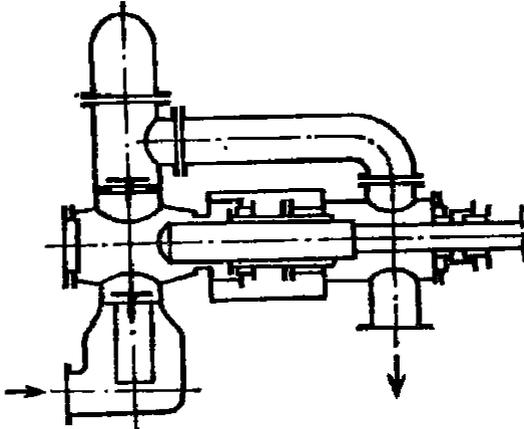


Рис. 2. Дифференциальный поршневой насос

Решение:

1) Производительность всего поршня находим по формуле:

$$Q = \eta_v \frac{F \cdot s \cdot n}{60} = 0,85 \frac{3,14 \cdot 0,34^2 \cdot 0,48 \cdot 60}{4 \cdot 60} = 0,037 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

2) Количество жидкости, выходящее из правой камеры можно найти так:

$$Q_{\text{мал}} = \eta_v \frac{(F_{\text{плунжера}} - F_{\text{штока}}) \cdot s \cdot n}{60} \\ = 0,85 \frac{3,14 \cdot (0,34^2 - 0,24^2) \cdot 0,48 \cdot 60}{4 \cdot 60} = 0,0186 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

То есть малый плунжер выталкивает 0,0186 м³/с жидкости.

3) Количество жидкости, вытесняемой большим плунжером, находим как разность общего количества жидкости и того, что вытесняет малый плунжер:

$$Q_{\text{бол}} = Q - Q_{\text{мал}} = 0,037 - 0,0186 = 0,0184 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача №5

При испытании центробежного насоса получены следующие данные:

Q, дм ³ /мин	0	100	200	300	400	500
H, м	37,2	38,0	37	34,5	31,8	28,5

Сколько жидкости будет подавать этот насос по трубопроводу диаметром 76x4 мм, длиной 355 м (собственная плюс эквивалентная длина местных сопротивлений) при геометрической высоте подачи 4,8 м? Коэффициент трения $\lambda = 0,03$. Построить характеристики насоса и трубопровода и найти рабочую точку. Как изменится производительность насоса, если геометрическая высота подачи будет 19 м?

Решение:

Найдём полное гидравлическое сопротивление сети:

$$\Delta H_{\text{сети}} = z + \left(1 + \lambda \frac{L + \sum L_{\text{ЭКВ}}}{d} \right) \frac{W^2}{2g}$$
$$\Delta H = z + \left(1 + \lambda \frac{L + \sum L_{\text{ЭКВ}}}{d} \right) \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 d^4 g}$$

Составляем уравнения характеристик сети для высоты 4,8 м:

$$\Delta H_1 = H_1 = 4,8 + \left(1 + 0,03 \cdot \frac{355}{0,068} \right) \frac{8 \cdot Q_1^2}{3,14^2 \cdot 0,068^4 \cdot 9,81}$$
$$= 4,8 + 609720,6 \cdot Q_1^2$$

для высоты 19 м:

$$\Delta H_2 = H_2 = 19 + \left(1 + 0,03 \cdot \frac{355}{0,068} \right) \frac{8 \cdot Q_2^2}{3,14^2 \cdot 0,068^4 \cdot 9,81}$$
$$= 19 + 609720,6 \cdot Q_2^2$$

В этих уравнениях подача выражена в м³/с. Переведём её в дм³/мин:

$$H_1 = 4,8 + \frac{60972,6}{(60 \cdot 1000)^2} Q_1^2; H_2 = 19 + \frac{60972,6}{(60 \cdot 1000)^2} Q_2^2$$

Для построения графика найдём по этим двум уравнениям напоры для тех же значений подачи, которые используются для построения характеристики насоса

Q, дм ³ /мин	0	100	200	300	400	500
H ₁ , м	4,8	6,5	11,6	20	31,9	47,1
H ₂ , м	19	21	26	34	46	61

Строим графики характеристик насоса и сети (рис. 3):
 $H = f(Q)$ [0]; $H_1 = f(Q_1)$ [1]; $H_2 = f(Q_2)$ [2]:

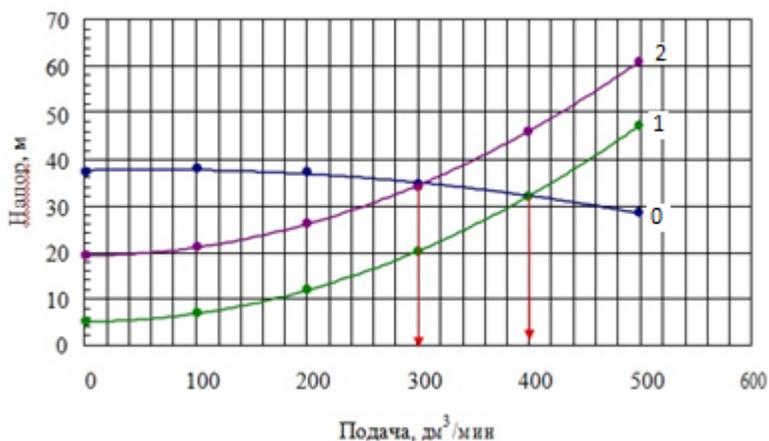


Рис. 3. Напорные характеристики насоса и сети

По графику находим рабочие точки — то есть точки пересечения кривой характеристики насоса с кривыми характеристик сетей 1 и 2:

при высоте подачи 4,8 м:

$$Q_1 = 400 \text{ дм}^3/\text{мин} = 0,4 \text{ м}^3/\text{мин};$$

при высоте подачи 19 м:

$$Q_2 = 300 \text{ дм}^3/\text{мин} = 0,3 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача № 1

Насос с подачей 8 л/с нагнетает воду по трубе $D = 100$ мм. Диаметр всасывающего патрубка 125 мм. Определить полный напор насоса, если показание манометра, установленного на напорной трубе равно $3,5 \text{ кгс/см}^2$, а показание вакуумметра на всасывающей трубе равно 300 мм рт. ст. Расстояние между точками установки манометра и вакуумметра 1 м.

Ответ: $H = 40,109$ м вод. ст.

Задача № 2

Определить напор насоса с подачей 0,031 л/с, если диаметры всасывающего и нагнетательного патрубков имеют размеры $d_{\text{вс}} = 250$ мм, $d_{\text{н}} = 200$ мм. Показания манометра $p_{\text{м}} = 8,5 \text{ кгс/см}^2$, вакуумметра $p = 0,4 \text{ кгс/см}^2$, расстояние от точки присоединения вакуумметра до оси стрелки манометра $\Delta h = 970$ мм.

Ответ: $H = 90$ м вод. ст.

Задача № 3

Определить напор насоса, если манометр на напорном патрубке водопровода показывает $p = 10 \text{ кгс/см}^2$, а вакуумметр на всасывающем патрубке показывает $p = 0,5 \text{ кгс/см}^2$, расстояние по вертикали между точками установки обоих приборов $\Delta h = 0,5$ м. Диаметры напорного и всасывающего патрубков равны между собой.

Ответ: $H = 105,5$ м.

Задача № 4

Подача центробежного насоса $Q = 54 \text{ м}^3/\text{ч}$. Показания манометра на нагнетательном патрубке и вакуумметра на всасывающем соответственно равны: $p_{\text{м}} = 2,5 \text{ МПа}$, $p_{\text{вак}} = 0,04 \text{ Па}$, расстояние по вертикали между точками присоединения манометра и вакуумметра $\Delta h = 0,5$ м, диаметры патрубков одинаковы; к.п.д. насоса $\eta = 0,65$. Определить мощность на валу насоса.

Ответ: $N_{\text{в}} = 6,8 \text{ кВт}$.

Задача № 5

Насос качает холодную воду из колодца. Подача насоса $Q = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$, диаметр всасывающего патрубка $d_{\text{вс}} = 250 \text{ мм}$. Определить максимальную высоту расположения оси насоса над уровнем воды в колодце, если допустимое давление на входе в насос $p_{\text{вх}} = 0,03 \text{ МПа}$. Суммарные потери энергии во всасывающем тракте $\Delta h_{\text{пот}} = 8 \text{ КПа}$. Плотность воды принять $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Ответ: $h_{\text{вс}} = 6,23 \text{ м}$.

Задача № 6

Определить подачу и потребляемую мощность поршневого одноцилиндрового насоса двойного действия, если известно, что диаметр цилиндра $D = 0,2 \text{ м}$, диаметр штока $d = 0,04 \text{ м}$, ход поршня $S = 0,25 \text{ м}$, частота вращения вала насоса $n = 90 \text{ об/мин}$, объемный к.п.д. $\eta_v = 0,92$. Насос обеспечивает напор $H = 70 \text{ м вод. ст.}$ Полный к.п.д. насоса $\eta = 0,8$.

Ответ: $N = 11,5 \text{ кВт}$.

Задача № 7

Определить подачу поршневого насоса простого действия, у которого диаметр цилиндра $D = 200 \text{ мм}$, ход поршня $S = 200 \text{ мм}$, частота вращения вала $n = 60 \text{ об/мин}$. Объемный к.п.д. принять $\eta_v = 0,95$.

Ответ: $Q = 21,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Задача № 8

Определить полезную мощность насоса по следующим данным: подача насоса $Q = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$, геодезическая высота всасывания $h_{\text{вс}} = 4 \text{ м}$, потери напора во всасывающей трубе $h_{\text{пот вс}} = 0,5 \text{ м}$, геодезическая высота нагнетания $h_{\text{н}} = 41 \text{ м}$, потери напора в напорной трубе $h_{\text{пот н}} = 5,5 \text{ м}$, полный к.п.д. насоса $\eta = 0,9$.

Ответ: $N_{\text{пол}} = 200 \text{ кВт}$.

Задача № 9

Определить мощность, потребляемую насосом, подающим $Q = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ воды на высоту 100 м . Полный к.п.д. насоса $\eta = 0,8$.

Ответ: $N = 6,8 \text{ кВт}$.

Задача № 10

Поддача центробежного насоса $Q_1 = 360 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре $H = 66 \text{ м вод. ст.}$, частота вращения $n_1 = 960 \text{ об/мин}$, к.п.д. насосной установки с учетом всех потерь $\eta = 0,65$. Определить, какой мощности и с какой частотой вращения необходимо установить электрический двигатель для того, чтобы повысить подачу насоса до $Q_2 = 520 \text{ м}^3/\text{ч}$. Определить также, как при этом изменится напор насоса.

Ответ: $n_2 = 1450 \text{ об/мин}$; $N_2 = 345 \text{ кВт}$; $H_2 = 150 \text{ м вод. ст.}$

Задача № 11

Поддача центробежного питательного насоса $Q_1 = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$, частота вращения $n_1 = 1450 \text{ об/мин}$, потребляемая мощность $N_1 = 135 \text{ кВт}$, напор $H_1 = 140 \text{ м вод. ст.}$ Определить подачу насоса, развиваемый напор и потребляемую мощность, если частота вращения снижена до $n_2 = 960 \text{ об/мин}$.

Ответ: $Q_2 = 132 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_2 = 61,5 \text{ м вод. ст.}$; $N_2 = 39 \text{ кВт}$.

Задача № 12

Производительность насоса $14 \text{ дм}^3/\text{с}$ жидкости относительной плотности $1,16$. Полный напор 58 м . К.п.д. насоса $0,64$, к. п. д. передачи $0,97$, к. п. д. электродвигателя $0,95$. Какой мощности двигатель надо установить? (Коэффициент запаса мощности принять равным $1,17$).

Ответ: $N_{\text{двиг}} = 18,3 \text{ кВт}$.

Задача № 13

Поршневой насос установлен на заводе, расположенном на высоте 300 м над уровнем моря (рис. 4). Общая потеря высоты всасывания составляет $5,5 \text{ м вод. ст.}$ Геометрическая высота всасывания $3,6 \text{ м}$. При какой максимальной температуре воды ещё возможно всасывание?

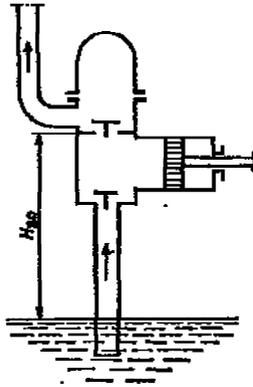


Рис. 4. Поршневой насос

Ответ: $t_{\max} = 43^{\circ}\text{C}$.

Задача № 14

Поршневой насос двойного действия (рис. 5) наполняет бак диаметром 3 м и высотой 2,6 м за 26,5 мин. Диаметр плунжера насоса 180 мм, диаметр штока 50 мм, радиус кривошипа 145 мм. Частота вращения 55 об/мин. Определить коэффициент подачи насоса (объемный к.п.д.).

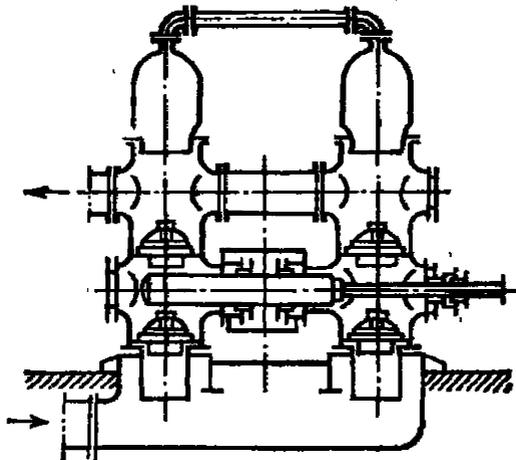


Рис. 5. Поршневой насос двойного действия

Ответ: $\eta_v = 0,89$

Задача № 15

Центробежный насос, делающий 1800 об/мин, должен подавать 140 м³/ч воды, имеющей температуру 30°C. Среднее атмосферное давление в месте установки насоса 745 мм рт. ст. Полная потеря напора во всасывающей линии составляет 4,2 м. Определить теоретически допустимую высоту всасывания, учитывая поправку на кавитацию.

Ответ: $H_{\text{вс}} \leq 2,2$ м.

Задача № 16

Насос с подачей 8 л/с нагнетает воду по трубе диаметром 100 мм. Диаметр всасывающего патрубка 125 мм. Определить полный напор насоса, если показание манометра, установленного на напорной трубе равно 3,5 кгс/см², а показание вакуумметра на всасывающей трубе равно 300 мм рт. ст. Расстояние между точками установки манометра и вакуумметра 1 м.

Ответ: 40,109 м вод. ст.

Задача № 17

Определить напор насоса с подачей 0,031 л/с, если диаметры всасывающего и нагнетательного патрубков имеют размеры $d_{\text{вс}} = 250$ мм, $d_{\text{н}} = 200$ мм. Показания манометра $P_{\text{м}} = 8,5$ кгс/см², вакуумметра $P_{\text{вак}} = 0,4$ кгс/см², расстояние от точки присоединения вакуумметра до оси стрелки манометра $z = 970$ мм.

Ответ: $H = 90$ м вод.ст.

Задача № 18

Определить напор насоса, если манометр на напорном патрубке водопровода показывает $P_{\text{м}} = 10$ кгс/см², а вакуумметр на всасывающем патрубке показывает $P_{\text{вак}} = 0,5$ кгс/см², расстояние по вертикали между точками установки обоих приборов $z = 0,5$ м. Диаметры напорного и всасывающего патрубков равны между собой.

Ответ: $H = 105,5$ м.

Задача № 19

Подача центробежного насоса 54 м³/ч. Показания манометра на нагнетательном патрубке и вакуумметра на всасывающем

соответственно равны: $P_m = 2,5$ МПа, $P_{\text{вак}} = 0,04$ Па, расстояние по вертикали между точками присоединения манометра и вакуумметра $z = 0,5$ м, диаметры патрубков одинаковы; к.п.д. насоса $\eta = 0,65$. Определить мощность на валу насоса.

Ответ: $N_b = 6,8$ кВт.

Задача № 20

Насос качает холодную воду из колодца. Подача насоса 180 м³/ч, диаметр всасывающего патрубка $d_{\text{вс}} = 250$ мм. Определить максимальную высоту расположения оси насоса над уровнем воды в колодце, если допустимое давление на входе в насос $P_{\text{вх}} = 0,03$ МПа. Суммарные потери энергии во всасывающем тракте $\Delta N_{\text{пот}} = 8$ КПа. Плотность воды принять $\rho = 1000$ кг/м³.

Ответ: $6,23$ м.

Задача № 21

Определить подачу и потребляемую мощность поршневого одноцилиндрового насоса двойного действия, если известно, что диаметр цилиндра $D = 0,2$ м, диаметр штока $d = 0,04$ м, ход поршня $S = 0,25$ м, частота вращения вала насоса $n = 90$ об/мин, объемный к.п.д. $\eta_v = 0,92$. Насос обеспечивает напор $H = 70$ м вод. ст. Полный к.п.д. насоса $\eta = 0,8$.

Ответ: $Q = 10$ л/с; $N = 11,5$ кВт.

Задача № 22

Определить подачу поршневого насоса простого действия, у которого диаметр цилиндра $D = 200$ мм, ход поршня $S = 200$ мм, частота вращения вала $n = 60$ об/мин. Объемный к.п.д. принять $\eta_v = 0,95$.

Ответ: $Q = 21,5$ м³/ч.

Задача № 23

Определить полезную мощность насоса по следующим данным: подача насоса $Q = 0,4$ м³/с, геодезическая высота всасывания $h_{\text{геод}} = 4$ м, потери напора во всасывающей трубе $h_{\text{пот. вс.}} = 0,5$ м, геодезическая высота нагнетания $H = 41$ м, потери напора в напорной трубе $h_{\text{пот. н.}} = 5,5$ м, полный к.п.д. насоса $\eta = 0,9$.

Ответ: $N_{\text{пол}} = 200$ кВт.

Задача № 24

Определить мощность, потребляемую насосом, подающим $Q = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ воды на высоту $H = 100 \text{ м}$. Полный к.п.д. насоса $\eta = 0,8$.

Ответ: $N = 6,8 \text{ кВт}$.

Задача № 25

Подача центробежного насоса $Q_1 = 360 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре $H = 66 \text{ м вод. ст.}$, частота вращения $n_1 = 960 \text{ об/мин}$, к.п.д. насосной установки с учетом всех потерь $\eta = 0,65$. Определить, какой мощности и с какой частотой вращения необходимо установить электрический двигатель для того, чтобы повысить подачу насоса до $Q_2 = 520 \text{ м}^3/\text{ч}$. Определить также, как при этом изменится напор насоса.

Ответ: $N = 345 \text{ кВт}$; $H = 150 \text{ м вод. ст.}$

Задача № 26

Подача центробежного питательного насоса $Q_1 = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$, частота вращения $n_1 = 1450 \text{ об/мин}$, потребляемая мощность $N_1 = 135 \text{ кВт}$, напор $H_1 = 140 \text{ м вод. ст.}$

Определить подачу насоса, развиваемый напор и потребляемую мощность, если частота вращения снижена до $n_2 = 960 \text{ об/мин}$.

Ответ: $Q_2 = 132 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_2 = 61,5 \text{ м вод. ст.}$; $N_2 = 39 \text{ кВт}$.

Задача № 27

Центробежный насос при перекачке $280 \text{ дм}^3/\text{мин}$ воды создаёт напор $H = 18 \text{ м}$. Пригоден ли этот насос для перекачки жидкости относительной плотности $1,06$ в количестве $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ по трубопроводу диаметром $70 \times 2,5 \text{ мм}$ из сборника с атмосферным давлением в аппарат с давлением $P_{\text{изб}} = 0,3 \text{ кгс/см}^2$? Геометрическая высота подъёма $8,5 \text{ м}$. Расчётная длина трубопровода (собственная плюс эквивалентная длина местных сопротивлений) 124 м . Коэффициент трения в трубопроводе $\lambda = 0,03$. Определить также какой мощности электродвигатель нужно установить, если к. п. д. насосной установки составляет $0,55$.

Ответ: $Q = 250 \frac{\text{дм}^3}{\text{мин}}$; $N = 1,26 \text{ кВт}$; $N_{\text{двиг}} = 1,89 \text{ кВт}$.

Задача № 28

Центробежный насос для перекачки воды имеет следующие паспортные данные: $Q = 56 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 42 \text{ м}$, $N = 10,9 \text{ кВт}$ при $n = 1140$ об/мин. Определить 1) к. п. д. насоса, 2) производительность его, развиваемый напор и потребляемую мощность при $n = 1450$ об/мин, считая, что к. п. д. остался неизменным.

Ответ: $\eta = 0,59$; $Q_2 = 71,2 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$; $H_2 = 68\text{м}$; $N_2 = 22,4\text{кВт}$

Задача № 29

Определить производительность шестерёнчатого насоса (рис. 6) по следующим данным: частота вращения 650 об/мин, число зубьев на шестерне 12, ширина зуба 30 мм, площадь сечения зуба, ограниченная внешней окружностью соседней шестерни, $7,85 \text{ см}^2$, коэффициент подачи 0,7.

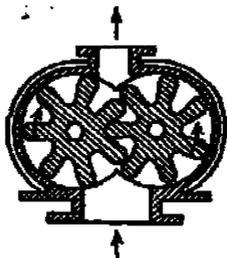


Рис. 6. Шестерёнчатый насос

Ответ: $Q = 0,257 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$

Задача № 30

Требуется выкачивать $215 \text{ дм}^3/\text{мин}$ раствора относительной плотности 1,06 из подвального бака водоструйным насосом (рис. 7). Высота подъёма 3,8 м. Давление воды перед насосом $P_{\text{изб}} = 1,9 \text{ кгс/см}^2$. К. п. д. насоса 0,15. Сколько кубометров воды в час будет расходовать водоструйный насос?

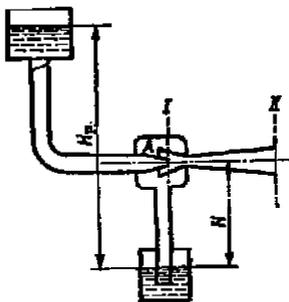


Рис. 7. Водоструйный насос

Ответ: $Q_B = 18,2 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$

Задача № 31

Какой мощности электродвигатель необходимо установить к вентилятору производительностью $110 \text{ м}^3/\text{мин}$ при полном напоре 834 Па (85 мм вод. ст.)? К. п. д. вентилятора $0,47$.

Ответ: $N = 3,2 \text{ кВт}$

Задача № 32

Центробежный вентилятор, делающий 960 об/мин , подаёт $3200 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха, потребляя при этом $0,8 \text{ кВт}$. Давление (избыточное), создаваемое вентилятором, 44 мм вод. ст. Каковы будут у этого вентилятора подача, давление и затрачиваемая мощность при $n = 1250 \text{ об/мин}$? Определить также к. п. д. вентилятора.

Ответ: $Q_2 = 4167 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$; $\Delta P_2 = 732 \text{ Па}$; $\eta_1 = 0,48$; $N_2 = 1,77 \text{ кВт}$.

Задача № 33

Определить аналитическим путём и по $T - S$ диаграмме температуру воздуха после адиабатического сжатия его от начального давления (абсолютного) 1 кгс/см^2 до конечного давления $3,5 \text{ кгс/см}^2$. Начальная температура 0°C . Определить также затрату работы на сжатие 1 кг воздуха.

Ответ: $T_2 = 117^\circ\text{C}$; $L_{\text{ад}} = 118 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Задача № 34

Определить мощность, потребляемую углекислотным поршневым компрессором производительностью $5,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при условиях всасывания). Компрессор сжимает диоксид углерода от 20 до $70 \text{ кгс}/\text{см}^2$ (давление абсолютное). Начальная температура -15°C . К. п. д. компрессора принять равным 0,65. Задачу решить как аналитическим путём, так и диаграммы $T - S$ для углерода.

Ответ: $N = 4,6 \text{ кВт}$.

Задача № 35

Определить объёмный к. п. д. компрессора предыдущей задачи, если вредное пространство составляет 6% от объёма, описываемого поршнем, а показатель политропы расширения $m = 1,2$.

Ответ: $\eta = 0,89$.

Задача № 36

Определить производительность и расходуемую мощность для одноступенчатого поршневого компрессора по следующим данным: диаметр поршня 250 мм, ход поршня 275 мм, объём вредного пространства 5,4% от объёма, описываемого поршнем, частота вращения 300 об/мин. Компрессор сжимает атмосферный воздух до $P_{\text{абс}} = 4 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Показатель политропы расширения на 10% меньше показателя адиабаты. Начальная температура воздуха 25°C . Общий к. п. д. равен 0,72.

Ответ: $\eta_v = 0,896$; $G = 231 \text{ кг}/\text{ч}$; $N = 13 \text{ кВт}$.

Задача № 37

Как изменятся производительность и потребляемая мощность компрессора предыдущей задачи (рис. 8), если дать ему воздухоподувкой наддув до $P_{\text{изб}} = 0,4 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Конечное давление (абсолютное) $4 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

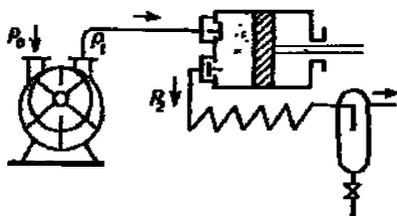


Рис. 8. Компрессор

Ответ: $G = 341 \text{ кг/ч}$; $N = 13,4 \text{ кВт}$

Задача № 38

При каком давлении нагнетания объёмный к. п. д. одноступенчатого поршневого компрессора, сжимающего этилен, упадёт до 0,2? Давление всасывания 1 кгс/см^2 . Расширение газа из вредного пространства считать адиабатическим. Объём вредного пространства составляет 7% от объёма, описываемого поршнем.

Ответ: $P_2 = 20,6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$

Задача № 39

Исходя из условия, что компрессорное смазочное масло допускает без заметного ухудшения смазки температуру в цилиндре не выше 160°C , определить предельное значение давления нагнетания в одноступенчатом поршневом компрессоре: а) для воздуха, б) для этана. Давление всасывания 1 кгс/см^2 . Начальная температура 25°C . Процесс сжатия считать адиабатическим.

Ответ: $P_{\text{возд}} = 3,697 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$; $P_{\text{этан}} = 9,41 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$

Задача № 40

Определить требуемое число ступеней поршневого компрессора, который должен сжимать азот от 1 до 100 кгс/см^2 (давление абсолютное), если допускаемая температура в конце сжатия не должна превышать 140°C . Процесс сжатия считать адиабатическим. Начальная температура азота 20°C .

Ответ: 4 ступени сжатия.

Задача № 41

Определить теоретическую затрату работы на сжатие водорода от 1,5 до 17 кгс/см² (давление абсолютное) при одноступенчатом и двухступенчатом сжатии начальная температура водорода 20°C.

$$\text{Ответ: } L_{\text{ад1}} \approx 4,28 \cdot 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; L_{\text{ад2}} \approx 3,54 \cdot 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Задача № 42

Компрессор при испытании нагнетал атмосферный воздух в баллон объёмом 42,4 дм³. За 10,5 минут давление в баллоне повысилось от 0 до 52 кгс/см² (давление избыточное), а температура воздуха в баллоне поднялась от 17 до 37 °С. Определить производительность компрессора в м³/ч (при нормальных условиях).

$$\text{Ответ: } Q_0 = 10,9 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Задача № 43

Определить потребляемую мощность и расход воды на холодильники поршневого компрессора, который сжимает 625 м³/ч (при нормальных условиях) этилена от давления (абсолютного) 9,81·10⁴ до 176,6·10⁴ Па. К. п. д. компрессора 0,75. Охлаждающая вода нагревается в холодильниках на 13 °С. Начальная температура газа 20 °С.

$$\text{Ответ: } N = 79,5 \text{ кВт}; Q_{\text{в}} \approx 3,94 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альтшуль А.Д., Животовский А.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. М.; Стройиздат, 1987.
2. Гальнбек А.А. Гидроаэромеханика в металлургическом производстве. Л.; РИО ЛГИ, 1991.
3. Комков В.А. Насосные и воздуходувные станции: Учебник / В.А. Комков, Н.С. Тимахова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 253 с.
4. Тихоненков Б.П. Насосы и насосные станции: учебное пособие: в 2-х ч. / Московская государственная академия водного транспорта. - Москва: Альтаир-МГАВТ, 2005.
5. Маринова О.А. Гидравлика и гидропневмопривод: учеб.-метод. комплекс / сост.; Нац. минер.-сырьевой ун-т "Горный", Каф. автоматизации технологических процессов и производств. - СПб.: Горн. ун-т, 2013. - 152 с.
6. Стесина С.П. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник / ; под ред. Т.В. Артемьева и др. - 5-е изд., перераб. - М. : Академия, 2014. - 352 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Единицы некоторых величин и соотношения между ними
в разных системах единиц

Величина	Система единиц		
	Международная (СИ)	Техническая (МКГСС)	Физическая (СГС)
Длина	1 м	1 м	1 см = 10^{-2} м
Масса	1 кг	1 кг · с ² /м	1 г = 10^{-3} кг
Время	1 с	1 с	1 с
Сила	1 Н = 1 кг · м/с ²	1 кгс = 9,81 Н	1 дин = 1 г · м/с ² = 10^{-5} Н
Плотность	1 кг/м ³	1 кгс · с ² /м ⁴	1 г/см ³
Удельный вес	1 Н/м ³	1 кгс/м ³	1 дин/см ³
Динамический коэффициент вязкости	1 кг/(м · с)	1 кгс · с/м ²	1 П (пуаз) = 1 г/(см · с)
Кинематический коэффициент вязкости	1 м ² /с	1 м ² /с	1 Ст (стокс) = 1 см ² /с
Давление	1 Па = 1 Н/м ² (10^5 Па = 1 бар)	1 кгс/м ² (10^4 кгс/м ² = 1 ат)	1 дин/см ²
Энергия (работа)	1 Дж = 1 Н · м	1 кгс · м	1 эрг = 1 дин · см

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица плотности воды (в зависимости от температуры)

Темп., °С	Плотность, кг/м ³	Темп., °С	Плотность, кг/м ³	Темп., °С	Плотность, кг/м ³
0	999,87	34	994,4	68	978,9
2	999,97	36	993,72	70	977,8
4	1000	38	993	72	976,7
6	999,97	40	992,25	74	975,5
8	999,88	42	991,47	76	974,3
10	999,73	44	990,7	78	973,1
12	999,53	46	989,8	80	971,8
14	999,27	48	989	82	970,6
16	998,97	50	988,1	84	969,3
18	998,62	52	987,2	86	968
20	998,23	54	986,2	88	966,7
22	997,8	56	985,3	90	965,3
24	997,33	58	984,3	92	964
26	996,81	60	983,2	94	962,6
28	996,26	62	982,2	96	961,2
30	995,68	64	981,1	98	959,8
32	995,06	66	980,1	100	958,4

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Давление парообразования воды при различных температурах

t, °С	0	5	10	20	30	40	50
$\frac{p_t}{\gamma}$, м	0,06	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,26
t, °С	60	70	80	90	100	120	
$\frac{p_t}{\gamma}$, м	2,03	3,18	4,83	7,15	10,3	20,2	

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Понятие о напорах.....	4
Определение суммарных потерь напора при движении жидкости в трубопроводах	5
Примеры решения задач	6
Задачи для самостоятельного решения	11
Библиографический список.....	23
Приложение 1	24
Приложение 2	25
Приложение 3	25

НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 15.03.04*

Сост.: *Д.В. Горленков, И.И. Белоглазов, Р.Ю. Феценко*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
автоматизации технологических процессов и производств

Ответственный за выпуск *Д.В. Горленков*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 11.06.2019. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,5. Усл.кр.-отт. 1,5. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 50 экз. Заказ 544. С 198.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2