

Методическая разработка практического занятия: Расчет параметров компрессора.

Цели занятия:

- показать практическое применение изученного материала;
- отработать методику расчета основных параметров компрессора

Задачи:

- обеспечить систематизацию учебного материала по теме : компрессоры
- обеспечить формирование умений применять полученные знания для решения конкретных практических заданий
- отработка практических навыков решения задач
- формирование умений осуществлять самоконтроль результатов учебной деятельности

Форма организации занятия: практическое занятие.

Оборудование:

1. Наглядный раздаточный материал.
2. Вариант и методические рекомендации по выполнению практического задания..

Ход занятия.

- Актуализация знаний.
 1. Назначение и виды компрессоров.
 2. Описать по схеме рабочий процесс одноступенчатого поршневого компрессора.
 3. Дать понятие идеального компрессора.
 4. Описать по схеме конструкцию и работу поршневого компрессора.
 5. Дать характеристику основным параметрам компрессора:
работа, производительность, мощность, коэффициент полезного действия.

Рассмотрим пример расчета одноступенчатого поршневого компрессора. Из-за сложности процессов, протекающих в реальном компрессоре, рассмотрим идеальный компрессор, в котором все процессы равновесные, отсутствуют потери давления при прохождении газа через клапан, утечки газа, трение между поршнем и цилиндром, а также вредное пространство, т.е. поршень в крайнем положении подходит к плоскости крышки цилиндра вплотную. Работа такого компрессора состоит из следующих процессов: всасывание газа при постоянном давлении, сжатие (изотермическое, политропное или адиабатное), нагнетание газа и падение давления до первоначального.

Работа, потребляемая компрессором при адиабатном сжатии :

$$L_{ад} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right],$$

где k - показатель адиабаты.

Работа, потребляемая компрессором при изотермическом сжатии :

$$L_{из} = 2,303 p_1 v_1 \lg \frac{p_2}{p_1}$$

Рассматривая в данных формулах объем V_1 , как производительность компрессора в куб.м / с, получим работу, потребляемую компрессором в единицу времени, т.е. мощность.

Производительность поршневого компрессора простого действия :

$$V_k = \eta_v S h n,$$

где S и h - соответственно площадь и ход поршня компрессора ;

n - частота вращения компрессора (число двойных ходов поршня в секунду) ;

η_v - коэффициент подачи, т.е. отношение фактической объемной подачи к теоретической, равной объему, описанному поршнем.

Мощность, потребляемую компрессором, определяют исходя из среднего индикаторного давления p_i , которое находят по индикаторной диаграмме :

$$p_i = S_i / l_i m,$$

где S_i - площадь индикаторной диаграммы, кв.м ;

l_i - длина диаграммы, м ;

m - масштаб давления, м/ Па.

Индикаторная мощность, кВт, одноцилиндрового компрессора простого действия:

$$N_i = p_i S h n / 1000.$$

Термодинамическое совершенство работы компрессора характеризуется изотермическим или адиабатным индикаторным КПД.

Изотермический индикаторный КПД представляет собой отношение мощности, потребляемой компрессором при идеальном изотермическом процессе сжатия, к действительной индикаторной мощности :

$$\eta_{\dot{e}\dot{c}}^i = \frac{N_{\dot{e}\dot{c}}}{N_i}.$$

Для компрессоров, работающих без охлаждения, считают адиабатный индикаторный КПД :

$$\eta_{\dot{a}\dot{a}}^i = \frac{N_{\dot{a}\dot{a}}}{N_i}.$$

Все механические потери учитывает механический КПД, представляющий собой отношение индикаторной мощности к мощности на валу компрессора :

$$\eta_i = N_i / N_e.$$

Отношение теоретической мощности ($N_{ад}$ или $N_{из}$) к мощности на валу называют полным КПД компрессора.

Полный изотермический КПД:

$$\eta_{\dot{e}\dot{c}} = \frac{N_{\dot{e}\dot{c}}}{N_{\dot{a}}} = \eta_{\dot{e}\dot{c}}^i \eta_i.$$

Полный адиабатный КПД :

$$\eta_{\dot{a}\dot{a}} = \frac{N_{\dot{a}\dot{a}}}{N_{\dot{a}}} = \eta_{\dot{a}\dot{a}}^i \eta_i.$$

Средние значения полных КПД поршневых компрессоров $\eta_{из} = 0,65 \dots 0,75$;
 $\eta_{ад} = 0,75 \dots 0,85$.

- Выполнение практического задания.

Методические рекомендации.

- 1 Внимательно прочитать условие задачи и записать его в краткой форме.
2. Единицы измерения данных параметров нужно перевести в Международную

систему единиц (СИ).

3. Выполнить (если необходимо) схематический чертеж, поясняющий условия задачи.
4. Проанализировать условие задачи. На основании проведенного анализа определить , по какому закону протекает описанный процесс; записать формулу, выражающую физический смысл данного процесса или величины.
5. Пояснить сделанный выбор.
6. Подставить в формулу числовые значения величин, произвести числовой расчет и оценить разумность полученного результата.
7. Проверить и записать размерность искомой величины.
8. Записать полный ответ .

При выполнении задания следует помнить :

- Каждая физическая характеристика имеет свой физический смысл, выражаемый математической формулой, а значит и единицу измерения.
- Методы термодинамики позволяют оценивать совершенство реальных машин и устройств с позиции эффективности использования энергии. При этом КПД машины не может иметь значение больше единицы.

Пример выполнения и оформления задания.

Задача.

Метан в количестве 1,5 кг/сек. подвергают сжатию от атмосферного давления до 3,5 атмосфер. Определить изотермический и адиабатный КПД компрессора, если дано, что потребляемая мощность 430 кВт, а механический КПД компрессора - 0,91. Показатель адиабаты - 1,31. Определить показатель политропы реального процесса сжатия, если известно, что температура метана на выходе из компрессора 80°C, а на входе 20°C. Плотность метана при нормальных условиях равна 0,717 кг/куб.м.

Дано : $m = 1,5 \text{ кг/с}$, $p_1 = 1 \text{ атм.} = 1,033 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \text{ н/кв.м}$,
 $p_2 = 3,5 \text{ атм.}$, $N_l = 430 \text{ кВт}$,
 $\eta_{\text{мех}} = 0,91$, $k = 1,31$, $\rho_1 = 0,717 \text{ кг/куб.м}$,
 $t_2 = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ К}$, $t_1 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$.

Найти : $\eta_{\text{из}} = ?$ $\eta_{\text{ад}} = ?$ $n = ?$

Решение.

Определим начальный объемный расход (расход, приведенный к начальным условиям) :

$$Q_1 = \frac{m}{\rho_1} \cdot \frac{T}{273} = \frac{1,5}{0,717} \cdot \frac{292}{272} = 2,25 \text{ куб.м/с} ,$$

Теоретическая работа, потребляемая компрессором при изотермическом сжатии, равна :

$$l_{\text{эс}} = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} .$$

Разделив обе части уравнения на время, получим слева работу в единицу времени, т.е. мощность; а справа объем в единицу времени, т.е. объемную подачу. Запишем получившееся равенство :

$$N_{\text{из}} = p_1 \cdot Q_1 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} = 1,033 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 2,25 \cdot \ln \frac{3,5}{1} = 2,86 \cdot 10^5 \text{ Вт.}$$

Аналогично находим теоретическую мощность при адиабатном сжатии :

$$\begin{aligned} N_{\text{ад}} &= p_1 \cdot Q_1 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \\ &= 1,033 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 2,25 \cdot \frac{1,31}{1,31-1} \cdot \left[\left(\frac{3,5}{1} \right)^{\frac{1,31-1}{1,31}} - 1 \right] = 3,38 \cdot 10^5 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Из формулы потребляемой мощности находим индикаторную мощность :

$$N_{\text{инд}} = N_l \cdot \eta_{i\dot{a}\dot{o}} = 430 \cdot 0,91 = 3,91 \cdot 10^5 \text{ Вт} = 391 \text{ кВт} .$$

Изотермический индикаторный КПД :

$$\eta_{\dot{e}\dot{c}}^i = \frac{N_{\dot{e}\dot{c}}}{N_{i\dot{e}\dot{f}\dot{a}}} = \frac{2,86 \cdot 10^5}{3,91 \cdot 10^5} = 0,73 .$$

Адиабатный индикаторный КПД :

$$\eta_{\dot{a}\dot{a}}^i = \frac{N_{\dot{a}\dot{a}}}{N_{i\dot{e}\dot{f}\dot{a}}} = \frac{3,38 \cdot 10^5}{3,91 \cdot 10^5} = 0,86.$$

Полный адиабатный КПД компрессора :

$$\eta_{\dot{a}\dot{a}} = \eta_{\dot{a}\dot{a}}^i \cdot \eta_{i\dot{a}\dot{o}} = 0,86 \cdot 0,91 = 0,78.$$

Полный изотермический КПД компрессора :

$$\eta_{\dot{e}\dot{c}} = \eta_{\dot{e}\dot{c}}^i \cdot \eta_{i\dot{a}\dot{o}} = 0,73 \cdot 0,91 = 0,66.$$

Для определения показателя политропы n воспользуемся формулой :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} .$$

Прологарифмировав, получим :

$$\lg \frac{T_2}{T_1} = \frac{n-1}{n} \cdot \lg \frac{p_2}{p_1} .$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \frac{n-1}{n} &= \frac{\lg \frac{T_2}{T_1}}{\lg \frac{p_1}{p_2}} = \frac{\lg \frac{353}{293}}{\lg \frac{3,5}{1}} = 0,149. \\ n &= 1,175. \end{aligned}$$

Ответ : изотермический КПД компрессора равен 0,66 ;
адиабатный КПД компрессора равен 0,78 ;
показатель политропы равен 1,175.

Практическое задание.

тема : Расчет параметров компрессора

Прежде, чем приступить к решению задачи, рассмотрим пример расчета одноступенчатого поршневого компрессора.

Из-за сложности процессов, протекающих в реальном компрессоре, рассмотрим идеальный компрессор, в котором все процессы равновесные, отсутствуют потери давления при прохождении газа через клапан, утечки газа, трение между поршнем и цилиндром, а также вредное пространство, т.е. поршень в крайнем положении подходит к плоскости крышки цилиндра вплотную. Работа такого компрессора состоит из следующих процессов: всасывание газа при постоянном давлении, сжатие (изотермическое, политропное или адиабатное), нагнетание газа и падение давления до первоначального.

Работа, потребляемая компрессором при адиабатном сжатии :

$$L_{ад} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right], \text{ где } k - \text{показатель адиабаты.}$$

Работа, потребляемая компрессором при изотермическом сжатии :

$$L_{из} = 2,303 p_1 v_1 \lg \frac{p_2}{p_1}$$

Рассматривая в данных формулах объем V_1 , как производительность компрессора в куб.м / с, получим работу, потребляемую компрессором в единицу времени, т.е. мощность.

Производительность поршневого компрессора простого действия :

$$V_k = \eta_v S h n,$$

где S и h - соответственно площадь и ход поршня компрессора ;

n - частота вращения компрессора (число двойных ходов поршня в секунду) ;

η_v - коэффициент подачи, т.е. отношение фактической объемной подачи к теоретической, равной объему, описанному поршнем.

Мощность, потребляемую компрессором, определяют исходя из среднего индикаторного давления p_i , которое находят по индикаторной диаграмме :

$$p_i = S_i / l_i m,$$

где S_i - площадь индикаторной диаграммы, кв.м ;

l_i - длина диаграммы, м ;

m - масштаб давления, м/ Па.

Индикаторная мощность, кВт, одноцилиндрового компрессора простого действия:

$$N_i = p_i S h n / 1000.$$

Термодинамическое совершенство работы компрессора характеризуется изотермическим или адиабатным индикаторным КПД.

Изотермический индикаторный КПД представляет собой отношение мощности, потребляемой компрессором при идеальном изотермическом процессе сжатия, к действительной индикаторной мощности :

$$\eta_{\text{из}}^i = \frac{N_{\text{из}}}{N_i}.$$

Для компрессоров, работающих без охлаждения, считают адиабатный индикаторный КПД :

$$\eta_{\text{ад}}^i = \frac{N_{\text{ад}}}{N_i}.$$

Все механические потери учитывает механический КПД, представляющий собой отношение индикаторной мощности к мощности на валу компрессора:

$$\eta_i = N_i / N_e .$$

Отношение теоретической мощности ($N_{ад}$ или $N_{из}$) к мощности на валу называют полным КПД компрессора.

Полный изотермический КПД:
$$\eta_{\dot{e}c} = \frac{N_{\dot{e}c}}{N_{\dot{a}}} = \eta_{\dot{e}c}^i \eta_i .$$

Полный адиабатный КПД :

$$\eta_{\dot{a}a} = \frac{N_{\dot{a}a}}{N_{\dot{a}}} = \eta_{\dot{a}a}^i \eta_i .$$

Средние значение полных КПД поршневых компрессоров $\eta_{из} = 0,65 \dots 0,75$;
 $\eta_{ад} = 0,75 \dots 0,85$.

- Методические рекомендации для выполнения практического задания.

- 1 Внимательно прочитать условие задачи и записать его в краткой форме.
2. Единицы измерения данных параметров нужно перевести в Международную систему единиц (СИ).
3. Выполнить (если необходимо) схематический чертеж, поясняющий условие задачи.
4. Проанализировать условие задачи. На основании проведенного анализа определить , по какому закону протекает описанный процесс; записать формулу, выражающую физический смысл данного процесса или величины.
5. Пояснить сделанный выбор.
6. Подставить в формулу числовые значения величин, произвести числовой расчет и оценить разумность полученного результата.
7. Проверить и записать размерность искомой величины.
8. Записать полный ответ .

При выполнении задания следует помнить :

- Каждая физическая характеристика имеет свой физический смысл, выражаемый математической формулой, а значит и единицу измерения.
- Методы термодинамики позволяют оценивать совершенство реальных машин и устройств с позиции эффективности использования энергии. При этом КПД машины не может иметь значение больше единицы.

Задача.

Метан в количестве 1,5 кг/сек. подвергают сжатию от атмосферного давления до 3,5 атмосфер. Определить изотермический и адиабатный КПД компрессора, если дано, что потребляемая мощность 430 кВт, а механический КПД компрессора - 0,91. Показатель адиабаты - 1,31. Определить показатель политропы реального процесса сжатия, если известно, что температура метана на выходе из компрессора 80°C, а на входе 20°C. Плотность метана при нормальных условиях равна 0,717 кг/куб.м.