

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 26.12.2021 15:29:47

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb17c5d426d79e5f1e11cab573e947d64a48515d156d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)**

**Кафедра управления инновациями
Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции**



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2013 г.

ИСПЫТАНИЕ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

**Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Теплотехника»
для студентов технических специальностей**

Курск 2013

УДК 621

Составители: И.Р. Чеховский, Л.Е. Кудрявцева, И.И. Сокол, В.А. Кудрявцев, Е.М. Кувардина.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
теплогазоснабжения и вентиляции *Г.Г.Щедрина*

Испытание одноступенчатого поршневого компрессора : методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теплотехника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: И.Р. Чеховский, Л.Е. Кудрявцева, И.И. Сокол, В.А. Кудрявцев, Е.М. Кувардина, Курск, 2013. 11 с., ил.7, табл. 1. Библиогр.: с. 11.

Излагаются краткие сведения о процессе сжатия воздуха в поршневом компрессоре, методические рекомендации по испытанию одноступенчатого поршневого компрессора и определению его основных характеристик.

Методические указания предназначены для студентов технических специальностей.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. 0,64 .Уч. изд.л.0,58 .Тираж экз.Заказ Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября

Целью работы является углубление знаний по теории, конструкции и методике испытаний поршневых компрессоров.

Задание

Определить: производительность компрессора, коэффициент подачи, показатель политропы сжатия, работу, затраченную на сжатие воздуха, мощность, потребляемую компрессором, к.п.д. компрессора.

Теоретическая часть

Машины для сжатия газов называются компрессорами. В зависимости от принципа сжатия их можно разделить на две основные группы: 1) машины объемного сжатия – повышение давления газа происходит за счёт уменьшения объёма рабочего пространства. К этой группе машин относятся поршневые компрессоры с возвратно-поступательным движением поршней (рис. 1) и различные типы ротационных компрессоров с вращающимися поршнями; 2) машины кинетического сжатия – сжатие газа имеет динамический характер и осуществляется в два этапа. Первый этап состоит в сообщении газу некоторой скорости; второй этап заключается в преобразовании кинетической энергии потока газа при его торможении в энергию давления. К этой группе относятся цен

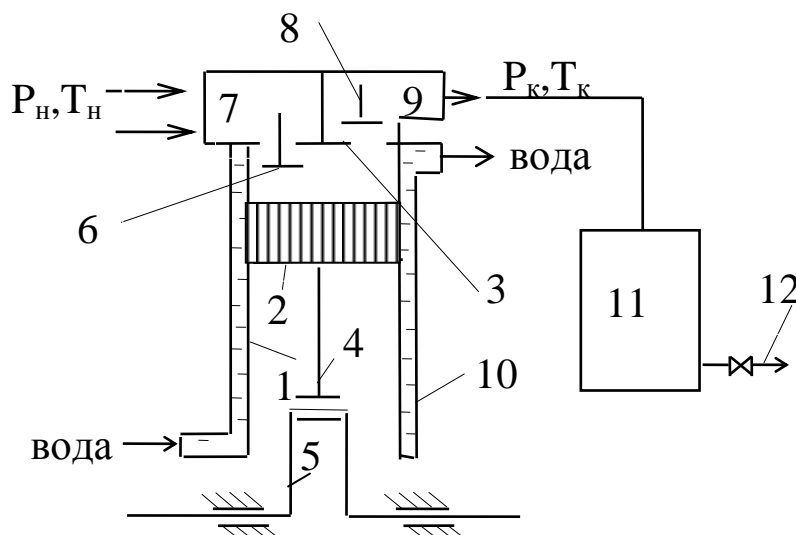


Рис.1. Схема одноступенчатого поршневого компрессора:

1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – крышка цилиндра; 4 – шатун; 5 – кривошип; 6 – впускной клапан; 7 – впускной патрубок; 8 – выпускной клапан; 9 – выпускной патрубок; 10 – водяная рубашка охлаждения цилиндра; 11 – ресивер; 12 – подача газа к потребителю.

тробежные и осевые машины.

Различают одноступенчатое и многоступенчатое сжатие га-

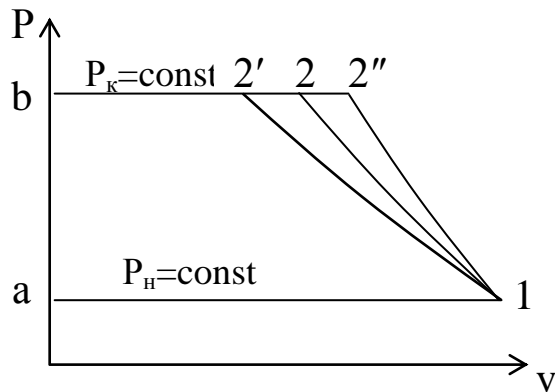


Рис.2. Процессы сжатия в идеальном одноступенчатом поршневом компрессоре в P-v диаграмме

зов в компрессорах. На рис. 1 представлена схема одноступенчатого поршневого компрессора. Если при крайнем верхнем положении поршня отсутствует зазор между крышкой цилиндра и днищем поршня, то такой компрессор называется идеальным. При движении поршня сверху вниз возникает разрежение, за счет чего впускной клапан автоматически открывается и

цилиндр наполняется газом по изобаре a-1 при давлении P_H . Точка 1 соответствует крайне нижнему положению поршня. При движении поршня снизу вверх при закрытых клапанах происходит сжатие газа в цилиндре.

Сжатие может происходить по адиабате 1-2'', политропе 1-2 или по изотерме 1-2', рис.2. Характер процесса сжатия определяется интенсивностью охлаждения цилиндра компрессора. Обычно сжатие политропное, показатель политропы $n=1,2 \div 1,25$. При достижении в цилиндре давления P_K выпускной клапан автоматически открывается и сжатый газ нагнетается в ресивер по изобаре 2-b или 2'-b или 2''-b. При следующем ходе поршня в цилиндр поступает новая порция газа и все процессы повторяются.

При адиабатном сжатии газа в компрессоре затрачивается работа $\ell_a = \text{пл. } a-1-2''-b-a$

$$\ell_a = \frac{\kappa}{\kappa-1} R \cdot T_H \left[\left(\frac{P_K}{P_H} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right],$$

где κ – показатель адиабаты; R – индивидуальная газовая постоянная, Дж/(кг·К); $\frac{P_K}{P_H} = \pi$ – степень повышения давления.

При политропном сжатии газа в компрессоре затрачивается работа $l_{\text{п}} = \text{пл. } a-1-2-b-a$

$$l_{\text{п}} = \frac{n}{n-1} R \cdot T_{\text{н}} \left[\pi^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right].$$

При изотермическом сжатии газа в компрессоре затрачивается работа $l_{\text{и}} = \text{пл. } a-1-2'-b-a$

$$l_{\text{и}} = R \cdot T_{\text{н}} \cdot \ln \pi.$$

Охлаждение цилиндра компрессора в процессе сжатия позволяет получить экономию работы, равную площадке $1-2''-2-1$ (см. рис.2) и кроме того снижает температуру конца сжатия (рис. 3).

При сжатии по адиабате $1-2''$ температура конца сжатия равна $T_{\text{к.ад.}}$, при политропном сжатии $1-2'$ – $T_{\text{к.пол.}}$, а при изотермическом сжатии $1-2''$ температура конца сжатия $T_{\text{к.из.}} = T_{\text{н}}$.

На рис.4 представлена теоретическая индикаторная диаграмма

реального одноступенчатого компрессора. В реальном компрессоре между крышкой цилиндра и днищем поршня в его крайнем положении при выталкивании сжатого газа обязательно имеется зазор (

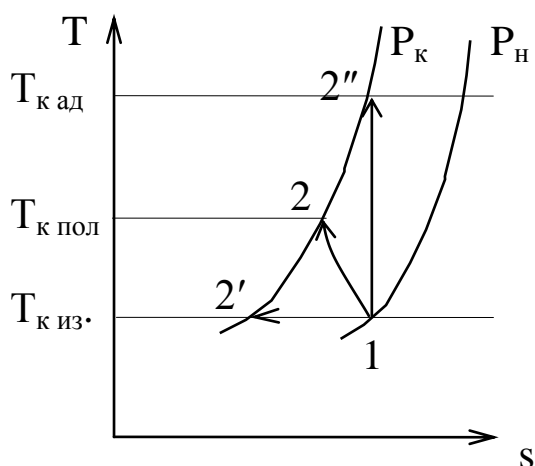


Рис.3. Процесс сжатия газа в одноступенчатом поршневом компрессоре в T-s диаграмме

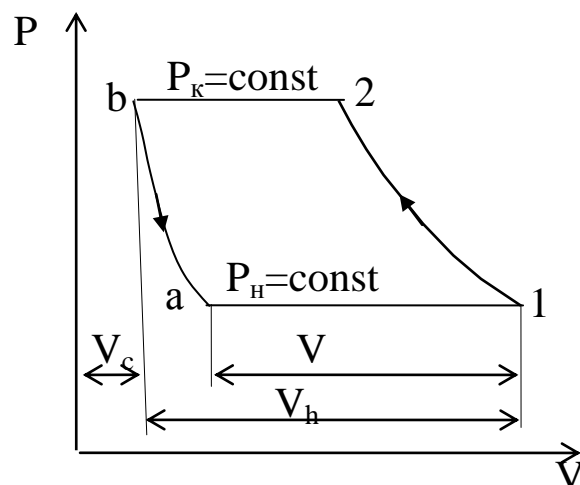


Рис.4. Теоретическая индикаторная диаграмма реального одноступенчатого компрессора

объём), называемый вредным (мёртвым) пространством, который обозначают V_c . При движении поршня сверху вниз газ, находя

щийся во вредном пространстве, расширяется по политропе $b-a$ до тех пор, пока в цилиндре не возникнет некоторое разрежение. При давлении P_n впускной клапан откроется и в цилиндр будет поступать свежая порция газа по изобаре $a-1$. При движении поршня снизу вверх газ сжимается в цилиндре при закрытых клапанах по политропе $1-2$. В точке 2 автоматически открывается выпускной клапан и при дальнейшем ходе поршня вверх происходит нагнетание газа в ресивер по изобаре $2-b$. При обратном ходе поршня газ, находящийся во вредном пространстве, расширяется, и все процессы повторяются. Объём, описываемый поршнем за один ход, называют рабочим объёмом и обозначают V_h . Объём газа, поступающего в цилиндр в процессе наполнения обозначают V .

Отношение V/V_h называют объёмным к.п.д. компрессора $\eta_{об}$. Для идеального компрессора $\eta_{об}=1$, т.к. $V=V_h$. Вследствие того что объёмный к.п.д. не учитывает температурных изменений газа в процессе всасывания и утечки через неплотности для характеристики действительной производительности компрессора, пользуются коэффициентом подачи λ .

Объёмный к.п.д. зависит от величины объёма вредного пространства V_c и степени повышения давления π . Для того, чтобы уменьшить влияние объёма вредного пространства на производительность компрессора, а также, чтобы снизить температуру в конце процесса сжатия, применяют многоступенчатое сжатие.

На рис.5 представлена схема двухступенчатого поршневого компрессора. Процесс сжатия газа в многоступенчатых компрессорах осуществляется последовательно во всех ступенях с охлаж

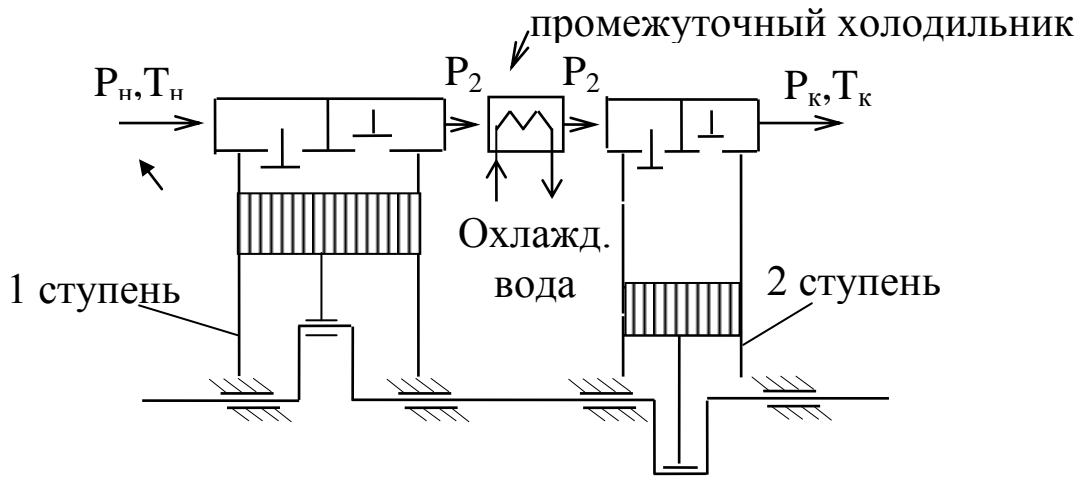


Рис.5. Схема двухступенчатого поршневого компрессора

дением газа после процесса сжатия в каждой ступени.

Наиболее выгодным оказывается многоступенчатое сжатие в случае, если степени повышения давления одинаковые во всех ступенях. На рис.6 показан процесс сжатия газа в двухступенчатом поршневом компрессоре, где 0-1 – процесс наполнения первой ступени; 1-2 – политропное сжатие газа в первой ступени; 2-а – процесс нагнетания сжатого газа по изобаре P_2 в промежуточный холодильник; 2-3 – изобарное охлаждение газа в промежуточном холодильнике до температуры $T_{н1}$; а-3 – процесс наполнения цилиндра второй ступени; 3-4 – политропное сжатие во второй ступени; 4-b – процесс нагнетания сжатого газа при давлении P_k в ресивер;

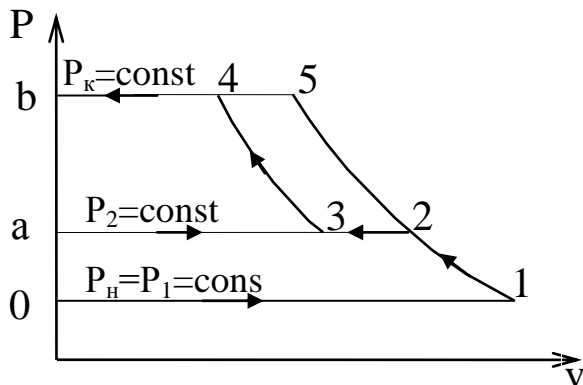


Рис.6. Процесс сжатия в двухступенчатом поршневом компрессоре

площадка 0-1-2-а – работа, затрачиваемая на сжатие газа в первой ступени; площадка а-3-4-b – работа, затрачиваемая на сжатие во второй ступени; площадка 0-1-5-b – работа, затрачиваемая на сжатие газа в одноступенчатом компрессоре от давления P_n до давления P_k ; площадка 2-3-4-5 – экономия работы за счет двухступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением.

Таким образом, применение двухступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением дает экономию в работе и снижает температуру в конце процесса сжатия газа.

Степень повышения давления в каждой ступени равна

$$\pi_1 = \pi_2 = (P_k / P_n)^{0,5}.$$

При этом во всех ступенях компрессора затрачивается одинаковая работа

$$\ell_1 = \ell_2 = \frac{n}{n-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left(\pi_1^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right),$$

где n – показатель политропы сжатия. Мощность, затрачиваемая на привод компрессора, кВт,

$$N_k = G(\ell_1 + \ell_2) \cdot 10^{-3} \cdot \eta_k^{-1},$$

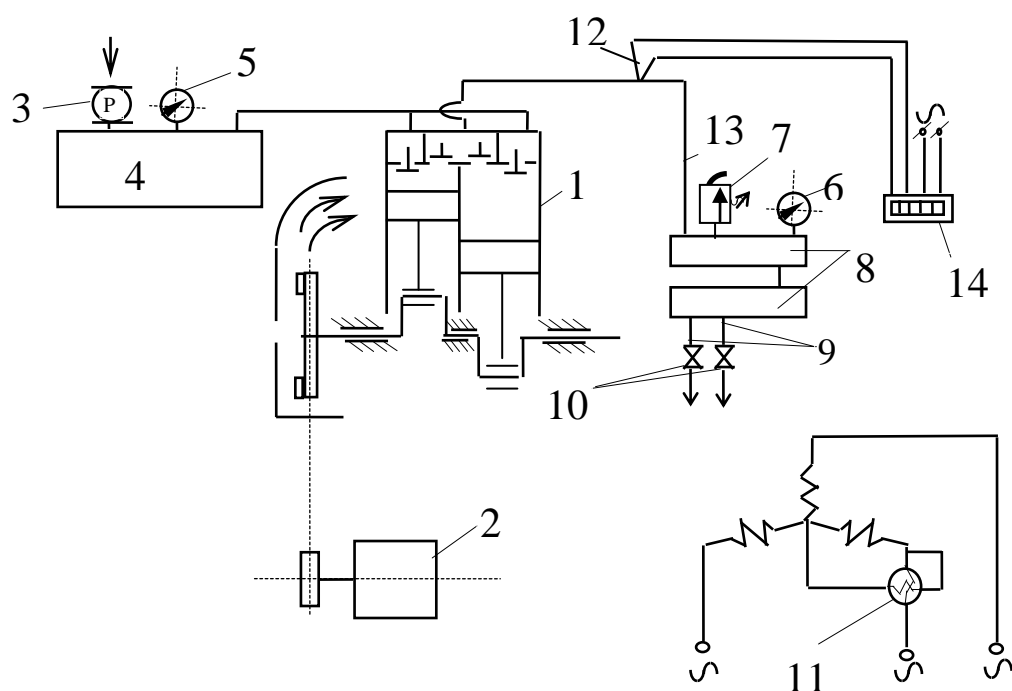


Рис.7. Схема экспериментальной установки:

1 – поршневой компрессор; 2 – электродвигатель; 3 – газовый счетчик; 4 – ресивер; 5 – вакуумметр; 6 – манометр; 7 – предохранительный клапан; 8 – ресиверы компрессора; 9 – штуцеры; 10 – пробковые краны; 11 – ваттметр; 12 – хромель-копелевая термопара; 13 – трубопровод сжатого воздуха; 14 – милливольтметр

где G – массовая производительность компрессора, кг/с; η_k – к.п.д. компрессора.

Описание опытной установки

Схема опытной установки представлена на рис.7. Установка содержит двухцилиндровый одноступенчатый компрессор 1, электродвигатель 2, вращающий вал компрессора через клиноременную передачу, счетчик газа 3, ресивер 4 для сглаживания пульсации потока воздуха, пружинный вакуумметр 5, пружинный манометр 6, предохранительный клапан 7, два последовательно соединенных ресивера 8 для сбора сжатого воздуха, штуцеры 9 для подачи сжатого воздуха к потребителю, пробковые краны 10, ваттметр 11, хромель – копелевую термопару 12, установленную на трубопроводе сжатого воздуха 13 и подключенную к милливольтметру 14. Число оборотов вала компрессора измеряется та-

Обработка опытных данных

1. Определяем рабочий объём цилиндра компрессора $V_h(\text{м}^3)$

$$V_h = 0,785D^2 \cdot S,$$

где $D = 0,0875\text{м}$ – диаметр цилиндра; $S = 0,0845\text{м}$ ход поршня.

2. Находим теоретическую объёмную производительность компрессора $V_T(\text{м}^3/\text{с})$

$$V_T = 2V_h \cdot n_B / 60.$$

3. Определяем действительную объёмную производительность компрессора $V_d(\text{м}^3/\text{с})$

$$V_d = \Delta V / \tau.$$

4. Определяем коэффициент подачи компрессора

$$\lambda = V_d / V_T.$$

5. Находим плотность атмосферного воздуха $\rho(\text{кг}/\text{м}^3)$

$$\rho = P_6 / [287(273 + t_0)].$$

6. Определяем действительную массовую производительность компрессора $G_d(\text{кг}/\text{с})$

$$G_d = \rho \cdot V_d.$$

7. Вычисляем показатель политропы сжатия, используя соотношение $T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(n-1)/n}$.

$$n = \ln P_2/P_1 \cdot (\ln P_2/P_1 - \ln T_2/T_1)^{-1},$$

где $P_1 = P_6$ – давление воздуха на входе в компрессор, Па; $P_2 = P_6 + 0,98 \cdot 10^5 \cdot P_m$ – абсолютное давление сжатого воздуха, Па; $T_1 = 273 + t_0$ и $T_2 = 273 + t_2$ – абсолютные температуры воздуха в начале и конце процесса сжатия, К.

8. Определяем работу сжатия **1 кг** воздуха (Дж/кг)

$$\ell = n \cdot R \cdot (T_2 - T_1) / (n - 1),$$

где $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – газовая постоянная воздуха.

9. Вычисляем теоретическую мощность компрессора N_T (кВт)

$$N_T = G_d \ell \cdot 10^{-3}.$$

9. Определяем мощность на валу компрессора N_e (кВт)

$$N_e = 3 \cdot N \cdot \eta_3 \cdot \eta_{пр} \cdot 10^{-3},$$

где $\eta_3 = 0,85$ – к.п.д. электродвигателя; $\eta_{пр} = 0,92$ – к.п.д. клиноременной передачи; $N = 0,01 n_p \cdot "I" \cdot "U" \cdot \text{Вт}$

10. Вычисляем к.п.д. компрессора

$$\eta_k = N_T / N_e.$$

11

11. Вычисляем косинус фи $\cos \varphi = N / (U \cdot I)$,
где $U = 0,01 n_u \cdot "U"$; в; $I = 0,01 n_I \cdot "I"$, а

Контрольные вопросы

1. Процессы сжатия воздуха в компрессоре.
2. Индикаторная диаграмма идеального компрессора.
3. Индикаторная диаграмма реального компрессора.
4. Что такое объёмный коэффициент и коэффициент подачи?
5. Сжатие воздуха в многоступенчатом компрессоре с промежуточным охлаждением.
6. Изображение процессов сжатия в T-s координатах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплотехнические измерения и приборы/Г.И.Иванова, Н.Д.Кузнецов, В.С.Чистяков.-М.: МЭИ 2005. 450с.
2. Теплотехника: Учеб.для вузов/ А.П.Баскаков, Б.В.Берг, О.К.Витт и др.; Под ред. А.П.Баскакова.-М.:ООО «ИД Бастет», 2010.-328с.
3. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник/ Под общ. Ред.В.М.Зорина: М.: Энергоатомиздат, 1988, 560 с.
4. Нащокин В.В.Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб.пособие для ВУЗов. М.: Высш.шк., 1980. 469 с.