

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»
Кафедра «Энергетика и технология металлов»

ИСПЫТАНИЕ КОМПРЕССОРА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Техническая термодинамика»
для бакалавров направлений
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Курган 2021

Кафедра: «Энергетика и технология металлов».

Дисциплина: «Техническая термодинамика».

Направления: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Составил: канд. техн. наук, доц. В. А. Савельев.

Печатается в соответствии с планом издания, утвержденным методическим советом «10» декабря 2020 г.

Утверждены на заседании кафедры «4» апреля 2021 г.

ИСПЫТАНИЕ КОМПРЕССОРА

Цель работы: изучение устройства и работы, испытание компрессора на соответствие параметрам, заданным изготовителем.

Общие положения

Компрессором называется тепловая машина для сжатия газов. Такие машины находят широкое применение в различных отраслях хозяйственной деятельности. В энергетических отраслях они используются для интенсификации процессов горения топлива, отвода продуктов горения, транспортировки теплоты и энергоносителей, теплообмена.

По принципу работы компрессоры разделяют на *объемные* и *динамические*.

В *объемных* (камерных) машинах используется потенциальная энергия давления за счет уменьшения объема рабочей камеры вытеснителем (поршнем) и, как следствие, увеличение давления рабочего тела (газа). Конструктивно они делятся на возвратно-поступательные (поршневые) и роторные (вращательные).

В *динамических* машинах изменяется кинетическая энергия рабочего тела (скорость движения). Такие компрессоры называют лопастными или лопаточными. Они бывают центробежными, осевыми и струйными.

Объёмные компрессоры

Устройство и работу компрессора удобнее рассмотреть на примере объёмного одноцилиндрового поршневого компрессора.

Поршневой компрессор состоит из цилиндра, в котором возвратно-поступательно движется поршень. Шатун соединяет поршень с коленчатым валом, преобразуя вращательное движение от постороннего источника энергии в поступательное. В верхней части цилиндра находится клапанная коробка с всасывающим (впускным) и нагнетающим (выпускным) клапанами. Такой компрессор показан на рисунке 1.

Работа компрессора осуществляется следующим образом. При движении поршня сверху вниз открывается впускной клапан и из окружающей среды всасывается газ. Нагнетательный клапан в это время закрыт под действием давления в линии нагнетания. При обратном движении поршня вверх газ сжимается, давление его увеличивается и всасывающий клапан закрывается. Процесс сжатия продолжается до тех пор, пока давление не станет выше давления в напорной сети. Нагнетательный клапан открывается, и сжатый газ поступает в напорную сеть. Затем цикл повторяется.

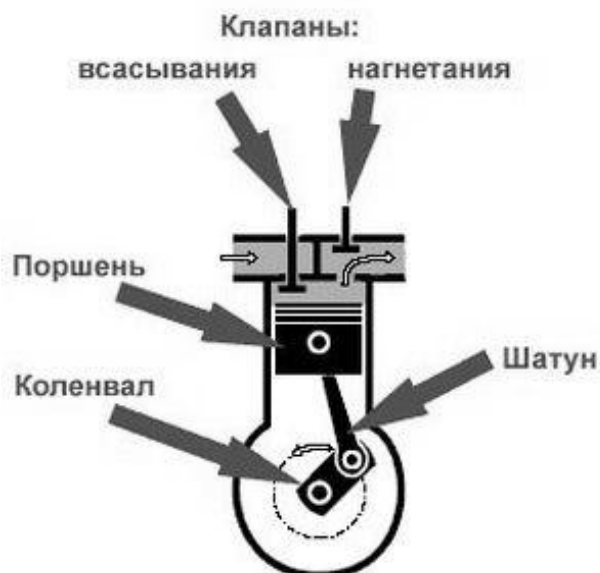
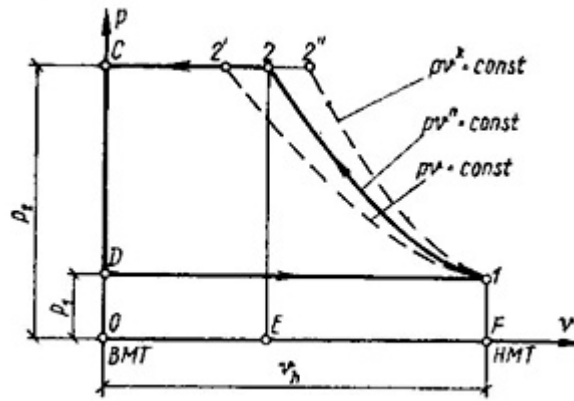


Рисунок 1 – Устройство поршневого компрессора

Рассмотрим рабочий процесс одноступенчатого компрессора, показанный на индикаторной диаграмме (рисунок 2) в Pv -координатах для идеального одноступенчатого компрессора, в котором не учитываются потери на трение, а утечки газа и объем вредного пространства (объем между крышкой цилиндра и днищем поршня при его верхнем положении) принимаются равными нулю [1, 2]. В формулах, на графиках и диаграммах удельные значения величин обозначаются строчными буквами, а действительные – заглавными. С началом нового хода поршня снова открывается всасывающий клапан, давление в цилиндре падает от P_2 до P_1 теоретически мгновенно по вертикали C-D, и рабочий процесс повторяется, завершаясь за два последовательных хода поршня. Следовательно, компрессор представляет собой двухтактную машину. Площадь теоретической индикаторной диаграммы D-1-2-C, которая графически изображает круговой процесс, измеряет работу, расходуемую компрессором за один оборот его вала. Нужно иметь в виду условность названия кругового процесса (цикла) компрессора, так как всасывание и нагнетание не являются термодинамическими процессами, поскольку они происходят при переменном количестве газа.



V_h – рабочий (полезный) объем цилиндра; P_1 – давление окружающей среды; P_2 – давление газа в линии нагнетания; процессы: D-1 – всасывание; 1-2 – сжатие; 2-C – нагнетание

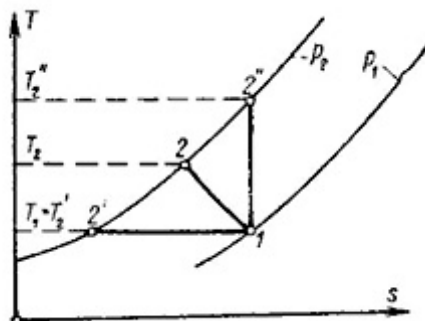
Рисунок 2 – Теоретическая индикаторная диаграмма компрессора

В этом состоит отличие индикаторной диаграммы от Pv -диаграммы, которая строится для постоянного количества рабочего тела. В индикаторной диаграмме D-1-2-C только сжатие газа 1-2 – термодинамический процесс, ибо в нем участвует постоянное количество газа. Очевидно, что при одном и том же конечном давлении P_2 конечный объем v_2 будет различен в зависимости от характера кривой процесса сжатия 1-2, а значит, будет различна и работа, затрачиваемая на привод компрессора. Как следует из рисунка 2, наиболее выгодным процессом сжатия по затрате работ извне для привода компрессора является изотермический процесс 1-2'. В этом случае соблюдаются также идеальные условия для сохранения качества смазочных масел (вязкость, температура вспышки и др.). Однако изотермическое сжатие газа в компрессоре практически неосуществимо, и кривая сжатия обычно располагается между изотермой и адиабатой и может быть принята за политропу с показателем $n = 1,2 - 1,25$. Чем интенсивнее будет охлаждение газа при сжатии (чаще всего водой, проходящей через рубашку компрессора), тем больше будет политропа сжатия 1-2 отклоняться от адиабаты 1-2'' в сторону изотермы 1-2'. С уменьшением теплообмена показатель n увеличивается. Очевидно также, что с увеличением n при одном и том же отношении P_2/P_1 , конечная температура сжатого газа T_2 будет возрастать по закону:

$$T_2 = T_1(P_2/P_1)^{(n-1)/n}.$$

Это наглядно видно на рисунке 3. Конечная температура сжатия T_2 зависит от характера процесса сжатия. Наиболее высокая температура будет при

сжатии в адиабатном процессе T''_2 . Кроме того при адиабатном сжатии давление воздуха можно увеличить только в 4 раза (при начальном давлении $P_1 = 0,1$ МПа, $t_1 = 16$ °С и конечной температуре $t_2 = 160$ °С), а при политропном ($n = 1,2$) в 10 раз. Адиабатное сжатие является невыгодным процессом.



T''_2 – повышение температуры при адиабатном сжатии; T_2 – при политропном сжатии; T_2' – при изотермическом сжатии

Рисунок 3 –Ts-диаграмма одноцилиндрового поршневого компрессора

Абсолютное значение работы, затрачиваемой на сжатие 1 кг газа в одноступенчатом идеальном компрессоре может быть подсчитано теоретически по индикаторной диаграмме (рисунок 2):

$$L = \ell_{сж} + \ell_{нагн} - \ell_{всас} = \int Pdv + P_2 v_2 - P_1 v_1 [1, 3],$$

где $\ell_{сж}$ – работа сжатия $\int Pdv$ (площадь $F - 1 - 2 - E$);

$\ell_{нагн}$ – работа нагнетания $P_2 v_2$ (площадь $2 - C - O - E$);

$\ell_{всас}$ – работа всасывания $P_1 v_1$ (площадь $1 - D - O - F$);

L – полная работа компрессора.

По смыслу работы L , $\ell_{сж}$, $\ell_{нагн}$ являются отрицательными, а работа процесса всасывания $\ell_{всас}$ – положительной, так как на ее совершение энергия не затрачивается (трение отсутствует), и сопротивление воздуха, находящегося справа под поршнем при ходе всасывания, не учитывается, ибо не принимается также во внимание положительная работа этого воздуха при сжатии и нагнетании. В зависимости от характера процесса сжатия интеграл $\int Pdv$ имеет следующие значения:

для изотермического процесса:

$$\ell_{т} = P_1 v_1 \ln(P_1/P_2);$$

для адиабатного процесса:

$$\ell_{ад} = 1/(k - 1)(P_1 v_1 - P_2 v_2);$$

для политропного процесса:

$$\ell_{\text{пол}} = 1/(n - 1)(P_1 v_1 - P_2 v_2).$$

Чтобы не иметь дело с отрицательными величинами при подсчете работы сжатия, их умножают на -1. Это дает:

$$\ell_{\text{т}} = P_1 v_1 \ln(P_2/P_1);$$

$$\ell_{\text{ад}} = 1/(k - 1)(P_2 v_2 - P_1 v_1);$$

$$\ell_{\text{пол}} = 1/(n - 1)(P_2 v_2 - P_1 v_1).$$

Тогда теоретическая работа компрессора, затрачиваемая на сжатие 1 кг газа, при изотермическом процессе сжатия выразится равенством:

$$\ell_{\text{т}} = P_1 v_1 \ln(P_2/P_1);$$

при адиабатическом процессе сжатия:

$$\ell_{\text{ад}} = k/(k - 1)P_1 v_1 [(P_2/P_1)^{(k-1)/k} - 1];$$

при политропном процессе сжатия:

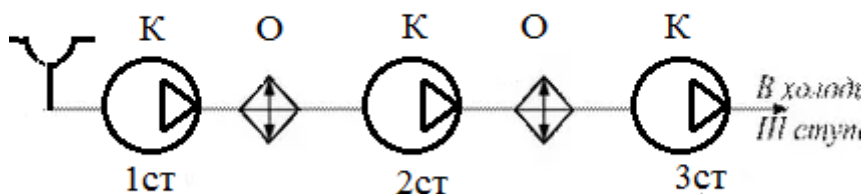
$$\ell_{\text{пол}} = n/(n - 1)P_1 v_1 [(P_2/P_1)^{(n-1)/n} - 1].$$

При уменьшении производительности компрессора с увеличением давления сжатого воздуха и ухудшении при этом условий смазки из-за повышения температуры T_2 одноступенчатый компрессор становится непригодным для получения сжатого газа высокого давления. Обычно одноступенчатые компрессоры применяют для получения сжатого газа давлением не выше 0,8–1 МПа. При необходимости иметь сжатый газ более высокого давления используют многоступенчатые компрессоры.

Многоступенчатый поршневой компрессор

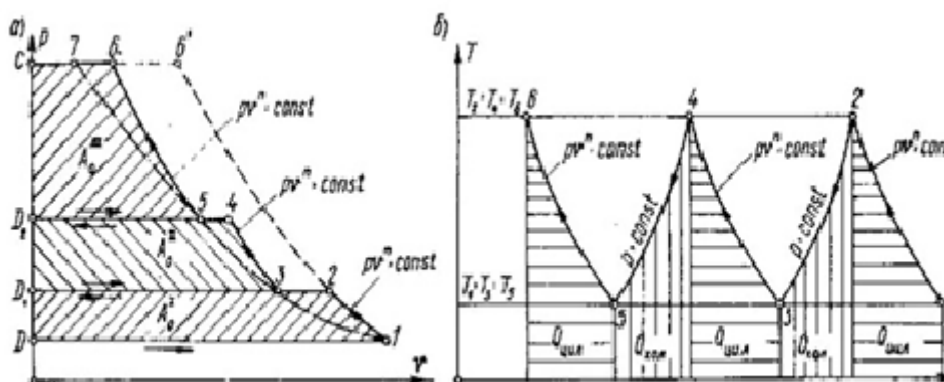
В многоступенчатых компрессорах сжатие газов осуществляется последовательно в нескольких цилиндрах с промежуточным охлаждением после каждого цилиндра в охладителях. При таком принципе работы сжатие газа в каждом цилиндре возможно при допустимом температурном режиме, обеспечивающем благоприятные условия смазки. В промежуточных охладителях после каждого цилиндра газ охлаждают при постоянном давлении, равном давлению конечного сжатия в соответствующей ступени.

Рассмотрим в качестве примера работу трехступенчатого поршневого компрессора, схема которого приведена на рисунке 4, а рабочий процесс в Pv - и Ts -координатах (для идеального компрессора) – на рисунке 5.



К – степень компрессора, О – охладитель

Рисунок 4 – Схема трехступенчатого поршневого компрессора



а) Pv -диаграмма, б) Ts -диаграмма

Рисунок 5 – Теоретические индикаторные диаграммы трехступенчатого компрессора

Газ всасывается в цилиндр низкого давления (процесс D-1 на рисунке 4), сжимается по политропе 1-2 до давления P_2 и нагнетается в промежуточный охладитель O_1 , где при постоянном давлении P_2 охлаждается в теплообменном аппарате. Из промежуточного охладителя сжатый газ всасывается во вторую ступень. Конечный объем всасывания $v_3 < v_2$; так как $P_2 = \text{Const}$, а $T_3 < T_2$. Во второй ступени газ сжимается по политропе до давления P_4 (процесс 3-4), нагнетается при этом давлении во второй промежуточный охладитель O_2 и от туда поступает в третью ступень, где и сжимается до конечного заданного давления P_6 (процесс 5-6) и нагнетается в напорную линию [2, 3].

Работу многоступенчатого компрессора стремятся организовать так, чтобы обеспечивались следующие три условия:

- 1) полное охлаждение газа во всех холодильниках, т. е. температуру газа доводят до начальной температуры T_1 , которую он имел при входе в первую ступень ($T_1 = T_3 = T_5$);
- 2) одинаковая конечная температура сжатия газа во всех ступенях, обеспечивающая во всех цилиндрах надежные условия смазки ($T_2 = T_4 = T_6$);
- 3) одинаковые показатели политроп сжатия во всех цилиндрах, т. е. $n^I = n^{II} = n^{III} = n$.

При выполнении этих условий перепады давлений (отношение конечного давления к начальному) во всех ступенях одинаковы, т. е. $P_2/P_1 = P_4/P_3 = P_6/P_5 = \pi$ – степень повышения давления.

Для определения общей работы, затрачиваемой на привод многоступенчатого компрессора, необходимо просуммировать работы, затрачиваемые на сжатие газа по отдельным ступеням. Нетрудно показать, что при выполнении трех указанных условий, L^I , L^{II} , L^{III} будут одинаковы. Тогда имеем:

$$\begin{aligned} L^I &= n/(n-1)P_1v_1[(P_2/P_1)^{(n-1)/n} - 1] = \\ &= n/(n-1)RT_1[(P_2/P_1)^{(n-1)/n} - 1]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L^{II} &= n/(n-1)P_3v_3[(P_4/P_3)^{(n-1)/n} - 1] = \\ &= n/(n-1)RT_3[(P_4/P_3)^{(n-1)/n} - 1]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L^{III} &= n/(n-1)P_5v_5[(P_6/P_5)^{(n-1)/n} - 1] = \\ &= n/(n-1)RT_5[(P_6/P_5)^{(n-1)/n} - 1]. \end{aligned}$$

Так как правые части уравнений равны, то

$$L^I = L^{II} = L^{III}.$$

Тогда теоретическая работа m ступенчатого компрессора, затрачиваемая на сжатие 1 кг газа, будет определяться произведением $m \cdot L$.

Теоретическая мощность N (Вт), затрачиваемая на привод компрессора, может быть определена по равенству:

$$N = M \cdot m \cdot L,$$

где M – производительность компрессора, кг/с,

L – теоретическая работа сжатия 1 кг газа в одной ступени, Дж/кг,

m – число ступеней компрессора.

Для определения действительной (эффективной) мощности N_e , необходимой для привода компрессора, нужно знать потери работы на преодоление сопро-

тивлений клапанов и трубопроводов и на трение в соприкасающихся частях компрессора, которые учитываются механическим КПД:

$$N_e = N / \eta_m = M \cdot m \cdot L / \eta_m.$$

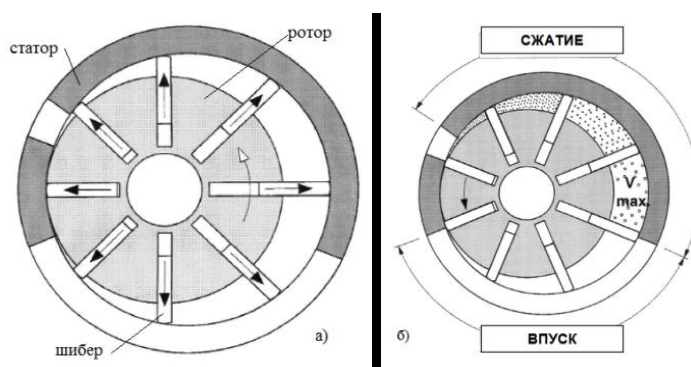
Для поршневого компрессора $\eta_m = 0,8-0,9$.

Роторные компрессоры

Кроме поршневых к объемным машинам относятся также роторные пластинчатые и винтовые компрессоры.

Роторно-пластинчатый компрессор – это ротационный компрессор объемного типа, такой же, как и поршневой и винтовой, основан на захвате воздуха и сжатии его с уменьшением объема.

Конструкция его включает статор в виде полого круглого цилиндра и эксцентрично размещенный в полости статора цилиндрический ротор с продольными пазами, внутри которых помещены радиально подвижные пластины – шиберы (рисунок 6 а). При вращении центробежная сила выталкивает пластины из пазов и прижимает их к внутренней поверхности статора. Сжатие газа происходит в нескольких полостях, которые образуют каждая пара смежных пластин, статор, ротор. Полости уменьшаются в объеме в направлении вращения ротора (рисунок 6 б). Впуск газа происходит при максимальном выходе пластин из пазов и образовании разрежения в полости максимального объема.



а) устройство компрессора, б) работа компрессора

Рисунок 6 – Схема устройства и работы пластинчатого компрессора

На стадии сжатия объем полости постоянно уменьшается до достижения максимального сжатия, когда пластины проходят мимо выходного канала и происходит выброс сжатого газа.

Винтовой компрессор также является разновидностью объемного ротационного компрессора. В его конструкции используются два параллельных рото-

ра с геликоидальным (винтовым) профилем, обеспечивающим их сцепление. Один из роторов, как правило, является ведущим, другой – ведомым. Роторы установлены с критически минимальным зазором в статоре, имеющем форму двух цилиндров, продольно совмещенных с пересечением (рисунок 7). Валы роторов опираются на роликовые подшипники. Всасывание и выход сжатого газа происходит вдоль осей ротора. В процессе вращения роторов навстречу друг другу открывается входной канал, и воздух попадает в полость между выемками и выступами роторов. Объем полостей постепенно уменьшается, из-за чего происходит повышение давления. На противоположном конце вдоль оси роторов сжатый газ выпускается через выходное отверстие.

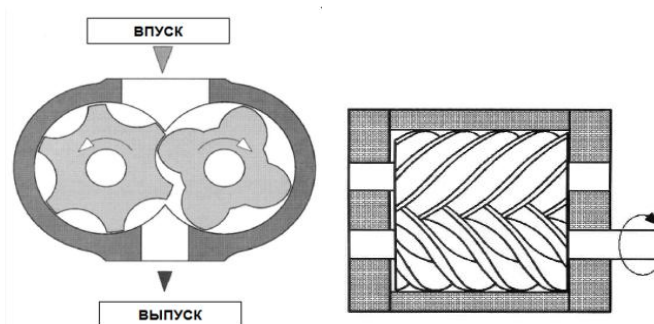


Рисунок 7 – Поперечное и продольное сечения винтового компрессора

Пластинчатый и винтовой компрессоры схожи по принципу работы и по конструкции, которая предполагает в обоих случаях наличие маслоохладителя, сепаратора масла, клапанов давления, невозвратных клапанов, датчиков, электроники управления и других необходимых узлов и компонентов. Различие заключается в конструкции блока сжатия, которая основывается на технических и экономических соображениях. Соотношение между полезной производительностью и геометрическим объемом является объемной производительностью, или объемной эффективностью. Объемная эффективность характеризуется величиной утечек воздуха со стороны нагнетания в сторону всасывания, которые имеют место в блоке сжатия. Эти утечки, означающие потерю энергии, затраченной на сжатие воздуха, должны быть сведены к абсолютному минимуму.

Динамические компрессоры

Динамические компрессоры повышают давление газа за счет ускорения его движения, т. е. приращения кинетической энергии. Такие аппараты ещё называют турбокомпрессоры и разделяют на осевые (аксиальные), центробежные. Динамические компрессоры отличаются от объемных открытой проточной частью. Наиболее распространенным динамическим компрессором является центробежный.

Центробежные компрессоры

Центробежный компрессор – динамический аппарат, в котором поток воздуха входит в рабочее колесо вдоль оси двигателя, а в рабочем колесе происходит поворот потока в радиальном направлении и за счет центробежной силы создается дополнительный рост полного давления. В результате кинетическая энергия частиц газа превращается в энергию давления. Схема одноступенчатого центробежного компрессора показана на рисунке 8.

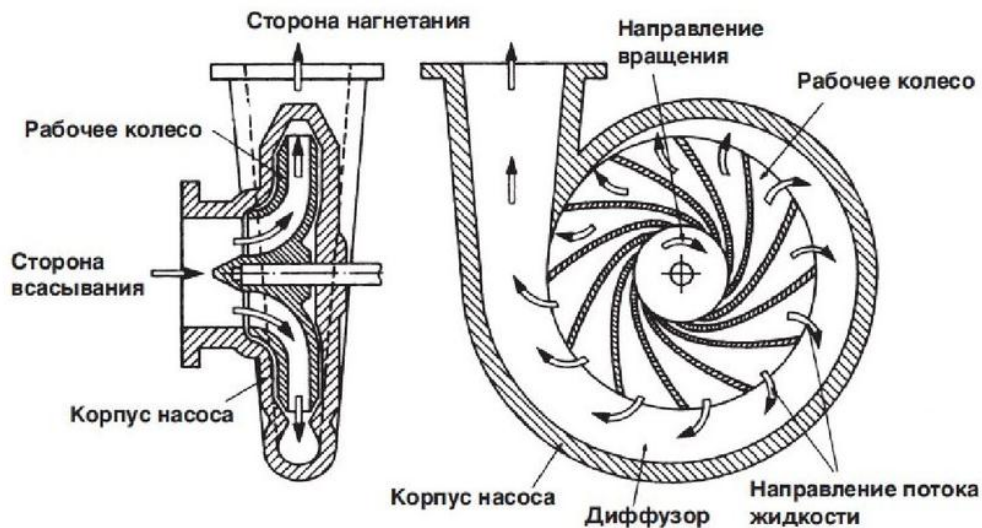
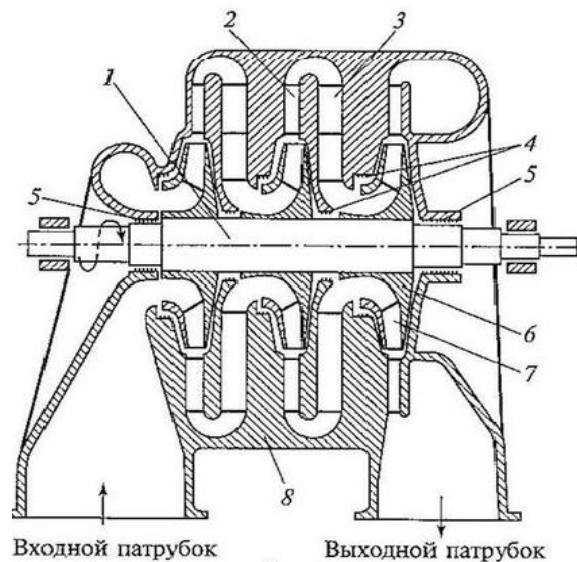


Рисунок 8 – Схема одноступенчатого центробежного компрессора

Центробежные компрессоры имеют конструкцию, обеспечивающую радиальный выходной поток воздуха. Поток воздуха, попадая на вращающееся рабочее колесо с радиально расположенными крыльчатками, за счет центробежных сил выбрасывается к стенкам корпуса. Далее, воздух перемещается в диффузор, где и происходит процесс его сжатия. Центробежные аппараты не имеют узлов с возвратно-поступательными движениями, обеспечивают равномерный поток воздуха, силу давления которого можно регулировать увеличением числа ступеней компрессора. Такие агрегаты отличаются долговечностью и экономичностью. На рисунке 9 показана схема трехступенчатого центробежного компрессора. Такие агрегаты отличаются долговечностью и экономичностью.

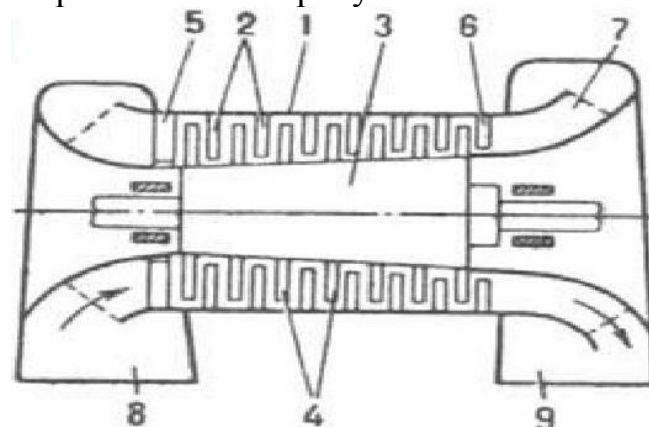


- 1 – вал; 2 – диффузор; 3 – неподвижные направляющие лопатки;
 4 – лабиринтные уплотнения; 5 – концевые уплотнения; 6 – рабочее колесо; 7 – рабочие лопатки; 8 – корпус компрессора

Рисунок 9 – Трехступенчатый центробежный компрессор

Осевые компрессоры

В *осевых* компрессорах поток газа движется вдоль оси вращения вала через неподвижные направляющие и подвижные рабочие колеса. Скорость потока воздуха в осевом аппарате набирается постепенно, а преобразование энергии происходит в направляющих. Для осевых компрессоров характерна высокая подача потока воздуха при относительно небольшом давлении. Схема осевого (аксиального) компрессора показана на рисунке 10.



- 1 – статор (корпус компрессора); 2 – неподвижные лопатки статора;
 3 – ротор; 4 – лопатки ротора; 5 – направляющий аппарат; 6 – спрямляющий аппарат; 7 – диффузор; 8 – всасывающий патрубок; 9 – нагнетательный патрубок

Рисунок 10 – Схема осевого компрессора

Струйные компрессоры

Струйные компрессоры (они называются ещё эжекторами) также относятся к агрегатам динамического действия с приращением кинетической энергии газа. Принцип работы таких машин основан на увеличении давления «пассивного» газа за счет энергии «активного» газа. Схема такого агрегата показана на рисунке 11.

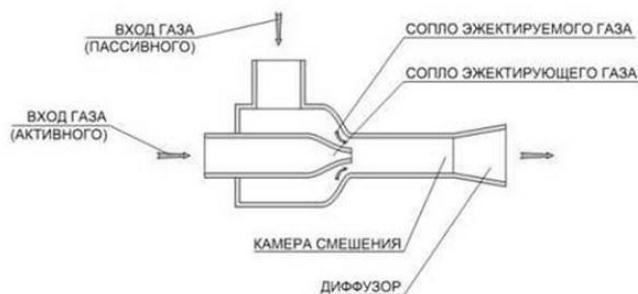


Рисунок 11 – Схема работы эжектора

К аппарату подводятся два потока: рабочий (активный) поток через сопло проходит в струйный аппарат и, за счёт использования его энергии, эжектируемый поток газа с низким давлением (пассивный) поступает в смесительную камеру, а затем в расширитель – диффузор. Из аппарата выходит смесь двух потоков с давлением выше пассивного, но ниже эжектирующего рабочего потока. Отличительной особенностью струйных компрессоров является простота конструкции, отсутствие подвижных деталей, высокая надежность.

Показатели работы компрессора

Основными показателями работы компрессора являются:

- 1) *производительность* Q [$\text{м}^3/\text{мин}$]. Производительность агрегата напрямую зависит от частоты вращения вала, диаметра цилиндра, длины хода поршня. Различают аппараты малой – до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$, средней – от 10 до $100 \text{ м}^3/\text{мин}$, большой – свыше $100 \text{ м}^3/\text{мин}$ производительности;
- 2) *давление* P [МПа]. В зависимости от давления выделяют следующие аппараты сжатия газа:
 - *вентиляторы* с давлением $\leq 0,115 \text{ МПа}$;
 - *газодувки* с давлением $\leq 0,45 \text{ МПа}$;
 - *компрессоры* с давлением $>0,45 \text{ МПа}$.

Компрессоры разделяют на агрегаты низкого давления ($0,15$ – $1,2 \text{ МПа}$), которые используются в составе установок для сжатия газов (воздуха); среднего давления ($1,2$ – 10 МПа), которые применяются для разделения, транспортировки и сжижения газов в нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности; высокого (10 – 100 МПа) и сверхвысокого давления (свыше 100 МПа), которые используются в установках синтеза газов;

3) *полезная мощность* N_n [кВт]. Работа, сообщаемая рабочему телу (газу) в единицу времени – 1 с. Для компрессоров её можно определить по формуле:

$$N_n = QP/1000 \text{ кВт};$$

4) *затраченная мощность* N_z [кВт]. Энергия, подводимая на привод нагнетателя (компрессора). Для электрического привода $N_z = N_{эл}$ по показанию ваттметра. *КПД* η определяет эффективность работы компрессорной установки:

$$\eta = N_n/N_{эл};$$

5) К показателям работы компрессора относится также *степень повышения давления* λ (в некоторых источниках $[\pi]$), определяющая отношение давления на выходе компрессора P_2 к давлению на входе P_1 :

$$\lambda = P_2/P_1.$$

Испытание компрессора

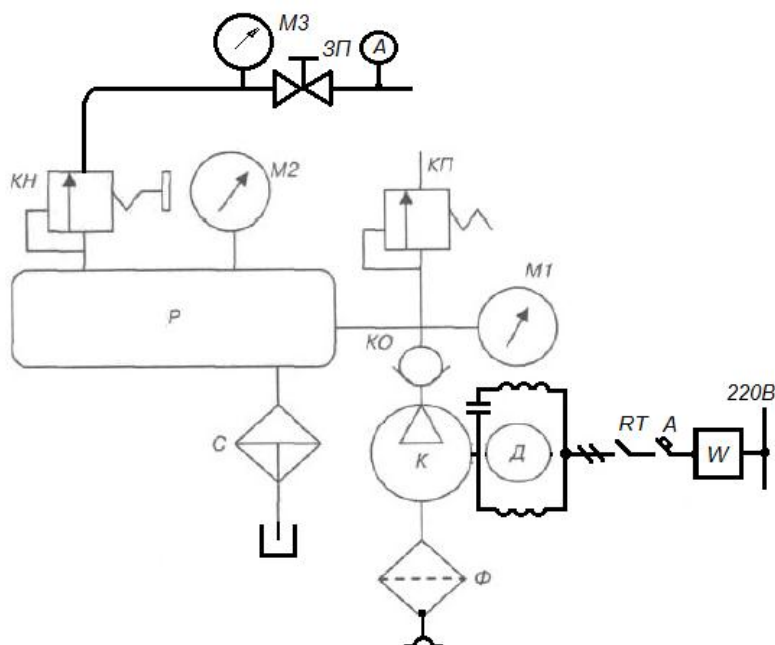
Испытание производят с целью выяснения соответствия показателей работы компрессора, в условиях эксплуатации, заявленным изготовителем. Испытания подразделяют на проверочные, эксплуатационные и контрольные. Проверочные испытания позволяют судить о соответствии показателей работы компрессора, указанным производителем. Эксплуатационные и контрольные испытания проводят после технического обслуживания и ремонта оборудования. Для проведения испытаний составляют схему соединений аппаратуры, контрольно измерительных приборов, позволяющих получить информацию о показателях работоспособности агрегата.

Методика проведения испытаний

Испытание компрессора проводим в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 12.

Для испытания использован одноступенчатый масляный коаксиальный компрессор «Pole Position Plus 241» средней производительности, используемый широким кругом потребителей. Основной показатель работы компрессора, такой как давление, можно определять манометром. Манометр работает в паре с редукционным клапаном КН, которым можно регулировать давление на выходе компрессора. Другие показатели работы, такие как расход воздуха, энергия, затрачиваемая на работу компрессора, температура нагрева цилиндра компрессора, нельзя определить без дополнительной аппаратуры. Для этого в схему включены: прибор измерения скорости истечения воздуха – анемометр А; ваттметр W, измеряющий расход электрической энергии на работу компрессора.

ра; термометр для измерения температуры цилиндра компрессора; заправочный пистолет ЗП с запорным краном и манометром.



K – компрессор; *Д* – электродвигатель; *Ф* – фильтр; *W* – ваттметр; *КО* – обратный клапан; *С* – сепаратор удаления конденсата; *Р* – ресивер; *КН* – клапан напорный с регулятором; *КП* – клапан предохранительный; *ЗП* – заправочный пистолет; *А* – анемометр (расходомер); *М1, 2, 3* – манометры

Рисунок 12 – Схема комплектования оборудования для испытания компрессора

Устройство компрессора

Компрессор представляет собой вертикальный цилиндр с поршнем, совершающим возвратно-поступательное движение, соединенный шатуном с коленчатым валом (рисунок 13). Коленчатый вал связан напрямую с электродвигателем через муфту, т. е. они находятся на одной оси (коаксиально). Смазка шатунно-поршневой группы выполняется маслом, находящимся в картере компрессора, и подается к трущимся деталям разбрызгиванием. Разбрызгивание производится периодически погружаемым в масло коленчатым валом при вращении. Для интенсификации разбрызгивания на нижней головке шатуна выполнены специальные приливы. Смазка позволяет снизить износ трущихся частей, уменьшить коэффициент трения, понизить температуру нагрева. Масляные компрессоры с прямой подачей получили достаточно широкое распространение при относительно небольших объемах работы.

Сжатый воздух от головки цилиндра проходит в ресивер через напорную рилсановую трубку и обратный клапан. Когда давление достигает величины 8

бар, регулятор давления прекращает питание электродвигателя. Одновременно происходит разряжение давления в головке цилиндра, трубке подачи сжатого воздуха через клапан выпуска воздуха в регуляторе давления, который закрывается с замедлением

Компрессор представляет собой вертикальный цилиндр с поршнем, совершающим возвратно-поступательное движение, соединенный шатуном с коленчатым валом. Коленчатый вал связан прямой передачей с электродвигателем через муфту. Агрегат установлен на ресивере (воздушном аккумуляторе), снабжен ручкой и колесами для мобильного перемещения.

Схема устройства и работы коаксиального одноступенчатого масляного компрессора показана на рисунке 13.

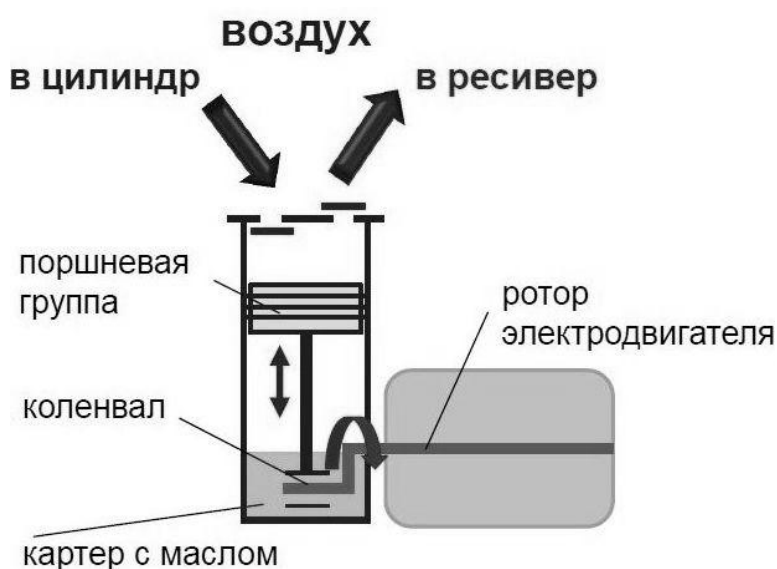


Рисунок 13 – Схема устройства и работы одноступенчатого коаксиального поршневого компрессора

При остановке двигателя и выпуске воздуха слышен характерный хлопок. Разгруженный таким образом двигатель автоматически легко запускается повторно при снижении давления в ресивере до 6 бар. Предохранительный клапан настроен на давление 8,5 бар, связан напрямую с ресивером и открывается, если датчик давления не срабатывает, предотвращая превышение уровня давления в ресивере.

Компрессор, оборудование, аппаратура управления и контроля смонтированы на ресивере – накопителе воздуха. Компрессор с электродвигателем крепятся на приваренном к ресиверу кронштейне. Для перемещения агрегата имеются колеса и ручка. Пульт управления, контрольно-измерительная аппаратура, диск для хранения воздушного шланга также смонтированы на корпусе ресивера.

На его днище имеется сепаратор удаления конденсата. От компрессора сжатый воздух по трубопроводу через обратный клапан направляется в реси-

вер. Из ресивера через пускорегулирующую аппаратуру газ подаётся потребителю.

Цилиндр и головка имеют ребристую поверхность для интенсификации отвода тепла при работе компрессора. На оси ротора электродвигателя установлена крыльчатка, создающая поток воздуха для отвода тепла от корпуса агрегата. Расположение агрегатов на корпусе ресивера показано на рисунке 14.

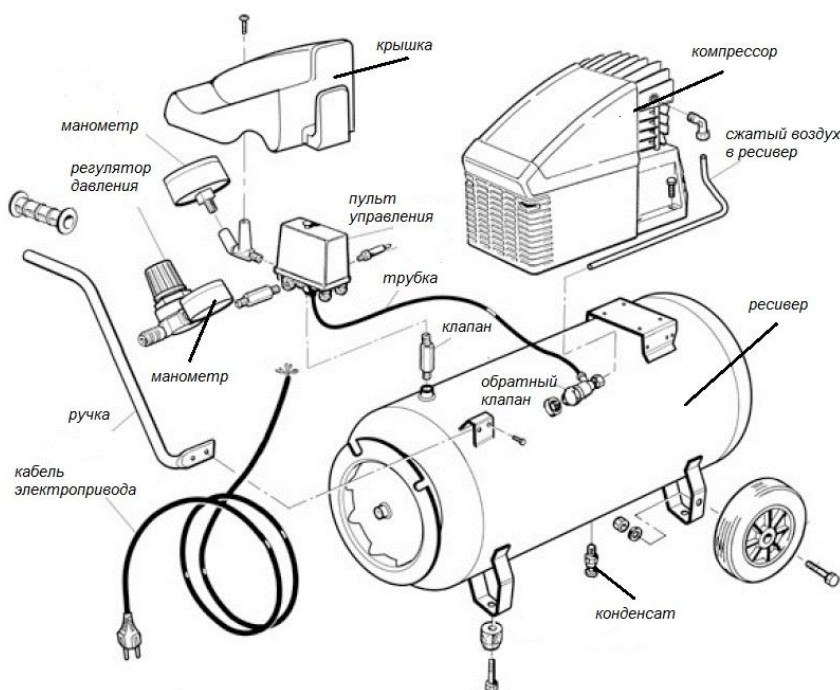


Рисунок 14 – Расположение оборудования компрессора «Pole Position Plus 241»

Порядок проведения испытаний

Перед включением схемы в сеть необходимо убедиться, что кнопка выключателя электродвигателя находится в нижнем положении «выключено (OFF)». Она находится на корпусе реле давления и показана на рисунке 15. Включение компрессора производится переводом кнопки пуска вверх. Включение компрессора прямым включением вилки в сеть может привести к серьезным повреждением двигателю при последующем включении.

Перед началом работы компрессора необходимо проверить уровень масла в картере компрессора с помощью щупа. Он совмещен с пробкой заливной горловины. Уровень масла должен находиться между отметками «max» и «min».

Надежность соединений и работы приборов проверяется пробным пуском компрессора в присутствии преподавателя.

Включённый компрессор автоматически заполняет ресивер до давления 8 бар и затем выключается. Это давление фиксируется манометром ресивера (рисунок 15). После этого компрессор готов к работе. Регулятором давления на выходе устанавливаем необходимое давление и нажимаем кнопку пистолета (рисунок 16), подставив под струю воздуха крыльчатку анемометра

(рисунок 17). Фиксируем давление манометра пистолета и показание анемометра. Результаты заносим в протокол испытаний. При понижении давления в ресивере ниже 6 бар компрессор автоматически включается и поднимает давление до заданной величины 8 бар. Во время испытаний периодически замеряем температуру цилиндра, контактнм термометром (рисунок 17) показания ваттметра (рисунок18). Результаты испытаний заносим в протокол испытаний (таблица 1).

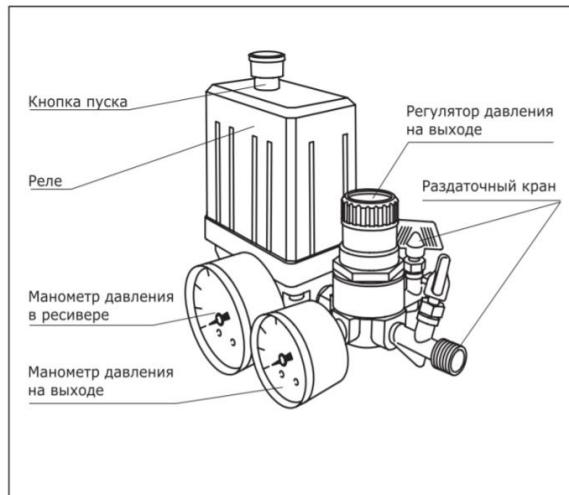


Рисунок 15 – Пульт управления компрессором



Рисунок 16 – Заправочный пистолет



Рисунок 17 – Анемометр



Рисунок 18 – Контактный термометр



Рисунок 19 – Ваттметр

При понижении давления в ресивере ниже 6 бар компрессор автоматически включается и поднимает давление до заданной величины 8 бар. Во время испытаний периодически замеряем температуру цилиндра контактным термометром (рисунок 18), показания ваттметра (рисунок 19). Результаты испытаний заносим в протокол испытаний (таблица 1). На рисунке 20 показан внешний вид воздушного компрессора «Pole Position Plus 241».



Рисунок 20 – Внешний вид компрессора «Pole Position Plus 241»

Таблица 1 – Протокол испытаний

Измеренные величины					
№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Величина		
			Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Измеренные величины					
1	Давление манометра ресивера, $P_{м2}$	бар			
2	Давление на выходе из компрессора, $P_{м1}$	бар			
3	Давление манометра пистолета, $P_{м3}$	бар			
4	Температура цилиндра компрессора, t	°С			
5	Показание ваттметра, W	кВт			
6	Скорость истечения воздуха, v	м/с			
7	Время заполнения ресивера, τ	мин	5		
8	Время работы компрессора, τ	мин	4		
Рассчитанные показатели					
1	Расход воздуха, Q	л/мин			
2	Полезная мощность, $N_{пол.}$	кВт			
3	Коэффициент полезного действия, КПД	%			

Обработка результатов опытов

Расход воздуха Q (л/мин) при проведении опыта определяем по формуле:

$$Q = v \cdot s,$$

где v – скорость истечения воздуха из пистолета, м/с,

s – площадь проходного сечения анемометра воздуха, мм².

Площадь проходного сечения определяем по формуле:

$$S = \pi d^2/4,$$

где d – диаметр отверстия анемометра, мм,

s – площадь выходного сечения истечения воздуха, мм².

Расчет полезной мощности

Полезную мощность определяем по следующей зависимости:

$$N_{пол} = P \cdot Q,$$

где P – давление манометра, $Па$,

Q – расход воздуха, $л/мин$,

$N_{пол}$ – полезная мощность, $кВт$.

Коэффициент полезного действия определяем по формуле:

$$\eta = N_{пол} / N_{зат} ,$$

где $N_{зат}$ – показания ваттметра, $кВт$,

$N_{пол}$ – полезная мощность, $кВт$.

Отчет по выполненной работе должен включать:

- 1) цель работы;
- 2) принципиальную схему испытания компрессора;
- 3) таблицу результатов испытаний (таблица 1);
- 4) обработку результатов опытов (основные формулы, пример расчета для одного опыта);
- 5) выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 По какому термодинамическому процессу осуществляется сжатие в компрессоре?
- 2 Опишите работу одноступенчатого поршневого компрессора?
- 3 Для какой цели используют многоступенчатые компрессоры?
- 4 Какие компрессоры называются динамическими?
- 5 Какие показатели характеризуют работу компрессора?
- 6 Зачем компрессор комплектуется ресивером?
- 7 Как рассчитывается потеря давления в компрессоре?
- 8 Как классифицируются машины для сжатия газов?
- 9 Что характеризует степень сжатия компрессора?
- 10 Как работает эжектор?

Библиографический список

- 1 Луканин В. Н. Теплотехника / В. Н. Луканин. – Москва: Высшая школа, 2004.
- 2 Кудинов В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. – Москва : Высшая школа, 2003.
- 3 Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача / В. В. Нащокин. – Москва : Высшая школа, 1980.
- 4 Теплотехника : учебник для вузов / под ред. А. П. Баскакова. – Москва : Энергоиздат, 1991.

Савельев Виктор Андреевич

ИСПЫТАНИЕ КОМПРЕССОРА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Техническая термодинамика»
для бакалавров направлений
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Редактор В. С. Никифорова

Подписано в печать 24.12.21	Формат 60x84 1/16	Бумага 80 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,5	Уч.-изд. л. 1,5
Заказ 121	Тираж 25	

Библиотечно-издательский центр КГУ.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.