

Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых
и пищевых производств»

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВОЗДУШНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплинам «Теплотехника»,
«Техническая термодинамика и теплотехника»

для студентов направлений
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»,
18.03.01 «Химическая технология»
21.03.01 «Нефтегазовое дело»

очной, заочной, очно-заочной форм обучения

Энгельс 2024

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – теоретическое и натурное изучение термодинамических основ работы поршневого компрессора. Экспериментальное исследование зависимости параметров работы компрессора от степени сжатия.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В системах производства сжатого воздуха на промышленных предприятиях широко применяются поршневые воздушные компрессоры. В поршневом компрессоре сжатие воздуха в цилиндре происходит при помощи поршня, совершающего возвратно-поступательное движение.

На рис. 1 показана принципиальная схема одноступенчатого поршневого компрессора. Коленчатый вал компрессора приводится во вращение от электродвигателя или от поршневого двигателя внутреннего сгорания. При движении поршня от верхней мёртвой точки ВМТ к нижней мёртвой точке НМТ в цилиндр через автоматически открывающийся клапан *A* из окружающей среды всасывается воздух. Нагнетательный клапан *B* закрыт под действием давления воздуха в резервуаре, которое больше атмосферного. При обратном движении поршня от НМТ к ВМТ воздух начинает сжиматься, давление его увеличивается, и всасывающий клапан закрывается. Процесс сжатия продолжается до тех пор, пока давление в цилиндре не станет равным (практически несколько больше) давлению в линии нагнетания. Тогда клапан *B* открывается, и начинается процесс нагнетания сжатого воздуха до тех пор, пока поршень не придет в ВМТ.

Рассмотрим рабочий процесс в p - v -координатах для идеального одноступенчатого компрессора (идеального в том смысле, что в нем не учитываются потери на трение, а утечки воздуха и объём вредного пространства между крышкой цилиндра и поршнем в ВМТ принимаются равными нулю, т. е. на рис. 2 положение ВМТ будет совпадать с осью ординат). Обозначим: V_h - рабочий (полезный) объём цилиндра; p_1 - давление окружающей среды; p_2 - давление воздуха в нагнетательном трубопроводе. Процессы: 4-1 - всасывание; 1-2 - сжатие; 2-3 - нагнетание. С началом нового хода поршня всасывающий клапан открывается, давление в цилиндре падает от p_2 до p_1 теоретически мгновенно, т. е. по вертикали 3-4, и рабочий процесс повторяется, завершаясь, таким образом, за два последовательных хода поршня. Следовательно, компрессор представляет собой двухтактную машину.

Циклический рабочий процесс, происходящий с воздухом под поршнем компрессора и изображённый в p - v -координатах, называется индикаторной диаграммой и в отличие от p - v -диаграммы является условным, так как всасывание и нагнетание не являются термодинамическими процессами, поскольку они происходят при переменном количестве воздуха.

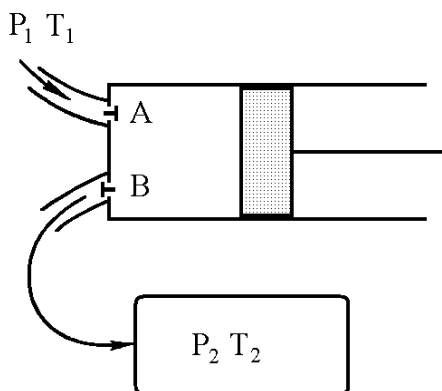


Рис. 1. Принципиальная схема поршневого компрессора

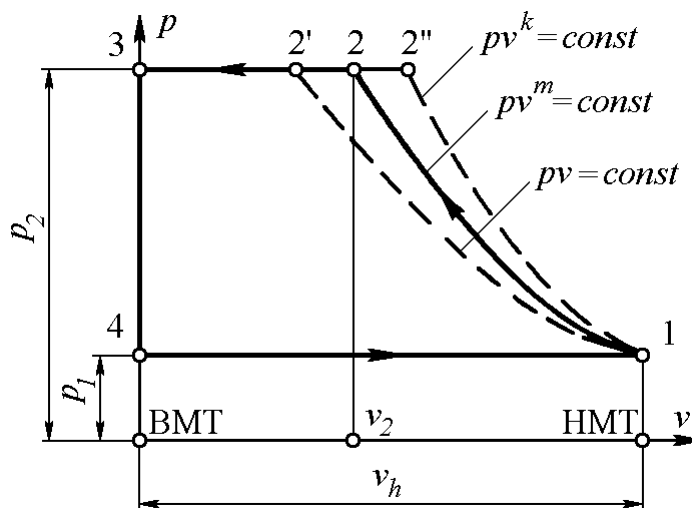


Рис. 2. Теоретическая индикаторная диаграмма поршневого компрессора

Площадь теоретической индикаторной диаграммы 4-1-2-3, которая графически изображает круговой процесс, измеряет работу, расходуемую компрессором за один оборот его вала. В индикаторной диаграмме 4-1-2-3 сжатие газа 1-2 является термодинамическим процессом, 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 теоретическая работа компрессора

$$A_0 = - \int_{p_1}^{p_2} v dp.$$

Как следует из рис. 2., наиболее выгодным процессом сжатия по затрате работы 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 $m = 1,2—1,25$. Чем интенсивнее будет охлаждение воздуха при сжатии (водой, проходящей через рубашку компрессора, или атмосферным воздухом), тем больше будет политропа сжатия 1-2 отклоняться от адиабаты 1-2'' в сторону изотермы 1-2'. С уменьшением теплообмена показатель m увеличивается.

Для политропного процесса справедлива зависимость между начальными и конечными параметрами процесса

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}}, \quad (1)$$

где p - давление, Па; T - абсолютная температура, К.

Логарифмируя выражение (1) и проводя преобразования, получим формулу для определения показателя политропы по начальным и конечным параметрам конкретного процесса сжатия.

$$m = \left[1 - \frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(p_2/p_1)} \right]^{-1}. \quad (2)$$

Теоретическая работа компрессора A_0 , затрачиваемая на сжатие 1 кг воздуха определяется по формулам:

- для изотермического процесса сжатия

$$A_0^T = p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = RT_1 \ln \frac{p_2}{p_1}; \quad (3)$$

- для адиабатного процесса сжатия

$$A_0^{ad} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]; \quad (4)$$

- для политропного процесса сжатия

$$A_0^{pol} = \frac{m}{m-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{m}{m-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right], \quad (5)$$

где R - газовая постоянная воздуха, $R=287,0$ Дж/(кг·град);

k - показатель адиабаты для воздуха, $k \approx 1,4$.

Теплота политропного процесса, т.е. теплота, отводимая от поршней компрессора при политропном процессе сжатия, может быть рассчитана двумя способами.

Первый способ - через теплоёмкость политропного процесса по формуле

$$q^{pol} = c(t_2 - t_1) = c_v \frac{m-k}{m-1} (t_2 - t_1), \quad (6)$$

где c_v - изохорная теплоёмкость воздуха средняя в интервале температур.

Второй способ - через работы политропного и адиабатного процессов. Согласно I закону термодинамики:

- работа адиабатного процесса $A_0^{ad} = \Delta u$;

- работа политропного процесса $A_0^{pol} = \Delta u - q^{pol}$.

Отсюда теплоту политропного процесса можно определить как

$$q^{pol} = A_0^{pol} - A_0^{ad} \quad (7)$$

Действительная индикаторная диаграмма работы компрессора (рис. 3) будет отличаться от теоретической (рис. 2) следующими факторами:

1) процесс сжатия воздуха 1-2 на рис. 3 происходит по политропе (с конкретным показателем m) в отличие от аналогичного адиабатного процесса на рис. 2;

2) наличием мертвого пространства V_c и расширением оставшегося там газа до объёма $V_c + V_{c1}$ при последующем всасывании;

3) сопротивлением клапанов $\Delta P_{вс}$, $\Delta P_{наг}$ и, как следствие, понижением давления при всасывании $P_{вс}$ и повышением давления при нагнетании $P_{наг}$ в цилиндре по сравнению с соответствующими рабочими давлениями P_1 и P_2 ;

4) перетоками воздуха из-за неплотностей в клапанах, поршневых кольцах;

5) влажностью воздуха и т.п.

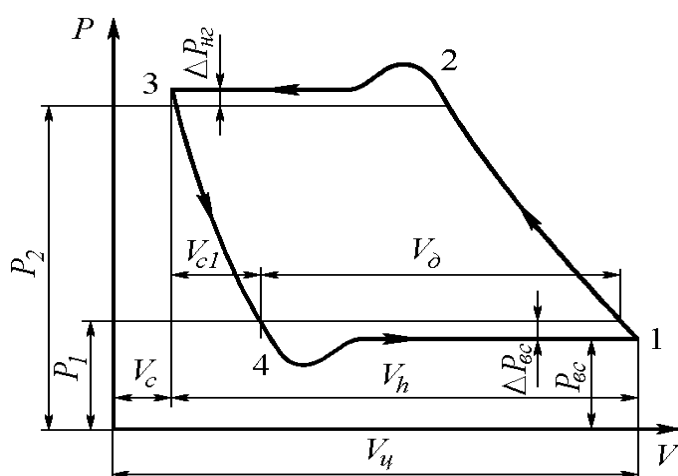


Рис. 3. Действительная индикаторная диаграмма поршневого компрессора.

Обозначения: $V_{ц}$, V_h — полный и рабочий объёмы цилиндра;

V_c — мертвое пространство;

V_{c1} — объём расширения газа, оставшегося в мёртвом пространстве, при всасывании;

P_1 , P_2 и $P_{вс}$, $P_{наг}$ — рабочие давления и давления в цилиндре при всасывании, нагнетании;

$\Delta P_{вс}$, $\Delta P_{наг}$ — падение давления в нагнетательном и всасывающем клапанах.

Подача компрессора определяется количеством нагнетаемого воздуха в единицу времени. Подача поршневого компрессора зависит от объёма, описываемого поршнем (рабочего объёма цилиндра), частоты вращения вала и конструкции цилиндров компрессора (простого/двойного действия).

В соответствии с материальным балансом, компрессором подаётся то количество воздуха в кг/с, которое всасывается без учёта потерь, которые в поршневом компрессоре незначительны. То же самое можно сказать об объёмной подаче в м³/с, поскольку её принято приводить к параметрам всасывания.

Теоретически объём, описываемый поршнем при его движении из ВМТ в НМТ, заполняется воздухом, который при обратном движении поршня сжимается и выталкивается в нагнетательный трубопровод.

Если полученный объём при одном ходе поршня V_h умножить на частоту вращения вала n , то теоретическая производительность компрессора V_m , (м³/с), приведённая к параметрам всасывания, будет равна:

$$V_m = nV_h \quad (8)$$

Действительная подача компрессора будет меньше теоретической, так как не весь рабочий объем цилиндра используется полезно. В действительном компрессоре на количество всасываемого атмосферного воздуха влияют перечисленные выше факторы, отражённые на индикаторной диаграмме процессов. Поэтому действительное количество всасываемого компрессором воздуха V_{∂} меньше теоретически возможного V_m .

Отношение объема нагнетаемого воздуха при параметрах всасывания к теоретически возможному объему называется коэффициентом подачи компрессора:

$$\lambda = \frac{V_{\partial}}{V_m} \quad (9)$$

Коэффициент подачи учитывает все отклонения от теоретического процесса по следующему выражению

$$\lambda = \lambda_o \times \lambda_p \times \lambda_m \times \lambda_e \times \lambda_{\varphi} \quad (10)$$

где λ_o - объемный коэффициент, учитывающий объемные потери;

λ_p - коэффициент, учитывающий снижение давления в конце всасывания;

λ_e - коэффициент герметичности;

λ_{φ} , λ_m , - коэффициенты, соответственно учитывающие влияние влажности и температуры воздуха на производительность компрессора.

Теоретическая мощность компрессора равна
- при адиабатном сжатии

$$N_{ad} = \rho_{\partial,1} \times V_{\partial} \times A_0^{ad} \quad (11)$$

- при политропном сжатии

$$N_{пол} = \rho_{\partial,1} \times V_{\partial} \times A_0^{пол} \quad (12)$$

где $\rho_{\partial,1}$ - плотность воздуха на всасывании в компрессор при давлении p_1 и температуре T_1 .

Действительную (индикаторную) мощность компрессора можно вычислить по формуле:

$$N_i = \frac{N_{ad}}{\eta_i} \quad (13)$$

где η_i - индикаторный КПД компрессора.

Опытные данные по индикаторному КПД малых и средних воздушных компрессоров обобщены в виде линейной зависимости от степени повышения давления $\varepsilon = p_2 / p_1$:

$$\eta_i = 0,95 - 0,004\varepsilon. \quad (14)$$

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

2.1. Конструкция непрямotoчного поршневого компрессора и компрессорной установки

Основу лабораторной установки составляет передвижной воздушный поршневой компрессор марки ZB-0,1/8 производства КНР, техническая характеристика которого представлена в табл. 1

Таблица 1

Техническая характеристика компрессора ZB-0,1/8

Характеристики	Размерность	Значение
Марка		ZB-0,1/8
Модель		SGBM9031
Мощность электродвигателя*	кВт	1,8
Стандартная частота вращения**	об/мин	2850 3450
Диаметр цилиндра	мм	Ø47×1
Рабочий объём цилиндра (ход поршня)	см ³	110
Максимальная подача воздуха при рабочем давлении 0,3 МПа и частоте вращения 2850 об/мин	л/мин	280
Максимальное рабочее давление (при превышении - сброс давления через защитный клапан)	МПа	0,8
Нормальная рабочая температура	°С	< 180
Температура окружающей среды	°С	-5...+35
Температура масла	°С	< 70
Объём ресивера	л	24
Вес	кг	24

* Электродвигатель: однофазный, асинхронный 220 В, 50 Гц;

** Соединение валов электродвигателя и компрессора- непосредственное

Компрессор- поршневой одноцилиндровый, простого действия, непрямоточный, с воздушным охлаждением цилиндров.

В непрямоточных компрессорах поршни делают непроходными. Всасывающие и нагнетательные клапаны монтируют на клапанной плите, перекрывающей рабочие полости цилиндров. При движении поршня сверху вниз давление газа в рабочей полости цилиндра становится ниже давления его во всасывающем трубопроводе, всасывающий клапан открывается и газ поступает в цилиндр компрессора. Когда поршень находится в нижней мертвой точке НМТ всасывающий клапан закрывается. При движении поршня от НМТ к верхней мёртвой точке ВМТ происходит сжатие газа, которое продолжается до тех пор, пока давление в рабочей полости цилиндра не превысит давления в нагнетательной линии машины. Тогда нагнетательный клапан откроется и сжатый газ устремится через него в нагнетательную линию компрессора. В цилиндрах непрямоточных компрессоров сжимаемый газ совершает поступательно-возвратное движение и, следовательно, между ним и стенками цилиндров происходит более интенсивный теплообмен, нежели при прохождении его прямотоком; чем интенсивнее теплообмен в цилиндрах компрессора, тем ниже его коэффициент подачи.

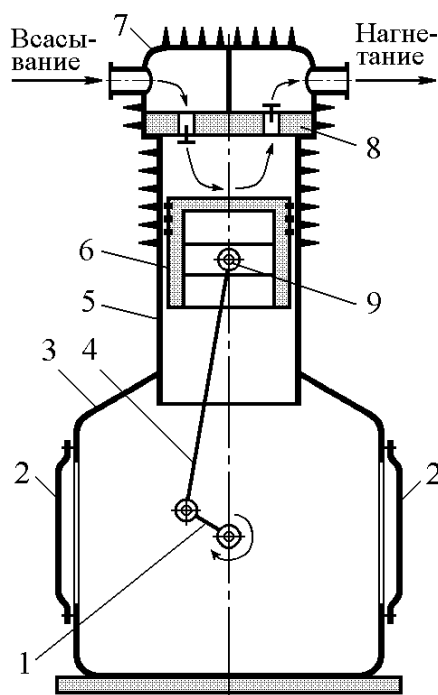


Рис. 4. Конструктивная схема вертикального непрямоточного компрессора.

Обозначения: 1- коленчатый вал; 2- крышка; 3- картер; 4- шатун; 5- цилиндр; 6- поршень; 7- головка цилиндра; 8- клапанная плита; 9- поршневой палец.

Однако в малых и средних воздушных непрямоточных компрессорах вредные последствия теплообмена газа со стенками цилиндра невелики, в то

время как конструктивные преимущества значительны. В непрямоточных компрессорах установлен более легкий поршень, меньше силы инерции неуравновешенных движущихся частей и поэтому они могут работать с большей частотой вращения вала. Кроме того, при такой конструкции меньше уносится масла из картера в систему.

Поршневой компрессор состоит из следующих основных узлов и деталей.

Картер. Это деталь вертикальных компрессоров простого действия. Картер представляет собой конструктивную основу машины, которая объединяет отдельные части. По своей конструкции картер- коробчатого типа. Материал для изготовления- чугун или алюминиевый сплав (в малых компрессорах).

Цилиндры. Наиболее ответственной частью компрессора является цилиндр. В нем осуществляется рабочий процесс - всасывание, сжатие и нагнетание. Для многоцилиндровых компрессоров все цилиндры отливаются единым блоком из чугуна или алюминиевого сплава.

Сверху цилиндры вертикальных компрессоров закрываются крышками. Нижним фланцем их крепят к картеру.

Для охлаждения цилиндров во время работы компрессора верхнюю часть их боковой поверхности отливают с ребрами при охлаждении воздухом или специальной полостью при охлаждении водой (водяной рубашкой). Ребрами или водяной рубашкой снабжаются также и крышки цилиндров. Водяное охлаждение цилиндров и их крышек применяют главным образом в средних и крупных компрессорах в которых температура нагнетания достигает 150°C . Цилиндры компрессоров в которых температура

нагнетания не превышает 90°C, отливают обычно с ребрами для воздушного охлаждения.

Многие конструкции вертикальных компрессоров являются блок-картерными, т. е. их цилиндры и картеры отливаются в виде единой детали блок-картера. В этом случае в каждый цилиндр запрессовывают сменные гильзы, которые при износе могут быть заменены новыми. Это является большим преимуществом данной конструкции. Кроме того, по сравнению с машинами обычной конструкции, блок-картерные машины компактнее, имеют меньше фланцевых соединений, проще и дешевле в производстве; точность их обработки и сборки очень высокая.

Поршни. В непрямоточных компрессорах простого действия поршни-непроходные. Непроходные поршни отливают из чугуна или алюминиевого сплава. Они имеют облегченную конструкцию, по форме в виде опрокинутого вверх дном стакана. Канавки для поршневых колец проточены в верхней части поршня. Чаще на этих поршнях делают три канавки: две верхние для уплотнительных колец и одну нижнюю - для маслосъемного. Материал колец - сталь.

Стенки всех поршней компрессоров простого действия с внутренней стороны имеют специальные приливы с отверстиями для установки поршневого пальца, который предназначен для соединения поршня с верхней головкой шатуна.

Клапаны. Функцию распределительных органов в компрессоре выполняют всасывающие и нагнетательные клапаны. Через всасывающие клапаны происходит засасывание газа из всасывающего трубопровода в цилиндр компрессора, а через нагнетательные - выталкивание сжатого газа в нагнетательный трубопровод. Во всех поршневых воздушных компрессорах клапаны самодействующие, т.е. они открываются и закрываются под действием разности давлений по обе их стороны.

В современных компрессорах применяются пластинчатые клапаны. Их рабочей запорной деталью служат тонкие стальные пластины.

Клапанная доска внутренней перегородкой крышки блока цилиндров разделяется на две части. На одной части клапанной доски установлены всасывающие, а на другой- нагнетательные клапаны.

Кривошипно-шатунный механизм. Во всех современных поршневых компрессорах простого действия поршень соединён с шатуном непосредственно при помощи поршневого пальца. Нижняя головка шатуна крепится на коленчатом валу. Опорой коленчатого вала служат подшипники, располагаемые в корпусе или крышках картера.

Смазочная система. Все компрессоры для снижения расхода энергии на трение в подвижных соединениях, уменьшения износа и нагрева этих узлов, а также для создания дополнительной плотности в сальниках и поршневых кольцах смазываются. Смазочное масло в компрессорах простого действия наливается в картер. Из картера к местам смазки масло по-

дается двумя способами- разбрызгиванием его головками шатунов и кри-вошипам (в малых компрессорах) или принудительно под давлением, со-здаваемым специальным масляным насосом (в средних и крупных ком-прессорах).

Компрессорная установка в целом (рис. 5) состоит из следующих уз-лов: компрессора; воздушного фильтра (на всасывании); ресивера; регуля-тора давления; предохранительного клапана (на нагнетании); электродви-гателя; пускателя.

Сжатый воздух из компрессора 3 по нагнетательной трубе 5 попадает в ресивер 10, который выполняет также функцию маслораспределителя. Из ресивера, максимальное давление в котором ограничивается ручным регу-лятором давления 6, сжатый воздух по напорной линии поступает к потре-бителю.

Для контроля давления сжатого воздуха на напорной линии установле-ны манометр 19, а на ресивере - предохранительный клапан 9.

Воздушный фильтр предназначен для предотвращения попадания во всасывающий патрубок и головку цилиндра компрессора посторонних предметов вместе с потоком воздуха и представляет собой металлическую сетку.

Ресивер предназначен для выравнивания пульсаций воздуха, получаю-щихся в результате возвратно-поступательного движения поршня ком-прессора, устранения колебаний давления в трубопроводе при неравно-мерном потреблении сжатого воздуха, частичного очищения воздуха от воды и масла, попадающих в ресивер вместе с воздухом из компрессора. Отделившиеся смазочное масло и конденсат собираются на дне ресивера, откуда периодически сливается через спускной патрубок 11. Ресивер пред-ставляет собой горизонтальный металлический сосуд цилиндрической формы.

Ручной регулятор давления ограничивает максимальное давление в ре-сивере путем отключения компрессора и для компрессора типа ZB-0,1/8 устанавливается в пределах 0,4-0,8 МПа.

Предохранительный клапан служит для предотвращения повышения давления выше допустимого и для компрессора типа ZB-0,1/8 отрегулиро-ван на давление $> 0,8$ МПа.

2.2. Описание лабораторного стенда для испытания и исследования воздушного компрессора

Лабораторный стенд (рис. 5) позволяет измерять основные характери-стики работы компрессора при различных значениях давления в напорной линии 5, которое зависит от положения регулирующего вентиля 16. Регу-лирующий вентиль 16 изменяет давление p_2 в напорном трубопроводе пу-тём создания местного гидравлического сопротивления и имитирует, та-ким образом, подключённое пневмооборудование.

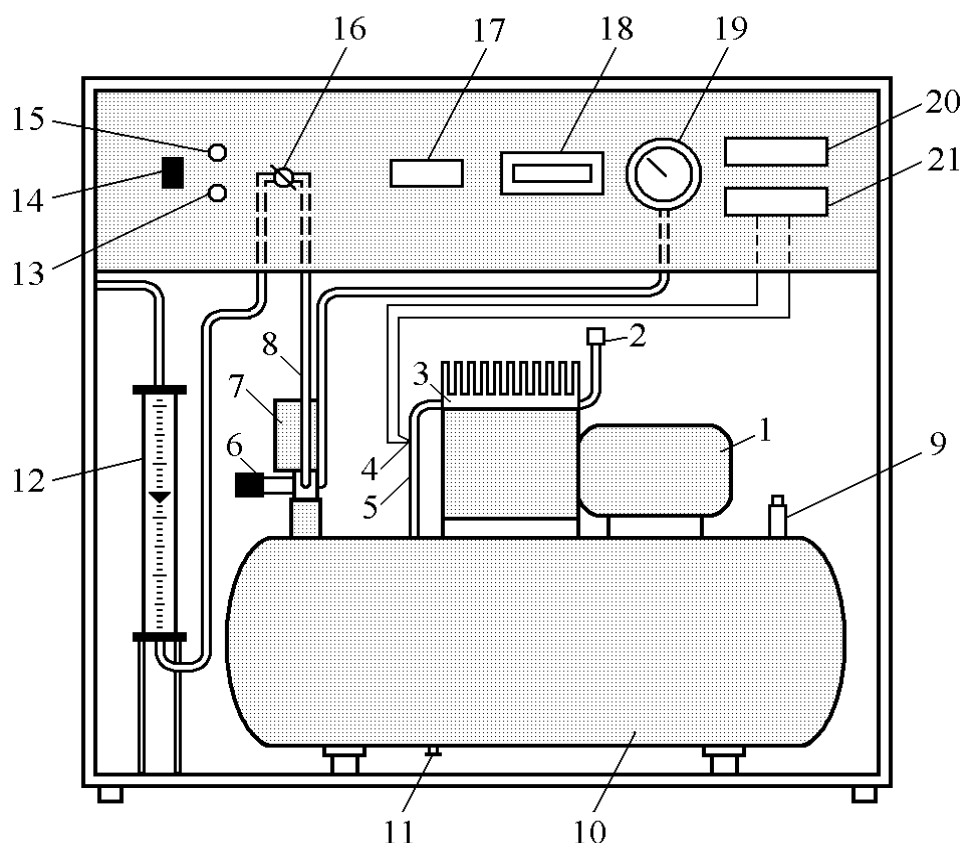


Рис. 5 Лабораторный стенд.

Обозначения: 1- электродвигатель; 2- воздушный фильтр; 3- компрессор; 4- термодатчик; 5- нагнетательный патрубок компрессора; 6- ручной регулятор давления в ресивере; 7- пускатель; 8- напорный трубопровод; 9- предохранительный клапан; 10- ресивер; 11- спускной патрубок с краном для масла и конденсата; 12- ротаметр; 13- кнопка останова; 14- автоматический выключатель; 15- кнопка пуска; 16- регулирующий вентиль; 17- таймер; 18- электросчётчик; 19- манометр; 20- индикатор термометра окружающей среды; 21- индикатор термометра сжатого воздуха.

Давление p_2 может изменяться от нижнего предела близкого к атмосферному (при полностью открытом регулирующем вентиле), определяемого только сопротивлением напорной трубки, до верхнего предела- максимально возможного давления в ресивере (при полностью закрытом регулирующем вентиле), при этом компрессор отключается. После прохождения регулирующего вентиля 16 давление воздуха становится близким к атмосферному, а объёмная подача компрессора приближается к объёму всасываемого воздуха, что и фиксируется ротаметром 12.

Исследование характеристик основано на измерении давлений, температур и расхода воздуха, а также потребления электроэнергии за время работы компрессора.

Измерение давления производят пружинным манометром 19 класса точности 2,5. Определение температур окружающего воздуха и на линии нагнетания осуществляют с помощью термометров сопротивления с пока-

зывающими электронными анализаторами 20 и 21 соответственно. Потребление электроэнергии фиксируется трехфазным счетчиком СА 4-И 672 М поз. 18.

Расход воздуха измеряется ротаметром РС-3 поз. 12. Тарировочная кривая ротаметра приведена на лабораторном стенде.

Измерения выше указанных параметров воздушного компрессора проводятся с определенной точностью. Источником систематической погрешности является погрешность средств измерения.

3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

1. К выполнению работы допускаются студенты, прослушавшие инструктаж по технике безопасности и правилам проведения работ в лаборатории теплотехники, ознакомившиеся с правилами безопасности и методикой проведения эксперимента.

2. Работа проводится только под контролем преподавателя или лаборанта.

3. Перед включением стенда необходимо убедиться в надежности изоляции всех его токоведущих элементов, исправности коммутирующих и измерительных приборов, наличии заземления.

4. Не производить работы на установке с нарушенной целостностью ограждений.

5. Во время опыта нельзя касаться металлических частей установки.

6. Не разрешается оставлять включенную установку без присмотра.

Студентам запрещается производить любые действия, не предусмотренные методикой выполнения работы.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Проверить готовность установки к работе: подключение воздушного компрессора к электрической сети, уровень масла в картере компрессора, отсутствие посторонних предметов на лабораторном стенде, наличие заземления.

2. Полностью открыть вентиль 16 на напорном трубопроводе.

3. Включить воздушный компрессор с помощью пускателя путём нажатия кнопки пуск 15 и дать компрессору поработает после запуска без нагрузки в течение 10 минут для обеспечения смазки движущихся частей.

6. Через 10 минут после включения агрегата плавно прикрутить регулирующий вентиль 16 до верхнего значения давления, исследуемого в эксперименте. Давление в напорном трубопроводе контролировать по манометру 19.

7. Через 5 минут, необходимых для выхода компрессора в установившейся режим работы, зафиксировать время отсчета работы компрессора с помощью таймера 17 и начальное показание счетчика электроэнергии 18.

8. Снять показания барометрического давления p_1 по барометру, тем-

температуры окружающего воздуха t_1 по индикатору термометра 20, давления сжатого воздуха p_2 по манометру 19, температуры воздуха на нагнетательном патрубке t_2 по индикатору термометра 21, расхода воздуха V_d по ротаметру 12, расхода электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$ по электросчётчику 18 за время проведения опыта τ по таймеру 17.

9. Произвести 3 опыта при различных значениях p_2 (серия экспериментов проводится с повышением давления сжатого воздуха), прикручивая регулятор давления и вентиль на напорном трубопроводе. При этом давление в ресивере должно немного превышать давление в напорном трубопроводе для закрытия сбросного клапана. Интервал значений p_2 задается преподавателем. Значения измеренных величин вносят в протокол записи и обработки данных эксперимента (табл. 2), который приведён в следующем разделе.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

I. Занести в табл. 2 следующие величины, измеренные и рассчитанные в результате испытания компрессора при различных значениях давления сжатого воздуха p_2 , МПа:

1. Барометрическое давление p_1 , МПа – измерение.
2. Температура наружного воздуха T_1 , °С – измерение.
3. Температура сжатого воздуха T_2 , °С – измерение.
4. Действительный объёмный расход воздуха V_d , м³/с – измерение.
5. Время эксперимента τ , с – измерение.
6. Разность показаний электросчётчика $\Delta \mathcal{E}$, кВт·час – измерение.
7. Показатель политропы сжатия m - расчёт по формуле (2).
8. Теоретическая работа изотермического, адиабатного и политропного сжатия A_0^T , A_0^{ad} , $A_0^{пол}$, кДж/кг - расчёт по формулам (3)-(5).
9. Теплота политропного процесса (теплота отводимая от поршня компрессора) $q_{пол}$, кДж/кг - расчёт по формулам (6), (7).
10. Коэффициент подачи компрессора λ - расчёт по формулам (8), (9).
11. Теоретическая мощность компрессора при адиабатном сжатии N_{ad} , кВт- расчёт по формуле (11).
12. Теоретическая мощность компрессора при политропном сжатии $N_{пол}$, кВт- расчёт по формуле (12).
13. Индикаторный КПД компрессора η_i - расчёт из соотношения (14).
14. Действительная (индикаторная) мощность компрессора, N_i , кВт - расчёт из соотношения (13).
15. Мощность, развиваемая электродвигателем, кВт:

$$N_{э.д} = \frac{\Delta \mathcal{E} \times 3600}{\tau}$$

16. КПД компрессорной установки:

$$\eta_y = N_i / N_{э.д}$$

17. Объёмный расход сжатого воздуха в напорном трубопроводе при пара-

метрах p_2 и $T_1 = \text{const}$, определяемый по уравнению изотермического процесса, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_{\partial,2} = V_{\partial} \frac{p_1}{p_2}$$

18. Массовый расход сжатого воздуха, кг/с

$$G_{\partial} = V_{\partial} \rho_{\partial}$$

19. Удельный расход электроэнергии на производство 1 м^3 сжатого воздуха - расчёт по формуле, $(\text{кВт} \cdot \text{час})/\text{м}^3$:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta \mathcal{E}}{V_{\partial,2} \times \tau}$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – разность показаний электросчётчика за время проведения эксперимента τ .

20. Удельный расход электроэнергии на производство 1 кг сжатого воздуха - расчёт по формуле, $(\text{кВт} \cdot \text{час})/\text{кг}$:

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta \mathcal{E}}{G_{\partial} \times \tau}.$$

II. Провести анализ взаимосвязи вышеуказанных показателей работы компрессора между собой а также характера их изменения для различных давлений сжатия p_2 .

Таблица 2

Протокол записи и обработки данных эксперимента

Величина	Обозначение	Размерность	Значения в зависимости от p ₂ , МПа		
			p ₂ =	p ₂ =	p ₂ =
Измеряемые величины					
1. Барометрическое давление	<i>p</i> ₁	МПа			
2. Температура наружного воздуха	<i>t</i> ₁	°C			
...	...	...			
Вычисляемые величины					
7. Показатель политропы сжатия	<i>m</i>	-			
8. Теоретическая работа адиабатного сжатия	<i>A</i> ₀ ^{ad}	кДж/кг			
...	...	...			
20. ...	...	...			

5. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

Отчет по работе представляется оформленным в тетради по лабораторным работам и должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.

2. Краткий конспект сведений по термодинамическим основам работы компрессора.

3. Конструктивную схему компрессора с указанием основных узлов и деталей.

4. Схему лабораторной установки с указанием основных элементов.

5. Расчет величин в соответствии с табл. 2.

6. Выводы по работе, содержащие анализ взаимосвязи показателей работы компрессора и характера их изменения при различных степенях повышения давления.

6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Термодинамические основы:

1. Объясните принцип работы воздушного компрессора.

2. Изобразите цикл работы (теоретическую $p-v$ -диаграмму) поршневого компрессора и объясните из каких процессов он состоит.

3. Объясните в чём отличие теоретической и действительной индикаторной диаграммы компрессора.

4. Дайте характеристику изотермическому, адиабатному и политропному процессам сжатия с точки зрения энергозатрат и условий эксплуатации.

Конструкция и работа компрессора и компрессорной установки:

1. Перечислите основные узлы и детали воздушного компрессора.

2. Объясните, почему у непрямоточного поршневого компрессора коэффициент подачи ниже, чем у прямоточного.

3. Объясните в чем назначение ресивера.

4. Объясните в чем назначение картера.

Методика эксперимента:

1. Объясните, почему необходимо дать компрессору поработать после запуска без нагрузки в течение некоторого времени.

2. Объясните, почему необходимо после изменения давления сжатия дать компрессору поработать некоторое время перед снятием показаний приборов.

3. Объясните, как при изменении давления сжатия изменяется объёмная и массовая подача компрессора.