

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра нефтегазового оборудования и транспортировки

**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ
КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Компрессорное оборудование газовой промышленности»

для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

*(профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения
нефти, газа и продуктов переработки»)*

всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 62(07)
ББК 30.2-5-05я7

Составители:

*старший преподаватель О.В. Куликова
канд. техн. наук Е.Е. Спицына
д-р техн. наук А.В. Кретинин*

Анализ конструктивных особенностей компрессорного оборудования: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Компрессорное оборудование газовой промышленности» для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: О. В. Куликова, Е. Е. Спицына, А. В. Кретинин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 31 с.

Методические указания содержат теоретические сведения, необходимые для выработки навыков анализа конструктивных особенностей компрессорного оборудования и работы с технологическим оборудованием ГПА, применения современных расчетных комплексов для решения задач при расчете основных режимов работы ГПА.

Предназначены для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ЛР_КОГП.pdf

Ил. 17. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 62(07)
ББК 30.2-5-05я7**

Рецензент – Д. П. Шматов, канд. техн. наук, доц.
кафедры ракетных двигателей ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Компрессор является одним из важнейших узлов газотурбинных двигателей и энергоустановок. Кроме того, лопаточные компрессоры часто применяются и в других областях техники в качестве источника сжатого газа. По этой причине изучение и понимание рабочего процесса компрессора является актуальным и востребованным. Глубокое понимание процессов, происходящих в его межлопаточных каналах, позволяет избежать ошибок при проектировании и повысить его газодинамическую эффективность. Последнее обстоятельство является наиболее важным, поскольку КПД компрессора непосредственно влияет на топливную экономичность и конкурентоспособность изделия в целом.

В связи со значительным прогрессом в области вычислительной техники появилась возможность исследования потоков методами вычислительной газовой динамики или, как их часто называют, *CFD* - методами. Они основаны на численном решении системы уравнений Навье-Стокса, описывающей течение газа или жидкости на основе фундаментальных законов сохранения, т.е. с минимальными допущениями.

Кроме того, расчет численными методами дает исчерпывающую информацию обо всех параметрах во всех точках рассматриваемой области потока. В результате число экспериментов, необходимое для проектирования и доводки, снижается в разы, что положительно сказывается на сроках и стоимости разработки изделия.

Представленные в настоящих указаниях лабораторные работы посвящены изучению рабочих процессов в компрессорах с помощью различных методов. Представленные лабораторные работы ставят своей целью, с одной стороны, «заглянуть» в процессы, происходящие в межлопаточных каналах компрессора и изучить их закономерности, а с другой стороны, ставится цель привить студентам навыки исследования рабочих процессов в турбомашинах в различных программах.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО И ОСЕВОГО КОМПРЕССОРОВ

Цель работы: изучение устройства и принципа действия центробежного и осевого компрессоров.

Учебное оборудование и наглядные пособия:

Альбом плакатов и чертежей, схемы установок и натурные образцы.

Центробежные компрессоры – это динамические компрессоры радиальной конструкции. В компрессорах такого принципа действия воздух подводится в центр вращающегося рабочего колеса и центробежными силами выбрасывается к периферии, компрессоры работают с постоянным давлением. Компрессор

типа 43ГЦ2-100/5-100, представленный на рисунке 1, предназначен для компримирования нефтяного газа и подачи его в высоконапорную систему распределения при газлифтной эксплуатации скважин. Состоит из электродвигателя, соединенного через мультипликатор с двумя корпусами сжатия: низкого (КНД) и высокого (КВД) давлений.

Корпус компрессора – стальной кованый цилиндр с вертикальным разъемом, закрываемый толстостенными крышками. Внутри него расположен аэродинамический узел с ротором неразборного типа, рабочие колеса которого крепятся на валу на горячей посадке. Опоры валов компрессора и мультипликатора – подшипники скольжения. Мультипликатор одноступенчатый горизонтального типа с эвольвентным зацеплением.

В комплект компрессора 43ГЦ2-100/5-100 входят блоки промежуточного и концевой сепараторов, блоки промежуточного и концевой аппаратов воздушного охлаждения масла, арматура, система автоматики и защиты.

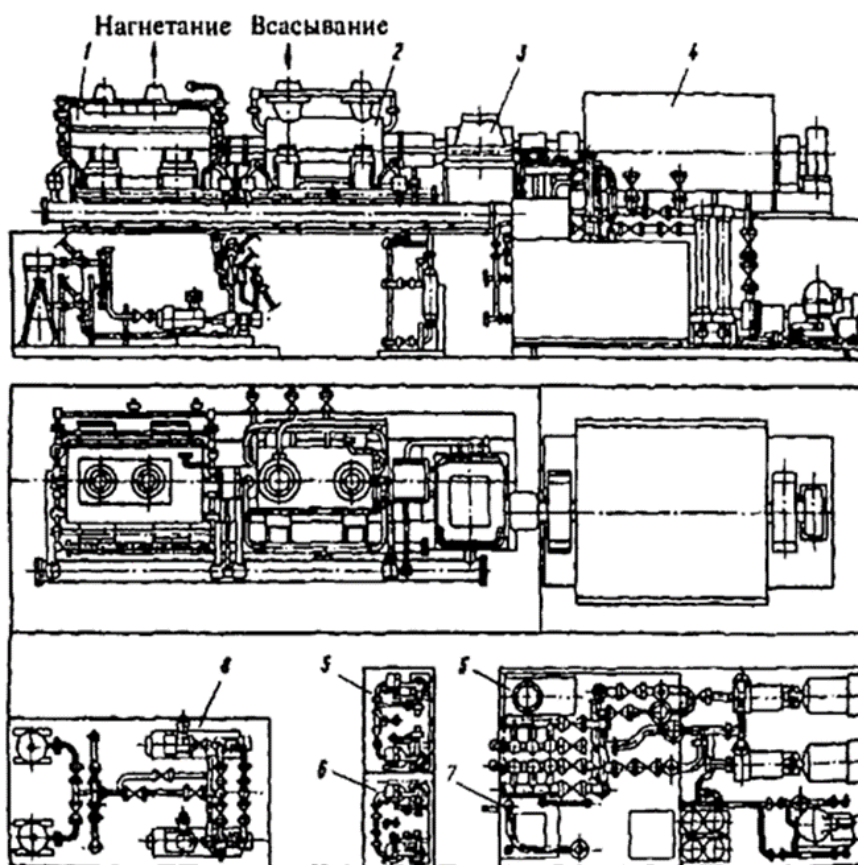


Рис. 1.1. Компрессор 43ГЦ2-100/5-100:

- 1 – корпус высокого давления; 2 – корпус низкого давления; 3 – мультипликатор; 4 – электродвигатель; 5 – агрегат смазки; 6 – блок маслоотводчиков низкого давления; 7 – блок маслоотводчиков высокого давления; 8 – агрегат уплотнений.

Компрессор типа 43ЦКО-160/15 – центробежная двухкорпусная восьмиступенчатая машина, предназначенная для компримирования углеводородных газов в газодаркционных установках, изображена на рис. 1.2.

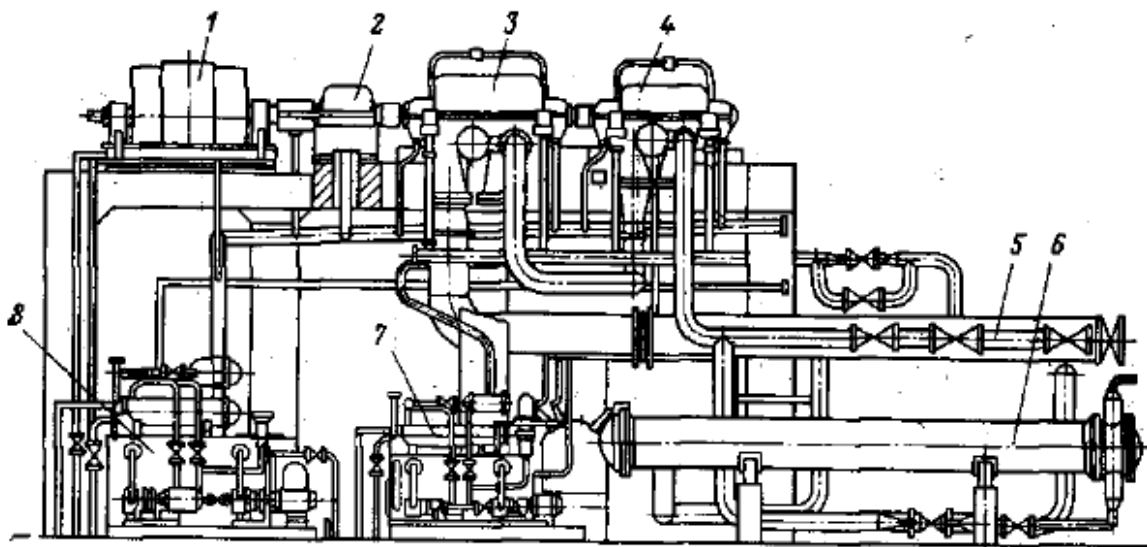


Рис. 1.2. Центробежный компрессор 43ЦКО-160/15:

1 – электродвигатель; 2 – мультипликатор; 3 – корпус низкого давления; 4 – корпус высокого давления; 5 – газовая коммуникация; 6 – охладитель газа; 7 – агрегат системы уплотнений; 8 – агрегат смазки.

Компрессор состоит из мультипликатора, электродвигателя, агрегатов систем смазки, КИП и автоматики, регулирующей и запорной арматуры.

Роторы – неразборного типа. Рабочие колеса, изготовленные из высокопрочных и легированных сталей, закреплены на валу. Монтаж компрессора осуществляется на двух уровнях: вспомогательное оборудование, система смазки и обводной охладитель размещены на нулевой отметке и на площадках обслуживания, корпуса компрессора, мультипликатор и электродвигатель – на втором этаже фундамента.

Корпуса с горизонтальным разъемом, состоят из цилиндра, ротора, пакета закладных деталей, подшипниковых камер, подшипников и фундаментных плит.

На газоперерабатывающих заводах нефтяной газ компримируется с помощью электроприводных компрессоров типа К-380-103-1, рассчитанных для работы на нефтяном газе.

Компрессор К-380-103-1 – двухкорпусный, десятиступенчатый. В корпусе низкого давления и в корпусе высокого давления расположено по пять ступеней сжатия. Привод осуществляется от синхронного электродвигателя с помощью редуктора, повышающего частоту вращения до 135 с-1 с корпусом низкого давления.

Ниже в табл. 1 приведены технические характеристики центробежных компрессоров.

Таблица 1

Техническая характеристика центробежных компрессоров

Показатели	Наименование компрессора		
	43ГЦ2-100/5-100	43ЦКО-160/15	К-380 103-1
Подача, м ³ /с	1,83	2,67	5,75
Давление газа на входе в корпус низкого давления, МПа	0,4-0,45	0,1	0,186
Давление газа на выходе из корпуса высокого давления, МПа	11,28	1,47	3,82
Мощность электродвигателя, кВт	6300	1600	5300
Частота вращения ротора, с-1	50	166,7	135/290
Масса компрессорной установки, кг	88000	45000	37000

В осевых компрессорах направление движения воздуха совпадает с направлением оси вращения РК или близко к нему. Линии тока в них располагаются на цилиндрических поверхностях, ось которых совпадает с осью ЛМ. Внешний вид и схема ступени осевого компрессора показаны на рис. 1.3 и 1.4.

Осевые компрессоры являются наиболее распространенным типом компрессора в ГТД и ГТУ. Этому способствует их высокий КПД.

Важным достоинством также является простота создания многоступенчатого компрессора из последовательно расположенных ступеней и как следствие возможность получать большие суммарные степени сжатия с небольшими потерями.

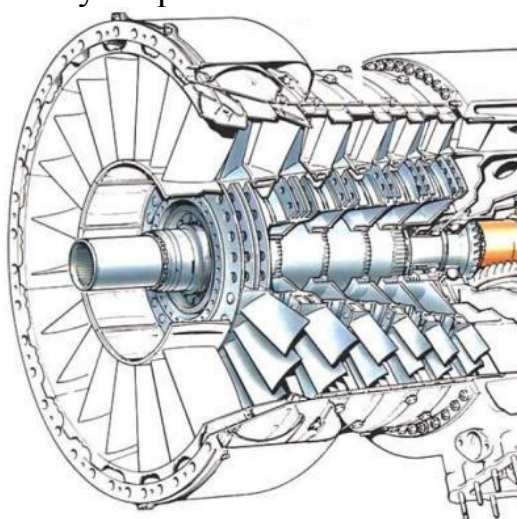


Рис. 1.3. Внешний вид осевого многоступенчатого компрессора авиационного ГТД

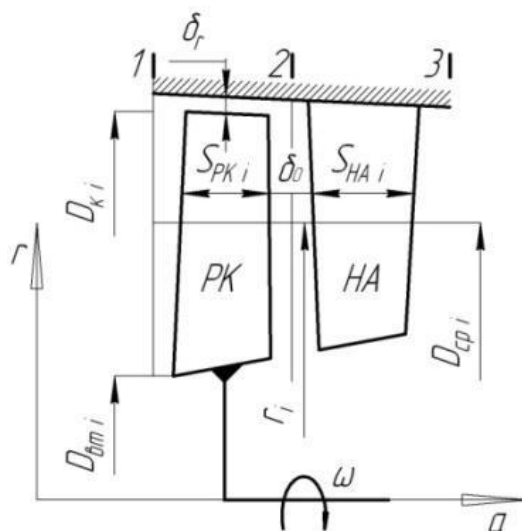


Рис. 1.4. Схема и основные геометрические параметры ступени осевого компрессора

Одна ступень осевого компрессора позволяет достигать величины степени сжатия до 2 и КПД до 0,88 0,9. Однако газодинамическая эффективность существенно зависит от режима работы и размера лопаточной машины. Осевые компрессоры для небольших расходов рабочего тела имеют маленькие высоты лопаток. Это приводит к существенному увеличению влияния процессов происходящих в пограничных и радиальных зазорах на течение в межлопаточных каналах и существенному снижению КПД.

Вопросы для подготовки к защите

1. Опишите устройство и принцип действия центробежного компрессора.
2. Опишите устройство и принцип действия осевого компрессора.
3. В чем отличие центробежного от осевого компрессора?
4. Приведите классификацию центробежных компрессоров.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Цель работы: изучение устройства и принципа действия поршневого компрессора.

Учебное оборудование и наглядные пособия:

Альбом плакатов и чертежей, схемы установок и натурные образцы.

Теоретические сведения

Компрессорные машины предназначены для сжатия и перемещения газов. Компрессоры классифицируют по следующим признакам:

1. по принципу действия;
2. по конструктивному исполнению;
3. по области рабочих давлений.

По принципу действия компрессоры подразделяются следующим образом:

а) компрессоры, работающие по вытеснительному (объемному) принципу, когда рабочее тело засасывается в емкость (цилиндр и др.) и в нем под действием поршня (поршневой компрессор) или пластин (ротационный компрессор) сжимается до заданного давления и вытесняется газопровод;

б) компрессоры, работающие по динамическому принципу, в которых рабочее тело сжимается до заданного давления под воздействием быстро вращающихся лопастей, лопаток, дисков и т. п. Этот класс машин относится к турбокомпрессорам, работающим по схеме преобразования энергии обращенной турбины (в турбине энергия давления преобразуется в соплах в скорость). Как и турбины, турбокомпрессоры могут быть радиальными (центробежными) и аксиальными (осевыми);

в) компрессоры, работающие по струйному принципу, в которых частицам рабочего тела придается дополнительная скорость за счет смещения основного потока газа с потоком разогнанной жидкости или газа, вследствие чего результирующая скорость рабочего тела возрастает. При прохождении через диффузор скорость снижается, а давление рабочего тела возрастает. По этому принципу работают инжекторы, эжекторы, элеваторы.

Далее остановимся подробнее на классификации поршневых компрессоров.

По конструктивному исполнению поршневые компрессоры бывают:

- а) с цилиндрами простого или двойного действия;
- б) горизонтальные, вертикальные и угловые (в зависимости от расположения осей цилиндров);
- в) крейцкопфные и бескрейцкопфные;
- г) с дисковым или дифференциальным поршнем.

По величине создаваемого конечного давления поршневые компрессоры делятся на:

- а) компрессоры низкого давления
- б) компрессоры среднего давления
- в) компрессоры высокого давления
- г) компрессоры сверхвысокого давления

По числу ступеней поршневые компрессоры подразделяются на:

- одноступенчатые;
- многоступенчатые.

Одноступенчатый компрессор

На рис. 2.1 представлена конструктивная схема одноступенчатого поршневого компрессора.

В цилиндре движется поршень, совершающий возвратно-поступательное движение. При движении поршня вправо происходит всасывание газа через открытый всасывающий клапан при практически постоянном давлении. После того как поршень дойдет до крайнего правого положения (нижней мертвой точки), процесс всасывания заканчивается, клапан закрывается и поршень начинает двигаться влево.

Происходит сжатие газа. Когда давление газа в цилиндре достигает значения, несколько превышающего давление в баллоне сжатого газа (ресивере), нагнетательный клапан открывается и происходит нагнетание сжатого газа в ресивер. Дойдя до крайнего левого положения (верхней мертвой точки), поршень вновь начинает двигаться вправо и процесс повторяется.

Теория компрессорного процесса

Рассмотрим идеальный поршневой компрессор. На рис. 2.2 представлены процессы сжатия и нагнетания в координатах $p-V$.

Суммарная работа сжатия и перемещения газа будет равна площади фигуры, ограниченной линиями 0–1–2–3–0, в соответствующем масштабе:

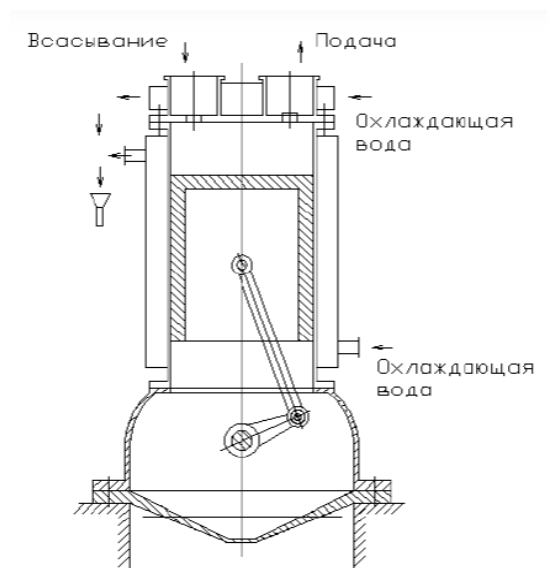


Рис. 2.1. Конструктивная схема поршневого компрессора с одной ступенью сжатия

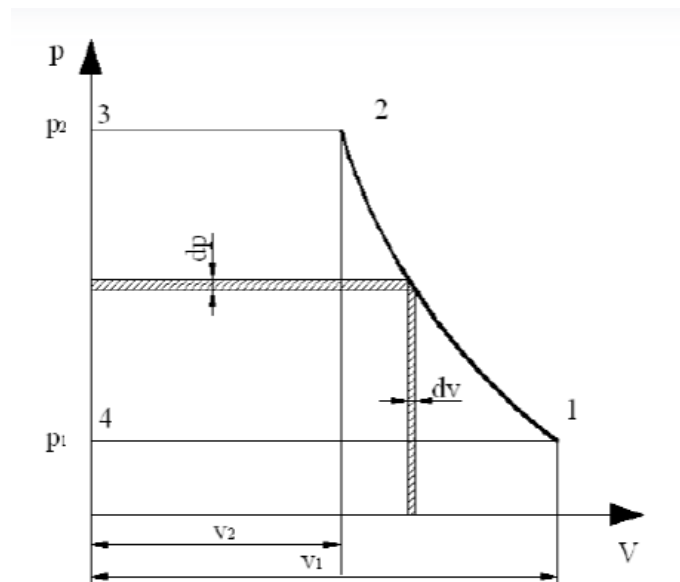


Рис. 2.2. Изображение работы в координатах p – V

$$\int_{V_1}^{V_2} p \, dV = \frac{p_1 V_1}{\epsilon - 1} \left(\epsilon^{\frac{1}{\epsilon}} - 1 \right), \quad (2.1)$$

где ϵ — показатель политропы;
 ϵ — степень повышения давления.

Работа сжатия 1 кг газа при политропном процессе согласно рис. 2.2 будет равна:

$$\int_{V_1}^{V_2} p \, dV = \frac{p_1 V_1}{\epsilon - 1} \left(\epsilon^{\frac{1}{\epsilon}} - 1 \right), \quad (2.2)$$

Процесс сжатия в идеальном поршневом компрессоре может протекать как:

1. политропный процесс с частичным отводом тепла — характерен для компрессоров с интенсивным водяным охлаждением;
2. политропный процесс с подводом тепла при — характерен для лопастных компрессоров;
3. адиабатный процесс k ;
4. изотермический процесс $n = 1$.

В случае изотермического процесса сжатия суммарная работа сжатия и перемещения будет определяться уравнением:

$$\int_{V_1}^{V_2} p \, dV = \frac{p_1 V_1}{\epsilon - 1} \left(\epsilon^{\frac{1}{\epsilon}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Если процесс сжатия газа происходит при отсутствии подвода и отвода тепла (идеальный адиабатный процесс, называемый изоэнтропным), то, заменив в уравнениях (1.1) и (1.2) n на k , получим следующие выражения:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\varepsilon \frac{p_1}{p_2} - 1 \right) \quad (2.4)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\varepsilon \frac{p_1}{p_2} - 1 \right). \quad (2.5)$$

Изотермический и адиабатный (точнее, изоэнтропный) процессы в реальных компрессорах не могут быть осуществлены, а лишь используются для оценки энергетической эффективности компрессоров.

Для оценки эффективности объёмных компрессоров с интенсивно действующим водяным охлаждением используют изотермический КПД:

$$\eta_{из} = \frac{q_{из}}{q_{пол}} = \frac{1}{\left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right)} \quad (2.6)$$

где $q_{из}$ — удельная энергия идеального изотермического процесса;

$q_{пол}$ — удельная энергия действительного политропного процесса с показателем политропы n ;

c_p — удельная изобарная теплоемкость газа.

Аналогично с помощью адиабатного КПД оцениваются поршневые, центробежные и осевые компрессоры с неинтенсивным воздушным охлаждением, для которых адиабатный процесс является эталонным.

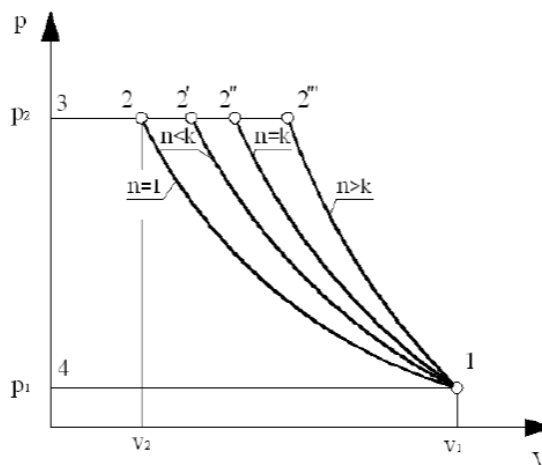


Рис. 2.3. p – V диаграмма компрессорных процессов

На рис. 2.3 показано влияние показателя политропы n процесса сжатия на индикаторную диаграмму идеального компрессора.

Из рис. 2.3 видно, что с возрастанием значения n работа сжатия и перемещения увеличивается. Следует стремиться к снижению показателя политропы n путём увеличения количества отводимой от сжатого газа теплоты.

Влияние показателя политропы сжатия на величину работы цикла (т. е. на потребляемую мощность) тем сильнее, чем выше относительное повышение давления. Так, при $n = 1,2$ работа адиабатного идеального компрессора превысит работу изотермического идеального компрессора на 17 %, а при $n = 1,4$ – на 27 %.

Мощность идеального компрессора может быть получена умножением работы сжатия и перемещения $W_{\text{сж}} + W_{\text{пер}}$ для 1 кг идеального газа за один оборот коленчатого вала на частоту вращения

$$(2.7)$$

Действительный процесс одноступенчатого компрессора

В действительности процесс работы компрессора отличается от теоретического следующим:

- 1) реальный газ отличается по своим свойствам от идеального, что сказывается на производительности компрессора и потребляемой им мощности;
- 2) температура реального газа в течение процессов всасывания и нагнетания изменяется вследствие внешнего теплообмена;
- 3) давление реального газа переменное во время всасывания и нагнетания из-за пульсаций потоков газа и потерь давления на гидравлическое сопротивление в клапанах;
- 4) наличие неплотностей рабочей полости (неплотности в сальниках, поршневых уплотнениях, закрытых клапанах и т. д.) приводит к тому, что часть газа вытекает из рабочей полости;
- 5) показатели политропы сжатия и расширения непостоянны во время процесса вследствие влияния на термодинамические процессы тепловой инерции стенок цилиндра;
- 6) в узлах механизма компрессора имеется трение.

Для инженерных расчетов с погрешностью около 2 % допустимо производить расчет компрессоров для воздуха с конечным давлением до 10 МПа по уравнениям термодинамики идеального газа.

Экспериментальная установка

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.4.

При работе со стендом необходимо соблюдать технику безопасности при работе с электроприборами.

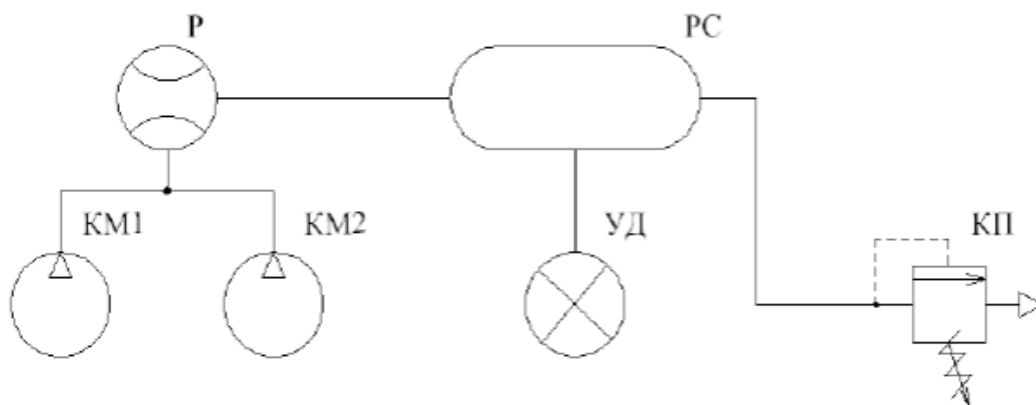


Рис. 2.4. Порядок проведения опытов и обработка экспериментальных данных

1. Ознакомиться с описанием стенда.
2. В верхней левой части находится макет компрессора в разрезе.
3. Взяв измерительный инструмент, замерить:
 - диаметр поршня;
 - ход поршня.
4. Рассчитать объем цилиндра.
5. Определить производительность компрессора по формуле

—

(2.8)

где коэффициент подачи, показывающий, какую часть производительности идеального компрессора составляет производительность действительного компрессора (задается преподавателем);

диаметр цилиндра;

—ход поршня;

частота вращения коленчатого вала (задается преподавателем).

6. Определить производительность компрессора с цилиндром двойного действия при сохранении основных размеров по формуле:

—

(2.9)

где диаметр штока.

Вопросы для подготовки к защите

1. Опишите устройство и принцип действия одноступенчатого поршневого компрессора.
2. Чем отличается действительный процесс одноступенчатого компрессора от теоретического?
3. Приведите классификацию поршневых компрессоров.
4. Приведите основные виды компрессорных процессов в p – V диаграмме.
5. Как влияет значение показателя политропы на суммарную работу сжатия и перемещения газа?
6. Напишите формулы для определения действительной производительности компрессора простого действия и с цилиндром двойного действия.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Цель работы: измерение мощности, потребляемой приводом поршневого компрессора, и вычисление КПД системы.

Учебное оборудование и наглядные пособия:

Альбом плакатов и чертежей, схемы установок и натурные образцы.

Теоретические сведения

Основными характеристиками компрессора являются:

- 1) Степень повышения давления компрессора:

$$\frac{p_2}{p_1} = \dots \quad (3.1)$$

где p_2 – среднее давление воздуха в период нагнетания, МПа;
 p_1 – среднее давление воздуха в период всасывания, МПа.

$$\dots \quad (3.2)$$

где H – максимальная высота индикаторной диаграммы поршневого компрессора;

μ – масштаб пружины механического индикатора.

- 2) Начальное давление воздуха перед компрессором, МПа:

$$\dots \quad (3.3)$$

где мм. рт. ст. – давление окружающей среды по барометру (1МПа = 7500 мм. рт. ст.).

3) Производительность компрессора при $\text{м}^3/\text{с}$:

$$\text{-----} \quad (3.4)$$

где τ – время работы компрессора, с;

и начальный и конечный объём воздуха в ресивере, приведенный к условиям на входе в компрессор, которые рассчитываются по формулам, м^3 :

$$\text{-----} \quad (3.5)$$

$$\text{-----} \quad (3.6)$$

Объём ресивера равен м^3 . Абсолютные начальное и конечное давления воздуха в ресивере составляют, МПа:

$$n \quad \text{-----} \quad (3.7)$$

$$\text{-----} \quad (3.8)$$

где p_n и избыточные давления (по манометру) в ресивере на начало и конец измерений, МПа.

4) Индикаторная (внутренняя) работа – это работа сжатия воздуха внутри цилиндров за один оборот компрессора, Дж/об:

$$z(L \quad), \quad (3.9)$$

где z – число цилиндров компрессора;

и индикаторные работы цилиндров низкого и высокого давлений.

5) Индикаторная мощность компрессора, Вт:

$$\text{-----} \quad (3.10)$$

где n – измеренное число оборотов компрессора, об/с.

Индикаторная мощность многоступенчатого компрессора определяется как сумма индикаторных мощностей всех ступеней компрессора.

6) Эффективная мощность привода компрессора, Вт:

$$\sqrt{3} \quad (3.11)$$

где I , измеренные питающие электронагреватель ток и напряжение;

7) Механический КПД компрессора зависит от схемы компрессора, конструктивных особенностей, качества изготовления и монтажа, а также состояния машины:

$$\text{---} \quad (3.12)$$

8) Коэффициент подачи компрессора представляет собой отношение действительной производительности V к теоретической и может быть найден по формуле

$$\text{---} \quad (3.13)$$

где z — число цилиндров;

d_1 и d_2 — диаметры цилиндров низкого и высокого давления, м;

s — ход поршня, м;

n — измеренное число оборотов компрессора, об/с.

9) Объемный коэффициент компрессора учитывает влияние вредного объема на производительность компрессора и рассчитывается по формуле:

$$\text{---} \quad (3.14)$$

где V_0 — объем всасываемого воздуха;
 V_c — рабочий объем цилиндра.

10) Изотермический КПД компрессора представляет собой отношение мощностей привода изотермического $N_{из}$ и реального N_i компрессоров:

$$\text{---} \quad (3.15)$$

По величине изотермического КПД можно судить о совершенстве реального компрессора. Мощность привода теоретического изотермического компрессора минимальна, поэтому, чем ближе $\eta_{из}$ к единице, тем совершеннее реальный компрессор.

Экспериментальная установка

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.1.

При работе со стендом необходимо соблюдать технику безопасности при работе с электроприборами.

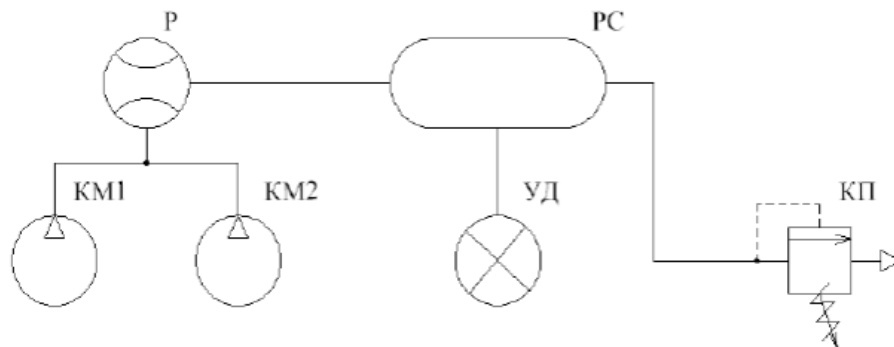


Рис. 3.1. Принципиальная схема экспериментальной установки:

КП – клапан предохранительный; Р – расходомер;
КМ – компрессорная машина; РС – ресивер; УД – диод

3.1. Порядок проведения опытов и обработка экспериментальных данных

1. Ознакомьтесь с описанием стенда.
2. В верхней левой части находится макет компрессора в разрезе.
3. Включите стенд, переключив тумблер в положение «I».
4. Включив компрессор № 1, установите давление 50 кПа.
5. Запишите значение числа оборотов и показания напряжения.
6. Рассчитайте мощность и КПД приведенного поршневого компрессора по формулам, приведенным в теоретической части.

Вопросы для подготовки к защите

1. От чего зависит и как рассчитывается механический КПД компрессора?
2. Что учитывает объёмный коэффициент компрессора?
3. Что собой представляет изотермический КПД компрессора?
4. Как рассчитывается индикаторная работа и индикаторная мощность компрессора?
5. Как определить индикаторную мощность многоступенчатого компрессора?
6. Из чего складывается мощность привода компрессора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИЗУЧЕНИЕ РОТАЦИОННЫХ КОМПРЕССОРОВ

Цель работы: расширение и закрепление знаний студентов по дисциплине «Низкотемпературные машины».

Задача работы: Изучение типовых конструкций, узлов и элементов современных ротационных компрессоров и вакуумных насосов, ознакомление с классификацией и принципом действия.

Учебное оборудование и наглядные пособия:

Альбом плакатов и чертежей, схемы установок и натурные образцы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с настоящими методическими указаниями.
2. Изучить классификацию и устройство ротационных компрессоров.
3. Изучить основные узлы и принцип работы ротационных компрессоров и вакуум-насосов.
4. Оформить отчет.
5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Число технических процессов в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и транспорте, требующих сжатого или разреженного воздуха или других газов либо паров, постоянно возрастает. Часто даже в крупных производствах требуется газ в сравнительно небольших количествах, что исключает возможность применения центробежных компрессоров. При сжатии газов малых и средних объемов в компрессорах с возвратно-поступательным движением поршня достигаются удовлетворительные значения удельного расхода энергии, но вес машин получается очень большим. Если давление нагнетания не очень велико, значительно целесообразнее при небольшой и средней производительности применять ротационные компрессоры. Согласно принятой классификации, это объемные компрессоры с одним или двумя, иногда тремя роторами, вращающимися вокруг осей, параллельных оси цилиндра. Если машиной отсасывается газ с давления ниже атмосферного, а давление нагнетания примерно равно атмосферному, то такие машины называются вакуум-насосами.

Меньший по сравнению с поршневыми машинами вес ротационных компрессоров объясняется тем, что окружная скорость роторов ротационных компрессоров в 3—20 раз превышает среднюю скорость поршня компрессора с возвратно-поступательным движением поршня.

Небольшой вес и широкая унификация узлов и деталей обеспечивают относительно низкую стоимость большинства ротационных компрессоров. Рота-

ционные компрессоры, как правило, работают при высоких скоростях вращения и имеют непосредственный привод от быстроходного и, следовательно, более дешевого двигателя. При непосредственном соединении с приводом расходы на редуктор отпадают.

При работе ротационного компрессора на фундамент не передаются какие-либо значительные силы, поэтому эти компрессоры можно устанавливать и на межэтажных перекрытиях зданий. Если вращающиеся детали компрессора хорошо уравновешены, то требуется очень небольшой фундамент.

Высокие скорости, обычные для ротационных компрессоров, позволяют конструировать машины небольших размеров, но при работе на таких скоростях возникает шум высокой тональности, более неприятный, чем шум поршневого компрессора. За исключением винтовых, все ротационные компрессоры имеют худшие энергетические показатели и регулируются в более узких пределах, чем поршневые машины.

Преимуществами, вследствие которых проектировщики компрессорных станций все чаще выбирают ротационные компрессоры, являются небольшая площадь и малый объем помещения, необходимого для размещения компрессора, так как размеры компрессора невелики. Небольшой вес ротационных компрессоров и их приводов позволяет осуществлять их монтаж или вообще без крана, или требуется кран малой грузоподъемности, не требующий специальных подкрановых путей, что снижает капитальные затраты на строительство компрессорных станций и монтаж агрегата.

Для приводов ротационных компрессоров достаточно иметь двигатели с небольшим пусковым моментом, так как при пуске требуется преодолеть инерцию небольших масс.

Большинство ротационных компрессоров нагнетает газ непрерывно, у них не возникает пульсации газа в трубопроводах. Ресиверы, как правило, устанавливаются при колебаниях отбора газа или из-за требований системы регулирования.

У ротационных компрессоров подшипники, как правило, имеют почти неменяющуюся, хотя и значительную, нагрузку. Поэтому в этих машинах чаще, чем в компрессорах других типов, применяются подшипники качения. При больших нагрузках в большинстве случаев применяются роликовые подшипники.

При производстве ротационных компрессоров требуется высокая точность изготовления деталей и тщательный монтаж. Наиболее тщательного монтажа требуют уплотнения. Преимуществом ротационных компрессоров является простота их обслуживания и ремонта.

Ротационные компрессоры всех типов могут, при соответствующей конструкции машин, нагнетать газ без примесей масла. Если степень сжатия или разрежение в одной ступени ротационного компрессора или вакуум насоса являются недостаточными, то устанавливаются последовательно две или даже три машины и каждая может быть использована самостоятельно.

Теоретические сведения

4.1 Классификация ротационных компрессоров и вакуум-насосов

Ротационные компрессоры имеют значительно больше конструктивных видов, чем любой другой тип компрессоров.

Ротационные компрессоры подразделяются на пластинчатые (рисунок 4.1), с катящимся ротором (рисунок 4.2), водокольцевые (рисунок 4.3), винтовые (рисунок 4.4) и спиральные. Ни один из типов ротационных компрессоров не имеет всасывающих клапанов. Нагнетательные клапаны обычно применяются в компрессорах с катящимся ротором, их также можно устанавливать и в пластинчатых компрессорах, работающих с переменной степенью сжатия. Компрессоры с катящимся ротором характеризуются достаточно плавной подачей сжатого газа.

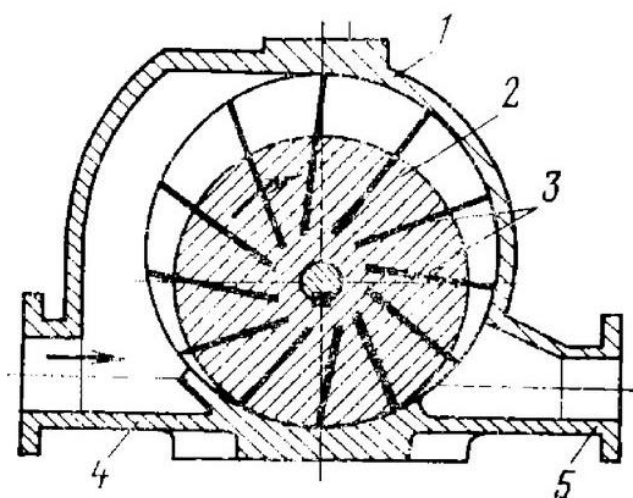


Рис. 4.1. Одноступенчатый пластинчатый компрессор:
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – пластины; 4 – всасывающий патрубок;
5 – падающий патрубок

За исключением пластинчатых компрессоров, у ротационных машин небольшие потери трения и малый износ. Самые значительные потери в ротационных компрессорах – это потери от перетекания газа и аэродинамические (или гидравлические) потери; последние особенно велики у водокольцевых компрессоров. У пластинчатых и винтовых компрессоров можно применить внутреннее охлаждение впрыском масла. При этом значительно снижаются потери от перетекания, и одновременно несколько увеличиваются гидравлические потери.

В ротационных компрессорах газ сжимается в результате изменения объема. Если объем меняется внутри компрессора, то это компрессор с внутренним сжатием.

У компрессоров с внешним сжатием газ сжимается только в процессе нагнетания газа из цилиндра компрессора в нагнетательный патрубок. У компрессора с внутренним сжатием имеют место оба вида сжатия, если давление в нагнетательном патрубке оказывается выше давления в конце процесса сжатия.

У ротационных компрессоров с внутренним сжатием без нагнетательного клапана внутреннее сжатие определяется геометрическими размерами цилиндра, ротора и окон. Эти компрессоры называют компрессорами с постоянной степенью сжатия.

Способ охлаждения. Для малых ротационных компрессоров и вакуум-насосов, а при низкой степени сжатия и для больших машин применяется воздушное охлаждение. Для улучшения воздушного охлаждения цилиндры отливаются с ребрами. В других случаях цилиндры охлаждаются водой. При степени повышения давления выше четырех у воздушных и холодильных ротационных компрессоров в ряде случаев применяется внутреннее охлаждение впрыском масла.

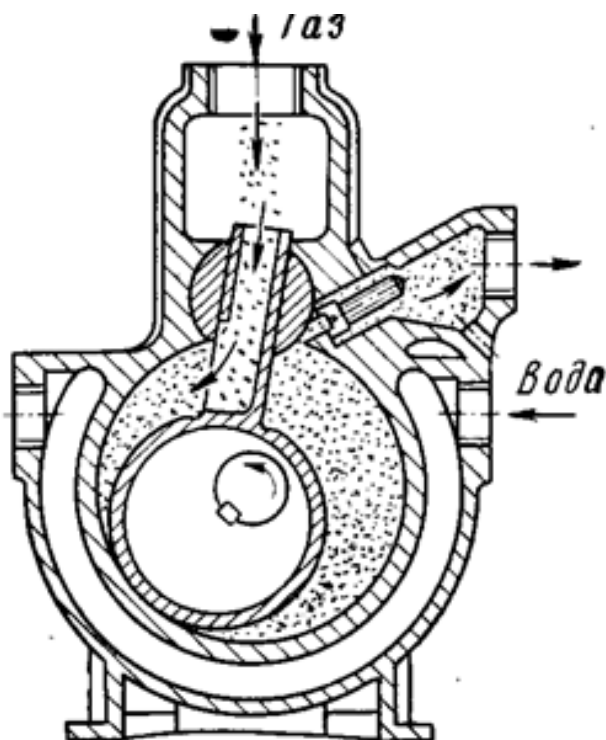


Рис. 4.2. Вакуум-насос с катящимся ротором

В качестве воздушных компрессоров небольшой и средней производительности со степенью повышения давления менее трех чаще всего стали применяться ротационные машины. То же наблюдается и с компрессорами, нагнетающими воздух в дизельные двигатели. Ротационные компрессоры часто применяются в передвижных установках, а винтовые — и в крупных стационарных компрессорных станциях. В холодильной технике ротационные машины для домашних холодильников практически не применяются, но вследствие удовлетворительного коэффициента полезного действия и небольшого веса ротационные компрессоры все чаще применяются в качестве бустеров, т. е. поджимающих компрессоров в низкотемпературных промышленных холодильных циклах.

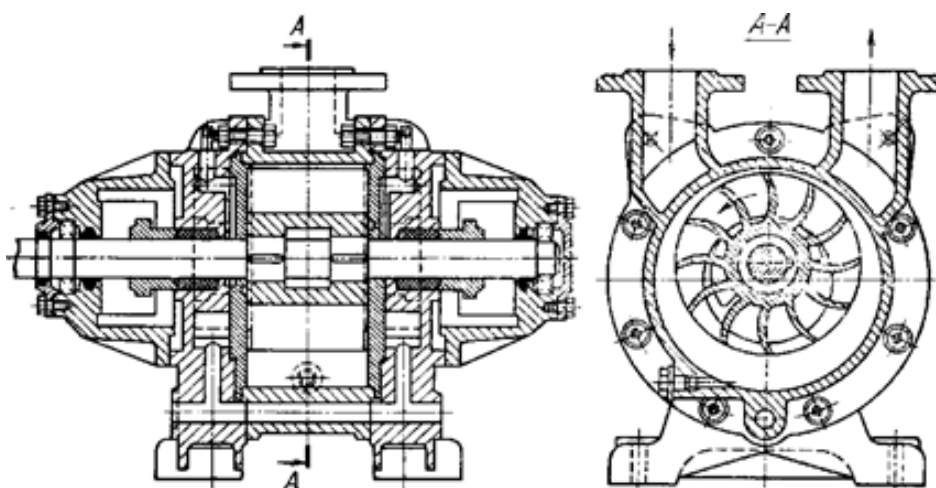


Рис. 4.3. Водокольцевой вакуум-насос

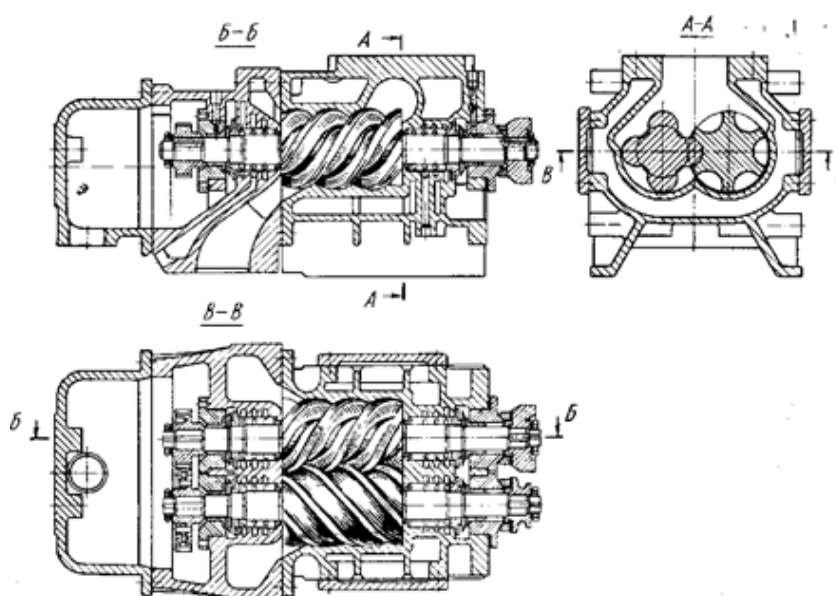


Рис. 4.4. Винтовой компрессор

Широкое применение находят ротационные компрессоры в химической и пищевой промышленности, на газовых заводах, для пневматического транспорта сыпучих материалов и во многих других отраслях производства.

4.2 Компрессоры с катящимся ротором

Компрессор с катящимся ротором является наиболее подходящим типом ротационного компрессора для получения наибольшей степени повышения давления в одной ступени.

Принцип работы компрессоров с катящимся ротором.

Ротор круглого сечения, прилегающий к стенке цилиндра, вращается вокруг оси цилиндра. Между ротором и зеркалом цилиндра остается при движении.

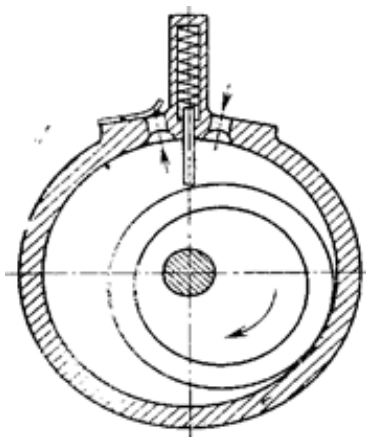


Рис. 4.5. Схема компрессора с катящимся ротором и разделяющей пластиной, направляемой радиальной прорезью в цилиндре (пластина прижимается к ротору) ротора зазор, равный 0,1—0,2 мм. Серповидное пространство между ротором и цилиндром разделено пластиной на всасывающую и нагнетательную части.

1 - цилиндр; 2 - ротор; 3 - эксцентрик; 4 - всасывающее пространство; 5 - цилиндрическая направляющая; 6 - разделяющая пластина; 7 - затопленный маслом нагнетательный клапан; 8 - фильтр; 9 - всасывающий патрубок; 10 - нагнетательный патрубок; 11 - глушитель; 12 - нагнетательное пространство; 13 - терморегулятор; 14 - канал газового балласта; 15 - пробка для выпуска масла.

У компрессоров Ротаско фирмы Эшер-Вис (Швейцария) производится впрыск в цилиндр столь обильного количества масла, что этим маслом отводится значительная часть тепла сжатия - происходит внутреннее охлаждение цилиндра.

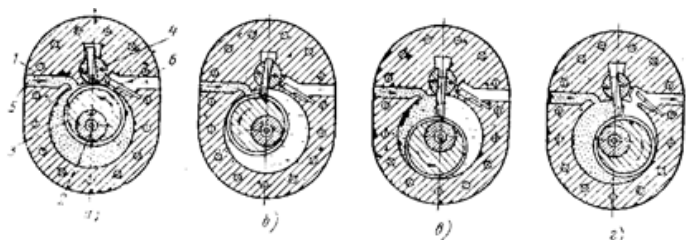


Рис. 4.6. Схемы компрессора с катящимся ротором и качающейся разделяющей пластиной, прижимаемой к ротору:

а - всасывание; б - начало сжатия; в - продолжение сжатия; г - нагнетание; 1 - корпус цилиндра; 2 - вал; 3 - эксцентрик; 4 - цилиндрическая направляющая с разделяющей пластиной; 5 - входной канал; 6 - нагнетательный клапан

Компрессоры с катящимся ротором имеют следующие преимущества: простая конструкция, низкие потери трения и, следовательно, малый износ, высокий коэффициент подачи вследствие небольшого мертвого

пространства. Центробежные силы у катящегося ротора можно хорошо уравновесить, поэтому к подшипникам машины не предъявляются специальные требования, и возможна работа компрессора при высокой скорости. Степень повышения давления у компрессоров с катящимся ротором не определяется геометрией машины (как, например, у пластинчатых компрессоров), поэтому они удобны при работе с переменной степенью повышения давления, как, например, при откачивании вакуумной системы или для холодильных установок, работающих с переменными температурами.

Недостатки компрессоров с катящимся ротором: потребность в маховике, пульсирующее нагнетание сжатого газа и почти наполовину меньшее использование объема цилиндра, чем в пластинчатых компрессорах.

Компрессоры с катящимся ротором изготавливают на производительность от минимально возможной до $1000 \text{ м}^3/\text{с}$. Фирма Ротаско, изготавливающая компрессоры, утверждает, что одноступенчатые аммиачные компрессоры могут при температуре конденсации 30°С работать при температуре кипения от -40°С до -60°С . Одноступенчатыми вакуум-насосами достигается вакуум до 2×10^{-3} мм рт. ст. без паров масла, с парами масла — 5×10^{-3} мм рт. ст., а с газовым балластом — 5×10^{-1} мм рт. ст. Скорость вращения для небольших машин обычно принимается 1440 об/мин, а для крупных машин — порядка 500. В качестве холодильных эти компрессоры работают чаще всего на аммиаке и фреоне 12, растет также число машин, работающих на фреоне 22.

Конструкции компрессоров с катящимся ротором

При вращении ротора, эксцентрично расположенного по отношению к оси цилиндра, на вал компрессора действует центробежная сила. Для ее полного уравновешивания у средних и крупных машин или устанавливаются противовесы (рисунок 3.9), или ротор делится на две равные части, смещенные на валу одна относительно другой на 180° и разделенные в цилиндре перегородкой (рисунок 3.6). Смещением на 180° уравновешиваются сами центробежные силы, не уравновешивается только их момент. Эксцентрики, на которые ротор насаживается как обод, фиксируются на валу шпонками. Если ротор только один, он может быть изготовлен заодно с эксцентриком и валом, как, например, у компрессоров Ротаско.

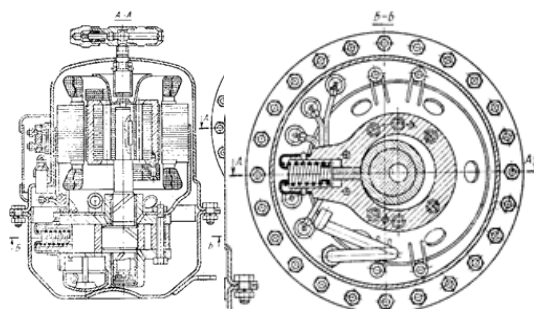


Рис. 4.7. Полугерметичный холодильный компрессор с катящимся ротором

У этих машин пластина, разделяющая всасывающее и нагнетательное пространства, управляется двумя серьгами, насаженными на эксцентрик, изготовленный заодно с валом. При движении эксцентрика пластина наклоняется так, что ее ось постоянно пересекает ось вращающегося ротора. Это обеспечивает плотность в месте прилегания пластины к ротору.

Дальнейшее улучшение плотности достигается установкой уплотняющих пластинок на плоскости соприкосновения разделяющей пластины с цилиндром и прижатием этих пластинок на плоскости соприкосновения разделяющей пластины с цилиндром и прижатием этих пластинок к направляющему цилиндру пружинами. Цилиндрическая направляющая, в которой скользит пластина со всасывающим каналом, изготавливается из легких сплавов с высокой прочностью и хорошими антифрикционными свойствами как по отношению к чугунному цилиндру, так и к каленой азотированной пластине. Для лучшего уплотнения корпус ротора в месте соприкосновения с цилиндром слегка сплюснен, таким образом между собственно ротором и надетой на ротор тонкостенной стальной втулкой возникает зазор. Со стороны сжатого газа на втулке ротора сверлятся несколько отверстий, через которые газ проникает в зазор и немного деформирует втулку, так что она прилегает к зеркалу цилиндра. К торцам цилиндра привертываются чугунные крышки. В крышках размещены подшипники качения, рядом с которыми установлены на валу противовесы ротора. Со стороны привода на валу расположено двойное уплотнение вала с камерой, заполненной маслом. На валу на стороне, противоположной приводу, установлен осевой подшипник. На валу установлен также привод клапана подачи масла, который открывается при пуске машины центробежной силой, действующей на грузы. При остановке машины он закрывается и предохраняет от попадания масла из маслоотделителя в машину. Внутреннее пространство цилиндра по краям ограничено чугунными крышками, по которым скользят кольца, вставленные в торцы ротора.

По длине цилиндра установлены клапаны призматической формы. Отверстия в клапанах перекрыты упругими пластинками, параллельными оси призмы. Под давлением газа пластинки прогибаются и освобождают путь газу. Каждый клапан прижат к стенке цилиндра пружиной, которая при жидкостном (гидравлическом) ударе позволяет всему клапану подняться и перепустить жидкость.

Задержанное в маслоотделителе масло через холодильник и центробежный клапан подается в машину. Впрыск масла в цилиндр производится давлением сжатого газа и регулируется поплавковым вентилем, установленным в корпусе машины.

Компрессоры и вакуум-насосы с катящимся ротором работают главным образом с высокими степенями повышения давления и охлаждаются водой.

При производстве вакуум-насосов, предназначенных для работы при абсолютных давлениях ниже 1 мм рт. ст., для важнейших деталей необходимо иметь плотное герметичное литье.

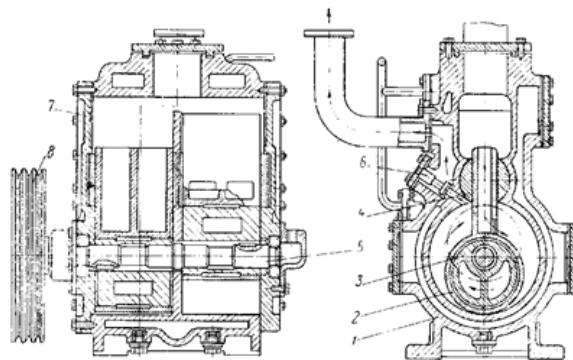


Рис. 4.8. Двухступенчатый компрессор с катящимся ротором
 1 - корпус цилиндра; 2 - ротор, изготовленный совместно с пластиной, образующей всасывающий клапан; 3 - эксцентрик; 4 - цилиндрическая направляющая; 5 - вал; 6 - нагнетательный клапан; 7 - крышка цилиндра;
 8 - маховик с ободом под клиновые ремни

4.3 Контрольные вопросы

1. Назовите отрасли производства, где применяются сжатые или разреженные газы.
2. В чем преимущества ротационных компрессоров перед поршневыми?
3. Расскажите о классификации ротационных компрессоров.
4. Как охлаждаются ротационные компрессоры и вакуум-насосы?
5. Как устроен и работает ротационно-пластинчатый компрессор?
6. Как устроен и работает компрессор с катящимся ротором?
7. Как устроен и работает водокольцевой компрессор?

Приложение А

Таблица А.1

Таблица для записи экспериментальных данных
при выполнении лабораторной работы № 2

Параметры	Точки замера				
	1	2	3	4	5
Значение напряжения $U = 10 \text{ В}$					
Частота вращения, об/мин					
Производительность, кг/с					
Давление, кПа					
Параметры	Точки замера				
	6	7	8	9	10
Производительность, кг/с					
Давление, кПа					
Параметры	Точки замера				
	11	12	13	14	15
Производительность, кг/с					
Давление, кПа					

Приложение Б

Таблица Б.1

Таблица для записи экспериментальных данных
при выполнении лабораторной работы № 4

Параметры	Точки замера									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение напряжения (задается преподавателем) $U_1 =$ В										
Частота вращения, об/мин										
Производительность, кг/с										
Давление, кПа										
Значение напряжения (задается преподавателем) $U_2 =$ В										
Частота вращения, об/мин										
Производительность, кг/с										
Давление, кПа										
Значение напряжения (задается преподавателем) $U_3 =$ В										
Частота вращения, об/мин										
Производительность, кг/с										
Давление, кПа										
Значение напряжения (задается преподавателем) $U_4 =$ В										
Частота вращения, об/мин										
Производительность, кг/с										
Давление, кПа										

Техника безопасности и противопожарная безопасность

1. Приступать к выполнению лабораторной работы можно только с разрешения преподавателя после ознакомления с настоящей инструкцией.

2. Электрооборудование лаборатории подключено к сети напряжением 380 В, опасным для жизни является переменное напряжение свыше 42 В, постоянное напряжение свыше 110 В, а ток – более 0,01 А.

3. Во время проведения лабораторных работ на работника (студента) могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы по ГОСТ 12.0.003-74:

- повышенная температура поверхностей оборудования;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- подвижные части производственного оборудования (электродвигатели и ремённая передача привода компрессора).

4. Студентам запрещается:

- прикасаться к открытым токоведущим частям и нагревательным элементам оборудования;
- снимать защитные ограждения пусковой аппаратуры;
- самостоятельно устранять неисправности и ремонтировать лабораторные установки и электроприборы;
- оставлять включенное электрооборудование без присмотра;
- подвергать приборы механическим ударам, падениям.

5. В случае поражения человека электрическим током необходимо:

- прекратить работу и отключить стенд от сети;
- немедленно освободить пострадавшего от соприкосновения с токоведущими частями, используя подручные изолирующие средства;
- оказать пострадавшему первую медицинскую помощь;
- вызвать врача, телефон скорой помощи – 03.

6. При возникновении пожара в лаборатории необходимо:

- прекратить работу;
- выключить общее электропитание;
- оповестить пожарную команду по телефону – 01;
- сообщить о случившемся руководителю структурного подразделения;
- приступить к тушению пожара имеющимися первичными средствами пожаротушения;
- при невозможности потушить загорание своими силами покинуть помещение, закрыв все окна и двери.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Г. В. Крылов, О. А. Степанов. Эксплуатация и ремонт газопроводов и газохранилищ: учеб. / Г. В. Крылов, О. А. Степанов. – М.: Академия, 2000. – 361 с.
2. А. А. Коршак, Г. Е. Коробков, Е. М. Муфтахов, Нефтебазы и АЗС: учеб. / А. А. Коршак, Г. Е. Коробков, Е. М. Муфтахов. – Уфа: 2006 – 416с.
3. Под ред. В. Я. Афанасьева, Ю. Н. Линника, Нефтегазовый комплекс: производство, экономика, управление: учебник для вузов. – М.: Экономика, 2014. – 717 с.
4. О. В. Куликова, Ю. А. Булыгин. Курс лекций по дисциплине «Эксплуатация газонефтепроводов» для направления подготовки 131000.62 «Нефтегазовое дело» / ФГБОУ ВПО «ВГТУ». – Воронеж, 2014. – 134 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Изучение конструктивных особенностей центробежного и осевого компрессоров.....	3
Лабораторная работа № 2. Изучение конструктивных особенностей одноступенчатых и поршневых компрессоров.....	7
Лабораторная работа № 3. Изучение конструктивных особенностей многоступенчатых поршневых компрессоров.....	13
Лабораторная работа № 4. Изучение ротационных компрессоров.....	18
Приложение А.....	27
Приложение Б.....	28
Библиографический список.....	30

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Компрессорное оборудование газовой промышленности»
для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
(профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения
нефти, газа и продуктов переработки»)
всех форм обучения

Составители:

Куликова Оксана Валерьевна
Спицына Екатерина Евгеньевна
Кретинин Александр Валентинович

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор О. В. Куликовой

Подписано к изданию 18.05.2022.

Уч.-изд. л. 1,6.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84