

Турсунова Эльза Акрамовна

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ОБРАЗОВАНИИ**

**ВЕНТИЛЯТОРЫ И  
КОМПРЕССОРЫ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ  
КОМПЛЕКС**

**Часть 2**

**Ташкент 2011**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
ИНСТИТУТ**

**КАФЕДРА “ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ”**

**Турсунова Эльза Акрамовна**

# **ВЕНТИЛЯТОРЫ И КОМПРЕССОРЫ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ  
КОМПЛЕКС**

**Часть 2**

**Ташкент – 2011**

**«Вентиляторы и компрессоры» учебно-методический комплекс – Ташкент, 2011. – 72 стр.**

Учебно-методический комплекс разработан по дисциплине «Вентиляторы и компрессоры». В нем собран материал для усвоения лекционного курса, практических занятий; типовая программа по строительным направлениям бакалавриата; педагогические технологии, слайды, вопросы-ответы, тестовые задания; задания на промежуточный, текущий и итоговый контроль.

Разработанный учебно-методический комплекс предназначен для студентов строительных направлений. Вместе с тем учебно-методический комплекс может быть полезен преподавателям, научным работникам, аспирантам, стажерам, профессорско-преподавательскому составу, повышающему свою квалификацию на факультете повышения квалификации всем кто интересуется дисциплиной «Вентиляторы и компрессоры».

**Составитель:** к.э.н. доцент Турсунова Э.А.

**Рецензенты:** к.п.н. доцент Абдуллаева Ш.Ш, ТАСИ  
доцент Мукольянц А.А., ТГТУ

|    |                           |                                                                                    |    |
|----|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
|    | <b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b>         |                                                                                    |    |
| 1. | Тема 9                    | Конструктивные элементы компрессоров и вспомогательное оборудование                | 5  |
| 2. | Практическое занятие № 9  | Конструктивные элементы компрессоров и вспомогательное оборудование                | 13 |
| 3. | Тема 10                   | Газомоторные компрессоры, ротационные компрессоры, турбокомпрессоры и нагнетатели. | 18 |
| 4. | Практическое занятие № 10 | Газомоторные компрессоры, ротационные компрессоры, турбокомпрессоры и нагнетатели  | 39 |
| 5. | ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ    |                                                                                    | 44 |
| 6. | ТЕСТЫ                     |                                                                                    | 49 |
| 7. | ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ         |                                                                                    | 68 |

|               |                                                                            |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Тема 9</b> | <b>Конструктивные элементы компрессоров и вспомогательное оборудование</b> |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|

*Технология проведения лекционного занятия*

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Количество часов</b>     | 2 часа                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Количество студентов</b> | 28                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Форма занятия</b>        | Информационная лекция с использованием средств мультимедиа                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>План лекции</b>          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Распределительные органы.</li> <li>2. Смазка и смазочные устройства.</li> <li>3. Сальники.</li> <li>4. Фильтры, масловлагоотделители и газосборники.</li> <li>5. Холодильники.</li> <li>6. Предохранительные клапаны.</li> </ol> |
| <b>Цель занятия</b>         | Изучить конструктивные элементы компрессоров и вспомогательное оборудование в углубленной форме.                                                                                                                                                                           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Педагогические задачи</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассказать о распределительных органах.</li> <li>2. Рассказать о смазке и смазочных устройствах.</li> <li>3. Рассказать о сальниках.</li> <li>4. Рассказать о фильтрах, масловлагоотделителях и газосборниках.</li> <li>5. Рассказать о холодильниках.</li> <li>6. Рассказать о предохранительных клапанах.</li> </ol> | <b>Результаты учебной деятельности</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Знают о распределительных органах.</li> <li>2. Знают о смазке и смазочных устройствах.</li> <li>3. Знают о сальниках.</li> <li>4. Знают о фильтрах, масловлагоотделителях и газосборниках.</li> <li>5. Знают о холодильниках.</li> <li>6. Знают о предохранительных клапанах.</li> </ol> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                      |                                                                                                        |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Технические средства обучения</b> | Компьютер, проектор, экран, пульт управления.                                                          |
| <b>Методы обучения</b>               | Объяснение, лекция, блиц-опрос.                                                                        |
| <b>Форма обучения</b>                | Фронтальная                                                                                            |
| <b>Условия обучения</b>              | Аудитория, оборудованная мультимедийными средствами обучения                                           |
| <b>Мониторинг и оценивание</b>       | Проведение блиц опроса на знание конструктивных элементов компрессоров и вспомогательное оборудование. |

**Технологическая карта учебного занятия по теме 9**

**Конструктивные элементы компрессоров и вспомогательное оборудование.**

| <b>Этапы</b>                        | <b>Содержание деятельности преподавателя</b>                                                                                                                          | <b>Содержание деятельности студентов</b>                                       |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1 этап<br>Введение в тему<br>10 мин | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.Объявление темы и плана занятия (приложение 1)</li> <li>1.2.Постановка цели и задач занятия</li> </ol>                     | Слушают.                                                                       |
| 2 этап<br>Основная часть 60 мин     | <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.Рассматриваются учебные вопросы по плану лекции. (1вопрос - приложение 2)</li> <li>2.2. 2 вопрос - приложение 3</li> </ol> | Слушают, уточняют, отвечают на вопросы, ведут краткие записи и задают вопросы. |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                    |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                          | 2.3. 3 вопрос - приложение 4<br>2.4. 4 вопрос - приложение 5<br>2.5. 5 вопрос - приложение 6<br>2.6. 6 вопрос - приложение 7                                                                                                                                  |                                                                    |
| 3 этап<br>Заключительная<br>часть 10 мин | 3.1 Повторение и закрепление<br>изученного материала по блиц<br>опросу (приложение 8)<br>3.2 Контрольные вопросы по<br>пройденной теме (приложение 9)<br>3.3 Список литературы<br>(приложение 10)<br>3.4 Задание на самостоятельную<br>работу (приложение 11) | Отвечают на вопросы.<br>Записывают литературу и<br>задание на дом. |

## Приложение 1

### План лекции:

1. Распределительные органы.
2. Смазка и смазочные устройства.
3. Сальники.
4. Фильтры, масловлагоотделители и газосборники.
5. Холодильники.
6. Предохранительные клапаны.

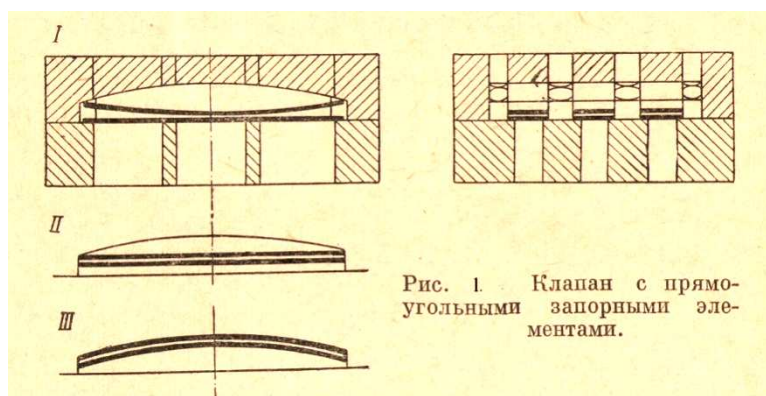
## Приложение 2

### Распределительные органы

Наибольшее распространение в компрессоростроении в качестве распределительных органов получили самодействующие пластинчатые клапаны с запорными элементами, имеющими форму дисков, колен, или прямоугольников. В вакуумных машинах, создающих глубокий вакуум, применяется золотниковое распределение.

Рассмотрим несколько типовых конструкций клапанов. У *дискового клапана*, пластина, выполненная из легированной стали, зажата в центре между седлом и ограничителем подъема и состоит из ряда концентрических колец, соединенных радиальными перемычками. Благодаря наличию у второго от центра кольца прорезей и уменьшенной толщине радиальных перемычек, примыкающих к местам разреза, клапанная пластина может упруго перемещаться вверх и вниз на величину подъема клапана. Чтобы смягчить удары пластины об ограничитель, между ними устанавливают несколько буферных пластин, а в ограничителе располагают три-четыре местных цилиндрических пружины.

У *клапана кольцевого типа*, в котором две кольцевые пластины прижимаются шестью цилиндрическими пружинами к седлу. Пружины располагаются в специальных гнездах, предусмотренных в ограничителе подъема. Штифты предназначены для направления движения пластин. При помощи дистанционной шайбы 10 можно менять высоту подъема

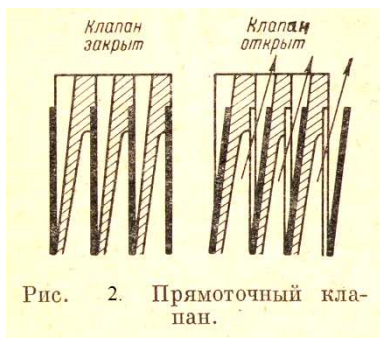


пластин.

На рис. 1 показаны три состояния клапана с прямоугольными запорными элементами, прижимаемыми к седлу ленточными пружинами: I — клапан закрыт; II — клапан открывается; III клапан полностью открыт.

Роль ленточной пружины может выполнить сама пластина.

На рис. 2. показана схема прямооточного клапана, основным отличием которого от клапанов других типов является то, что клапанные пластины в нем располагаются параллельно, а не перпендикулярно потоку газа. Это позволяет достигнуть больших проходных сечений и снизить потерю давления в клапане.



### Приложение 3

#### Смазка и смазочные устройства

Основная задача смазки — уменьшение износа трущихся поверхностей и снижение расхода энергии на трение. Помимо этого смазка охлаждает трущиеся поверхности и значительно повышает уплотняющую способность поршневых колец и сальников.

В компрессорах, как правило, существуют две системы смазки: система смазки цилиндров и система смазки кривошипно-шатунного механизма.

В зависимости от устройства и назначения компрессора в этих системах может употребляться масло разных или одинаковых марок. Чаще всего для смазки цилиндров компрессоров применяют компрессорные масла марок 12 и 19 по ГОСТ 1861–54.

Для азотных, водородных и азотоводородных компрессоров, ввиду инертности сжимаемого в них газа и отсутствия опасности образования нагара, применяют для смазки цилиндров масло цилиндрическое легкое 24 ГОСТ 1841–51, масла авиационные МС–20 и МК–22 ГОСТ 1013–49 и цилиндрическое тяжелое 32 ГОСТ 6411–52 — в зависимости от температуры и конечного давления газа.

Для кислородных компрессоров смазкой служит смесь дистиллированной воды с 6–10% технического глицерина, добавляемого для улучшения смазочных свойств воды. Минеральные масла при соприкосновении со сжатым и нагретым кислородом вступают с ним в реакцию, сопровождающуюся взрывом и, следовательно, для смазки цилиндров применяться не могут.

Этиленовые компрессоры смазывают дистиллированным глицерином ГОСТ 6824–54 или медицинским вазелиновым маслом ГОСТ 3164–52.

Кривошипно-шатунный механизм компрессоров малой мощности смазывается цилиндрическим маслом или индустриальными маслами марок 30, 45 и 50 по ГОСТ 1707–51, а кривошипно-шатунный механизм компрессоров большой и в некоторых случаях средней мощности — авиационными маслами марок МС–20 и МК–22 по ГОСТ 1013–49.

Расход масла для смазки, цилиндров строго регламентируют, особенно у воздушных компрессоров, где излишняя смазка приводит к нагарообразованию и может явиться причиной взрыва компрессорной установки.

Смазка цилиндров может производиться одним из следующих способов:

а) разбрызгиванием (в компрессорах бескрейцкопфного типа). Недостаток — трудность регулировки расхода масла;

б) вводом распыленного масла в поток всасываемого газа (чаще в компрессорах бескрейцкопфного типа). При этом способе масло попадает на зеркало цилиндра лишь частично, тесный контакт его с газом, имеющим

высокую температуру, снижает качество масла. Это делает такую систему несовершенной;

в) под давлением от многоплунжерных насосов — лубрикаторов. Этот способ наиболее совершенный. Он обеспечивает подвод к каждой смазываемой точке строго определенного количества масла.

Лубрикаторы, применяемые для смазки компрессоров, выполняются золотникового и клапанного типов. Оба эти типа имеют индивидуальную регулировку подачи масла каждым элементом и каплеуказатель, позволяющий контролировать ее величину.

Для механизмов движения компрессоров (коренных и мотылевых подшипников, пальцев крейцкопфа и направлений) обычно предусматривается циркуляционная смазка под давлением от шестеренного насоса, который забирает масло через приемную сетку из внутренней полости рамы и подает его под давлением через фильтр и масляный охладитель к смазываемым поверхностям.

## Приложение 4

### Сальники

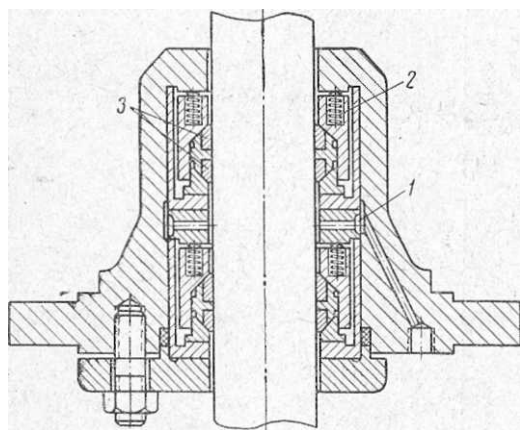


Рис. 3. Сальник типа Кранц.

Сальники, устанавливаемые в цилиндрах компрессора, имеют обычно металлическую набивку. Сальники с мягкой набивкой из просаленного и прографиченного асбестового шнура квадратного и или круглого сечения иногда применяются в воздушных компрессорах с давлением нагнетания, не превышающего  $8 \text{ кгс/см}^2$ . Рассмотрим сальник, имеющий металлическую самоуплотняющуюся набивку с плоскими чугунными уплотняющими элементами. Эти сальники состоят из нескольких камер с притертыми друг к другу торцами, в каждой из которых расположены два уплотняющих кольца.

Чтобы перекрытие стыков колец было обеспечено, взаимное расположение уплотняющих колец фиксировано штифтом. Каждое из колец охватывается по окружности цилиндрической витой пружиной, создающей предварительное уплотнение между элементами сальника и штоком. Основное усилие, прижимающее уплотнительные кольца к штоку, создается в результате разности давлений газа в камере и в слое масла в зазоре между кольцами и штоком. Смазка к сальнику подводится под давлением от масляного насоса, высокого давления (лубрикатора) через сверления во фланце и камерах. В камерах, помимо уплотняющих колец, иногда, размещают еще одно или два дроссельных кольца, затрудняющих проход газа из камеры в камеру и способствующих лучшему удержанию масла в полости сальника. При сжатии взрывоопасных или вредных газов нельзя допускать их проникновение в помещение компрессорной станции. Поэтому при сжатии таких газов к сальнику добавляется предсальник. Газ, просочившийся через сальник, отводят из камеры, образующейся между сальником, и предсальником, во всасывающий трубопровод или выводят из помещения компрессорной станции.

Другой разновидностью сальников с металлической самоуплотняющейся набивкой являются сальники типа Кранц (рис. 3) с уплотняющими элементами 3 трапецевидного сечения, которые выполняются из мягкого антифрикционного сплава, и с гидравлическим затвором. Гидравлический затвор осуществляется подачей масла от лубрикатора в кольцевые камеры 1 сальника.

Особенностью сальника типа Кранц является равномерная нагрузка на все уплотняющие кольца, обеспеченная заранее рассчитанным натяжением пружин 2. При износе уплотняющих колец 3 сила прижатия их к штоку не уменьшается, а остается неизменной, будучи обусловлена нажатием пружин.

## Приложение 5

### Фильтры, масловогдоотделители и газосборники

Прежде чем попасть во всасывающий трубопровод компрессорной установки, сжимаемые воздух или газ должны быть очищены от пыли и загрязнений. В зависимости от производительности компрессорной установки размеры и конструкция устройств по очистке воздуха и газа могут быть весьма разнообразными.

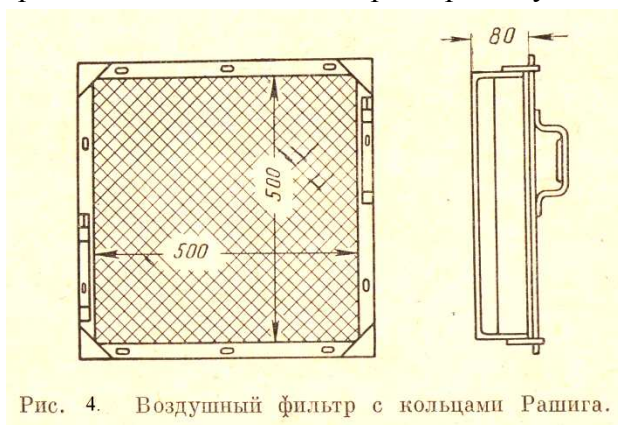


Рис. 4. Воздушный фильтр с кольцами Рашига.

На рис. 4 показан *висциновый воздушный фильтр с кольцами Рашига*, получивший большое распространение для очистки воздуха от пыли в компрессорах средней производительности. В этом фильтре между двумя сетками насыпаны железные, медные или фарфоровые кольца диаметром 10–12 мм и такой же высоты. Кольца смазаны висциновым или каким-либо иным вязким невысыхающим маслом

или глицерином. При прохождении воздуха через слой колец пыль прилипает к ним. При толщине фильтрующего слоя 75–80 мм на 1 м<sup>3</sup>/мин фильтруемого воздуха требуется поверхность 0,015 м<sup>2</sup>. При этом падение давления в фильтре составляет 8–10 мм рт. ст.

Висциновый фильтр улавливает до 80–90% пыли.

*Вертикальный масляный пылеуловитель*, является частью установки по очистке газа, поступающего из магистрального газопровода в компрессорный цех.

Он имеет следующую техническую характеристику: диаметр внутренний – 2400 мм; объем – 36 м<sup>3</sup>; вес – 34 760 кг; максимальное рабочее давление – 55 кгс/см<sup>2</sup>; пропускная способность – 150 000 м<sup>3</sup>/ч

Пылеуловитель, устанавливаемый на опорах, состоит из трех секций: нижней промывочной, средней осадочной и верхней отбойной.

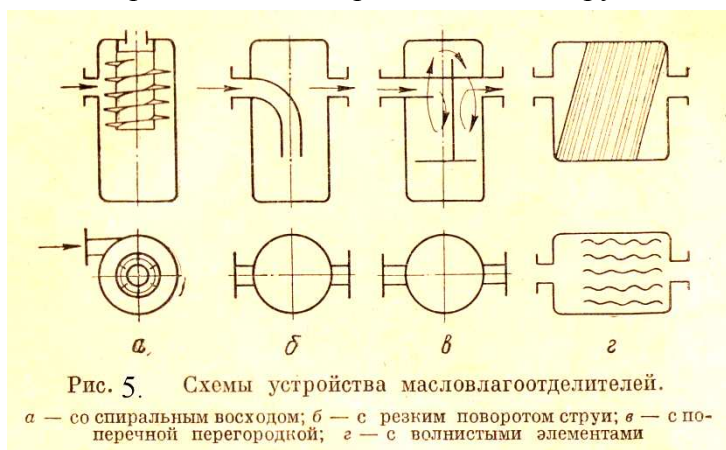
Газ поступает в пылеуловитель через входной патрубок, ударяясь перегородку. В результате удара и уменьшения скорости крупные частицы грязи, окалина и влага, содержащиеся в газе, под действием силы тяжести падают в масло, находящееся в нижней части корпуса пылеуловителя. Выше газового патрубка расположена трубная решетка, в которой закреплены болтами открытые с двух сторон трубки. Газ из нижней части пылеуловителя поступает в трубки, захватывая частицы масла и перемешиваясь с ними. При этом масло смачивает и улавливает мелкие частицы пыли, находящиеся в газе. В средней осадочной части пылеуловителя скорость газа резко уменьшается и большая часть масляных капель выпадает из газа на поверхность решетки и по дренажным трубкам стекает в нижнюю часть пылеуловителя. Газ, содержащий масляный туман, попадает в лабиринт скрубберной насадки, где масляный туман отделяется от газа, и по дренажным

трубкам масло стекает вниз. Очищенный газ выходит из пылеуловителя через патрубок. Пробка предназначена для слива масла, люк — для осмотра и очистки корпуса.

Отработавшее масло пылеуловителей подается в отстойники и после отстоя через аккумулятор вновь возвращается в пылеуловитель.

Для очистки сжатого газа или воздуха от влаги и масла после компрессора или после конечного холодильника (если таковой имеется) устанавливают масловлагоотделители. Действие масловлагоотделителей основано на инерции потока: при резком повороте струи газа находящиеся в нем частицы масла или влаги, имеющие значительно большую плотность, не успевают изменить направление и осаждаются на стенках масловлагоотделителя.

На рис. 5 показаны различные конструктивные схемы масловлагоотделителей.



Для достаточной очистки газа скорость его в корпусе масловлагоотделителей не должна превышать  $0,3\text{--}0,5 \text{ м/сек}$ . Объем масловлагоотделителя выбирают в 2–3 раза больше объема цилиндра

последней ступени.

Для уменьшения колебания давления газа в результате неравномерности его подачи компрессором и непостоянства его потребления после компрессоров

устанавливают газосборники. Обычно они имеют цилиндрическую форму и изготавливаются клепаными или сварными из стальных листов. Размеры газосборников принимаются в зависимости от конечного давления, конструкции компрессора и системы регулирования.

## Приложение 6

### Холодильники

Холодильники устанавливаются либо между ступенями сжатия, либо на выходе из компрессора. При установке межступенчатых холодильников уменьшается работа, затрачиваемая на сжатие, снижается температура газа в конце сжатия. Охлаждение сжатого газа позволяет в значительной мере освободить его от влаги и масла.

В стационарных установках тепло от газа в холодильниках отнимает вода. В передвижных установках применяются *холодильники с воздушным охлаждением*.

Наибольшее распространение в компрессорных установках получили *батареиные* или *кожухотрубчатые холодильники*. Наряду с ними можно встретить *змеевиковые* и *радиаторные холодильники*, а также *холодильники типа труба в трубе*.

В холодильниках всех типов, кроме змеевиковых, для лучшей теплоотдачи поверхность соприкосновения холодильника с газовым потоком может быть снабжена продольными или поперечными ребрами.

*Батареиные холодильники* (рис. 6), применяемые до давления  $3,0\text{--}3,5 \text{ Мн/м}^2$  ( $30\text{--}35 \text{ кгс/см}^2$ ), состоят из пучка труб небольшого, диаметра, развальцованных в двух трубных дисках и помещенных в общий корпус. По трубкам обычно пропускается вода, а газ омывает трубки снаружи. Для получения более высокого коэффициента теплоотдачи внутри корпуса предусмотрены поперечные перегородки, которые заставляют газ, протекающий внутри корпуса, неоднократно пересекать в поперечном направлении пучок трубок батареи холодильника. Чтобы газ проходил из одного отсека в другой, перегородки либо срезаны попеременно с противоположных порой, либо выполнены по схеме «кольцо —

диск». Вследствие наличия перегородок в верхней и нижней головках холодильника батарея разбивается на отдельные секции, по которым вода проходит через холодильник, два или четыре раза меняя направление движения.

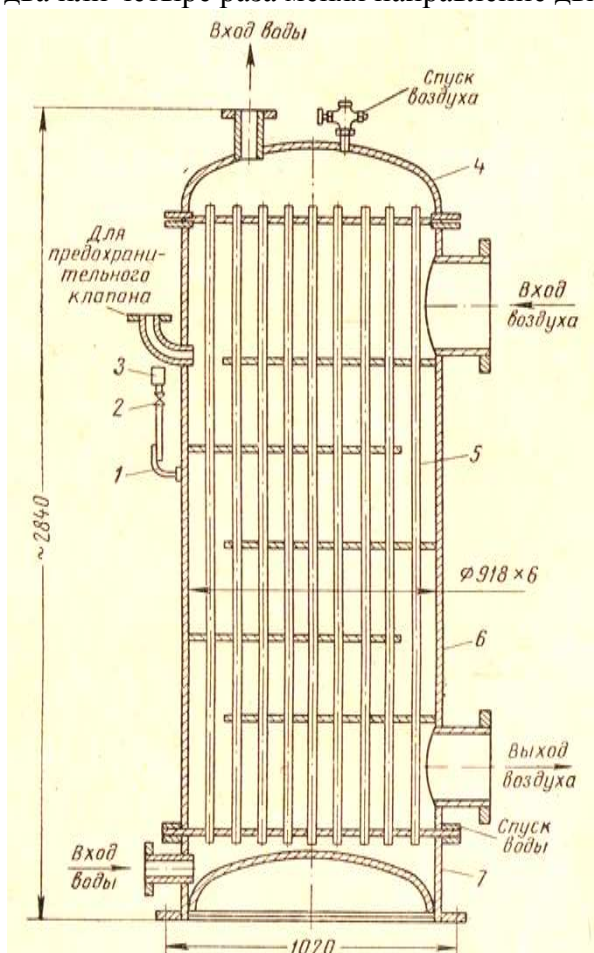


Рис. 6. Батарейный холодильник.

1 — трубка манометра; 2 — трехходовой кран; 3 — манометр; 4 — верхний водяной коллектор; 5 — трубы охлаждающей батареи; 6 — корпус холодильника; 7 — нижний водяной коллектор

Пробка или кран, предусмотренные в нижней части холодильника, позволяют производить продувку конденсата, скапливающегося во время работы.

Встречаются батарейные холодильники, рассчитанные на давление, превышающее  $0,5\text{--}0,8 \text{ Мн/м}^2$  ( $5\text{--}8 \text{ кгс/см}^2$ ), в которых газ пропускают по трубкам, а воду внутри корпуса.

Батарейные холодильники могут быть как вертикального, так и горизонтального типов.

Батарейные холодильники с гладкими трубками просты по конструкции, но громоздки, так как имеют небольшой теплосъем с каждого квадратного метра. Чтобы сделать их компактными, гладкие трубки заменяют ребристыми.

Для более высоких давлений чаще применяют змеевиковые холодильники, а также холодильники типа «труба в трубе».

Конструкция змеевикового холодильника проста: он состоит из спирально навитой трубки — змеевика, опущенного в бак с водой.

В конструкциях холодильника типа «труба в трубе» газ, протекающий по трубе меньшего диаметра, охлаждается водой, движущейся во встречном направлении по трубе большего диаметра, надетой на первую

трубу.

## Приложение 7

### Предохранительные клапаны

Для предупреждения повышения давления в какой-либо из ступеней сжатия сверх допустимого и возможной аварии компрессорной установки, на всех промежуточных холодильниках и на газосборнике устанавливают предохранительные клапаны. При этом для установки выбирают такое место, где пульсация давления минимальна.

Предохранительные клапаны могут быть *открытого* или *закрытого типа*. Первые — только для воздушных компрессоров.

В клапанах *закрытого типа* нагнетательный штуцер соединяют со всасывающим трубопроводом, куда газ возвращается при срабатывании клапана.

Предохранительные клапаны могут быть *пружинными* и *грузовыми*. Первые более компактны.

Наиболее простыми являются клапаны *тарельчатого типа*, у которых выходное отверстие перекрывается тарелкой, прижимаемой к седлу грузом или пружиной. Основным недостатком такого клапана является малая пропускная способность. При повышении давления сверх допустимого тарелка приподнимается над седлом на очень

малую величину, равную приблизительно 0,1 диаметра проходного сечения. Поэтому для прохождения необходимого количества газа проходное сечение должно быть большим, что в свою очередь требует наличия большого груза или мощной пружины. Это делает предохранительный клапан такого типа громоздким.

В современных высоко подъемных предохранительных клапанах запорные органы выполнены таким образом, что с началом открытия давление выходящего газа действует на большую площадь, способствуя перемещению клапана в крайнее верхнее положение.

В некоторых конструкциях клапанов осуществляют регулировку поворота струи газа, выходящего из клапана.

Разрез такого клапана показан на рис. 7, где изменение угла поворота струи газа достигается перемещением гаек 1 и 2.

Высоту подъема запорного органа предохранительного клапана этого типа выбирают таким образом, чтобы полностью было использовано его проходное сечение. Для этого стремятся проходное сечение между седлом и клапаном  $F_{щ}$  (сечение щели) сделать равным проходному сечению в седле  $F_c$ , т. е. соблюсти равенство

$$F_{щ} = F_c.$$

Так как

$$F_{щ} = \pi dh, \quad \text{а} \quad F_c = \frac{\pi d^2}{4},$$

то получим

$$\pi dh = \frac{\pi d^2}{4},$$

откуда

$$h = 0,25d.$$

Учитывая, что между клапаном и седлом потери больше, чем в самом седле, это соотношение несколько увеличивают и принимают

$$h \approx 0,4d.$$

Давление, при котором закрывается клапан, зависит от его конструктивных особенностей и в некоторых конструкциях поддается регулировке. Этому давлению часто не уделяют достаточного внимания, а между тем его чрезмерное понижение не только приводит к бесполезной потере энергии, но и может явиться причиной ухудшения работы механизмов и нарушения технологического процесса.

## Приложение 8

### Блиц - опрос

| Вопросы                                                                                      | Ответы                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1. Какие распределительные органы получили наибольшее распространение в компрессоростроении? | Пластинчатые клапаны с запорными элементами.                      |
| 2. Какая у них форма?                                                                        | Дисков, колен или прямоугольников.                                |
| 3. Какая основная задача смазки?                                                             | Уменьшение износа трущихся поверхностей.                          |
| 4. Сколько существует систем смазки?                                                         | 2                                                                 |
| 5. Какие?                                                                                    | Система смазки цилиндров и смазки кривошипно-шатунного механизма. |
| 6. Для чего применяются лубрикаторы?                                                         | Для смазки компрессоров.                                          |
| 7. Какую набивку имеют сальники?                                                             | Металлическую.                                                    |
| 8. Для чего предназначены фильтры?                                                           | Для очистки газа.                                                 |
| 9. Для чего предназначены масловлагоотделители?                                              | Для очистки сжатого газа?                                         |

|     |                                         |                                     |
|-----|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| 10. | На чем основано их действие?            | На инерции потока.                  |
| 11. | Какая у них скорость?                   | Не боле 0.3-0.5 м/сек.              |
| 12. | Для чего применяются газосборники?      | Для уменьшения колебания давления.  |
| 13. | Какая у них форма?                      | Цилиндрическая.                     |
| 14. | Для чего применяются холодильники?      | Для охлаждения сжатого газа.        |
| 15. | Зачем нужны змеевиковые холодильники?   | Для высоких давлений.               |
| 16. | Какова роль предохранительных клапанов? | Предупреждают о повышении давления. |

## Приложение 9

### Контрольные вопросы по пройденной теме

1. Виды распределительных органов. Их устройства?
2. Значение смазки. Разновидности смазочных устройств?
3. Что представляют собой фильтры. Их предназначение?
4. Что такое холодильники. Для чего они нужны?
5. Понятие предохранительных клапанов. Их назначение?

## Приложение 10

### Список литературы

1. Семидуберский М.С.М., «Насосы, вентиляторы, компрессоры», М. Высшая школа 1966 г. 223с.
2. Бобровский С.А., Соколовский С.М., «Гидравлика, насосы и компрессоры», М. Недра 1972 г. 296 с.
3. Богословский В.Н., «Отопление и вентиляция», ЧП «Вентиляция», М. Стройиздат 1976 г. 439 с.
4. Калинушкин М.П., «Вентиляторные установки», М. Высшая школа 1979 г. 223 с.
5. Ананьев В.А. и др., «Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика», Учебное пособие. М. Евроклимат, Арина 2000 г. 216 с.
6. Оборудования для системы вентиляции воздуха. Каталог. Арктика 2004 г. 379 с.

## Приложение 11

### Задание на самостоятельную работу

Пуск, ход, остановка, регулирование и уход компрессоров. Рекомендуемые материалы для изготовления сменных деталей.

|                                 |                                                                            |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Практическое занятие № 9</b> | <b>Конструктивные элементы компрессоров и вспомогательное оборудование</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|

### Технология проведения практического занятия

|                                   |                                                                                                  |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Количество часов</b>           | 2 часа                                                                                           |
| <b>Количество студентов</b>       | 14                                                                                               |
| <b>Форма занятия</b>              | Практическое занятие с использованием средств мультимедиа                                        |
| <b>План практического занятия</b> | 1. Краткие теоретические сведения.<br>2. Условия задач.<br>3. Решение задач.                     |
| <b>Цель работы</b>                | Определение конструктивных элементов компрессоров и вспомогательного оборудования по результатам |

|  |        |
|--|--------|
|  | задач. |
|--|--------|

|                                                                                                                |                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Педагогические задачи</b><br>1. Дать краткие теоретические сведения.<br>2. Объяснить порядок решения задач. | <b>Результаты учебной деятельности</b><br>1. Знают краткие теоретические сведения.<br>2. Умеют решать задачи. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                      |                                                                                                                            |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Технические средства обучения</b> | Аудитория, оборудованная мультимедийными средствами обучения                                                               |
| <b>Методы обучения</b>               | Объяснение, решение задач.                                                                                                 |
| <b>Форма обучения</b>                | Фронтальная                                                                                                                |
| <b>Условия обучения</b>              | Компьютер, проектор, экран, пульт управления.                                                                              |
| <b>Мониторинг и оценивание</b>       | Проведение опроса на знание конструктивных элементов компрессоров и вспомогательного оборудования, проверка решения задач. |

### Технологическая карта практического занятия № 9

Конструктивные элементы компрессоров и вспомогательное оборудование

| <b>Этапы</b>                                        | <b>Содержание деятельности преподавателя</b>                                                                                                 | <b>Содержание деятельности студентов</b>                                          |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 этап<br>Введение в практическое занятие<br>10 мин | 1.1.Объявление работы и плана занятия (приложение 1)<br>1.2.Постановка цели и задач занятия                                                  | Слушают                                                                           |
| 2 этап<br>Основная часть 60 мин                     | 2.1.Рассматриваются учебные вопросы по плану работы (приложение 2)<br>2.2. Условия задач – приложение 3<br>2.3. Решение задач – приложение 4 | Слушают, уточняют, отвечают на вопросы, задают вопросы, участвуют в решении задач |
| 3 этап<br>Заключительная часть<br>10 мин            | 3.1 Контрольные вопросы (приложение 5)<br>3.2 Список литературы (приложение 6)                                                               | Отвечают на вопросы.<br>Записывают литературу и задание на дом                    |

### Приложение 1

#### План практического занятия:

1. Краткие теоретические сведения.
2. Условия задач.
3. Решение задач.

### Приложение 2

#### Краткие теоретические сведения

Основная задача смазки — уменьшение износа трущихся поверхностей и снижение расхода энергии на трение. Помимо этого смазка охлаждает трущиеся поверхности и значительно повышает уплотняющую способность поршневых колец и сальников.

В компрессорах, как правило, существуют две системы смазки система смазки цилиндров и система смазки кривошипно-шатунного механизма.

Сальники, устанавливаемые в цилиндрах компрессора, имеют обычно металлическую набивку. Сальники с мягкой набивкой из просаленного и прографиченного асбестового

шнура квадратного и или круглого сечения иногда применяются в воздушных компрессорах с давлением нагнетания, не превышающего  $8 \text{ кгс/см}^2$ .

Прежде чем попасть во всасывающий трубопровод компрессорной установки, сжимаемый воздух или газ должен быть очищен от пыли и загрязнений. В зависимости от производительности компрессорной установки размеры и конструкция устройств по очистке воздуха и газа могут быть весьма разнообразны.

Холодильники устанавливаются либо между ступенями сжатия, либо на выходе из компрессора. При установке межступенчатых холодильников уменьшается работа, затрачиваемая на сжатие, снижается температура газа в конце сжатия. Охлаждение сжатого газа позволяет в значительной мере освободить его от влаги и масла.

В стационарных установках тепло от газа в холодильниках отнимает вода. В передвижных установках применяются *холодильники с воздушным охлаждением*.

Наибольшее распространение в компрессорных установках получили *батарейные* или *кожухо-трубчатые холодильники*. Наряду с ними можно встретить *змеевиковые* и *радиаторные холодильники*, а также *холодильники типа труба в трубе*.

Для предупреждения повышения давления в какой-либо из ступеней сжатия сверх допустимого и возможной аварии компрессорной установки, на всех промежуточных холодильниках и на газосборнике устанавливают предохранительные клапаны. При этом для установки выбирают такое место, где пульсация давления минимальна.

Предохранительные клапаны могут быть *открытого* или *закрытого типа*. Первые — только для воздушных компрессоров.

Высоту подъема запорного органа предохранительного клапана этого типа выбирают таким образом, чтобы полностью было использовано его проходное сечение. Для этого стремятся проходное сечение между седлом и клапаном  $F_{\text{ш}}$  (сечение щели) сделать равным проходному сечению в седле  $F_c$ , т. е. соблюсти равенство

$$F_{\text{ш}} = F_c.$$

*Так как*

$$F_{\text{ш}} = \pi dh, \quad \text{а} \quad F_c = \frac{\pi d^2}{4},$$

*то получим*

$$\pi dh = \frac{\pi d^2}{4},$$

*откуда*

$$h = 0,25d.$$

Учитывая, что между клапаном и седлом потери больше, чем в самом седле, это соотношение несколько увеличивают и принимают

$$h \approx 0,4d.$$

Давление, при котором закрывается клапан, зависит от его конструктивных особенностей и в некоторых конструкциях поддается регулировке.

### Приложение 3

#### Условие задач:

**Задача 1.** Требуется подавать сжатый воздух под давлением  $P_{\text{из}} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$  в количестве  $80 \text{ кг/ч}$ . Пригоден ли будет для этой цели одноступенчатый поршневой компрессор простого действия, имеющий диаметр цилиндра  $180 \text{ мм}$ , длину хода поршня  $200 \text{ мм}$  и делающий  $240 \text{ об/мин}$ ? Вредное пространство составляет  $5\%$  от объема, отсасываемого поршнем. Показатель расширения принять равным  $1,25$ .

**Задача 2.** Сравнить температуру в конце сжатия, теоретическую затрату и величину объёмного к.п.д. при сжатии воздуха от 1 до 9 в одноступенчатом поршневом компрессоре.

**Задача 3.** Определить потребляемую мощность и расход воды на холодильники поршневого компрессора, который сжимает  $625 \text{ м}^3/\text{час}$  (при нормальных условиях) этилена от давления (абсолютного)  $9,81 \cdot 10^4$  до  $176,6 \cdot 10^4$  Па. К.п.д. компрессора 0,75. Охлаждающая вода нагревается в холодильниках на  $13^\circ\text{C}$ . Начальная температура газа  $20^\circ\text{C}$ .

**Задача 4.** Компрессор при испытании нагнетал атмосферный воздух в баллон объёмом  $42,4 \text{ дм}^3$ . За 10,5 мин. давление в баллоне повысилось от 0 до  $52 \text{ кгс/см}^2$  (давление избыточное), а температура воздуха в баллоне поднялась от 17 до  $37^\circ\text{C}$ . Определить производительность компрессора в  $\text{м}^3/\text{час}$  (при нормальных условиях).

## Приложение 4

### Решение задач:

#### Решение задачи 1:

Требуется подавать сжатый воздух под давлением  $P_{\text{из}} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$  в количестве  $80 \text{ кг/ч}$ . Пригоден ли будет для этой цели одноступенчатый поршневой компрессор простого действия, имеющий диаметр цилиндра 180 мм, длину хода поршня 200 мм и делающий 240 об/мин? Вредное пространство составляет 5% от объёма, отсасываемого поршнем. Показатель расширения принять равным 1,25.

Решение:

Определим производительность компрессора, предварительно необходимо найти объёмный к.п.д. компрессора  $\lambda^0$ .

$$\lambda^0 = 1 - 0,05 \left( 5,5^{\frac{1}{1,25}} - 1 \right) = 0,854$$

Примем коэффициент подачи:

$$\lambda = 0,85 \lambda^0 = 0,85 \cdot 0,854 = 0,725$$

Производительность компрессора:

$$Q = \frac{0,725 \cdot 0,18^2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 240}{4 \cdot 60} = 0,0147 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 53 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Считая, что компрессор всасывает атмосферный воздух с температурой  $= 20^\circ\text{C}$ , имеющий плотность  $1,2 \text{ кг/м}^3$  получим массовую производительность компрессора:  $53 \cdot 1,2 = 63,6 \text{ кг/ч}$ . Следовательно, компрессор не обеспечит заданной производительности. Однако требуемая массовая производительность достигнута, если увеличить частоту вращения с 240 до  $(80/63,6) \cdot 240 = 302$  об/мин или, если дать компрессору, не меня частоты вращения, надув установленной перед ним воздуходувкой, которая будет сжимать воздух от атмосферного до давления (абсолютного), равного  $80/63,6 = 1,26 \text{ кгс/см}^2$ , и с этим давлением подавать воздух на всасывание компрессора.

### Решение задачи 2:

Сравнить температуру в конце сжатия, теоретическую затрату и величину объёмного к.п.д. при сжатии воздуха от 1 до 9 в одноступенчатом поршневом компрессоре.

Решение:

Определим температуру в конце сжатия  $\kappa=1.4$

$$T^2 = 293 \cdot 9^{\frac{0.4}{1.4}} = 293 \cdot 1.88 = 551 \text{ К} = 278^\circ\text{C}$$

Определяем термическую затрату работы:

$$R = \frac{8310}{29} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{К}$$

Следовательно:

$$L_{\text{ад}} = \frac{1.4}{0.4} 287 \cdot 293 (1.88 - 1) = 260000 \text{ Дж/кг}$$

Находим объёмный к.п.д. компрессора, принимая, что расширение воздуха из вредного пространства происходит по адиабате:

$$\lambda_0 = 1 - 0.08 \left( 9^{\frac{1}{1.4}} - 1 \right) = 0.7$$

## Приложение 5

### Контрольные вопросы

1. Значение смазки?
2. Что представляют собой фильтры. Их предназначение?
3. Что такое холодильники. Для чего они нужны?
4. Понятие предохранительных клапанов?
5. Расчетные формулы.

## Приложение 6

### Список литературы:

1. Семидуберский М.С.М., «Насосы, вентиляторы, компрессоры», М. Высшая школа 1966 г. 223с.
2. Бобровский С.А., Соколовский С.М., «Гидравлика, насосы и компрессоры», М. Недра 1972 г. 296 с.
3. Богословский В.Н., «Отопление и вентиляция», ЧП «Вентиляция», М. Стройиздат 1976 г. 439 с.
4. Калинушкин М.П., «Вентиляторные установки», М. Высшая школа 1979 г. 223 с.
5. Ананьев В.А. и др., «Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика», Учебное пособие. М. Евроклимат, Арина 2000 г. 216 с.
6. Оборудование для системы вентиляции воздуха. Каталог. Арктика 2004 г. 379 с.

|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                  | <b>турбокомпрессоры и нагнетатели.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <i>Технология проведения лекционного занятия</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Количество часов</b>                          | 2 часа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Количество студентов</b>                      | 28                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Форма занятия</b>                             | Информационная лекция с использованием средств мультимедиа.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>План лекции</b>                               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Устройство и техническая характеристика газомоторных компрессоров.</li> <li>2. Рабочий процесс четырехтактного и двухтактного двигателей.</li> <li>3. Основные узлы двигателя.</li> <li>4. Регулирование мощности и производительности. Система пуска газомоторных компрессоров.</li> <li>5. Ротационные компрессоры.</li> <li>6. Принцип работы турбомашин и область их применения. Основные теории турбокомпрессоров.</li> <li>7. Масляное уплотнение нагнетателей. Привод нагнетателей.</li> </ol> |
| <b>Цель занятия</b>                              | Изучить газомоторные компрессоры, ротационные компрессоры, турбокомпрессоры и нагнетатели в углубленной форме.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Педагогические задачи</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассказать об устройстве и технической характеристике газомоторных компрессоров.</li> <li>2. Объяснить рабочий процесс четырехтактного и двухтактного двигателей.</li> <li>3. Рассказать об основных узлах двигателя.</li> <li>4. Рассказать о регулирование мощности и производительности и объяснить систему пуска газомоторных компрессоров.</li> <li>5. Рассказать о ротационных компрессорах.</li> <li>6. Объяснить принцип работы турбомашин и основные теории турбокомпрессоров.</li> <li>7. Рассказать о масляном уплотнении нагнетателей и объяснить привод нагнетателей.</li> </ol> | <b>Результаты учебной деятельности</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Знают об устройстве и технической характеристике газомоторных компрессоров.</li> <li>2. Знают рабочий процесс четырёхтактного и двухтактного двигателей.</li> <li>3. Знают об основных узлах двигателя.</li> <li>4. Знают о регулирование мощности и производительности и знают систему пуска газомоторных компрессоров.</li> <li>5. Знают о ротационных компрессорах.</li> <li>6. Знают принцип работы турбомашин и основные теории турбокомпрессоров.</li> <li>7. Знают о масляном уплотнении нагнетателей и привод нагнетателей.</li> </ol> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                      |                                                                                                             |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Технические средства обучения</b> | Компьютер, проектор, экран, пульт управления.                                                               |
| <b>Методы обучения</b>               | Объяснение, лекция, блиц опрос.                                                                             |
| <b>Форма обучения</b>                | Фронтальная.                                                                                                |
| <b>Условия обучения</b>              | Аудитория, оборудованная мультимедийными средствами обучения                                                |
| <b>Мониторинг и оценивание</b>       | Блиц-опрос на знание газомоторных компрессоров, ротационных компрессоров, турбокомпрессоров и нагнетателей. |

#### Технологическая карта учебного занятия по теме 10

**Газомоторные компрессоры, ротационные компрессоры, турбокомпрессоры и нагнетатели.**

| <b>Этапы</b>                          | <b>Содержание деятельности преподавателя</b>                                                                                                                                                                                                                            | <b>Содержание деятельности студентов</b>                                      |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1 этап<br>Введение в тему<br>10 мин   | 1.1.Объявление темы и плана занятия (приложение 1)<br>1.2.Постановка цели и задач занятия.                                                                                                                                                                              | Слушают                                                                       |
| 2 этап<br>Основная часть 60 мин       | 2.1.Рассматриваются учебные вопросы по плану лекции. (1вопрос - приложение 2)<br>2.2. 2вопрос - приложение 3<br>2.3. 3вопрос - приложение 4<br>2.4. 4вопрос - приложение 5<br>2.5. 5вопрос - приложение 6<br>2.6. 6вопрос - приложение 7<br>2.7. 7вопрос - приложение 8 | Слушают, уточняют, отвечают на вопросы, ведут краткие записи, задают вопросы. |
| 3 этап<br>Заключительная часть 10 мин | 3.1 Повторение и закрепление изученного материала по блиц опросу (приложение 9)<br>3.2 Контрольные вопросы по пройденной теме (приложение 10)<br>3.2 Список литературы (приложение 11)<br>3.3 Задание на самостоятельную работу (приложение 12)                         | Отвечают на вопросы.<br>Записывают литературу и задание на дом.               |

**Приложение 1**

**План лекции:**

1. Устройство и техническая характеристика газомоторных компрессоров.
2. Рабочий процесс четырехтактного и двухтактного двигателей.
3. Основные узлы двигателя.
4. Регулирование мощности и производительности. Система пуска газомоторных компрессоров.
5. Ротационные компрессоры.
6. Принцип работы турбомашин и область их применения. Основные теории турбокомпрессоров.
7. Масляное уплотнение нагнетателей. Привод нагнетателей

**Приложение 2**

**Устройство и техническая характеристика газомоторных компрессоров**

Газомоторные компрессоры, применяемые на магистральных газопроводах, нефтеперерабатывающих, нефтехимических и газовых заводах, представляют собой агрегаты, в которых газовый двигатель и компрессор объединены общими станиной и коленчатым валом.

Газомоторные компрессоры выпускаются с горизонтальным расположением компрессорных цилиндров и V-образным или вертикальным расположением силовых.

Заводы и фирмы, изготавливающие газомоторные компрессоры, выпускают различные модификации их, изменяя либо число стандартных силовых цилиндров (например, в 340 л. с), либо число и диаметр компрессорных цилиндров.

Работа газового двигателя газомотокомпрессора, как и всякого двигателя внутреннего сгорания, основана на том, что при сжигании газа, сжатого в силовом цилиндре в небольшом объеме камеры сгорания (образуемой цилиндром и поршнем в верхней мертвой точке), температура газа сильно возрастает и повышается его давление. Давление воспринимается поршнем, который под его действием начинает перемещаться. Прямолинейное движение поршня преобразуется кривошипно-шатунным механизмом во вращательное движение коленчатого вала.

Чтобы обеспечить работу двигателя, в цилиндр нужно подать топливо вместе с достаточным количеством воздуха, необходимого для сгорания топлива, и полученную смесь, называемую рабочей смесью, сжать и воспламенить; после того как газы, образовавшиеся при сгорании, отдадут свою энергию поршню, переместив его из верхнего в нижнее положение, они должны быть удалены из цилиндра, чтобы освободить место для подачи в цилиндр новой порции рабочей смеси. Эти процессы, повторяющиеся в указанной выше последовательности, называются, в совокупности, рабочим циклом двигателя.

Часть рабочего цикла двигателя, происходящая за один ход поршня, называется тактом. Рабочий цикл двигателя может происходить либо за четыре, либо за два такта.

Двигатели, у которых рабочий цикл происходит за четыре такта (или за два оборота коленчатого вала), называются четырехтактными.

Двигатели, у которых рабочий цикл происходит за два такта (или за один оборот коленчатого вала), называются двухтактными.

В машинах с двухтактными силовыми цилиндрами на каждый компрессорный цилиндр обычно предусматривают один силовой. При четырехтактных силовых цилиндрах на каждый компрессорный цилиндр приходится, как правило, два силовых.

## Приложение 3

### Рабочий процесс четырехтактного двигателя

Предположим, что поршень находится в верхней мертвой точке (рис. 1) и что вал двигателя начал вращаться: поршень при этом переместится вниз.

По мере того как поршень 2 опускается, пространство в цилиндре 1 над поршнем увеличивается и в цилиндре создается разрежение; одновременно с движением поршня вниз газораспределительный механизм 6 открывает впускной клапан 5, и цилиндр заполняется рабочей смесью. Этот такт называется всасыванием (рис. 1, а).

К тому моменту, когда поршень достигнет нижней мертвой точки, всасывание прекратится и газораспределительный механизм закроет всасывающий клапан. При этом за счет гидравлических потерь давление в цилиндре будет несколько меньше атмосферного (0,85—0,95 кгс/см<sup>2</sup>).

Пройдя нижнюю мертвую точку, поршень начнет подниматься, и, так как в этот период впускной 5 и выхлопной 7 клапаны закрыты, рабочая смесь в цилиндре будет сжиматься. Этот такт носит название такта сжатия (рис. 1, б). В конце такта сжатия на свечу, ввернутую в цилиндр, подается высокое напряжение, и образующаяся при этом между электродами свечи искра воспламеняет сжатую рабочую смесь. В результате сгорания смеси, которое происходит при закрытых клапанах и настолько быстро, что заканчивается при угле поворота кривошипа 40—60° после верхней мертвой точки, тепло, которое выделяется при сгорании смеси, повышает температуру газов приблизительно до 1800° С, соответственно увеличивая их давление в цилиндре. Поршень, под действием этого давления, с большой силой двигается вниз. Этот такт называется рабочим (рис. 1, в).

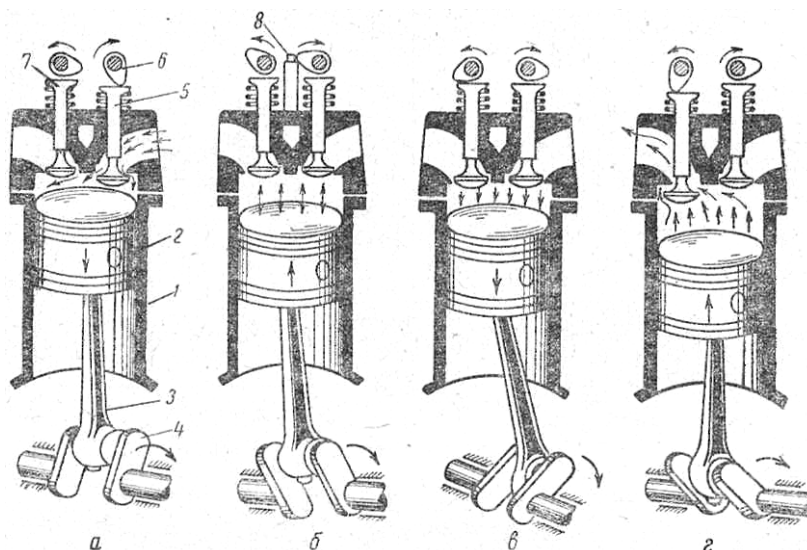


Рис. 1. Схема работы четырехтактного двигателя.

придет в верхнюю мертвую точку, рабочий процесс двигателя повторяется сначала.

Рассматривая рабочий цикл двигателя, мы для простоты изложения предполагали, что клапаны открываются и закрываются в тот момент, когда поршень находится в верхней или нижней мертвых точках. В действительности же в современных двигателях для повышения их мощности и экономичности осуществляют:

- а) опережение открытия впускного клапана до в. м. т. на  $15\text{—}30^\circ$ ;
- б) запаздывание закрытия впускного клапана на  $15\text{—}35^\circ$  после н. м. т.;
- в) опережение зажигания горючей смеси на  $10\text{—}30^\circ$  до в. м. т.;
- г) опережение открытия выхлопного клапана на  $15\text{—}40^\circ$  до н. м. т.;
- д) запаздывание закрытия выхлопного клапана на  $10\text{—}15^\circ$  после в. м. т.

Эти углы отсчитываются по отклонению кривошипа от мертвого положения.

Для увеличения мощности двигателя в современных конструкциях применяют наддув, т. е. подают в цилиндры воздух, предварительно сжатый до давления  $p_n = 0,13 \div 0,18 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,3 \div 1,8 \text{ кгс/см}^2$ ). Такой наддув увеличивает мощность двигателя на  $30\text{—}35\%$ .

### Рабочий процесс двухтактного двигателя

Начнем рассмотрение рабочего процесса двухтактного двигателя с рабочего хода, т. е. с того момента, когда поршень под действием силы давления газа станет перемещаться вниз от верхней мертвой точки. Как видно из рисунка (рис. 2, а) рабочий ход будет продолжаться до тех пор, пока поршень не опустится настолько, что откроет выхлопные окна 1, расположенные в нижней части цилиндра. К этому времени давление в цилиндре становится небольшим.

Так как коленчатый вал вследствие инерции механизма продолжает вращаться, шатун 3 вновь поднимает поршень из нижней в верхнюю мёртвую точку. В это время газораспределительный механизм открывает выхлопной клапан и поршень выталкивает из цилиндра продукты сгорания, подготавливая цилиндр к заполнению новой порцией рабочей смеси. Этот такт называется выхлопом (рис. 1, 2). После того как поршень

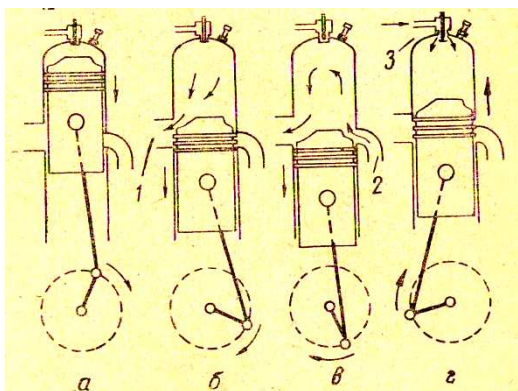


Рис. 2. Схема работы двухтактного двигателя

Как только откроются выпускные окна, продукты сгорания, давление которых еще выше атмосферного, начнут выходить из цилиндра (рис. 2, б). Поршень, продолжая опускаться, открывает также продувочные окна 2 (рис. 2, в), и при этом воздух, сжатый продувочным насосом, поступает в цилиндр, вытесняя из него остатки продуктов сгорания. Выхлоп и продувка продолжают до тех пор, пока поршень, возвращаясь из нижней мертвой точки, не закроет продувочных и выпускных окон (рис. 2, г). Для того чтобы продувка была бы наиболее полной, поршню придается специальная форма. Как только поршень

закроет окна и начнется сжатие воздуха, в цилиндр под давлением через инжекторный клапан 3 подается необходимое количество топливного газа (рис. 2, г). Эта порция газа смешивается с воздухом, находящимся в цилиндре, и в конце сжатия поджигается запальной свечой.

В двухтактных двигателях в действительности воспламенение горючей смеси также производят на  $15\text{--}30^\circ$  раньше, чем поршень достигнет в. м. т.

На рис. 2 изображен силовой двухтактный цилиндр, в котором осуществляется П-образная продувка, простейшая по конструкции. Существуют и другие, более совершенные, виды продувки двухтактных двигателей: петлевая, прямоточная и тангенциальная проточная.

Для прямоточной продувки в цилиндрах предусматривают клапаны.

При описании рабочих процессов как четырехтактных, так и двухтактных двигателей мы предполагали, что воспламенение горючей смеси производится электрической искрой. Однако существуют конструкции двигателей (четырёх- и двухтактных), где происходит самовоспламенение горючей смеси. В четырехтактных двигателях самовоспламенение происходит при давлении в цилиндре, равном  $2,8 - 4,0 \text{ Мн/м}^2$  ( $28 - 40 \text{ кгс/см}^2$ ), в двухтактных двигателях это давление равно  $3,5 - 5,0 \text{ Мн/м}^2$  ( $35 - 50 \text{ кгс/см}^2$ ), что приблизительно в 4 – 5 раз больше давления в цилиндре при воспламенении искрой.

## Приложение 4

### Основные узлы двигателя

Двигатель состоит из следующих основных механизмов и систем:

- а) остова;
- б) кривошипно-шатунного механизма;
- в) газораспределительного механизма;
- г) системы питания;
- д) системы зажигания;
- е) системы смазки;
- ж) системы охлаждения.

*О с т о в* включает в себя фундаментную раму, коренные подшипники коленчатого вала, цилиндры двигателя, а в двухтактных двигателях также цилиндры продувочных насосов, т. е. он представляет собой совокупность неподвижных деталей, обеспечивающих монтаж всех движущихся частей и получение с их помощью замкнутых полостей, необходимых для осуществления рабочего цикла.

*К р и в о ш и п н о - ш а т у н н ы й м е х а н и з м* состоит из коленчатого вала, шатунов и поршней двигателя. Он является общим для двигателя и компрессора. Поэтому к нему относят также главные (компрессорные) шатуны и крейцкопфы. К последним в двухтактных двигателях примыкают поршни продувочных насосов.

*Газораспределительный механизм* служит для своевременного впуска в цилиндр горючей смеси и выпуска из него отработавших газов.

В четырехтактных двигателях он состоит из распределительного вала с кулачками, который вращается от шестеренчатого привода с числом оборотов, вдвое меньшим чем коленчатый вал двигателя, системы толкателей, пружин и рычагов, впускного и выхлопного клапанов. При вращении вала кулачки через систему пружин, толкателей и рычагов заставляют открываться и закрываться впускные и выхлопные клапаны.

Двухтактные двигатели могут иметь распределительный вал (вращающийся со скоростью, равной скорости вращения коленчатого вала), а могут и не иметь его. В последнем случае кулачковые шайбы, управляющие толкателями, устанавливаются непосредственно на коленчатом валу газомоторного компрессора. Выхлопных клапанов в двухтактном двигателе, как правило, нет — их заменяют выхлопные окна.

В двухтактном двигателе, кроме обычного газораспределительного механизма, имеется продувочный насос и инжекторные клапаны.

*Система питания* двигателя топливом различна для двухтактных и четырехтактных Двигателей: в двухтактных двигателях имеется только впускной (инжекторный) клапан, через который подается в цилиндр горючий газ, образующий при перемешивании со свежим воздухом, оставшимся в цилиндре после продувки, рабочую смесь. В четырехтактных двигателях через впускные клапаны в цилиндр подается готовая рабочая смесь.

*Система зажигания* предназначена для воспламенения рабочей смеси в цилиндрах двигателя. Воспламенение производится электрической искрой, проскакивающей в нужный момент между электродами запальной свечи.

В систему зажигания входят: магнето, вырабатывающие ток и направляющие его поочередно к каждой из запальных свечей, и запальные свечи, воспламеняющие рабочую смесь.

Система зажигания газомотокомпрессора может быть выполнена высоковольтной или низковольтной. В первом случае на свечу подается ток высокого напряжения, вырабатываемый непосредственно в магнето. Во втором случае магнето вырабатывает ток низкого напряжения, которое преобразуется в высокое в специальных катушках зажигания, установленных непосредственно около свечей.

В систему зажигания включены автоматические предохранительные устройства, которые при ненормальностях в работе выключают зажигание, путем замыкания на «массу» первичной обмотки магнето.

*Система смазки* двигателя газомотокомпрессора, как правило, не отличается от описанной ранее системы смазки поршневых компрессоров. Она разделяется на циркуляционную, работающую от шестеренного насоса и систему пресс-смазки, работающую от лубрикатора. При такой системе обеспечивается смазка под давлением почти всех трущихся деталей, отвод необходимого количества тепла от мест его выделения и минимальный расход смазочных материалов.

Перечисленные механизмы и системы недостаточны для надежной и безопасной работы двигателя. Поэтому в современных двигателях предусматриваются также контрольно-измерительные приборы (манометры, термодары, ртутные термометры, тахометр), система регулирования, включающая регулятор скорости и мембранно-рычажный механизм, аварийно-предупредительные устройства (реле давления масла, срабатывающее при падении давления масла, поступающего в систему смазки, реле температуры, срабатывающее при повышении температуры, выходящей из двигателя воды выше допустимых пределов, и предельный выключатель, останавливающий двигатель при аварийном повышении числа оборотов), система очистки воздуха и выпуска отработавших газов.

### Регулирование мощности и производительности

При работе газомоторного компрессора необходимо, чтобы мощность, которую развивают силовые цилиндры, равнялась бы мощности, потребляемой компрессором с учетом потерь на трение, иначе компрессор остановится, либо число его оборотов начнет возрастать. В последнем случае может произойти авария машины вследствие чрезмерного увеличения сил инерции.

Чтобы этого не случилось, на газомоторных компрессорах предусмотрена система регулирования скорости.

Скорость вращения коленчатого вала при номинальной нагрузке газомоторкомпрессора обычно поддерживается на заданной величине регулятором центробежного типа. Принцип действия регуляторов этого типа заключается в том, что при увеличении числа оборотов имеющиеся у регулятора грузы расходятся, преодолевая сопротивление пружины, и через систему рычагов заставляют прикрыться газовый клапан, тем самым уменьшая количество газа, подаваемого в цилиндр. Вследствие этого мощность двигателя падает и число оборотов компрессора становится нормальным. Если число оборотов уменьшается ниже нормального, пружины, преодолевая центробежную силу, переместят грузы и заставят газовый клапан открыться больше. Мощность двигателя возрастает, так как количество газа, поступившее в цилиндр, увеличится и число оборотов компрессора достигнет нормы.

Описанная система регулирования называется качественной. При этой системе количество воздуха, поступающего в цилиндр, все время остается неизменным, а регулируется только количество газа, т. е. качество смеси: смесь либо «обедняется» либо «обогащается» (изменяется соотношение между количеством газа и воздуха, поступающих в цилиндр). Принципиальная схема такого регулирования показана на рис. 3, а, где цифрой 1 обозначен воздух, а цифрой 2 — газ.

Можно осуществить и количественное регулирование двигателя, при котором состав смеси не изменяется, а изменяется количество смеси, поступающее в цилиндр (рис. 3, б).

Может иметь место и комбинация этих двух методов регулирования, при которой вначале осуществляется качественное, а затем количественное регулирование, как это схематически показано на рис. 3, в.

Вследствие более простого устройства и отсутствия стуков в машине при малых нагрузках чаще применяют качественное регулирование, несмотря на то, что оно снижает экономичность двигателя.

Наиболее совершенным является смешанное регулирование. Для уменьшения колебания скорости вращения, особенно при резких изменениях нагрузки, к регулятору скорости присоединен амортизатор тормозящий передвижение газорегулирующего клапана за счет перетечек масла из одной полости цилиндра амортизатора в другую.

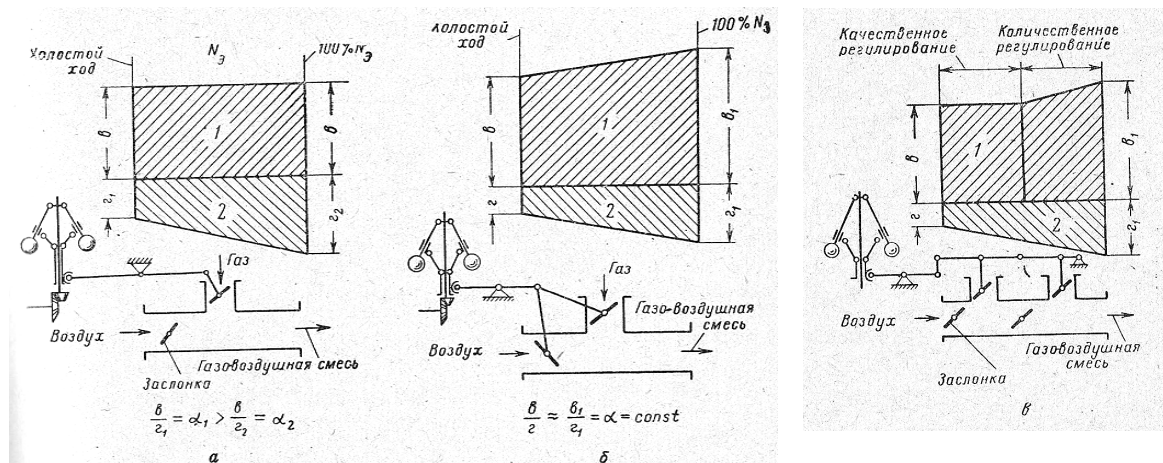


Рис. 3. Принципиальная схема регулирования:  
а — качественная; б — количественная; в — смешанная

Искусственно изменяя натяжение пружины, удерживающей грузы, можно добиться изменения скорости вращения вала. Для этого в центробежный регулятор встраивают мембранно-рычажный механизм, который приводится в действие сжатым воздухом, поступающим к нему по трубопроводу.

Варьируя давление воздуха, можно управлять скоростью вращения коленчатого вала, тем самым меняя производительность газомоторного компрессора.

Вторым средством изменения производительности компрессора является изменение объема вредного пространства цилиндра компрессора с помощью регулятора производительности.

### **Система пуска газомоторных компрессоров**

Газомоторные компрессоры обычно пускаются в ход путем введения в цилиндры двигателя воздуха, сжатого до давления  $1,7 \text{ Мн/м}^2$  ( $17 \text{ кгс/см}^2$ ). При этом воздух может подаваться во все цилиндры либо в часть их.

Чтобы такой запуск можно было осуществить, в конструкциях газомоторных компрессоров предусмотрена специальная система пуска, состоящая из пусковых баллонов, воздухораспределителя, пускового крана, воздухораспределительных и пусковых клапанов, а также коммуникаций.

Пуск производится по следующей схеме.

Сжатый воздух из баллонов подводится к пусковому крану, открывающему доступ к воздухораспределителю. Воздухораспределитель через воздухораспределительные и пусковые клапаны направляет сжатый воздух поочередно в цилиндры двигателя в соответствии с порядком их работы, благодаря чему обеспечивается вращение коленчатого вала агрегата. При достижении средней скорости поршня  $0,9\text{—}1,25 \text{ м/сек}$  можно получить, при положительной температуре окружающей среды, первые вспышки. Расход воздуха на запуск двигателя колеблется в широких пределах. Он зависит от состояния двигателя, температуры окружающей среды, давления в пусковых баллонах. В среднем расход воздуха на один пуск можно принять равным  $9\text{—}16 \text{ л}$  на  $1 \text{ л}$  объема цилиндра.

По мере расхода воздуха из пускового и запасных баллонов, его количество пополняется специальными двухступенчатыми пусковыми компрессорами производительностью  $3,5\text{—}8,5 \text{ л/сек}$ .

## **Приложение 6**

### **РОТАЦИОННЫЕ КОМПРЕССОРЫ**

Из большого разнообразия конструкций ротационных машин в компрессоростроении нашли применение главным образом ротационные пластинчатые машины, в которых сжатие воздуха или газа осуществляется в камерах с периодически уменьшающимся объемом. Следовательно, принцип действия у них такой же, как и у поршневых машин. Разница состоит в том, что в ротационных пластинчатых машинах вместо поршня, имеющего поступательно-возвратное движение, сжатие осуществляется в специальных камерах, образованных пластинами ротора,двигающимися все время в одном направлении. Благодаря этому число оборотов у этих компрессоров может быть выше, чем у поршневых машин.

Устройство ротационной пластинчатой машины видно из рис. 4. Внутри чугунного корпуса 2, имеющего внутри цилиндрическую расточку, помещен ротор 6 с пазами, в которых свободно ходят пластины 3. Ось ротора смещена относительно оси цилиндрического отверстия корпуса 2. Ротор вращается в направлении, указанном на чертеже стрелкой. Воздух или газ, поступающие в компрессор через всасывающий

патрубок 1, отсекаются пластинами при вращении ротора в тот момент, когда происходит соприкосновение пластин с краем цилиндрической расточки корпуса в его верхней части. По мере поворота ротора расстояние между ним и корпусом, а следовательно, и объем камеры сжатия уменьшаются. Пластины при этом утапливаются в пазы ротора. Сжатие происходит до тех пор, пока пластина не дойдет до окна 5, имеющегося в цилиндрической части корпуса со стороны камеры нагнетания. Затем газ или воздух поступает в напорный патрубок 4.

Благодаря большой скорости вращения, пластины под действием центробежной силы всегда прижаты к цилиндрической расточке корпуса, а в момент прохождения над окнами удерживаются специально предусмотренными направлениями.

Корпус имеет водяное охлаждение.

Ротационные компрессоры выпускаются одно- и двухступенчатыми, производительностью от 0,084 до 1,1 м<sup>3</sup>/сек (от 300 до 4000 м<sup>3</sup>/ч) и давлением нагнетания: одноступенчатые — до 0,4 Мн/м<sup>2</sup> (4 кгс/см<sup>2</sup>), двухступенчатые до 1 Мн/м<sup>2</sup> (10 кгс/см<sup>2</sup>). Производительность компрессора  $Q$  зависит от скорости вращения ротора  $n$  и начального объема камеры сжатия. Начальный объем камеры сжатия — это объем камеры в тот момент, когда одна из пластин, пройдя через всасывающее окно, отделяет газ, находящийся в камере сжатия, от всасывающего патрубка.

Обозначим:

$D$  — внутренний диаметр корпуса в м;

$e$  — величина смещения осей ротора в м;

$r$  — радиус ротора в м;

$l$  — длина ротора в м;

$\beta$  — угол между соседними пластинами;

$n$  — скорость вращения ротора в об/сек;

$\delta$  — толщина пластины в мм;

$z$  — число пластин.

Исходя из рис. 5, можно определить с небольшой погрешностью (считая, что высота камеры сжатия  $h = 2e$ ) начальный объем одной камеры сжатия (в м<sup>3</sup>):

$$V = \frac{\pi D - \delta z}{z} l 2e$$

За один оборот ( $2\pi$  радиан) ротора подается воздух в объеме

$$V_1 = \omega z = (\pi D - \delta z) l 2e$$

откуда производительность компрессора (в м<sup>3</sup>/сек)

$$Q = (\pi D - \delta z) l e \frac{\omega}{\pi} \eta_0$$

где  $\omega$  — скорость вращения ротора в рад/сек;

$\eta_0$  — объемный к. п. д. компрессора, равный 0,8—0,85.

Между основными размерами ротационных пластинчатых компрессоров существуют определенные соотношения. Если принять за основу внутренний радиус корпуса  $R$ , то остальные размеры будут следующими:

Внешний радиус ротора . . . . .  $r = (0,86 \div 0,89) R$

Эксцентриситет . . . . .  $e = (0,11 \div 0,14) R$

Длина ротора . . . . .  $l = (3,2 \div 4,2) R$

Ширина пластин. . . . .  $b = (0,44 \div 0,54) R$

Рабочие пластины стальные толщиной 1—5 мм. Число пластин  $z = 20 \div 30$  и лишь для очень малых машин оно снижается до шести.

Теоретическая работа, затрачиваемая на сжатие 1 м<sup>3</sup> газа, определяется в ротационных компрессорах так же, как и в поршневых:

| Age (years) | Percentage (%) |
|-------------|----------------|
| 18          | 10             |
| 25          | 30             |
| 30          | 55             |
| 35          | 75             |
| 40          | 85             |
| 45          | 90             |
| 50          | 95             |
| 55          | 100            |
| 60          | 100            |
| 65          | 100            |

$p_1$  — начальное давление в н/м<sup>2</sup> (кгс/м<sup>2</sup>);

$p_1$  — начальное давление в н/м<sup>2</sup> (кгс/м<sup>2</sup>);

$p_2$  — конечное давление в н/м<sup>2</sup> (кгс/м<sup>2</sup>).

Так же, как и у поршневых машин, подача ротационного компрессора имеет пульсирующий характер, причем пульсация будет тем меньше, чем большее число пластин имеет ротор.

Остановимся еще на одной особенности ротационного компрессора, изображенного на рис. 4. Эта особенность заключается в следующем: если компрессор рассчитан на определенное давление нагнетания, то при меньшем давлении нагнетания он будет потреблять такую же мощность, как и в первом случае. Происходит это в результате того, что изменение объема камеры сжатия в процессе перемещения ее от всасывающего окна к нагнетательному в ротационном компрессоре зависит только от геометрии компрессора, и, следовательно, в машине, рассчитанной на определенное давление нагнетания, газ будет сжиматься на ту же величину и при меньшем давлении нагнетания. В тот момент, когда камера сжатия будет сообщена с нагнетательным патрубком, газ расширится до давления, в этом патрубке и работа, затраченная на излишнее сжатие, окажется бесполезной.

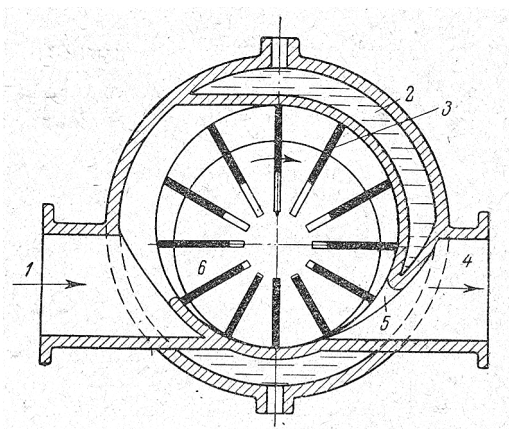


Рис. 4. Схема устройства ротационного компрессора

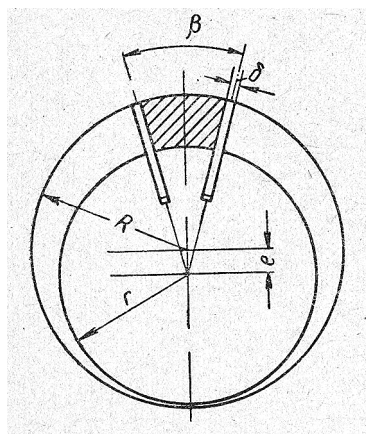


Рис. 5. Объем камеры сжатия  
ротационного компрессора

Чтобы избавиться от этого недостатка, на цилиндрической части корпуса ротационных компрессоров предусматривают специальную полость, соединенную с нагнетательным патрубком, в которой расположены клапаны 1÷5. Ротационный компрессор с такими клапанами изображен на рис. 6. Если давление в нагнетательном патрубке начнет уменьшаться, то вначале откроется клапан 5, при дальнейшем уменьшении давления — клапан 4, затем клапаны 3 и 2 и, наконец, клапан 1, выпуская из камер сжатия газ при давлении, равном давлению в нагнетательном патрубке.

При подсчете работы, затрачиваемой на сжатия газа для ротационного компрессора, не имеющего нагнетательных клапанов,  $p_2$  (конечное абсолютное давление) берется паспортное; если же компрессор имеет нагнетательные клапаны, то  $p_2$  берется равным действительному абсолютному давлению нагнетания.

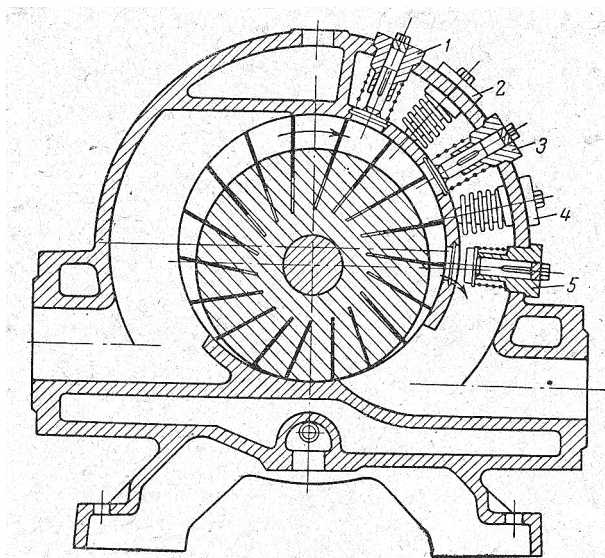


Рис. 6. Ротационный компрессор нагнетательными клапанами.

движении их в прорезях ротора.

Регулирование производительности пластинчатых ротационных компрессоров достигается изменением числа оборотов ротора, дросселированием на всасывании и периодическими остановками компрессора. Машины с нагнетательными клапанами переводят на холостой ход, соединяя нагнетательный патрубок со всасывающим. Метод дросселирования на всасывании наименее экономичен.

При регулировании изменением числа оборотов пределы регулирования определяются, исходя из окружной скорости конца пластины, скользящего по корпусу. Для стальных пластин минимальной скоростью считают  $c_{min} = 7$  м/сек, максимальной скоростью  $c_{max} = 12 \div 15$  м/сек. При скорости, меньшей 7 м/сек, центробежная сила, прижимающая пластины к корпусу, становится недостаточной, вследствие чего увеличиваются утечки. При скорости, большей 12—15 м/сек, пластины быстро изнашиваются.

Основными преимуществами ротационного пластинчатого компрессора по сравнению с поршневыми являются следующие:

1. Незначительное снижение производительности при увеличении противодавления.
2. Компактность и небольшой вес.
3. Спокойная уравновешенная работа (так как отсутствует кривошипно-шатунный механизм). Поэтому под компрессором сооружается небольшой фундамент.
4. Большое число оборотов компрессора, допускающее применение быстроходных электродвигателей ( $n = 1450, 960$  и  $735$  об/мин), и равномерная подача.
5. Простота конструкции (меньшее число деталей).

Наряду с этим ротационные компрессоры имеют следующие недостатки:

- 1) меньший к. п. д., чем у поршневых машин;
- 2) необходимость точного изготовления и сложность технологии;
- 3) ограниченное конечное давление.

Ротационные пластинчатые компрессоры применяют для продувки и наддува мощных двухтактных двигателей, а также в качестве вакуум-насосов. В последнем случае они обеспечивают вакуум до 95%, а при последовательной установке двух компрессоров — до 99%.

Одной из разновидностей ротационных машин является воздуходувка Рутса (рис. 7). Она состоит из корпуса 1 со всасывающим а и нагнетательным б патрубками. В корпусе с одинаковой скоростью вращаются два ротора 3 специального профиля, насаженные на параллельные валы 2.

Если работа  $l$  подсчитана в дж/кг, мощность по валу компрессора можно определить по формуле (в вт)

—

Если же работа подсчитана в кгс·м, то мощность (в л. с.)

—

Механический к. п. д. ротационных машин  $\eta_{мех} = 0,80 \div 0,90$  причем большее значение  $\eta_{мех}$  у машин большей производительности. Низкое значение  $\eta_{мех}$  объясняется большими силами трения концов пластин о внутреннюю поверхность корпуса, а также трением пластин при

Равенство угловых скоростей роторов обеспечивается двумя шестернями, расположенными вне рабочей полости корпуса и связывающими валы роторов. Профиль роторов выбран таким, что роторы друг с другом не соприкасаются и между ними всегда имеется небольшой зазор. Роторы выполняются с двумя, тремя, реже с четырьмя лопастями (зубьями).

Воздуходувки Рутса просты по конструкции, компактны и легки но трудны в изготовлении из-за сложного профиля ротора.

Производительность такой воздуходувки зависит от числа оборотов и диаметра ротора, его длины, а также от степени использования площади сечения ротора (коэффициент  $\gamma$ ) и коэффициента подачи, определяемого главным образом величиной утечек через зазоры между роторами и корпусом и между самими роторами. Ее можно определить по формуле

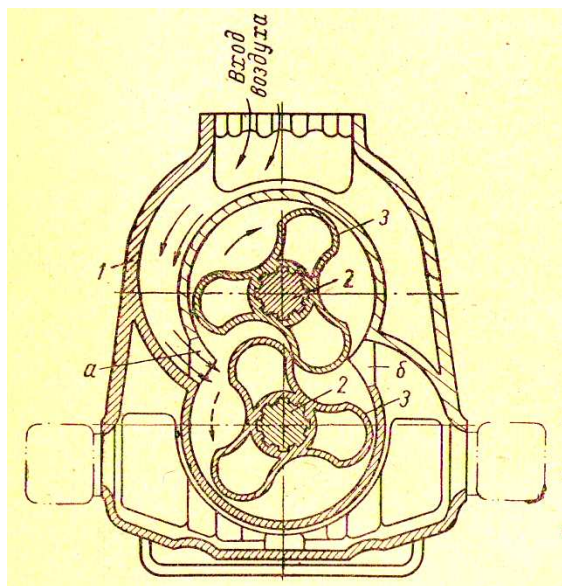


Рис. 7. Схема воздуходувки систем типа Рутса

$$Q = 1/2 \pi n D^2 l \gamma \lambda_v$$

где  $n$  — число оборотов роторов в  $рад/сек$  или в  $об/сек$ ;

$D$  — диаметр роторов в м;

$l$  — длина роторов в м.

Коэффициент  $\gamma$  зависит от формы профиля и обычно имеет следующие значения:  $\gamma = 0,49 \div 0,53$  — для трехлопастных роторов;  $\gamma = 0,53 \div 0,59$  — для двухлопастных роторов.

Коэффициент подачи  $\lambda_v$  составляет 0,75—0,85. Он будет приближаться к верхнему пределу при высокой точности изготовления роторов и корпуса и при окружных скоростях, равных 40 – 50 м/сек.

Зазоры между роторами выбираются в зависимости от многих причин: величины теплового расширения ротора, точности изготовления ротора и шестерен, связывающих

роторы между собой, прогиба и закручивания валов и т.д. Если обозначить расстояние между осями роторов через  $2a$  и сравнить зазоры между роторами ( $\delta$  также между роторами и корпусом воздуходувки) с этим расстоянием, то окажется, что в выполненных воздуходувках отношение зазора  $\delta$  к межцентровому расстоянию  $2a$  находится в пределах 0,001 — 0,002, а в абсолютных цифрах этот зазор равен 0,25—1,5 мм, достигая в отдельных конструкциях большей величины.

Воздуходувки Рутса применяют при конечном давлении от 6000 до 80 000 н/м<sup>2</sup> (от 0,06 до 0,8 кгс/см<sup>2</sup>) и изготавливают производительностью от 0,03 до 6,7 м<sup>3</sup>/сек.

## Приложение 7

### Принцип работы турбомашин и область их применения

Турбинные компрессоры относятся к классу лопаточных машин и могут быть центробежного или осевого типа. Как в центробежных, так и в осевых машинах сжатие газа осуществляется путем сообщения ему лопатками машин большой кинетической энергии, преобразуемой затем в работу сжатия газа. Разница состоит в том, что в центробежных машинах поток газа под давлением лопаток перемещается к периферии, в то время как в осевых лопатки заставляют поток перемещаться вдоль оси машины. Эта разница обусловлена различной формой и конструкцией лопаток. В центробежных машинах лопатки крепятся к укрепленному на валу компрессора основному диску и закрыты, в большинстве случаев, покрывающим диском (кольцом). Газ, поступающий на

рабочее колесо в осевом направлении, изменяет, встречаясь с основным диском, свое направление на радиальное и попадает на лопатки колеса. В осевых компрессорах рабочие колеса дисков не имеют. Они представляют собой втулку, к которой прикреплены консольные лопатки.

Турбинные компрессоры обычно применяются при степенях сжатия от 2 до 8 и при производительности, отнесенной к условиям всасывания, большей  $16 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Турбинные компрессоры имеют меньший к. п. д., чем хорошо выполненные поршневые машины, что особенно заметно при малой производительности и большой степени сжатия (т. е. при небольших проходных сечениях в колесах и при большом их числе). Зато они имеют ряд преимуществ по сравнению с поршневыми машинами. Эти преимущества следующие: простота конструкции, надежность работы, удобство эксплуатации, большой межремонтный период, малые габаритные размеры и вес, уравновешенность машины и, следовательно, легкий фундамент, непрерывная и плавная подача газа, отсутствие загрязнения газа смазкой. Благодаря этим преимуществам при производительности более  $16 \text{ м}^3/\text{сек}$  эксплуатация турбокомпрессоров оказывается иногда более экономичной, чем эксплуатация поршневых компрессоров, несмотря на больший к. п. д. последних.

### Основы теории турбокомпрессоров

Конструктивная схема турбокомпрессора сходна с конструктивной схемой центробежного или осевого насоса. Здесь также основной частью является рабочее колесо, при помощи которого передается энергия от двигателя к сжимаемому газу.

Выведем основное уравнение центробежных компрессорных машин.

Полный теоретический напор, создаваемый рабочим колесом определяется из соотношения

$$H_T = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$$

Так как

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$

получаем

$$H_T = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g}$$

Исходя из треугольников скоростей на входе и выходе рабочего колеса (рис. 8), создаваемый им полный теоретический напор можно записать так:

$$H_T = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{g} \quad (*)$$

Эта формула, написанная в самом общем виде, справедлива для всех лопастных машин, т. е. водяных, паровых и газовых турбин, центробежных насосов и вентиляторов, а также турбокомпрессоров.

Мы не учитывали ранее, что через колесо центробежных компрессорных машин протекает не капельная жидкость (плотность которой — величина постоянная), а газ, поэтому рассматриваемые нами процессы несколько усложняются в результате изменения плотности газа при изменении его давления. Однако существующие внутри колеса разности давлений так малы, что расчет можно вести по, средней плотности.

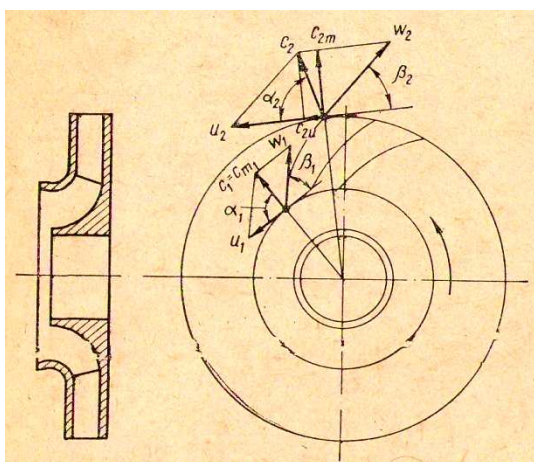


Рис. 8. Рабочее колесо центробежной машины.

Анализ уравнения (\*) позволяет сделать следующие выводы.

1. Наибольший напор достигается при радиальном входе газа на рабочее колесо ( $\alpha_1 = 90^\circ$ ). Это требование обычно выполняется.

2. Напор, создаваемый колесом, будет тем больше, чем больше угол наклона лопаток на выходе  $\beta_2$ . Несмотря на это, колеса турбовоздуховодов и турбокомпрессоров имеют лопатки с  $\beta < 90^\circ$  (т. е. загнутыми по ходу назад), так как такие колеса имеют более высокий к. п. д.

Колеса с лопатками, загнутыми по ходу вперед (т. е. с  $\beta > 90^\circ$ ), применяются иногда в вентиляторах, где создаваемый напор

невысок, а поэтому к. п. д. колеса не имеет решающего значения.

Как указывалось ранее, фактический напор, создаваемый колесом, меньше теоретического вследствие конечного числа лопаток и наличия в колесе гидравлических потерь.

В центробежных компрессорных машинах это уменьшение создаваемого напора обычно учитывается коэффициентом  $\psi$ , зависящим от формы лопаток:

$$H = \sigma \eta_r \phi u^2 = \psi u^2$$

где  $\sigma$  — коэффициент, учитывающий конечное число лопаток у рабочего колеса;

$\eta_r$  — гидравлический к. п. д.;

$\phi$  — коэффициент закручивания потока  $\phi (c_{2u}/u_2)$ ;

$\psi$  — коэффициент уменьшения создаваемого напора, равный 0,5—0,7 для лопаток, загнутых назад, 0,6—0,8 для лопаток с радиальным выходом и 0,8—1,1 для лопаток, загнутых вперед.

Рабочее колесо центробежной машины создает тем большее давление, чем выше окружная скорость на выходе из колеса. В настоящее время при изготовлении колес из легированной стали в одном колесе центробежной компрессорной машины можно, получить следующую степень сжатия:

$$\tau = p_2/p_1 = 1,25 \div 1,5$$

Если требуется получить большие степени сжатия, то газ сжимают последовательно в нескольких колесах. При этом степень сжатия в каждой ступени в турбовоздуховодах и турбокомпрессорах определяют следующим образом:

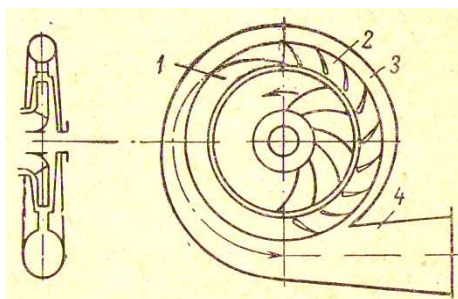


Рис. 9. Устройство для преобразования кинетической энергии.

где  $\tau$  — степень сжатия;

$z$  — число ступеней;

$p_k$  — конечное абсолютное давление;

$p_n$  — начальное абсолютное давление.

Газ, выходящий из рабочего колеса, обладает большой кинетической энергией. Прежде чем он попадет на следующее рабочее колесо или в нагнетательный трубопровод, необходимо преобразовать эту кинетическую энергию в давление. Для этого после каждого рабочего колеса в неподвижном корпусе турбомшины 3 (рис. 9) предусматривают направляющий аппарат 2. Направляющий аппарат разбит лопатками на каналы, образующие неподвижную круговую решетку, задачей которой является раскручивание воздуха и превращение кинетической энергии движения в потенциальную энергию давления.

В центробежных компрессорах вместо направляющих аппаратов иногда устанавливают безлопаточные диффузоры 1. В направляющих аппаратах благодаря наличию в них лопаток преобразование кинетической энергии в давление происходит интенсивнее, вследствие чего габаритные размеры их меньше, чем у безлопаточных диффузоров.

Для сбора газа, выходящего из направляющего аппарата, и подвода его к нагнетательному трубопроводу служит нагнетательная камера корпуса компрессора. Чтобы сделать это с наименьшими потерями, нагнетательной камере обычно придают форму спирали (улитки), к которой проходные сечения для газа постепенно увеличиваются соответственно с возрастанием количества газа, равномерно выходящего по всей окружности направляющего аппарата со скоростью 50—60 м/сек. Спиральный кожух заканчивается диффузором 4 с конусностью 6—8°. В диффузоре происходит дальнейшее преобразование кинетической энергии газа в давление.

Рассматривая давление, создаваемое рабочим колесом, мы отмечали, что действительное давление меньше теоретического вследствие ряда причин. Точно так же действительная производительность центробежной машины будет меньше теоретической в результате утечек газа через зазоры между колесом и корпусом.

Отношение действительной подачи к теоретической называют *о б ъ е м н ы м к. п.*  $\eta_0$ . Он равен

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q_T} = \frac{Q}{Q + q}$$

где  $Q$  — действительная производительность компрессора в м<sup>3</sup>/сек;

$Q_m$  — теоретическая производительность компрессора в м<sup>3</sup>/сек;

$q$  — количество газа, ушедшего через зазоры, в м<sup>3</sup>/сек.

Мощность, необходимая для приведения центробежной компрессорной машины в действие, складывается из полезной мощности, передаваемой газу рабочим колесом, и мощности, бесполезно расходуемой на преодоление сопротивления его движению на лопатках колеса, на трение дисков колеса о газ, на трение в подшипниках и на сжатие газа, ушедшего через зазоры.

Полезная мощность, воспринятая, тазом (в вт):

$$N_n = Qp$$

где  $Q$  — подача в м<sup>3</sup>/сек;

$p$  — давление газа в н/м<sup>2</sup>.

Мощность, на валу центробежной компрессорной машины

$$N_B = \frac{N_n}{\eta}$$

где  $\eta$  — общий к. п. д. машины, равный произведению объемного, гидравлического и механического к. п. д., т. е.

$$\eta = \eta_0 \eta_g \eta_{\text{мех}}$$

В турбокомпрессорах ввиду значительной степени сжатия применяют охлаждение сжимаемого газа. При этом охлаждение может производиться следующими способами:

а) охлаждение секций компрессора подачей воды в специально выполненные полости внутри корпуса с тем, чтобы приблизить процесс к изотермическому. Так как охладить газ в рабочих колесах конструктивно невозможно, этот способ сводится к охлаждению газа после каждого рабочего колеса. Способ дорогой и малоэффективный;

б) охлаждение газа в вынесенных холодильниках после каждого цилиндра, в котором расположено несколько рабочих колес;

в) комбинированное охлаждение газа (сочетание первого и второго вариантов). Конструктивно сложный и дорогой, но наиболее эффективный способ.

Рассмотрим, как процесс сжатия в турбокомпрессоре, охлаждаемом по второму варианту, изобразится на энтропийной диаграмме  $T - s$  (рис. 10).

Газ, поступающий в колесо первой ступени, с давлением  $p_0$  и температурой  $T_0$  сжимается в первой группе колес до давления  $p_1$ . При этом его температура повышается до  $T_1$ . Затем газ поступает в промежуточный холодильник, где охлаждается до температуры  $T'_1$ , близкой к начальной температуре  $T_0$ . В этом случае газ отдает в холодильнике тепло, изображенное на диаграмме  $T-s$  заштрихованной площадкой, лежащей под линией  $T'_1 - T_1$ .

Во второй группе колес давление и температура газа достигают значений  $T_2$  и  $p_2$ . Во втором промежуточном холодильнике газ охлаждается до температуры  $T'_2$ . После третьей группы колес его температура и давление становятся равными  $T_3$  и  $p_3$ .

Работа затраченная на сжатие газа, будет равна сумме работ отдельных групп:

$$l = c_p (T_1 - T_0) + c_p (T_2 - T'_1) + c_p (T_3 - T'_2)$$

Эта работа будет тем меньше, чем совершеннее промежуточное охлаждение. При отсутствии охлаждения она была бы равной

$$l = c_p (T'_3 - T_0)$$

Выигрыш в работе, полученный благодаря охлаждению, на рис. 10 заштрихован горизонтальными линиями.

О совершенстве конструкции турбокомпрессоров можно судить по отношению изотермической работы к действительно затраченной. Это отношение называется изотермическим к. п. д. компрессора:

—

У современных турбокомпрессоров  $\eta_{из} = 0,5 \div 0,7$ .

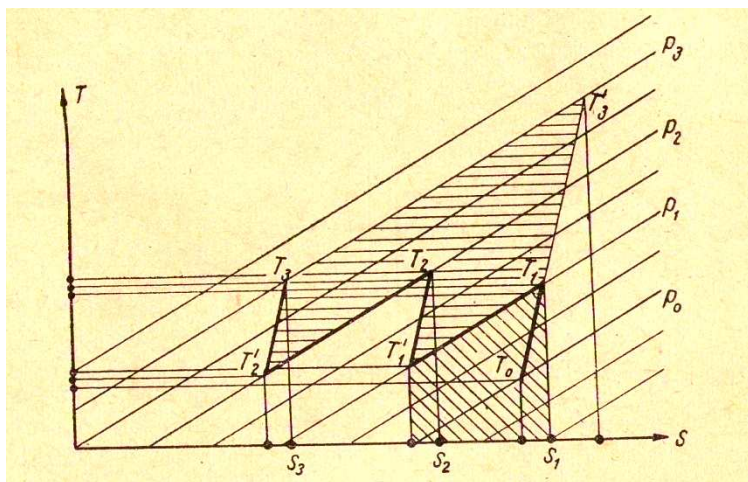


Рис. 10. Процесс сжатия в охлаждаемом турбокомпрессоре

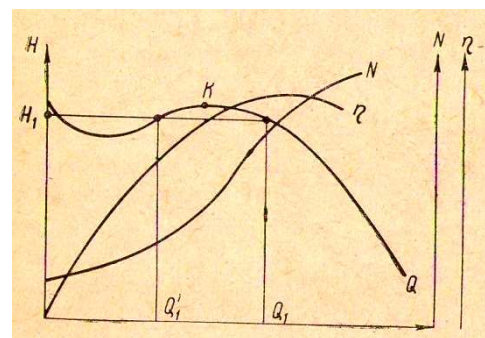


Рис. 11. Характеристика центробежной машины

В центробежных компрессорных машинах так же, как и во всех центробежных машинах, подача не является постоянной величиной. Она зависит от давления в нагнетательном патрубке. Если при неизменном числе оборотов постепенно менять величину открытия напорной задвижки, измеряя при каждом изменении подачу и напор, то, нанеся полученные точки на диаграмму и соединив их плавной кривой, можно получить характеристику машины. Такая характеристика, а также изменение к. п. д. машины и потребляемой ею мощности показаны на рис. 11.

Как видно из рис. 11, наибольшая подача будет при отсутствии противодействия в нагнетательном патрубке. При повышении противодействия подача постепенно уменьшается, а после точки **К** вместе с уменьшением подачи начинает понижаться и создаваемый турбомашинной напор.

Точку **К** называют критической точкой. Если подача становится меньше  $Q_k$ , работа машины делается неустойчивой. Это происходит потому, что одному и тому же напору

$H_1$  соответствуют две величины подачи:  $Q_1$  и  $Q'_1$ . Вследствие этого машина начинает работать то на одном, то на другом режиме. Газ подается рывками. Наблюдаются резкие сотрясения машины. Это явление называется *п о м п а ж е м*.

Расчетная или нормальная производительность машины всегда находится правее точки  $K$ , в области устойчивой части кривой и максимального значения к. п. д.

Трубовоздуходувки и турбокомпрессоры вследствие своих конструктивных особенностей имеют характеристики, у которых нормальная область работы довольно близка к критической точке. Для этого предусматривается сложная система регулирования для защиты машины от помпажа.

В основу регулирования положен один из следующих принципов или комбинация их.

1. Изменение числа оборотов. Можно считать, что производительность центробежных машин пропорциональна числу оборотов  $Q'_1 / Q = n'_1 / n$ , а развиваемый напор пропорционален квадрату чисел оборотов

$$\frac{H'}{H} = \left( \frac{n'}{n} \right)^2$$

Поэтому, если привод позволяет изменять число оборотов вала компрессора, то при приближении к критической точке, изменив число оборотов, можно снова попасть в устойчивую область работы. Такое регулирование наиболее экономично.

2. Дросселирование на всасывании. С уменьшением давления газа на входе в рабочее колесо увеличивается его удельный объем. Так как характеристика машины, изображенная на рис. 11, относится к условиям входа на колесо, становится возможным, оставаясь в зоне устойчивой работы, уменьшать массовую подачу газа. К. п. д. при этом уменьшается, так как при дросселировании теряется разность давления до и после дросселя.

3. Перепуск лишнего количества газа на всасывание. При уменьшении производительности машины до критической открывается антипомпажный клапан и пропускаются излишки газа обратно во всасывающий трубопровод или в атмосферу. Этот способ также экономически невыгоден, так как теряется часть затраченной работы.

4. Снабжение турбомашин газовой турбиной. В отличие от предыдущего способа излишки газа, проходящие через антипомпажный клапан, подаются на рабочее колесо газовой турбины, где отдают энергию, затраченную на его сжатие. Благодаря этому к. п. д. при работе с малыми подачами почти не уменьшается.

5. Регулирование поворотом лопаток направляющего аппарата. Поворачивая лопатки направляющих аппаратов, можно изменить характеристику турбомашин и тем самым значительно уменьшить зону неустойчивой работы с незначительным уменьшением к. п. д.

## Приложение 8

### Масляное уплотнение нагнетателей

Конструкция нагнетателей разработана таким образом, что единственным местом, где может происходить утечка газа из нагнетателя, является (в исправной машине) опорный подшипник. Для того, чтобы не допустить утечки газа, в подшипнике предусмотрено устройство масляного затвора. С этой целью к подшипнику от специального винтового масляного насоса подводится масло под давлением, превышающим на 2—3 кгс/см<sup>2</sup> давление уплотняемого газа. Масло отделяет внутреннюю полость нагнетателя от внешнего пространства и через неплотности масляного затвора просачивается как во внутреннюю полость нагнетателя, так и наружу. При этом большая часть масла сливается со стороны опорно-упорного подшипника, так как с этой стороны нет противодействия газа.

Для того чтобы масло, просочившееся во внутреннюю полость нагнетателя, не могло проникнуть в его рабочую часть, в нагнетателях непосредственно за рабочим колесом установлено винтовое масляное уплотнение, состоящее из стальной втулки с наружной левой резьбой, напрессованной на вал и из неподвижной обоймы с правой внутренней резьбой, крепящейся к корпусу нагнетателя. Резьба на стальной втулке разделена на три участка, причем после первого и второго участков на втулке предусмотрены маслосбрасывающие гребешки. При вращении ротора резьба втулки создает противоток масла, а маслосбрасывающие гребешки отбрасывают попавшие на них капли масла через предусмотренные в неподвижной обойме щели во внутренние полости, из которых масло сливается через отверстия в нижней части обоймы. Радиальный зазор между втулкой и обоймой составляет 0,5—1,2 мм.

Масляное уплотнение является одним из наиболее ответственных узлов нагнетателя со сложной системой обеспечения его надежной работы. Задача этой системы — подача в масляное уплотнение заданного количества масла нужного качества и необходимой температуры, с постоянным превышением давления масла над давлением газа.

Система масляного уплотнения нагнетателя и система смазки образуют общую систему маслоснабжения нагнетателя. Эта система включает в себя винтовой, зубчатый (пусковой и резервный) и центробежный масляные насосы, систему маслопроводов, масляный бак, маслоохладители, инжекторы, редукционные и предохранительные клапаны, фильтры, аккумуляторы масла.

В то время как винтовой масляный насос обеспечивает работу масляного уплотнения, а центробежный — смазку подшипников нагнетателя во время работы, зубчатый масляный насос предназначен для поддержания необходимого давления масла в подшипниках в периоды пуска и остановки. Так как остановка нагнетателя при недостаточном давлении масла в подшипниках может привести к серьезной аварии, помимо пускового масляного насоса предусмотрен резервный с приводом от электродвигателя постоянного тока, который включается в работу в тех случаях, когда пусковой насос не обеспечивает необходимое давление.

Маслопроводы, вместе с остальным оборудованием масляного хозяйства, единые для всего агрегата (нагнетателя, редуктора, газотурбинного привода) образуют сложную систему.

Эта система фильтрует и охлаждает масло и обеспечивает под заданным давлением смазываемые места нужным количеством масла необходимого качества, чистоты и температуры.

На рис. 13 показана схема масляного уплотнения нагнетателя типа 280-12-2. Винтовые насосы 5 по трубопроводу подают масло из маслобака через маслоохладитель 6 под давлением, превышающем на 2—3 кгс/см<sup>2</sup> давление газа в улитке, к опорному подшипнику нагнетателя 2. Для того чтобы давление масла в трубопроводе было постоянным и не зависело от температуры масла и степени разработки подшипника, подача винтовых насосов выбрана несколько большей, чем необходимо. Излишек масла регулятором перепада 4 сбрасывается обратно в масляный бак. Масло, попавшее после опорного подшипника в полость нагнетателя, стекает в поплавковую камеру 1, которая газовой линией соединена с той же полостью нагнетателя, и по мере накопления в ней поступает через переключатель 7 в газоотделитель 3. Периодичность поступления масла обеспечивает поплавок, открывающий, по мере наполнения корпуса, через систему рычагов сливное отверстие. Если агрегат работает под нагрузкой, переключатель подает масло в верхнюю часть газоотделителя, который свечой сообщен с атмосферой. Газ, отделившийся по мере стекания масла вниз, удаляется через эту свечу.

Для того чтобы избежать переполнения маслом поплавковой камеры при работе агрегата на холостом ходу, переключатель в этом случае открывает слив масла в нижнюю часть маслоотделителя. Одновременно автоматически включается инжектор отсоса масла 8.

Аккумулятор масла вместимостью 300 л, расположенный на 4 м выше оси ротора, обеспечивает уплотнение нагнетателя в тех случаях, когда основной и резервный винтовые насосы не обеспечивают по каким-либо причинам аварийного характера необходимое давление масла. В этом случае нагнетатель автоматически отсоединяется от газопровода, открывается «свеча» и выдается команда на отключение привода. Время опорожнения аккумулятора, равное 10—15 мин, достаточно для выполнения этих операций и выбега ротора.

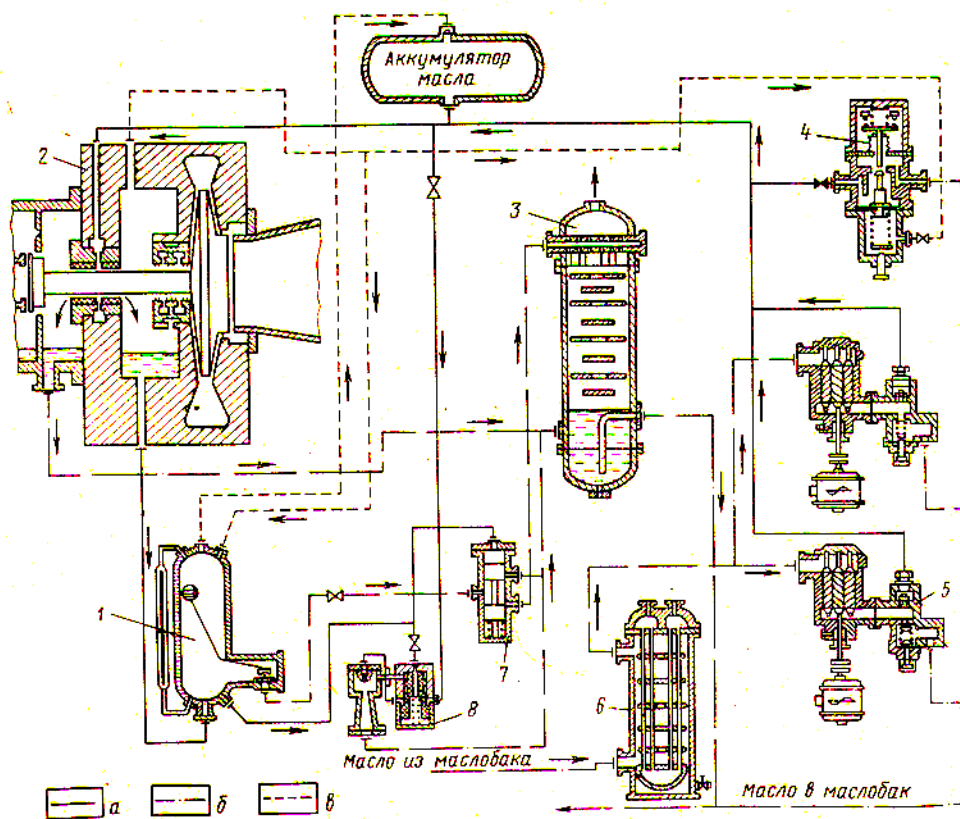


Рис. 13 Схема масляного уплотнения нагнетателя.

### Привод нагнетателей

Привод нагнетателей может осуществляться газовыми и паровыми турбинами, электродвигателями, двигателями внутреннего сгорания.

Наиболее широкое распространение на компрессорных станциях магистральных газопроводов нашел привод нагнетателей от газовых турбин.

Мощность, развиваемая газовой турбиной, пропорциональна перепаду температур и массовому расходу продуктов сгорания. Для того, чтобы получить мощность, необходимую для привода нагнетателя при приемлемых размерах газотурбинной установки (ГТУ) и с достаточно высоким к. п. д., в камеру сгорания нужно подвести топливный газ под давлением  $0,8—1,2 \text{ Мн/м}^2$  ( $8—12 \text{ кгс/см}^2$ ) и подогретый воздух, сжатый до  $0,4—0,6 \text{ Мн/м}^2$  ( $4—6 \text{ кгс/см}^2$ ). Воздух сжимается осевым компрессором, являющимся неотъемлемой частью ГТУ и приводящимся в действие газовой турбиной. На привод осевого компрессора расходуется около  $2/3$  всей мощности ГТУ.

Существует две схемы ГТУ — одновальная и двухвальная (установки «с разрезным валом»). В одновальной конструкции газовая турбина (состоящая из секций высокого и низкого давления) установлена на одном валу с осевым компрессором и через муфту и редуктор соединена с нагнетателем. Таким образом, если необходимо изменить число оборотов нагнетателя, одновременно изменится и число оборотов осевого компрессора.

В двухвальной конструкции, где одна секция турбины соединена с нагнетателем, а вторая с осевым компрессором, изменение скорости нагнетателя не вызывает изменение

скорости осевого компрессора, т. е. эта схема имеет большие возможности регулирования производительности нагнетателя. Благодаря этому она получила большее распространение.

Важной особенностью газотурбинных установок является то, что в зимнее время, когда нагрузка на компрессорных станциях максимальна, мощность их увеличивается.

Паротурбинный привод, не давая преимуществ в экономичности, требует больших капиталовложений, затрат металла, большого штата обслуживающего персонала.

Применение электропривода целесообразно в районах с невысокой стоимостью электроэнергии и может быть осуществлено (для нагнетателей типа 280) через повышающие редукторы от асинхронных электродвигателей АФЗ-4500-1500, либо от синхронных электродвигателей типа СТМ-4000-2.

Двигатели внутреннего сгорания, хотя и имеют больший к. п. д., чем газотурбинные установки, но их распространению препятствуют трудность согласования мощности двигателя и нагнетателя при регулировании производительности и напора, трудность изготовления мощных редукторов с большим передаточным числом  $n_{\text{дв}} = 250 \div 500$  об/мин), бесшумно и надежно работающих, и ряд других факторов.

В последнее время в литературе появились сообщения о разработке установок, в которых сочетается газовая турбина и двигатель внутреннего сгорания, отличающихся высоким к. п. д. (он может превышать 40%). В этих установках нагнетатель приводится в действие газовой турбиной, использующей энергию выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания. Последний, выполненный в виде свободно-поршневого генератора газа, сжимает воздух, необходимый для сгорания топлива в цилиндре генератора.

Работа газотурбинной установки ГТ 700-4, приводящей нагнетатель в действие, происходит следующим образом: природный газ под давлением  $0,7 \text{ Мн/м}^2$  ( $7 \text{ кгс/см}^2$ ) подводится к камере сгорания, где смешивается со сжатым воздухом и сгорает, при этом его температура повышается с 15 до  $700\text{—}750^\circ \text{С}$ , а давление снижается от 0,7 до  $0,5 \text{ Мн/м}^2$  (с 7 до  $4,8 \text{ кгс/см}^2$ ). Продукты сгорания поступают вначале в цилиндр высокого, а затем в цилиндр низкого давления турбины, где отдают свою энергию лопаткам ротора, после чего переходят с температурой  $425^\circ \text{С}$  и давлением  $0,1 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,05 \text{ кгс/см}^2$ ) в регенератор. В регенераторе продукты сгорания охлаждаются до  $270^\circ \text{С}$ , нагревая до  $375^\circ \text{С}$  воздух, поступающий в камеру сгорания. На роторе турбины установлен аксиальный компрессор, сжимающий воздух, входящий в камеру сгорания, до  $0,5 \text{ Мн/м}^2$  ( $5 \text{ кгс/см}^2$ ). Запуск агрегата осуществляется турбодетандером, который работает на природном газе.

Газотурбинная установка ГТ 700-4 при двигателе, имеющем скорость вращения 3000 об/мин, соединена с нагнетателем 2 через редуктор, повышающий скорость вращения в 2,56 раза.

Газовая турбина может изменять скорость вращения от 2400 до 3100 об/мин.

Газотурбинная установка ГТ700-5 (рис. 133) выполнена с «разрезным» валом. Рабочий процесс в ней протекает следующим образом: воздух из атмосферы через фильтры всасывается осевым компрессором и сжимается в нем до абсолютного давления  $0,39 \text{ Мн/м}^2$  ( $3,9 \text{ кгс/см}^2$ ), нагреваясь при этом до  $175^\circ \text{С}$ . Из компрессора сжатый воздух поступает в регенератор, где за счет тепла уходящих из турбины газов нагревается до  $393^\circ \text{С}$  и затем попадает в камеру сгорания, куда также входит и сжигается топливо, забирая часть кислорода из сжатого воздуха и нагревая его до температуры  $700^\circ \text{С}$ .

Нагретый воздух вместе с продуктами сгорания по трубопроводу подается в турбину высокого давления 6, в которой на рабочих и направляющих лопатках происходит расширение газа и его охлаждение.

Энергия газа заставляет вращаться рабочие колеса турбины, а также ротор осевого компрессора, смонтированный на одном валу с турбиной высокого давления. При этом осевой компрессор поглощает всю энергию, полученную рабочими колесами.

Из турбины высокого давления воздух и продукты сгорания, имеющие давление  $0,18 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,8 \text{ кгс/см}^2$ ) и температуру  $560^\circ \text{С}$ , поступают в турбину низкого давления, а затем

через регенератор в дымовую трубу и выбрасываются в атмосферу. Перед регенератором газ имеет давление  $0,11 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,05 \text{ кгс/см}^2$ ) и температуру  $400^\circ \text{С}$ .

Турбина низкого давления отдает полученную работу нагнетателю.

Запуск газотурбинной установки производится пусковой турбиной (турбодетандером), работающей на перепаде давления природного газа. На один пуск ГТУ из холостого состояния необходимо  $1500\text{—}2000 \text{ кг}$  газа. Пуск продолжается  $35 \text{ мин}$ .

Процесс сгорания в турбине ГТ-700-5 происходит при больших избытках воздуха, причем воздух, подаваемый в камеру сгорания, разделяется на два потока: первичный и вторичный. Первичный воздух предназначен для образования вместе с топливом рабочей смеси и обеспечения\*по возможности полного сгорания газа. Вторичный воздух служит для охлаждения стенок камерной и выравнивания температурного поля на выходе из камеры сгорания.

## Приложение 9

### Блиц - опрос

| Вопросы                                                              | Ответы                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1. За сколько происходит работа двигателя газомоторного компрессора? | За 2 такта или 4 такта.                                                     |
| 2. Какой рабочий цикл четырёхтактного двигателя?                     | 4 такта.                                                                    |
| 3. Какой рабочий цикл двухтактного двигателя?                        | 2 такта.                                                                    |
| 4. Для чего нужна система зажигания?                                 | Для воспламенения рабочей смеси.                                            |
| 5. Зачем нужно регулирование мощности компрессоров?                  | Чтобы он не остановился.                                                    |
| 6. Какие бывают ротационные компрессоры?                             | Одно- и двухступенчатые.                                                    |
| 7. Какой буквой обозначается производительность компрессоров?        | Q.                                                                          |
| 8. Какие недостатки у ротационных компрессоров?                      | Маленький к.п.д.                                                            |
| 9. К какому классу относятся турбинные машины?                       | Лопаточных машин.                                                           |
| 10. Когда применяются турбинные машины?                              | При степенях сжатия от 2 до 8.                                              |
| 11. Чему равен объёмный к.п.д?                                       | $\eta_0 = \frac{Q}{Q_t} = \frac{Q}{Q+q}.$                                   |
| 12. Где может происходить утечка газа?                               | В опорном подшипнике.                                                       |
| 13. Что для этого делается?                                          | К нему подводится масло под давлением.                                      |
| 14. Чему равна мощность газовой турбины?                             | Пропорциональна перепаду температур и массовому расходу продуктов сгорания. |
| 15. Сколько схем ГТУ?                                                | 2                                                                           |
| 16. Какие?                                                           | Одновальная и двухвальная.                                                  |

## Приложение 10

### Контрольные вопросы по пройденной теме

1. Как устроен газомоторный компрессор.
2. Как происходит рабочий процесс двухтактного газомоторного компрессора?

3. Каким образом происходит процесс регулирования мощности газомоторного компрессора?
4. Как работают турбокомпрессоры. Для чего они нужны?
5. Как устроены нагнетатели. Их назначение?
6. Что представляет собой привод нагнетателей?

## Приложение 11

### Список литературы

1. Семидуберский М.С.М., «Насосы, вентиляторы, компрессоры», М. Высшая школа 1966 г. 223с.
2. Бобровский С.А., Соколовский С.М., «Гидравлика, насосы и компрессоры», М. Недра 1972 г. 296 с.
3. Богословский В.Н., «Отопление и вентиляция», ЧП «Вентиляция», М. Стройиздат 1976 г. 439 с.
4. Калинушкин М.П., «Вентиляторные установки», М. Высшая школа 1979 г. 223 с.
5. Ананьев В.А. и др., «Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика», Учебное пособие. М. Евроклимат, Арина 2000 г. 216 с.
6. Оборудования для системы вентиляции воздуха. Каталог. Арктика 2004 г. 379 с.

## Приложение 12

### Задание на самостоятельную работу

Конструкции газомоторных компрессоров. Конструкции турбокомпрессоров.  
Назначение и конструкции нагнетателей. Эксплуатация нагнетателей.

|                                      |                                                                                              |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Практическое<br/>занятие № 10</b> | <b>Газомоторные компрессоры, ротационные компрессоры,<br/>турбокомпрессоры и нагнетатели</b> |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|

### *Технология проведения практического занятия*

|                                   |                                                                                                                         |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Количество часов</b>           | 2 часа                                                                                                                  |
| <b>Количество студентов</b>       | 14                                                                                                                      |
| <b>Форма занятия</b>              | Практическое занятие с использованием средств мультимедиа                                                               |
| <b>План практического занятия</b> | 1. Краткие теоретические сведения.<br>2. Условия задач.<br>3. Решение задач.                                            |
| <b>Цель работы</b>                | Определение газомоторных компрессоров, ротационных компрессоров, турбокомпрессоров и нагнетателей по результатам задач. |

|                                                                                                                |                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Педагогические задачи</b><br>1. Дать краткие теоретические сведения.<br>2. Объяснить порядок решения задач. | <b>Результаты учебной деятельности</b><br>1. Знают краткие теоретические сведения.<br>2. Умеют решать задачи. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                      |                                                              |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Технические средства обучения</b> | Аудитория, оборудованная мультимедийными средствами обучения |
| <b>Методы обучения</b>               | Объяснение, решение задач.                                   |
| <b>Форма обучения</b>                | Фронтальная                                                  |
| <b>Условия обучения</b>              | Компьютер, проектор, экран, пульт                            |

|                                |                                                                                                                                            |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                | управления.                                                                                                                                |
| <b>Мониторинг и оценивание</b> | Проведение опроса на знание газомоторных компрессоров, ротационных компрессоров, турбокомпрессоров и нагнетателей, проверка решения задач. |

### Технологическая карта практического занятия № 10

Газомоторные компрессоры, ротационные компрессоры, турбокомпрессоры и нагнетатели

| <b>Этапы</b>                                        | <b>Содержание деятельности преподавателя</b>                                                                                                 | <b>Содержание деятельности студентов</b>                                          |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 этап<br>Введение в практическое занятие<br>10 мин | 1.1.Объявление работы и плана занятия (приложение 1)<br>1.2.Постановка цели и задач занятия                                                  | Слушают                                                                           |
| 2 этап<br>Основная часть 60 мин                     | 2.1.Рассматриваются учебные вопросы по плану работы (приложение 2)<br>2.2. Условия задач – приложение 3<br>2.3. Решение задач – приложение 4 | Слушают, уточняют, отвечают на вопросы, задают вопросы, участвуют в решении задач |
| 3 этап<br>Заключительная часть<br>10 мин            | 3.1 Контрольные вопросы (приложение 5)<br>3.2 Список литературы (приложение 6)                                                               | Отвечают на вопросы.<br>Записывают литературу и задание на дом                    |

### Приложение 1

#### План практического занятия:

1. Краткие теоретические сведения.
2. Условия задач.
3. Решение задач.

### Приложение 2

#### Краткие теоретические сведения

Газомоторные компрессоры, применяемые на магистральных газопроводах, нефтеперерабатывающих, нефтехимических и газовых заводах, представляют собой агрегаты, в которых газовый двигатель и компрессор объединены общими станиной и коленчатым валом.

Газомоторные компрессоры выпускаются с горизонтальным расположением компрессорных цилиндров и V-образным или вертикальным расположением силовых. Работа газового двигателя газомотокомпрессора, как и всякого двигателя внутреннего сгорания, основана на том, что при сжигании газа, сжатого в силовом цилиндре в небольшом объеме камеры сгорания (образуемой цилиндром и поршнем в верхней мертвой точке), температура газа сильно возрастает и повышается его давление. Давление воспринимается поршнем, который под его действием начинает перемещаться. Прямолинейное движение поршня преобразуется кривошипно-шатунным механизмом во вращательное движение коленчатого вала.

Конструктивная схема турбокомпрессора сходна с конструктивной схемой центробежного или осевого насоса. Здесь также основной частью является рабочее колесо, при помощи которого передается энергия от двигателя к сжимаемому газу.

Выведем основное уравнение центробежных компрессорных машин.

Полный теоретический напор, создаваемый рабочим колесом определяется из соотношения

$$H_T = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$$

Так как

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$

получаем

$$H_T = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g}$$

Исходя из треугольников скоростей на входе и выходе рабочего колеса (рис. 8), создаваемый им полный теоретический напор можно записать так:

$$H_T = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{g} \quad (*)$$

Эта формула, написанная в самом общем виде, справедлива для всех лопастных машин, т. е. водяных, паровых и газовых турбин, центробежных насосов и вентиляторов, а также турбокомпрессоров.

Отношение действительной подачи к теоретической называют *о б ъ е м н ы м к. п.*  $\eta_0$ . Он равен

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q_T} = \frac{Q}{Q + q}$$

где  $Q$  — действительная производительность компрессора в  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$Q_T$  — теоретическая производительность компрессора в  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$q$  — количество газа, ушедшего через зазоры, в  $\text{м}^3/\text{сек}$ .

Полезная мощность, воспринятая, тазом (в  $\text{вт}$ ):

$$N_{\text{п}} = Qp$$

где  $Q$  — подача в  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$p$  — давление газа в  $\text{н}/\text{м}^2$ .

Мощность, на валу центробежной компрессорной машины

$$N_{\text{в}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta}$$

где  $\eta$  — общий к. п. д. машины, равный произведению объемного, гидравлического и механического к. п. д., т. е.

$$\eta = \eta_0 \eta_{\text{г}} \eta_{\text{мех}}$$

Нагнетатели представляют собой одноступенчатые центробежные компрессорные машины, не имеющие специальных устройств для охлаждения сжимаемого газа. Они предназначены для дожатия газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов производительностью, более  $12 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{сутки}$  и могут осуществлять либо одноступенчатое сжатие (нагнетатели работают в трассу газопровода параллельно), либо двух- и трехступенчатое сжатие (два или три нагнетателя работают в трассу газопровода последовательно).

## Приложение 3

### Условие задач:

**Задача 1.** В одноступенчатом поршневом компрессоре, предназначенном для сжатия метана, вредное пространство составляет 8.5% от объема отсасывающим поршнем. Считая процесс расширения сжатого газа из вредного пространства адиабатическим,

определить, при каком предельном давлении нагнетания производительность компрессора станет равной нулю. Давления всасывания атмосферное.

**Задача 2.** Многоступенчатым компрессором нужно подавать сжатый воздух при давлении 20 Мн/м<sup>2</sup> (200 ат). Необходимо распределить давления между ступенями.

**Задача 3.** Поршневой компрессор, работающий на воздухе, должен быть использован для сжатия кислорода. Определить, как изменится мощность электродвигателя, принимая, что объемная производительность, степень сжатия и к.п.д. остаются без изменения.

Ответ: Мощность не изменится.

**Задача 4.** Определить теоретическую затрату работы на сжатие водорода от 1,5 до 17 кгс/см<sup>2</sup> (давление абсолютное) при одноступенчатом и двухступенчатом сжатии. Начальная температура воздуха 20°C.

**Задача 5.** Определить требуемое число ступеней поршневого компрессора, который должен сжимать азот от 1 до 100 кгс/см<sup>2</sup> (давление абсолютное), если допускается, что температура в конце сжатия не должна превышать 140°C. Процесс сжатия считать адиабатическим. Начальная температура азота 20°C.

## Приложение 4

### Решение задач:

#### Решение задачи 1:

В одноступенчатом поршневом компрессоре, предназначенном для сжатия метана, вредное пространство составляет 8.5% от объёма отсасывающим поршнем. Считая процесс расширения сжатого газа из вредного пространства адиабатическим, определить, при каком предельном давлении нагнетания производительность компрессора станет равной нулю. Давления всасывания атмосферное.

Решение:

Производительность компрессора станет равной нулю, когда равным нулю станет его объёмный к.п.д.

$$\lambda = 1 - \varepsilon_0 \left( \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right) = 0$$

Согласно условию расширения газа из вредного пространства считаем адиабатическим, то есть вместо показателя политропы  $m$  берём показатель адиабаты  $k$ , равный для метана 1.31. Вредное пространство  $\varepsilon_0 = 0.085$ . Давление всасывания  $p_1 = 1$  кгс/см<sup>2</sup>. Тогда:

$$1 - 0.085 \left( p_2^{\frac{1}{m}} - 1 \right) = 0$$

Из этого уравнения находим:

$$p_2^{0.763} = 12.8, \text{ откуда}$$

$$p_2 = 28 \text{ кгс/см}^2$$

Следовательно, производительность компрессора будет равна нулю, при давлении нагнетания  $p_{\text{абс}} = 28 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$

#### Решение задачи 2:

Многоступенчатым компрессором нужно подавать сжатый воздух при давлении 20 Мн/м<sup>2</sup> (200 ат). Необходимо распределить давления между ступенями.

Решение:

Принимаем  $p_1$ -начальное давление равным 0.1 Мн/м<sup>2</sup>. При наивыгоднейшем числе ступеней  $z=4$  и одинаковой степени сжатия во всех ступенях степень сжатия определяется по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt[4]{\frac{200}{1}} = 3.76$$

Таким образом, давления между ступенями распределяются так:

Первая ступень -  $p_1=0.100 \text{ Мн/м}^2$ ,  $p_2=0.376 \text{ Мн/м}^2$

Вторая ступень -  $p_2=0.376 \text{ Мн/м}^2$ ,  $p_3=1.414 \text{ Мн/м}^2$

Третья ступень -  $p_3=1.414 \text{ Мн/м}^2$ ,  $p_4=5.317 \text{ Мн/м}^2$

Четвертая ступень -  $p_4=5.317 \text{ Мн/м}^2$ ,  $p_5=20 \text{ Мн/м}^2$ .

## Приложение 5

### Контрольные вопросы:

1. Как устроен газомоторный компрессор.
2. Как работают турбокомпрессоры. Для чего они нужны?
3. Как устроены нагнетатели. Их назначение?
4. Расчетные формулы.

## Приложение 6

### Список литературы:

1. Семидуберский М.С.М., «Насосы, вентиляторы, компрессоры», М. Высшая школа 1966 г. 223с.
2. Бобровский С.А., Соколовский С.М., «Гидравлика, насосы и компрессоры», М. Недра 1972 г. 296 с.
3. Богословский В.Н., «Отопление и вентиляция», ЧП «Вентиляция», М. Стройиздат 1976 г. 439 с.
4. Калинушкин М.П., «Вентиляторные установки», М. Высшая школа 1979 г. 223 с.
5. Ананьев В.А. и др., «Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика», Учебное пособие. М. Евроклимат, Арина 2000 г. 216 с.
6. Оборудования для системы вентиляции воздуха. Каталог. Арктика 2004 г. 379 с.

## ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

### Вариант-1

1. Определить объёмный вес сухого воздуха  $\gamma$  при  $p = 10\,800\text{ кг/м}^2$ , температура равна нулю.
  2. Требуется определить мощность центробежного вентилятора при уменьшении производительности до  $Q_{\square} = 6600\text{ м}^3/\text{час}$ , если при  $n=1440\text{ об/мин}$  и  $\eta=0,4$  подается  $Q = 100\,000\text{ м}^3/\text{час}$  при  $\rho = 100\text{ кг/м}^3$ .
  3. Определить мощность, потребляемую одноступенчатым поршневым компрессором, который сжимает  $460\text{ м}^3/\text{час}$  аммиака от  $P_{абс} = 2,5\text{ кгс/см}^2$  до  $P_{абс} = 12\text{ кгс/см}^2$ . Начальная температура аммиака  $-10^\circ\text{C}$ , к.п.д. компрессора  $0,7$ . Определить также температуру аммиака в конце сжатия.
- 

### Вариант-2

1. Определить основные размеры радиального вентилятора компактных габаритов, т.е. при лопатках колеса, загнутых вперёд, если задано:  $L = 2000\text{ м}^3/\text{ч} = 0,555\text{ м}^3/\text{с}$ ;  $p = 2200\text{ Па}$  ( $p_0 = 1,2\text{ кг/м}^3$ ),  $\omega = 300\text{ рад/с}$  ( $n = 2900\text{ об/мин}$ ).
  2. Известна характеристика вентилятора:  $\rho = 0,122\text{ кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^4$  и диаметр  $D = 0,4\text{ м}$ . Требуется построить характеристику геометрически подобранных вентиляторов при:  $\rho = 0,1\text{ кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^4$ ,  $B = 0,5\text{ м}$  и  $N = 1000\text{ об/мин}$ .
  3. Многоступенчатым компрессором нужно подавать сжатый воздух при давлении  $16\text{ Мн/м}^2$  ( $160\text{ ат}$ ). Необходимо распределить давления между ступенями.
- 

### Вариант-3

1. Определить плотность атмосферного воздуха при  $B = 740\text{ мм. рт. ст.}$  и  $t = 0^\circ\text{C}$ .
  2. При испытании установлено, что в ответвлении при  $L_{исп} = 500\text{ м}^3/\text{ч}$  потеря давления составляет  $p_{исп} = 120\text{ Па}$ . Требуется определить диаметр отверстия диафрагмы  $d$  (мм), если диаметр ответвления  $D = 150\text{ мм}$  и требуется обеспечить расход  $L_{пр} = 400\text{ м}^3/\text{ч}$ .
  3. Определить производительность поршневого компрессора двойного действия, если диаметр поршня  $0,5\text{ м}$ , длина хода поршня  $0,8\text{ м}$ , диаметр штока поршня  $0,125\text{ м}$ , скорость вращения коленчатого вала  $9\text{ рад/сек}$  (около  $90$  двойных ходов в минуту), давление при входе  $0,08\text{ Мн/м}^2$ , при выходе  $- 0,16\text{ Мн/м}^2$ ,  $\eta_{ср}=0,05$ .
- 

### Вариант-4

1. Построить характеристику сети, если из расчёта известно, что  $p = 500\text{ Па}$  при  $L = 20\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ , а уравнение характеристики сети имеет вид  $p = 100 + kL^2$ .

2. Определить наивыгоднейшее число вентиляторных установок, если известно и принято:  $Q = 10 \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $L = 30 \text{ м}$ ,  $v = 15 \text{ м/сек}$ ,  $n = 3 \cdot 7 \cdot 300 = 6300 \text{ час}$  (трехсменная работа),  $r = 0,02$ ,  $e = 1,1$ ,  $a = 0,2$ ,  $c = 200$ ,  $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $\eta = 0,5$ ,  $\kappa = 0,07$ ,  $\kappa_1 = 1,4 \cdot 10^{-4}$

3. На проектируемой компрессорной установке нужно получить газ под давлением  $0,16 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,6 \text{ ат}$ ) при производительности установки  $V=0,75 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Давление всасывания  $0,08 \text{ Мн/м}^2$ , показатель политропы  $n=1,35$ . Определить расход мощности на компрессор, если  $\eta_{\text{мех}}=0,9$ .

---

#### Вариант-5

1. Определить давление, развиваемое при нормальных условиях ( $\rho = 0,122 \text{ кг·сек}^2/\text{м}^4$ ) центробежным вентилятором низкого давления №4 ( $D_2=0,4 \text{ м}$ ), при  $n = 1440 \text{ об/мин}$ , если коэффициент давления  $\Psi = 0,95$ .

2. Воздух засасывается через прямую трубу диаметром  $d_0 = 100 \text{ мм}$ , выполненную из листовой стали толщиной  $\delta = 1 \text{ мм}$ . Труба выпущена за поверхность стены на расстояние  $b = 20 \text{ мм}$ . определить коэффициент  $\zeta$  местного сопротивления на вход.

3. Требуется подавать сжатый воздух под давлением  $P_{\text{из}}=4,5 \text{ кгс/см}^2$  в количестве  $80 \text{ кг/ч}$ . Пригоден ли будет для этой цели одноступенчатый поршневой компрессор простого действия, имеющий диаметр цилиндра  $180 \text{ мм}$ , длину хода поршня  $200 \text{ мм}$  и делающий  $240 \text{ об/мин}$ ? Вредное пространство составляет  $5\%$  от объема, отсасываемого поршнем. Показатель расширения принять равным  $1,25$ .

---

#### Вариант-6

1. Определить основные размеры центробежного вентилятора, если задано:  $Q = 2000 \text{ м}^3/\text{час} = 0,555 \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $p = 280 \text{ кг/м}^2$ ,  $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $n = 2900 \text{ об/мин}$ .

2. Требуется определить наивыгоднейшую среднюю скорость для запроектированного воздухопровода, если  $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $\eta = 0,5$ ,  $a = 0,2$ ,  $b = 2,5$ ,  $n = 2400 \text{ час}$ ,  $r = 0,02$ ,  $e = 1,1$  и  $\alpha = 23,9$ ,  $\beta = 2,67$

3. Сравнить температуру в конце сжатия, теоретическую затрату и величину объемного к.п.д. при сжатии воздуха от 1 до 9 в одноступенчатом поршневом компрессоре.

---

#### Вариант-7

1. Метод наложения характеристик: определить мощность вентилятора, если подсчитать для чистого воздуха при расходе  $Q_{\text{воз}}= 5500 \text{ м}^3/\text{час}$ ,  $P_{\text{созд}}= 125 \text{ кг/м}^2$ , а весовая концентрация смеси  $\mu = 0,2$ .

2. Какую частоту вращения надо дать центробежному вентилятору, если он должен подавать  $1500 \text{ м}^3/\text{час}$  воздуха в сеть, полное сопротивление которой при этом расходе  $422 \text{ Па}$ ?

3. В одноступенчатом поршневом компрессоре, предназначенном для сжатия метана, вредное пространство составляет  $8,5\%$  от объема отсасывающим поршнем. Считая

процесс расширения сжатого газа из вредного пространства адиабатическим, определить, при каком предельном давлении нагнетания производительность компрессора станет равной нулю. Давления всасывания атмосферное.

---

### Вариант-8

1.Определить основной размер вентилятора методом пересчёта характеристик, если:  $Q_1 = 2 \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $p_1 = 100 \text{ кг/м}^2$ ,  $n_1 = 1440 \text{ об/мин}$ ,  $\rho = 0,122 \text{ кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^4$ .

2.Определить условия работы двух одинаковых параллельно соединённых вентиляторов на неизменную сеть, если ее характеристика выражается следующей зависимостью:

$$\rho = 1,4 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2$$

3.Определить потребляемую мощность и расход воды на холодильники поршневого компрессора, который сжимает  $625 \text{ м}^3/\text{час}$  (при нормальных условиях) этилена от давления (абсолютного)  $9,81 \cdot 10^4$  до  $176,6 \cdot 10^4$  Па. К.п.д. компрессора 0,75. Охлаждающая вода нагревается в холодильниках на  $13^\circ\text{C}$ . Начальная температура газа  $20^\circ\text{C}$ .

---

### Вариант-9

1.При испытании установлено, что в ответвлении при  $L_{исп} = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  потеря давления составляет  $p_{исп} = 120$  Па. Требуется определить диаметр отверстия диафрагмы  $d$  (мм), если диаметр ответвления  $D = 150$  мм и требуется обеспечить расход  $L_{пр} = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

2.В горизонтальном воздухопроводе диаметром  $0,27$  м измерена у стенки скорость потока  $10$  м/сек при скосе потока в  $8^\circ$ . Потеря давления в воздухопроводе для чистого воздуха  $100 \text{ кг/м}^2$ . Определить потерю давления в воздухопроводе с учётом механических примесей к воздуху при весовой концентрации смеси  $0,1$ .

3.Компрессор при испытании нагнетал атмосферный воздух в баллон объёмом  $42,4 \text{ дм}^3$ . За  $10,5$  мин. давление в баллоне повысилось от  $0$  до  $52 \text{ кгс/см}^2$  (давление избыточное), а температура воздуха в баллоне поднялась от  $17$  до  $37^\circ\text{C}$ . Определить производительность компрессора в  $\text{м}^3/\text{час}$  (при нормальных условиях).

---

### Вариант-10

1.При испытании установлено, что в соответствии при  $Q_{исп} = 500 \text{ м}^3/\text{час}$  потеря давления составляет  $p_{исп} = 12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ . Требуется определить диаметр отверстия диафрагмы  $d$  мм, если диаметр ответвления  $D = 150$  мм и требуется обеспечить расход  $Q_{пр} = 400 \text{ м}^3/\text{час}$ .

2. Известна характеристика вентилятора:  $\rho = 0,122 \text{ кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^4$  и диаметр  $D = 0,4$  м. Требуется построить характеристику геометрически подобранных вентиляторов при:  $\rho = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^4$ ,  $B = 0,5$  м и  $N = 1000$  об/мин.

3. Определить требуемое число ступеней поршневого компрессора, который должен сжимать азот от 1 до 100 кгс/см<sup>2</sup> (давление абсолютное), если допускается, что температура в конце сжатия не должна превышать 140°C. Процесс сжатия считать адиабатическим. Начальная температура азота 20°C.

---

### Вариант-11

1. Какую частоту вращения надо дать центробежному вентилятору, если он должен подавать 1500 м<sup>3</sup>/час воздуха в сеть, полное сопротивление которой при этом расходе 422 Па?

2. Определить наивыгоднейшее число вентиляторных установок, если известно и принято:  $Q = 10$  м<sup>3</sup>/сек,  $L = 30$  м,  $v = 15$  м/сек,  $n = 3 \cdot 7 \cdot 300 = 6300$  час (трехсменная работа),  $\tau = 0,02$ ,  $\epsilon = 1,1$ ,  $a = 0,2$ ,  $c = 200$ ,  $\gamma = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>,  $\eta = 0,5$ ,  $\kappa = 0,07$ ,  $\kappa_1 = 1,4 \cdot 10^{-4}$

3. Определить мощность, потребляемую углекислотным поршневым компрессором, производительностью 5,6 м<sup>3</sup>/час (при условиях всасывания). Компрессор сжимает диоксид углерода от 20 до 70 кгс/см<sup>2</sup> (давление абсолютное). Начальная температура - 15°C. К.п.д. компрессора принять равным 0,65.

---

### Вариант-12

1. При испытании установлено, что в соответствии при  $Q_{исп} = 500$  м<sup>3</sup>/час потеря давления составляет  $p_{исп} = 12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ . Требуется определить диаметр отверстия диафрагмы  $d$  мм, если диаметр ответвления  $D = 150$  мм и требуется обеспечить расход  $Q_{np} = 400$  м<sup>3</sup>/час.

2. Определить давление, развиваемое при нормальных условиях ( $\rho = 0,122$  кг·сек<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>) центробежным вентилятором низкого давления №4 ( $D_2 = 0,4$  м), при  $n = 1440$  об/мин, если коэффициент давления  $\Psi = 0,95$ .

3. Определить мощность, потребляемую одноступенчатым поршневым компрессором, который сжимает 460 м<sup>3</sup>/час аммиака от  $P_{абс} = 2,5$  кгс/см<sup>2</sup> до  $P_{абс} = 12$  кгс/см<sup>2</sup>. Начальная температура аммиака -10°C, к.п.д.

---

### Вариант-13

1. На проектируемой компрессорной установке нужно получить газ под давлением 0.16 Мн/м<sup>2</sup> (1.6 ат) при производительности установки  $V = 0.75$  м<sup>3</sup>/сек. Давление всасывания 0.08 Мн/м<sup>2</sup>, показатель политропы  $n = 1.35$ . Определить расход мощности на компрессор, если  $\eta_{мех} = 0.9$ .

2. Определить основные размеры центробежного вентилятора, если задано:  $Q = 2000$  м<sup>3</sup>/час = 0,555 м<sup>3</sup>/сек,  $\rho = 280$  кг/м<sup>3</sup>,  $\gamma = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>,  $n = 2900$  об/мин.

3. Определить необходимую мощность электродвигателя (с запасом 15% на перегрузку) поршневого компрессора производительностью  $Q=0.33 \text{ м}^3/\text{сек}$ , сжимающего воздух от  $10^5$  до  $8 \cdot 10 \text{ н/м}^2$ . Полный изотермный к.п.д. компрессора  $\eta_{из} = 0.65$ .

---

#### Вариант-14

1. Построить характеристику сети, если из расчёта известно, что  $p = 500 \text{ Па}$  при  $L = 20\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а уравнение характеристики сети имеет вид  $p = 100 + kL^2$ .

2. Определить основные размеры радиального вентилятора компактных габаритов, т.е. при лопатках колеса, загнутых вперёд, если задано:  $L = 2000 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,555 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $p = 2200 \text{ Па}$  ( $\rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ),  $\omega = 300 \text{ рад/с}$  ( $n = 2900 \text{ об/мин}$ ).

3. Определить производительность поршневого компрессора двойного действия, если диаметр поршня  $0.5 \text{ м}$ , длина хода поршня  $0.8 \text{ м}$ , диаметр штока поршня  $0.125 \text{ м}$ , скорость вращения коленчатого вала  $9 \text{ рад/сек}$  (около  $90$  двойных ходов в минуту), давление при входе  $0.08 \text{ Мн/м}^2$ , при выходе  $- 0.16 \text{ Мн/м}^2$ ,  $v_{ср}=0.05$ .

---

#### Вариант-15

1. Какое количество воздуха будет подавать центробежный вентилятор с частотой вращения  $1440 \text{ об/мин}$ , при работе на сеть, у которой при расходе  $1000 \text{ м}^3/\text{час}$  сумма ( $\Delta p_{ск} + \Delta p_{тр} + \Delta p_{и.с.}$ ) составляет  $265 \text{ Па}$ , а разность давлений в пространстве нагнетания и в пространстве всасывания равна  $20 \text{ мм. вод. ст.}$ ?

2. Требуется определить наивыгоднейшую среднюю скорость для запроектированного воздухопровода, если  $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $\eta = 0,5$ ,  $a = 0,2$ ,  $b = 2,5$ ,  $n = 2400 \text{ час}$ ,  $r = 0,02$ ,  $e = 1,1$  и  $\alpha = 23,9$ ,  $\beta = 2,67$

3. Требуется подавать сжатый воздух под давлением  $P_{из}=4.5 \text{ кгс/см}^2$  в количестве  $80 \text{ кг/ч}$ . Пригоден ли будет для этой цели одноступенчатый поршневой компрессор простого действия, имеющий диаметр цилиндра  $180 \text{ мм}$ , длину хода поршня  $200 \text{ мм}$  и делающий  $240 \text{ об/мин}$ ? Вредное пространство составляет  $5\%$  от объёма, отсасываемого поршнем. Показатель расширения принять равным  $1.25$ .

---

### ТЕСТЫ

#### Вариант-1

1. Что представляют собой дожимные компрессоры?

- А) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое ниже атмосферного
- В) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое ниже атмосферного
- С) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое выше атмосферного
- Д) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое выше атмосферного

2. В марке компрессора 5 ВП 20/35, что означает буква В?

- А) компрессор - прямоугольного типа
- В) компрессор - воздушный
- С) компрессор – для сжатия газа
- Д) компрессор – для нагнетания давления

3. Какой компрессор можно назвать идеальным?

- А) температура газа в период всасывания и нагнетания неизменна

- B) в конце сжатия весь газ выталкивается поршнем из цилиндра
  - C) давление во всасывающих и нагнетательных трубках постоянно
  - D) все ответы верны
- 
4. При каком сжатии газа затрачивается наименьшее количество работы?  
A) изотермическом  
B) адиабатном  
C) тепловом  
D) охладительном
- 
5. По какой формуле определяется производительность компрессора?  
A)  $Q = \lambda \cdot V D \cdot n$   
B)  $Q = \lambda \cdot P n$   
C)  $Q = t \cdot P/n$   
D)  $Q = V D \cdot n$
- 
6. Для чего предназначены газодувки?  
A) для сжатия воздуха до  $0,2 \text{ МН/м}^2$   
B) для сжатия газа до  $0,5 \text{ МН/м}^2$   
C) для сжатия воздуха до  $0,5 \text{ МН/м}^2$   
D) для сжатия газа до  $0,2 \text{ МН/м}^2$
- 
7. Единица измерения компрессора?  
A) сек /  $\text{м}^3$   
B)  $\text{м}^3$  / сек  
C) об / сек  
D)  $\text{м}^3$
- 
8. Что представляет механический КПД:  
A)  $N_{\text{пол}}$   
B)  $N_{\text{всп}}$   
C)  $\eta_{\text{мех}}$   
D)  $N_{\text{уд}}$
- 
9. В каких единицах измеряется сжатие воздуха?  
A)  $\text{см}^2 / \text{кгс}$   
B)  $\text{м}^3$   
C)  $\text{см}^2$   
D)  $\text{кгс} / \text{см}^2$
- 
10. Для чего устанавливаются предохранительные клапаны?  
A) для предупреждения о повышении скорости  
B) для предупреждения о понижении скорости  
C) для предупреждения о понижении давления  
D) для предупреждения о повышении давления

- С)  $10 \text{ МН/м}^2$   
D)  $10 \div 20 \text{ МН/м}^2$

3. Что представляет рабочий объем цилиндра?

- A) Q                      B) VD                      C)  $\lambda$                       D) n

4. В марке компрессора 5 ВП 20/35, что означает буква П?

- A) компрессор - для сжатия                      B) компрессор - холодильный  
C) компрессор – прямоугольного типа                      D) компрессор – воздушный

5. Что называется производительностью компрессора?

- A) геометрическая характеристика, зависящая от давления и температуры  
B) геометрическая характеристика, зависящая от влажности всасываемого газа  
C) геометрическая характеристика, независящая от давления, температуры и влажности всасываемого газа  
D) геометрическая характеристика, независящая от объёма и производительности компрессора

6. Как получают холод в компрессорных холодильных установках?

- A) повышением температуры газа при сжатии  
B) повышением температуры газа при расширении  
C) снижением температуры газа при сжатии  
D) снижением температуры газа при расширении

7. Что представляет удельный расход?

- A)  $N_{уд} = N_{пол}/3600 Q$   
B)  $N_{уд} = N_{пол}/Q$   
C)  $N_{уд} = Q/3600 N_{пол}$   
D)  $N_{уд} = N_{пол}/3600$

8. Для чего нужны фильтры в компрессорах?

- A) для увеличения уплотняющей способности поршневых колец  
B) для уменьшения расхода энергии на трение  
C) для расширения воздуха или газа  
D) для очистки воздуха или газа

9. Какую форму имеют газосборники?

- A) прямоугольную                      B) цилиндрическую                      C) форму куба                      D) треугольную

10. Какие холодильники применяются для высоких давлений?

- A) батарейные                      B) радиаторные  
C) змеевиковые                      D) холодильники с воздушным охлаждением

### Вариант-3

1. Для чего предназначены поршневые компрессоры?

- A) для расширения газа  
B) для подачи воздуха  
C) для сжатия газа  
D) для вытяжки воздуха

2. При каком давлении осуществляют работу циркуляционные компрессоры?  
А)  $1 \div 20 \text{ МН/м}^2$     В)  $20 \div 100 \text{ МН/м}^2$     С)  $100 \div 200 \text{ МН/м}^2$     D)  $200 \text{ МН/м}^2$
3. Для чего предназначены вакуум - насосы?  
А) для откачивания газа, где давление ниже атмосферного  
В) для откачивания газа, где давление выше атмосферного  
С) для откачивания газа, где давление равно атмосферного  
D) для откачивания воздуха, где давление ниже атмосферного
4. Воздушно-двухступенчатый компрессор сжимает воздух до?  
А) до  $2 \text{ кгс/см}^2$     В) до  $6 \text{ кгс/см}^2$     С) до  $8 \text{ кгс/см}^2$     D) до  $12 \text{ кгс/см}^2$
5. Что представляет собой передвижной компрессор?  
А) передвижная компрессорная v - образная станция 3-х ступенчатого сжатия  
В) передвижная компрессорная п - образная станция 3-х ступенчатого сжатия  
С) передвижная компрессорная п - образная станция 2-х ступенчатого сжатия  
D) передвижная компрессорная v - образная станция 2-х ступенчатого сжатия
6. Для чего применяют холодильные установки?  
А) чтобы получить температуру газа ниже температуры окружающей среды  
В) чтобы получить температуру газа выше температуры окружающей среды  
С) чтобы получить температуру газа равной температуре окружающей среды  
D) чтобы получить температуру газа выше атмосферного давления
7. Что представляет производительность компрессора?  
А) V    В) P    С)  $\lambda$     D) Q
8. Вакуумную машину можно рассматривать как компрессор, при помощи которого:  
А) заряженный газ снижается до атмосферного  
В) разряженный газ снижается до атмосферного  
С) заряженный газ снижается выше атмосферного  
D) разряженный газ снижается ниже атмосферного
9. Многоступенчатые поршневые компрессоры нужны для:  
А) низкой степени сжатия воздуха  
В) высокой степени сжатия воздуха  
С) средней степени растяжения газа  
D) высокой степени растяжения воздуха
10. В чём основная задача смазки?  
А) уменьшения износа трущихся поверхностей  
В) увеличения износа трущихся поверхностей  
С) повышения расхода энергии на трение  
D) понижения уплотняющей способности

#### **Вариант-4**

1. В каком веке появились первые поршневые воздухопроводные машины?  
А) в первой половине XIX века  
В) в XVIII веке  
С) в конце XIX века  
D) в первой половине XVIII века

2. Какие компрессоры относятся ко второму классу?

- А) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (поршневые, ротационные диафрагменные и винтовые компрессоры)
- В) машины, в которых газу сообщается большая скорость и кинетическая энергия потока, которая затем преобразуется в работу сжатия нагнетаемого газа (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)
- С) струйные машины, которые наименее распространены
- Д) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)

3. За счёт чего в поршневых компрессорах происходит изменение объёма в полости сжатия?

- А) за счёт перемещения поршня
- В) за счёт всасывающего патрубка
- С) за счёт нагнетательного патрубка
- Д) за счёт кривошипа

4. Для чего предназначены вакуум-насосы?

- А) для откачивания газа
- В) для сжатия газа
- С) для нормализации давления газа
- Д) для охлаждения газа

5. Какие компрессоры называют компрессорами низкого давления?

- А) машины, сжимающие газ до  $0,2 \text{ мН/м}^2$  ( $2 \text{ кгс/см}^2$ )
- В) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, сжимающие газ до  $0,2 - 1 \text{ мН/м}^2$  ( $2 - 10 \text{ кгс/см}^2$ )
- Д) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ мН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

6. Какие компрессоры называют дожимными?

- А) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного
- В) машины, сжимающие газ, начальное давление которого намного превышает атмосферное
- С) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного
- Д) машины, сжимающие газ, начальное давление которого намного ниже атмосферного

7. Какие компрессоры называют циркуляционными?

- А) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-100 \text{ мН/м}^2$  ( $200-1000 \text{ кгс/см}^2$ )
- В) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $40-60 \text{ мН/м}^2$  ( $400-800 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-150 \text{ мН/м}^2$  ( $200-1200 \text{ кгс/см}^2$ )
- Д) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-80 \text{ мН/м}^2$  ( $400-950 \text{ кгс/см}^2$ )

8. Какие преимущества у прямоугольных компрессоров?

- А) высокий КПД, небольшие габариты, лёгкий фундамент для их установки

- В) высокий КПД, высокая экономичность, лёгкий фундамент для их установки
- С) простота эксплуатации, небольшие габариты, лёгкий фундамент для их установки
- Д) высокий КПД, небольшие габариты, долговечность

9. Какова основная задача смазочных устройств в компрессорах?

- А) создание глубокого вакуума
- В) повышение температуры газа
- С) уменьшение износа трущихся поверхностей и снижение энергии на трение
- Д) повышение производительности

10. Для чего в компрессорных установках устанавливают предохранительные клапаны?

- А) для предупреждения повышения давления выше нормы
- В) для регулирования расхода масла в смазочных устройствах
- С) для получения вакуума
- Д) для регулирования производительности

### Вариант-5

1. В каком веке появились первые воздуходувки центробежного и осевого типов?

- А) в первой половине XIX века
- В) в XVIII веке
- С) в конце XIX века
- Д) в первой половине XVIII века

2. Какие компрессоры относятся к первому классу?

- А) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (поршневые, ротационные диафрагменные и винтовые компрессоры)
- В) машины, в которых газу сообщается большая скорость и кинетическая энергия потока, которая затем преобразуется в работу сжатия нагнетаемого газа (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)
- С) струйные машины, которые наименее распространены
- Д) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)

3. Из чего состоит поршневой компрессор?

- А) цилиндра, всасывающего и нагнетательного патрубков, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма
- В) цилиндра, всасывающего патрубка, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма
- С) цилиндра, всасывающего и нагнетательного патрубков, кривошипно-шатунного механизма
- Д) всасывающего и нагнетательного патрубков, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма

4. Что такое вакуум-компрессоры?

- А) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного
- В) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного

D) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ МН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

5. Какие компрессоры называют компрессорами высокого давления?

A) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного

B) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ МН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )

C) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного

D) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ МН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

6. Где получили применение компрессоры низкого давления?

A) пневматические установки

B) в азотно-туковом производстве

C) в химической, нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности

D) в металлургическом производстве

7. При каком давлении осуществляют работу циркуляционные компрессоры?

A)  $1 \div 20 \text{ МН/м}^2$     B)  $20 \div 100 \text{ МН/м}^2$     C)  $100 \div 200 \text{ МН/м}^2$     D)  $200 \text{ МН/м}^2$

8. Укажите основные части промежуточного холодильника:

A) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, шатуны, крейцкофы

B) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, шатуны, диффузор

C) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, лопаточное колесо, крейцкофы

D) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, шатуны

9. Для чего применяют холодильные компрессоры?

A) при необходимости получить температуру газа ниже температуры окружающей среды

B) при необходимости получить температуру газа выше температуры окружающей среды

C) при необходимости получить температуру газа равной температуре окружающей среды

D) при необходимости получить температуру газа равную  $2^\circ\text{C}$

10. Сколько существует способов смазки цилиндров компрессора?

A) 2

B) 4

C) 1

D) 3

### Вариант 6

1. На сколько классов можно разделить современные машины для сжатия и перекачки газов?

A) на 2 класса

B) на 3 класса

C) на 4 класса

D) на 6 классов

2. За счёт чего в поршневых компрессорах происходит изменение объёма в полости сжатия?

A) за счёт перемещения поршня

B) за счёт всасывающего патрубка

C) за счёт нагнетательного патрубка

D) за счёт кривошипа

3. Для чего предназначены поршневые компрессоры?

A) для откачивания газа

- В) для сжатия газа
- С) для нормализации давления газа
- Д) для охлаждения газа

4. Какие компрессоры называют компрессорами среднего давления?

- А) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного
- В) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного
- Д) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ мН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

5. Что такое газодувки (воздуходувки)?

- А) машины, сжимающие газ до  $0,2 \text{ мН/м}^2$  ( $2 \text{ кгс/см}^2$ )
- В) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, сжимающие газ до  $0,2 - 1 \text{ мН/м}^2$  ( $2 - 10 \text{ кгс/см}^2$ )
- Д) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ мН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

6. Где получили применение компрессоры среднего давления?

- А) пневматические установки
- В) в азотно-туковом производстве
- С) в химической, нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности
- Д) в металлургическом производстве

7. Где получили применение воздуходувки?

- А) пневматические установки
- В) в азотно-туковом производстве
- С) в химической, нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности
- Д) в металлургическом производстве

8. Из каких частей состоят передвижные компрессоры?

- А) V – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- В) Т – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, воздухооборника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- С) V – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, воздухооборника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- Д) Т – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах

9. Укажите типовые конструкции распределительных клапанов компрессора

- А) дисковый, кольцевой, прямоточный
- В) кольцевой, треугольный, спиральный
- С) прямоточный, дисковый, треугольный
- Д) дисковый, треугольный, спиральный

10. Какую набивку имеют сальники, устанавливаемые в цилиндрах компрессора?

- А) металлическую

- В) деревянную
- С) пластмассовую
- Д) резиновую

### Вариант-7

1. Для чего предназначены поршневые компрессоры?

- А) для расширения газа
- В) для подачи воздуха
- С) для сжатия газа
- Д) для вытяжки воздуха

2. Что представляют собой дожимные компрессоры?

- А) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое ниже атмосферного
- В) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое ниже атмосферного
- С) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое выше атмосферного
- Д) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое выше атмосферного

3. На сколько классов можно разделить современные машины для сжатия и перекачки газов?

- А) на 2 класса
- В) на 3 класса
- С) на 4 класса
- Д) на 6 классов

4. Какие компрессоры называют компрессорами высокого давления?

- А) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного
- В) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ МН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного
- Д) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ МН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

5. Для чего предназначены газодувки?

- А) для сжатия воздуха до  $0,2 \text{ МН/м}^2$
- В) для сжатия газа до  $0,5 \text{ МН/м}^2$
- С) для сжатия воздуха до  $0,5 \text{ МН/м}^2$
- Д) для сжатия газа до  $0,2 \text{ МН/м}^2$

6. По какой формуле определяется производительность компрессора?

- А)  $Q = \lambda \cdot V_D \cdot n$
- В)  $Q = \lambda \cdot P \cdot n$
- С)  $Q = t \cdot P / n$
- Д)  $Q = V_D \cdot n$

7. Какие компрессоры называют циркуляционными?

- А) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-100 \text{ МН/м}^2$  ( $200-1000 \text{ кгс/см}^2$ )
- В) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $40-60 \text{ МН/м}^2$  ( $400-800 \text{ кгс/см}^2$ )

- С) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-150 \text{ мН/м}^2$  ( $200-1200 \text{ кгс/см}^2$ )  
D) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-80 \text{ мН/м}^2$  ( $400-950 \text{ кгс/см}^2$ )

8. Какую набивку имеют сальники, устанавливаемые в цилиндрах компрессора?

- A) металлическую  
B) деревянную  
C) пластмассовую  
D) резиновую

9. Для чего в компрессорных установках устанавливают предохранительные клапаны?

- A) для предупреждения повышения давления выше нормы  
B) для регулирования расхода масла в смазочных устройствах  
C) для получения вакуума  
D) для регулирования производительности

10. Что представляет производительность компрессора?

- A) V                                      B) P                                      C)  $\lambda$                                       D) Q

### Вариант-8

1. В каком веке появились первые поршневые воздухопроводные машины?

- A) в первой половине XIX века  
B) в XVIII веке  
C) в конце XIX века  
D) в первой половине XVIII века

2. Какой компрессор можно назвать идеальным?

- A) температура газа в период всасывания и нагнетания неизменна  
B) в конце сжатия весь газ выталкивается поршнем из цилиндра  
C) давление во всасывающих и нагнетательных трубках постоянно  
D) все ответы верны

3. Какие компрессоры относятся к третьему классу?

- A) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (поршневые, ротационные диафрагменные и винтовые компрессоры)  
B) машины, в которых газу сообщается большая скорость и кинетическая энергия потока, которая затем преобразуется в работу сжатия нагнетаемого газа (лопастные – центробежные)  
C) струйные машины, которые наименее распространены  
D) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)

4. Какие компрессоры называют компрессорами среднего давления?

- A) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного  
B) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )  
C) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного  
D) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ мН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

5. Что представляет собой передвижной компрессор?
- A) передвижная компрессорная v - образная станция 3-х ступенчатого сжатия
  - B) передвижная компрессорная п - образная станция 3-х ступенчатого сжатия
  - C) передвижная компрессорная п - образная станция 2-х ступенчатого сжатия
  - D) передвижная компрессорная v - образная станция 2-х ступенчатого сжатия
6. Единица измерения компрессора?
- A) сек / м<sup>3</sup>
  - B) м<sup>3</sup> / сек
  - C) об / сек
  - D) м<sup>3</sup>
7. Из чего состоит поршневой компрессор?
- A) цилиндра, всасывающего и нагнетательного патрубков, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма
  - B) цилиндра, всасывающего патрубка, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма
  - C) цилиндра, всасывающего и нагнетательного патрубков, кривошипно-шатунного механизма
  - D) всасывающего и нагнетательного патрубков, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма
8. Укажите типовые конструкции распределительных клапанов компрессора
- A) дисковый, кольцевой, прямоточный
  - B) кольцевой, треугольный, спиральный
  - C) прямоточный, дисковый, треугольный
  - D) дисковый, треугольный, спиральный
9. Какова основная задача смазочных устройств в компрессорах?
- A) создание глубокого вакуума
  - B) повышение температуры газа
  - C) уменьшение износа трущихся поверхностей и снижение энергии на трение
  - D) повышение производительности
10. Какие холодильники применяются для высоких давлений?
- A) батарейные
  - B) радиаторные
  - C) змеевиковые
  - D) холодильники с воздушным охлаждением

### Вариант-9

1. Какие компрессоры относятся к I- классу?
- A) поршневые, ротационные и винтовые
  - B) струйные, поршневые и осевые
  - C) центробежные и осевые
  - D) ротационные, центробежные и струйные
2. Компрессоры среднего давления снижают газ до?
- A)  $0,2 \div 1 \text{ МН/м}^2$
  - B)  $1 \div 10 \text{ МН/м}^2$
  - C)  $10 \text{ МН/м}^2$
  - D)  $10 \div 20 \text{ МН/м}^2$

3 В каком веке появились первые воздуходувки центробежного и осевого типов?

- A) в первой половине XIX века
- B) в XVIII веке
- C) в конце XIX века
- D) в первой половине XVIII века

4. За счёт чего в поршневых компрессорах происходит изменение объёма в полости сжатия?

- A) за счёт перемещения поршня
- B) за счёт всасывающего патрубка
- C) за счёт нагнетательного патрубка
- D) за счёт кривошипа

5. Что представляет удельный расход?

- A)  $N_{уд} = N_{пол}/3600 Q$
- B)  $N_{уд} = N_{пол}/Q$
- C)  $N_{уд} = Q/3600 N_{пол}$
- D)  $N_{уд} = N_{пол}/3600$

6. Для чего устанавливаются предохранительные клапаны?

- A) для предупреждения о повышении скорости
- B) для предупреждения о понижении скорости
- C) для предупреждения о понижении давления
- D) для предупреждения о повышении давления

7. Какие компрессоры называют компрессорами среднего давления?

- A) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного
- B) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- C) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного
- D) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ мН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

8. Для чего в компрессорных установках устанавливают предохранительные клапаны?

- A) для предупреждения повышения давления выше нормы
- B) для регулирования расхода масла в смазочных устройствах
- C) для получения вакуума
- D) для регулирования производительности

9. Сколько существует способов смазки цилиндров компрессора?

- A) 2
- B) 4
- C) 1
- D) 3

10. Что представляет рабочий объём цилиндра?

- A) Q
- B) VD
- C)  $\lambda$
- D) n

### Вариант-10

1. Что представляют собой дожимные компрессоры?

- A) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое ниже атмосферного
- B) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое ниже атмосферного
- C) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое выше атмосферного
- D) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое выше атмосферного

2. При каком давлении осуществляют работу циркуляционные компрессоры?

- A)  $1 \div 20 \text{ МН/м}^2$
- B)  $20 \div 100 \text{ МН/м}^2$
- C)  $100 \div 200 \text{ МН/м}^2$
- D)  $200 \text{ МН/м}^2$

3. Что представляет собой передвижной компрессор?

- A) передвижная компрессорная v - образная станция 3-х ступенчатого сжатия
- B) передвижная компрессорная п - образная станция 3-х ступенчатого сжатия
- C) передвижная компрессорная п - образная станция 2-х ступенчатого сжатия
- D) передвижная компрессорная v - образная станция 2-х ступенчатого сжатия

4. Какие преимущества у прямоугольных компрессоров?

- A) высокий КПД, небольшие габариты, лёгкий фундамент для их установки
- B) высокий КПД, высокая экономичность, лёгкий фундамент для их установки
- C) простота эксплуатации, небольшие габариты, лёгкий фундамент для их установки
- D) высокий КПД, небольшие габариты, долговечность

5. В каких единицах измеряется сжатие воздуха?

- A)  $\text{см}^2 / \text{кгс}$
- B)  $\text{м}^3$
- C)  $\text{см}^2$
- D)  $\text{кгс} / \text{см}^2$

6. Какие компрессоры относятся ко второму классу?

- A) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (поршневые, ротационные диафрагменные и винтовые компрессоры)
- B) машины, в которых газу сообщается большая скорость и кинетическая энергия потока, которая затем преобразуется в работу сжатия нагнетаемого газа (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)
- C) струйные машины, которые наименее распространены
- D) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)

7. За счёт чего в поршневых компрессорах происходит изменение объёма в полости сжатия?

- A) за счёт перемещения поршня
- B) за счёт всасывающего патрубка
- C) за счёт нагнетательного патрубка
- D) за счёт кривошипа

8. Что такое вакуум-компрессоры?

- A) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного
- B) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ МН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- C) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного
- D) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ МН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

9. Что такое газодувки (воздуходувки)?

- A) машины, сжимающие газ до  $0,2 \text{ МН/м}^2$  ( $2 \text{ кгс/см}^2$ )

- В) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, сжимающие газ до  $0,2 - 1 \text{ мН/м}^2$  ( $2 - 10 \text{ кгс/см}^2$ )
- Д) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ мН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )

10. По какой формуле определяется производительность компрессора?

- А)  $Q = \lambda \cdot V D \cdot n$
- В)  $Q = \lambda \cdot P n$
- С)  $Q = t \cdot P/n$
- Д)  $Q = V D \cdot n$

### Вариант-11

1. Какую набивку имеют сальники, устанавливаемые в цилиндрах компрессора?

- А) металлическую
- В) деревянную
- С) пластмассовую
- Д) резиновую

2. В каком веке появились первые воздуходувки центробежного и осевого типов?

- А) в первой половине XIX века
- В) в XVIII веке
- С) в конце XIX века
- Д) в первой половине XVIII века

3. Какие компрессоры относятся к первому классу?

- А) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (поршневые, ротационные диафрагменные и винтовые компрессоры)
- В) машины, в которых газу сообщается большая скорость и кинетическая энергия потока, которая затем преобразуется в работу сжатия нагнетаемого газа (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)
- С) струйные машины, которые наименее распространены
- Д) машины, в которых сжатие осуществляется в замкнутой полости, объём которой периодически изменяется (лопастные – центробежные и осевые компрессоры)

4. Из чего состоит поршневой компрессор?

- А) цилиндра, всасывающего и нагнетательного патрубков, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма
- В) цилиндра, всасывающего патрубка, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма
- С) цилиндра, всасывающего и нагнетательного патрубков, кривошипно-шатунного механизма
- Д) всасывающего и нагнетательного патрубков, самодействующих клапанов поршня, кривошипно-шатунного механизма

5. Что представляет удельный расход?

- А)  $N_{уд} = N_{пол} / 3600 \cdot Q$
- В)  $N_{уд} = N_{пол} / Q$
- С)  $N_{уд} = Q / 3600 \cdot N_{пол}$
- Д)  $N_{уд} = N_{пол} / 3600$

6. Где получили применение воздуходувки?

- А) пневматические установки
- В) в азотно-туковом производстве

- С) в химической, нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности
- Д) в металлургическом производстве

7. Какие компрессоры называют циркуляционными?

- А) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-100 \text{ МН/м}^2$  ( $200-1000 \text{ кгс/см}^2$ )
- В) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $40-60 \text{ МН/м}^2$  ( $400-800 \text{ кгс/см}^2$ )
- С) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-150 \text{ МН/м}^2$  ( $200-1200 \text{ кгс/см}^2$ )
- Д) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-80 \text{ МН/м}^2$  ( $400-950 \text{ кгс/см}^2$ )

8. Единица измерения компрессора?

- А) сек /  $\text{м}^3$
- В)  $\text{м}^3$  / сек
- С) об / сек
- Д)  $\text{м}^3$

9. Из каких частей состоят передвижные компрессоры?

- А) V – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- В) Т – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, воздухохранилища, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- С) V – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, воздухохранилища, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- Д) Т – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах

10. Укажите типовые конструкции распределительных клапанов компрессора

- А) дисковый, кольцевой, прямоточный
- В) кольцевой, треугольный, спиральный
- С) прямоточный, дисковый, треугольный
- Д) дисковый, треугольный, спиральный

## Вариант-12

1. Для чего предназначены поршневые компрессоры?

- А) для расширения газа
- В) для подачи воздуха
- С) для сжатия газа
- Д) для вытяжки воздуха

2. Компрессоры среднего давления снижают газ до?

- А)  $0,2 \div 1 \text{ МН/м}^2$
- В)  $1 \div 10 \text{ МН/м}^2$
- С)  $10 \text{ МН/м}^2$
- Д)  $10 \div 20 \text{ МН/м}^2$

3. Для чего применяют холодильные установки?
- A) чтобы получить температуру газа ниже температуры окружающей среды
  - B) чтобы получить температуру газа выше температуры окружающей среды
  - C) чтобы получить температуру газа равной температуре окружающей среды
  - D) чтобы получить температуру газа выше атмосферного давления
4. При каком сжатии газа затрачивается наименьшее количество работы?
- A) изотермическом
  - B) адиабатном
  - C) тепловом
  - D) охлаждательном
5. В марке компрессора 5 ВП 20/35, что означает буква П?
- A) компрессор - для сжатия
  - B) компрессор - холодильный
  - C) компрессор – прямоугольного типа
  - D) компрессор – воздушный
6. В чём основная задача смазки?
- A) уменьшения износа трущихся поверхностей
  - B) увеличения износа трущихся поверхностей
  - C) повышения расхода энергии на трение
  - D) понижения уплотняющей способности
7. Какие компрессоры называют компрессорами низкого давления?
- A) машины, сжимающие газ до  $0,2 \text{ МН/м}^2$  ( $2 \text{ кгс/см}^2$ )
  - B) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ МН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
  - C) машины, сжимающие газ до  $0,2 - 1 \text{ МН/м}^2$  ( $2 - 10 \text{ кгс/см}^2$ )
  - D) машины, сжимающие газ до  $1-10 \text{ МН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )
8. Какие компрессоры называют циркуляционными?
- A) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-100 \text{ МН/м}^2$  ( $200-1000 \text{ кгс/см}^2$ )
  - B) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $40-60 \text{ МН/м}^2$  ( $400-800 \text{ кгс/см}^2$ )
  - C) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-150 \text{ МН/м}^2$  ( $200-1200 \text{ кгс/см}^2$ )
  - D) машины, осуществляющие циркуляцию газа в установках синтеза, давление в системах которых составляет  $20-80 \text{ МН/м}^2$  ( $400-950 \text{ кгс/см}^2$ )
9. Какие преимущества у прямоугольных компрессоров?
- A) высокий КПД, небольшие габариты, лёгкий фундамент для их установки
  - B) высокий КПД, высокая экономичность, лёгкий фундамент для их установки
  - C) простота эксплуатации, небольшие габариты, лёгкий фундамент для их установки
  - D) высокий КПД, небольшие габариты, долговечность
10. Какую набивку имеют сальники, устанавливаемые в цилиндрах компрессора?
- A) металлическую
  - B) деревянную
  - C) пластмассовую
  - D) резиновую

### Вариант-13

1. Какие компрессоры относятся к I- классу?

- A) поршневые, ротационные и винтовые
  - B) струйные, поршневые и осевые
  - C) центробежные и осевые
  - D) ротационные, центробежные и струйные
2. Для чего предназначены поршневые компрессоры?
- A) для расширения газа
  - B) для подачи воздуха
  - C) для сжатия газа
  - D) для вытяжки воздуха
3. Что представляет собой передвижной компрессор?
- A) передвижная компрессорная v - образная станция 3-х ступенчатого сжатия
  - B) передвижная компрессорная п - образная станция 3-х ступенчатого сжатия
  - C) передвижная компрессорная п - образная станция 2-х ступенчатого сжатия
  - D) передвижная компрессорная v - образная станция 2-х ступенчатого сжатия
4. Для чего применяют холодильные установки?
- A) чтобы получить температуру газа ниже температуры окружающей среды
  - B) чтобы получить температуру газа выше температуры окружающей среды
  - C) чтобы получить температуру газа равной температуре окружающей среды
  - D) чтобы получить температуру газа выше атмосферного давления
5. Вакуумную машину можно рассматривать как компрессор, при помощи которого:
- A) заряженный газ снижается до атмосферного
  - B) разряженный газ снижается до атмосферного
  - C) заряженный газ снижается выше атмосферного
  - D) разряженный газ снижается ниже атмосферного
6. В каких единицах измеряется сжатие воздуха?
- A)  $\text{см}^2 / \text{кгс}$
  - B)  $\text{м}^3$
  - C)  $\text{см}^2$
  - D)  $\text{кгс} / \text{см}^2$
7. Для чего предназначены газодувки?
- A) для сжатия воздуха до  $0,2 \text{ МН/м}^2$
  - B) для сжатия газа до  $0,5 \text{ МН/м}^2$
  - C) для сжатия воздуха до  $0,5 \text{ МН/м}^2$
  - D) для сжатия газа до  $0,2 \text{ МН/м}^2$
8. Что называется производительностью компрессора?
- A) геометрическая характеристика, зависящая от давления и температуры
  - B) геометрическая характеристика, зависящая от влажности всасываемого газа
  - C) геометрическая характеристика, независящая от давления, температуры и влажности всасываемого газа
  - D) геометрическая характеристика, независящая от объёма и производительности компрессора
9. Какую форму имеют газосборники?
- A) прямоугольную
  - B) цилиндрическую
  - C) форму куба
  - D) треугольную
10. Что представляет рабочий объем цилиндра?

- A) Q                      B) VD                      C)  $\lambda$                       D) n

## Вариант-14

1. Компрессоры среднего давления снижают газ до?  
А)  $0,2 \div 1 \text{ МН/м}^2$   
В)  $1 \div 10 \text{ МН/м}^2$   
С)  $10 \text{ МН/м}^2$   
D)  $10 \div 20 \text{ МН/м}^2$
2. Что представляют собой дожимные компрессоры?  
А) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое ниже атмосферного  
В) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое ниже атмосферного  
С) компрессоры расширяющие газ, начальное давление которое выше атмосферного  
D) компрессоры сжимающие газ, начальное давление которое выше атмосферного
3. При каком давлении осуществляют работу циркуляционные компрессоры?  
А)  $1 \div 20 \text{ МН/м}^2$  В)  $20 \div 100 \text{ МН/м}^2$  С)  $100 \div 200 \text{ МН/м}^2$  D)  $200 \text{ МН/м}^2$
4. Для чего предназначены вакуум - насосы?  
А) для откачивания газа, где давление ниже атмосферного  
В) для откачивания газа, где давление выше атмосферного  
С) для откачивания газа, где давление равно атмосферного  
D) для откачивания воздуха, где давление ниже атмосферного
5. Какой компрессор можно назвать идеальным?  
А) температура газа в период всасывания и нагнетания неизменна  
В) в конце сжатия весь газ выталкивается поршнем из цилиндра  
С) давление во всасывающих и нагнетательных трубках постоянно  
D) все ответы верны
6. При каком сжатии газа затрачивается наименьшее количество работы?  
А) изотермическом В) адиабатном  
С) тепловом D) охладительном
7. В марке компрессора 5 ВП 20/35, что означает буква П?  
А) компрессор - для сжатия В) компрессор - холодильный  
С) компрессор – прямоугольного типа D) компрессор – воздушный
8. Что представляет механический КПД:  
А)  $\eta_{\text{пол}}$   
В)  $\eta_{\text{всп}}$   
С)  $\eta_{\text{мех}}$   
D)  $\eta_{\text{уд}}$
9. Для чего нужны фильтры в компрессорах?  
А) для увеличения уплотняющей способности поршневых колец  
В) для уменьшения расхода энергии на трение  
С) для расширения воздуха или газа  
D) для очистки воздуха или газа
10. Единица измерения компрессора?  
А)  $\text{сек} / \text{м}^3$

- В)  $\text{м}^3 / \text{сек}$
- С)  $\text{об} / \text{сек}$
- Д)  $\text{м}^3$

### Вариант-15

1. В каком веке появились первые воздуходувки центробежного и осевого типов?
  - А) в первой половине XIX века
  - В) в XVIII веке
  - С) в конце XIX века
  - Д) в первой половине XVIII века
2. На сколько классов можно разделить современные машины для сжатия и перекачки газов?
  - А) на 2 класса
  - В) на 3 класса
  - С) на 4 класса
  - Д) на 6 классов
3. За счёт чего в поршневых компрессорах происходит изменение объёма в полости сжатия?
  - А) за счёт перемещения поршня
  - В) за счёт всасывающего патрубка
  - С) за счёт нагнетательного патрубка
  - Д) за счёт кривошипа
4. Какие компрессоры называют компрессорами высокого давления?
  - А) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением выше атмосферного
  - В) машины, сжимающие газ до давления превышающего  $10 \text{ мН/м}^2$  ( $100 \text{ кгс/см}^2$ )
  - С) машины, нагнетание в которых происходит в пространстве с давлением ниже атмосферного
  - Д) машины, сжимающие газ до  $1\text{-}10 \text{ мН/м}^2$  ( $10 - 100 \text{ кгс/см}^2$ )
5. Где получили применение компрессоры среднего давления?
  - А) пневматические установки
  - В) в азотно-туковом производстве
  - С) в химической, нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности
  - Д) в металлургическом производстве
6. Укажите основные части промежуточного холодильника:
  - А) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, шатуны, крейцкофы
  - В) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, шатуны, диффузор
  - С) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, лопаточное колесо, крейцкофы
  - Д) станина, картер, стальной кованный коленчатый вал, шатуны
7. Из каких частей состоят передвижные компрессоры?
  - А) V – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах

- В) Т – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, воздухоборника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- С) V – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, воздухоборника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах
- Д) Т – образного компрессора двухступенчатого сжатия, промежуточного воздушного холодильника, двигателя, смонтированных вместе со всем вспомогательным оборудованием на двухосной прицепной тележке на шинах

8. Какова основная задача смазочных устройств в компрессорах?

- А) создание глубокого вакуума
- В) повышение температуры газа
- С) уменьшение износа трущихся поверхностей и снижение энергии на трение
- Д) повышение производительности

9. Какую набивку имеют сальники, устанавливаемые в цилиндрах компрессора?

- А) металлическую
- В) деревянную
- С) пластмассовую
- Д) резиновую

10. Для чего в компрессорных установках устанавливают предохранительные клапаны?

- А) для предупреждения повышения давления выше нормы
- В) для регулирования расхода масла в смазочных устройствах
- С) для получения вакуума
- Д) для регулирования производительности

## **ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ**

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

### **Билет-1**

1. Физические свойства воздуха.
2. Поршневые компрессоры. Принцип действия и назначение.
3. Центробежные вентиляторы.
4. Формула коэффициента динамической вязкости.
5. Понятие воздухоудовок.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-2**

- 1.Производительность вентиляторов.
- 2.Совместная работа вентиляторов.
- 3.Передвижные компрессоры.
- 4.Понятие плотности.
- 5.Понятие поршневого компрессора.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-3**

- 1.Типы вентиляторов.
- 2.Определение установочной мощности двигателя вентиляторов.
- 3.Холодильные компрессоры.
- 4.Определение относительной влажности.
- 5.Определение многоступенчатых поршневых компрессоров.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-4**

- 1.Сравнение осевых и центробежных вентиляторов.
- 2.Электродвигатели вентиляторов.
- 3.Турбокомпрессоры.
- 4.Определение вентиляторов.
- 5.Понятие нагнетателей.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-5**

1. Работа лопаточного колеса вентиляторов.
2. Стационарные электроприводные компрессоры.
3. Классы компрессоров.
4. Формула полезной мощности.
5. Понятие производительность компрессора и ее формула.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-6**

1. Характеристика вентиляторов.
2. Конструктивные элементы компрессора.
3. Осевые вентиляторы.
4. Определение двух стороннего центробежного вентилятора.
5. Определение ротационных компрессоров.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-7**

1. Метод наложения характеристик вентиляторов.
2. Газомоторные компрессоры.
3. Предохранительные клапаны компрессоров.
4. Критерий быстроходности для осевых и центробежных вентиляторов.
5. Определение вакуум-компрессора.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

### **Билет-8**

1. Физические свойства воздуха.
2. Поршневые компрессоры. Принцип действия и назначение.
3. Центробежные вентиляторы.
4. Формула коэффициента динамической вязкости.
5. Понятие воздухоудовок.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

### **Билет-9**

1. Производительность вентиляторов.
2. Совместная работа вентиляторов.
3. Передвижные компрессоры.
4. Понятие плотности.
5. Понятие поршневого компрессора.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

### **Билет-10**

1. Типы вентиляторов.
2. Определение установочной мощности двигателя вентиляторов.
3. Холодильные компрессоры.
4. Определение относительной влажности.
5. Определение многоступенчатых поршневых компрессоров.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

### **Билет-11**

1. Сравнение осевых и центробежных вентиляторов.
2. Электродвигатели вентиляторов.
3. Турбокомпрессоры.
4. Определение вентиляторов.
5. Понятие нагнетателей.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

### **Билет-12**

1. Работа лопаточного колеса вентиляторов.
2. Стационарные электроприводные компрессоры.
3. Характеристика  $\eta$  -Q вентиляторов.
4. Формула полезной мощности.
5. Понятие производительность компрессора и ее формула.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

### **Билет-13**

1. Характеристика вентиляторов.
2. Конструктивные элементы компрессора.
3. Осевые вентиляторы.
4. Определение двух стороннего центробежного вентилятора.
5. Определение ротационных компрессоров.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-14**

- 1.Метод наложения характеристик вентиляторов.
- 2.Газомоторные компрессоры.
- 3.Характеристика  $p$ - $Q$  вентиляторов.
- 4.Критерий быстроходности для осевых и центробежных вентиляторов.
- 5.Определение вакуум-компрессора.

Зав. каф. ПСЭИК

---

**Предмет: «Вентиляторы и компрессоры»**

**Билет-15**

- 1.Физические свойства воздуха.
- 2.Поршневые компрессоры. Принцип действия и назначение.
- 3.Характеристика  $N$ - $Q$  вентиляторов.
- 4.Формула коэффициента динамической вязкости.
- 5.Понятие воздуходувок.

Зав. каф. ПСЭИК

---