**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА,**

**методические указания и индивидуальное задание**

**к изучению дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели»**

**для студентов специальности 7.090510**

**УТВЕРЖДЕНО**

**На заседании Ученого совета**

**Академии**

**Протокол № 1 от 01.02.10**

**Днепропетровск НМетАУ 2010**

УДК 621.63

Рабочая программа, методические указания и индивидуальное задание к изучению дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» для студентов специальности 7.090510 ∕ Сост.: Н.В. Ливитан, Н.С. Аверина. – Днепропетровск: НМетАУ, 2010. – 34 с.

Представлены рабочая программа, методические указания и индивидуальное задание к изучению дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели», а также необходимые для работы дополнительные сведения.

Предназначена для студентов специальности 7.090510 – теплоэнергетика заочной формы образования.

Составители: Н.В.Ливитан, канд. техн. наук. доц.

 Н.С.Аверина, ст. преподаватель.

**1.ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

При изучении дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» студенты-заочники, руководствуясь программой дисциплины, самостоятельно работают над учебниками и учебными пособиями. Рекомендуется прослушать обзорные лекции по основным вопросам дисциплины. Материалы дисциплины изучаются по основному и дополнительному списку учебников (см. предлагаемый список литературы), а также с использованием прилагаемого краткого конспекта лекций.

Для практического использования полученных знаний студент обязан выполнить контрольные задания.

**2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**2.1. Термодинамические и гидродинамические основы процессов сжатия и расширения в нагнетательных машинах и тепловых двигателях.**

Короткая историческая справка о разработке и развитии нагнетателей и тепловых двигателей.

Классификация. Сферы использования. Основные понятия и определение. Течение жидкости и газов в каналах. Основные предположения. Уравнение состояния, неразрывности, количества и момента количества движения, сохранения энергии. Влияние формы канала на характер изоэнтропного течения. Термодинамические основы процессов сжатие и расширение газов и паров.

Изоэнтропное течение газов и паров. Сжимаемость газов. Критерий сжимаемости. Влияние формы канала на характер изоэнтропного течения. Термодинамические основы процессов сжатие и расширение газов и паров.

Энергетическая суть процессов сжатия и расширение в нагнетателях и тепловых двигателях.

**2.2. Теоретические основы нагнетателей центробежного действия.**

Принцип работы нагнетателей центробежного действия. Уравнение Ейлера. Теоретической и соответствующей действительности напор. Гидравлические, объемные и механические потери в рабочем колесе. Коэффициент полезного действия, мощность. Характеристики нагнетателей. Совместная работа нагнетателя и сети. Способы регулирования производительности нагнетателей. Совместная работа нагнетателей. Выбор нагнетателей.

Теоретический и соответствующий действительности напор. Влияние геометрических характеристик рабочего колеса на напор. Типы рабочих лопаток центробежных и осевых нагнетателей, вентиляторов.

Сходство нагнетателей. Коэффициент быстроходности. Способы регулирования производительности нагнетателей. Допустимая высота всасывания центробежных насосов. Выбор нагнетателей.

**2.3. Теоретические основы нагнетателей объемного действия.**

Принцип работы нагнетателей объемного действия. Поршневые насосы. Область использования. Неравномерность всасывания и подачи. КПД и мощность насоса. Поршневые компрессоры. Индикаторная диаграмма. Работа, мощность, КПД компрессора. Мертвое пространство и его влияние на производительность. Многоступенчатое сжатие.

Поршневые насосы. Область использования. Многоступенчатое сжатие и типы многоступенчатых компрессоров. Вакуумные насосы. Область использования. КПД. Мощность.

**2.4 Центробежные и осевые турбокомпрессоры.**

Принцип действия и область применения центробежных и осевых турбокомпрессоров. Конструктивные особенности. Характеристики турбокомпрессоров. Перерасчет характеристик. Работа компрессора и способы его регулирования. Мощность на валу, КПД.

**2.5 Компрессорные, насосные и вентиляторные установки, вопросы эксплуатации.**

Оснащение и схема компоновки компрессорной станции. Эксплуатация и показатели экономичности компрессорной установки. Строение и эксплуатация насосных установок. Вентиляторные установки и их эксплуатация.

**2.6 Теоретические основы работы турбинной степени.**

Короткая история развития паровых турбин. Классификация паровых турбин. Принцип работы. Тепловой цикл паротурбинной установки. КПД цикла. Пути повышения эффективности паротурбинной установки. Коэффициент полезного действия паровых турбин. Превращение энергии в соплах. Работа сопла Лаваля при изоэнтропных течениях в нерасчетных режимах. Неизоэнтропное истечение из сопел. Превращение энергии в турбинной степени. Преобразование энергии потока в активной и реактивной степенях. Треугольник скоростей. Относительный лопаточный КПД. Потери энергии в паровых турбинах.

Турбины со степенями скорости и преобразования энергии в соплах. Изоэнтропный процесс расширения пары. Скорость истечения и расход пара. Работа сопла Лаваля при изоэнтропном расширении и в нерасчетных режимах. Изоэнтропное расширение в соплах с косым срезом. Неизоэнтропное расширение из сопел. Превращение энергии в турбинной степени. Основные геометрические характеристики турбинной степени.

**2.7. Многоступенчатые паровые турбины.**

Многоступенчатые турбины – турбины высокой экономичности. Коэффициент возвращения теплоты. Характеристический коэффициент многоступенчатой турбины. Предельная и единичная мощность турбины.

Конструктивные особенности многоступенчатых паровых турбин. Основы превращения энергии в многоступенчатых паровых турбинах.

**2.8. Газовые турбины и газотурбинные установки.**

Рабочий процесс в газовой турбине. Схемы и циклы газотурбинных установок (ГТУ). Утилизация теплоты отходящих газов ГТУ. Парогазовые установки.

Схемы и циклы газотурбинных установок (ГТУ). Одновальные ГТУ с регенерацией. ГТУ с промежуточным охлаждением воздуха. ГТУ с промежуточным подводом теплоты. Двовальные ГТУ. Утилизация теплоты отходящих газов ГТУ.

**2.9. Сменный режим, авторегулирование, защита паровых и газовых турбин.**

Режимы работы паровых и газовых турбин. Принципиальные схемы, устройство, преимущества и недостатки соплового, дроссельного и обводного парораспределения.

Принципиальные схемы регулирования паровых (конденсационных, с противодавлением и регулированными отборами пара) и газовых турбин. Статическая характеристика регулирования. Запуск и остановка турбин.

Назначение защиты паровых и газовых турбин. Принципиальные схемы и способы защиты. Маслообеспечение, схемы маслоподачи паровых и газовых турбин.

**2.10. Схемы, элементы оснащения и вопросы эксплуатации паротурбинных и газотурбинных установок.**

Принципиальные схемы паротурбинных установок с противодавленческой турбиной и турбиной с регулированными отборами пара. Газотурбинные установки. Область использования.

Диаграммы режимов, эксплуатация паротурбинных установок. Основное оснащение и эксплуатация газотурбинных установок.

**2.11. Двигатели внутреннего сгорания (ДВС)**

Принципы построения и работы ДВС. Классификация ДВС. Термодинамические циклы ДВС. Четырехтактные и двухтактные ДВС. Топливо ДВС. Системы смесеобразования, зажигание и охлаждение ДВС. Повышение мощности и экономичности ДВС.

**3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

**1. Термодинамические и гидродинамические основы процессов сжатия и расширения в нагнетательных машинах и тепловых двигателях.**

1. Назначение и классификация нагнетателей
2. Назначение и классификация тепловых двигателей

#### Запишите уравнение состояния

1. Приведите уравнение неразрывности потока
2. Запишите уравнение изменения количества движения
3. Запишите уравнение сохранения энергии потока
4. Как влияет форма канала на характер неизоэнтропного потока ?

**2. Теоретические основы нагнетателей центробежного действия.**

1. Назовите основные параметры работы нагнетателей
2. При каких условиях выводится уравнение Эйлера ?
3. Как влияют конструктивные параметры нагнетателя на его напор ?
4. Приведите известные Вам способы регулирования расхода нагнетателей
5. Сравните разные способы регулирования расхода нагнетателей
6. Устойчивость совместной работы нагнетателей и сети.
7. Понятие помпажа
8. Особенности параллельного подключения нагнетателей
9. Особенности последовательного подключения нагнетателей

**3. Теоретические основы нагнетателей объемного действия.**

1. Постройте типичную характеристику нагнетателя объемного действия
2. Приведите схему поршневого компрессора
3. Коэффициент объемной подачи поршневого компрессора
4. Объясните необходимость многоступенчатого сжатия
5. Назовите способы регулирования расхода поршневого компрессора
6. Сравните разные способы регулирования расхода поршневых компрессора

**4. Центробежные и осевые турбокомпрессоры.**

1. Как выглядит типовая напорная характеристика турбокомпрессора ?
2. На каких участках характеристики турбокомпрессора ?
3. Перечислите способы регулирования турбокомпрессоров.

**5. Копрессорные, насосные и вентиляторные установки, вопросы эксплуатации.**

1. Перечислите основные требования к компоновке компрессорной станции.
2. Назовите основные показатели экономичности компрессорной установки.
3. Как осуществляется пуск и остановка вентиляторной установки ?

**6. Теоретические основы работы турбинной степени.**

1. Принцип работы паровых турбин
2. Классификация паровых турбин
3. Понятие турбинной степени
4. Определение турбинной степени активного типа
5. Определение турбинной степени реактивного типа
6. Приведите схему радиальной турбины и назовите основные ее достоинства и недостатки

**7. Многоступенчатые паровые турбины.**

1. Основные достоинства многоступенчатых паровых турбин
2. Назовите внешние и внутренние потери в паровых турбинах
3. Приведите тепловой процесс многоступенчатой паровой турбины на I-S диаграмме
4. Понятие коэффициента возвращения теплоты

**8. Газовые турбины и газотурбинные установки.**

1. Назовите основные циклы ГТУ
2. Что дает промежуточное охлаждение воздуха в ГТУ?
3. Как утилизируется теплота отходящих газов в ГТУ ?

**9. Сменный режим, авторегулирование, защита паровых и газовых турбин.**

1. Приведите пути повышения единичной мощности паровой турбины
2. Охарактеризуйте режимы работы паровых турбин
3. Переменный режим работы паровых турбин
4. Способы регулирования мощности многоступенчатых паровых турбин

**10. Схемы, элементы оснащения и вопросы эксплуатации паротурбинных и газотурбинных установок.**

1. Как осуществляется запуск паротурбинных установок ?
2. Особенности остановки паротурбинных установок.
3. Чем отличаются условия эксплуатации паротурбинных и газотурбинных установок ?

**11. Двигатели внутреннего сгорания (ДВС)**

1. Каковы основные принципы классификации ДВС ?
2. Преимущества и недостатки четырехтактных и двухтактных ДВС.
3. Пути повышения мощности и экономичности ДВС.

##### Контроль обучения

# **Контрольная работа** - Расчет параметров компрессоров и построение соответствующих индикаторных диаграмм.

# **Конечный вид контроля - экзамен.**

**Вопросы к конечному контролю**

1. Назначение и классификация нагнетателей
2. Назначение и классификация тепловых двигателей
3. Запишите уравнение состояния
4. Приведите уравнение неразрывности потока
5. Запишите уравнение изменения количества движения
6. Приведите уравнение изменения момента количества движения
7. Запишите уравнение сохранения энергии потока
8. Число Маха как критерий сжимаемости
9. Как влияет форма канала на характер неизоэнтропного потока ?
10. Назовите основные параметры работы нагнетателей
11. При каких условиях выводится уравнение Эйлера ?
12. Выведите уравнения Эйлера
13. Как влияют конструктивные параметры нагнетателя на его напор
14. Приведите характеристики нагнетателей
15. Приведите особенности совместной работы нагнетателей и сети
16. Приведите известные Вам способы регулирования расхода нагнетателей
17. Сравните разные способы регулирования расхода нагнетателей
18. Устойчивость совместной работы нагнетателей и сети.
19. Понятие помпажа
20. Особенности параллельного подключения нагнетателей
21. Особенности последовательного подключения нагнетателей
22. Постройте совместную характеристику параллельно работающих нагнетателей
23. Постройте совместную характеристику последовательно включенных нагнетателей
24. Как осуществляется практический выбор насосов
25. Как осуществляется практический выбор вентиляторов
26. Постройте типичную характеристику нагнетателя объемного действия
27. Проблемы равномерности подачи и всасывания нагнетателей объемного действия
28. Приведите схему поршневого компрессора
29. Постройте теоретическую и соответствующую действительности индикаторные диаграммы поршневого компрессора
30. Процессы изотермического, политропного и адиабатного сжатия
31. Коэффициент объемной подачи поршневого компрессора
32. Объясните необходимость многоступенчатого сжатия
33. Выбор степени сжатие в многоступенчатом компрессоре
34. Назовите способы регулирования расхода поршневого компрессора
35. Сравните разные способы регулирования расхода поршневых компрессора
36. Принцип работы паровых турбин
37. Классификация паровых турбин
38. Понятие турбинной степени
39. Определение турбинной степени активного типа
40. Определение турбинной степени реактивного типа
41. Приведите схему радиальной турбины и назовите основные ее достоинства и недостатки
42. Постройте тепловой цикл паротурбинной установки в T-S координатах
43. Приведите выражение для определения термического КПД ПТУ
44. Назовите пути повышения эффективности ПТУ
45. Абсолютный и относительный КПД паровой турбины
46. Нерасчетные режимы сопла Лаваля
47. Особенности расширения пара в соплах с косым перерезом
48. Неизотермическое истечение пара из сопел
49. Приведите основные геометрические характеристики турбинной ступени
50. Рассчитайте необходимые параметры и постройте совместный треугольник скоростей для турбинной ступени активного типа
51. Рассчитайте необходимые параметры и постройте совместный треугольник скоростей для турбинной ступени реактивного типа
52. Как высчитывается силовое действие потока пара на рабочие лопатки турбинной ступени ?
53. Назовите внешние и внутренние потери в паровых турбинах
54. Основные достоинства многоступенчатых паровых турбин
55. Приведите тепловой процесс многоступенчатой паровой турбины на I-S диаграмме
56. Понятие коэффициента возвращения теплоты
57. Понятие лопаточного КПД турбинной ступени
58. Лопаточный КПД турбинной ступени активного типа
59. Лопаточный КПД турбинной ступени реактивного типа
60. Характеристический коэффициент многоступенчатой паровой турбины
61. Предельная и единичная мощность паровой турбины
62. Приведите пути повышения единичной мощности паровой турбины
63. Охарактеризуйте режимы работы паровых турбин
64. Переменный режим работы паровых турбин
65. Способы регулирования мощности многоступенчатых паровых турбин
66. **ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ**
	1. **Методические указания к выполнению индивидуального задания**

К решению задач контрольного задания необходимо приступить только после изучения соответствующего раздела курса. Рекомендуется, также, ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе.

При выполнении контрольной работы необходимо придерживаться следующих условий: а) выписывать условия задачи и исходные данные; б) решение задач сопровождать короткими пояснительными текстами; в) вычисления производить в единицах С1, показывать ход решения, проставлять размерности.

После решения задач необходимо дать короткий анализ полученных результатов и сделать выводы.

* 1. **Основные сведения по методикам расчетов параметров компрессоров**

Компрессорами называются устройства, предназначенные для сжатия и транспортировки различных газов. Все компрессоры могут быть разделены на две группы: поршневые и центробежные. Несмотря на конструктивные различия между компрессорами, термодинамические процессы сжатия газа в них одинаковы, поэтому целесообразно, сначала рассмотреть работу наиболее простого одноступенчатого поршневого компрессора.

Компрессор состоит из цилиндра с пустотелыми стенками, в которых циркулирует охлаждающая жидкость, поршня, связанного кривошипно-шатунным механизмом с двигателем, головки цилиндра, в котором помещаются всасывающий и нагнетательный клапаны.

Работу теоретического одноступенчатого компрессора рассмотрим при следующих допущениях: отсутствуют вредное пространство, трение поршня о цилиндр и дросселирование в клапанах, а всасывание и нагнетание происходит при постоянном давлении.

Рабочий процесс компрессора совершается за два хода поршня. При ходе поршня вправо открывается всасывающий клапан и газ при давлении Р1 поступает в цилиндр. Этот процесс на теоретической индикаторной Р – V диаграмме изображен, как правило, линией 1-2 и называется линией всасывания. При обратном движении поршня всасывающий клапан закрывается, газ сжимается до заданного давления Р2, после чего выталкивается из цилиндра через нагнетательный клапан в емкости для хранения или на производство. Линия 2-3 называется процессом сжатия, а линия 3-4 – линией нагнетания.

При ходе поршня вправо давление в цилиндре теоретически мгновенно падает от Р2 до Р1, закрывается нагнетательный клапан, открывается всасывающий и весь процесс повторяется.

Процесс сжатия в компрессоре в зависимости от условий теплообмена может происходить по изотерме, адиабате или политропе. Сжатие по каждому из трех процессов требует различной величины затраченной работы.

Величина работы компрессора определяется площадью индикаторной диаграммы. Сравнение вышеназванных процессов показывает, что изотермический процесс сжатия требует наименьшей затраты работы на получение 1 кг сжатого воздуха. Для приближения реальных процессов сжатия к изотермическому от сжимаемого газа отводят тепло путем охлаждения наружной поверхности цилиндра, что позволяет сжимать газ до более высоких давлений.

При изотермическом сжатии теоретическая работа компрессора, отнесенная к 1 кг газа, равна:

, Дж/кг (1)

где v - удельный объем, м3/кг,  - газовая постоянная, Дж/кг⋅К,

μ - молекулярная масса, кг/кмоль.

Для массы газа М кг и объемом V м3:

, Дж (2)

Если V1 представляет объемный расход в м3/с, то Lиз выражается в Дж/с.

Количество отводимого тепла в изотермическом процессе:

, Дж/кг или , Дж или Дж/с.

При адиабатном сжатии теоретическая работа компрессора, отнесенная к 1 кг газа равна:

, (3)

где к – показатель адиабаты, равный для одноатомных газов 1,66, для двухатомных - 1,4, для трех- и многоатомных - 1,33.

Если масса всасываемого воздуха М кг, а его объем (расход) V м3, то:

. (4)

При политропном сжатии теоретическая работа компрессора, отнесенная к 1 кг газа равна:

 (5)

где n – показатель политропы.

Для массы М кг и объема (расхода) V м3  (м3/ч):

. (6)

Если количество затрачиваемой работы выражено в Дж/с, то мощность двигателя в кВт можно определить так:

. (7)

Теоретическое количество отводимой теплоты можно найти из выражения:

, (8)

### где Сv – теплоемкость при постоянном объеме.

Действительная индикаторная диаграмма одноступенчатого компрессора отличается от теоретической переменностью давлений при всасывании и нагнетании газа, что связано с наличием потерь на дросселирование на всасывающем и нагнетательном клапанах. Кроме того, в реальном компрессоре между головкой цилиндра и поршнем в его крайнем левом положении при выталкивании сжатого газа остается некоторый свободный объем, называемый вредным пространством, доля которого в рабочем объеме цилиндра составляет 4-10%. В связи с этим после окончания нагнетания сжатого газа часть его остается во вредном пространстве, объем которого Vвр. При обратном ходе поршня эта часть газа расширяется, а всасывание новой порции начинается только после уменьшения давления Р2 до Р1.

Вредное пространство уменьшает количество засасываемого газа, определяемого объемом , и снижает производительность компрессора.

Отношение объема вредного пространства Vвр к объему, описываемому поршнем V, называется относительной величиной вредного пространства:

. (9)

Отношение объемов V и Vп называется объемным коэффициентом полезного действия:

. (10)

Объемный к.п.д. компрессора можно также выразить через относительную величину вредного пространства и отношение давлений нагнетания и всасывания:

. (11)

С увеличением конечного давления объемный к.п.д. и производительность одноступенчатого компрессора уменьшается. В пределе, когда кривая сжатия пересекает линию вредного пространства, всасывание газа в цилиндр прекращается, а объемный к.п.д. и производительность будут равны нулю.

Если компрессор водоохлаждаемый, то расход охлаждающей воды может быть определен из уравнения теплового баланса:

, (12)

где: Q - количество отводимого от газа тепла, Дж/с; M - pасход охлаждающей воды, кг/с; C - средняя теплоемкость воды, Дж/(кг⋅град; Δt - приращение температуры охлаждающей воды.

Для получения газа высокого давления применяют многоступенчатые компрессоры, в которых газ сжимается последовательно в нескольких цилиндрах, причем после каждого сжатия происходит его охлаждение. Многоступенчатое сжатие понижает отношение давлений в каждом цилиндре, повышает объемный к.п.д. и уменьшает расход энергии на привод компрессора, приближая рабочий процесс к изотермическому сжатию.

Охлаждение газа в охладителях стремятся производить до одной и той же температуры, равной начальной.

Наиболее выгодным является многоступенчатое сжатие в том случае, когда отношение давлений в каждой ступени принимается одинаковым:

, (13)

откуда можно найти:

, (14)

или, в общем случае:

, (15)

где m – число ступеней компрессора;

 Pi – давление газа, выходящего из последней ступени.

При одинаковых Х во всех ступенях и равенстве начальных температур будут равны между собой и конечные температуры газа в каждой ступени компрессора, т.е.:

Т2 = Т4 = Т6. (16)

В этом случае будут равны между собой и работы всех ступеней, поэтому для определения работы на привод многоступенчатого компрессора достаточно определить работу одной ступени и увеличить ее в m раз:

 (17)

или, для трехступенчатого компрессора:

 (18)

При одинаковых условиях сжатия газа количества теплоты, отводимые в отдельных ступенях, равны между собой (выражение 8).

Отвод теплоты в каждом охладителе при изобарном процессе охлаждения определяется как:

. (19)

**4.3 Варианты индивидуальных заданий**

Задача 1. Одноступенчатый компрессор всасывает V м3/ч воздуха при давлении Р1 бар и температуре t1 0С и сжимает его до давления Р2 бар.

Определить теоретическую мощность двигателя для привода компрессора N кВт и расход охлаждающей воды М кг/ч, если ее температура повышается на Δt 0С. Расчет произвести для изотермического, адиабатного и политропного сжатия.

Показатель политропы n = 1,2. Построить индикаторную диаграмму процессов сжатия и изобразить схему компрессора.

Исходные данные, необходимые для решения задачи, принять из табл.1.

#### Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | V1, м3/ч | Р1, бар | t1, 0С | Предпоследняя цифра шифра | Р2, бар | Δt , 0С |
| 0 | 180 | 0,97 | 20 | 0 | 4 | 10 |
| 1 | 190 | 1,05 | 25 | 1 | 6 | 8 |
| 2 | 200 | 1,00 | 27 | 2 | 8 | 13 |
| 3 | 250 | 0,98 | 15 | 3 | 10 | 15 |
| 4 | 300 | 1,04 | 10 | 4 | 12 | 12 |
| 5 | 350 | 0,99 | 18 | 5 | 5 | 17 |
| 6 | 410 | 1,03 | 22 | 6 | 7 | 9 |
| 7 | 430 | 0,96 | 18 | 7 | 9 | 11 |
| 8 | 330 | 1,02 | 13 | 8 | 11 | 14 |
| 9 | 160 | 1,01 | 17 | 9 | 13 | 16 |

Задача 2. Одноступенчатый компрессор всасывает V м3/ч воздуха при давлении Р1 бар и температуре t1 0С и сжимает его до давления Р2 бар.

##### Определить температуру сжатого воздуха на выходе из компрессора t2 0С, объемный расход сжатого воздуха V2 м3/ч, работу сжатия и мощность двигателя для привода компрессора.

Расчет провести для изотермического, адиабатного и политропного сжатия воздуха.

Показатель политропы n, начальная температура воздуха t1 = 20 0С. Построить индикаторную диаграмму процессов сжатия и изобразить схему компрессора.

Исходные данные, необходимые для решения задачи, принять из табл.2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | V1, м3/ч | Р1, кПа | Предпоследняя цифра шифра | Р2, бар | n |
| 0 | 180 | 95 | 0 | 1400 | 1,18 |
| 1 | 190 | 97 | 1 | 1300 | 1,20 |
| 2 | 200 | 100 | 2 | 1200 | 1,30 |
| 3 | 250 | 102 | 3 | 1100 | 1,26 |
| 4 | 300 | 104 | 4 | 1000 | 1,22 |
| 5 | 350 | 96 | 5 | 900 | 1,28 |
| 6 | 410 | 98 | 6 | 800 | 1,24 |
| 7 | 430 | 101 | 7 | 700 | 1,19 |
| 8 | 330 | 103 | 8 | 1500 | 1,25 |
| 9 | 160 | 105 | 9 | 1600 | 1,21 |

Задача 3. Воздух при давлении Р1 бар и температуре t1 0С должен быть сжат до давления Р2 бар.

Определить температуру в конце сжатия t2 , теоретическую работу компрессора l0 и величину объемного к.п.д. λ для одноступенчатого и двухступенчатого компрессора с промежуточным холодильником, в котором воздух охлаждается до начальной температуры.

Расчет произвести для адиабатного и политропного сжатия. Показатель политропы n.

Относительная величина вредного пространства 8%.

Построить индикаторную диаграмму и изобразить схему компрессора. Полученные результаты свести в таблицу и сравнить между собой.

Исходные данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл.3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Р1, кПа | Р2, кПа | Предпоследняя цифра шифра | t1, 0C | n |
| 0 | 97 | 800 | 0 | 25 | 1,22 |
| 1 | 95 | 900 | 1 | 22 | 1,24 |
| 2 | 100 | 1000 | 2 | 20 | 1,20 |
| 3 | 98 | 1100 | 3 | 18 | 1,25 |
| 4 | 96 | 1200 | 4 | 16 | 1,18 |
| 5 | 94 | 1300 | 5 | 14 | 1,26 |
| 6 | 105 | 1400 | 6 | 12 | 1,19 |
| 7 | 103 | 1500 | 7 | 10 | 1,21 |
| 8 | 99 | 1600 | 8 | 8 | 1,23 |
| 9 | 101 | 1700 | 9 | 6 | 1,27 |

Задача 4. Для двигателя с воспламенением от сжатия необходим трехступенчатый компрессор, подающий G кг/г сжатого воздуха при давлении P6 бар.

Определить теоретическую мощность компрессора.

Сжатие считать: а) адиабатным; б) политропным. Показатель политропы n=1,18. Начальное давление воздуха Р1 бар, начальная температура t1 0С. Построить индикаторную диаграмму процесса сжатия.

Исходные данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл.4.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | G, кг/ч | Р1, кПа | Предпоследняя цифра шифра | Р2, кПа | t1, 0C |
| 0 | 410 | 100 | 0 | 7000 | 27 |
| 1 | 430 | 97 | 1 | 7500 | 25 |
| 2 | 450 | 95 | 2 | 8000 | 17 |
| 3 | 470 | 98 | 3 | 8500 | 19 |
| 4 | 490 | 96 | 4 | 9000 | 21 |
| 5 | 420 | 94 | 5 | 9500 | 23 |
| 6 | 440 | 99 | 6 | 6000 | 15 |
| 7 | 460 | 101 | 7 | 6500 | 13 |
| 8 | 480 | 94 | 8 | 7800 | 11 |
| 9 | 400 | 103 | 9 | 8300 | 9 |

Задача 5. Определите массовый расход сжатого воздуха, М кг/г, который является рабочим телом двигателя и удельный объем V2 воздуха после расширения, если теоретическая мощность воздушного двигателя N кВт. Процесс расширения воздуха принять: а) политропным; б) адиабатным; в) изотермическим.

Начальное давление воздуха Р1 бар, начальная температура t1 0С, показатель политропы n = 1,2, конечное давление воздуха Р2, бар.

Построить индикаторные диаграммы работы двигателя.

Исходные данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл.5.

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | N, кВт | Р1, кПа | Предпоследняя цифра шифра | t1, 0C | Р2, кПа |
| 0 | 12 | 800 | 0 | 17 | 90 |
| 1 | 11 | 900 | 1 | 19 | 95 |
| 2 | 10 | 1000 | 2 | 15 | 100 |
| 3 | 9 | 700 | 3 | 21 | 92 |
| 4 | 8 | 1100 | 4 | 23 | 94 |
| 5 | 7 | 1200 | 5 | 25 | 96 |
| 6 | 16 | 1350 | 6 | 15 | 98 |
| 7 | 15 | 1250 | 7 | 18 | 102 |
| 8 | 14 | 1150 | 8 | 20 | 104 |
| 9 | 13 | 1050 | 9 | 24 | 105 |

**Рекомендованная литература**

1. Шлипченко З.Г. Насосы, вентиляторы, компрессоры. –М.: Высшая школа, 1976. – 344 с.
2. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. –М.: Энергоиздат, 1984. – 424 с.
3. Нигматулин И.Н., Ценев В.А., Шляхин П.Н. Тепловые двигатели. –М.: Высшая школа, 1974. – 376 с.
4. Щегляев А.В. Паровые турбины. –М.: Энергия, 1975. – 401 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ: Краткий курс лекций по дисциплине НиТД**