

**Частное профессиональное образовательное учреждение  
«Газпром техникум Новый Уренгой»**

# **Решения задач размещены на сайте [zadachi24.ru](http://zadachi24.ru)**

**Контрольные задания  
для студентов заочной формы обучения  
по дисциплине**

**ТЕРМОДИНАМИКА**

Новый Уренгой, 2018

## Оглавление

1. Общие методические указания	5
2. Тематический план	6
3. Содержание дисциплины	7
4. Вопросы для самопроверки	7
5. Методические указания к выполнению контрольной работы	18
6. Вопросы к контрольной работе	19
7. Задачи к контрольной работе	22
8. Методические указания к решению задач	22
9. Экзаменационные вопросы	31
10. Приложения	34
11. Литература	35

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Программа, методические указания и задание на контрольную работу по дисциплине «Термодинамика» предназначены для студентов заочного отделения техникума газовой промышленности, обучающихся по специальности 130502 «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ», 130503 «Эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» и предусматривает изучение студентами методов получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принципов действия, особенностей устройства и эксплуатации котельных установок, теплообменных аппаратов, применяемых в газовой и нефтяной промышленности и является базой для выполнения тепловых и технологических расчетов по специальности и изучения смежных профилирующих дисциплин.

При изучении материала по учебнику студент должен обратить особое внимание на проработку основных положений темы (раздела), используя для цели вопросы для самопроверки, охватывающими наиболее существенные положения учебного материала.

Курс целесообразно изучать последовательно по темам (разделам), руководствуясь программой. Сначала следует изучить теоретическую часть раздела, затем решить и проанализировать приведенные в учебнике и задачниках примеры и задачи с решениями. После этого необходимо ответить на вопросы для самопроверки. Учебный материал следует считать проработанным и усвоенным только при условии, если студент умеет правильно применить теорию для решения практических задач. Учебный материал рекомендуется конспектировать.

Существенное значение имеет правильный выбор учебника. Не следует одновременно пользоваться несколькими учебниками. Один из учебников рекомендуемый в списке учебной литературы, должен быть принят в качестве основного. Другие учебники и учебные пособия используют в том случае, если прорабатываемый раздел отсутствует или недостаточно подробно изложен в основном учебнике.

# ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Введение

## **Раздел 1. Основы Термодинамики**

Тема 1.1 Исходные понятия и определения термодинамики.

Тема 1.2. Законы идеальных газов.

Тема 1.3. Смеси жидкостей, паров и газов.

Тема 1.4. Теплоемкость вещества.

Тема 1.5. Первое начало термодинамики.

Тема 1.6. Термодинамические процессы изменения состояния газов.

Тема 1.7. Второе начало термодинамики.

Тема 1.8. Процессы парообразования и термодинамические свойства водяного пара.

Тема 1.9. Истечение и дросселирование газов и паров.

Тема 1.10. Термодинамические процессы компрессорных машин.

Тема 1.11. Циклы паросиловых установок.

## **Раздел 2. Теория теплообмена**

Тема 2.1. Формы передачи тепла.

Тема 2.2. Теплообмен теплопроводностью.

Тема 2.3. Теплообмен конвекцией.

Тема 2.4. Теплообмен излучением.

Тема 2.5. Теплопередача между теплоносителями через стенку.

Тема 2.6. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов.

## **Раздел 3. Основы теплотехники**

Тема 3.1. Топливо, воздух, продукты сгорания и их характеристика.

Тема 3.2. Топки и топочные устройства.

Тема 3.3. Котельные агрегаты.

Тема 3.4. Поршневые двигатели внутреннего сгорания.

Тема 3.5. Газотурбинные установки.

Тема 3.6. Теплосиловые установки.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Введение

Содержание дисциплины и ее роль в подготовке техника-технолога. Понятия «теплота» и «работа». Энергетический и технологический способы использования теплоты, их применение.

Основные этапы развития теплотехники, проблемы современной теплотехники в эксплуатации нефтяных и газовых промыслов. Главные направления развития топливного баланса страны, проблемы экономии тепла, топлива и использования возобновляемых источников тепла и вторичных энергоресурсов, защиты окружающей среды.

## РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

### Тема 1.1. Исходные понятия и определения термодинамики

Задачи и методы технической термодинамики. Окружающая среда; термодинамическая система, их термические и механические взаимодействия. Рабочее тело. Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Основные термодинамические характеристики рабочего тела: температура, давление, плотность (удельный объем).

#### Вопросы для самопроверки

1. Что изучает техническая термодинамика?
2. Назовите основные параметры состояния газов и их размерности.
3. Почему в качестве рабочих тел в термодинамике используют газы и пары?
4. Как называется единица измерения давления в СИ?
5. Что называется термодинамической системой?
6. Что называется абсолютной температурой?
7. Дайте понятие обратимого и необратимого процессов?

### Тема 1.2. Законы идеальных газов

Идеальный газ. Применение понятия для реальных газов. Законы Шарля, Авогадро, Гей-Люссака, Бойля-Мариотта. Основное характеристическое уравнение состояния идеальных и реальных газов (Клапейрона, Менделеева-Клапейрона).

#### Вопросы для самопроверки

1. С какой целью в термодинамику введено понятие об идеальном газе?

2. Дайте понятие о реальном и идеальном газе.
3. Напишите законы Шарля, Гей – Люссака, Бойля – Мариотта.
4. Напишите характеристическое уравнение состояния для идеального газа.
5. Дайте размерность всех величин, входящих в уравнение Клапейрона.
6. Что называется киломолем газа?
7. Дайте определение индивидуальной газовой постоянной и ее размерность.
8. Какими важными свойствами обладает молярный объем любого идеального газа?

### **Тема 1.3. Смеси жидкостей, паров и газов**

Понятие о смесях. Способы получения газовых смесей. Парциальное давление и объем компонентов смеси. Основные характеристики смеси. Закон Дальтона.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Чем отличаются газовые смеси от химических соединений?
2. Дайте формулировку закона Дальтона.
3. Что называется парциальным давлением?
4. Что называется массовой, объемной и мольной долей?
5. Как определяется парциальное давление газа в смеси по массовым и объемным долям?
6. Что понимается под приведенным объемом?
7. Как определяется средняя молекулярная масса смеси газов?
8. Как определяется температура смеси?

### **Тема 1.4. Теплоемкость вещества**

Понятие о теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкость. Виды удельной теплоемкости. Теплоемкость газовой смеси. Уравнение Майера и его анализ.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Дайте определение теплоемкости.
2. Дать определение массовой, объемной и мольной теплоемкости.
3. От чего зависит теплоемкость газов?
4. Почему теплоемкость газа при постоянном давлении всегда больше теплоемкости при постоянном объеме?
5. Как связаны между собой теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме?
6. Дайте понятие средней теплоемкости.
7. Дайте понятие истинной теплоемкости.
8. Как определить среднюю теплоемкость в интервале температур от  $t_1$

до  $t_2$ , пользуясь таблицами теплоемкостей от 0 до  $t^\circ\text{C}$ ?

### **Тема 1.5. Первое начало термодинамики**

Теплота, работа, внутренняя энергия. Энтальпия как функция температуры, принципы эквивалентности и сохранения энергии, первое начало (закон) термодинамики для замкнутой системы и потока газа и его связь с законом сохранения и превращения энергии.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Что понимается под внутренней энергией идеального и реального газа?
2. От каких параметров зависит внутренняя энергия идеального и реального газа?
3. Что изображает площадь под линией (кривой) процесса в  $pV$  - диаграмме?
4. Дайте понятие теплоты и работы.
5. Какая термодинамическая система называется открытой, а какая закрытой?
6. Дайте понятие работы изменения объема и давления.
7. Дайте понятие энтальпии.
8. Аналитическое выражение первого закона термодинамики для открытой и закрытой термодинамической системы.
9. Дайте формулировку первого закона термодинамики.
10. Что такое вечный двигатель первого рода?

### **Тема 1.6 Термодинамические процессы изменения состояния газов**

Классификация термодинамических процессов изменения состояния рабочего тела. Анализ простейших термодинамических процессов (изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного). Изображение процессов в  $pV$  - координатах. Политропные процессы. Обобщающее значение политропного процесса.

Основные расчетные формулы определения тепла, работы, изменений внутренней энергии и энтальпии.

Круговые процессы (циклы). Прямые и обратные циклы. Термический КПД и холодильный коэффициент. Анализ прямого и обратного цикла Карно. Квазистатические процессы.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Дайте определения основным термодинамическим процессам.
2. Как графически изображаются на  $pV$  - диаграмме изохора, изобара, изотерма и адиабата?

3. Напишите формулы соотношений между параметрами  $p$ ,  $v$  и  $T$  для каждого процесса.
4. При каких условиях процесс будет адиабатным?
5. Чем отличается линия изотермы от линии адиабаты в  $p$ - $v$  - диаграмме?
6. Какой процесс называется политропным процессом?
7. Почему в адиабатном процессе расширения тела температура убывает, а при сжатии увеличивается?
8. Напишите формулы работы изменения объема для каждого процесса.

### **Тема 1.7. Второе начало термодинамики**

Основные положения второго закона термодинамики. Второе начало (закон) термодинамики. Сущность и математическая запись закона.

Понятие об энтропии. Энтропия изолированных и неизолированных систем. Изменение энтропии в простейших термодинамических процессах изменения состояния рабочего тела. Изображение процессов в  $T$ - $s$  и  $h$ - $s$  координатах.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Дайте понятие энтропии.
2. В какой термодинамической системе изменение энтропии достигает максимального значения?
3. В чем состоит основное свойство  $T$ - $s$  – диаграммы?
4. Почему в  $T$ - $s$  – диаграмме изохора располагается круче изобары?
5. Почему термический КПД теплового двигателя в прямом цикле не может быть равен единице?
6. В каких термодинамических процессах изменение энтропии равно нулю?
7. Дайте формулировку второго закона термодинамики.
8. Что такое вечный двигатель второго рода?
9. Напишите математическое выражение второго закона термодинамики.
10. Назовите основные постулаты второго закона термодинамики.
11. Дайте понятие прямого и обратного кругового цикла.

### **Тема 1.8. Процессы парообразования и термодинамические свойства водяного пара**

Водяной пар как рабочее тело. Процессы нагревания, кипения и парообразования и их изображение в координатах  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ .

Основные характеристики воды и водяного пара, их определение. Таблицы паров. Процессы изменения состояния водяного пара, их изображение на диаграммах паров.



### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называется кипением, парообразованием, испарением?
2. Какой пар называют влажным насыщенным, сухим насыщенным, перегретым?
3. Какие точки располагаются на верхней и нижней пограничных кривых?
4. Что такое критическая точка и ее параметры?
5. Что называют теплотой парообразования?
6. Изобразите в  $Is$  – диаграмме процесс адиабатного расширения водяного пара от начальных параметров  $p_1$  и  $T_1$  до конечного давления  $p_2$ .

### **Тема 1.9 Истечение и дросселирование газов и паров**

Понятие об истечении. Сопла и диффузоры. Особенности истечения из суживающихся и комбинированных сопел. Режимы истечения. Критические давления и скорость истечения. Максимальный расход газа.

Дросселирование газов и паров. Дроссельный эффект. Использование процессов истечения и дросселирования. Изображение процессов в  $hs$  координатах.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие насадки называются соплами и какие – диффузорами?
2. Почему процессы, протекающие в соплах и диффузорах, можно приближенно считать адиабатными?
3. Что такое критическое отношение давлений при истечении?
4. Напишите уравнение неразрывности для потока.
5. Напишите уравнение первого закона термодинамики для потока газа.
6. Дайте описание комбинированного сопла Лавалея.
7. Какой процесс называется дросселированием и где он встречается?
8. Что называется температурой инверсии?
9. Напишите уравнение эффекта Джоуля – Томсона.
10. Когда и при каких условиях температура реального газа при дросселировании повышается, понижается и остается без изменений?

### **Тема 1.10. Термодинамические процессы компрессорных машин**

Назначение, устройство и принцип действия поршневых, центробежных и осевых компрессоров. Одноступенчатое сжатие в поршневом компрессоре. Отрицательное влияние «мертвого» пространства реального компрессора. Цикл многоступенчатого поршневого компрессора .

Расчет мощности привода компрессора и числа ступеней сжатия.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какая машина называется компрессором?
2. Дайте описание одноступенчатого центробежного компрессора.
3. Дайте описание одноступенчатого поршневого компрессора.
4. Какие допущения допускаются при изучении идеального компрессора, отличающие его от реального компрессора?
5. Какие процессы возможны при сжатии газа в компрессоре?
6. Какой процесс сжатия является наивыгоднейшим и при каком процессе затрачивается наибольшая работа?
7. Почему в одноступенчатом компрессоре нельзя получить газ высокого давления?
8. Дайте понятие вредного пространства и его влияние на процесс сжатия.
9. Что дает многоступенчатое сжатие по сравнению с одноступенчатым?
10. При каких условиях осуществляется многоступенчатое сжатие?

### **Тема 1.11. Циклы паросиловых установок**

Схема простейшей паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина. Причины применения цикла Ренкина для водяных паров. Изображение цикла в координатах  $p$ ,  $T_s$  и  $h_s$ . Определение термического КПД паросиловой установки. Пути интенсификации установок.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Объясните принцип работы паросиловой установки по циклу Ренкина.
2. Изобразите цикл Ренкина в  $p$  и  $T_s$  – диаграммах?
3. Как определить термический КПД и удельный расход пара в цикле Ренкина?
4. Каково влияние начальной температуры пара на термический КПД цикла Ренкина?
5. Каково влияние конечного давления на термический КПД цикла Ренкина?

## **РАЗДЕЛ 2. ТЕОРИЯ ТЕПЛООБМЕНА**

### **Тема 2.1. Формы передачи тепла**

Основные понятия теории теплообмена. Тепловой поток. Стационарные и нестационарные процессы. Формы передачи тепла и их применение.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называется теплообменом?
2. Что такое тепловой поток?
3. Перечислите способы распространения теплоты и виды теплообмена.
4. Что называется температурным полем?
5. Дайте понятие стационарного и нестационарного режима теплового потока.

### **Тема 2.2. Теплообмен теплопроводностью**

Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его зависимость от плотности, электропроводности, температуры. Передача теплоты теплопроводностью в телах различного агрегатного состояния. Расчет стационарной теплопроводности в одно- и многослойных стенках. Особенности расчета цилиндрических стенок.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дайте определение способа переноса теплоты теплопроводностью.
2. Охарактеризуйте теплопроводность в твердых, жидких и газообразных телах.
3. Сформулируйте и напишите основной закон теплопроводности – закон Фурье.
4. Что характеризует коэффициент теплопроводности, его размерность?
5. По какому закону измеряется температура в однослойной плоской стенке?
6. Каков закон измерения температуры в цилиндрической стенке?

### **Тема 2.3. Теплообмен конвекцией**

Свободная и вынужденная конвекция. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициенты теплоотдачи и основные факторы, влияющие на него. Общие понятия о теории подобия и методике расчета коэффициента теплоотдачи. Коэффициенты теплоотдачи, определенные экспериментальным путем, и их значение для различных случаев конвективного теплообмена. Особенности конвективного теплообмена при свободном и вынужденном движении теплоносителя, при кипении и конденсации жидкости.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называют конвективным теплообменом?
2. Назовите виды конвекции.
3. Какие факторы влияют на конвективный теплообмен?
4. Какие условия лежат в основе теории подобия?

5. Что характеризует коэффициент теплоотдачи и его размерность?
6. Напишите закон конвективного теплообмена Ньютона – Рихмана.
7. Почему шахматное расположение труб в пучке способствует улучшению конвективного теплообмена?
8. Что такое определяющий размер?

#### **Тема 2.4. Теплообмен излучением**

Тепловое излучение. Основные особенности лучистого теплообмена в телах различного агрегатного состояния. Основные определения и законы теплообмена излучением. Лучистый теплообмен между твердыми поверхностями, между газом и ограждающей поверхностью. Применение экранов.

##### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем сущность лучистого теплообмена?
2. Что такое поток излучения?
3. Какие тела обладают сплошным спектром излучения?
4. Что характеризует коэффициент черноты?
5. Что такое серое излучение?
6. Чему равен коэффициент излучения белого тела?

#### **Тема 2.5. Теплопередача между теплоносителями через стенку**

Теплопередача - сложный вид теплообмена. Особенности расчета теплопередачи через плоские и цилиндрические, одно- и многослойные стенки. Коэффициент теплопередачи. Методы интенсификации процесса теплопередачи. Тепловые процессы в условиях вечной мерзлоты.

##### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называют теплопередачей?
2. Из каких процессов складывается процесс теплопередачи?
3. Дайте понятие коэффициента теплопередачи и его размерность.
4. Каковы пути интенсификации теплопередачи?
5. Напишите формулу для определения коэффициента теплопередачи.
6. Что называют средним температурным напором и методы его определения?
7. Какие величины влияют на коэффициент теплопередачи?

## **Тема 2.6. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов**

Назначение и принцип действия основных типов теплообменных аппаратов. Сравнительный анализ теплообменных аппаратов. Особенности рекуперативных теплообменников. Сущность конструктивного и поверочного расчетов рекуперативных теплообменников. Уравнение теплового баланса.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называют теплообменным аппаратом?
2. Классифицируйте теплообменные аппараты по способу теплообмена.
3. Какие виды движения теплоносителей используются в теплообменных аппаратах?
4. Виды расчетов теплообменных аппаратов.
5. Какими основными уравнениями пользуются при расчете теплообменных аппаратов?
6. Напишите уравнение теплового баланса ТА.
7. Напишите уравнение, для определения температурного напора пользуясь средней логарифмической разностью температур.
8. Назовите наиболее дешевые холодные теплоносители.
9. Нарисуйте температурные графики движения теплоносителей для прямоточного и противоточного теплообменного аппарата.

## **РАЗДЕЛ 3. ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ**

### **Тема 3.1. Топливо, воздух, продукты сгорания и их характеристики**

Виды топлива для котельных установок. Органическое топливо: элементарный состав, высшая и низшая удельная теплота сгорания топлива. Теоретический и действительный расход воздуха, необходимый для горения. Состав продуктов сгорания. Влияние процессов на окружающую среду.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называется химическим топливом?
2. Дайте классификацию топлива в зависимости от способа получения.
3. Что такое теплота сгорания?
4. Что называется условным топливом?
5. Что такое избыток воздуха?
6. Дайте понятие процесса горения.
7. Перечислите горючие элементы твердого, жидкого и газообразного топлива.
8. Что называют высшей и низшей теплотой сгорания?

9. Перечислите газообразные продукты сгорания полученные в результате процесса горения топлива.

### **Тема 3.2 Топки и топочные устройства**

Назначение, классификация и основные показатели работы топок котельных установок. Особенности сжигания жидкого и газообразного топлива. Основные особенности мазутных форсунок и газовых горелок.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Какой принцип заложен в основу классификации топочных устройств?
2. Охарактеризуйте топки со слоевым сжиганием топлива.
3. Охарактеризуйте топки с камерным сжиганием топлива.
4. Назовите важнейшие характеристики топочных устройств и приведите их математические выражения.
5. Назовите основные группы мазутных форсунок и объясните принцип действия.
6. Назовите виды горелочных устройств, для сжигания газа и угольной пыли.

### **Тема 3.3. Котельные агрегаты**

Назначение, классификация, основные характеристики котлоагрегатов. Дополнительные поверхности нагрева и вспомогательное оборудование котлов. Схемы котельных установок. Охрана окружающей среды от вредных выбросов. Основы теплового расчета котельного агрегата. Паровые и водогрейные котлы, применяемые в нефтяной и газовой промышленности.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Дайте назначение и определение котельной установки.
2. Назовите основные элементы котельного агрегата.
3. Назовите вспомогательные механизмы и устройства котельной установки.
4. Как осуществляется работа котельной установки?
5. Изобразите принципиальную схему котельной установки, работающей на газе.
6. Перечислите типы паровых и водогрейных котлов применяемых в газовой промышленности.
7. Напишите основные показатели котельного агрегата.
8. Напишите уравнение теплового баланса парогенератора.
9. От каких факторов зависит КПД котельного агрегата?
10. В чем различие между парогенераторами с естественной циркуляцией и прямоточными?
11. Назначение и конструктивное устройство котлов – утилизаторов.

### **Тема 3.4. Поршневые двигатели внутреннего сгорания**

Назначение, классификация, область применения поршневых двигателей внутреннего сгорания. Основные элементы поршневых ДВС. Теоретические циклы поршневых ДВС с изохорным, комбинированным и изобарным подводом теплоты. Сравнение этих циклов. Понятие о степени сжатия. Реальные циклы ДВС, характерные особенности. Дизельные и карбюраторные двигатели, основные особенности. Устройство и принцип действия двух- и четырехтактных двигателей. Рабочие процессы. Сравнительный анализ двигателей. Топливо для поршневых ДВС. Характеристики топлива. Легкое и тяжелое, жидкое и газообразное топливо. Основные требования, предъявляемые к топливу. Перевод поршневых ДВС на газообразное топливо, особенности рабочего процесса. Газодизели. Охрана окружающей среды.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите основные элементы поршневого ДВС.
2. Объясните принцип действия простейшего ДВС.
3. Что называют ДВС?
4. Классифицируйте ДВС по способу образования горючей смеси.
5. Классифицируйте ДВС по конструктивным признакам.
6. Классифицируйте ДВС по способу осуществления рабочего цикла.
7. Изобразите индикаторную диаграмму четырехтактного ДВС.
8. Изобразите индикаторную диаграмму двухтактного ДВС.
9. Что называют октановым числом?
10. Перечислите виды жидкого топлива для ДВС.
11. Объясните систему питания и смесеобразование в карбюраторных ДВС.
12. Объясните систему питания и смесеобразования в дизелях.

### **Тема 3.5. Газотурбинные установки**

Назначение, классификация и область применения газотурбинных двигателей (ГДТ). Принципиальная схема и основные элементы схемы. Циклы газотурбинных установок, их сравнение. Основные характеристики и термический КПД,

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Дайте определение и назначение газотурбинных двигателей.
2. Дайте классификацию ГТУ.
3. Изобразите принципиальную схему одновальной ГТУ с регенератором.
4. Объясните принцип действия ГТУ.
5. Изобразите цикл ГТУ при  $p$  и  $v = \text{Const}$  в  $p-v$  и  $T_s$  – диаграммах.
6. Сравните эффективность циклов со сгоранием при  $p$  и  $v = \text{Const}$  в  $T_s$  – диаграмме.

7. От каких характеристик зависит термический КПД ГТУ?
8. Назовите основные характеристики ГТУ.

### **Тема 3.6 Теплосиловые установки**

Классификация теплосиловых установок. Теплосиловые установки, применяемые в нефтяной и газовой промышленности, особенности работы и основные технико-экономические показатели. Перспективы развития.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие установки называются теплосиловыми?
2. Назовите группы теплосиловых установок по виду отпускаемой энергии.
3. Дайте понятие силовой установки.
4. Дайте понятие тепловой установки.
5. Дайте понятие смешанной установки.
6. Какую ТЭС называют конденсационной электростанцией?
7. Изобразите простейшую тепловую КЭС с паровой турбиной.
8. Изобразите схему газотурбинного ГПА с утилизацией теплоты отработавших газов.
9. Назовите основные технико-экономические показатели теплосиловых установок.
9. Напишите тепловой баланс теплосиловой установки.

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Контрольная работа служит проверкой знаний студента, полученных при изучении разделов и тем программы. Работа должна выполняться в отдельной тетради. На страницах оставляются поля шириной 30 – 40 мм.

При выполнении контрольной работы должны соблюдаться следующие правила:

- решение каждой задачи следует начинать с новой страницы;
- внимательно прочитать и полностью переписать в тетрадь текст задачи;
- выписать, что дано, и что требуется определить;
- все решения обязательно сопровождать краткими пояснениями (что и как определяется);
- при решении задачи необходимо использовать международную систему единиц «СИ» и применять обозначения единиц измерения в соответствии с ГОСТом. Если величина задана в единицах другой системы, то в условии необходимо поместить и соответствующий пересчет.

Например:

$$D = 50\text{мм} = 0,05\text{м}.$$



$$p = 2\tau_m = 2 \cdot 10^5, \text{ Па} \cdot \text{Н/м}^2.$$

- если в процессе решения задачи дается ссылка на таблицу или график, то необходимо указать источник, страницу и номер таблицы или графика;
- ответ на теоретический вопрос должен быть кратким, исчерпывающим и изложен своим языком;
- в конце работы необходимо поместить перечень используемой учебной литературы с указанием автора и года издания;
- в конце контрольной работы необходимо оставить 1 – 2 чистых страниц для рецензии преподавателя;
- конструктивные схемы приборов и оборудования необходимо сопровождать обозначением и названием элементов;
- выполненную контрольную работу необходимо представить в заочное отделение техникума на проверку;
- в случае незачета учащийся повторно выполняет контрольную работу в соответствии с указанием и снова представляет в техникум на проверку вместе с незачтенной работой;
- работа, выполненная не по своему шифру, возвращается без проверки;
- вариант контрольной работы определяется по последней цифре шифра.

Например: ваш шифр 6438, следовательно, номер варианта 8; шифр 6410- номер варианта 10

Учебным планом предусматривается выполнение одной контрольной работы в объеме трех теоретических вопросов и пяти задач.

## **ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ**

### **Вариант 1**

1. Основные законы идеальных газов Шарля, Гей – Люссака, Бойля – Мариотта, Авогадро.
2. Процессы парообразования в  $p$  – и  $T$  – диаграммах. Виды пара. Критические параметры водяного пара.
3. Дополнительные поверхности нагрева котельного агрегата (водяные экономайзеры, воздухоподогреватели, пароперегреватели).

### **Вариант 2**

1. Теплоемкость и ее виды (массовая, объемная, мольная, изохорная, изобарная, средняя истинная). Зависимость теплоемкости от температуры (графики “с<sub>т</sub>”). Уравнение Майера.

2. Дросселирование газов и паров. Изображение процесса в  $Is$  – диаграмме. Практическое использование процесса дросселирования.
3. Основной закон теории теплопроводности – закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл. Уравнение теплового потока переноса теплоты теплопроводностью через плоские многослойные стенки.

### **Вариант 3**

1. Первый закон термодинамики. Сущность закона, принцип эквивалентности. Внутренняя энергия, теплота, работа. Аналитическое выражение первого закона термодинамики для закрытой термодинамической системы.
2. Изобарный процесс, его анализ, изображение в  $pV$  – диаграмме.
3. Назначение, схема и рабочий процесс котельной установки.

### **Вариант 4**

1. Основное характеристическое уравнение состояния идеальных газов (уравнение Клапейрона, Менделеева – Клапейрона). Уравнение состояния для реального газа.
2. Основные определения второго закона термодинамики. Понятие об энтропии. Математическое выражение второго закона термодинамики. Энтропийные диаграммы “ $Ts$ ”.
3. Теплопередача через плоские многослойные стенки. Физический смысл коэффициента теплопередачи. Методы интенсификации теплопередачи.

### **Вариант 5**

1. Адиабатный процесс. Его анализ, изображение в  $pV$  - диаграмме.
2. Истечение газов и паров. Особенности и характеристики режима истечения. Конфузор, диффузор, сопло Лаваля.
3. Основные показатели котельного агрегата: производительность, параметры пара, напряжение площади поверхности нагрева, КПД по прямому и обратному тепловому балансу.

### **Вариант 6**

1. Изохорный процесс, его анализ, изображение в  $pV$  - диаграмме.
2. Назначение, принцип действия и схема паросиловой установки. Изображение цикла в координатах  $pV$  и  $Ts$ . Коэффициент полезного действия паросиловой установки.

3. Классификация видов топлива. Понятие о теплоте сгорания и условном топливе. Процесс горения и газообразные продукты сгорания топлива. Понятие о коэффициенте избытка воздуха.

### **Вариант 7**

1. Изотермический процесс. Его анализ, изображение в  $pV$  - диаграмме.
2. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона – Рихмана. Сводная и вынужденная конвекция. Физический смысл коэффициента теплоотдачи, его зависимость от различных факторов.
3. Дизельные и карбюраторные двигатели. Основные особенности. Устройство и принцип действия. Рабочие процессы.

### **Вариант 8**

1. Политропный процесс, его анализ, изображение в  $pV$  - диаграмме.
2. Теоретические циклы поршневых ДВС с изохорным, изобарным и смешанным подводом теплоты. Сравнение этих циклов.
3. Понятие теплообменного аппарата. Типы ТА и их использование в нефтяной и газовой промышленности. Теплоносители, схемы движения в ТА.

### **Вариант 9**

1. Круговые циклы тепловых двигателей и холодильных установок (прямые и обратные). КПД и холодильный коэффициент.
2. Циклы газотурбинных установок с изобарным и изохорным подводом теплоты в  $pV$  и  $Ts$  – диаграммах. Сопоставление циклов и КПД ГТУ.
3. Паровые и водогрейные котлы, применяемые в нефтяной и газовой промышленности.

### **Вариант 10**

1. Термодинамический процесс сжатия в одноступенчатом компрессоре в  $pV$  - диаграмме. Описание цикла и характерных точек процесса.
2. Виды расчетов ТА. Уравнение теплового баланса теплообменного аппарата. Уравнение для определения среднего температурного напора.
3. Назначение и классификация теплосиловых установок. Тепловые установки, применяемые в нефтяной и газовой промышленности. Особенности работы.

## Задача 1

Емкость разделена перегородкой на две полости. С одной стороны перегородки азот при  $p_{N_2}, t_{N_2}, V_{N_2}$ , а с другой стороны кислорода при  $p_{O_2}, t_{O_2}, V_{O_2}$ .

Определить массовый состав смеси, газовую постоянную смеси и температуру смеси после удаления перегородки.

Таблица 1 - Данные к задаче

№ вар.	$p_1$ , МПа	$t_1$ , °С	$V_1$ , м <sup>3</sup>	$p_2$ , МПа	$t_2$ , °С	$V_2$ , м <sup>3</sup>
1	1,5	27	0,8	0,3	10	0,1
2	1,4	37	0,7	0,4	20	0,2
3	1,3	47	0,6	0,5	30	0,3
4	1,2	57	0,5	0,6	40	0,4
5	1,1	67	0,4	0,7	17	0,5
6	1,0	17	0,9	0,8	27	0,6
7	0,8	27	0,8	0,9	37	0,7
8	0,7	37	0,7	1,0	47	0,8
9	0,6	47	0,6	1,1	57	0,9
10	0,5	57	0,5	1,2	67	1,0

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ 1

1. Объем газовой смеси, м<sup>3</sup>

$$V_{см} = V_{N_2} + V_{O_2}$$

2. Относительный объемный состав смеси

$$r_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{см}}; \quad r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{см}}; \quad \sum_1^n r_i = r_{N_2} + r_{O_2} = 1$$

3. Массовый состав смеси газов

$$q_{N_2} = \frac{r_{N_2} \cdot \mu_{N_2}}{\sum_1^n r_i \cdot \mu_i} = \frac{r_{N_2} \cdot \mu_{N_2}}{r_{N_2} \cdot \mu_{N_2} + r_{O_2} \mu_{O_2}} ;$$

$$q_{o_2} = \frac{r_{o_2} \cdot \mu_{o_2}}{\sum_1^n r_i \cdot \mu_i} = \frac{r_{o_2} \cdot \mu_{o_2}}{r_{N_2} \cdot \mu_{N_2} + r_{o_2} \cdot \mu_{o_2}},$$

где  $\mu_{N_2} = 28,02$  – молекулярная масса азота;

$\mu_{o_2} = 32$  – молекулярная масса кислорода.

#### 4. Молекулярная масса смеси газов

$$\mu_{см} = \sum_1^n \mu_i \cdot r_i = \mu_{N_2} \cdot r_{N_2} + \mu_{o_2} \cdot r_{o_2}.$$

#### 5. Удельная газовая постоянная смеси, Дж /кг · К

$$R_{см} = \frac{8314}{\mu_{см}}.$$

#### 6. Температура газовой смеси, К - Кельвин

$$T_{см} = \frac{\sum p_i \cdot V_i}{\sum \frac{p_i \cdot V_i}{T_i}} = \frac{p_{N_2} \cdot V_{N_2} + p_{o_2} \cdot V_{o_2}}{\frac{p_{N_2} \cdot V_{N_2}}{T_{N_2}} + \frac{p_{o_2} \cdot V_{o_2}}{T_{o_2}}};$$

где  $T_i = t_i + 273$  или  $T_{N_2} = t_{N_2} + 273$ ;

$T_o = t_o + 273$ ;  $p$  – давление компонента смеси, МПа.

### Задача 2

Газ азот массой “ $m$ ” кг изотермически расширяется при температуре  $t$  °С с увеличением объема в “ $n$ ” раз.

Начальное давление газа  $p_1$ . Определить конечное давление, начальный и конечный объемы, работу, теплоту и изменение внутренней энергии в процессе.

Таблица 2 - Исходные данные к задаче 2

№ вар.	M, Кг	T, °С	p <sub>1</sub> , МПа	n
1	2,0	107	1,0	2
2	3,0	97	2,0	4
3	4,0	87	3,0	6
4	5,0	77	4,0	8
5	6,0	67	5,0	10
6	7,0	57	6,0	2
7	8,0	47	7,0	4
8	9,0	37	8,0	6
9	10,0	27	7,0	8
10	1,0	17	6,0	10

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ 2

Процесс расширения газа – изотермический, т.е.

$$T = \text{const}$$

1. Удельная газовая постоянная азота по таблице 1(приложение) или по формуле, Дж/кг · К

$$R_{N_2} = \frac{8314}{\mu_{N_2}},$$

где  $\mu_{N_2} = 28,02$  – молекулярная масса азота (приложение, таблица 1).

2. Конечное давление газа  $P_2$  после расширения определяется из закона Бойля – Мариотта, МПа

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}, \quad \text{откуда} \quad p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2},$$

где значение p в МПа.

3. Первоначальный объем газа определяется из уравнения состояния газа Клапейрона, м<sup>3</sup>

$$p_1 V_1 = MRT, \quad \text{откуда} \quad V_1 = \frac{MRT}{p_1};$$

где  $T = t \text{ } ^\circ\text{C} + 273 \cdot \text{K}$ ;  
 $p_1$  – давление, Па.

4. Объем газа в конце расширения –  $V_2$ , м<sup>3</sup>

$$n = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{откуда} \quad V_2 = n \cdot V_1.$$

5. Работа, совершаемая газом, Дж

$$L = MRT \ln \frac{V_2}{V_1};$$

где  $\ln$  - натуральный логарифм от числа  $\frac{V_2}{V_1}$ .

6. Теплота изотермического процесса определяется из уравнения 1 закона термодинамики

$$Q = \Delta U + L, \quad \text{где} \quad \Delta U = MC_v (T_2 - T_1) = 0,$$

следовательно  $Q = L$ .

### Задача 3

Плоская кирпичная стенка толщиной “ $\delta$ ” омывается с одной стороны газами с температурой  $t_{ж_1}$ , с другой – воздухом с температурой  $t_{ж_2}$ .

Коэффициент теплоотдачи газов к стенке  $\alpha_1 = 470 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

от стенки к воздуху  $\alpha_2 = 150 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Коэффициент теплопроводности кирпичной кладки  $\lambda = 1,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Определить: удельный тепловой  $q_2$ ,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ; коэффициент теплопередачи  $K$ ,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ , температуры поверхностей стенок  $t_{ст_1}$  и  $t_{ст_2}$ .

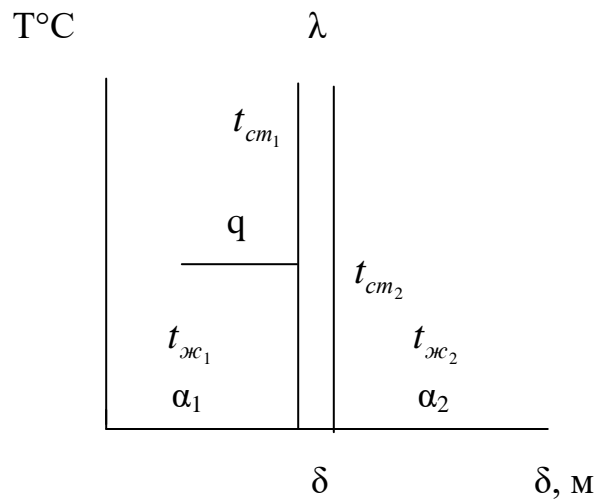


Рисунок 1

Таблица 3 - Исходные данные к задаче 3

№ вар	$\delta$ , мм	$t_{жс1}$ , газ	$t_{жс2}$ , ВОЗДУХ
1	60	1000	100
2	120	950	90
3	140	900	80
4	200	850	70
5	240	800	60
6	180	750	75
7	160	700	85
8	140	650	95
9	120	600	105
10	100	500	115

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ 3

1. Коэффициент теплопередачи,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$



где  $\delta$  - толщина стенки, м.

2. Удельный тепловой поток,  $\frac{Вт}{м^2}$

$$q = K(t_{ж_1} - t_{ж_2})$$

3. Температура стенки со стороны газов определяется из уравнения конвективного теплообмена, °С

$$q = \alpha_1(t_{ж_1} - t_{cm_1}) \quad \text{откуда} \quad t_{cm_1} = t_{ж_1} - \frac{q}{\alpha_1}.$$

4. Температура стенки со стороны воздуха, °С

$$q = \alpha_2(t_{cm_2} - t_{ж_2}) \quad \text{откуда} \quad t_{cm_2} = t_{ж_2} + \frac{q}{\alpha_2}$$

#### Задача 4

Через сужающееся сопло вытекает  $m = 1$  кг/с воздуха в среду давлением  $p_2$  (МПа). Начальное давление воздуха  $p_1$  (МПа). Температура воздуха  $t_1$  °С. Определить теоретическую скорость истечения и площадь выходного сечения сопла.

Таблица 4 - Данные к задаче 4

№ вар.	$p_1$ , МПа	$p_2$ , МПа	$t_1$ , °С
1	1,0	0,6	27
2	1,1	0,7	57
3	0,8	0,5	87
4	1,2	0,8	97
5	1,3	0,9	107
6	1,1	0,8	127
7	1,3	1,0	137
8	1,2	0,9	157
9	1,1	0,6	187
10	0,9	0,5	207

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ 4

1. Определяется отношение давлений  $\beta = \frac{P_2}{P_1}$  и сравнивается с критическим значением  $\beta_{кр}$  (см. ниже). Отношение давлений, при котором скорость течения газа равна местной скорости звука, называется критическим и для некоторых газов имеет следующие значения:

- одноатомный газ  $\beta_{кр} = 0,485$  ;
- двухатомный газ  $\beta_{кр} = 0,528$  ;
- многоатомный газ  $\beta_{кр} = 0,546$  .

При  $\beta = \frac{P_2}{P_1} > \beta_{кр}$  - скорость течения дозвуковая и применяется простое суживающееся сопло с использованием формул докритического течения газа, при  $\beta < \beta_{кр}$  используются формулы для критического течения. В данной задаче  $\beta > \beta_{кр}$ , т.е. скорость меньше критической.

2. Начальный удельный объем воздуха (при входе в сопло),  $\frac{м^3}{кг}$

$$p_1 v_1 = RT_1 \quad \text{откуда} \quad v_1 = \frac{RT_1}{p_1}$$

где  $p_1$  – давление воздуха, Па;  
 $T_1 = t_1^{\circ}C + 273 \cdot K$ ;  
 $\mu = 28,95$  .

3. Удельный объем воздуха в выходном сечении (процесс адиабатный),  $\frac{м^3}{кг}$

$$p_1 v_1^K = p_2 v_2^K, \quad \text{откуда} \quad v_2 = v_1 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{K}},$$

где  $p_1$  и  $p_2$  (МПа) – давление воздуха и среды;  
 $K = 1,4$  – показатель адиабаты (воздух – двухатомный газ).

4. Скорость истечения,  $\frac{м}{с}$

$$\omega = \sqrt{2 \frac{K}{K-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)},$$

где  $p_1$  и  $p_2$  – давление воздуха и среды, Па.

5. Площадь выходного сечения сопла, м<sup>2</sup>

$$f_2 = \frac{m \cdot v_2}{\omega}.$$

### Задача 5

Определить  $t_2$  сжатого компрессором воздуха, подачу компрессора в конце сжатия  $V_2$ , мощность, затраченную на получение сжатого воздуха, при изотермическом, адиабатном, политропном сжатии  $N$ , если задано (компрессор идеальный, потерями пренебречь):

$V_1$  – объемная подача компрессора,  $\frac{м^3}{с}$  ;

$t_1$  – температура всасываемого воздуха, °С;

$p_1$  – начальное давление воздуха, МПа;

$p_2$  – давление воздуха после сжатия, МПа;

$K$  – показатель адиабаты;

$n$  – показатель политропы.

Произвести анализ затраченной работы.

Таблица 5 - Данные к задаче 5

№ вар	$V_1,$ м <sup>3</sup> /с	$t_1,$ °С	$p_1,$ МПа	$p_2,$ МПа	$K$	$n$
1	0,2	10	0,1	0,8	1,4	1,2
2	0,3	15	0,1	0,9	1,4	1,2
3	0,5	20	0,1	0,7	1,4	1,2
4	0,4	25	0,1	0,8	1,4	1,2
5	0,6	20	0,1	0,9	1,4	1,2
6	0,3	25	0,1	0,7	1,4	1,2
7	0,5	10	0,1	0,8	1,4	1,2
8	0,7	16	0,1	0,9	1,4	1,2
9	0,6	27	0,1	0,7	1,4	1,2
10	0,8	27	0,1	0,8	1,4	1,2

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Температура воздуха  $t_2$  в конце сжатия определяется из зависимостей между параметрами  $T$  и  $p$  в данном процессе:

- для изотермического процесса

$$T_2 = T_1 = (t \text{ } ^\circ\text{C} + 273)$$

- для адиабатного процесса

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

- для политропного процесса

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

Объемная подача компрессора в конце сжатия  $V_2$  определяется из зависимостей между  $p$  и  $V$  в данном процессе:

- для изотермического процесса

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1};$$

- для адиабатного процесса

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa;$$

для политропного процесса

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n.$$

Мощность затраченная на сжатие, Вт

$$N_{\text{изот}} = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1};$$

$$N_{\text{адиаб}} = p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] \cdot \frac{\kappa}{\kappa-1} ;$$

$$N_{\text{политр}} = p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \cdot \frac{n}{n-1} .$$

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Значение термодинамики и теплотехники в нефтяной и газовой промышленности и других отраслях.
2. Термодинамические параметры: внутренняя энергия, энтальпия.
3. Теплота процесса. Термодинамическая работа изменения объема и давления.
4. Законы идеальных газов: Шарля, Бойля – Мариотта, Гей – Люссака, Авагадро. Количество вещества, объем киломоля.
5. Уравнение Клапейрона и Менделеева – Клапейрона для идеального газа. Индивидуальная и универсальная газовая постоянная.
6. Смеси газов и паров. Способы задания смеси. Закон Дальтона. Парциальное давление и объем. Определение  $\mu$  см,  $R_{\text{см}}$ .
7. Средняя молекулярная масса смеси газов, зависимость между массовыми и объемными долями, пересчет массового состава в объемный и наоборот.
8. Теплоемкость вещества, способы задания теплоемкости, их размерности, соотношение между ними. Факторы, влияющие на величину теплоемкости.
9. Теплоемкость вещества. Истинная и средняя теплоемкость: теплоемкость смеси газов. Способы определения теплоемкости.
10. Сущность и формулировка I начала термодинамики. Математическое выражение I закона термодинамики для замкнутого пространства.
11. Классификация основных термодинамических процессов, изменения состояния рабочего тела. Изохорный процесс.
12. Формулировка и сущность второго закона термодинамики. Математическое выражение второго закона термодинамики.
13. Классификация основных термодинамических процессов. Изобарный процесс.
14. Классификация основных термодинамических процессов. Изотермический процесс.
15. Классификация основных термодинамических процессов. Адиабатный процесс.
16. Классификация основных термодинамических процессов. Политропный процесс.
17. Энтропия, физическая сущность энтропии. Энтропийные диаграммы  $T_s$ . Изображение основных термодинамических процессов в  $T_s$  – координатах.

18. Дросселирование паров и газов. Дроссель – эффект. Изображение процесса в  $Is$  – диаграмме. Использование холода в газовой промышленности.
19. Водяной пар, его свойства, условия парообразования. Изображение процесса парообразования в  $p_v, T_s, Is$  координатах.
20. Истечение газов и паров из сопел, особенности истечения, скорость и расход истечения. Математическое выражение I закона термодинамики для потока газа.
21. Уравнение термодинамического состояния для реального газа, коэффициент сжимаемости газа. Критические  $T_{кр}$  и  $p_{кр}$ , приведенная температура и давление.
22. Круговые циклы холодильных установок, особенности обратных циклов. Холодильный коэффициент.
23. Круговые циклы тепловых двигателей. Термический КПД цикла и его значение для оценки работы теплового двигателя.
24. Определение количества теплоты в изобарном и изохорном процессе.
25. Рабочее тело, его параметры состояния, уд. объем, плотность, давление, температура.
26. Тепловой баланс котельного агрегата, КПД, часовой расход топлива.
27. Теплообмен теплопроводностью. Основной закон теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность через плоскую стенку.
28. Конвенция свободная и вынужденная. Основной закон конвективного теплообмена Ньютона – Рихмана. Теория подобия. Коэффициент теплоотдачи.
29. Охрана окружающей среды от вредных выбросов. Методы и задачи испытания котельных установок.
30. Теплопередача через плоские и цилиндрические стенки. Коэффициент теплопередачи и его интенсификация.
31. Виды расчетов теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса. Средний температурный напор.
32. Назначение и классификация теплообменных аппаратов, принцип действия кожухотрубчатых ТА, схемы включения.
33. Назначение и классификация котельных установок. Прямоточные парогенераторы, устройство, принцип действия.
34. Назначение и классификация котельных установок. Барабанные парогенераторы, устройство, принцип работы.
35. Топочные устройства для сжигания жидкого, твердого и газообразного топлива. Назначение зажигательного пояса.
36. Дополнительные поверхности нагрева котельных агрегатов: водяные экономайзеры, пароперегреватели, воздухоподогреватели.
37. Топливо, его использование, состав, классификация,  $Q_n^p, Q_v^p$ , условное топливо, коэффициент избытка воздуха.
38. Сущность процесса горения топлива. Теоретический и действительный расход воздуха. Продукты сгорания топлива.
39. Цикл одноступенчатого и многоступенчатого сжатия в поршневом компрессоре. Мертвое пространство.

40. Изображение цикла паросиловой установки в координатах  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ . Термический КПД цикла. Пути интенсификации цикла.
41. Назначение, устройство и принцип действия поршневых компрессоров.
42. Схема простейшей паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина.
43. Теплоносители, схемы движения, анализ.
44. Схемы котельных установок. Вспомогательное оборудование котельных установок.
45. Теоретические и действительные циклы ДВС с подводом теплоты при  $p = \text{Const}$ ,  $V = \text{Const}$ .
46. Назначение, устройство и принцип действия центробежных и осевых компрессоров.
47. Паровые и водогрейные котлы, применяемые в нефтяной и газовой промышленности. Котлы - утилизаторы.
48. Классификация, устройство и принцип действия поршневых двигателей внутреннего сгорания. Основные конструктивные элементы.
49. Назначение и классификация газотурбинных двигателей. Основные особенности, характеристики. Циклы ГТУ, их сравнение.
50. Классификация теплосиловых установок. Теплосиловые установки, применяемые в нефтяной и газовой промышленности.

## Приложение

Таблица 1 – Значения молекулярной массы  $\mu$  некоторых газов

Наименование газов	Химические обозначения	$\mu$
Азот	$N_2$	28
Аммиак	N	17
Аргон	Ar	40
Воздух	-	29
Водород	$H_2$	2
Водяной пар	$H_2O$	18
Гелий	He	4
Кислород	$O_2$	32
Метан	$CH_4$	16
Окись углерода	CO	28
Углекислый газ	$CO_2$	44
Сернистый газ	$SO_2$	64
Этилен	$C_2H_4$	28
Ацетилен	$C_2H_2$	26

Таблица 2 - Значения постоянных удельных теплоемкостей газа

Атомность газа	$\mu C_v,$ кДж/кмоль · К	$\mu C_p,$ кДж/кмоль · К
Одноатомный газ	12,6	29,3
Двухатомный газ	20,9	29,6
Трехатомный и много- атомный газ	20,9	37,7



## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Поршаков В.П., Романов Б.А. Основы термодинамики и теплотехники. - М.: Недра, 1983.

### Дополнительная

1. Нащокин В.В. «Техническая термодинамика и теплопередача. - М.: Высшая школа, 1980.
2. Ерохин В.Г., Маханько М.Г., Самойленко П.И. Основы термодинамики и теплотехники. - М.: Машиностроение, 1980.
3. Рабинович О.М. Сборник по технической термодинамике. - М.: Машиностроение, 1973.
4. Панкратов Г.П. Сборник задач по общей теплотехнике. – М.: Высшая школа, 1986.
5. Тугунов П.И., Самсонов А.Л. Основы теплотехники. Тепловые двигатели и паросиловое хозяйство нефтебаз и перекачивающих станций. - М.: Недра, 1979.
6. Романов Б.А. Двигатели внутреннего сгорания. – М.: Недра, 1980.