Областное государственное бюджетное

профессиональное образовательное учреждение
«Томский политехнический техникум»

(ОГБПОУ «ТПТ»)



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО РАЗДЕЛУ «ТЕРМОДИНАМИКА»**

для специальностей

21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений,

21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин

**АВТОР: А.В.ТИ**

2015г.

Методические указания для студентов

по выполнению практических работ

по разделу «Термодинамика»

для специальностей 21.02.01, 21.02.02

Разработал преподаватель

А.В. Ти

Рецензенты:

Строков А.В., преподаватель спецдисциплин ОГБПОУ «Томский экономико-промышленный колледж»

Самсонов С.К., преподаватель 1 категории ОГБПОУ«ТПТ»

Одобрено цикловой методической комиссией

специальностей электротехнического направления

Томского политехнического техникума

Протокол № \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2014 г.

Председатель ЦМК: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /Гордеева Н.В./

**Содержание**

1. Пояснительная записка………………………………………………………..4
2. Правила выполнения практических работ…………………………………...5
3. Практические работы………………………………………………………….6
	1. Практическая работа №1 «Газовые законы и газовые смеси» ………6
	2. Практическая работа №2 «Теплоемкость газов и газовых смесей»…9
	3. Практическая работа №3 «Расчет термодинамических процессов».11
	4. Практическая работа №4 «Расчет цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС)»…………………………………………………………14
	5. Практическая работа №5 «Расчет многоступенчатого компрессора».16
	6. Практическая работа №6 «Расчет параметров и процессов изменения состояния воды и водяного пара»……………………………………...18
	7. Практическая работа №7 «Расчет цикла паросиловой установки»….20
	8. Практическая работа №8 «Расчет теплопередачи через двухслойную цилиндрическую стенку»………………………………………………22
	9. Практическая работа №9 «Тепловой расчет теплообменного аппарата»………………………………………………………………..24
	10. Практическая работа №10 «Расчет состава и характеристик топлива»…………………………………………………………………26
	11. Практическая работа №11 «Расчет продуктов сгорания, теоретического и действительного объема воздуха для горения»…..28
	12. Практическая работа №12 «Тепловой баланс котла, определение КПД котельных установок»…………………………………………………..30
4. Методические указания по выполнению практических работ и примеры решения задач………………………………………………………………….32
5. Литература……………………………………………………………………..69
6. Приложения……………………………………………………………………70

**Пояснительная записка**

Дисциплина «Термодинамика» входит в состав профессиональных модулей: ПМ.02 «Обслуживание и эксплуатация бурового оборудования», МДК.02.01 «Эксплуатация бурового оборудования» для специальности 31.02.02 и ПМ.02 «Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования», МДК.02.01 «Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования» для специальности 31.02.01.

В результате изучения дисциплины студенты ***должны знать:***

- основные понятия, законы и процессы термодинамики и теплопередачи;

- методы расчета термодинамических и тепловых процессов;

- классификацию, особенности конструкции, действия и эксплуатации котельных установок, поршневых двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных и теплосиловых установок.

Студенты ***должны уметь:***

- производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики и теплопередачи.

Изучение дисциплины базируется на знании материала дисциплин: «Физика», «Химия», «Математика», «Гидравлика», «Инженерная графика», «Метрология, стандартизация и сертификация».

Настоящие методические указания ставят целью:

* Приобретение практических навыков и умений в выполнении термодинамических и теплотехнических расчетов;
* Закрепление теоретических знаний по содержанию учебной дисциплины;
* Приобретение навыков творческой самостоятельной деятельности.

Методические указания составлены в соответствии с рабочими программами по профессиональным модулям для специальностей 31.02.01 и 31.02.02, утвержденными в Томском политехническом техникуме.

Для выполнения практических заданий в методических указаниях приведены:

* Многовариантные задачи;
* Основные формулы из теории без доказательств;
* Порядок и примеры решения задач.

Для решения предложенных задач требуется предварительное изучение теоретического материала.

**Правила выполнения практических работ**

Практические занятия по термодинамике проводятся в соответствии с календарно-тематическим планом дисциплины.

Каждая практическая работа рассчитана на 2 академических часа (1 пара).

Перед выполнением каждой работы студент должен дома самостоятельно подготовиться по названной преподавателем теме. На занятии студент выполняет практическую работу в объеме, указанном преподавателем. Результатом выполнения является отчет по проделанной работе с ответами на контрольные вопросы, сданный в конце урока. Содержание и форма отчета указаны ниже.

Практические задания следует выполнять в отдельной тетради. Решение каждого задания следует начинать с новой страницы. Необходимые схемы и графики должны быть выполнены карандашом, с указанием элементов или величин, входящих в них.

При решении задач необходимо последовательно излагать весь ход расчетов со ссылкой на соответствующие формулы. Все расчеты производятся в единицах измерений в системе СИ.

Образец заполнения обложки тетради

ТЕТРАДЬ

для практических работ

по термодинамике

студента(ки) 2 курса гр.\_\_\_\_

ФИО студента

Порядок выполнения пропущенных работ

Студент, не выполнивший работу по уважительным или неуважительным причинам, выполняет ее самостоятельно, взяв задание у преподавателя, в полном или сокращенном объеме, по усмотрению преподавателя.

Сроки сдачи отчетов по пропущенным работам устанавливаются преподавателем.

Критерии оценок по работе

При выполнении практических работ за одно занятие студент может получить две оценки: одна за работу в аудитории, другая за выполнение практической работы (за оформленный отчет).

Отчеты по работам оцениваются по пятибалльной шкале следующим образом:

«5» - выставляется студенту, выполнившему работу, оформившему отчет в соответствии с требованиями и полностью ответившему на контрольные вопросы;

«4» - выставляется студенту, выполнившему работу, оформившему отчет в соответствии с требованиями, но имеющему замечания по контрольным вопросам;

«3» - выставляется студенту, выполнившему работу, но не ответившему на контрольные вопросы и имеющему замечания по оформлению отчета.

«2» - выставляется студенту, присутствовавшему на занятии, но не выполнившему работу или не сдавшему отчет в установленное время.

**Практическая работа № 1**

2 часа

***ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ И ГАЗОВЫЕ СМЕСИ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета основных параметров состояния и требуемых физических величин на основании законов идеальных газов и уравнений для газовых смесей.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.1 §§2-4, гл.2 §§1-3.

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», §§ 1.1-1.4.

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблиц 1.1-1.5.

 4.2. По условиям задач 1.1-1.5 рассчитать требуемые величины.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условия задач.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. таблицы 1.1-1.5).

6.2. Ответить письменно на контрольные вопросы.

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Понятие идеального газа. Законы идеальных газов.

7.2. Физический смысл газовой постоянной вещества.

7.3. В чем отличие реального газа от идеального?

7.4. Способы задания газовой смеси. Как определяется газовая постоянная смеси?

7.5. Закон Дальтона. Как определяется парциальное давление компонента смеси?

**ЗАДАНИЕ**

**Задача 1.1.** По исходным данным табл.1.1. определить:

а) конечный объем *V2*, *м3* при известных *р1, р2 и V1*;

б) конечное давление *р2, кПа* при известных *V1, V2 и р1*.

Таблица 1.1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № вар-та | а) | б) |
| р1, кПа | V1, м3 | р2, кПа | V2, м3 | р1, кПа | V1, м3 |
| 1 | 200 | 20 | 400 | 70 | 40 | 20 |
| 2 | 250 | 30 | 600 | 80 | 50 | 40 |
| 3 | 300 | 40 | 100 | 90 | 60 | 55 |
| 4 | 400 | 50 | 800 | 100 | 70 | 60 |
| 5 | 500 | 60 | 50 | 50 | 80 | 100 |
| 6 | 600 | 70 | 120 | 40 | 90 | 75 |
| 7 | 700 | 80 | 1100 | 30 | 100 | 55 |
| 8 | 800 | 90 | 250 | 20 | 110 | 45 |
| 9 | 900 | 100 | 500 | 10 | 120 | 100 |
| 10 | 1000 | 110 | 450 | 100 | 130 | 10 |

**Задача 1.2**. По исходным данным табл.1.2 определить:

а) конечную температуру *t2* при известных *р1, t1, р2*;

б) конечное давление *р2* при известных *р1, t1,* *t2*.

Таблица 1.2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № вар-та | а) | б) |
| р1, кПа | t1, °C | р2, кПа | р1, кПа | t1, °C | t2, °C |
| 1 | 200 | 8 | 400 | 40 | 18 | 42 |
| 2 | 300 | 10 | 600 | 50 | 20 | 46 |
| 3 | 400 | 12 | 700 | 60 | 32 | 50 |
| 4 | 500 | 14 | 800 | 70 | 24 | 54 |
| 5 | 600 | 16 | 900 | 80 | 26 | 58 |
| 6 | 500 | 18 | 300 | 90 | 28 | 62 |
| 7 | 400 | 20 | 250 | 100 | 30 | 66 |
| 8 | 300 | 22 | 200 | 110 | 32 | 70 |
| 9 | 200 | 24 | 100 | 120 | 34 | 72 |
| 10 | 100 | 26 | 50 | 130 | 36 | 76 |

**Задача 1.3.** В газгольдере при давлении *р, кПа* и температуре *t, °С*, газ занимает объем *V, м3*. Вычислить массу газа и силу тяжести газа. Исходные данные взять из табл.1.3.

Таблица 1.3.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Газ  | р, кПа | t, °C | V, м3 |
| 1 | Кислород | 100 | 20 | 150 |
| 2 | Азот | 110 | 30 | 200 |
| 3 | Метан | 120 | 40 | 250 |
| 4 | Сероводород | 130 | 50 | 300 |
| 5 | Водород | 140 | 60 | 350 |
| 6 | Углекислый газ | 150 | 20 | 400 |
| 7 | Воздух | 160 | 30 | 450 |
| 8 | Аммиак | 170 | 40 | 500 |
| 9 | Пропан | 180 | 50 | 550 |
| 10 | Гелий | 190 | 60 | 600 |

**Задача 1.4.** По исходным данным табл.1.4. определить:

а) конечный объем *V2*, *м3* при известных *V1, t1 и t2*;

б) конечную температуру *t2, °С* при известных *V1, V2 и t1*.

Таблица 1.4.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № вар-та | а) | б) |
| V1, м3 | t1, °C | t2, °C | V1, м3 | V2, м3 | t1, °C |
| 1 | 20 | 18 | 42 | 20 | 70 | 8 |
| 2 | 30 | 20 | 46 | 40 | 80 | 10 |
| 3 | 40 | 32 | 50 | 55 | 90 | 12 |
| 4 | 50 | 24 | 54 | 60 | 100 | 14 |
| 5 | 60 | 26 | 58 | 100 | 50 | 16 |
| 6 | 70 | 28 | 62 | 75 | 40 | 18 |
| 7 | 80 | 30 | 66 | 55 | 30 | 20 |
| 8 | 90 | 32 | 70 | 45 | 20 | 22 |
| 9 | 100 | 34 | 72 | 100 | 10 | 24 |
| 10 | 110 | 36 | 76 | 10 | 100 | 26 |

**Задача 1.5.** Для газовой смеси массой m, кг заданной объемными долями и занимающей объем V, м3 при температуре смеси Т, К требуется определить:

1. Газовую постоянную смеси;
2. Давление смеси;
3. Парциальные давления компонентов смеси.

Исходные данные взять из табл.1.5.

Таблица 1.5.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | m, кг | V, м3 | T, К | Объемные доли газовой смеси |
| N2 | O2 | CO2 | H2O | H2 |
| 1 | 20 | 17 | 280 | 50 | - | 20 | - | 30 |
| 2 | 22 | 20 | 290 | - | 10 | 40 | 50 | - |
| 3 | 25 | 23 | 300 | 30 | 20 | 50 | - | - |
| 4 | 28 | 30 | 310 | 45 | - | - | 5 | 50 |
| 5 | 30 | 25 | 320 | - | - | 25 | 50 | 25 |
| 6 | 32 | 28 | 330 | - | 35 | - | 20 | 45 |
| 7 | 35 | 30 | 340 | 15 | 60 | - | - | 25 |
| 8 | 38 | 34 | 350 | 30 | 10 | - | 60 | - |
| 9 | 40 | 38 | 360 | - | 35 | 25 | - | 40 |
| 10 | 42 | 40 | 370 | - | - | 45 | 25 | 30 |

**Практическая работа № 2**

2 часа

***ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ И ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета теплоемкостей газов и газовых смесей, количества подведенного или отведенного тепла через массу газа или через объем, приведенный к нормальным условиям.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные таблицы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.3 §§1-3.

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», §§ 1.6-1.9.

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблиц 2.1-2.2.

 4.2. По условиям задач 2.1-2.2 выполнить следующее:

4.2.1. Рассчитать теплоемкости газов или газовой смеси;

4.2.2. Определить количество подведенного или отведенного тепла.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условия задач.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. таблицы 2.1-2.2).

6.2. Ответить письменно на контрольные вопросы.

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Понятие массовой, объемной и мольной теплоемкостей.

7.2. От каких параметров зависит теплоемкость идеального и реального газа?

7.3. Понятие истинной и средней теплоемкости. В чем различие между ними?

7.4. Как определить по таблице средних теплоемкостей теплоемкость оксида углерода (СО) при 580 °С?

7.5. Как определяются массовая и объемная теплоемкости смеси?

**Задание**

**Задача 2.1.**

Для газа массой m, определить среднюю теплоемкость (с помощью таблиц), количество подведенного и отведенного тепла при следующих условиях:

а) газ с давлением р и температурой Т1 нагревается при постоянном давлении до температуры Т2;

б) газ с объемом V и температурой Т2 охлаждается при постоянном объеме до температуры Т1.

Исходные данные взять из табл.2.1. Для определения теплоемкостей использовать таблицу П2-1.

Таблица 2.2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Газ | m, кг | а) | б) |
| Р, бар | Т1, К | Т2, К | V, м3 | Т1, К | Т2, К |
| 1 | СО | 7,9 | 0,5 | 275 | 395 | 0,1 | 275 | 395 |
| 2 | СО2 | 2,8 | 0,55 | 280 | 400 | 0,15 | 280 | 400 |
| 3 | воздух | 10,4 | 0,6 | 285 | 405 | 0,2 | 285 | 405 |
| 4 | Н2 | 3,6 | 0,65 | 290 | 410 | 0,25 | 290 | 410 |
| 5 | Н2О (вод.пар) | 5,4 | 0,7 | 295 | 415 | 0,3 | 295 | 415 |
| 6 | SO2 | 4,8 | 0,75 | 300 | 420 | 0,35 | 300 | 420 |
| 7 | N2 | 1,2 | 0,8 | 305 | 425 | 0,4 | 305 | 425 |
| 8 | СО2 | 6,3 | 0,85 | 310 | 430 | 0,45 | 310 | 430 |
| 9 | воздух | 8,2 | 0,9 | 315 | 435 | 0,5 | 315 | 435 |
| 10 | O2 | 9,5 | 0,95 | 320 | 440 | 0,55 | 320 | 440 |

**Задача 2.2.**

Природный (попутный) газ представляет собой газовую смесь, заданную объемными долями компонентов и занимающую объем V, м3. Газ нагревается (охлаждается) при постоянном давлении от температуры t1 до температуры t2.

Определить: газовую постоянную смеси, теплоемкость смеси, количество подведенного или отведенного тепла.

Исходные данные для решения задачи взять из табл.2.2. Объемный состав газа указан в табл.П4.

Таблица 2.2.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Вид топлива | Месторождение  | V, м3 | t1,ºС | t2, ºС |
| 1 | Природный газ | Северо-Ставропольское | 800 | 5 | 62 |
| 2 | Попутный газ | Туймазинское | 1000 | 65 | 14 |
| 3 | Природный газ | Березовское | 1200 | 10 | 88 |
| 4 | Попутный газ | Ромашкинское | 1600 | -2 | 37 |
| 5 | Природный газ | Уренгойское | 1800 | 86 | 19 |
| 6 | Попутный газ | Пермское  | 2000 | 13 | 70 |
| 7 | Природный газ | Медвежье | 2200 | 25 | 93 |
| 8 | Попутный газ | Бавлинское | 2500 | 0 | 45 |
| 9 | Природный газ | Оренбургское | 1500 | 74 | 22 |
| 10 | Попутный газ | Узеньское | 900 | -10 | 50 |

**Практическая работа № 3**

2 часа

***РАСЧЁТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета основных термодинамических процессов.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.5, §§ 1-3

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», §§ 2.3-2.11

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблиц 3.1-3.4.

 4.2. По условиям задач выполнить следующее:

 4.2.1. Определить недостающие параметры состояния;

 4.2.2. Определить количество тепла, совершенную работу в процессе и изменение внутренней энергии;

 4.2.3. Изобразить процессы в pV-диаграмме.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условия задач.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

 5.5. Необходимые схемы, графики и рисунки выполнять карандашом с применением чертежных принадлежностей.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл. 3.1 – 3.4).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Понятие изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного процессов.

7.2. Назначение pV-диаграммы.

7.3. Понятие политропного процесса.

7.4. Показатель адиабаты. Почему он всегда больше единицы для любых газов?

7.5. Почему адиабата идет круче изотермы в pV-диаграмме.

**Задание**

***Задача 3.1.*** Изотермически сжимают *V* м3 газа с *Р1=* 2,0 кПа до *Р2*, кПа. Температура газа *t, °С.*

Вычислить: 1) параметры газа в начале и конце процесса;

2) работу, затраченную на сжатие;

3) количество тепла, выделенное при сжатии.

4) построить процесс в pV-диаграмме.

Исходные данные взять из табл. 3.1.

Таблица 3.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Газ  | р2, кПа | t, °С | V, м3 |
| 1 | Воздух | 100 | 20 | 150 |
| 2 | Водород | 110 | 30 | 200 |
| 3 | Кислород | 120 | 40 | 250 |
| 4 | Аммиак | 130 | 50 | 300 |
| 5 | Азот | 140 | 60 | 350 |
| 6 | Углекислый газ | 150 | 50 | 400 |
| 7 | Метан | 160 | 40 | 450 |
| 8 | Бутан | 170 | 30 | 500 |
| 9 | Пропан | 180 | 20 | 550 |
| 10 | Сероводород | 190 | 10 | 600 |

***Задача 3.2.*** В автоклаве объемом *V* находится газ под давлением *P1* кПа и *t1* °С. При нагревании (V=const) давление в автоклаве поднялось до *Р2* кПа.

Определить: 1) сколько тепла сообщено газу в автоклаве;

2) до какой температуры нагреется газ.

3) построить процесс в pV-диаграмме.

Исходные данные взять из табл. 3.2.

Таблица 3.2.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | газ | V, м3 | р1, кПа | t1, °С | р2, кПа |
| 1 | H2S | 0,06 | 20 | 10 | 120 |
| 2 | NH3 | 0,05 | 25 | 15 | 130 |
| 3 | CO | 0,04 | 30 | 25 | 140 |
| 4 | CO2 | 0,03 | 35 | 30 | 155 |
| 5 | He | 0,02 | 40 | 40 | 115 |
| 6 | Ne | 0,04 | 45 | 50 | 135 |
| 7 | CH4 | 0,06 | 50 | 60 | 165 |
| 8 | C2H2 | 0,08 | 55 | 70 | 205 |
| 9 | C3H8 | 0,05 | 60 | 80 | 190 |
| 10 | N2 | 0,1 | 65 | 30 | 180 |

***Задача 3.3.*** Газ с начальным давлением р1, ат и начальной температурой t1, °С, расширяется при постоянном давлении от начального объема V1, м3 в n раз.

1) Определить:

- конечные параметры газа;

- работу, затраченную на расширение L;

- тепло, участвующее в процессе Q;

- изменение внутренней энергии ΔU.

2) Построить процесс pV-диаграмме.

Исходные данные взять из табл. 3.3.

Таблица 3.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Газ  | V1, м3 | n | р1, ат | t1, °С |
| 1 | Воздух | 0,1 | 2 | 20 | 48 |
| 2 | Аргон | 0,12 | 1,5 | 22 | 24 |
| 3 | Бутан | 0,14 | 1,7 | 24 | 39 |
| 4 | Пропан | 0,16 | 3,0 | 35 | 54 |
| 5 | Сероводород | 0,2 | 3,5 | 31 | 18 |
| 6 | Углекислый газ | 0,23 | 2,2 | 28 | 26 |
| 7 | Аммиак | 0,26 | 2,4 | 42 | 35 |
| 8 | Азот | 0,32 | 2,6 | 56 | 44 |
| 9 | Водород | 0,41 | 1,8 | 33 | 60 |
| 10 | Кислород | 0,58 | 4,0 | 10 | 74 |

**Задача 3.4.** Газ массой m, кг с начальным давлением р1, атм и начальной температурой Т1, К сжимается и объем газа уменьшается в 2 раза.

Определить:

1. Начальные и конечные параметры газа;
2. Количество тепла в процессе;
3. Совершенную работу и изменение внутренней энергии, если сжатие происходит

А) по адиабате c показателем адиабаты К=1.4;

Б) по политропе с показателем политропы m=1.2.

4) Изобразить процессы в pV-диаграмме.

Исходные данные взять из табл. 3.4.

Таблица 3.4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Газ  | m, кг | р1, атм | Т1, К |
| 1 | Воздух | 2,5 | 0,5 | 288 |
| 2 | Азот | 5,0 | 0,8 | 302 |
| 3 | Водород | 3,6 | 1,1 | 290 |
| 4 | Углекислый газ | 4,1 | 0,3 | 314 |
| 5 | Сероводород | 1,8 | 0,4 | 295 |
| 6 | Метан | 2,7 | 0,6 | 306 |
| 7 | Аргон | 3,3 | 1,0 | 284 |
| 8 | Гелий | 5,6 | 0,2 | 310 |
| 9 | Оксид углерода | 1,5 | 0,7 | 325 |
| 10 | Аммиак | 7,4 | 0,9 | 300 |

**Практическая работа № 4**

2 часа

***РАСЧЁТ ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС)***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета циклов поршневых ДВС.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.11, §1

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», § 4.1

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 4.1.

 4.2. По условию задания выполнить следующее:

 4.2.1. Изобразить схематично (без масштаба) заданный цикл в pV-диаграмме;

 4.2.2. Определить параметры состояния в характерных точках цикла;

4.2.3. Определить количество подведенного и отведенного тепла;

4.2.4. Рассчитать термический КПД цикла.

 4.2.5. Построить по расчетным данным (в масштабе) заданный цикл в pV-диаграмме.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

 5.5. Необходимые схемы, графики и рисунки выполнять карандашом с применением чертежных принадлежностей.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл.4.1).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Что такое цикл Отто и цикл Дизеля?

7.2. Почему цикл Карно нельзя реализовать в реальных двигателях?

7.3. Как влияет степень сжатия на термический КПД цикла?

7.4. Как увеличить КПД цикла Отто?

7.5. Почему при одинаковых начальных параметрах КПД цикла Отто больше, чем КПД цикла Дизеля?

**ЗАДАНИЕ**

Произвести расчет цикла двигателя внутреннего сгорания.

Для этого определить:

а) параметры в характерных точках цикла;

б) количество подведенного и отведенного тепла;

в) КПД цикла.

По рассчитанным параметрам построить в масштабе цикл в pV-диаграмме.

 Рабочее тело массой 1 кг обладает свойствами воздуха. Исходные данные взять из табл.4.1.

Таблица 4.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | р1, бар | Т1, К | ε | ρ | λ |
| 1 | 8,0 | 280 | 7,0 | 1,6 | 1,0 |
| 2 | 8,5 | 285 | 8,0 | 1,0 | 2,3 |
| 3 | 9,0 | 290 | 7,5 | 1,8 | 1,8 |
| 4 | 9,5 | 295 | 6,4 | 2,0 | 1,0 |
| 5 | 10,0 | 300 | 10,2 | 2,2 | 2,4 |
| 6 | 10,5 | 305 | 12,0 | 1,0 | 1,5 |
| 7 | 11,0 | 310 | 14,0 | 1,7 | 1,6 |
| 8 | 11,5 | 315 | 9,4 | 1,5 | 1,0 |
| 9 | 12,0 | 288 | 11,0 | 1,0 | 2,0 |
| 10 | 12,5 | 304 | 13,0 | 2,6 | 2,1 |

**Практическая работа № 5**

2 часа

***РАСЧЁТ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО КОМПРЕССОРА***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета основных характеристик многоступенчатых компрессоров.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.12, §§ 1-3

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», § 4.2

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 5.1.

 4.2. По условию задания выполнить расчеты одноступенчатого и трехступенчатого компрессоров.

 4.2.1. Определить:

а) теоретическую работу компрессора;

б) теоретическую мощность двигателя для привода компрессора;

в) расход охлаждающей воды;

г) для многоступенчатого компрессора определить давления сжатия по ступеням.

4.2.2. Расчеты произвести для изотермического, адиабатного и политропного процессов сжатия.

 4.2.3. Изобразить процессы сжатия в pV и Ts-диаграмме.

.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

 5.5. Необходимые схемы, графики и рисунки выполнять карандашом с применением чертежных принадлежностей.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл. 5.1).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Основные типы компрессоров. Принцип их действия.

7.2. С какой целью производится многоступенчатое сжатие в компрессорах?

7.3. Почему в реальных компрессорах не производится изотермическое сжатие?

7.4. Термодинамические процессы в многоступенчатом компрессоре?

7.5. Что характеризует внутренний относительный КПД компрессора и как он определяется?

**ЗАДАНИЕ**

Компрессор всасывает V м3/с воздуха при начальном давлении р1 МПа и температуре t1 °C. Конечное давление сжатия рк МПа.

Произвести расчеты для одноступенчатого и трехступенчатого компрессоров.

Для этого определить:

В одноступенчатом компрессоре

1. Теоретическую работу компрессора L;
2. Теоретическую мощность двигателя для привода компрессора N;
3. Расход охлаждающей воды, если ее температура при этом повышается на Δt °С.

В трехступенчатом компрессоре

1. Давления за каждой ступенью;
2. Теоретическую работу компрессора L;
3. Теоретическую мощность двигателя для привода компрессора N;
4. Расход охлаждающей воды, если ее температура при этом повышается на Δt °С.

Расчеты произвести для изотермического, адиабатного и политропного процессов сжатия.

Изобразить процессы в в pV и Ts-диаграмме.

Принять: показатель политропы m=1,2, показатель адиабаты К=1,4 и теплоемкость воды =4,19 кДж/(кг·°С).

Исходные данные взять из таблицы 5.1.

Полученные результаты представить в виде таблицы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Величина  | Одноступенчатый компрессор | Трехступенчатый компрессор |
| Изотерм. | Адиабатный  | Политропный  | Изотерм. | Адиабатный  | Политропный  |
| L |  |  |  |  |  |  |
| N |  |  |  |  |  |  |
| G |  |  |  |  |  |  |

Таблица 5.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | V, м3/с | р1, МПа | t1, °С | рк, МПа | Δt, °С |
| 1 | 100 | 0,08 | 8,0 | 0,8 | 10 |
| 2 | 110 | 0,09 | 10,0 | 0,9 | 12 |
| 3 | 120 | 0,1 | 12,0 | 1,0 | 14 |
| 4 | 130 | 0,11 | 14,0 | 1,1 | 15 |
| 5 | 140 | 0,12 | 16,0 | 1,2 | 13 |
| 6 | 150 | 0,09 | 18,0 | 0,9 | 16 |
| 7 | 160 | 0,08 | 20,0 | 0,8 | 14 |
| 8 | 170 | 0,1 | 22,0 | 1,0 | 11 |
| 9 | 180 | 0,12 | 24,0 | 1,2 | 10 |
| 10 | 190 | 0,11 | 26,0 | 1,1 | 12 |

**Практическая работа № 6**

2 часа

***РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета основных параметров и процессов изменения состояния воды и водяного пара.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.8, §§ 1-2

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», §§ 3.1-3.4

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из табл.6.1.

 4.2. По условию задания выполнить следующее:

 4.2.1. Определить состояние рабочего тела во всех точках процессов;

 4.2.2. Определить параметры состояния в этих точках;

4.2.3. Рассчитать работу изменения объема, внешнюю работу и теплоту обоих процессов;

4.2.4. Построить процессы в pV и Ts-диаграмме.

 4.2.5. Полученные результаты представить в виде таблиц 6.2 – 6.3.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

 5.5. Необходимые схемы, графики и рисунки выполнять карандашом с применением чертежных принадлежностей.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл.6.1).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Что такое влажный и сухой насыщенный пар? Каковы его основные характеристики?

7.2. Что называется теплотой парообразования? Как она определяется?

7.3. Как можно определить по начальным данным начальное состояние рабочего тела?

7.4. Как изображаются процессы парообразования в координатах *p – v; T – s; h – s*?

7.5. Какие из перечисленных параметров можно определить с помощью *h – s*-диаграммы: недогретая вода, влажный пар, сухой насыщенный пар и перегретый пар?

**ЗАДАНИЕ**

 Рабочее тело (пар или вода) с параметрами р1, бар и t1, °С

А) сначала расширяется по адиабате (S=const) до давления р2, бар, а затем сжимается при постоянном давлении до первоначального объема (нечетные варианты);

Б) сначала расширяется по изотерме (T=const) до давления р2, бар, а затем сжимается при постоянном объеме до первоначального давления (четные варианты).

Определить, используя таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара:

* Состояние рабочего тела во всех точках процессов;
* параметры состояния (*p, t ,v h, u, s, x*) в этих точках;
* параметры процессов (Δ*u*, Δ*h*, Δ*s*, *q*, *w*, *l*).

Построить процессы в pV и Ts-диаграмме.

Исходные данные взять из табл.6.1. Результаты представить в виде таблиц 6.2-6.3.

Таблица 6.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| р1, бар | 10,0 | 5,0 | 4,0 | 1,0 | 2,0 | 8,0 | 3,0 | 6,0 | 7,0 | 9,0 |
| t1, °C | 200 | 120 | 180 | 100 | 160 | 210 | 130 | 140 | 230 | 350 |
| р2, бар | 5,0 | 2,5 | 1,5 | 0,4 | 0,8 | 4,5 | 1,2 | 4,0 | 3,0 | 6,5 |

Таблица 6.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| параметрыточки | *р, бар* | *t, °С* | *v, м3/кг* | *h, кДж/кг* | *u, кДж/кг* | *s, кДж/(кг·К)* | *x* |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 6.3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| величинапроцессы | *Δh, кДж/кг* | *Δu, кДж/кг* | *Δs, кДж/(кг·К)* | *q, кДж/кг* | *w, кДж/кг* | *l, кДж/кг* |
| 1-2 |  |  |  |  |  |  |
| 2-3 |  |  |  |  |  |  |

**Практическая работа № 7**

2 часа

***РАСЧЁТ ЦИКЛА ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета циклов паросиловых установок.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.10, §§ 1-2

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», §§ 4.4-4.7

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 7.1.

 4.2. По условию задания выполнить следующее:

4.2.1. Изобразить принципиальную схему и цикл паросиловой установки по циклу Ренкина;

4.2.2. Определить термический КПД и удельный расход пара в цикле Ренкина:

а) при заданных начальных параметрах (см.табл.7.1);

б) при уменьшении конечного давления в конденсаторе турбины;

в) при увеличении начальной температуры пара;

г) при введении промежуточного перегрева пара.

4.2.3. Сделать сравнительный анализ полученных результатов;

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

 5.5. Необходимые схемы, графики и рисунки выполнять карандашом с применением чертежных принадлежностей.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл.7.1).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Почему в паросиловых установках в качестве рабочего тела используется вода и ее пар?

7.2. Характерные особенности цикла Ренкина.

7.3. Основные характеристики паросиловой установки.

7.4. Что такое теплофикация? Как за счет нее повышается экономичность паросиловых установок?

7.5. Что собой представляет регенеративный цикл? За счет чего в этом цикле повышается экономичность паросиловой установки?

**ЗАДАНИЕ**

Для схемы паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, определить термический КПД цикла и удельный расход пара при следующих условиях:

1. При начальном давлении пара р0, начальной температуре t0 и давлении в конденсаторе рк;
2. При уменьшении давления в конденсаторе (р0 и t0-const);
3. При увеличении начальной температуры (р0 и рк – const);
4. При введении промежуточного перегрева пара.

Начальные исходные данные взять из табл.7.1.

При расчете цикла Ренкина по измененным условиям, принять:

- уменьшение конечного давления рк – на 0,01 МПа;

- увеличение начальной температуры t0 – на 100 °С;

- параметры промежуточного перегрева рпп=0.5р0, tпп= t0.

Произвести анализ полученных результатов:

* Сравнить результаты расчетов;
* Сделать вывод о наиболее экономичном способе повышения эффективности цикла Ренкина.

Таблица 7.1

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры  | № варианта |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| р0, МПа | 13,0 | 13,5 | 14,0 | 14,5 | 15,0 | 15,5 | 16,0 | 16,5 | 17,0 | 17,5 |
| t0, °С | 500 | 510 | 520 | 530 | 540 | 550 | 500 | 540 | 520 | 550 |
| рк, МПа | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,02 |

**Практическая работа № 8**

2 часа

***РАСЧЁТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ДВУХСЛОЙНУЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ СТЕНКУ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета процессов теплопередачи через плоскую однослойную и многослойную цилиндрическую стенки.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.13, § 10

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», §§ 5.4-5.5

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблиц 8.1 – 8.2.

 4.2. По условию задания выполнить следующее:

 4.2.1. Изобразить схемы теплопередачи через заданные поверхности;

 4.2.2. Определить удельный тепловой поток, коэффициент теплопередачи и значения температур на поверхностях теплообмена при заданных условиях;

4.2.3. Определить новые значения этих же величин при изменении заданных условий;

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

 5.5. Необходимые схемы, графики и рисунки выполнять карандашом с применением чертежных принадлежностей.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл. 8.1 – 8.2).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Какие процессы переноса теплоты называются стационарными и нестационарными?

7.2. Что такое теплопередача? Какие формы переноса участвуют в ней?

7.3. Коэффициент теплопередачи: определение, расчетная формула. Как он определяется для криволинейных стенок?

7.4. Каковы особенности изоляции криволинейных поверхностей и как подбирают материал тепловой изоляции труб?

7.5. Влияние накипи на внутренней поверхности труб на величину коэффициента теплопередачи.

**ЗАДАНИЕ**

**Задача 1.** Горячая вода, использующаяся для нагнетания в пласты с целью увеличения нефтеотдачи, находится в баке. Теплота передается через плоскую стальную стенку бака с коэффициентом теплопроводности λс=40 Вт/м⋅К от дымовых газов к воде. Толщина стенки δс,мм, температура дымовых газов tж1,оС, температура воды tж2,оС, коэффициент теплоотдачи от газов к стенке α1=30 Вт/(м2·К) и от стенки к воде α2=4000 Вт/(м2·К).

**Определить:**

* коэффициент теплопередачи (К, Вт/м2⋅К);
* плотность теплового потока, передаваемого через стенку (q, Вт/м2);
* температуры на поверхностях стенки со стороны газов (t1) и со стороны воды (t2).

Построить график распределения температур по толщине стенки. Нанести на график температуры tж1 и tж2.

В процессе эксплуатации стенка со стороны воды покрылась слоем накипи толщиной δн, мм, коэффициент теплопроводности накипи λн=1,0 Вт/м⋅К.

**Рассчитать** для этого случая К, q, t1, t2, температуру на поверхности накипи (tн). Построить график распределения температур по толщине стенки и накипи. Дать сравнительный анализ двух графиков.

Исходные данные взять из таблицы 8.1.

Таблица 8.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| tж1,оС | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 400 | 500 | 550 |
| tж2,оС | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 170 | 160 | 150 |
| δс,мм | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 | 300 |
| δн, мм | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,5 | 1,6 |

**Задача 2.** По стальному теплоизолированному трубопроводу, расположенному на открытом воздухе, передается горячий теплоноситель.

Толщина стенки трубы δ, мм, коэффициент теплопроводности стали λ=50 Вт/м·К. Температура окружающего воздуха tж,оС, коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающему воздуху α=10 Вт/м2⋅К, внутренний диаметр трубы d1, мм, температура на внутренней поверхности стальной трубы t1,оС, толщина слоя изоляции δиз, мм и коэффициент теплопроводности изоляции λиз=0,07 Вт/(м·К).

**Рассчитать:**

* температуру на поверхности изоляции (tиз),
* температуру наружной поверхности стальной трубы (t2),
* суточную потерю тепла на участке трубы длиной 100м (Q, Дж).

Изобразить схематически график распределения температур по толщине стенки трубы и по толщине изоляции.

Исходные данные взять из таблицы 8.2.

Таблица 8.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| d1, мм | 150,0 | 160,0 | 120,0 | 110,0 | 140,0 | 130,0 | 150,0 | 169,0 | 180,0 | 100,0 |
| δ, мм | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 4,5 | 5,0 | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 4,5 | 5,0 |
| δиз, мм | 40,0 | 25,0 | 60,0 | 80,0 | 35,0 | 55,0 | 45,0 | 75,0 | 15,0 | 20,0 |
| tж,оС | 20 | 15 | 10 | 5 | 0 | -5 | -10 | -20 | -15 | 25 |
| t1,оС | 180 | 170 | 160 | 155 | 145 | 200 | 190 | 175 | 185 | 135 |

**Практическая работа № 9**

2 часа

***ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета теплообменных аппаратов.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.13, §11

 3.2. А.М.Литвин «Теоретические основы теплотехники», §§ 8.1-8.2

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 9.1.

 4.2. По условию задания выполнить тепловой расчет пароводяного теплообменного аппарата в следующем порядке:

 4.2.1. Определить расходы греющей и нагреваемой среды;

 4.2.2. Определить коэффициенты теплоотдачи и коэффициент теплопередачи;

4.2.3. Рассчитать поверхность теплообменного аппарата;

4.2.4. Определить температуры стенок трубок.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

 5.5. Необходимые схемы, графики и рисунки выполнять карандашом с применением чертежных принадлежностей.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл. 9.1).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Классификация теплообменных аппаратов и принципы передачи теплоты в них.

7.2. Влияние схемы движения теплоносителей на теплообмен в теплообменных аппаратах.

7.3. Что такое индекс противоточности и каково его значение для основных схем движения и теплообмена?

7.4. Каково должно быть значение индекса противоточности выбранной схемы движения и теплообмена для осуществления заданного температурного режима?

7.5. Сущность и последовательность конструктивного и поверочного теплотехнического расчета теплообменных аппаратов.

**ЗАДАНИЕ**

Выполнить тепловой расчет пароводяного теплообменного аппарата (ТА), если известны:

* тепловая мощность теплообменника Q, Мвт;
* расположение труб горизонтальное с числом рядов n;
* температура воды на входе в подогреватель t1, °С;
* температура воды на выходе подогревателя t2, °С;
* давление греющего пара P, бар;
* трубы латунные, диаметр труб:

внутренний d1, мм;

наружный d2, мм;

* скорость движения воды в трубах υ, м/с.

Определить:

1. расход пара и массу воды, проходящей через ТА;
2. Коэффициенты теплоотдачи и коэффициент теплопередачи;
3. площадь поверхности стенок;
4. удельный тепловой поток;
5. температуры стенок труб.

Исходные данные взять из табл.9.1. Термодинамические и теплофизические параметры воды и водяного пара определить с помощью таблиц П7-1 и П7-2.

Таблица 9.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименова-ние параметров | Ед. измере-ния | Варианты |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Q | МВт | *7* | *8* | *5* | *9* | *10* | *6* | *5* | *7* | *8* | *9* |
| 2 | *n* | *-* | *16* | *18* | *14* | *12* | *14* | *16* | *18* | *20* | *18* | *16* |
| 3 | *t1* | *0С* | *50* | *40* | *45* | *60* | *55* | *50* | *30* | *35* | *40* | *20* |
| 4 | *t2* | *0С* | *120* | *135* | *145* | *160* | *155* | *170* | *165* | *175* | *160* | *180* |
| 5 | *P* | *бар* | *4* | *5* | *6* | *8* | *7* | *9* | *10* | *11* | *12* | *13* |
| 6 | *d1* | *мм* | *14* | *18* | *20* | *20* | *14* | *18* | *20* | *18* | *14* | *16* |
| 7 | *d2* | *мм* | *16* | *20* | *22* | *22* | *16* | *20* | *22* | *20* | *16* | *18* |
| 8 | *υ* | *м/с* | *1,2* | *1,1* | *1,3* | *1,4* | *1,2* | *1,1* | *1,3* | *1,4* | *1,2* | *1,1* |

**Практическая работа № 10**

2 часа

***РАСЧЁТ СОСТАВА И ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВА***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета состава и характеристик различных видов топлива.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.14, §§ 2-4

 3.2. А.М.Ицкович «Основы теплотехники», §§ 33-35

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблиц 10.1-10.2.

 4.2. По условию заданий выполнить следующее:

 4.2.1. Определить состав рабочей смеси топлив;

 4.2.2. Рассчитать для смеси газообразных топлив: низшую теплоту сгорания; тепловые эквиваленты топлив и расходы условного топлива для каждого газа.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. табл. 10.1-10.2).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Топливо: определение, основные его виды.

7.2. Элементарный состав органических топлив.

7.3. Что относится к балласту топлива?

7.4. Преимущества газообразного топлива перед жидким и твердым.

7.5. Что такое химическая неполнота сгорания топлива и чем она вызывается?

**ЗАДАНИЕ**

**Задача 1.** В топке котла сжигается смесь, состоящая из В1, кг первого топлива и В2, кг второго топлива. Определить состав рабочей массы смеси топлив.

Исходные данные взять из таблицы 10.1. Составы горючих масс топлив взять из таблицы П8.

Таблица 10.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Первое топливо | Второе топливо | В1, кг | В2, кг |
| 1 | Кузнецкий уголь (марка Д) | Кузнецкий уголь (марка К) | 3000 | 3500 |
| 2 | Ирша-Бородинский уголь (марка Б2) | Назаровский уголь (марка Б2) | 3500 | 4000 |
| 3 | Челябинский уголь (марка Б3) | Подмосковный уголь (марка Б2) | 4000 | 2900 |
| 4 | Гусиноозерский уголь (марка Б3) | Сахалинский уголь (марка Б3) | 2500 | 3000 |
| 5 | Кизеловский уголь (марка Г) | Минусинский уголь (марка Д) | 4500 | 4000 |
| 6 | Ангренский уголь (марка Б2) | Ленгерский уголь (марка Б3) | 1500 | 2500 |
| 7 | Ленинградский сланец | Эстонский сланец | 2000 | 3500 |
| 8 | Экибастузский уголь (марка СС) | Кузнецкий уголь (марка СС) | 5000 | 4500 |
| 9 | Донецкий уголь (марка Г) | Волынский уголь (марка Г) | 2400 | 3600 |
| 10 | Березовский уголь (марка Б2) | Артемовский уголь (марка Б3) | 3200 | 2800 |

**Задача 2.** В топке котла сжигается смесь, состоящая из V1, м3/с газа №1 и V2, м3/с газа №2. Определить низшую теплоту сгорания смеси, тепловые эквиваленты топлив и расходы условного топлива для каждого газа.

Исходные данные взять из таблицы 10.2. Составы топлив взять из таблицы П4.

Таблица 10.2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Газ №1 | Месторождение  | Газ №2 | Месторождение  | V1, м3/с | V2, м3/с |
| 1 | Природный газ | Ключевское | Попутный газ | Пермское | 0,5 | 1,5 |
| 2 | Попутный газ | Ромашкинское | Природный газ | Березовское | 0,6 | 1,4 |
| 3 | Природный газ | Уренгойское | Попутный газ | Мухановское | 0,7 | 1,3 |
| 4 | Попутный газ | Туймазинское | Природный газ | Самотлорское | 0,8 | 1,2 |
| 5 | Природный газ | Оренбургское | Попутный газ | Кулешовское | 0,9 | 1,1 |
| 6 | Попутный газ | Бавлинское | Природный газ | Медвежье | 1,0 | 1,0 |
| 7 | Природный газ | Ямбургское | Попутный газ | Майкопское | 1,1 | 0,9 |
| 8 | Попутный газ | Узеньское | Природный газ | Саратовское | 1,2 | 0,8 |
| 9 | Природный газ | Тазовское | Попутный газ | Ишимбаевское | 1,3 | 0,7 |
| 10 | Попутный газ | Шкаповское | Природный газ | Тарасовское | 1,4 | 0,6 |

**Практическая работа № 11**

2 часа

***РАСЧЁТ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ, ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ВОЗДУХА ДЛЯ ГОРЕНИЯ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета теоретического и действительного объема воздуха для горения, объема продуктов сгорания газообразных топлив.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.14, §§ 5-6

 3.2. А.М.Ицкович «Основы теплотехники», §§ 36-39

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 11.1.

 4.2. По условию задания выполнить следующее:

 4.2.1. Определить для заданной смеси газообразных топлив теоретический и действительный объемы воздуха и объем продуктов полного сгорания.

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. таблицу 11.1).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Что такое горение топлива?

7.2. Что такое коэффициент избытка воздуха?

7.3. Как определить полный объем газов при сжигании 1 кг топлива без учета и с учетом механического недожога (формулы)?

7.4. В чем отличие между действительным и теоретическим объемом воздуха, необходимого для сгорания топлива?

7.5. Как влияет коэффициент избытка воздуха на массу продуктов сгорания газообразного топлива?

**ЗАДАНИЕ**

В топке котла сжигается смесь, состоящая из V1 м3/час газа №1 и V2 м3/час газа №2. Определить теоретический и действительный объемы сухого воздуха, необходимые для сжигания смеси, при коэффициенте избытка воздуха в топочной камере αт=1,15. Рассчитать полный объем продуктов сгорания смеси.

Исходные данные взять из таблицы 11.2. Составы газов взять из табл.П4.

Таблица 11.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Газ №1 | Месторождение  | Газ №2 | Месторождение  | V1, м3/час | V2, м3/час |
| 1 | Природный газ | Ключевское | Попутный газ | Сызранское | 2000 | 1800 |
| 2 | Попутный газ | Краснодарское | Природный газ | Березовское | 2200 | 1900 |
| 3 | Природный газ | Уренгойское | Попутный газ | Жирновское | 2400 | 2000 |
| 4 | Попутный газ | Туймазинское | Природный газ | Самотлорское | 2600 | 2100 |
| 5 | Природный газ | Оренбургское | Попутный газ | Мухановское | 2800 | 2200 |
| 6 | Попутный газ | Бавлинское | Природный газ | Медвежье | 3000 | 2300 |
| 7 | Природный газ | Ямбургское | Попутный газ | Майкопское | 1800 | 2400 |
| 8 | Попутный газ | Покровское | Природный газ | Саратовское | 2500 | 2500 |
| 9 | Природный газ | Тазовское | Попутный газ | Пилюгинское | 2300 | 2600 |
| 10 | Попутный газ | Шкаповское | Природный газ | Тарасовское | 2100 | 2700 |

**Практическая работа № 12**

2 часа

***ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА, ОПРЕДЕЛНИЕ КПД КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков составления теплового баланса котла, определения его составляющих; расчета КПД котельных установок.

***2. Обеспечивающие средства***

 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

 2.2. Калькуляторы.

2.3. Справочные материалы.

***3. Литература***

3.1. Б.П.Поршаков «Основы термодинамики и теплотехники», гл.16, §§ 3-4

 3.2. А.М.Ицкович «Основы теплотехники», §§ 40-41

***4. Задание***

 4.1. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 12.1.

 4.2. По условию задания выполнить следующее:

 4.2.1. Составить тепловой баланс котельного агрегата;

 4.2.2. Определить составляющие теплового баланса котла;

4.2.3. Рассчитать КПД котельного агрегата (брутто) и установки (нетто).

***5. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задания.

 5.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

***6. Технология работы***

6.1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (см. таблицу 12.1).

6.2. Ответить на контрольные вопросы (письменно).

***7. Контрольные вопросы***

7.1. Что такое тепловой баланс котельного агрегата?

7.2. Физическая сущность слагаемых теплового баланса котлоагрегата.

7.3. Что характеризуют КПД котлоагрегата брутто и нетто, от чего они зависят?

7.4. Понятие условного топлива. Перерасчет расхода натурального топлива в условное.

7.5. Способы защиты от загрязнения окружающей среды продуктами сгорания.

**ЗАДАНИЕ**

В топке котельного агрегата паропроизводительностью D, кг/с сжигается мазут. Составить тепловой баланс котельного агрегата, если известны:

- температура топлива при входе в топку tт, °С;

- натуральный расход топлива В, кг/с;

- давление перегретого пара рпп, МПа;

- температура перегретого пара tпп, °С;

- температура питательной воды tпв, °С;

- величина непрерывной продувки Р, %;

- температура уходящих газов на выходе из последнего газохода θух, °С;

- коэффициент избытка воздуха за последним газоходом αух;

- температура воздуха в котельной tв, °С;

- энтальпия пара, идущего на распыливание топлива паровыми форсунками hф, кДж/кг.

Рассчитать КПД котельного агрегата (брутто) и установки (нетто).

Принять: среднюю объемную теплоемкость газов при постоянном давлении =1,415 кДж/(м3·К); среднюю объемную теплоемкость воздуха при постоянном давлении =1,297 кДж/(м3·К); содержание в уходящих газах оксида углерода СО=0,2 % и трехатомных газов RO2=16,6 %; давление пара, расходуемого на собственные нужды, рс.н=0,5 МПа; расход пара на собственные нужды Dс.н=0,01 кг/с.

Исходные данные взять из табл.12.1. Состав мазута взять из табл.П9.

Таблица 12.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | Марка мазута | tT, °C  | B, кг/с | рпп, МПа | tпп, °C  | tпв, °C | P, % | θух, °C | αух | tв, °C | hф, кДж/кг |
| 1 | М40мс | 90 | 4.0 | 3.4 | 400 | 130 | 3.0 | 150 | 1.35 | 25 | 3240 |
| 2 | М100мс | 91 | 4.5 | 3.5 | 420 | 135 | 4.0 | 155 | 1.36 | 26 | 3250 |
| 3 | М40с | 92 | 5.0 | 3.6 | 440 | 140 | 3.0 | 160 | 1.37 | 27 | 3260 |
| 4 | М100с | 93 | 5.5 | 3.7 | 410 | 145 | 4.0 | 165 | 1.38 | 28 | 3270 |
| 5 | М40вс | 94 | 6.0 | 3.8 | 430 | 150 | 3.0 | 160 | 1.39 | 29 | 3280 |
| 6 | М100вс | 95 | 6.5 | 3.9 | 450 | 145 | 4.0 | 155 | 1.4 | 30 | 3270 |
| 7 | М40мс | 96 | 7.0 | 4.0 | 440 | 140 | 3.0 | 150 | 1.41 | 29 | 3260 |
| 8 | М100с | 97 | 7.5 | 4.1 | 460 | 135 | 4.0 | 155 | 1.42 | 28 | 3250 |
| 9 | М40вс | 98 | 8.0 | 4.2 | 450 | 130 | 3.0 | 160 | 1.43 | 27 | 3240 |
| 10 | М100мс | 100 | 8.5 | 4.3 | 420 | 150 | 4.0 | 165 | 1.44 | 26 | 3230 |

*Примечание:* в обозначениях марок мазута приняты следующие сокращения (мс – малосернистый, с – сернистый, вс – высокосернистый мазуты).

Энтальпии воды и водяного пара определять с помощью таблиц П5-1 – П5-3, энтальпии воздуха и продуктов сгорания при помощи таблицы П10.

**Методические указания по выполнению практических работ**

**и примеры решения задач**

*Практическая работа №1 и №2*

При выполнении практических работ №1 и №2 следует внимательно изучить темы: «Законы идеальных газов», «Газовые смеси» и «Теплоемкость газов и газовых смесей».

Особенно следует помнить, что в термодинамических расчетах, все вычисления производятся в единицах системы СИ: давление – в паскалях (Па), объем – в кубических метрах (м3), удельный объем – в кубических метрах на килограмм (м3/кг) и температура – в градусах Кельвина (К). Для перевода величин из внесистемных единиц измерения в единицы системы СИ использовать таблицу П1.

При расчетах основных параметров состояния необходимо использовать основные формулы и соотношения законов идеальных газов:

1. закон Бойля-Мариотта (Т=const)
2. закон Шарля (v=const)
3. закон Гей-Люссака (p=const)
4. уравнение состояния идеального газа:

а) для 1 кг газа

б) для m кг газа

Газовая постоянная определяется по формуле

Где - универсальная газовая постоянная (=8314 Дж/(кмоль·К); - молярная масса газа (определяется по табл.П2).

При расчетах газовых смесей необходимо знать, что методика расчета зависит от способа задания газовой смеси.

При задании смеси через массовые доли (gi), газовая постоянная смеси находится по формуле

Где - газовые постоянные компонентов смеси; - массовые доли компонентов.

При задании смеси через объемные доли (ri), газовая постоянная смеси находится по формуле

Где - молярная масса смеси, определяющаяся по формуле

Где - молярные массы компонентов смеси; - объемные доли компонентов смеси.

Парциальные давления компонентов смеси pi определяются через объемные доли и давление смеси рсм по формуле

Количество подведенного или отведенного тепла Q, кДж, рассчитывается в зависимости от вида процесса, в котором участвует газ (смесь).

При p=const применяется формула

Где - масса газа (смеси), кг; - массовая изобарная теплоемкость, кДж/(кг·К); - разность между конечной и начальной температурой нагрева (охлаждения) рабочего тела, ºС.

При v=const применяется формула

Где - масса газа (смеси), кг; - массовая изохорная теплоемкость, кДж/(кг·К); - разность между конечной и начальной температурой нагрева (охлаждения) рабочего тела, ºС.

При определении теплоемкости в зависимости от температуры следует пользоваться таблицей П3.

В том случае, когда теплоемкость считается постоянной, для ее вычисления можно использовать соотношения между массовой и киломольной теплоемкостями и между объемной и киломольной теплоемкостями (см.табл.П1-2).

При определении теплоемкости смеси необходимо учитывать способ задания смеси. Если смесь задается массовыми долями, то теплоемкость смеси определяют по формуле



Если она задана объемными долями, то используют следующую формулу



Где теплоемкости компонентов смеси определяются по указаниям, приведенным выше.

***Примеры решения задач***

**Задача №1.** Газ при начальном давлении р1=100 кПа занимает объем V1=0,05 м3. При каком давлении он займет объем V2=0,35 м3, если температура газа постоянна?

***Решение:***

 Т.к. T=const, то газ подчиняется з-ну Бойля-Мариотта и его параметры связаны соотношением

Отсюда

**Задача №2.** При давлении р1=5 бар, газ имеет температуру t1=25 ºС. Определить температуру этого газа при давлении р2=8 бар, если его объем не изменяется.

***Решение:***

При V=const, газ подчиняется з-ну Шарля и его давления прямо пропорциональны абсолютным температурам

Выполняем перевод единиц измерений в систему СИ (см.табл.П1-1).

р1= 5 бар=5·0,1·105=0,5·105 Па; р2= 8 бар=8·0,1·105=0,8·105 Па; Т1=25+273=298 К.

**Задача №3.** Метан (СН4) при давлении р=1 ат и температуре t=20 ºC занимает объем V=400 л. Определить массу метана и силу тяжести газа.

***Решение:***

Выполняем перевод единиц измерений в систему СИ (см.табл.П1-1).

р=1 ат=9,8·104 Па; T=20+273=293 К; V=0,4 м3.

Молярную массу метана определим по табл.П2.

μ=16 кг/кмоль.

Газовую постоянную метана находим по формуле Дж/(кг·К).

Массу метана определяем из уравнения состояния

Откуда кг.

По з-ну Ньютона находим силу тяжести газа

 Н.

**Задача №4.** Газ при температуре t1=30 ºC занимает объем V1=500 cм3. Какой объем он займет при температуре t2=5 ºC, если его давление при этом не меняется?

***Решение:***

При p=const газ подчиняется з-ну Гей-Люссака и его объемы прямо пропорциональны абсолютным температурам

Выполняем перевод единиц измерений в систему СИ (см.табл.П1-1).

Т1=30+273=303 К; Т2=5+273=278 К; V1=500·10-6 м3.

Конечный объем м3.

**Задача №5.** Дымовые газы представляют собой смесь массой m=2 кг, занимающей объем V=10 м3 при температуре Т=700 К. Объемный состав смеси:

Определить газовую постоянную смеси Rсм, давление смеси рсм и парциальные давления компонентов смеси.

***Решение:***

Т.к. смесь задана объемными долями, то применяем следующий порядок расчета:

1) по табл.П2 определяем молярные массы компонентов

1. определяем молярную массу смеси по формуле
2. находим газовую постоянную смеси по формуле
3. давление смеси определяем из уравнения состояния для смеси

Откуда

1. Определим парциальные давления компонентов:

**Задача №6.** Кислород (О2) массой m=10 кг нагревается при постоянном давлении от температуры Т1=273 К до температуры Т2=313 К.

Определить с помощью таблиц среднюю теплоемкость газа и рассчитать количество подведенного при нагреве тепла.

Этот же газ объемом V=10 м3 охлаждается при постоянном объеме от температуры t1=45 ºС до температуры t2=15 ºС.

Определить количество отведенного тепла от газа, считая теплоемкость постоянной.

***Решение:***

Первый случай.

1. По табл.П3 определяем массовую изобарную теплоемкость кислорода при средней температуре (Тср=(Т1+Т2)/2=(273+313)/2=343 К=(343-273)=70 ºС).

ср=0,9257 кДж/(кг·К).

1. Количество подведенного тепла определим по формуле

Второй случай.

1. Т.к. кислород – двухатомный газ, то его объемная изохорная теплоемкость может быть определена по формуле табл.П1-2

кДж/(кг·К).

1. Количество отведенного тепла определим по формуле

**Задача №7.** Какое количество тепла необходимо подвести к 500 м3 природного газа состава: СН4=92,8 %; С2Н6=3,9 %; С3Н8=1,0 %; С4Н10=0,4 %; С5Н12=0,3 %; СО2=0,1 %; N2=1,5 %; чтобы нагреть его от температуры t1=20 ºС до температуры t2=1500 ºС? Теплоемкости компонентов считать постоянными.

***Решение:***

1. Определяем объемную теплоемкость смеси по формуле

Введем следующие обозначения:

 – объемная теплоемкость и объемная доля метана (СН4);

 - объемная теплоемкость и объемная доля этана (С2Н6);

 - объемная теплоемкость и объемная доля пропана (С3Н8);

 - объемная теплоемкость и объемная доля бутана (С4Н10);

 - объемная теплоемкость и объемная доля пентана (С5Н12);

 - объемная теплоемкость и объемная доля углекислого газа (СО2);

 - объемная теплоемкость и объемная доля азота (N2).

Объемные теплоемкости компонентов определим в зависимости от атомности газов. Значения для этого берем из табл.П1-2.

Метан, этан, пропан, бутан, пентан и углекислый газ – трех- и многоатомные газы, поэтому кДж/(м3·К).

Азот – двухатомный газ, для него объемная теплоемкость кДж/(м3·К).

 кДж/(м3·К).

1. Рассчитываем количество подведенного тепла по формуле

*Практическая работа №3*

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

Необходимо обратить внимание на то, что соотношения между параметрами в изохорном, изобарном и изотермическом процессе подчиняются законам Шарля, Гей-Люссака и Бойля-Мариотта соответственно.

В адиабатном процессе все три основных параметра **изменяются**. Соотношения между ними описываются следующими уравнениями:

k – показатель адиабаты.

В политропном процессе соотношения между основными параметрами состояния аналогичны соотношениям в адиабатном процессе

m – показатель политропы.

Кроме параметров состояния в практической работе рассчитываются: работа *l*, кДж/кг; теплота процесса q, кДж/кг и изменение внутренней энергии Δu, кДж/кг.

Основные формулы расчета процессов приведены в табл.1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименова-ние процесса** | **Соотноше-ние между параметра-ми** | **Формула работы L** | **Количество теплоты Q** | **График процессов** |
| **Pυ - диаграмма** | **TS - диаграмма** |
| Изохорный процессυ = const |  | L = 0 | Qυ = ΔUQυ = cυ⋅ΔT |  |  |
| Изобарный процессP = const |  | L = PΔV | Q= cpΔT |  |  |
| Изотермичес-кий процессT = const | P1υ1 = P2υ2 |  | Q=L |  |  |
| Адиабатный процессPυk = const | P1υ1k = P2υ2k |  | Q = 0Q= L+ΔU |  |  |

Изменение внутренней энергии Δu можно найти из 1-го закона термодинамики

применительно к соответствующему процессу.

***Примеры решения задач***

**Задача №1.** Сернистый газ (SO2) объемом V1=20 м3 сжимают при постоянной температуре Т=317 К от давления р1=3 кПа до давления р2=300 кПа.

Определить: а) параметры состояния в начале и конце процесса;

 б) работу, затраченную на сжатие;

 в) количество тепла в процессе;

г) изменение внутренней энергии.

Построить процесс в pV-диаграмме.

***Решение:***

1. Конечный объем газа находим из соотношения между параметрами в изотермическом процессе (T=const)

 м3.

1. Газовая постоянная SO2

 Дж/(кг·К).

1. Масса газа

 кг.

1. Работа, затраченная на сжатие

 Дж.

1. Количество тепла в процессе

Т.к. процесс изотермический, изменение внутренней энергии ΔU=0, и по первому з-ну термодинамики Q=L=-277077.4 Дж.

6) по известным значениям р1, р2, V1 и V2 строим в масштабе процесс в pV-диаграмме.

**Задача №2.** В баллоне объемом V=0,5 м3 находится кислород (О2) под давлением р1=10 кПа и температуре t1=17 °С. Газ нагревают при постоянном объеме до давления р2=20 кПа.

Определить: 1) сколько тепла сообщено газу;

2)до какой температуры нагрелся кислород;

3)работу, совершенную газом;

4)изменение внутренней энергии.

Построить процесс в pV-диаграмме.

***Решение:***

1. Конечная температура газа в изохорном процессе определяется из соотношения параметров
2. Газовая постоянная кислорода

 Дж/(кг·К).

1. Масса кислорода

 кг.

1. Массовая изохорная теплоемкость кислорода определяется по таблицам теплоемкостей при средней температуре процесса tср=(t1+t2)/2=(17+307)/2=162 °С.

=0,6915 кДж/(кг·К).

1. Количество тепла в процессе

 кДж.

1. В изохорном процессе работа сжатия L=0, т.к. объем постоянный. Отсюда по 1-му з-ну термодинамики кДж.
2. по известным значениям р1, р2, V строим в масштабе процесс в pV-диаграмме.

**Задача №3**. В цилиндре с поршнем, под постоянным давлением 4 бар, находится воздух при температуре t1=500 °C. От воздуха отводится тепло таким образом, что в конце процесса устанавливается температура t2=100 °C. Объем цилиндра, в котором находится воздух, 200 л.

Определить количество отнятого тепла, конечный объем, изменение внутренней энергии и совершенную над газом работу сжатия.

***Решение:***

1. выполняем перевод внесистемных единиц измерения в единицы системы СИ: р=4 бар=4·105 Па; V1=200 л=0,2 м3.
2. Конечный объем в изобарном процессе определяем по з-ну Гей-Люссака:

 м3.

1. Газовая постоянная воздуха

 Дж/(кг·К).

1. Масса воздуха

 кг.

1. Массовая изобарная теплоемкость воздуха определяется по таблицам теплоемкостей при средней температуре процесса tср=(t1+t2)/2=(100+500)/2=300 °С.

=1,0191 кДж/(кг·К).

1. Количество тепла в процессе

 кДж.

1. Работа сжатия
2. Изменение внутренней энергии определим из 1-го з-на термодинамики

 кДж.

**Задача №4.** m=10 кг азота, параметры которого р1=1,2 бар, t1=30 °С, сжимаются, причем объем уменьшается в 2.5 раза.

Найти начальные и конечные параметры, количество тепла в процессе, работу и изменение внутренней энергии, если сжатие происходит: а) по адиабате с показателем адиабаты k=1.4; б) по политропе с показателем политропы m=1.2.

Построить процессы сжатия в pV-диаграмме.

***Решение:***

1. *Расчет адиабатного процесса.*
2. Выполняем перевод внесистемных единиц измерения в единицы системы СИ: р=1.2 бар=1,2·105 Па; Т1=30+273=303 К.
3. Газовая постоянная азота

 Дж/(кг·К).

1. Начальный объем определяем по уравнению состояния

 м3.

1. Конечный объем

 м3

1. Конечное давление

 Па.

1. Конечная температура определяется из уравнения состояния для точки 2 окончания процесса

.

1. Количество тепла в процессе Q=0, т.к. процесс адиабатный.
2. Работа сжатия

 Дж.

1. Изменение внутренней энергии по 1-му з-ну термодинамики

Дж.

1. *Расчет политропного процесса.*

Пп.1 – 4 такие же, как и в адиабатном процессе.

5) Конечное давление

 Па.

6)Конечная температура определяется из уравнения состояния для точки 2 окончания процесса

.

7)Работа сжатия

 Дж.

8)массовая изохорная теплоемкость азота определяется по таблице при средней температуре процесса tср=(t1+t2)/2=(30+91)/2=61.5 °C.

 кДж/(кг·К).

9)Изменение внутренней энергии

кДж.

1. Количество тепла определим по 1-му з-ну термодинамики

 кДж.

1. По рассчитанным значениям параметров состояния строятся процессы в pV-диаграмме.

*Практическая работа №4.*

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

При выполнении работы используются уравнения газовых законов, термодинамических процессов. Кроме этого в условии заданы коэффициенты, характеризующие тип цикла:

 - степень сжатия; - степень предварительного расширения; - степень повышения давления.

При расчете цикла ДВС следует помнить, что при - цикл Отто, при – цикл Дизеля, при - цикл Тринклера.

КПД цикла определяется с учетом количества подведенного и отведенного тепла, значения которых берутся по абсолютной величине:

***Примеры расчета циклов***

**Цикл Дизеля.**

Рассчитать цикл ДВС: определить параметры в характерных точках цикла, рассчитать количество подведенного и отведенного тепла и КПД цикла, построить цикл в pV-диаграмме. Исходные данные: р1=1,1 МПа; Т1=315 К; λ=1; ε=14; ρ=1,6. Рабочее тело – воздух, массой 1 кг.

***Решение:***

1. Определяем газовую постоянную воздуха

 

 2. Определяем массовые теплоемкости:

 при  

 при  

 3. Определяем показатель адиабаты



 4. Рассчитываем параметры в точке 1

, отсюда 

 5. Рассчитываем параметры в точке 2, при этом учитываем, что линия 1-2 – адиабата, где ; поэтому 

 Применим соотношение между  и  в адиабатном процессе 

Определим ; 

Используя уравнение состояния газа для точки 2, определяем 

 

 6. Рассчитываем параметры в точке 3. Линия 2-3 – изобара, поэтому 

 По этому процессу применяется коэффициент  - степень предварительного расширения ; находим 

 Температура  определяется с помощью уравнения состояния газа в точке 3

; 

 7. Рассчитываем параметры в точке 4. Линия 3-4 – адиабата 

Линия 4-1 – изобара, поэтому 

 Определяем ; 



8. Определяем количество подведенного и отведенного тепла

 - подведенное тепло

- отведенное тепло

9. Определяем коэффициент полезного действия для данного цикла



10. Строим  - диаграмму

; ; 

; ; 

**Цикл Тринклера.**

Рассчитать цикл ДВС: определить параметры в характерных точках цикла, рассчитать количество подведенного и отведенного тепла и КПД цикла, построить цикл в pV-диаграмме. Исходные данные: р1=1 МПа; Т1=315 К; λ=2,2; ε=14; ρ=1,9. Рабочее тело – воздух, массой 1 кг.

***Решение:***

1.Определяем газовую постоянную.

R = 

Точка 1

P1V1=RT1

V1 =

Точка 2 (линия 1-2 – адиабатный процесс)

T1V1k-1 = T2V2k-1

K = ; ;

 .

K=

ε = ; V2== 

T2 = T1 ()k-1= 315()1,3-1 =709,8 К

P2V2=RT2

P2 =

Точка 3 (линия 2-3 – изохорный процесс)

V2 =V3 =0,006 

λ = ; P3 =λP2 =2,2 ∙ 33,9 =74,58 МПа

T3 = 

Точка 4 (линия 3-4 – изобарный процесс)

; 

P3=P4=74,58Мпа

Точка 5 (линия 4-5 – адиабатное расширение)

T4V4k-1 = T5V5k-1



Т.к. линия 5-1 – изохорный отвод тепла, то

P5V5=RT5

Подведенное тепло

Отведенное тепло

Определяем КПД

По рассчитанным значениям параметров строится цикл в pV-диаграмме.

 

**Цикл Отто.**

Рассчитать цикл Отто: определить параметры в характерных точках, определить количество подведенного и отведенного тепла, подсчитать КПД цикла и построить цикл в  - диаграмме.

Дано: р1=1,1 МПа; Т1=315 К; m=1 кг; газ – воздух; ε=8; λ=2,4.

Определить: v1, p2, v2, T2, p3, v3, T3, p4, v4, T4, q1, q2, ηt; построить цикл в pV-диаграмме.

***Решение:***

1. Определяем газовую постоянную воздуха

 

 2. Определяем массовые теплоемкости:

 при  

 при  

 3. Определяем показатель адиабаты



 4. Рассчитываем параметры в точке 1

, отсюда 

5. Рассчитываем параметры в точке 2, при этом учитываем, что линия 1-2 – адиабата, где ; поэтому

 Применим соотношение между  и  в адиабатном процессе 

Определим ; 

Используя уравнение состояния газа для точки 2, определяем 

 

 6. Рассчитываем параметры в точке 3 линия 2-3 – изохора, поэтому 

 По этому процессу применяется коэффициент  - степень повышения давления ; находим 

 Температура  определяется с помощью уравнения состояния газа в точке 3

; 

 7. Рассчитываем параметры в точке 4 линия 3-4 – адиабата 

линия 4-1 – изохора, поэтому 

 Определяем ; 



8. Определяем количество подведенного и отведенного тепла

 - подведенное тепло

- отведенное тепло

9. Определяем коэффициент полезного действия для данного цикла



10. Строим  - диаграмму

; ; 

; ; 

υ

P

υ2 = υ3

υ4 = υ1

1

3

4

2

q2

q1

*Практическая работа №5*

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

При расчете многоступенчатого компрессора используются уравнения и формулы термодинамических процессов.

Соотношение давлений в ступенях (степень повышения давления)

,

 - отношение давления в каждой ступени

 - для многоступенчатого компрессора

 - для 3-х ступенчатого компрессора

 - число ступеней

 - давление воздуха на выходе из компрессора;

 - давление воздуха на входе в компрессор.

Теоретическая работа одноступенчатого компрессора:

А) при изотермическом сжатии

*(Дж/кг)*

Б) при адиабатном сжатии

*(Дж/кг)*

В) при политропном сжатии

(Дж/кг)

*Где р1 –* давление на входе в компрессор; *р2* – давление за ступенью компрессора; *Т1 –* температура газа на входе в компрессор; *R –* газовая постоянная; *k –* показатель адиабаты и *n –* показатель политропы.

Для многоступенчатого компрессора теоретическая работа определяется:

 ,

Где - работа одной ступени (*i* – вид процесса); *z* – число ступеней.

Теоретическая мощность двигателя для привода компрессора

*,(Вт)*

*Где G –* массовый расход газа через компрессор, (кг/с).

***Пример расчета компрессора***

Трехступенчатый компрессор сжимает 500 м3/с воздуха при начальном давлении р1=0,06 МПа и температуре t1=10ºС до конечного давления рк=0,6 МПа.

Определить:

1. Давление после каждой ступени компрессора;
2. Теоретическую работу компрессора;
3. Теоретическую мощность двигателя для привода компрессора;
4. Расход охлаждающей воды, если ее температура при этом повышается на 15 ºС.

Расчеты произвести для изотермического, адиабатного и политропного процесса сжатия, приняв показатель адиабаты k=1,4, показатель политропы n=1,25 и теплоемкость воды =*4,19 кДж/(кг·°С).*

***Решение:***

1. Определяем газовую постоянную воздуха по формуле

*Где* - универсальная газовая постоянная, а - молярная масса воздуха.

1. Определяем степень повышения давления: для трехступенчатого компрессора она находится по формуле
2. Находим давления за ступенями:

А) за первой ступенью

Б) за второй ступенью

В) за последней ступенью .

1. производим расчет компрессора при изотермическом сжатии:

Теоретическая работа компрессора

Теоретическая мощность двигателя для привода компрессора

Где G – массовый расход воздуха через компрессор, который определяется через объемный расход по формуле

v1 – удельный объем воздуха на входе в компрессор, находится из уравнения состояния газа:

Теплота, отводимая с охлаждающей водой, в изотермическом процессе по 1-му з-ну термодинамики численно равна работе сжатия компрессора , т.к. ΔU=0.

В свою очередь, это тепло можно определить по формуле

 откуда расход охлаждающей воды

1. Производим расчет при адиабатном сжатии:

Теоретическая работа компрессора

.

Теоретическая мощность двигателя для привода компрессора

Т.к. в адиабатном процессе отсутствует теплообмен q=0, то расход охлаждающей воды рассчитывать не требуется.

6) Расчет при политропном сжатии:

Теоретическая работа компрессора

Теоретическая мощность двигателя для привода компрессора

Количество теплоты, отводимое при сжатии от воздуха, выразим из первого з-на термодинамики

В результате преобразований получим

Где - теплоемкость воздуха при постоянном удельном объеме,

Конечная температура сжатия определяется из уравнения соотношений параметров в политропном процессе

Расход охлаждающей воды

*Практическая работа №6.*

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

При выполнении практической работы следует запомнить, что для воды и водяного пара:

- не выполняются связи между параметрами, полученные на основе уравнения состояния идеального газа;

- не применима молекулярно-кинетическая теория теплоемкости;

- для изотермического процесса , т.к. 

;

- изменение параметров *Δh*, *Δu*, *Δs* не рассчитывается по формулам через теплоемкости, а определяется через параметры начальной и конечной точек.

.

Методика расчета параметров и процессов воды и водяного пара по сравнению с идеальным газом состоит в том, что в практических расчетах не используется термическое уравнение состояния, ввиду его сложности. Термические и калорические параметры жидкостей и паров определяются с помощью таблиц или диаграмм.

При изучении данной темы необходимо:

* знать структуру таблиц термодинамических свойств воды и водяного

пара и их графическое представление (диаграммы *p - v*, *T - s*, *h - s*);

* различать 5 состояний, в которых могут находиться вода и водяной пар, уметь определить состояние в каждом конкретном случае по исходным данным и найти параметры;
* уметь рассчитать любой процесс с помощью таблиц воды и водяного пара и дать его графическое представление в диаграммах *p - v*, *T - s*, *h - s*.

*Порядок расчета процессов с помощью таблиц воды и водяного пара*:

1. Определяется состояние (одно из пяти) воды или водяного пара в начальной точке путем сравнения исходных данных с табличными.

2. Определяются параметры в начальной точке.

1. Определяется состояние в конечной точке.
2. Определяются параметры конечной точки.
3. Рассчитывается теплота и работа процесса.
4. Дается иллюстрация процесса в *p*- *v-*, *T*-*s-*, *h*-*s-* диаграммах.

При определении состояния в начальной и конечной точках сравнивают исходные параметры с табличными (*ps*, *ts*, *v′*, *v′′*, *h′*, *h′′* , *s′*, *s′′*).

Для *перегретого пара*:

при данном *p*: 

при данной *t*: 

Для *недогретой воды*:

при данном *p*: 

при данной *t*: 

Для *мокрого пара*:

.

Для *кипящей жидкости*:

.

Для *сухого насыщенного пара*:

.

В таблицах отсутствуют значения внутренней энергии, которая легко рассчитывается по формуле

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

а также параметры мокрого пара, которые рассчитываются по простым формулам.

Параметры мокрого пара рассчитываются по формулам для смеси:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (5.2) |
| ,  | (5.3) |
| .  | (5.4) |

Формулы (5.2)-(5.4), записанные относительно *x,*

|  |  |
| --- | --- |
| ,  | (5.5) |
| ,  | (5.6) |
|   | (5.7) |

используются для расчета степени сухости, если известны параметры мокрого пара *h*, *v* или *s*.

Формулы для расчета теплоты и работы в процессах изменения состояния воды и водяного пара приведены в табл. 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Процесс | Работа, *w* | Работа, *l* | Теплота, *q* |
| Изохорный | *w* = 0 | *l* = *v(p1 – p2)* | *q* = *u2* - *u1* |
| Изобарный | *w* = *p(v2 -v1)* | *l* = 0 | *q* = *h2* *- h1* |
| Изотермический | *w* = *q-(u2 - u1)* | *l* = *q-(h2 - h1)* | *q* = *T(s2 - s1)* |
| Адиабатный | *w* = *u1 –* *u2* | *l* = *h1 –* *h2* | *q* = 0 |

**Примеры расчета процессов воды и водяного пара**

***Изохорный процесс***

Дано: *p1* =20 бар, *v* = 0,12 м3/кг, *p2* = 3 бар.

Определить: *q*, *w*, *l*.

*Расчет процесса с помощью таблиц*.

1. При *p1* = 20 бар из табл. II [8] находят *v′′* = 0,09953 м3/кг. Поскольку
*v* > *v′′*, то начальное состояние – перегретый пар.

Из табл. III определяют параметры *h1* = 2976,9 кДж/кг, *s1* = 6,6842 кДж/(кг.К), *t1* = 280 0С. Внутренняя энергия рассчитывается по формуле

*u1* = *h1*-*p1*.*v* = 2976,9-20.102.0,12 = 2736,9 кДж/кг.

1. При *p2* = 3 бар из табл.II находят *v′* = 0,001073 м3/кг и *v′′* = 0,6059 м3/кг. Поскольку *v′* < *v* < *v′′*, конечное состояние - мокрый пар. Рассчитывают степень сухости

|  |
| --- |
| , |

энтальпию, энтропию и внутреннюю энергию мокрого пара:

|  |
| --- |
|  |
|  |
| . |

3. Рассчитывают теплоту и работу изохорного процесса:

|  |
| --- |
| ,, *w* = 0.  |

4. Представляют (строят по исходным данным *p1*, *v*, *p2*) изохорный процесс в диаграммах *p - v*, *T - s*, (рис.1-2).

 Рис.1 рис.2

**Изобарный процесс**

Дано: *p* = 5 бар, *x1* = 0, *t2* = 180 0С.

Определить: *q*, *w*, *l*.

*Расчет процесса с помощью таблиц*.

1. В начальном состоянии рабочее тело – кипящая вода, т.к. *x1* = 0. Из табл. II при *p* = 5 бар находят: *h1* = *h′* = 640,1 кДж/кг, *v1* = *v′* = 0,001093 м3/кг.
2. В конечном состоянии известны давление *p* и температура *t2*. Сравнивают *t2* с температурой насыщения при давлении *p*: *ts* = 151,8 0С, взятой из табл. II. Поскольку *t2* > *ts*, то конечное состояние – перегретый пар. Из табл.III находят *h2* = 2812,1 кДж/кг, *v2* = 0,4046 м3/кг.
3. Рассчитывают теплоту и работу изобарного процесса:

*q* = *h2 - h1* = 2172 кДж/кг, *w* = *p*(*v2 -* *v1*) = 201,8 кДж/кг, *l* = 0.

1. Строят изобарный процесс по исходным данным (*p*, *x1*, *t2*) в диаграммах *p - v*, *T – s*. (рис. 3-4).

 Рис.3 рис.4

**Изотермический процесс**

Дано: *p1* = 10 бар, *x1* = 0,9, *p2* = 1 бар. Определить: *q*, *w*, *l*.

###### Расчет процесса с помощью таблиц

1. Начальное состояние – мокрый пар, т.к. *x1* = 0,9. Параметры рассчитываются по формулам (5.2-5.4):

|  |
| --- |
|  |
| , |
|  |
| , |
| *t1* = *ts* = 179,8 0C. |

2. В конечном состоянии известны давление *p2* и температура
*t2* = *t1* = 179,8 0С. Температура насыщения при давлении *p2* (табл.II) равна
*ts* = 99,63 0С. Поскольку *t2* > *ts*, то конечное состояние рабочего тела – перегретый пар. Параметры определяются из табл. III:

*v2* = 2,078 м3/кг, *h2* = 2835,7 кДж/кг, *s2* = 7,7496 кДж/(кг.К).

Внутреннюю энергию рассчитывают по формуле

*u2 = h2 - p2.v2* = 2835, 7-102.2,078 = 2627,9 кДж/кг.

3. Определяют теплоту и работу изотермического процесса:

*q* = *T*(*s2 -* *s1*) = (179,8+273)(7,7496-6,14) = 728,8 кДж/кг,

*w* = *q* – (*u2* – *u1*) = 501,5 кДж/кг, *l* = *q* – (*h2* - *h1*) = 468,7 кДж/кг.

4. Строят изотермический процесс по исходным данным (*p1*, *x1*, *p2*) в

диаграммах *p - v*, *T – s.* (рис. 5-6)

 рис.5 рис.6

**Адиабатный процесс**

Дано: *p1* = 50 бар, *t1* = 480 0C, *t2* = 100 0C.

Определить: *w*, *l*.

*Расчет процесса с помощью таблиц*

1. Определяют начальное состояние. При *p1* = 50 бар температура насыщения *ts* = 263,9 0С. Поскольку *t1* > *ts*, то рабочее тело является перегретым паром. Из табл. III находят

*h1* = 3367,2 кДж/кг, *v1* = 0,06644 м3/кг, *s1* = 6,9158 кДж/кг.К.

Рассчитывают внутреннюю энергию:

*u1 = h1 - p1.v1* = 3387,2 - 50.102.0,06644 = 3055 кДж/кг.

1. Определяют конечное состояние путем сравнения энтропии
*s2* = *s1*= 6,9158 кДж/(кг.К) с *s′* и *s′′*, взятыми из табл. I по температуре
*t2* = 100 0С. Поскольку *s′ < s < s′′*, то конечное состояние рабочего тела - мокрый пар. Рассчитывают степень сухости и параметры мокрого пара:

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |
|  |

1. Рассчитывают работу адиабатного процесса:

|  |
| --- |
| ,  |

1. Представляют процесс в диаграммах *p - v*, *T – s.* (рис. 7-8).

 Рис.7 рис.8

*Практическая работа №7*

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

Для выполнения работы следует:

* Уметь пользоваться термодинамическими таблицами и hS-диаграммой воды и водяного пара;
* Знать схемы и принцип действия паросиловых установок (ПСУ), работающих по циклу Ренкина;
* Знать способы повышения экономичности ПСУ.

При расчете показателей эффективности цикла Ренкина используют следующие формулы:

Термический КПД цикла Ренкина

.

Удельный расход пара на турбину

 кг/(кВт·ч),

Где - энтальпии пара на входе и на выходе из турбины соответственно, кДж/кг; - энтальпия конденсата, кДж/кг.

*Методика расчета цикла Ренкина*

1. По известным начальным и конечным параметрам строится процесс расширения пара в турбине в hS-диаграмме.
2. По hS-диаграмме определяются энтальпии пара на входе в турбину и на выходе из турбины.
3. Рассчитываются показатели эффективности цикла.

***Пример расчета цикла Ренкина***

Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальными параметрами р1=10 МПа и t1=540 ºC. Давление в конденсаторе р2=0,05 МПа. Определить термический КПД установки и удельный расход пара на турбину.

Рассчитать эти же показатели при следующих условиях:

1. При увеличении начальной температуры на 100 ºС;
2. При уменьшении давления в конденсаторе на 0,02 МПа;
3. При введении промежуточного перегрева пара: параметры промперегрева рпп=0,5р1, tпп= t1.

Рис.9 рис.10 рис.11

**Решение:**

Выполним расчет для схемы (рис.9). Цифры на схеме соответствуют узловым точкам цикла, представленного в pV- и Ts-диаграммах (рис.10-11).

1. строим процесс расширения пара в турбине в hS-диаграмме.

Процесс расширения строится следующим образом: на пересечении изобары р1=10 МПа и изотермы t1=540 °С находится точка 1 (соответствует точке 1 на схеме и на диаграммах рис.10-11). Опустив перпендикуляр из этой точки на ось ординат (ось энтальпий), определим энтальпию h1 (см.рис. 12). Далее из точки 1 строится процесс расширения в турбине. Т.к. этот процесс – адиабатный, то он проходит при постоянной энтропии (см.линия 1 -2 на рис.11). Опускаем из точки 1 линию, параллельную оси ординат, до пересечения с изобарой р2=0,05 МПа, получаем точку 2. В этой точке определяем энтальпию h2 (см.рис.12). Энтальпию h2’ определяем с помощью табл. 2 термодинамических таблиц воды и водяного пара по давлению в конденсаторе р2.

 Рис.12

1. h1= 3477 кДж/кг; h2=2339 кДж/кг; h2’=340,48 кДж/кг.
2. Рассчитываем термический КПД

.

Определяем удельный расход пара на турбину

 кг/(кВт·ч).

Дальше рассчитываем эти же показатели при измененных условиях.

1. Начальная температура повысилась на 100 ºС, т.е. t1=550 ºC.

Аналогично строим процесс расширения пара в турбине и определяем при помощи hS-диаграммы энтальпию h1 (по давлению р1=10 МПа и температуре t1=550 ºC) и энтальпию h2 (по давлению р2=0,05 МПа и энтропии S1).

h1= 3502 кДж/кг; h2=2349 кДж/кг; h2’=340,48 кДж/кг.

Рассчитываем термический КПД

.

Определяем удельный расход пара на турбину

 кг/(кВт·ч).

1. Конечное давление уменьшилось на 0,02 МПа, т.е. р2=0,03 МПа.

Строим процесс расширения пара в турбине и определяем при помощи hS-диаграммы энтальпию h1 (по давлению р1=10 МПа и температуре t1=540 ºC) и энтальпию h2 (по давлению р2=0,03 МПа и энтропии S1).

h1= 3477 кДж/кг; h2=2269 кДж/кг; h2’=340,48 кДж/кг.

Рассчитываем термический КПД

.

Определяем удельный расход пара на турбину

 кг/(кВт·ч).

1. При введении промежуточного перегрева схема и цикл установки изменяется по сравнению с начальной (см.рис. 13-14).

рис.13 рис.14

При промежуточном перегреве пара термический КПД цикла Ренкина определяется по формуле

*Где*  - энтальпии пара перед турбиной, на выходе из промперегревателя, на входе в промперегреватель и на выходе из турбины; - энтальпия конденсата.

Энтальпии пара определяются при построении процесса расширения пара в hS-диаграмме.

Процесс расширения пара с промежуточным перегревом строится следующим образом:

1. на пересечении изобары р1=10 МПа и изотермы t1=540 °С находится точка 1 (соответствует точке 1 на схеме и на диаграмме рис.13-14). Опустив перпендикуляр из этой точки на ось ординат (ось энтальпий), определим энтальпию h1. Из точки 1 строим процесс расширения в ступени высокого давления (СВД), для этого опускаем из этой точки линию, параллельную оси ординат до пересечения с изобарой рпп=0,5р1=0,5·10=5 Мпа. Получаем точку *а.* определяем в этой точке энтальпию .
2. Из точки а строим процесс перегрева пара в промперегревателе. Для этого из точки а проводим линию по изобаре рпп=0,5р1=0,5·10=5 Мпа до пересечения с изотермой tпп= t1=540 °С. Получаем точку 1’. Определяем в этой точке энтальпию .
3. Строим процесс расширения в ступени низкого давления (СНД). Для этого из точки 1’ опускаем линию, параллельную оси ординат до пересечения с изобарой р2, получаем точку 2. Определяем в этой точке энтальпию .

Энтальпию конденсата h2’ определяем с помощью табл. 2 термодинамических таблиц воды и водяного пара по давлению в конденсаторе р2.

h2’=340,48 кДж/кг.

Рассчитываем термический КПД цикла с промперегревом

Определяем удельный расход пара на турбину

*Практическая работа №8.*

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

Для выполнения работы следует:

* Знать и различать виды теплообмена;
* Знать основные уравнения и расчетные формулы видов теплообмена.

При расчете теплопередачи через плоскую стенку используют следующие формулы:

1. Для однослойной плоской стенки

Коэффициент теплопередачи К, Вт/(м2·К)

Удельный тепловой поток q, Вт/м2

Температуры поверхностей стенок, °С

Где - коэффициенты теплоотдачи от первой жидкости к стенке и от стенки ко второй жидкости соответственно, Вт/(м2·°С); - толщина стенки, м; - коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·°С); - температуры первой и второй жидкости соответственно, °С (см.рис…).

1. Для многослойной плоской стенки

 Коэффициент теплопередачи К, Вт/(м2·К)

Удельный тепловой поток q, Вт/м2

Температуры поверхностей стенок, °С

При расчете теплопередачи через многослойную цилиндрическую стенку (трубу) пользуются следующими формулами:

Линейный коэффициент теплопередачи (отнесенный к 1 м длины трубы), Вт/(м·°С)

Удельный (линейный) тепловой поток q, Вт/м

Температуры поверхностей стенок, °С

Суточная потеря тепла Qсут, Дж на участке длиной l

Где τ, с – время.

***Примеры решения задач***

**Задача №1.** Поверхность нагрева состоит из плоской стальной стенки толщиной *S***ст** *= 8 мм.* По одну сторону стенки движется горячая вода, температура которой *t1* = 120° С, по другую — вода с температурой *t*2 = 60° С. Определить: плотность теплового потока, коэффициент теплопередачи, значения температур на обеих поверхностях стенки.

Найти, как изменяется плотность теплового потока и температура на поверхности стенки, если со стороны наибольшего нагрева стальной стенки появится накипь толщиной 1 *мм.*

Принять: α**1**=2 000 *Вт/(м2 •ºС), α****2*** *=*  1250 *Вт/(м2* •ºС*),* ***λ*ст**= 40 *Вт/(м* •ºС*),* для накипи ***λ*н**= 0,5 *Вm/(м* • ºС*)*.

***Решение:***

*А)без накипи*

1. Коэффициент теплопередачи
2. Плотность теплового потока

 Вт/м2.

1. Температуры на поверхностях стенки

*Б) с накипью*

1. Коэффициент теплопередачи
2. Плотность теплового потока

 Вт/м2.

1. Температуры на поверхностях стенки

**Задача №2.** По стальному трубопроводу с наружным диаметром d2=485 мм и внутренним диаметром d1=450 мм, покрытому изоляцией, транспортируется горячая вода с температурой t1=105 ºC, температура воздуха в помещении t2=30 ºC.

Определить:

- потери тепла через трубопровод;

- коэффициент теплопередачи К;

- температуры на поверхностях стенок трубы и изоляции , , , если толщина изоляции δиз=4,2 см.

Принять α1=500 Вт/(м2·ºС); α2=10 Вт/(м2·ºС); λ1=90 Вт/(м·ºС); λ2=0,06 Вт/(м·ºС).

***Решение:***

1. Наружный диаметр изоляции

м;

1. Коэффициент теплопередачи К

;

.

1. Потери тепла через трубопровод

.

1. Температуры на поверхностях

А) на внутренней поверхности стенки трубы

; .

Б) на наружной поверхности стенки трубы

; .

В) на поверхности изоляции

; .

*Практическая работа №9*

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

Для выполнения работы следует:

* Знать и различать виды расчета теплообменных аппаратов (ТА);
* Уметь определять коэффициенты теплоотдачи через критерии подобия;
* Уметь составлять уравнения теплового баланса ТА;
* Знать и уметь пользоваться основными уравнениями и расчетными формулами теплопередачи.

Тепловой расчет ТА заключается в определении расходов теплоносителей, коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, поверхности теплообмена и других неизвестных параметров.

Расходы теплоносителей определяются из уравнения теплового баланса ТА:

Где - тепловая мощность ТА, Вт;

 - для греющей среды соответственно массовый расход, кг/с; удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·°С); температура на входе, °С; температура на выходе, °С;

 - для нагреваемого теплоносителя соответственно массовый расход, кг/с; удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·°С); температура на входе, °С; температура на выходе, °С.

Уравнение теплопередачи

Где К – коэффициент теплопередачи, Вт/(м2·°С); - поверхность нагрева, м2; - среднелогарифмическая разность температур, °С, которая определяется по формуле

Где - наибольшая разность температур между теплоносителями, °С; - наименьшая разность температур между теплоносителями, °С.

Следует помнить, что величина среднелогарифмической разности температур, определяется схемой движения жидкостей в ТА (прямоток или противоток).

Коэффициенты теплоотдачи определяются через критерии подобия в зависимости от режима течения жидкости, вида движения в трубах (свободное или вынужденное), от расположения труб (вертикальное или горизонтальное), от процесса (кипение жидкости или конденсация пара) и т.п.

***Пример расчета теплообменного аппарата (ТА)***

Рассчитать пароводяной теплообменный аппарат по следующим исходным данным:

* тепловая мощность Q = 6 МВт;
* расположение труб горизонтальное с числом рядов n = 14;
* температура воды на входе в ТА ;
* температура воды на выходе ;
* давление греющего пара P = 18 МПа;
* трубы латунные, диаметр труб:

внутренний d1 = 16 мм

наружный d2 = 18 мм

* скорость движения воды в трубах 

Определить: коэффициент теплопередачи, площадь поверхности ТА, удельный тепловой поток, температуры стенок трубок, среднюю температуру стенок, а также расход пара и массу воды, проходящей через ТА.

Принять удельную теплоемкость воды = 4,19 кДж/(кг·°С), движение теплоносителей – противоточное, коэффициент теплопроводности латуни λл=120 Вт/(м·°С).

***Решение:***

1. составляем уравнение теплового баланса для теплообменника и из этого уравнения определяем расходы пара D и воды G

Где - энтальпия пара на входе в подогреватель и энтальпия конденсата соответственно, кДж/кг.

Определяем по таблице П5-2 при давлении р=18 МПа энтальпии насыщенного пара =2702 кДж/кг и конденсата =490,7 кДж/кг.

1. Расход пара
2. Расход воды

 кг/с.

1. Приближенно определяем среднюю температуру стенки



 °С- температура насыщения пара при давлении р=18 МПа.

Температуру стенки приближенно возьмем 100 0С

1. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке определяем по формуле Нуссельта (для горизонтального расположения труб)

Где - теплота конденсации пара, Дж/кг; - плотность конденсата, кг/м3; - ускорение свободного падения, м/с2; - коэффициент теплопроводности конденсата, Вт/(м·°С); - коэффициент кинематической вязкости конденсата, м2/с; - число рядов труб; - температура насыщения при давлении р=18 МПа, °С; - температура стенки, °С.

Теплофизические параметры конденсата определяем по табл.П7-1 по температуре конденсата

.

а) коэффициент теплопроводности =0,685 Вт/(м·°С);

б) коэффициент кинематической вязкости =0,265·10-6 м2/с;

в) плотность конденсата =950,7 кг/м3;

г)теплота конденсации пара =2211 кДж/кг (по табл.П… при давлении р=18 МПа).

.

1. Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки к воде

А) определяем режим течения, для этого рассчитываем критерий Рейнольдса

*Где - скорость воды, м/с; - внутренний диаметр трубок, м; - коэффициент кинематической вязкости воды, м2/с.*

Находим по табл.П7-1 по средней температуре воды в теплообменнике

 коэффициент кинематической вязкости =0.361·10-6 м2/с.

Т.к. – движение турбулентное.

Где - коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м·°С); - критерий Прандтля для воды (обе величины определяются по средней температуре воды по табл.П7-1: =0,669 Вт/(м·°С); =2,2).

1. Из уравнения теплопередачи определяем площадь поверхности ТА

А) вычисляем среднелогарифмическую разность температур, приняв противоточное движение теплоносителей

Где .

Б) рассчитываем коэффициент теплопередачи (с допущением, что стенка труб – плоская)

Где - толщина стенки труб, м.

 м.

Площадь поверхности теплообменника

 м2.

1. Определяем удельный тепловой поток

 Вт/м2.

1. Определяем температуры на поверхности стенок труб

*.*

1. Средняя температура стенок

*.*

*Практическая работа №10*

В практической работе необходимо произвести расчет состава и характеристик топлив.

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

Для выполнения работы следует:

* Знать методику пересчета состава топлива с горючей на рабочую и сухую массы и наоборот;
* Уметь определять состав смесей различных топлив;
* Уметь определять основные характеристики топлив и смесей топлив.

Для пересчета состава топлива из одной массы в другую используют коэффициенты пересчета, приведенные в табл.3.

Таблица 3

|  |  |
| --- | --- |
| Заданная масса топлива | Искомая масса топлива |
| Рабочая | Сухая | Горючая |
| Рабочая  | 1 |  |  |
| Сухая  |  | 1 |  |
| Горючая  |  |  | 1 |

Средний состав смеси двух твердых топлив, заданных массовыми долями, - первого () и второго - определяется по уравнениям:

,

Где массовая доля одного из топлив смеси находится по формуле

Здесь и - массы топлив, входящих в смесь, кг.

Низшая теплота сгорания (кДж/м3) газообразного топлива

Где и т.д. – объемное содержание газов, входящих в состав газообразного топлива, %.

Для смеси двух газообразных топлив низшая теплота сгорания определяется по формуле

Где - массовая доля одного из топлив в смеси; - низшая теплота сгорания первого вида топлива в смеси, кДж/м3; - низшая теплота сгорания второго вида топлива, кДж/м3.

Пересчет расхода натурального топлива на условное осуществляется по формуле

Где и - соответственно расход условного и натурального топлива, кг, кг/с; Э – тепловой эквивалент топлива, определяемый по формуле

*Примеры решения задач*

**Задача 1.** В топке котла сжигается смесь, состоящая из 3·103 кг бабаевского угля марки Б1 состава: и 4,5·103 кг итатского угля марки Б1 состава: . Определить состав рабочей массы смеси.

***Решение:***

1. Пользуясь коэффициентами пересчета (табл.3), определяем зольность рабочей массы бабаевского угля

И находим состав рабочей массы бабаевского угля:

*Выполним* проверку – найдем сумму составляющих элементов рабочей массы топлива:

1. Аналогично определяем состав рабочей массы итатского угля

Проводим проверку вычислений состава рабочей массы итатского угля:

1. Определяем массовую долю одного из топлив (бабаевского угля) в смеси:
2. Рассчитываем состав рабочей массы смеси:

Проверим точность вычислений:

**Задача 2.** Определить низшую теплоту сгорания смеси, полученную при сжигании В1= 1,5 м3/с природного газа Ставропольского месторождения состава: и В2=2,5 м3/с природного газа Ленинградского месторождения состава: Рассчитать тепловые эквиваленты топлив и расходы условного топлива для каждого газа.

***Решение:***

1. Определяем низшую теплоту сгорания Ставропольского газа по формуле

 кДж/м3.

1. Определяем низшую теплоту сгорания Ленинградского газа по формуле

 кДж/м3.

1. Определяем массовую долю одного из газов в смеси:
2. Определяем низшую теплоту сгорания смеси по формуле

 кДж/м3.

1. Рассчитываем тепловые эквиваленты каждого газа

а) Ставропольский газ

.

 б) Ленинградский газ

.

1. Определяем расходы условного топлива каждого газа

А) Ставропольский газ

 м3/с.

Б) Ленинградский газ

 м3/с.

*Практическая работа №11*

В этой работе рассчитываются объемы воздуха, необходимые для сгорания топлива и объемы продуктов сгорания.

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

Для выполнения работы следует:

* Знать методику расчета объемов воздуха, необходимых для сгорания топлива и объемов продуктов сгорания.

Следует помнить, что расчет объемов воздуха и объемов продуктов сгорания производится на 1 м3 сухого газообразного топлива, и он зависит от коэффициента избытка воздуха в топке αт.

Теоретический объем воздуха (м3/м3), необходимый для полного сгорания 1 м3 сухого газообразного топлива, определяется по формуле

Здесь содержание горючих газов и т.д. – в процентах по объему.

Для сгорания смеси двух газообразных топлив теоретический объем сухого воздуха определяется по формуле

Действительный объем воздуха (м3/м3), поступивший в топку, определяется по формуле

Полный объем продуктов сгорания (м3/кг) представляет собой сумму объемов сухих газов и водяных паров

При этом

Где - объем трехатомных газов, м3/кг; - объем двухатомных газов, м3/кг.

Для газообразного топлива теоретические объемы продуктов сгорания (м3/м3) при определяются по формулам:

Объем двухатомных газов

Объем трехатомных газов

Объем сухих газов

Объем водяных паров

Где - влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м3 сухого газа, г/м3;

Полный объем продуктов сгорания

Для газообразных топлив объемы продуктов полного сгорания (м3/кг) при определяются по формулам:

Объем сухих газов

Объем водяных паров

Полный объем продуктов сгорания

*Примеры решения задач*

**Задача.** Определить теоретический и действительный объемы сухого воздуха, необходимые для сжигания 2000 м3/ч природного газа Ставропольского месторождения состава: и 1000 м3/ч природного газа Ленинградского месторождения состава:

 при коэффициенте избытка воздуха в топочной камере αт=1,15. Рассчитать полный объем продуктов сгорания смеси.

***Решение:***

1. Теоретический объем воздуха для сжигания Ставропольского газа

 м3/м3.

1. Теоретический объем воздуха для сжигания Ставропольского газа

 м3/м3.

1. Массовая доля одного из газов в смеси
2. Теоретический объем воздуха для сжигания смеси

 м3/м3.

1. Действительный объем воздуха

 м3/м3.

Рассчитываем объемы продуктов сгорания для каждого газа в отдельности.

1. Ставропольский газ

Рассчитываем теоретические объемы продуктов сгорания при αт=1,0.

* 1. Объем двухатомных газов

 м3/м3.

* 1. Объем трехатомных газов

 м3/м3.

* 1. Объем сухих газов

 м3/м3.

* 1. Объем водяных паров

 м3/м3.

* 1. Объемы продуктов полного сгорания при αт=1,15.
		1. Объем сухих газов

 м3/м3.

* + 1. Объем водяных паров

 м3/м3.

* 1. Полный объем продуктов сгорания

 м3/м3.

1. Ленинградский газ

Рассчитываем теоретические объемы продуктов сгорания при αт=1,0.

* 1. Объем двухатомных газов

 м3/м3.

* 1. Объем трехатомных газов

 м3/м3.

* 1. Объем сухих газов

 м3/м3.

* 1. Объем водяных паров

 м3/м3.

* 1. Объемы продуктов полного сгорания при αт=1,15.
		1. Объем сухих газов

 м3/м3.

* + 1. Объем водяных паров

 м3/м3.

* 1. Полный объем продуктов сгорания

 м3/м3.

1. Полный объем продуктов сгорания для всей смеси

 м3/м3.

 *Практическая работа №12*

В работе необходимо составить тепловой баланс котельного агрегата и рассчитать КПД котлоагрегата (брутто) и КПД котельной установки (нетто).

Перед выполнением работы следует внимательно изучить указанные разделы в литературных источниках.

Для выполнения работы следует:

* Знать и уметь составлять тепловой баланс котла и определять составляющие баланса;
* Уметь рассчитывать КПД котлоагрегата (брутто) и котельной установки (нетто).

При составлении теплового баланса следует помнить, что он составляется на 1 кг твердого (жидкого) или на 1 м3 газообразного топлива применительно к установившемуся тепловому состоянию котельного агрегата.

Количество составляющих баланса будет определяться видом топлива. Так для жидкого топлива отсутствуют потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива и потери теплоты с физической теплотой шлака.

Уравнение теплового баланса (кДж/кг, кДж/м3) имеет вид

Или в процентах от располагаемой теплоты топлива

Где и т.д.

В этих уравнениях:

 - располагаемая теплота; - теплота, полезно использованная в котлоагрегате на получение пара; - потери теплоты с уходящими газами; - потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива; - потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива; - потери теплоты в окружающую среду; - потери теплоты с физической теплотой шлака.

**Располагаемая теплота**  (кДж/кг) на 1 кг жидкого топлива определяется по формуле:

Где - низшая теплота сгорания рабочей массы жидкого топлива, кДж/кг; - физическая теплота топлива, кДж/кг; - теплота, вносимая в топку с воздухом, кДж/кг; - теплота, вносимая в топку с паровым дутьем, кДж/кг.

Физическая теплота топлива

Где - теплоемкость рабочей массы топлива, кДж/(кг·К); - температура топлива на входе в топку, ºС.

Теплоемкость мазута

Физическая теплота топлива учитывается в том случае, если оно предварительно подогрето вне КА (подогрев мазута, сушка топлива в разомкнутой системе и т.д.).

Теплота, вносимая в топку с воздухом:

Где - коэффициент избытка воздуха в топке; - теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива, м3/кг; - средняя объемная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(м3·К): при температуре воздуха до 300 ºС =1,33 кДж/(м3·К); - разность температур подогретого и холодного воздуха, ºС.

Теплота, вносимая в топку с паровым дутьем:

Где и - соответственно расход и энтальпия пара, идущего на дутье или распыливание топлива, кг/кг и кДж/кг: для дутья = 0,7….0,8 кг/кг; для распыливания паровыми форсунками =0,35 кг/кг, паромеханическими форсунками =0,03….0,035 кг/кг.

**Теплота (кДж/кг), полезно использованная в котлоагрегате**:

Где - соответственно расход перегретого и насыщенного пара, кг/с; - расход натурального топлива, кг/с; - соответственно энтальпия перегретого и насыщенного пара, питательной и котловой воды, кДж/кг; Р – величина непрерывной продувки, %.

Теплота (%), полезно использованная в котлоагрегате:

**Потери теплоты (кДж/кг) с уходящими газами**:

Где - объем уходящих (дымовых) газов на выходе из последнего газохода КА, м3/кг; - средняя объемная теплоемкость газов при постоянном давлении, определяемая по , кДж/(м3·К); - температура уходящих газов на выходе из последнего газохода, ºС; - коэффициент избытка воздуха за КА; - теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива, м3/кг; - температура воздуха в котельной, ºС; - потеря теплоты от механической неполноты сгорания, %; - соответственно энтальпии продуктов сгорания и холодного воздуха, кДж/кг.

Потери теплоты (%) с уходящими газами

**Потери теплоты (кДж/кг) от химической неполноты сгорания топлива** определяются содержанием в продуктах горения СО:

Где - содержание углерода и серы в топливе, %; - содержание оксида углерода в уходящих газах, %; – содержание и в уходящих газах, %.

Потери теплоты (%) от химической неполноты сгорания топлива

.

**Потери теплоты (кДж/кг) в окружающую среду** зависят от размеров поверхности котлоагрегата, качества обмуровки и тепловой изоляции.

В расчетах потери теплоты в окружающую среду принимаются по нормативным данным, а при испытаниях КА определяются из уравнения теплового баланса

Или в процентах

**Коэффициенты полезного действия котельного агрегата(брутто) и установки (нетто).** КПД котельного агрегата (брутто) характеризует степень экономичности его работы и представляет собой отношение использованной в КА теплоты к располагаемой теплоте топлива, т.е.

Или

КПД котельной установки (нетто) равен КПД котлоагрегата за вычетом расхода теплоты на собственные нужды (освещение, привод насосов, вентиляторов и т.д.), т.е.

Где - расход теплоты на собственные нужды, кДж/кг.

*Пример решения задачи*

**Задача.** В топке котельного агрегата паропроизводительностью D=7,22 кг/с сжигается высокосернистый мазут состава: . Составить тепловой баланс котельного агрегата, если известны температура подогрева мазута =90 °С, натуральный расход топлива В=0,527 кг/с, давление перегретого пара рп.п=1,3 МПа, температура перегретого пара tп.п=250 °С, температура питательной воды tп.в=100 °С, величина непрерывной продувки Р=4%, температура уходящих газов на выходе из последнего газохода θух=150 °С, коэффициент избытка воздуха за последним газоходом αух=1,4, температура воздуха в котельной tв=25 °С и энтальпия пара, идущего на распыливание топлива паровыми форсунками hф=3280 кДж/кг.

Рассчитать КПД котельного агрегата (брутто) и установки (нетто).

Принять: среднюю объемную теплоемкость газов при постоянном давлении =1,415 кДж/(м3·К); среднюю объемную теплоемкость воздуха при постоянном давлении =1,297 кДж/(м3·К); содержание в уходящих газах оксида углерода СО=0,2 % и трехатомных газов RO2=16,6 %; давление пара, расходуемого на собственные нужды, рс.н=0,5 МПа; расход пара на собственные нужды Dс.н=0,01 кг/с.

***Решение:***

1. Определяем низшую теплоту сгорания рабочей массы мазута

 кДж/кг.

1. Теплоемкость мазута

 кДж/(кг·К).

1. Физическая теплота топлива

 кДж/кг.

1. Теплота, вносимая в топку с паровым дутьем

 кДж/кг.

1. Располагаемая теплота

 кДж/кг.

1. Теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива

 м3/кг.

1. Объем трехатомных газов

 м3/кг.

1. Теоретический объем азота

 м3/кг.

1. Теоретический объем водяных паров

 м3/кг.

1. Энтальпия продуктов сгорания при αт=1 и θух=150 °С

 кДж/кг.

Значения находим по табл.П10 (см.Приложения).

1. Энтальпия воздуха при αт=1 и θух=150 °С

 кДж/кг.

Значение находим по табл.П10 (см.Приложения).

1. Энтальпия продуктов сгорания при θух=150 °С

кДж/кг.

1. Энтальпия холодного воздуха

 кДж/кг.

1. Теплота, полезно использованная в котлоагрегате

 кДж/кг.

Энтальпии определяем по табл.П5-1-П5-3 (см.Приложения). , т.к. отсутствует отбор насыщенного пара.

1. Потери теплоты с уходящими газами

кДж/кг.

1. Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива

кДж/кг.

1. Потери теплоты в окружающую среду

 кДж/кг.

1. Составляющие теплового баланса:
2. Тепловой баланс котельного агрегата

 кДж/кг

Или в процентах от располагаемой теплоты топлива

1. КПД котлоагрегата (брутто)
2. КПД котельной установки (нетто)

Где - расход теплоты на собственные нужды, кДж/кг, определяющийся по формуле

 кДж/кг.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Примеры и задачи. Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
2. Христофоров А.И. Техническая термодинамика и теплотехника: практ.пособие. ч.1. Термодинамика в примерах и задачах. – Владимир:изд.ВГУ, 2009.
3. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: Учеб.пособие/В.Н.Афанасьев, С.И.Исаев и др.: Под ред. В.И.Крутова и Г.Б.Петражицкого. – М.: Высшая школа, 1986.
4. Белоусов Н.А. Термодинамика и теплопередача (Основы теории, типовые задачи, задания и методические указания): Учеб.пособие. – Ухта, 2002.
5. Панкратов Г.П. Сборник задач по теплотехнике: Учеб.пособие. – М.: Высшая школа, 1995.
6. Сборник задач по технической термодинамике: Учеб.пособие/Т.Н.Андрианова, Б.В.Дзампов, В.Н.Зубарев и др. – М.: изд.МЭИ, 2000.
7. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. – М.: изд.МЭИ, 2003.
8. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: изд.МЭИ, 2002.