**Областное государственное бюджетное**

**профессиональное образовательное учреждение**

**(ОГБПОУ «ТПТ»)**

**Практические работы по термодинамике**

**и методические указания по их выполнению**

**для студентов специальностей 21.02.01 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» и 21.02.02 «Бурение нефтяных и газовых скважин» заочной формы обучения**

**Автор: А.В.Ти**

**2015 г.**

**Пояснительная записка**

Дисциплина «Термодинамика» входит в состав профессиональных модулей: ПМ.02 «Обслуживание и эксплуатация бурового оборудования», МДК.02.01 «Эксплуатация бурового оборудования» для специальности 21.02.02 и ПМ.02 «Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования», МДК.02.01 «Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования» для специальности 21.02.01.

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 21.02.01 и 21.02.02, 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 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

**Практическая работа № 1**

***РАСЧЁТ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета газовых смесей.

***2. Требования к отчёту***

 5.1. Номер работы, тема, цель.

5.2. Записать условие задачи.

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

 5.4. Размеры величин указывать в системе СИ.

**Задание**

Природный (или попутный) газ представляет собой смесь, состоящую из метана (СН4) и других предельных углеводородов, азота, углекислого газа и сероводорода. Для заданного вида топлива (см.табл.1.1) определить:

1. Газовую постоянную смеси;
2. Количество подведенного (отведенного) тепла, необходимое для нагрева (охлаждения) V, м3 смеси от температуры t1, ºС до температуры t2, ºС.

Объемный состав газа указан в табл. П1. Молярные массы элементов определять при помощи периодической таблицы Менделеева (табл.П2).

Таблица 1.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № 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 |

***Методические указания***

В практической работе №1 необходимо произвести расчет газовой смеси. При решении следует помнить, что методика расчета смеси зависит от способа задания смеси.

Газовая смесь может задаваться 2-мя способами: 1) через массовые доли компонентов; 2) через объемные доли компонентов.

Состав природного (попутного) газа задается объемными долями.

***Пример:*** Определить газовую постоянную природного газа Барсуковского месторождения состава: СО2=0,96%; СН4=80,78%; С2Н6=5,81%; С3Н8=4,8%; С4Н10=4,04%; С5Н12=1,81%; N2=1,8%. Какое количество тепла нужно подвести к 100 м3 этого газа, чтобы нагреть его от 20 до 85 ºС? Теплоемкость считать постоянной.

**Решение:**

Поскольку газовая смесь задана объемными долями, то расчет газовой постоянной смеси производим по формуле:

Где - универсальная газовая постоянная; =8314 Дж/(кмоль·К); - молярная масса смеси.

Молярная масса смеси определяется через объемные доли компонентов:

Где - молярные массы компонентов, а - объемные доли компонентов.

Обозначим: - молярная масса СО2; - молярная масса СН4; - молярная масса С2Н6; - молярная масса С3Н8; - молярная масса С4Н10; - молярная масса С5Н12 и - молярная масса N2, а - их объемные доли соответственно (заданы по условию).

При помощи таблицы Менделеева (табл.П2) находим молярные массы компонентов: =44 кг/кмоль; =16 кг/кмоль; =30 кг/кмоль; =44 кг/кмоль; =58 кг/кмоль; =72 кг/кмоль; =28 кг/кмоль.

 кг/кмоль.

Газовая постоянная смеси

 Дж/(кмоль·К).

Для газовой смеси количество подведенного (отведенного) тепла определяется по формуле

*Где -* объем газовой смеси, м3; - объемная изохорная теплоемкость смеси, Дж/(м3·К); - разность между начальной и конечной температурами.

Объемная теплоемкость смеси рассчитывается по формуле

Где - объемные теплоемкости компонентов смеси.

Объемные теплоемкости компонентов определим в зависимости от атомности газов. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости, основанная на допущении о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул и не учитывающая энергию внутримолекулярных колебаний, дает следующие значения мольных теплоемкостей:

− для двухатомных газов  кДж/(кмоль⋅К);

− для трех– и многоатомных газов  кДж/(кмоль⋅К).

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).

Рассчитываем количество подведенного тепла по формуле

**Практическая работа № 2**

***РАСЧЁТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета основных термодинамических процессов.

***2. 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.

**Задание**

***Задача 2.1.*** 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. 2.1.

Таблица 2.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № 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 2.2.*** В автоклаве объемом *V* находится газ под давлением *P1* МПа и *t1* °С. При нагревании (V=const) давление в автоклаве поднялось до *Р2* МПа.

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. 2.2.

Таблица 2.2.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № 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 2.3.*** 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. 2.3.

Таблица 2.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № 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 2.4***. Газ массой m, кг с начальным давлением р1, атм и начальной температурой Т1, К адиабатно 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.

4) Изобразить процесс в pV-диаграмме.

Исходные данные взять из табл. 2.4.

Таблица 2.4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № 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 |

***Методические указания***

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.

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 через киломольную теплоемкость с учетом атомности газа.

Т.к. кислород двухатомный газ (О2), то 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 через киломольную теплоемкость с учетом атомности газа.

Т.к. воздух двухатомный газ, то =1,01 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 по адиабате с показателем адиабаты k=1.4.

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.

**Практическая работа № 3**

***РАСЧЁТ ЦИКЛА ПОРШНЕВОГО ДВС***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания.

***2. 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.

**ЗАДАНИЕ**

Поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – с изохорно-изобарным подводом тепла (цикл Тринклера) работает при следующих условиях: начальные давление и температура р1, t1; степень сжатия ε; степень повышения давления λ; степень предварительного расширения ρ. Определить параметры состояния р, v, t в характерных точках цикла двигателя, подведенное и отведенное тепло и термический КПД. Рабочим телом считать воздух, полагая теплоемкость его постоянной. Масса рабочего тела – 1 кг. Изобразить цикл ДВС в pV-диаграмме.

Исходные данные взять из табл. 3.1.

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | р1, кПа | t1, ºС | ε | λ | ρ |
| 1 | 95 | 40 | 16 | 1,5 | 1,5 |
| 2 | 98 | 30 | 13 | 1,6 | 1,4 |
| 3 | 96 | 25 | 14 | 1,5 | 1,4 |
| 4 | 97 | 27 | 15 | 1,7 | 1,3 |
| 5 | 98 | 17 | 16 | 1,4 | 1,6 |
| 6 | 100 | 25 | 17 | 1,5 | 1,6 |
| 7 | 96 | 30 | 18 | 1,6 | 1,3 |
| 8 | 97 | 40 | 19 | 1,7 | 1,2 |
| 9 | 98 | 27 | 16 | 1,5 | 1,4 |
| 10 | 99 | 17 | 18 | 1,6 | 1,3 |

***Методические указания***

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.

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

**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.

 

**Практическая работа № 4**

***РАСЧЁТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКУЮ СТЕНКУ***

***1. Цель работы***

Приобретение практических навыков расчета процессов теплообмена.

***2. 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.

**ЗАДАНИЕ**

Плоская стальная стенка, толщиной δс омывается с одной стороны горячими газами с температурой t1, а с другой стороны водой с температурой t2. Определить коэффициент теплопередачи от газов к воде, плотность теплового потока и температуру обеих поверхностей стенки, если известны коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке α1 и от стенке к воде α2. Определить также все указанные выше величины для случая, если стенка, омываемая водой, покроется слоем накипи толщиной δн. Для указанных вариантов задачи построить эпюры температур от t1 до t2. Объяснить, в чем состоит вред отложения накипи на стальных поверхностях нагрева.

Исходные данные для решения взять из табл. 4.1.

Принять: коэффициент теплопроводности стали λс=50 Вт/(м·К), коэффициент теплопроводности накипи λн=1 Вт/(м·К).

Таблица 4.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-та | δс, мм | δн, мм | α1, Вт/(м2·К) | α2, Вт/(м2·К) | t1, °С | t2, °С |
| 1 | 14 | 0,7 | 32 | 3200 | 750 | 110 |
| 2 | 16 | 0,9 | 35 | 3600 | 700 | 120 |
| 3 | 18 | 0,8 | 38 | 3000 | 780 | 100 |
| 4 | 20 | 1,2 | 40 | 4000 | 800 | 130 |
| 5 | 22 | 1,4 | 42 | 4300 | 820 | 150 |
| 6 | 15 | 1,0 | 45 | 4600 | 850 | 140 |
| 7 | 17 | 1,6 | 34 | 4200 | 880 | 170 |
| 8 | 19 | 1,8 | 37 | 4500 | 760 | 160 |
| 9 | 21 | 1,7 | 41 | 4300 | 830 | 180 |
| 10 | 23 | 1,3 | 44 | 5000 | 900 | 190 |

***Методические указания***

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

***Пример решения задачи***

**Задача.** 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