

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

О.В. Омельченко, В.В. Перекрест

ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

**Методичні рекомендації для вивчення
дисципліни**

Ступінь: бакалавр

**Кривий Ріг
2019**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

О.В. Омельченко, В.В. Перекрест

ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

Методичні рекомендації для вивчення дисципліни

Ступінь: бакалавр

Затверджено на засіданні
кафедри загальноінженерних дисциплін та
обладнання
Протокол №1
від «28» серпня 2019 р.

Схвалено навчально-методичною радою
ДонНУЕТ
Протокол №1
від «29» серпня 2019 р

**Кривий Ріг
2019**

УДК 536-023:62(076)

О 57

Омельченко О.В., Перекрест В.В.

О 57 Технічна термодинаміка [Текст] : метод. рук. до вивч. дисц. / Омельченко О.В., В.В. Перекрест; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2019. – 66 с.

Методичні рекомендації призначені для студентів всіх форм навчання і покликані допомогти студентам організувати вивчення дисципліни «Технічна термодинаміка» завдяки інформації щодо змісту модулів та тем дисципліни, планів практичних занять, завдань для самостійного вивчення та розподілу балів за видами робіт, що виконуються студентами протягом вивчення дисципліни. Методичні рекомендації містять перелік питань для підготовки до підсумкового контролю та перелік основної та додаткової літератури.

УДК 536-023:62(076)

© Омельченко О.В., Перекрест В.В., 2019

© Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЧАСТИНА 1. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА»	6
ЧАСТИНА 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	16
Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки.....	17
Змістовий модуль 2. Тепломасообмінні процеси.....	28
ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	37
Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки.....	38
Змістовий модуль 2. Тепломасообмінні процеси.....	53

ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни є формування у студентів професійних компетентностей щодо розрахунку і проектування теплоенергетичних систем та теплообмінних апаратів.

Головним завданням навчальної дисципліни є навчання студентів розуміти фізичні процеси, що протікають в теплоенергетичних системах, овоїти методи розрахунку тепломасообмінних процесів в теплоенергетичних установках.

Предмет: вивчення основних положень і принципів термодинаміки та тепломасообмінних процесів.

ЧАСТИНА 1.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

1. Опис дисципліни

Найменування показників	Характеристика дисципліни
Обов'язкова (для студентів спеціальності "назва спеціальності") / вибіркова дисципліна	Обов'язкова для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
Семестр (осінній / весняний)	Осінній
Кількість кредитів	5
Загальна кількість годин	150
Кількість модулів	1
Лекції, годин	39
Практичні / семінарські, годин	26
Лабораторні, годин	-
Самостійна робота, годин	85
Тижневих годин для денної форми навчання:	
аудиторних	5
самостійної роботи студента	6,5
Вид контролю	екзамен

2. Програма дисципліни

Ціль – засвоєння знань та придбання навичок, необхідних для кваліфікованого аналізу тепломасообмінних процесів, обґрунтованого вибору тепломасообмінного устаткування.

Завдання: розрахунок процесів тепло- та масопереносу, визначення основних характеристик теплообмінного обладнання, оцінювання величини тепломасовіддачі за умов вільної та вимушеної конвекції, обґрунтування вибору температурного напору та теплового навантаження при розрахунках апаратів, визначити раціональні заходи щодо інтенсифікації процесів теплопередачі та зменшення втрат теплоти в оточуюче середовище.

Предмет: принцип дії різних теплових машин і пристроїв.

Зміст дисципліни розкривається в темах:

1. Термодинамічні параметри газів
2. Термодинамічні процеси
3. Перший закон термодинаміки
4. Властивості ідеальних газів
5. Другий закон термодинаміки
6. Водяна пара.
7. Вологе повітря.
8. Теплові машини.
9. Теорія теплообміну.
10. Теплопровідність.
11. Теплообмін. Теплопередача.

12. Основи теорії горіння.

13. Теплообмін випромінюванням. Теплообмінні апарати.

3. Структура дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма навчання)				
	усього	у тому числі			
		лекц.	пр./сем.	лаб.	СРС
1	2	3	4	5	6
Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки					
Тема 1. Термодинамічні параметри газів	9	2	2	-	5
Тема 2. Термодинамічні процеси	10	2	2	-	6
Тема 3. Перший закон термодинаміки	10	2	2	-	6
Тема 4. Властивості ідеальних газів	7	2	-	-	5
Тема 5. Другий закон термодинаміки	9	2	2	-	5
Тема 6. Водяна пара.	9	2	2	-	5
Тема 7. Вологе повітря.	12	2	4	-	6
Разом за змістовим модулем 1	66	14	14	-	38
Змістовий модуль 2. Тепломасообмінні процеси					
Тема 8. Теплові машини	7	2	-	-	5
Тема 9. Теорія теплообміну.	9	2	2	-	5
Тема 10. Теплопровідність.	9	2	2	-	5
Тема 11. Теплообмін. Теплопередача.	9	2	2	-	5
Тема 12. Основи теорії горіння.	9	2	2	-	5
Тема 13. Теплообмін випромінюванням. Теплообмінні апарати..	11	2	4	-	5
Разом за змістовим модулем 2	54	12	12	-	30
Усього годин	120	26	26	-	68

4. Теми семінарських/практичних/лабораторних занять

№ з/п	Вид та тема практичного заняття	Кількість годин
1	Практична робота 1. Термодинамічні параметри газів	2
2	Практична робота 2. Термодинамічні процеси	2
3	Практична робота 3. Перший закон термодинаміки	2
4	Практична робота 4. Другий закон термодинаміки	2
5	Практична робота 5. Водяна пара.	2
6	Практична робота 6. Вологе повітря	4
7	Практична робота 7. Теорія теплообміну.	2
8	Практична робота 8. Теплопровідність	2
9	Практична робота 9. Теплообмін. Теплопередача	2
10	Практична робота 10. Основи теорії горіння	2
11	Практична робота 11. Теплообмін випромінюванням. Теплообмінні апарати	4
Всього		26

5. Індивідуальні завдання

Не заплановані навчальним планом.

6. Обсяги, зміст та засоби діагностики самостійної роботи

Вид та тема практичних занять	Кількість годин самостійної роботи	Зміст самостійної роботи	Засоби діагностики
Змістовий модуль 1. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ			
1. Термодинамічні параметри газів	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Термодинамічні параметри газів».	Опитування, перевірка задач
2. Термодинамічні процеси	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Термодинамічні процеси».	Опитування, перевірка задач
3. Перший закон термодинаміки .	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач.	Опитування, перевірка задач

Вид та тема практичних занять	Кількість годин самостійної роботи	Зміст самостійної роботи	Засоби діагностики
		2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Перший закон термодинаміки»	
4. Другий закон термодинаміки	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Другий закон термодинаміки».	Опитування, перевірка задач
5. Водяна пара	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Водяна пара».	Опитування, перевірка задач
6. Вологе повітря	9	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Вологе повітря».	Опитування, перевірка задач
Разом змістовий модуль 1	38		
Змістовий модуль 2 ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ			
7. Теплові машини	5	1 Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2.Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Теплові машини».	Опитування, перевірка задач
8. Теорія теплообміну.	5	1 Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2.Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Теорія теплообміну».	Опитування, перевірка задач
9. Теплопровідність	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування	Опитування, перевірка задач

Вид та тема практичних занять	Кількість годин самостійної роботи	Зміст самостійної роботи	Засоби діагностики
		задач.2.Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Теплопровідність».	
10. Теплообмін. Теплопередача.	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «. Теплообмін. Теплопередача».	Опитування, перевірка задач
11. Основи теорії горіння	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «. Основи теорії горіння».	Опитування, перевірка задач
12. Теплообмін випромінюванням. Теплообмінні апарати	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Теплообмін випромінюванням. Теплообмінні апарати».	Опитування, перевірка задач
Разом змістовий модуль 2	30		
Разом	68		

**7. Матриця зв'язку між дисципліною/ змістовим модулем,
програмними результатами навчання та компетентностями**

Результати навчання	Компетентності									
	Інтегральна	Загальні			Спеціальні					
		ІК-1	ЗК 4	ЗК14	ЗК 15	ФК 1	ФК 2	ФК 4	ФК 5	ФК 6
1. Знання і розуміння математики, фізики, тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.	+	+								
2. Знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.	+				+					
3. Застосовувати інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень	+	+		+	+	+	+	+	+	+
4. Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень при вирішенні професійних завдань.			+			+	+	+	+	+

8. Методи викладання

Лекції, практичні заняття, самостійна робота (розв'язування задач).

9. Методи оцінювання

Екзамен.

10. Розподіл балів, які отримують студенти

Відповідно до системи оцінювання знань студентів ДонНУЕТ, рівень сформованості компетентностей студента оцінюються у випадку проведення екзамену: впродовж семестру (50 балів) та при проведенні підсумкового контролю - екзамену (50 балів).

Оцінювання студентів протягом семестру

№ теми практичного заняття	Вид роботи/бали					
	Тестові завдання, письмові опитуван ня	Ситуаційні завдання, задачі	Обговорення теоретичних питань теми	Індиві- дуальне завдання	ПМК	Сума балів
Змістовий модуль 1						
Тема 1			1	1		2
Тема 2			1	2		3
Тема 3			1	2		3
Тема 4			1	2		3
Тема 5			1	2		3
Тема 6			1	2	8	10
Разом змістовий модуль 1			6	11	8	25
Змістовий модуль 2						
Тема 7.			1	2		3
Тема 8.			1	2		3
Тема 9.			1	2		3
Тема 10.			1	3		4
Тема 11.			1	3	8	12
Разом змістовий модуль 2			5	12	8	25
Разом			11	23	16	50

Загальне оцінювання результатів вивчення дисципліни

Для виставлення підсумкової оцінки визначається сума балів, отриманих за результатами екзамену та за результатами складання змістових модулів. Оцінювання здійснюється за допомогою шкали оцінювання загальних результатів вивчення дисципліни (модулю).

Оцінка		
100-бальна шкала	Шкала ECTS	Національна шкала
90-100	A	5, «відмінно»
80-89	B	4, «добре»
75-79	C	
70-74	D	3, «задовільно»
60-69	E	
35-59	FX	2, «незадовільно»
0-34	F	

11. Методичне забезпечення

1. Електронний конспект лекцій, методичні вказівки з вивчення дисципліни, індивідуальні завдання, навчальна та наукова література

12. Рекомендована література

Основна

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. – Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.
7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Допоміжна

1. Прісняков В.Ф. Кипіння. К.: Груп. Думка, 1988. 240 с.
2. Кутателадзе С.С., Боришанський В.М. Довідник з теплопередачі. М.:Госенерговидат., 1959. 414с.
3. Стабников В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В. Н. Стабников, В. М. Лысянский, В. Д. Попов. М.: Агропромиздат, 1985. 503 с.
4. Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков. КолосС, 2010. 847 с.

5. Атаназевич В. И. «Сушка пищевых продуктов» М., «ДаЛи», 2000. 296с.
6. Лыков А. В., «Теория сушки», М., «Энергия», 1968. 472с.

ЧАСТИНА 2.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.
ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ
Тема 1. Термодинамічні параметри газів

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Термодинамічна система.
2. Суміші робочих тіл.
3. Основні фізичні властивості газу.
4. Сили, які діють в рідині.
5. Співвідношення між масовими і об'ємними долями.

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1. Атмосферне повітря при температурі $t_1 = 10^\circ\text{C}$ і тискові $p_1 = 150\text{кПа}$ займає об'єм 10м^3 . Визначити величину зміни об'єму повітря, якщо тиск повітря збільшився до $p_2 = 600\text{кПа}$, а температура до $t_2 = 90^\circ\text{C}$.

Розв'язання

Використаємо рівняння стану ідеального газу $pW = RT$.

Оскільки теплообмін відсутній, то $\frac{pW}{T} = \text{const}$, тобто $\frac{p_1 W_1}{T_1} = \frac{p_2 W_2}{T_2}$, звідки

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$W_2 = 10 \cdot \frac{150 \cdot 10^3}{600 \cdot 10^3} \cdot \frac{(273+90)}{(273+10)} = 3,21\text{м}^3$$

Отже величина зміни об'єму повітря становить

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

$$\Delta W = 10 - 3,21 = 6,89\text{ м}^3$$

Приклад 2. Задача 2. Генераторний газ має наступний об'ємний склад: $\text{CO}_2 = 12,3\%$, $\text{O}_2 = 7,2\%$, $\text{N}_2 = 80,5\%$. Визначити масові долі компонентів, молекулярну масу газу, газову сталу, густину суміші та парціальні тиски компонентів при тиску 750 мм рт.ст. і температурі 800°C .

Розв'язання

Середня молекулярна маса газової суміші ($\mu_{\text{сум}}$) визначається через об'ємні долі:

$$\mu_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i,$$

$$\mu_{\text{сум}} = r(\text{CO}_2) \cdot \mu(\text{CO}_2) + r(\text{O}_2) \cdot \mu(\text{O}_2) + r(\text{N}_2) \cdot \mu(\text{N}_2)$$

$$\mu(\text{CO}_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44\text{ кг / кмоль}$$

$$\mu(\text{O}_2) = 16 \cdot 2 = 32\text{ кг / кмоль}$$

$$\mu(N_2) = 14 \cdot 2 = 28 \text{ кг/кмоль}$$

$$\mu_{\text{сум}} = 0,123 \cdot 44 + 0,072 \cdot 32 + 0,805 \cdot 28 = 30,256 \text{ кг/кмоль}$$

Знайдемо частку кожного газу в суміші за формулою

$$g_i = \frac{r_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i} = \frac{r_i \mu_i}{\mu_{\text{сум}}}$$

$$g(\text{CO}_2) = \frac{r(\text{CO}_2) \cdot \mu(\text{CO}_2)}{\mu_{\text{сум}}} = \frac{0,123 \cdot 44}{30,256} = 0,1789$$

$$g(\text{O}_2) = \frac{r(\text{O}_2) \cdot \mu(\text{O}_2)}{\mu_{\text{сум}}} = \frac{0,072 \cdot 32}{30,256} = 0,0762$$

$$g(\text{N}_2) = \frac{r(\text{N}_2) \cdot \mu(\text{N}_2)}{\mu_{\text{сум}}} = \frac{0,805 \cdot 28}{30,256} = 0,745$$

Знайдемо питому газову сталу для газової суміші:

$$R_{\text{сум}} = \frac{R_{\mu}}{\mu_{\text{сум}}} = \frac{8314}{30,256} = 274,79 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).,$$

Питомий об'єм знайдемо використовуючи рівняння стану газової суміші:

$$p_{\text{сум}} \cdot v_{\text{сум}} = R_{\text{сум}} \cdot T_{\text{сум}}$$

$$v_{\text{сум}} = \frac{R_{\text{сум}} \cdot T_{\text{сум}}}{p_{\text{сум}}}$$

Беручи до уваги те, що $\rho = \frac{1}{v}$, рівняння матиме вид:

$$\rho_{\text{сум}} = \frac{p_{\text{сум}}}{R_{\text{сум}} \cdot T_{\text{сум}}} = \frac{750 \cdot 133,3}{274,79 \cdot 1073} = 0,34 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Парціальний тиск кожного з компонентів знайдемо за формулою:

$$p_i = p_{\text{сум}} \times r_i$$

$$P(\text{CO}_2) = 99,975 \cdot 10^3 \cdot 0,123 = 12,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$P(\text{O}_2) = 99,975 \cdot 10^3 \cdot 0,072 = 7,2 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$P(\text{N}_2) = 99,975 \cdot 10^3 \cdot 0,805 = 80,5 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Задача. У скільки разів зміниться тиск пари, що проходить через турбіну, якщо перед турбіною надлишковий тиск дорівнює $p_{\text{нл}}$ 89,5 ат, а вакуум після турбіни в конденсаторі дорівнює $p_{\text{вак}}$ 720 мм рт.ст.? Барометричний тиск дорівнює $p_{\text{бар}}$ 1010 млбар.

№ вар.	$p_{\text{нл}}$	$p_{\text{вак}}$	$p_{\text{бар}}$
1	71	718	1000
2	73	719	1001
3	78	720	1002
4	81	721	1003
5	83	722	1004
6	85	723	1005

7	87	724	1006
8	89	725	1007
9	91	726	1008
10	93	727	1010

Тема 2. Термодинамічні процеси

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Політропні процеси.
2. Зображення процесів у координатах p- V і T-S.
3. Основні характеристики політропних процесів.
4. Основні термодинамічні процеси: ізохоричний, ізобаричний, ізотермічний, адіабатичний - часткові випадки політропного процесу

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1. Кисень температурою 27 °С і масою 25 кг ізотермічно стискається. Наприкінці процесу тиск становить 4,15 МПа, а робота стиснення в цьому процесі складає 8 МДж. Визначити початковий тиск кисню, його об'єм на початку і наприкінці процесу, а також кількість теплоти, яка була при цьому відведена.

Розв'язання

Початковий об'єм кисню визначаємо за допомогою рівняння стану ідеального газу:

$$p_2 V_2 = m R T_2 \Rightarrow V_2 = \frac{m R T_2}{p_2},$$

$$\text{де } R = \frac{R_\mu}{\mu_{\text{O}_2}} = \frac{8,314}{32} = 0,259 \text{ кДж}/(\text{кгК}) - \text{питома газова постійна кисню}$$

$$T_2 = T_1 = t_1 + 273 = 27 + 273 = 300 \text{ К};$$

$$\text{Тоді, } V_2 = \frac{25 \cdot 0,259 \cdot 300}{4,15 \cdot 10^3} = 468,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Значення об'єму на початку процесу знайдемо через роботу для ізотермічного процесу:

$$L = Q = m R T \ln \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{L}{m R T} \Rightarrow \ln V_1 = \frac{\ln V_2 \cdot m R T}{L} \Rightarrow$$

$$\ln V_1 = \frac{\ln 0,468 \cdot 25 \cdot 0,259 \cdot 300}{-8 \cdot 10^3} = 0,184 \Rightarrow V_1 = 1,2 \text{ м}^3.$$

Значення тиску на початку процесу знайдемо з рівняння:

$$p_1 = \frac{mRT_1}{V_1} = \frac{25 \cdot 0,259 \cdot 300}{1,2} = 1618,7 \text{ кПа.}$$

В ізотермічному процесі кількість теплоти, що відведена від кисню, дорівнює роботі:

$$Q = L = -8 \text{ МДж.}$$

Приклад 2. Балон з киснем місткістю 240 л і $p_{абс 1} = 1 \text{ МПа}$ нагрівають від $50 \text{ }^\circ\text{C}$ до $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити кінцевий тиск, зміну ентропії та кількість теплоти, підведеної до балона.

Розв'язання

Процес у балоні ізохорний, тому що його об'єм не змінюється. Для визначення тиску використовуємо наступну формулу:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow p_2 = \frac{T_2 \cdot p_1}{T_1} = \frac{423 \cdot 1 \cdot 10^6}{323} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Кількість теплоти знаходимо також для ізохорного процесу:

$$Q = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1),$$

де m – маса кисню, кг;

c_v – масова ізохорна теплоємність, $\text{кДж/кг}\cdot\text{К}$.

$$p_1 V_1 = m R T_1 \Rightarrow m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot 0,240}{259,8 \cdot 323} = 2,86 \text{ кг}$$

$$c_v = \frac{\mu c_v}{\mu} = \frac{20,8}{32} = 0,649 \text{ (кДж/(кг}\cdot\text{К))},$$

де μc_v – мольна ізохорна теплоємність двохатомного газу, $\text{кДж/кмоль}\cdot\text{К}$ (обирається з таблиці).

Отримуємо наступне значення:

$$Q = 2,86 \cdot 0,649 \cdot (423 - 323) = 185,6 \text{ кДж.}$$

Зміна ентропії визначається за формулою:

$$\Delta S = m \cdot c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = 2,86 \cdot 0,649 \cdot 0,29 = 0,54 \text{ кДж/К.}$$

$$W = 7,11 \cdot 4,90 = 34,84 \text{ м}^3$$

Задача Повітря з температурою $27 \text{ }^\circ\text{C}$ стискується у поршне-вому одноступеневому компресорі від тиску $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$ до тиску P_2 . Стиск здійснюється: а) ізотермічно; б) адіабатно; в) політропно з показником n . Визначити для кожного з процесів стиску кінцеву температуру газу t_2 , відведену від газу теплоту Q (кВт) і теоретичну потужність компресора, якщо його продуктивність G . Скласти зведену таблицю результатів розрахунків. Процеси стиску зобразити в p_v - і T_s - діаграмах.

Необхідні дані для розв'язання задачі взяти з таблиці.

Остання цифру шифру	n	Передостання цифру шифру	p_2 , МПа	$G \cdot 10^{-3}$, кг/год
0	1,25	0	0,9	0,3
1	1,22	1	1,0	0,4
2	1,24	2	0,85	0,5

3	1,21	3	0,8	0,6
4	1,20	4	0,95	0,7
5	1,30	5	0,9	0,8
6	1,27	6	0,85	0,9
7	1,26	7	0,9	1,0
8	1,33	8	0,8	1,1
9	1,23	9	0,85	1,2

Тема 3. Перший закон термодинаміки.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Внутрішня енергія та ентальпія.
2. Перетворення теплоти в роботу.
3. Принцип складання схем енергобалансу.
4. Що таке довічний двигун першого роду.
5. Абсолютна величина внутрішньої енергії та ентальпії робочого тіла.

2. Індивідуальне тестування.

3. Опитування, перевірка задач

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1. Масова витрата газу в стаціонарному потоці $m = 7200$ кг/год. При течії з постійною швидкістю в каналі зменшуються: абсолютний тиск газу від 0,75 МПа до 2,25 ат, густина газу від 4,5 до 1,65 кг/м³, внутрішня енергія газу на 100 кДж/кг. Розрахувати кількість теплоти даного процесу, якщо потоком здійснюється технічна робота $L_{\text{тех}} = 1500$ кДж/с.

Розв'язання.

Згідно з Першим законом термодинаміки $Q = \Delta U + L$.

Термодинамічна робота $L = L_{\text{к}} + L_{\text{п}} + L_{\text{тех}}$, де $L_{\text{к}} = 0,5m(w_2^2 - w_1^2)$ – робота, що витрачається на зміну зовнішньої кінетичної енергії потоку;

$L_{\text{п}} = m(p_2 v_2 - p_1 v_1)$ – робота проштовхування;

$L_{\text{тех}}$ – технічна робота. Оскільки, $w = \text{const}$, то $L_{\text{к}} = 0$ і тоді

$Q = m\Delta u + (p_1/\rho_1)((p_2/\rho_2)/(\rho_1/\rho_2) - 1) + L_{\text{тех}}$;

$Q = (7200/3600)(-100) + (7200/3600)(0,75 \cdot 10^3 / 4,5)((2,25/7,5)/(4,5/1,65) - 1) + 1500 \approx 1240$ кВт.

Приклад 2. Робоче тіло з початкового стану 1 переходить до стану 2 в процесі 1А2, здійснюючи при цьому роботу, яка дорівнює 100 кДж. При переході із стану 2 в стан 1 шляхом 2Б1 від робочого тіла було відведено 30 кДж теплоти, а його внутрішня енергія зросла на 25 кДж. Визначити роботу циклу 1А2Б1 та кількість теплоти, що підведена до робочого тіла в процесі 1А2. Зобразити схеми енергобалансів для процесів, що розглядаються, і процеси в p, v системі координат (рис.3.1).

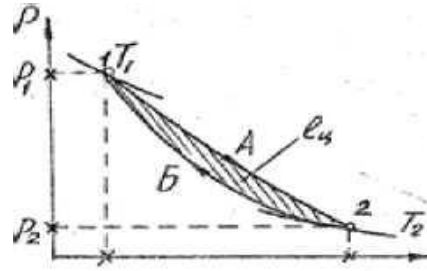


Рисунок 3.1 – Рисунок до прикладу 1

Згідно з Першим законом термодинаміки $Q = \Delta U + L$

Для процесу 1A2: $Q_{1A2} = \Delta U_{12} + L_{1A2}$

Для процесу 2B1: $Q_{2B1} = \Delta U_{21} + L_{2B1}$

Так як для обох процесів співпадають відповідно початкові та кінцеві стани, то $\Delta U_{12} = -\Delta U_{21}$, тоді

$\Delta U_{12} = -25$ кДж. $Q_{1A2} = -25 + 100 = 75$ кДж. Робота циклу $L_{\text{ц}} = L_{1A2} +$

$L_{2B1} = Q_{2B1} + \Delta U_{21}$

$L_{2B1} = -30 - 25 = -55$ кДж;

$L_{\text{ц}} = 100 + -55 = 45$ кДж.

Задача. Визначити діаметр циліндра D і хід поршня S чотирьохтактного ДВЗ (двигуна внутрішнього згорання) за відомим значенням ефективної потужності N_e , середнього індикаторного тиску p_i , числом обертів двигуна n і відношення $\frac{D}{S}$. Знайти годинну і ефективну витрату палива, якщо індикаторний К.К.Д. двигуна η_i , а нижча теплота згорання палива $Q_H^P = 43 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, z - число циліндрів двигуна.

Необхідні дані для розв'язку задачі взяти з таблиці

№ Вар.	κB m	n , об/х в	P_b кПа	Z	η_i	η_M	$\frac{D}{S}$
1	100	2100	600	4	0,38	0,81	0,95
2	90	2300	650	6	0,42	0,82	0,98
3	80	2500	620	8	0,29	0,79	1,05
4	270	2700	740	12	0,33	0,80	1,12
5	60	2800	860	4	0,40	0,83	1,07
6	50	3000	880	6	0,31	0,78	145
7	140	2000	800	8	0,44	0,81	0,92
8	160	2200	720	12	0,43	0,82	1,02
9	75	2400	680	4	0,35	0,85	1,08
10	85	2500	630	6	0,30	0,84	1,16

Тема 4. Другий закон термодинаміки.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Класифікацію циклів.

2. Класифікацію теплових машин за корисним ефектом циклу, що здійснюється в них робочим тілом .

3. Обчислення показників ефективності термодинамічних циклів - термічного ККД.

4. Основні формулювання (Больцмана, Карно, Клаузіуса, Оствальда, Томсона).

5. Що таке довічний двигун другого роду.

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад. Повітря в кількості 1 кг здійснює цикл Карно в межах температур 527°C і 27°C, причому найвищий тиск становить 5 МПа, а найнижчий - 0,1 МПа.

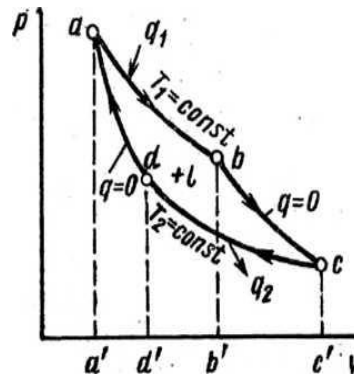


Рисунок 4.1 – Прямий цикл Карно для теплового двигуна

Визначити параметри стану повітря в характерних точках циклу, роботу, термічний ККД циклу і кількість підведеної і відведеної теплоти, рис. 4.1

Розв'язання.

Точка 1(точка а). $p_1=5$ МПа; $T_1= 800$ К. Стала повітря $R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = 8314/29=287$ Дж/(кгК). Точка 2(точка в), $T_2 =800$ К з рівняння адіабати лінія (в- с)

$$\frac{p_2}{p_3} = \left[\frac{T_2}{T_3} \right]^{\frac{k}{k-1}} = 30,96 \quad p_2 = p_3 30,96 = 3,1 \text{ МПа}$$

Рівняння ізотерми (лінія а-в) $p_1 v_1 = p_2 v_2$ отримаємо $v_2 = \frac{p_1 v_1}{p_2} = 0,07406$ м³/кг

Точка 3 (точка с), $p_3 = 0,1$ МПа, $T_3 =300$ К $v_3 = RT_3/p_3 =0,081$ м³/кг

Точка 4 (точка d), , $T_4 = 300$ К рівняння адіабати (лінія с-d)

$$\frac{p_1}{p_4} = \left[\frac{T_1}{T_4} \right]^{\frac{k}{k-1}} = 30,96 \quad p_2 = p_3/30,96 = 0,161 \text{ МПа}$$

З рівняння ізотерми (лінія $c-d$) $p_3 v_3 = p_4 v_4$ $v_4 = p_3 v_3 / p_4 = 0,0534 \text{ м}^3/\text{кг}$
 Термічний ККД циклу $\eta_1 = 1 - T_3/T_1 = 0,625$
 Підведена кількість теплоти $q_1 = RT_1 \ln(v_2/v_1) = 98,125 \text{ кДж}$
 Відведена кількість тепла $q_2 = RT_3 \ln(v_3/v_4) = 41,124 \text{ кДж}$
 Робота циклу $l_0 = q_1 - q_2 = 56,996 \text{ кДж}$.

Задача. Для циклу зі змішаним підведенням теплоти відомо: p_1 ; t_1 ; q_1 ; p_{max} ; ε . Робоче тіло повітря $k = 1,4$. Визнати q_1/q_2 і термічний ККД.

№ вар.	p_1 , кПа	t_1 , С°	q_1 , кДж/кг	p_{max} , кПа	ε
1	85	63	800	4450	9
2	87	65	820	4470	8
3	90	67	830	4490	10
4	93	70	840	4500	8
5	95	72	850	4510	9
6	97	75	860	4525	10
7	99	77	870	4540	7
8	101	79	880	4540	10
9	103	80	890	4550	11
10	105	83	900	4560	9

Тема 5. Водяна пара.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Суха насичена пара вологою насиченою парою
2. Волога насичена пара .
3. Процес підігріву води до температури насичення.
4. Процес пароутворення.
5. Процес перегріву пари.

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1. Водяна пара масою $m = 15 \text{ кг}$ із початковими параметрами $p_1 = 0,6 \text{ МПа}$ та $x_1 = 0,8$ ізобарно нагрівається до температури $t_2 = 460^\circ\text{С}$. Визначити підведену теплоту, роботу процесу, зміну внутрішньої енергії.

Розв'язання

1. Знаходимо точку з параметрами на перетині ізобари $p_1 = 0,6 \text{ МПа} = 600 \text{ кПа}$ і лінії постійного ступеня сухості $x_1 = 0,8$. Отримана точка – точка 1.

2. Ізобарний процес нагрівання відбувається за законом $p = const$. Для побудови цього процесу проводимо лінію $p = const$, що дорівнює $p_2 = p_1 = 600 \text{кПа}$, до ізотерми $t_2 = 460 \text{ }^\circ\text{C}$. На перетині цих ізоліній отримуємо точку 2.

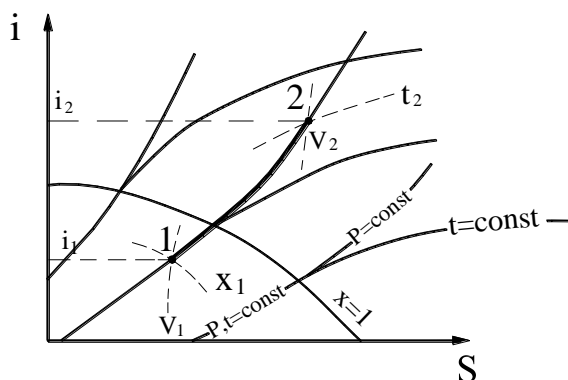


Рисунок 5.1 – Рисунок до прикладу 1

3. Теплота процесу визначається за формулою: $q = \Delta i$, кДж/кг . Визначимо значення ентальпії i_1 (з точки 1 проводимо пряму лінію вліво до перетину з прямою ентальпії): точка 1 має значення 2350 кДж/кг . Аналогічно визначається параметр i_2 , який має значення 3400 кДж/кг . Тоді кількість теплоти, що витрачена на нагрівання 1 кг водяної пари буде дорівнювати наступному значенню: $q = 3400 - 2350 = 1850 \text{ кДж/кг}$.

4. Теплота, що необхідна на нагрівання водяної пари масою 15 кг , визначається за формулою: $Q = q \cdot m = 1850 \cdot 15 = 15750 \text{ кДж}$.

5. Робота, виконана паром у цьому процесі визначається, як: $l = p \cdot (v_2 - v_1)$, кДж/кг .

Визначимо значення питомого об'єму v_1 . Для цього необхідно знайти відповідну ізохору, яка проходить через точку 1. Отримана точка має значення $v_1 = 0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$. Аналогічно визначаємо значення $v_2 = 0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$. Робота 1 кг водяної пари в ізобарному процесі $l = 600 \cdot (0,6 - 0,3) = 600 \cdot 0,3 = 180 \text{ кДж/кг}$.

Робота 15 кг пари: $L = l \cdot m = 180 \cdot 15 = 2700 \text{ кДж}$.

Зміну внутрішньої енергії ΔU визначаємо за першим законом термодинаміки: $\Delta U = Q - L$.

Внутрішня енергія системи дорівнює $\Delta U = 15750 - 2700 = 13050 \text{ кДж}$.

Задача. У турбіні адіабатно розширюється перегріта водяна пара. Витрати пари – 10 кг/с . Початковий стан її характеризується тиском p_1 , і температурою $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$. Кінцевий тиск p_2 . Визначити теоретичну потужність турбіни.

№ вар	p_1 , МПа	p_2 , кПа	t_1 , $^\circ\text{C}$
1	5	5	510
2	4	7	500
3	3	8	500
4	6	9	450
5	7	6	500
6	5	3	400
7	6	6	350
8	8	4	500
9	3	9	450

10	6	5	550
----	---	---	-----

Тема 6. Вологе повітря.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Закон Дальтона.
2. Ненасичене вологе повітря.
3. Насичене вологе повітря.
4. Абсолютна вологість повітря
5. Відносна вологість повітря

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1. Визначити параметри вологого повітря, якщо $t = 40\text{ }^\circ\text{C}$ та $d = 5\text{ г/кг.с.п.}$

Розв'язання

Задача вирішується за допомогою $i - d$ діаграми: на перетині ізотерми $t=40\text{ }^\circ\text{C}$ та лінії постійного вологовмісту $d=5\text{ г/кг.с.п.}$, знаходимо точку В (див. рис.).

1). Знайдемо точку роси: опускаємо вертикальну лінію з точки В до перетину з $\phi=100\%$: $t_p=-3,7\text{ }^\circ\text{C}$; 2). Температуру мокрого термометра знаходимо, проводячи лінію паралельно $i=const$ з точки В до $\phi=100\%$: $t_m=18,8\text{ }^\circ\text{C}$; 3) Ентальпію знаходимо, проводячи з точки В лінію рівнобіжну $i=const$: $i_B = 53\text{ кДж/кг}$;

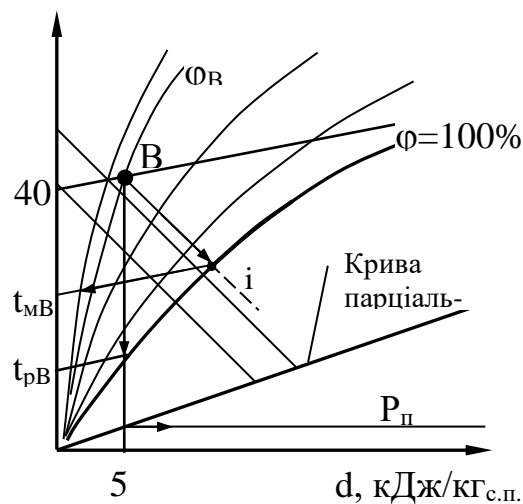


Рисунок 6.1 – Рисунок до прикладу 1

4) Парціальний тиск знаходимо, проводячи з точки В вертикальну лінію до кривої парціальних тисків водяної пари. За шкалою парціальних тисків знаходимо значення: $p_n=0,8\text{ кПа}$; 5). 6) Абсолютну вологість знаходимо за формулою (7.1):

$$W_a = \frac{P_n}{R_n T_n} = \frac{0,8}{\frac{8,314}{18} \times (40 + 273)} = 0,00553 \text{ г/м}^3$$

Приклад 2. Вологе повітря масою $m = 62$ кг з температурою $t_1 = 7^\circ\text{C}$ і відносною вологістю $\phi_1 = 40\%$ нагрівається до температури $t_2 = 45^\circ\text{C}$. Визначити кількість теплоти, яку необхідно підвести в цьому процесі.

Розв'язання

Задача вирішується за допомогою $i - d$ діаграми. Процес нагрівання відбувається за $d = \text{const}$ (див. рис.). На перетині ізотерми $t_1 = 7^\circ\text{C}$ з лінією відносної вологості у 40% , наносимо точку 1. На перетині $t_2 = 45^\circ\text{C}$ з лінією $d_1 = d = \text{const}$ наносимо точку 2 (див. рис.).

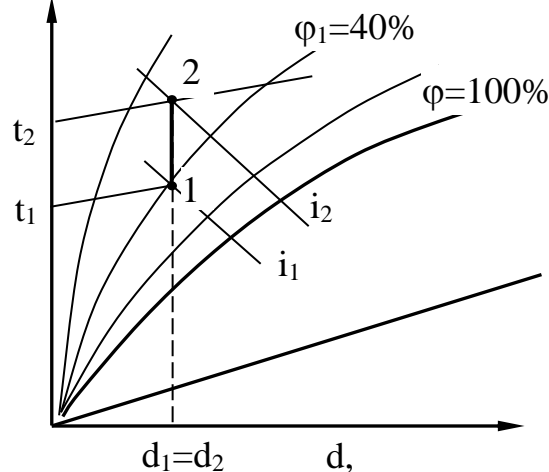


Рисунок 6.2 – Рисунок до прикладу 2

Кількість теплоти, підведеної до 1 кг вологого повітря, визначаємо за формулою (7.11): $q = i_2 - i_1 = 52 - 13,5 = 38,5$, кДж/кг. Кількість теплоти, підведеної до 62 кг повітря: $Q = m \cdot q = 62 \cdot 38,5 = 2387$ кДж

Задача . Вологе повітря масою $m = 67$ кг із параметрами $t_1 = 48^\circ\text{C}$ та $i_1 = 78$ кДж/кг охолоджується в повітроохолоджувачі холодильної машини до температури $t_3 = 10^\circ\text{C}$. Визначити кількість теплоти, яку необхідно відвести в цьому процесі, скільки води сконденсується з повітря.

№ вар.	m, кг	t_1 , $^\circ\text{C}$	i_1 , кДж/кг	t_3 , $^\circ\text{C}$
1	65	45	76	9
2	63	46	75	10
3	64	47	77	11
4	67	48	78	12
5	68	45	75	15
6	65	43	79	10
7	66	46	80	9
8	63	48	75	11
9	69	45	77	10
10	70	47	76	9

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ

Тема 7. Теорія теплообміну.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Теорія теплопередачі.
2. Теплопровідність.
3. Конвекція.
4. Температурне поле та градієнт.

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1. Визначити різницю температур на зовнішній і внутрішній поверхнях сталеві стінки парового котла, який працює при надлишковому тиску $p_{\text{над}} = 17$ бар. Товщина стінки котла 20 мм; температура води, яка надходить у котел, 40°C . З 1 м² поверхні нагріву знімається $d = 30$ кг/год сухої насиченої пари. Коефіцієнт теплопровідності сталі $\lambda = 50$ Вт/(м К). Барометричний тиск $p_6 = 750$ мм рт. ст. Стінку котла вважати плоскою.

Розв'язання

Абсолютний тиск пари у котлі

$$P = P_{\text{над}} + P_6 = 17 + 750/750 = 18 \text{ бар.}$$

За спр. таблицею ентальпія сухої насиченої пари при абсолютному тиску 18 бар = 1,8 МПа становить $h'' = 2796$ Дж/кг. Ентальпія води за спр. таблицею при температурі 40°C становить $h' = 167,5$ кДж/кг.

$$\text{Густина теплового потоку } q = (h'' - h') d;$$

$$q = (2796 - 167,5)(30/3600) = 21,9 \text{ кВт/м}^2.$$

При тепловому градієнті $\text{grad } t = dt/dn = \Delta t/d$ залежність набуває вигляду

$q = \lambda dt/dn = \lambda \Delta t/\delta$ Тому різницю температур знаходимо з останнього рівняння $\Delta t = q\delta/\lambda$, тобто $\Delta t = 11^\circ\text{C}$.

Приклад 2. Визначити кількість теплоти, яка проходить через 1 м² стінки котла, якщо її товщина $\delta = 20$ мм, коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda = 40$ Вт/(мК). Температура зовнішньої поверхні стінки $t_1 = 300^\circ\text{C}$ і внутрішньої поверхні $t_2 = 200^\circ\text{C}$. Стінку вважати плоскою.

Розв'язання

$$\text{Градієнт теплового потоку } \text{grad } t = (t_2 - t_1)/\delta = -5000 \text{ К/м}$$

Згідно закону Фур'є кількість теплоти, яка приходить на 1 м² стінки котла, тобто густина теплового потоку $q = \lambda \text{ grad } t = 0,2$ МВт/м².

Задача. В горизонтально розміщеній сталевій трубі $\lambda = 20$ Вт/м К з

швидкістю v тече вода, температура якої t_B . Зовні труба охолоджується навколишнім повітрям, температура якого t_n , тиск $0,1$ МПа. Визначити тепловий потік q , віднесений до 1 м довжини труби, якщо внутрішній діаметр труби дорівнює d_B , зовнішній d_3 . Дані, необхідні для розв'язання задачі взяти із таблиці

№ вар.	t_B °C	v , м/с	t_n °C	d_B , мм	d_3 , мм
1	90	2,5	18	190	210
2	92	3,6	16	180	200
3	93	2,7	14	170	190
4	95	3,8	12	160	180
5	96	1,9	10	150	170
6	93	2,1	8	140	160
7	98	2,3	6	130	150
8	95	4,2	4	120	140
9	97	4,3	2	110	130
10	92	4,4	0	100	120

Тема 8. Теплопровідність.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Поняття про довгі трубопроводи.
2. Втрати напору в довгих трубопроводах.
3. Характери етика послідовного і паралельного з'єднання довгих трубопроводів. Розрахунок довгих трубопроводів при рівномірній роздачі води вздовж шляху.

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1

Визначити кількість теплоти, яка проходить через 1 м² стінки котла, якщо товщина її $\delta_1 = 15$ мм, коефіцієнт теплопровідності матеріалу $\lambda_1 = 40$ Вт/(м · К), з внутрішньої сторони стінку покриває шар котельного накипу завтовшки $\delta_2 = 2$ мм з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_2 = 0,2$ Вт/(м · К). Температура зовнішньої поверхні $t_1 = 300^\circ\text{C}$ і внутрішньої поверхні накипу $t_3 = 210^\circ\text{C}$. Стінку котла вважати плоскою. Знайти температуру внутрішньої поверхні стінки котла.

Розв'язання

1. Густина теплового потоку визначається за формулою

$$q = \frac{t_{cm1} - t_{cm(n+1)}}{\sum_{i=1}^n (\delta_i / \lambda_i)} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}};$$

$$q = \frac{300 - 210}{\frac{0,015}{40} + \frac{0,002}{0,2}} = 8675 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

2. Температуру внутрішньої поверхні сталевого листа (під накипом) визначаємо за формулою:

$$t_{cm(k+1)} = t_{cm1} - q \sum_{i=1}^k \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \text{ тобто}$$

$$t_2 = t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 300 - 8675 \cdot \frac{0,015}{40} = 300 - 3,25 = 296,75^\circ\text{C}$$

Приклад 2.

Пароперегрівник зроблено з труб жаростійкої сталі діаметром $\frac{d_1}{d_2} = \frac{32}{42}$ мм з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 20 \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Температура зовнішньої поверхні труби $t_3 = 600^\circ\text{C}$ і внутрішньої поверхні $t_B = 420^\circ\text{C}$. Визначити лінійну густину теплового потоку q_1 .

Розв'язання

1. Лінійну густину теплового потоку визначаємо за формулою, яка для заданих умов набуває вигляду

$$q_1 = \frac{\pi(t_3 - t_B)}{\frac{1}{2\lambda} \ln\left(\frac{d_1}{d_2}\right)} = \frac{3,14(600 - 420)}{\frac{1}{2 \cdot 20} \ln\frac{42}{32}} = 83142 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Задача. Визначити втрату теплоти за одиницю часу з 1 м довжини трубопроводу розміщеного горизонтально, який охолоджується оточуючим повітрям внаслідок його вільної конвекції. Температура стінки труби t_c , температура в приміщенні t_n , а зовнішній діаметр труби d . Втратою теплоти внаслідок випромінювання знехтувати. Дані, необхідні для розв'язування задачі взяти з таблиці.

№ Вар.	d, мм	t_c °C	t_n °C
1	220	150	15
2	230	140	20
3	210	130	25
4	240	120	35
5	250	110	25
6	270	100	20
7	300	190	15
8	320	180	10
9	340	170	5
10	360	160	0

Тема 9. Теплообмін. Теплопередача.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Фізичні особливості процесу тепловіддачі.
2. Коефіцієнт тепловіддачі
3. Зв'язок між тепловіддачею і тертям.
4. Тепловий пограничний шар.
5. Випромінювання.

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1

Визначити тепловий потік крізь водяний прошарок товщиною 20 мм, якщо температура більш нагрітої поверхні стінки 120°C, а менш нагрітої 20°C.

Розв'язання

Визначальна температура, °C $\bar{t} = 0,5(t_{c1} + t_{c2}) = 0,5 \cdot (120 + 20) = 70$

Визначальний лінійний розмір – товщина прошарку $\delta = 0,02$ м.

Для визначальної температури теплофізичні властивості води $t_B = 70^\circ\text{C}$:

$\lambda = 0,666 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \nu = 0,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$

$\beta = 6,92 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}; Pr = 2,59$

Критерій Релея

$$Ra = Gr \cdot Pr_p = \frac{g \cdot \beta \cdot (t_{c1} + t_{c2})}{\nu^2} \cdot Pr_p = \frac{9,81 \cdot 6,92 \cdot 10^{-4} \cdot (120 - 20) \cdot 0,02^3}{(0,33 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 2,59 = 4,26 \cdot 10^7$$

Коефіцієнт, що враховує конвекцію

$$\varepsilon_K = 0,18 \cdot Ra^{0,25} = 0,18 \cdot (4,26 \cdot 10^7)^{0,25} = 14,54$$

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)

$$\lambda_{\text{екв}} = \bar{\lambda} \cdot \varepsilon_K = 0,666 \cdot 14,54 = 9,68$$

Питомий тепловий потік крізь водяний прошарок, Вт/м²

$$q = \frac{\lambda_{\text{екв}}}{\delta} \cdot (t_{c1} - t_{c2}) = \frac{9,68}{0,02} \cdot (120 - 20) = 48400$$

Приклад 2

Визначити тепловий потік від зовнішньої стінки будинку висотою $H=3$ м і довжиною 6м, якщо температура стінки 21°C, а температура нерухомого навколишнього повітря 15°C.

Розв'язання

Визначальною температурою є температура навколишнього повітря $t_B = t_{\Pi} = 15^\circ\text{C}$. Теплофізичні властивості повітря для $t_{\Pi} = 15^\circ\text{C}$: $\lambda = 0,0255 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \nu = 14,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; Pr = 0,717$

Коефіцієнт об'ємного розширення, К^{-1}

$$\beta = 1/(t_1 + 273) = 1/(15 + 273) = 3,47 \cdot 10^{-3}$$

Критерій Грасгофа

$$Gr = \frac{(g \cdot \beta \cdot (t_{\text{ст}} - t_B) \cdot H^3)}{\nu^2} = \frac{9,8 \cdot 3,47 \cdot 10^{-3} \cdot (21 - 15) \cdot 3^3}{(14,9 \cdot 10^{-6})^2} = 3,31 \cdot 10^{10}$$

Критерій Релея

$$Ra = Gr \cdot Pr = 3,31 \cdot 10^{10} \cdot 0,717 = 2,37 \cdot 10^{10}$$

Критерій Нуссельта

$$\overline{Nu} = 0,15 \cdot Ra^{0,33} = 0,15 \cdot (2,37 \cdot 10^{10})^{0,33} = 397,8$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря, Вт/(м²·К)

$$\alpha = \frac{\overline{Nu} \cdot \lambda}{H} = \frac{397,8 \cdot 0,0255}{3} = 3,4$$

Тепловий потік від стінки будинку, Вт.

$$Q = \alpha \cdot H \cdot L \cdot (t_{ст} - t_{п}) = 3,4 \cdot 3 \cdot 6 \cdot (21 - 15) = 367 \cdot 2$$

Задача. У трубі випарної поверхні котла внутрішнім діаметром d і довжиною l рахується кипляча вода зі швидкістю W . Вода знаходиться під тиском P . Теплове навантаження поверхні нагріву q . Визначити коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячої води $\bar{\alpha}$, температурний напір Δt і температуру внутрішньої поверхні стінки труби t_c . Як зміниться значення коефіцієнта тепловіддачі, якщо температуру стінки збільшити на 5°C і 10°C?

Побудувати графік залежності $\alpha = f(t_c)$. Вихідні дані до задачі наведені в таблиці.

Варіант	$P \cdot 10^{-5}$ Па	$q \cdot 10^{-5}$ Вт/м ²	l , м	Підваріант	d , м	w , м/с
01	25	2,5	2	а	0,036	1,55
02	30	2,7	3	б	0,038	1,60
03	35	2,9	4	в	0,040	1,65
04	40	3,1	5	г	0,042	1,70
05	45	3,3	6	д	0,044	1,75
06	50	3,5	5,5	е	0,046	1,80
07	55	3,7	4,	ж	0,048	1,85
08	60	3,9	3,5	з	0,050	1,90
09	65	4,1	2,5	и	0,052	1,95
10	70	4,3	3,2	к	0,054	2,00

Тема 10. Основи теорії горіння.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Визначення об'ємів та ентальпії димових газів
2. Необхідна кількість повітря для спалювання палива. Коефіцієнт надлишку повітря
3. Процеси горіння палива.

2. Опитування, перевірка задач.

3. Практичні завдання.

Приклад 1

Визначити вищу теплоту згорання робочої маси, приведену вологість, приведену зольність, приведену сірчистість і тепловий еквівалент донецького вугілля марки Т, якщо відомі наступні величини: $Q_H^p = 24365 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; $H^p = 3,1\%$; $S_{л}^p = 2,8$; $A^p = 23,8\%$; і $W^p = 5,0\%$.

Розв'язок

1. Вищу теплоту згорання робочої маси палива визначаємо за формулою:

$$Q_B^p = Q_H^p + 225 H^p + 25 W^p = 24365 + 225 \cdot 3,1 + 25 \cdot 5 = 25187 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

2. Приведена вологість палива

$$W_{\text{пр}} = 4190 W^p / Q_H^p = 4190 \cdot \frac{5}{24365} = 0,86 \text{ кг}\% \cdot 10^{-3} / \text{кДж}$$

3. Приведена зольність палива

$$A_{\text{пр}} = 4190 \frac{A^p}{Q_H^p} = 4190 \cdot \frac{23,8}{24365} = 4,09 \text{ кг}\% \cdot 10^{-3} / \text{кДж}$$

4. Приведена сірчистість

$$S_{\text{пр}} = 4190 S_{\text{л}}^p / Q_H^p = 4190 \cdot 2,8 / 24365 = 0,481 \text{ кг}\% \cdot 10^{-3} / \text{кДж}$$

5. Теловий еквівалент палива знаходимо за формулою:

$$E = \frac{Q_H^p}{29300} = \frac{24365}{29300} = 0,83$$

Приклад 2

Визначити об'єм продуктів повного згорання на виході з топки, а також теоретичний і дійсний об'єми повітря, які необхідно для спалювання 1 м³ природного газу наступного складу (за об'ємом): CO₂ = 0,1%; CH₄ = 98%; C₂H₆ = 0,4%; C₃H₈ = 0,2; N₂ = 1,3%. Коефіцієнт надлишку повітря в топці α_T = 1,2.

Розв'язання

1. Теоретичний об'єм повітря, який необхідний для повного згорання 1 м³ палива, визначаємо за формулою:

$$V^o = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 2CH_4 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] = \\ = 0,0476 [2 \cdot 98 + 3,5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2] = 10,04 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

2. Дійсний об'єм повітря $V_d = \alpha_T V^o = 1,2 \cdot 10,04 = 12,05 \text{ м}^3 / \text{м}^3$

3. Об'єм сухих газів при α_T = 1,2 визначаємо за формулами.

$$V_{\text{ст}} = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + (a - 1)V^o = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n) + \\ + 0,79V^o + 0,01N_2 + (a_T - 1)V^o = 0,01(0,1 + 98 + 2 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,2) + 0,79 \cdot \\ 10,04 + 0,01 \cdot 1,3 + (1,2 - 1)10,04 = 10,948 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

4. Об'єм водяних парів при α_T = 1,2 знаходимо за формулою

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \left(H_2S + H_2 + 2CH_4 + 0,124d + \sum \frac{n}{2} C_m H_n \right) = 0,01(2 \cdot 98 + 3 \cdot \\ 0,4 + 4 \cdot 0,2) = 1,98 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

5. Об'єм продуктів повного згорання за формулою

$$V_{\text{г}} = V_{\text{ст}} + V_{H_2O} = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o + 1,0161V^o(a - 1) = 10,948 + \\ + 1,98 + 1,0161 \cdot 10,04 \cdot (1,2 - 1) = 14,948 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Задача. Скільки треба спалити вугілля в печі к.к.д. якої η, щоб компенсувати втрату теплоти за T годин через сітку площею F м², якщо товщина стінки δ мм, а температура внутрішньої поверхні t_в °C, а зовнішньої t_{зов} °C.

Нижча теплота згорання палива Q_H^p, а коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки λ.

Дані, необхідні для розв'язання задачі, взяти з таблиці

Вар.	η ккд	T год	F, М ²	δ , мм	t_B °С	$t_{зоб}$ °С	Q^P_H , МДж/кг	λ , Вт/мК
1	0,7	24	20	140	20	-10	18	0,47
2	0,6	10	40	150	18	-15	19,3	0,10
3	0,75	15	30	250	15	-20	25	0,84
4	0,8	10	50	300	10	-10	29,3	0,49
5	0,85	16	60	350	12	-20	30	0,87
6	0,65	20	80	400	13	-30	8,5	0,46
7	0,68	22	100	240	10	-40	10	0,50
8	0,7	23	90	220	13	-10	12	0,48
9	0,72	24	40	200	20	-20	14	0,49
10	0,85	25	110	250	21	-10	24	0,50

Тема 11. Теплообмін випромінюванням. Теплообмінні апарати

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Абсолютно чорне.
 2. абсолютно біле.
 3. Закон Планка.
 4. Закон Стефана-Больцмана.
 5. Тепловий розрахунок теплообмінного апарату
2. Індивідуальне тестування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Приклад 1.

Визначити густину теплового потоку, який випромінюється абсолютно чорним тілом, якщо температура його $t_1=1000^\circ\text{C}$; $t_2=0^\circ\text{C}$; $t_3=-20^\circ\text{C}$

Розв'язання

Енергія випромінювання визначається за законом Стефана-Больцмана

$$E_o = c_o (T/100)^4$$

$c_o = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

$$E_{o1} = 5,67(1273/100)^4 = 148900 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$E_{o2} = 5,67(273/100)^4 = 315 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$E_{o3} = 5,67(253/100)^4 = 232 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Приклад 2.

Визначити площу поверхні теплообміну протитечійного теплообмінника типу «труба в трубі». Нагрівальна вода тече у внутрішній сталевій трубі ($\lambda = 45 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), діаметр якої $d_2/d_1 = 40/37 \text{ мм}$. Початкова температура нагрівальної води $t'_1 = 91^\circ\text{C}$, масова витрата $G_1 = 2 \text{ кг}/\text{с}$. Нагрівна вода

проходить кільцевим каналом між трубами. Внутрішній діаметр зовнішньої труби $D = 60$ мм. Витрата нагрівної води $G_2 = 1,2$ кг/с, її температура на вході $t'_2 = 20^\circ\text{C}$, на виході $t''_2 = 80^\circ\text{C}$.

Розв'язання

1. Приймаючи теплоємність води $c = 4190$ Дж/(кг·К), визначаємо кількість теплоти, яка передається нагрівальною водою:

$$Q = G_2 c (t''_2 - t'_2) = 1,2 \cdot 4190 (80 - 20) = 301680 \text{ Вт}$$

2. Температура нагрівальної води на виході з апарата

$$t''_1 = t'_1 - \frac{Q}{G_1 c} = 91 - \frac{301680}{2 \cdot 4190} = 55^\circ\text{C}$$

3. Згідно таблиці 5 додатка фізичні параметри нагрівальної води при її середній температурі

$$t_{\text{сер1}} = 0,5(95 + 55) = 75^\circ\text{C}$$

$$\rho_1 = 971,6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \nu_1 = 0,39 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \lambda_1 = 0,671 \text{ Вт(м} \cdot \text{К)}; Pr_1 = 2,38$$

Фізичні параметри нагрівної води при її середній температурі

$$t_{\text{сер2}} = 0,5(t''_2 + t'_2) = 0,5(20 + 80) = 50^\circ\text{C}$$

$$\rho_2 = 988,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \nu_2 = 0,556 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \lambda_2 = 0,648 \text{ Вт(м} \cdot \text{К)}; Pr_2 = 3,54$$

4. Швидкість руху теплоносіїв:

$$w_1 = \frac{4G_1}{(\rho_1 \pi d_1^2)} = \frac{4 \cdot 2}{(971,6 \cdot 3,14 \cdot 0,037^2)} = 1,91 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$w_2 = \frac{4G_2}{(\rho_2 \pi (D^2 - d_1^2))} = \frac{4 \cdot 1,2}{(988,1 \cdot 3,14 \cdot (0,06^2 - 0,037^2))} = 0,694 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

5. Число Рейнольда для нагрівальної води

$$Re_1 = \frac{w_1 d_1}{\nu_1} = 1,91 \cdot 0,037 / 0,39 \cdot 10^{-6} = 181205$$

Оскільки $Re_1 > 10^4$, то настає стабілізований турбулентний рух, для якого використовуємо залежність.

$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr_{\text{ТН}}/Pr_{\text{СТ}})^{0,25} \epsilon_i$. При $\frac{l}{d} > 50$ $a_1 = 1$. Приймаємо температуру стінки $t_{\text{СТ}} = 0,5(t_{\text{сер1}} + t_{\text{сер2}}) = 0,5(75 + 50) = 62,5^\circ\text{C}$. При цій температурі $Pr_{\text{СТ}} = 2,88$. Тоді,

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 181205^{0,8} \cdot 2,38^{0,43} \left(\frac{2,38}{2,88}\right)^{0,25} = 467$$

$$a_1 = Nu_1 \lambda_1 / d_1 = 467 \cdot 0,671 / 0,037 = 8469 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

6. Еквівалентний діаметр каналу для нагрівної води

$$d_{\text{екв}} = \frac{4F}{S} = \frac{4 \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4} \right)}{(\pi D + \pi d_2)} = D - d_2 = 0,06 - 0,04 = 0,02 \text{ м}$$

Число Рейнольда

$$Re_1 = \frac{w_2 d_{\text{екв}}}{\nu_2} = 0,694 \cdot \frac{0,02}{0,556} \cdot 10^{-6} = 24964 > 10^4$$

Число Нуссельта

$$Nu_2 = 0,021 \cdot 24964^{0,8} \cdot 3,54^{0,43} (3,54/2,88)^{0,25} \cdot 1 = 125$$

Коефіцієнт теплоотдачі

$$a_2 = Nu_2 \lambda_2 / d_{\text{екв}} = 125 \cdot 0,648 / 0,02 = 4050$$

7. Оскільки для внутрішньої труби $\frac{d_2}{d_1} = 1,08 < 1,8$; коефіцієнт тепловіддачі визначаємо як для плоскої стінки

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8469} + \frac{0,0015}{45} + \frac{1}{4050}} = 2511 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

8. Середня логарифмічна різниця температур при протитечії

$$\Delta t = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}} = \frac{(91 - 80) - (55 - 20)}{\ln \frac{91 - 80}{55 - 20}} = 20,74^\circ\text{C}$$

9. Площа поверхні нагріву $F = \frac{Q}{k\Delta t} = \frac{301680}{2511 \cdot 20,74} = 5,79 \text{ м}^2$

Задача. Визначити нагрівну поверхню рекуперативного газоповітряного теплообмінника при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв, якщо об'ємна витрата повітря при нормальних умовах V_H , середній коефіцієнт теплопередачі від продуктів згорання до повітря K , початкові і кінцеві температури продуктів згорання і повітря відповідно Дані, необхідні для розв'язання задачі, взяти з таблиці. Намалюйте графіки зміни температур теплоносіїв для обох випадків.

Остання цифра шифру	$V_H, \text{М}^3/\text{ГОД}$	$K, \text{Вт}/\text{мК}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_{1n}, ^\circ\text{C}$	$t_{2n}, ^\circ\text{C}$
1	1	18	600	400	20	300
2	2	19	625	425	15	325
3	3	20	650	450	25	350
4	4	21	675	475	30	375
5	5	22	700	500	10	400
6	6	23	725	525	12	425
7	7	24	750	550	18	450
8	8	25	775	575	28	475
9	9	26	800	600	32	500
910	10	27	575	375	8	275

**ЧАСТИНА 3.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ
РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

Тема 1. Термодинамічні параметри газів.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

Основними термодинамічними параметрами для газів є

- A. молярна маса, масова частка, внутрішня енергія молекул
- B. атмосферний, надлишковий та парціальний тиски
- C. абсолютна температура, абсолютний тиск, абсолютна енергія руху
- D. абсолютний тиск, абсолютна температура, питомий об'єм

Одиниці виміру тиску

- A. кг/м³
- B. Па
- C. К
- D. Дж

Якщо температура в усіх точках простору не змінюється з часом, то температурне поле називається

- A. однорідним
- B. рівноважним
- C. стаціонарним
- D. об'ємним

При постійному питомому об'ємі протікає процес

- A. ізобарний
- B. ізотермічний
- C. ізохорний
- D. адіабатний

Надмірний тиск вимірюється

- A. барометрами
- B. манометрами
- C. вакуумметрами
- D. анемометрами

Атмосферний тиск вимірюється

- A. барометрами
- B. манометрами
- C. вакуумметрами
- D. анемометрами

Розрідження вимірюється

- A. барометрами
- B. манометрами
- C. вакуумметрами
- D. анемометрами

При нормальних умовах

- A. $T = 273 \text{ K}$, $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$
- B. $T = 237 \text{ K}$, $P = 765 \text{ мм рт. ст.}$
- C. $T = 760 \text{ K}$, $P = 273 \text{ мм рт. ст.}$
- D. $T = 873 \text{ K}$, $P = 573 \text{ мм рт. ст.}$

Сила, діюча по нормалі до поверхні тіла і віднесена до одиниці площі цієї поверхні

- A. енергія
- B. тиск
- C. ентропія
- D. рівнодіюча

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. У кімнаті площею 35 м^2 і висотою $3,1 \text{ м}$ повітря знаходиться при температурі 23°C і барометричному тиску 973 гПа . Яка кількість повітря проникає з вулиці в кімнату, якщо барометричний тиск збільшується до 1013 гПа ? Температура повітря залишається постійною.

2. Визначити масу повітря, що витрачається на запуск дизеля, якщо відомо, що місткість пускового балону 200 л , температура в машинному відділенні (і повітря в балоні) складає 20°C , тиск повітря в балоні до запуску дизеля був $2,26 \text{ МПа}$, а після запуску – $1,86 \text{ МПа}$.

3. Визначити масу кисню в балоні об'ємом $0,056 \text{ м}^3$, якщо тиск по манометру 11 бар , а покази ртутного барометра – 740 мм при 0°C .

4. Визначити масу повітря, що знаходиться в кімнаті площею 25 м^2 і висотою $3,2 \text{ м}$. Прийняти, що температура повітря в кімнаті складає 22°C , а барометричний тиск $986,5 \text{ гПа}$.

5. Густина повітря при НФУ – $1,293 \text{ кг/м}^3$. Чому дорівнюватиме густина повітря при абсолютному тиску в $6,5 \text{ МПа}$ і температурі 25°C ?

6. У балоні місткістю 70 л зберігається кисень. Манометр на балоні показує 12 ат . Що буде показувати манометр, якщо балон занести з вулиці з температурою повітря (-15°C), в приміщення з температурою $+23^\circ\text{C}$? Атмосферний тиск 730 мм рт.ст.

7. Стиснуте повітря в балоні має температуру 15°C . Під час пожежі температура балону піднялась до 450°C . Чи вибухне балон, якщо відомо, що він

витримує 100 ат? Початковий тиск в балоні 5 ат.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.
7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 2. . Термодинамічні процеси

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Рівняння $PV=mRT$ – це

- А. рівняння Менделєєва
- В. рівняння Клапейрона
- С. рівняння Авогадро
- Д. рівняння першого закону термодинаміки
- Е.

Надлишковим або манометричним тиском називається

- А. різниця між абсолютним і атмосферним тиском
- В. різниця між атмосферним і абсолютним і тиском
- С. сума між абсолютним і атмосферним тиском
- Д. множення між абсолютним і атмосферним тиском

Ентальпія газу-це

- А. універсальна стала характеристика
- В. внутрішня енергія
- С. параметр стану робочого тіла - тепловміст
- Д. питомий обсяг газу

Одна атмосфера дорівнює

- A. 98100 Па
- B. 95100 Па
- C. 93100 Па
- D. 90100 Па

Якщо абсолютний тиск ($p_{абс}$) більший за атмосферний тиск ($p_{ат}$), то надлишок над атмосферним тиском називається

- A. манометричним тиском
- B. надмірним тиском
- C. сумарним тиском
- D. технічним тиском

При постійному питомому об'ємі протікає процес

- A. ізобарний
- B. ізотермічний
- C. ізохорний
- D. адіабатний

Зміна внутрішньої енергії та ентальпії робочого тіла процесу визначається тільки початковою і кінцевою

- A. температурою
- B. вагою
- C. силою
- D. тиском

При постійному об'ємі $v = \text{const}$ відношення абсолютного тиску газу до його абсолютної температури є величина стала, тобто $p/T = \text{const}$ це закон

- A. Шарля
- B. Гука
- C. Менделєєва
- D. Клайперона

Зміна ентропії – добуток теплоємності процесу і натурального логарифму відношення

- A. температур
- B. сил
- C. тиска
- D. мас

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Люк порожньої цистерни був герметизований в той момент, коли тиск і температура навколишнього повітря дорівнювали 937 гПа і 15 °С. Під час транспортування цистерна опинилась у місцевості, де температура навколишнього повітря мінус 20 °С, а тиск 1027 гПа. Цистерна має форму

циліндра діаметром 2,5 м і довжиною 10 м. Визначити, скільки повітря повинно бути добавлено в цистерну, щоб можна було відкрити люк.

2. У балоні місткістю 240 л знаходиться повітря при абсолютному тиску 1 МПа і температурі 50 °С. Визначити кінцевий тиск, кількість підведеної теплоти і зміну ентропії при підвищенні температури повітря до 150 °С.

3. Азот у кількості 10 м³ (приведений до НФУ) заключили в герметично закриту посудину і нагріли до температури $t_1 = 1450$ °С, тиск p_1 при цьому став рівним 3,8 МПа. Після того газ охолоджували до $t_2 = 47$ °С. Яким став тиск після охолодження і скільки теплоти було відведено? Рахувати теплоємність не залежною від температури.

4. У закритій посудині об'ємом 6 м³ знаходиться сірнистий ангідрид (SO₂) при тиску $p_1 = 0,2$ МПа і температурі $t_1 = 37$ °С. Газ нагрівається, поки тиск не стане рівним 0,9 МПа. Визначити параметри газу наприкінці процесу і кількість підведеної теплоти. Рахувати теплоємність залежною від температури.

5. В газгольдері об'ємом 15 м³ знаходиться метан при $p_1 = 0,8$ МПа і $t_1 = 10$ °С. Під дією сонячної радіації температура газу напротязі дня підвищилась на 15 °С. Яким став тиск в газгольдері і яку кількість теплоти сприйняв газ? Теплоємність метану рахувати не залежною від температури.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.

2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.

3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.

4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.

5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.

6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.

7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 3. Перший закон термодинаміки.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Теплота процесу – добуток теплоємності процесу і зміни

- A. температури
- B. маси
- C. тиска
- D. сили

Робота в термодинамічному процесі визначається добутком

- A. сили, що діє на систему, на шлях дії цієї сили
- B. тиску, що діє на систему, на шлях дії цього тиску
- C. температури, що діє на систему, на шлях дії цього градієнта
- D. ваги, що діє на систему, на шлях дії цієї ваги

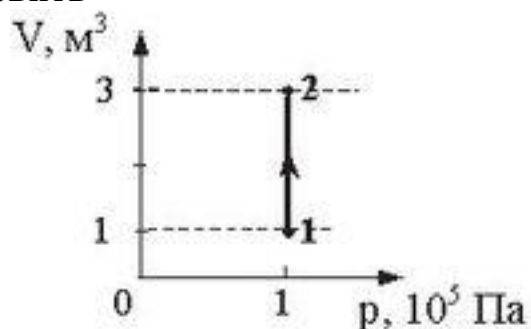
Питома внутрішня енергія це внутрішньої енергії, яка віднесена до

- A. 1 кг маси тіла
- B. 1 м³ об'єму тіла
- C. 1 С° температури тіла
- D. 1 Н ваги тіла

Неможливо побудувати вічний двигун

- A. першого роду
- B. другого роду
- C. третього роду
- D. четвертого роду

На малюнку наведено графік залежності об'єму ідеального одноатомного газу від тиску в процесі 1—2. Внутрішня енергія газу при цьому збільшилася на 300 кДж. Кількість теплоти, що отримана в цьому процесі, становить



- A. 0 Дж
- B. 100 Дж
- C. 200 Дж
- D. 500 Дж

Одноатомний ідеальний газ у кількості 4 молей поглинає 2 кДж теплоти. При цьому температура газу підвищується на 20 К. Робота, виконана газом у цьому процесі, дорівнює

- A. 0,5 кДж
- B. 1,0 кДж

- C. 1,5 кДж
- D. 2,0 кДж

Для ізобарного нагрівання 400 моль газу на 292 °С йому було передано 4,7 МДж теплоти. Визначте зміну його внутрішньої енергії.

- A. 3,15 МДж
- B. 2,93 МДж
- C. 3,07 МДж
- D. 3,04 МДж

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. При рівноважній взаємодії робочого тіла з навколишнім середовищем його ентальпія зменшується на 293 кДж/кг, а внутрішня енергія - на 210 кДж/кг. Визначити кількість теплоти, термодинамічну і наявну роботи в цьому процесі, якщо він протікає за наступних умов: а) $p = \text{const}$; б) $v = \text{const}$; в) $\delta q = 0$; $q = 0$. Зобразити схеми енергобалансів для цих випадків.

2. В рівноважному ізотермічному процесі при $t = 27$ °С ентропія газу зростає на 3,2 кДж/К, а його внутрішня енергія при цьому зростає на 838 кДж. Визначити термодинамічну роботу та зобразити схему енергобалансу цього процесу.

3. Робоче тіло в кількості $V_1 = 5$ м³ при тиску $p_1 = 0,5$ МПа стискується до тиску $p_2 = 1,5$ МПа в процесі, рівняння якого $pv = \text{const}$. При цьому від тіла відводиться 300 ккал теплоти. Визначити наявну роботу та зміну ентальпії робочого тіла в цьому процесі. Зобразити схему енергобалансу процесу.

4. Турбокомпресор всмоктує 30 кг/с повітря з густиною $\rho_1 = 1,15$ кг/м³ при тиску $p_1 = 0,1$ МПа та швидкості $w_1 = 10$ м/с. Після компресору тиск $p_2 = 0,5$ МПа, густина повітря $\rho_2 = 3,6$ кг/м³, швидкість $w_2 = 50$ м/с. Внутрішня енергія повітря при цьому збільшується на 125 кДж/кг. Визначити необхідну потужність приводу компресору, якщо процес підвищення тиску в компресорі відбувається без теплообміну з навколишнім середовищем.

5. Повітряний компресор стискує 200 кг/год повітря, ентальпія якого при цьому зростає на 100 кДж/кг. Потужність приводу компресора $N_K = 10$ кВт. Вважаючи, що втрати відсутні, нехтуючи зміною кінетичної енергії повітря, що стискується, визначити, на скільки градусів нагрівається охолоджуюча компресор вода, якщо її витрата дорівнює 0,15 кг/с.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов,

А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.

6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.

7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 4. Другий закон термодинаміки

Форми контролю: розв'язування задач

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Не можливо створити довічний двигун

- A. першого роду
- B. другого роду
- C. третього роду
- D. четвертого роду

При наявності двох джерел теплоти єдино можливим оборотним циклом є цикл

- A. Карно
- B. Маріота
- C. Менделєєва
- D. Паскаля

Відображає властивості кругових процесів інтеграл

- A. Ньютона
- B. Клаузіуса
- C. Клайперона
- D. Гука

У закритому поршнем циліндрі знаходиться ідеальний газ. Укажіть, як зміниться внутрішня енергія газу, якщо стискати газ

- A. спочатку збільшується, а потім зменшується
- B. зменшується
- C. не змінюється
- D. збільшується

Ентропія термічно ізольованої системи при протіканні в ній різних термодинамічних не може

- A. зменшуватися
- B. збільшуватися
- C. вірні дві відповіді
- D. не вірні всі відповіді

Температура обчислюється в будь-якому процесі при постійній теплоємності робочого тіла

- A. $T_T = (T_2 - T_1) / \ln(T_2/T_1)$
- B. $T_T = (T_2 + T_1) / \ln(T_2/T_1)$
- C. $T_T = (T_2 - T_1) / \ln(T_2/T_1)$
- D. усі вірні

Внутрішня енергія ізольованої системи є величиною

- A. сталою
- B. зворотною
- C. змінною
- D. пропорційною

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Тепловий двигун працює за оборотним циклом Карно. Потужність двигуна 500 кВт. Від верхнього джерела теплоти до робочого тіла підводиться тепловий потік 700 кВт. Розрахувати: ефективність цього циклу Карно; кількість відведеної в циклі теплоти; температуру верхнього джерела теплоти; зміну ентропії термодинамічної системи, якщо температура нижнього джерела теплоти дорівнює 37 °С. Зобразити термодинамічну схему установки та цикл в T, s - координатах.

2. Холодильна установка працює по оборотному холодильному циклу Карно та використовується для охолодження води. Потужність приводу машини 10 кВт. Відвід теплоти від нижнього джерела до робочого тіла здійснюється при температурі 0 °С, а від робочого тіла до верхнього джерела - при температурі 37 °С. Розрахувати, яку кількість води можна охолодити від 25 до 5 °С в такій установці та яка кількість води повинна циркулювати в системі тепловідводу верхнього джерела теплоти, якщо вода в ньому нагрівається від 20 до 30 °С. Прийняти теплоємність води $c = 4,19$ кДж/(кг К). Зобразити термодинамічну схему установки та цикл в T, s - координатах.

3. Опалювальний тепловий насос, що працює за оборотним опалювальним циклом Карно, використовується для підтримання температури 20 °С в приміщенні з тепловтратами 10 кВт. Розрахувати: потужність двигуна, що приводить в дію компресор цієї установки; опалювальний коефіцієнт циклу; кількість теплоти, що підводиться від навколишнього повітря (джерела теплоти), яке має температуру мінус 13 °С, до робочого тіла установки. Зобразити термодинамічну схему установки та цикл в T, s - координатах.

4. В рівноважному процесі ізобарного нагрівання до робочого тіла підведено в формі теплоти 2400 кДж/кг, в результаті чого його температура в кінці процесу досягла 1500 К. Вважаючи питому теплоємність робочого тіла в цьому процесі рівною 2 кДж/(кг К), розрахувати середню термодинамічну

температуру підводу теплоти та зміну ентропії робочого тіла в цьому процесі. Зобразити процес в T, s - координатах.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.
7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 5. Водяна пара.

Форми контролю: розв'язування задач

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

Усі реальні гази підходять під поняття «ідеальний газ» за таких умов

- A. при високих температурах і малих тисках
- B. при низьких температурах і малих тисках
- C. тільки при температурі, яка дорівнює температурі абсолютного нуля
- D. тільки при атмосферному тиску

Термодинамічна система знаходитиметься в рівноважному стані, якщо у всіх її точках будуть

- A. однакові маса і температура
- B. однакові маса і тиск
- C. однакові тиск і температура
- D. однакові маса, тиск і температура

Ідеальний газ

- A. це газ, в якому мають істотне значення сили взаємодії між молекулами, враховують розміри молекул та об'єм, який вони займають

- В. це газ, в якому відсутні сили взаємодії між молекулами, розміри молекул значно менші, ніж об'єм, який вони займають
- С. це газ, в якому відсутні сили взаємодії між молекулами, але враховують їх розміри та сили взаємодії
- Д. це газ, який складається тільки з «ідеальних», з точки зору молекулярної фізики, молекул

Стан перегрітої пари визначається двома незалежними параметрами

- А. тиском і в'язкістю
- В. тиском і температурою.
- С. в'язкістю і температурою
- Д. об'ємом і температурою

Утворення пари безпосередньо з твердого стану (льоду) називається

- А. агломерацією
- В. сублімацією
- С. конденсацією
- Д. випарюванням

Зворотний процес переходу пари в рідкий стан, який супроводжується відводом теплоти, називається

- А. конденсацією
- В. агломерацією
- С. сублімацією
- Д. скрапленням

Пара, яка утворюється в процесі кипіння і знаходиться в термічній і динамічній рівновазі з рідиною, називається

- А. насиченою
- В. сухою
- С. вологою
- Д. усі відповіді вірні

Пара, температура якої при даному тиску є більшою, ніж температура насичення, називається

- А. перегрітою
- В. вологою
- С. сухою
- Д. усі відповіді вірні

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Чому дорівнює ступінь сухості вологої насиченої пари, що має тиск 0,9 МПа та питому ентальпію 2600 кДж/кг?

2. Знайти питому ентальпію водяної пари з параметрами: а) $p = 0,2$ МПа та $x = 0,9$; б) $p = 1$ МПа та $x = 0,8$; в) $p = 2$ МПа та $x = 0,8$?

3. Визначити ентальпію сухої насиченої водяної пари при тиску 1,2 та 1,5 МПа.
4. Визначити ентальпію перегрітої водяної пари тиском 2 МПа при $t_1 = 300\text{ }^\circ\text{C}$ та $t_2 = 460\text{ }^\circ\text{C}$.
5. Визначити температуру насичення водяної пари при тиску:
 - а) 1,5 МПа; б) 0,6 МПа; в) 0,33 МПа; г) 50 кПа.
6. Знайти всі параметри вологої насиченої водяної пари тиском 1,4 МПа при паровмісту 0,9.
7. Визначити стан і решту параметрів водяної пари, якщо її тиск дорівнює 1 МПа, а питомий об'єм – $0,18\text{ м}^3/\text{кг}$.
8. Водяна пара має параметри: тиск 3 МПа та ентальпію 3200 кДж/кг. Визначити стан пари та всі інші параметри.
9. Водяна пара має параметри: $p = 0,01\text{ МПа}$ та $x = 0,9$. Визначити стан пари та всі інші параметри.
10. Визначити стан водяної пари та інші її параметри, якщо $i = 2260\text{ кДж/кг}$ та $s = 6,75\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.
11. Водяна пара масою 15 кг з початковими параметрами $p_1 = 0,6\text{ МПа}$ та $x_1 = 0,8$ ізобарно нагрівається до температури $460\text{ }^\circ\text{C}$. Визначити підведену теплоту.
12. Водяна пара масою 100 кг з початковими параметрами $p_1 = 5\text{ МПа}$ та $t_1 = 380\text{ }^\circ\text{C}$ ізобарно нагрівається до температури $600\text{ }^\circ\text{C}$. Визначити підведену теплоту.
13. Початкові параметри водяної пари наступні: маса – 80 кг, $p_1 = 0,5\text{ МПа}$ та $t_1 = 310\text{ }^\circ\text{C}$. Вона ізобарно нагрівається до температури $540\text{ }^\circ\text{C}$. Визначити підведену теплоту.
14. Волога водяна пара зі ступенем сухості 0,8 нагрівається при постійному тиску 0,6 МПа до температури $460\text{ }^\circ\text{C}$. Маса пари 5 кг. Визначити початковий та кінцевий об'єми пари та кількість підведеної теплоти.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляев Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.
7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 6. Вологе повітря

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Суміш сухого повітря з водяною парою називається

- A. вологим повітрям
- B. сухим повітрям
- C. газовою сумішшю
- D. усі відповіді вірні

Тиск вологого повітря, який дорівнює барометричному являє собою суму парціальних тисків сухого повітря і водяної пари

- A. закон Дальтона
- B. Дарсі-Вейсбаха
- C. Блазіуса
- D. Гука

Температура, до якої необхідно охолодити вологе повітря при постійному тиску, щоб воно стало насиченим, називається

- A. температурою точки роси.
- B. критичною точкою
- C. насиченою точкою
- D. головною точкою

Маса водяної пари в 1 м³ вологого повітря або густина водяної пари, яка перебуває в перегрітому стані, при його парціальному тиску і температурі повітря:

- A. абсолютна вологість повітря
- B. мінімальна вологість повітря
- C. критична вологість повітря
- D. звичайна вологість повітря

Кількість сконденсованої вологи визначається за формулою

- A. $M_{\text{вол}} = m(d_{\text{Д}} - d_{\text{Е}})$
- B. $M_{\text{вол}} = m(d_{\text{Д}} + d_{\text{Е}})$
- C. $M_{\text{вол}} = m(d_{\text{Д}}/d_{\text{Е}})$
- D. $M_{\text{вол}} = cm(d_{\text{Д}} - d_{\text{Е}})$

Маса водяної пари, яка приходить на 1 кг сухого повітря, називається

- A. вологовмістом
- B. ентальпія
- C. ентропія
- D. втратами рідини

Прилад для вимірювання температури та вологості повітря

- A. психрометр
- B. термометр
- C. вологомір
- D. барометр

Суміш сухого повітря і перегрітої водяної пари називається

- A. ненасиченим вологим повітрям
- B. насиченим вологим повітрям
- C. ненасиченим сухим повітрям
- D. насиченим сухим повітрям

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Визначити парціальний тиск водяної пари у вологому повітрі з температурою 40 °С та відносною вологістю 47 %.

2. Температура атмосферного повітря 20 °С, відносна вологість 90 %. Визначити парціальний тиск водяної пари.

3. Стан вологого повітря заданий параметрами: $t = 25$ °С, $\phi = 60$ %. Визначити парціальний тиск водяної пари.

4. Повітря має параметри: $t = 35$ °С, та $\phi = 45$ %. До якого значення повинна понизитись його температура, щоб з'явилася роса?

5. Парціальний тиск водяної пари у вологому повітрі 1 кПа. Температура повітря 20 °С. Визначити відносну вологість повітря.

6. Визначити граничну температуру охолодження води (температуру вологого термометра) в градирні, де вода омивається повітрям з температурою 30 °С та відносною вологістю 40 %.

7. Визначити вологовміст, ентальпію, точку роси та абсолютну вологість атмосферного повітря, що має температуру 37 °С та відносну вологість 60 %.

8. Визначити ентальпію, та вміст вологи повітря при $t = 30$ °С, та $\phi = 45$ %. При якій температурі він стане насиченим?

9. Знайти вологовміст, ентальпію та точку роси вологого повітря, якщо його температура 50 °С та відносна вологість 25 %.

10. Вологе повітря при $t = 20$ °С має точку роси, рівну 10 °С. Визначити відносну вологість, вміст вологи та ентальпію цього повітря.

11. Компресор втягує вологе повітря, відносна вологість якого 80 %, а температура 17 °С, і подає в систему пневматичного регулювання. Скільки водяної пари попадає в систему за 8 годин, якщо витрата повітря 100 м³/год.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.
7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ

Тема 7 Теорія теплообміну

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

Зі зростанням температури в'язкість газів

- A. зменшується
- B. збільшується
- C. залишається незмінною
- D. немає вірної відповіді

Закон збереження матерії щодо видів енергій – це

- A. закон всесвітнього збереження
- B. перший закон термодинаміки
- C. другий закон термодинаміки
- D. закон Карно

Коефіцієнт, який характеризує інтенсивність передачі теплоти від одного середовища до іншого через стінку, що їх відокремлює, і чисельно дорівнює кількості теплоти, що передається через одиницю поверхні стінки за одиницю часу при різниці температур між середовищами в один градус називається

- A. коефіцієнтом тепловіддачі
- B. коефіцієнтом теплопровідності
- C. коефіцієнтом теплопередачі
- D. коефіцієнтом теплообміну

Якщо температура в усіх точках простору не змінюється з часом, то температурне поле називається

- A. однорідним
- B. рівноважним
- C. стаціонарним
- D. об'ємним

Теплоємність газів – це

- A. температура газу
- B. кількість теплоти, яка підводиться до тіла у процесі його нагрівання при постійному тиску
- C. кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання одиниці кількості речовини для зміни температури на 1°C

D. характеристика ентальпії газу

Основним законом теплопровідності є гіпотеза про пропорційність вектора густини теплового потоку температурному градієнту

- A. Фур'є
- B. Карно
- C. Вебера
- D. Фруда

Похідна температури за нормаллю до ізотермічної поверхні називається температурним

- A. градієнтом.
- B. коефіцієнтом
- C. стрибком
- D. максимум

Густину теплового потоку при тепловіддачі розраховують, користуючись рівнянням

- A. Ньютона - Ріхмана
- B. Вебера
- C. Фруда
- D. Коши

Числа подібності, яке являє собою відношення сил інерції до сил в'язкості

- A. число Рейнольдса
- B. число Прандтля
- C. число Фур'є
- D. число Фруда

Фізичний зміст числа Рейнольдса

- A. відношення сил інерції до сил тертя
- B. відношення сил інерції до сил тяжіння
- C. відношення сил інерції до сил тиску
- D. відношення сил інерції до сил поверхневого натягу

Як називають режим руху рідини, який відбувається з інтенсивним перемішуванням частинок рідини

- A. рівномірним
- B. нерівномірним
- C. ламінарним
- D. турбулентним

Подібними явищами будуть такі, які мають подібні умови однозначності і однакові визначальні критерії подібності.

- A. першій теоремі подібності

- В. другій теоремі подібності
- С. третій теоремі подібності
- Д. четвертій теоремі подібності

Як називають режим руху рідини, який відбувається без перемішування частинок рідини

- А. рівномірним
- В. нерівномірним
- С. ламінарним
- Д. турбулентним

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Температура внутрішньої стінки сушильної камери дорівнює 130 оС. Стінка сушильної камери виконана із червоної цегли товщиною 380 мм і будівельної повсті. Температура на зовнішній поверхні ізоляції не повинна перевищувати 30 °С. Визначити товщину будівельної повсті і температуру між шарами камери за умови, що питомі теплові втрати дорівнюють 80 Вт/м²

2. Температура внутрішньої стінки металевого повітропроводу розмірами 200 × 200мм і довжиною 20м складає 250 оС. Товщина стінки металу та його коефіцієнт теплопровідності дорівнюють 0,4 мм і 46 Вт/(м·К), відповідно. Визначити загальні теплові втрати і значення наружньої температури .

3. Стінка із силікатної цегли товщиною 380 мм з одного боку має температуру +30 С, а з другого – (-20) С. Визначити відстань до ізоtermічної поверхні 0 С за умови, що коефіцієнт теплопровідності стінки залишається сталим.

3. Визначити втрати тиску на ділянці повітропровід довжиною $l = 10$ м, діаметром $d = 320$ мм, якщо сума коефіцієнтів місцевих опорів $\Sigma\zeta = 5$, а витрата повітря $Q = 1450$ м³ / год.

4. Побудувати характеристику повітропровіда якщо з розрахунку відомо, що $\Delta p_{\omega} = 500$ Па при $Q = 20000$ м³/ч.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.

2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.

3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.

4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.

5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.

6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.

7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 8 Теплопровідність.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

Коефіцієнт теплопровідності вимірюється

- A. Дж/(м К)
- B. Вт/(м К)
- C. Вт/(м С)
- D. Вт/(кг К)

Граничні умови, при яких задається розподіл температур по всій поверхні тіла в функції часу

- A. першого роду
- B. другого роду
- C. третього роду
- D. четвертого роду

Процес розповсюдження теплоти в робочому тілі шляхом передачі кінетичної енергії від більш нагрітих молекул до менш нагрітих, які знаходяться з ними у зіткненні.

- A. теплообмін
- B. теплопровідність
- C. тепловіддача
- D. теплопередача

Процес, який протікає без теплообміну з навколишнім середовищем

- A. ізобарний
- B. ізохорний
- C. ізотермічний
- D. адіабатний

Теплопровідність — це

A. самодовільний незворотний процес поширювання теплоти в рідких, твердих і газоподібних середовищах, або переноса теплоти від одного середовища до іншого

В. процес передачі теплової енергії від більш нагрітої частини тіла до менш нагрітої у результаті безпосередньої взаємодії частинок (молекул, атомів, електронів) у їхньому тепловому русі

С. перенос теплоти шляхом переміщення деяких об'ємів (макрооб'ємів) рідини або газу з більш нагрітої області простору в менш нагріту

Д. передача теплоти від одного тіла до іншого за рахунок електромагнітних хвиль через прозору для теплового випромінювання середу

Термічний опір багат шарової пласкої стінки визначається за формулою

A. $R = \frac{1}{\alpha}$

B. $R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$

C. $R = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}$

D. $R = \frac{\delta}{\lambda}$

Величина $\frac{1}{2\lambda} \ln(d_{i+1} / d_i)$ називається внутрішнім температурним опром

A. циліндричної стінки

B. пласкої стінки

C. тіла

D. усі відповіді

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності багат шарової стінки і стінки з однорідного матеріалу

A. $\lambda_{ек} = \sum_{i=1}^k m_i / \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$

B. $\lambda_{ек} = \sum_{i=1}^k \delta_i / \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$

C. $\lambda_{ек} = \sum_{i=1}^k \alpha_i / \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$

D. $\lambda_{ек} = \sum_{i=1}^k \delta_i \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити теплові втрати від сталеві труби довжиною 10м і діаметрами 79/70мм, якщо температура на внутрішній поверхні в трубі з шаром накипу товщиною 1мм складає 120 С. На зовнішній поверхні труби є шар забруднень завтовшки 0,4мм, а температура зовнішнього шару забруднень дорівнює 250 С.

2. Трубопровід із зовнішнім діаметром d ізолюють двома шарами ізоляції з різних матеріалів, але однакової товщини δ , яка складає 1/6 від d. Перший шар ізоляції має коефіцієнт теплопровідності в 3 рази більший, ніж

другий. Оцінити, як зміняться лінійні теплові втрати, якщо шари ізоляції поміняти місцями за умови сталого температурного напору.

3. Плоска сталевая стінка завтовшки 3мм ізолювана шаром листового азбесту і шаром пінофолу. Визначити товщину скловати, яку треба покласти замість азбесту і пінофолу для того, щоб теплові втрати зменшились в 1,5 раза за умови сталого температурного напору. Товщина азбесту і мінеральної вати по 100мм.

4. Визначити еквівалентний коефіцієнт теплопровідності тришарової циліндричної стінки для ізоляції сталевого трубопроводу діаметрами 170/160мм. Характеристики першого шару: $\delta_1=20\text{мм}$, $\lambda_1=0,13\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а другого $\delta_2=50\text{мм}$, $\lambda_2=0,04\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Поясніть також, як доцільніше розташувати шари ізоляції за умови, що температурний напір не змінюється.

5. Плоску поверхню з температурою 400 С необхідно ізолювати піношамотом так, щоб втрати теплоти не перевищували 450 Вт/м² при температурі на зовнішній поверхні ізоляції 43 С. Визначити товщину шару ізоляції.

6. Трубу вкривають двома шарами ізоляції з різних матеріалів, але однакової товщини. Перший шар, що лежить на трубі, має коефіцієнт теплопровідності в 3 рази більший, ніж другий. Зовнішній діаметр неізолюваної труби в 6 разів більший товщини одного шару ізоляції. В який бік і у скільки разів зміняться тепловтрати з 1м довжини трубопроводу, якщо шари ізоляції поміняти місцями?

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.
7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 9 . Теплообмін. Теплопередача

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Турбулентний режим, коли Re більше

- A. 1500
- B. 1700
- C. 2300
- D. 2750

Зростання товщини пограничного шару призводить до

- A. зменшення його стійкості
- B. збільшення його стійкості
- C. розпадання
- D. всі відповіді вірні

Особливості протікання процесу на границях стінки при теплопередачі визначаються граничними умовами

- A. першого роду
- B. другого роду
- C. третього роду
- D. четвертого роду

Процес тепловіддачі прийнято описувати рівнянням

- A. Ньютона-Ріхмана
- B. Грасгофа
- C. Вебера
- D. Фруда

Критерій подібності, який характеризує режим вільної теплової конвекції

- A. Рейнольдса
- B. Біо
- C. Грасгофа
- D. Прандтля

Якщо коефіцієнт поглинання дорівнює 1, то тіло є

- A. абсолютно білим
- B. абсолютно чорним
- C. абсолютно прозорим
- D. сірим

Відношення випромінювання сірого тіла до інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла при тій самій температурі називають

- A. коефіцієнтом поглинання
- B. коефіцієнтом випромінювання сірого тіла
- C. густиною інтегрального випромінювання

D. ступенем чорноти тіла

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити теплові втрати від ізольованого корпусу горизонтального теплообмінника діаметром 1м і довжиною 2м, якщо температура ізоляції 40 С, а температура повітря в приміщенні 20 С.

2. Визначити тепловий потік від горизонтальної плити розмірами 2×3м, теплообмінна поверхня якої повернута вверх, якщо температура поверхні плити 100 С, а температура навколишнього повітря 20 С.

3. Для опалення приміщення використовують електронагрівник, виготовлений із спіралей дроту діаметром 2 мм. Необхідна потужність для опалення складає 200 Вт. Визначити загальну довжину дроту, якщо його температура складає 320 С, а температура в приміщенні має бути 20 С.

Температура повітря в приміщенні підтримується рівною 20 С електронагрівником, діаметр якого 1,25мм, а питомий електричний опір $1,2 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. Електронагрівник розташований горизонтально, а температура його поверхні становить 800 °С. Визначити максимальну силу електричного струму через електронагрівник.

4. У великому об'ємі води охолоджується вертикальна пластина розмірами 2х3м. Визначити тепловий потік, якщо температура пластини 110 С, а температура води 30 С.

5. Горизонтальний паропровід з діаметром 300мм і довжиною 10м має температуру поверхні 160 С. Температура повітря в приміщенні 25 С. Визначити теплові втрати, а також як вони зміняться в разі зменшення температури стінки в 2 рази.

6. Між вертикальними стінками з температурами 120 і 40 С, відповідно, є повітряний прошарок товщиною 30 мм і висотою 3м. Визначити тепловий потік між стінками.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.

2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.

3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.

4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.

5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.

6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.

7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 10. Основи теорії горіння.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

Горіння палива представляє собою хімічний процес з'єднання горючих речовин палива з

- A. с будь яким газом
- B. киснем повітря
- C. воднем повітря
- D. азотом повітря

Процес вибухоподібного горіння палива, який супроводжується нестійкою роботою двигуна, падінням потужності та руйнуванням деталей

- A. вибух
- B. гасіння
- C. детонація
- D. пожежа

Температуру, до якої нагрілись би продукти повного згоряння, якби вся теплота згоряння палива і теплота повітря, що подається в зону горіння, пішла б на їх нагрів називають

- A. критичною температурою горіння
- B. калорійною температурою горіння
- C. основною температурою горіння
- D. максимальною температурою горіння

Способи спалювання газоподібних і рідких палив

- A. шаровий
- B. факельний
- C. вихровий
- D. суспензійний

Для повного згоряння 1 кг вуглецю с необхідно кисня

- A. 1,37 кг
- B. 1,57 кг
- C. 2,27 кг
- D. 2,67 кг

Ентальпія продуктів згоряння для твердого і рідкого палива розраховується в: і в для газоподібного палива

- A. кДж/кг

- В. кДж/м³
- С. кДж/м
- Д. кДж/м²

Топковий пристрій (топка) класифікуються за

- А. за способом спалювання палива
- В. за взаємодією з тепловими установками
- С. за способом подачі палива і організації обслуговування
- Д. усі відповіді вірні

Робота топковий характеризується наступними показниками

- А. теплове навантаження на колосникову решітку
- В. теплове навантаження топкового об'єму
- С. коефіцієнт корисної дії топки
- Д. усі відповіді вірні

Для повного згорання 1 кг метана необхідно кисню

- А. 1 кг
- В. 1,5 кг
- С. 2 кг
- Д. 2,5 кг

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити нижчу теплоту згорання природного газу наступного складу (в відсотках за об'ємом): $CH_4 - 84,5$; $C_2H_6 - 3,8$; $C_3H_8 - 1,9$; $C_4H_{10} - 0,9$; $C_5H_{12} - 0,3$; $CO_2 - 0,8$; $N_2 - 7,8$

2. Визначити на виході з топки об'єм продуктів повного згорання 1 кг донецького вугілля марки Т наступного складу (за об'ємом):

$C^p = 62,7\%$; $H^p = 3,1\%$; $S^p = 2,8$; $N^p = 0,9\%$; $O^p = 1,7\%$; $A^p = 23,8\%$; і $W^p = 5,0\%$.

Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_T = 1,3$

Визначити ентальпію продуктів згорання на виході з топки при повному згоранні 1 кг донецького вугілля марки Г наступного складу (за об'ємом): $C^p = 55,2\%$; $H^p = 3,8\%$; $S^p = 3,2$; $N^p = 1,0\%$; $O^p = 5,8\%$; $A^p = 23,0\%$; і $W^p = 8,0\%$, якщо відомо, що температура газів на виході з топки дорівнює $t_T = 1000^\circ C$, доля золи полива, яка виноситься продуктами згорання, $a_{ун} = 0,85$ і приведена величина уноса золи спалюваного палива $A_{пр.ун.} = 4,6 \text{ кг} \cdot \%10^{-3} / \text{кДж}$. Коефіцієнт надлишку повітря в топці $\alpha_T = 1,3$

Рекомендована література

- 1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
- 2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
- 3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.

4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.

5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.

6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.

7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Тема 11. Теплообмінні апарати.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Закон Кірхгофа

А. відношення випромінювальної здатності тіла до його поглинаючої здатності при тепловій рівновазі не залежить від природи тіла і дорівнює енергії випромінювання абсолютно чорного тіла при тій самій температурі

В. густина інтегрального випромінювання абсолютно чорного тіла E_s прямо пропорційна четвертому степеню його абсолютної температури

С. кожній довжині хвилі відповідає певна інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла що збільшується зі зростанням температури

Д. зі збільшенням температури T довжина хвилі λ_{\max} зменшується

Якщо коефіцієнт віддзеркалення дорівнює 1, то тіло є

А. абсолютно білим

В. абсолютно прозорим

С. абсолютно чорним

Д. сірим

Закон Планка

А. кожній довжині хвилі відповідає певна інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла що збільшується зі зростанням температури

В. будь-яке фізичне тіло в однаковому ступені поглинає промені, що падають, у всіх довжинах хвиль при будь-яких температурах

С. густина інтегрального випромінювання абсолютно чорного тіла E_s прямо пропорційна четвертому степеню його абсолютної температури

Д. відношення випромінювальної здатності тіла до його поглинаючої здатності при тепловій рівновазі не залежить від природи тіла і дорівнює енергії випромінювання абсолютно чорного тіла при тій самій температурі

Яким фізичним тілам властиве теплове випромінювання

- A. всім тілам, температура яких вище 0К
- B. всім тілам, температура яких вище 273К
- C. всім тілам на межі зміни агрегатного стану
- D. тільки металам

Розрахунок теплообмінних апаратів

- A. тепловий розрахунок
- B. гідромеханічний розрахунок
- C. економічний розрахунок
- D. перші дві

В якому перерізу каналу більше значення коефіцієнт опору тертя при ізотермічному ламінарному русі

- A. крузі
- B. квадраті
- C. рівнобічному трикутнику
- D. кільці

В залежності від взаємного напрямку потоків гарячої і холодної рідин розрізняють основні схеми руху рідин:

- A. прямотечією
- B. протитечією
- C. перехресною течією
- D. усі відповіді вірні

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити коефіцієнт поглинання сталі (поверхня матова). Коефіцієнт випромінювання сталі з матовою поверхнею $c = 5,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$

2. Обмурівка топкової камери парового котла виконана з шамотної цегли, а зовнішня обшивка – з листової сталі. Відстань між обшивкою і цегляною кладкою дорівнює 30 мм, і можна вважати її малою в порівняння з розмірами стін топки. Визначити втрати тепла в оточуюче середовище з одиниці поверхні в одиницю часу в умовах стаціонарного режиму за рахунок променевого теплообміну між поверхнями обмурівки і обшивки. Температура зовнішньої поверхні обмурівки $t_1 = 137^\circ\text{C}$, а температура сталевий обшивки $t_2 = 40^\circ\text{C}$. Ступені чорноти шамоту $\epsilon_{\text{ш}} = 0,8$ і листової сталі $\epsilon_{\text{ст}} = 0,6$

3. В нагрівальній печі температура газів по усьому об'єму стала і дорівнює 1100°C . Об'єм печі $V=10 \text{ м}^3$, повна площа поверхні огороження $F=30 \text{ м}^2$. Загальний тиск продуктів згорання $p = 9,81 \text{ Н}/\text{см}^2$, а парціальний тиск водяної пари $p_{\text{H}_2\text{O}} = 0,9 \text{ Н}/\text{см}^2$ і вуглекислоти $p_{\text{CO}_2} = 1,3 \text{ Н}/\text{см}^2$. Визначити ступінь чорноти газової суміші, яка випромінює, і власне випромінювання продуктів згорання.

4. Визначити тепловий потік від вертикальної плити висотою $l = 2,5 \text{ м}$ і шириною $b = 3 \text{ м}$ з температурою $t_{\text{cm1}} = 90^\circ\text{C}$ у навколишнє середовище, у

якому знаходиться спокійне повітря, що має температуру $t_{mн} = 20^{\circ}\text{C}$. На відстані 0,3 м від плити розміщено вертикальну стінку, температура якої $t_{cm2} = 20^{\circ}\text{C}$. Ступені чорноти плити і стінки однакові і дорівнюють $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$.

Рекомендована література:

1. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
2. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 2014. 344 с.
3. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 2014. 417 с.
4. Гулій І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / І С. Гулій, В. Г. Мирончук, М. М. Пушанко. Вінниця: Нова книга, 2007. 648. с.
5. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
6. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків, 2002. 420 с.
7. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Підручник. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

Навчальне видання

Омельченко Олександр Володимирович,

Перекрест Володимир Вікторович

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА**

Формат 60×84/8. Ум. др. арк. 2.

Донецький національний університет
економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
50042, Дніпропетровська обл.,
м. Кривий Ріг, вул. Курчатова, 13.
Свідоцтво суб'єкта видавничої
справи ДК № 4929 від 07.07.2015 р.