

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

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Л.О. Цвіркун

ТЕПЛОМАСООБМІН

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

Л.О. Цвіркун

ТЕПЛОМАСООБМІН

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 621.565.93/.95

Ц 28

Цвіркун Л.О.

Ц 28 Тепломасообмін [Текст] : метод. рук. до вивч. дисц. / Л.О. Цвіркун; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2019. – 69 с.

Методичні рекомендації призначені для студентів всіх форм навчання і покликані допомогти студентам організувати вивчення дисципліни «Тепломасообмін» 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 621.565.93/.95

© Цвіркун Л.О., 2019
© Донецький національний
університет
економіки і торгівлі імені Михайла
Туган-Барановського, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЧАСТИНА 1. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕПЛОМАСООБМІН».....	6
ЧАСТИНА 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	15
Змістовий модуль 1. Основні закономірності тепломасообміну.....	16
Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати.....	32
ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ.....	44
Змістовий модуль 1. Основні закономірності тепломасообміну.....	45
Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати.....	57

ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни є формування системи знань основних положень, принципів і методів тепломасообміну, практичних навичок у процесі розв'язування задач, пов'язаних з передачею теплової енергії.

Головне завдання навчальної дисципліни полягає в ознайомленні студентів з методами математичного моделювання; навчити розв'язувати інженерні задачі з розрахунку теплових і термодинамічних процесів в тепломасообмінних агрегатах, які використовуються в харчовій промисловості.

Предмет: вивчення основних положень, принципів і методів тепломасообміну.

ЧАСТИНА 1.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

1. Опис дисципліни

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

2. Мета та завдання дисципліни

Ціль – формування системи знань основних положень, принципів і методів тепломасообміну, практичних навичок у процесі розв'язування задач, пов'язаних з передачею теплової енергії.

Завдання: ознайомити студентів з методами математичного моделювання; навчити розв'язувати інженерні задачі з розрахунку теплових і термодинамічних процесів в тепломасообмінних агрегатах, які використовуються в харчовій промисловості.

Предмет: вивчення основних положень, принципів і методів тепломасообміну.

Зміст дисципліни розкривається в темах:

1. Основні закономірності масообміну.
2. Теплопередача.
3. Вільна та вимушена конвекція.
4. Теплопровідність та тепловіддача.
5. Теплове випромінювання.
6. Основи теорії подібності в масообмінних процесах.
7. Теплообмінні апарати. Особливості конструкцій та основи розрахунку.
8. Конденсація. Конструктивні особливості конденсаторів.
9. Сушильні установки в харчовій промисловості.
10. Процеси охолодження і заморожування.

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. Основні закономірності тепломасообміну					
Тема 1. Основні закономірності масообміну	14	2	4	-	8
Тема 2. Теплопередача	14	2	4	-	8
Тема 3. Вільна та вимушена конвекція	16	4	4	-	8
Тема 4. Теплопровідність та тепловіддача	14	2	4	-	8
Тема 5. Теплове випромінювання	16	2	4	-	10
Разом за змістовим модулем 1	74	12	20	-	42
Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати					
Тема 1. Основи теорії подібності в масообмінних процесах	17	4	4	-	9
Тема 2. Теплообмінні апарати. Особливості конструкцій та основи розрахунку	15	2	4	-	9
Тема 3. Конденсація. Конструктивні особливості конденсаторів	17	4	4	-	9
Тема 4. Сушильні установки в харчовій промисловості	14	2	4	-	8
Тема 5. Процеси охолодження і заморожування	13	2	3	-	8
Разом за змістовим модулем 2	76	14	19	-	43
Разом	150	26	39	-	85

4. Темі семінарських/практичних/лабораторних занять

№ з/п	Вид та тема практичного заняття	Кількість годин
1	Практичне заняття 1. Теплопередача через одношарову та багатошарову стінку.	2
2	Практичне заняття 1. Теплопередача через одношарову та багатошарову стінку.	2
3	Практичне заняття 2. Теплопередача через циліндричну одношарову та багатошарову стінку.	2
4	Практичне заняття 2. Теплопередача через циліндричну одношарову та багатошарову стінку.	2
5	Практичне заняття 3. Тепловіддача та основи теплопровідності	2
6	Практичне заняття 3. Тепловіддача та основи теплопровідності	2
7	Практичне заняття 4. Вимушена конвекція.	2

8	Практичне заняття 4. Вимушена конвекція.	2
9	Практичне заняття 5. Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні	2
10	Практичне заняття 5. Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні	2
11	Практичне заняття 6. Розрахунок рекуператора	2
12	Практичне заняття 6. Розрахунок рекуператора	2
13	Практичне заняття 7. Розрахунок конденсатора	2
14	Практичне заняття 7. Розрахунок конденсатора	2
15	Практичне заняття 8. Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння. Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках	2
16	Практичне заняття 8. Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння. Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках	2
17	Практичне заняття 9. Основи розрахунку випарних установок з центральною циркуляційною трубою	2
18	Практичне заняття 9. Основи розрахунку випарних установок з центральною циркуляційною трубою	2
19	Практичне заняття 10. Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон	2
20	Практичне заняття 10. Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон	1
Разом		39

7. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання згідно варіанту.

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. Основні закономірності тепломасообміну			
1. Теплопередача через одношарову та багатшарову стінку	8	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (масообмінні процеси, способи масопередачі, дифузія, основне рівняння масопередачі), необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [1, 2, 3]. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Теплопередача через одношарову та багатшарову стінку».	Опитування, перевірка задач

2. Теплопередача через циліндричну одношарову та багатшарову стінку	8	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (механізми теплообміну, теплопровідність, градієнт температури, теплопередача), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [4, 5].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Теплопередача через циліндричну одношарову та багатшарову стінку».</p>	Опитування, перевірка задач
3. Тепловіддача та основи теплопровідності	8	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (характеристики конвективного теплообміну, режими руху рідини), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [1, 2].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Тепловіддача та основи теплопровідності».</p>	Опитування, перевірка задач
4. Вимушена конвекція	8	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (температурне поле, стаціонарне та нестаціонарне температурне поле, теплопровідність, умови однозначності для процесів теплопровідності, тепловіддача), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [3, 4, 5].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Вимушена конвекція».</p>	Опитування, перевірка задач
5. Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні	10	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (промевий теплообмін, механізм променевому теплообміну, закони променевого випромінювання), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [1, 2, 5].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні».</p>	Опитування, перевірка задач
Разом змістовий модуль 1	42		

Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати			
6. Розрахунок рекуператора	9	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (загальні положення теорії подібності, умови однозначності, теорія подоби), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [4, 5].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Розрахунок рекуператора».</p>	Опитування, перевірка задач
7. Розрахунок конденсатора	9	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (класифікація теплообмінників, схеми руху теплоносіїв, основні рівняння теплового розрахунку теплообмінних апаратів), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [1, 2, 3, 4].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Розрахунок конденсатора».</p>	Опитування, перевірка задач
8. Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння. Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках	9	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (конденсація, особливості процесу, конструкції конденсаторів, особливості розрахунку конденсаторів), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [1, 2, 5].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння. Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках».</p>	Опитування, перевірка задач
9. Основи розрахунку випарних установок з центральною циркуляційною трубою	8	<p>1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (основні закономірності процесу сушки, криві кінетики сушки та криві швидкості сушки, класифікація сушильних установок), необхідного для розв'язування задач.</p> <p>2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [3, 4, 5].</p> <p>3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Основи розрахунку випарних установок з центральною</p>	Опитування, перевірка задач

		циркуляційною трубою».	
10. Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон	8	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу (поняття про процес охолодження, поняття про процес заморожування, конструкції устаткування та основні закономірності), необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. Джерела [1, 2]. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон».	Опитування, перевірка задач
Разом змістовий модуль 2	43		
Разом	85		

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

Результати навчання	Компетентності				
	Спеціальні				
	ФК 1	ФК 3	ФК 6	ФК 7	ФК 9
1. Знання і розуміння математики, фізики, тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.	+		+		+
2. 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.		+		+	+
3. Розробляти і проектувати вироби в галузі енергетичного машинобудування, процеси і системи, що задовольняють конкретні вимоги, які можуть включати обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосовування адекватної методології проектування.	+		+		+
4. Проектувати об'єкти енергетичного машинобудування, застосувати сучасні комерційні та авторські програмні продукти на основі розуміння передових досягнень галузі.		+		+	

5. Застосовувати нормативні документи і правила техніки безпеки 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	Ситуацій- ні завдання, задачі	Обговорення теоретичних та практичних питань теми	Індивіду- альне завдання	ПМК	Сума балів
Змістовий модуль 1						
Тема 1			2	2		4
Тема 2			2	2		4
Тема 3			2	2		4
Тема 4			2	2		4
Тема 5			2	2	5	9
Разом змістовий модуль 1			10	10	5	25
Змістовий модуль 2						
Тема 6			2	2		4
Тема 7			2	2		4
Тема 8			2	2		4
Тема 9			2	2		4
Тема 10			2	2	5	9
Разом змістовий модуль 2			10	10	5	25
Разом						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

Електронний конспект лекцій, методичні вказівки з вивчення дисципліни, навчальна та наукова література, нормативні документи.

12. Рекомендована література

Базова

1. Лабай В.Й. Приклади і задачі з курсу тепломасообміну. Львів : Вид. Львівської політехніки, 2017. – 228 с.
2. Тирінов А.І. Тепломасообмін та гідродинаміка теплотехнічних мікро- та наносистем. К. : ТОВ “СІ Принт”, 2017 – 42 с.
3. Дреус А.Ю., Лисенко К.Є., Сясев В.О. Збірник задач з тепломасообміну. – Д. : ДНУ ім. О. Гончара, 2016. – 124 с.
4. Малишев В., Кретов В. Технічна термодинаміка та теплопередача. К. : Університет "Україна", 2015. – 258с.
5. Горбунов О. Д. Термінологічний словник з тепломасообміну. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. – 71 с.

Допоміжна

1. Вассерман О.А., Слинько О.Г., Мальчевський В.П. Основи тепломасообміну. Одеса : Фенікс, 2014. – 150 с.
2. Акмен Р. Г. Тепло- и массообмен. Х. :ХПІ, 2010. – 136 с.
3. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Полтава : РВВ ПУСКУ, 2004. – 583 с.

ЧАСТИНА 2.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕПЛОМАСООБМІНУ

Тема 1. Теплопередача через одношарову та багатошарову стінку

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Способи переносу теплоти.
2. Тепловий потік та його густина; температурне поле; градієнт температур.
3. Закон теплопровідності Фур'є; термічний опір одно- та багатошарової стінки.
4. Диференційне рівняння теплопровідності для рухомого середовища та твердого тіла.
5. Узагальнене одновимірне рівняння теплопровідності та його часткові випадки.
6. Умови однозначності при рішенні задач теплопровідності.
7. Граничні умови при рішенні задач теплопровідності.
8. Рівняння Фур'є-Кірхгофа для стаціонарної теплопровідності та його часткові випадки.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Визначити коефіцієнт тепловіддачі від вертикальної плити висотою $H=2$ м до навколишнього спокійного повітря, якщо відомо, що температура поверхні плити $t_{cm}=100^\circ\text{C}$, температура навколишнього повітря далеко від поверхні $t_p=20^\circ\text{C}$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$H=2,0$ м $t_p=20^\circ\text{C}$ $t_{cm}=100^\circ\text{C}$	Тепловіддачу при природній конвекції у поверхні вертикальної плити можна визначити за формулою:
α -?	$Nu_p = c \cdot (Gr Pr)_p^n \left(\frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,025},$

де за визначальний розмір береться висота плити H .

За $t_p=20^\circ\text{C}$ фізичні властивості повітря наступні: $\lambda_p=2,59 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м²·К);
 $\nu_p=15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

За цих умов значення комплексу

$$(Gr Pr)_p = g\beta_p \frac{\Delta t H^3}{\nu_p^2} Pr_p = 9,81 \frac{1}{293} \frac{80 \cdot 2^3 \cdot 10^{12}}{(15,06)^2 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,703 = 6,64 \cdot 10^{10}.$$

При набутого значення $(GrPr)_p$ знаходимо $c=0,15$; $n=1/3$, тоді

$$Nu_p = 0,15 \cdot (6,64 \cdot 10^{10})^{1/3} = 610;$$

$$\alpha = Nu_p \frac{\lambda_p}{H} = 610 \frac{2,59 \cdot 10^{-2}}{2} = 7,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Задача 2.

Визначити еквівалентний коефіцієнт теплопровідності плоского повітряного шару $\delta = 25\text{мм}$. Температура гарячої поверхні $t_{cm1} = 150^\circ\text{C}$, холодної $t_{cm2} = 50^\circ\text{C}$

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$\delta = 25\text{мм}$ $t_{cm1} = 150^\circ\text{C}$ $t_{cm2} = 50^\circ\text{C}$	Визначимо середню температуру повітря $t_p = \frac{150 + 50}{2} = 100^\circ\text{C}.$ $\Delta t = t_{ct1} - t_{ct2} = 150 - 50 = 100^\circ\text{C}$
$\lambda_{\text{екв}} - ?$ $q - ?$	Визначимо параметри повітря при температурі $t_p = 100^\circ\text{C}$: $\nu = 0,231 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\lambda = 0,032 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $Pr_p = 0,69$.

$$\text{Число Грасгофа: } Gr = \frac{gd^3\beta\Delta T}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,025^3 \cdot 100}{(273 + 100)(0,231 \cdot 10^{-6})^2} = 7,73 \cdot 10^4$$

$$\text{Комплекс } (Gr Pr)_p = 7,73 \cdot 10^4 \cdot 0,69 = 5,33 \cdot 10^4.$$

Визначимо коефіцієнт конвекції за формулою:

$$\varepsilon_k = 0,18(Gr \cdot Pr)^{0,25} = 0,18 \cdot (5,33 \cdot 10^4)^{0,25} = 2,74.$$

Тоді, еквівалентний коефіцієнт теплопровідності визначатиметься

$$\lambda_{\text{екв}} = \lambda \cdot \varepsilon_k = 0,032 \cdot 2,74 = 0,088 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Щільність теплового потоку:

$$q = \frac{\lambda_{\text{екв}}}{\delta} \Delta t = \frac{0,088}{0,025} 100 = 352 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Задача 3.

Визначити тепловий потік, що проходить через цегляну стінку висотою 5 м, шириною 4 м і товщиною 250 мм. Температури поверхонь стінки $t_1=27^\circ\text{C}$, $t_2=-23^\circ\text{C}$. Коефіцієнт теплопровідності цегли $0,77 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$h = 3 \text{ м}$ $b = 6 \text{ м}$ $\delta = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$ $t_1 = 33^\circ\text{C}$ $t_2 = 10^\circ\text{C}$ $\lambda = 0,75 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	Тепловий потік, що проходить крізь стінку визначається за формулою: $\Phi = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t_1 - t_2).$ Тоді, $\Phi = \frac{0,75}{0,25} \cdot (3 \cdot 6) \cdot (33 - 10) = 1242 \text{ Вт}.$
$\Phi - ?$	

Задача 4.

Електричний нагрівач виконаний з ніхромового дроту діаметром $d = 2 \text{ мм}$ і довжиною $l = 10 \text{ м}$. Він обдувається холодним повітрям з температурою $t_n = 20^\circ\text{C}$.

Обчислити тепловий потік з 1 м нагрівача, а також температури на поверхні t_c і на осі проволікай t_o , якщо сила струму, що проходить через нагрівач, складає 25 А. Питомий електричний опір ніхрому $\rho = 1,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$; коефіцієнт теплопровідності ніхрому $\lambda = 17,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ і коефіцієнт тепловіддачі від поверхні нагрівача до повітря $\alpha = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$d = 2 \text{ мм}$ $l = 10 \text{ м}$ $t_n = 20^\circ\text{C}$ $I = 25 \text{ А}$ $\rho = 1,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ $\lambda = 17,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ $\alpha = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	Електричний опір нагрівача визначається як $R = \frac{\rho l}{\pi r^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{3,14 \cdot 1} = 3,5 \text{ Ом}.$ Кількість теплоти, що виділяється нагрівачем: $Q = I^2 R = 25^2 \cdot 3,5 = 2185 \text{ Вт}.$ Тепловий потік на 1 м дроту $q_1 = \frac{Q}{l} = \frac{2185}{10} = 218,5 \text{ Вт}/\text{м},$
$\Phi - ?; t_c - ?; t_o - ?$	

Температура поверхні дроту визначається з умов тепловіддачі:

$$t_c = t_{\text{ок}} + \frac{q_1}{\pi d \alpha} = 20 + \frac{218,5}{314,5 \cdot 0,002 \cdot 46,5} = 769^\circ\text{C}.$$

Температура на осі дроту визначається за умови теплопровідності за наявності внутрішніх джерел теплоти:

$$t_0 = t_c + \frac{q_1}{4\pi\lambda} = 769 + \frac{218,5}{4 \cdot 3,14 \cdot 17,5} = 770^\circ \text{C}.$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
l , м	10	15	20	18	16	24
t_n , °С	20	18	12	23	17	26
I , А	25	29	32	27	37	21
ρ , Ом×мм ² /м	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2
λ , Вт/(м·К)	17,5	14	16,5	17,5	15	15,5
α , Вт/(м ² К)	46,5	45,3	39,9	42,8	45,6	41,2

Тема 2. Теплопередача через циліндричну одношарову та багатошарову стінку

1. *Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:*

1. Вплив зміни коефіцієнта теплопровідності на стаціонарний розподіл температур у плоскій стінці.

2. Стаціонарний перенос теплоти в циліндричній стінці.

3. Стаціонарний перенос теплоти в сферичній стінці.

4. Термічно тонкі тіла; зміна температури у часі у тілі довільної форми.

5. Часткові рішення для оцінки динаміки температури в термічно тонких тілах різної форми.

6. Рішення задач нестационарної теплопровідності термічно масивних тіл; вплив чисел Ві та Fo на температурне поле у пластині.

7. Види конвекції та конвективного теплообміну; формування і структура прикордонного шару.

8. Рівняння Ньютона-Рихмана; фактори, що визначають інтенсивність конвективного переносу теплоти.

2. *Опитування.*

3. *Практичні завдання.*

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Обчислити коефіцієнт тепловіддачі при кипінні води і кількість пари, що одержується у випарнику за 1 ч, загальна площа поверхні якого 5 м^2 . температура стінки випарника $t_{cm}=156^\circ \text{ C}$. Тиск пари $0,45 \text{ МПа}$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$F=5 \text{ м}^2$ $t_{cm}=156^\circ \text{ C}$ $t_p=148^\circ \text{ C}$ $p=0,45 \text{ МПа}$ $\tau=1 \text{ година}$	З таблиці для водяної пари приймаємо температуру насичення пари при заданому тиску $p=0,45 \text{ МПа}$: $t_p=148^\circ \text{ C}$ та теплоту паротворення $r=2120,9 \text{ кДж/кг}$. Різниця температур між поверхнею і паром складає 8° C . Коефіцієнт тепловіддачі визначимо за формулою:
$\alpha - ?; Q - ?; m - ?$	$\alpha = 146 \cdot \Delta t^{2,33} \cdot p^{0,5} = 146 \cdot 8^{2,33} \cdot 0,45^{0,5} = 12850 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$
	Кількість теплоти, що була віддана при кипінні: $Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot F = 12850 \cdot 8 \cdot 5 = 515000 \text{ Вт} = 515 \text{ кВт}$.
	Маса пари, яка отримується у випарнику за годину: $m = \frac{Q \cdot \tau}{r} = \frac{515000 \cdot 3600}{2120900} = 875 \text{ кг/г}$.

Задача 2.

Визначити середнє значення коефіцієнта тепловіддачі з боку сухої насиченої пари аміаку, що конденсується на поверхні горизонтального кожухотрубного конденсатору. Конденсація здійснюється холодною водою з температурою 21° C , тиск конденсації 10 атм . Діаметр труб $19 \times 1,5 \text{ мм}$. Розташування труб шахове.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$d=19 \times 1,5 \text{ мм}$ $t_p=21^\circ \text{ C}$ $p=10 \text{ атм} = 1 \text{ МПа}$	З таблиці для аміаку або з фазової діаграми визначаємо, що тиску у 1 МПа відповідає температура насичення $t_n=24,3^\circ \text{ C}$. Теплота паротворення $r=1169 \text{ кДж/кг}$.
$\alpha - ?$	Температура поверхні стінки дорівнює температури охолоджуючої рідини, тобто складає 21° C . Середня температура плівки конденсату: $t_{сер} = \frac{t_p + t_n}{2} = \frac{21 + 24,3}{2} = 22,7^\circ \text{ C}$.

Фізичні параметри аміаку за середньої температури:
 $\rho'' = 606 \text{ кг/м}^3$; $\lambda'' = 0,48 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $\mu = 13,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Коефіцієнт тепловіддачі для першого ряду труб:

$$\alpha = 0,724 \sqrt{\frac{\lambda^{n_3} \cdot \rho^{n_2} \cdot r}{\mu \Delta t d}} = 0,724 \sqrt{\frac{0,48^3 \cdot 606^2 \cdot 1169}{13,8 \cdot 10^{-6} \cdot 3,3 \cdot 0,019}} = 1959 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Для визначення коефіцієнту тепловіддачі для наступних рядів необхідно добути отримане значення на поправочний коефіцієнт.

Задача 3

Обмурівка топкової камери парового котла виконана з шамотної цеглини, а зовнішня обшивка - з листової сталі. Відстань між обшивкою і цегляною кладкою дорівнює 30 мм, і можна вважати її малою у порівнянні з розмірами стін топки. Обчислити втрати теплоти в навколишнє середовище з одиниці поверхні в одиницю часу в умовах стаціонарного режиму за рахунок променевого теплообміну між поверхнями обмурівки і обшивки. Температура зовнішньої поверхні обмурівки $t_1=127^\circ \text{C}$, а температура сталевий обшивки $t_2=50^\circ \text{C}$. Ступінь чорнота шамота $\varepsilon_{\text{ш}} = 0,8$ і листовій сталі $\varepsilon_{\text{ст}} = 0,6$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$\delta=30 \text{ мм} = 0,03 \text{ м}$	Обшивку і цегляну кладку можна розглядати як дві безмежні плоскопаралельні поверхні, розділені прозорим середовищем. Для такої системи тіл результуюче випромінювання обчислюється за формулою
$t_1=127^\circ \text{C}$	
$t_2=50^\circ \text{C}$	
$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,8$	
$\varepsilon_{\text{ст}} = 0,6$	
Ф - ?	

$$\Phi = \varepsilon_{36} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

$$\text{де } \varepsilon_{36} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,6} - 1} = 0,522.$$

$$\text{Тоді } \Phi = 0,522 \cdot 5,67 \left[\left(\frac{127 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{50 + 273}{100} \right)^4 \right] = 435 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Задача 4.

Визначити тепловий потік від вертикальної плити висотою $h=2 \text{ м}$ і шириною $b = 5 \text{ м}$ з температурою $t_{\text{cm1}}=100^\circ \text{C}$ у навколишнє середовище, у якому знаходиться спокійне повітря, що має температуру $t_{\text{нов}}=20^\circ \text{C}$. На відстані $0,3 \text{ м}$ від плити розміщено вертикальну стінку, температура якої $t_{\text{cm2}}=20^\circ \text{C}$. Ступінь чорноти плити і стінки однакові і дорівнюють $\varepsilon_1 = \varepsilon_2=0,9$.

Дано

$h=2$ м
 $b = 5$ м
 $t_{cm1}=100$ °C
 $t_{нов}=20$ °C
 $t_{cm2}=20$ °C
 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2=0,9$
 $l= 0,3$ м

Φ -?

Рішення

У задачі дано складний випадок теплообміну, коли сумарний тепловий потік визначається за рівнянням:

$$\Phi_o = \Phi_k + \Phi_{випр.},$$

де Φ_k – тепловий потік, що передається конвекцією, Вт;
 $\Phi_{випр.}$ - тепловий потік, що передається випромінюванням, Вт;
 Для визначення режиму течії за вільної конвекції знаходимо значення комплексу $(Gr \cdot Pr)$. За температури

$t_{нов}=20$ °C для повітря з табл. 1 (додатка В):

$\lambda = 2,59 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К); $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $Pr = 0,703$.

$$\begin{aligned}
 (Gr \cdot Pr) &= \frac{gl^3}{\nu^2} \beta \Delta t \cdot Pr = \\
 &= \frac{9,81 \cdot 2^3 \cdot (100 - 20)}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2 (273 + 20)} \cdot 0,703 = 6,64 \cdot 10^{10}
 \end{aligned}$$

Оскільки $(Gr \cdot Pr) > 10^9$ – режим турбулентний, тому використовуємо рівняння (2.26).

$$\begin{aligned}
 Nu_{pl} &= 0,15 (Gr_{pl} \cdot Pr_p)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = \\
 &= 0,15 \cdot (6,64 \cdot 10^{10})^{0,33} = 610
 \end{aligned}$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{l} = 610 \cdot \frac{2,59 \cdot 10^{-2}}{2} = 7,92 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Тоді $\Phi_k = \alpha \Delta t F = 7,92 \cdot 80 \cdot 10 = 6340$ Вт = 6,34 кВт.

Тепловий потік, що передається випромінюванням:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{випр.} &= \varepsilon_{3e} C_0 \left[\left(\frac{T_{cm1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cm2}}{100} \right)^4 \right] \cdot F = \Phi = \frac{c_o}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \left[\left(\frac{T_{cm1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cm2}}{100} \right)^4 \right] \cdot F, \\
 \Phi_{випр.} &= \frac{5,67}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 1} \left[\left(\frac{100 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 10 = 5670 \text{ Вт} = 5,67 \text{ кВт}.
 \end{aligned}$$

Тому $\Phi_o = \Phi_k + \Phi_{випр.} = 6,34 + 5,67 = 12,010$ кВт

Задача 5.

Стальний трубопровід ($\lambda=45,4$ Вт/(м·К)) холодильного пристрою діаметром 60×5 мм має теплову ізоляцію – шар міпори 20мм ($\lambda=0,041$ Вт/(м·К)). Визначити долю ізоляційного шару і стінки труби в загальній ізолюючій дії конструкції (термічному опорі).

Дано	Рішення
$d_{cm} = 60 \times 5$ мм	Термічний опір циліндричної поверхні визначається за формулою:
$\lambda_{ст} = 45,4$ Вт/(м·К)	
$\delta_m = 20$ мм = 0,02	
$\lambda_m = 0,041$ Вт/(м·К)	

$$R_u = \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad \frac{м \cdot К}{Вт}$$

$R_{cm} - ?$ $R_m - ?$ де d_2 – зовнішній діаметр, м; d_1 – внутрішній діаметр, м.

Для сталюого трубопроводу $d_1 = 0,06$ м та

$$d_2 = d_1 + 2 \times 0,005 = 0,06 + 0,01 = 0,07 \text{ м.}$$

$$\text{Тоді, } R_{cm} = \frac{1}{2 \cdot 45,4} \ln \frac{0,07}{0,06} = 0,00165, \quad \frac{м \cdot К}{Вт}.$$

Для шару міпори $d_2 = 0,07$ м та $d_3 = d_2 + 2 \times \delta = 0,07 + 2 \times 0,02 = 0,11$ м.

$$\text{Тоді, } R_m = \frac{1}{2 \cdot 0,041} \ln \frac{0,11}{0,07} = 5,51, \quad \frac{м \cdot К}{Вт}.$$

Загальний термічний опір дорівнює:

$$R_{\Sigma} = R_{cm} + R_m = 0,00165 + 5,51 = 5,51165 \quad \frac{м \cdot К}{Вт}$$

Визначимо долю ізоляційного шару і стінки труби в загальній ізолюючій дії конструкції:

$$5,51165 - 100\%$$

$$5,51 - X, \quad X = R_m = 99,9\%.$$

З цього розрахунку можна зробити висновок, що 99,9% термічного опорю припадає на ізоляційний матеріал.

Задача 6.

Розрахувати коефіцієнт теплопровідності м'яса трески за температури $t = -10$ °С за формулою Ейкена. Теплопровідність не замороженої частини трески за криоскопічною температурою $t_{кр} = -1$ °С складає $\lambda_n = 0,55$ Вт/(м·К); теплопровідність повністю замороженої частини м'яса $\lambda_3 = 1,85$ Вт/(м·К).

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$t = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ $t_{кр} = -1 \text{ }^\circ\text{C}$ $\lambda_n = 0,55 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\lambda_3 = 1,85 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.	<p>Спочатку визначимо долю вимороженої води визначається за формулою:</p> $\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{t} = 1 - \frac{-1}{-10} = 0,9$

λ -? За формулою Ейкена:

$$\lambda(t) = \lambda_n \left(1 - \frac{3\omega(t)(\lambda_n - \lambda_3)}{3\lambda_n - 1(1 - \omega(t)(\lambda_n - \lambda_3))} \right) =$$

$$= 0,55 \left(1 - \frac{3 \cdot 0,9(0,55 - 1,85)}{3 \cdot 0,55 - 1(1 - 0,9)(0,55 - 1,85)} \right) = 1,63 \text{ , } \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-10	-8	-11	-9	-11	-8
$t_{кр}, \text{ }^\circ\text{C}$	-1	0	0	-1	1	1
$\lambda_n, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	0,55	0,50	0,49	0,55	0,50	0,62
$\lambda_3, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	1,85	1,86	1,67	1,78	1,74	1,85

Тема 3. Тепловіддача та основи теплопровідності з'єднань.

1. *Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:*

1. Елементи теорії подібності; числа та теореми подібності.
2. Числа гідродинамічної подібності та їх фізичний смисл.
3. Узагальнене рівняння подібності тепловіддачі.
4. Числа теплової подібності; визначальні параметри.
5. Теплообмін при вільній конвекції у великому об'ємі.
6. Теплообмін при вільному русі у обмеженому просторі.
7. Теплообмін при подовжньому обтіканні труб.

2. *Опитування.*

3. *Практичні завдання.*

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Тонка пластина довжиною 2 м і шириною 1,5 м обтікається поздовжнім потоком повітря. Швидкість і температура набігаючого потоку дорівнюють відповідно 3 м/с і 20°C. Температура поверхні пластини 90°C. Визначити середній за довжиною пластини коефіцієнт тепловіддачі і кількість теплоти, що віддається повітрю пластиною.

Дано

$$b = 2 \text{ м}$$

$$a = 1,5 \text{ м}$$

$$t_n = 20^\circ\text{C}$$

$$t_{nl} = 90^\circ\text{C}$$

$$\omega_0 = 3 \text{ м/с}$$

$$\Phi - ? \quad \alpha - ?$$

Рішення

Визначимо параметри повітря за температури $t_0 = 20^\circ\text{C}$ за табл. 1 (додаток В):

$$\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \lambda = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{мК}); \quad Pr = 0,703.$$

Визначимо характер руху рідини, для цього розрахуємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_0 l_0}{\nu} = \frac{3 \cdot 2}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 3,98 \cdot 10^5 < 5 \cdot 10^5,$$

отже, режим течії в прикордонному шарі ламінарний. У цих умовах середня по довжині тепловіддача може бути розрахована за формулою:

$$Nu_{pl} = 0,66 Re_{pd}^{0,5} \cdot Pr_p^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$$

У даному випадку

$$Nu = 0,66 (3,98 \cdot 10^5)^{1/2} (0,703)^{1/3} = 375.$$

Коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{l_0} = 375 \frac{2,59 \cdot 10^{-2}}{2} = 4,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

де коефіцієнт теплопровідності обирається за температурою набігаючого потоку t_0 за додатком В (табл.1).

Тепловий потік, що передається від пластини до повітря визначається за формулою:

$$Q = \alpha(t_c - t_0)F = 4,87 (90 - 20) \cdot 3 = 1022 \text{ Вт}.$$

Задача 2.

Визначити коефіцієнт тепловіддачі і кількість переданої теплоти при перебігу води в горизонтальній трубі діаметром $d = 0,008$ м і довжиною $l = 6$ м, якщо швидкість $\omega_{ж} = 0,1$ м/с; температура води $t_p = 80^\circ\text{C}$; температура стінки труби $t_{cm} = 20^\circ\text{C}$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$d=0,008$ м $l=6$ м, $t_p=80^\circ\text{C}$ $t_{cm}=20^\circ\text{C}$ $\omega_p=0,1$ м/с	Визначимо параметри води при температурі $t_p=80^\circ\text{C}$: $\beta_p=6,32 \cdot 10^{-4}$ 1/К; $\nu=0,365 \cdot 10^{-6}$ м ² /с; $\lambda=0,675$ Вт/(м·К); $Pr_p=2,21$ за $t_{ct}=20^\circ\text{C}$, т.б. $T_{ct}=293\text{K}$, $Pr_{ct}=7,02$. Визначимо характер руху рідини, для цього розрахуємо число Рейнольдса:
$Q - ? \alpha - ?$	$Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{(0,1 \cdot 0,008)}{0,365 \cdot 10^{-6}} = 2190,$

Режим руху в'язкісно - гравітаційний (наближений до ламінарного), тому обираємо формулу:

$$Nu_{pd} = 0,15 Re_{pd}^{0,33} \cdot Pr_p^{0,43} \cdot Gr_{pd}^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l,$$

$$\text{де } Re_p^{0,33}=2190^{0,33}=13,2; Pr_p^{0,43}=2,21^{0,43}=1,4; \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = \left(\frac{2,21}{7,02} \right) = 0,75.$$

Температурний напір $t_p - t_{ct} = 60^\circ\text{C}$.

$$\text{Число Грасгофа } Gr = \frac{gd^3 \beta \Delta T}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,008^3 \cdot 6,32 \cdot 10^{-4} \cdot 60}{(0,365 \cdot 10^{-6})^2} = 1,43 \cdot 10^6,$$

$$\text{тоді } Gr^{0,1} = (1,43 \cdot 10^6)^{0,1} = 4,12;$$

$$\frac{l}{d} > 50 \text{ тому } \varepsilon_l = 1.$$

$$\text{Знаходимо } Nu_{pd} = 0,15 \cdot 13,2 \cdot 1,4 \cdot 4,12 \cdot 0,75 = 8,56.$$

Коефіцієнт тепловіддачі визначаємо з формули:

$$\alpha = \frac{Nu_{pd} \cdot \lambda_p}{d} = \frac{8,56 \cdot 0,675}{0,008} = 724 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Кількість теплоти, що передається крізь всю трубу:

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \alpha \cdot (t_p - t_{ct}) = 3,14 \cdot 0,008 \cdot 6 \cdot 724 \cdot 60 = 6540 \text{ Вт}.$$

Задача 3.

По каналу квадратного перетину, сторона якого $a=10$ мм і довжина $l=1600$ мм, протікає вода із швидкістю $\omega = 4$ м/с. Обчислити коефіцієнт тепловіддачі від стінки каналу до води, якщо середня по довжині температура води $t_p = 40^\circ\text{C}$, а температура внутрішньої поверхні каналу $t_{cm} = 90^\circ\text{C}$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$a=10$ мм= $0,01$ м $l=1,6$ м, $t_p=40^\circ\text{C}$ $t_{cm}=90^\circ\text{C}$	Визначимо фізичні властивості води за середньої температури $t_p=40^\circ\text{C}$: $\nu=0,659 \cdot 10^{-6}$ м ² /с; $\lambda=0,634$ Вт/(м·К); $Pr_p=4,3$. За $t_{cm}=90^\circ\text{C}$, $Pr_{cm}=1,95$. Еквівалентний діаметр каналу

Дано
 $\omega_p = 4 \text{ м/с}$

Рішення

$\alpha - ?$

$$d_{екв} = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4a^2}{4a} = a = 0,01 \text{ м, де } F - \text{ площа поперечного перетину каналу, м}^2; \Pi - \text{ змочений периметр каналу, м.}$$

Визначимо характер руху рідини, для цього розрахуємо число Рейнольдса: $Re_p = \frac{\omega d_{екв}}{\nu_p} = \frac{4 \cdot 0,01}{0,659 \cdot 10^{-6}} = 6,07 \cdot 10^4 > 10^4$. Режим руху турбулентний.

При турбулентній течії в каналах некруглого перетину тепловіддача може бути приблизно розрахована за формулою:

$$Nu_p = 0,021 Re_p^{0,8} Pr_p^{0,43} \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = 0,021 (6,07 \cdot 10^4)^{0,8} (4,3)^{0,43} \left(\frac{4,3}{1,95} \right)^{0,25} = 320$$

і коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha = Nu_p \frac{\lambda_p}{d_{екв}} = 320 \frac{0,634}{0,01} = 20\,300 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
$l, \text{ м}$	1,6	1,9	1,5	2	1,6	2,1
$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	40	45	38	36	40	42
$t_{cm}, \text{ }^\circ\text{C}$	90	89	78	90	89	76
$\omega_p, \text{ м/с}$	4	6	5	3	4	5

Тема 4. Вимушена конвекція

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Теплообмін при поперечному обтіканні труби.
2. Теплообмін при поперечному обтіканні пучків труб.
3. Теплообмін при обтіканні плоскої поверхні.
4. Механізм процесу кипіння та його види; стадії пароутворення.
5. Умови існування парової бульбашки та її мінімальний радіус.
6. Швидкість зростання парових бульбашок; число Якоба.
7. Сили, що діють на парову бульбашку, та її відривний діаметр.

8. Крива кипіння; кризи кипіння.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача

Дано	Рішення
$d=38 \text{ мм}=0,038\text{м}$	Середня температура повітря
$S_1 = S_2=2,5D$	$t_p = 0,5(t_{p1} + t_{p2}) = 0,5(20 + 80) = 50^\circ\text{C}.$
$m = 8$	За $t_p = 50^\circ\text{C}$: $\nu_p = 17,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\lambda_p = 2,83 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$
$n = 5$	
$t_{p1} = 20^\circ\text{C}$	$Re_p = \frac{\omega d}{\nu_p} = \frac{10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-2}}{17,95 \cdot 10^{-6}} = 2,12 \cdot 10^4.$
$t_{p2} = 80^\circ\text{C}$	
$t_{cm} = 150^\circ\text{C}$	При $10^3 \leq Re_p \leq 10^5$ за формулою для труб третього ряду
$\omega_p = 10 \text{ м/с}$	коридорного пучка
$Q = 125 \text{ кВт}$	
$l - ?$	$Nu_{pd} = 0,26 Re_{pd}^{0,65} \cdot Pr_p^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{S_2}{d}\right)^{-0,15}$

Для повітря $Pr_p \approx 0,70$, і формула приймає вигляд:

$$Nu_p = 0,23 Re_p^{0,65} \varepsilon_s,$$

де $\varepsilon_s = (s_2 / d)^{-0,15} = (2,5)^{-0,15} = 0,87$.

Підставляючи знайдені значення, одержуємо:

$$Nu_p = 0,23 \cdot (2,12 \cdot 10^4)^{0,65} \cdot 0,87 = 130.$$

Коефіцієнт тепловіддачі для третього ряду

$$\alpha_3 = Nu_p \frac{\lambda_p}{d} = 130 \frac{2,83 \cdot 10^{-2}}{3,8 \cdot 10^{-2}} = 96,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}).$$

Середній коефіцієнт тепловіддачі коридорного пучка при $n \geq 3$

$$\bar{\alpha} = \alpha_3 \left(1 - \frac{0,5}{n}\right) = 96,8 \left(1 - \frac{0,5}{5}\right) = 87,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}).$$

Щільність теплового потоку і необхідна площа поверхні нагріву визначаються за наступними формулами:

$$q = \bar{\alpha}(t_{cm} - t_p) = 87,2(150 - 50) = 8720 \text{ Вт/м}^2$$

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{125 \cdot 10^3}{8,72 \cdot 10^3} = 14,3 \text{ м}^2.$$

Тоді необхідна довжина труб складає

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot m \cdot n} = \frac{14,3}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 8 \cdot 5} = 3 \text{ м.}$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
d , мм	38	32	47	41	50	36
$S_1 = S_2 = 2,5D$						
m	8	6	5	9	10	8
n	5	3	6	3	4	7
t_{p1} , °C	20	22	25	20	21	20
t_{p2} , °C	80	75	70	81	65	62
t_{cm} , °C	150	120	110	100	145	128
ω_p , м/с	10	9	6	8	10	7
Q , кВт	125	110	120	110	100	125

Тема 5. Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні

1. *Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:*

1. Рівняння тепловіддачі при бульбашковому кипінні у великому об'ємі.
2. Бульбашкове кипіння при вимушеній конвекції.
3. Характеристика та види процесів конденсації.
4. Рівняння подібності тепловіддачі при конденсації пари.
5. Вплив на тепловіддачу при конденсації різних факторів.
6. Схема процесу переносу енергії тепловим випромінюванням; носії променевої енергії.
7. Види теплового випромінювання.

2. *Опитування.*

3. *Практичні завдання.*

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Обмурівка топкової камери парового котла виконана з шамотної цеглини, а зовнішня обшивка - з листової сталі. Відстань між обшивкою і цегляною кладкою дорівнює 30 мм, і можна вважати її малою у порівнянні з розмірами стін топки. Обчислити втрати теплоти в навколишнє середовище з одиниці поверхні в одиницю часу в умовах стаціонарного режиму за рахунок променевого теплообміну між поверхнями обмурівки і обшивки. Температура зовнішньої поверхні обмурівки $t_1=127^\circ\text{C}$, а температура сталевий обшивки $t_2=50^\circ\text{C}$. Ступінь чорнота шамота $\varepsilon_{\text{ш}} = 0,8$ і листовий сталі $\varepsilon_{\text{ст}} = 0,6$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$\delta=30\text{ мм} = 0,03\text{ м}$	Обшивку і цегляну кладку можна розглядати як дві безмежні плоскопаралельні поверхні, розділені прозорим середовищем. Для такої системи тіл результуюче випромінювання обчислюється за формулою
$t_1=127^\circ\text{C}$	
$t_2=50^\circ\text{C}$	
$\varepsilon_{\text{ш}} = 0,8$	
$\varepsilon_{\text{ст}} = 0,6$	
$\Phi - ?$	

$$\Phi = \varepsilon_{36} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

$$\text{де } \varepsilon_{36} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,6} - 1} = 0,522.$$

$$\text{Тоді } \Phi = 0,522 \cdot 5,67 \left[\left(\frac{127+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{50+273}{100} \right)^4 \right] = 435 \text{ Вт/м}^2.$$

Задача 2.

Визначити тепловий потік від вертикальної плити висотою $h=2\text{ м}$ і шириною $b = 5\text{ м}$ з температурою $t_{\text{cm1}}=100^\circ\text{C}$ у навколишнє середовище, у якому знаходиться спокійне повітря, що має температуру $t_{\text{нов}}=20^\circ\text{C}$. На відстані $0,3\text{ м}$ від плити розміщено вертикальну стінку, температура якої $t_{\text{cm2}}=20^\circ\text{C}$. Ступінь чорноти плити і стінки однакові і дорівнюють $\varepsilon_1 = \varepsilon_2=0,9$.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$h=2\text{ м}$	У задачі дано складний випадок теплообміну, коли сумарний тепловий потік визначається за рівнянням: $\Phi_o = \Phi_k + \Phi_{\text{випр.}},$ де Φ_k – тепловий потік, що передається конвекцією, Вт; $\Phi_{\text{випр.}}$ - тепловий потік, що передається випромінюванням, Вт;
$b = 5\text{ м}$	
$t_{\text{cm1}}=100^\circ\text{C}$	
$t_{\text{нов}}=20^\circ\text{C}$	
$t_{\text{cm2}}=20^\circ\text{C}$	

Дано

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$$

$$l = 0,3 \text{ м}$$

 Φ -?**Рішення**

Для визначення режиму течії за вільної конвекції знаходимо значення комплексу $(Gr \cdot Pr)$. За температури

$$t_{нов} = 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ для повітря з табл. 1 (додатка В):}$$

$$\lambda = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К); } \nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2\text{/с; } Pr = 0,703.$$

$$(Gr \cdot Pr) = \frac{gl^3}{\nu^2} \beta \Delta t \cdot Pr =$$

$$= \frac{9,81 \cdot 2^3 \cdot (100 - 20)}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2 (273 + 20)} \cdot 0,703 = 6,64 \cdot 10^{10}$$

Оскільки $(Gr \cdot Pr) > 10^9$ – режим турбулентний, тому використовуємо рівняння

$$Nu_{pl} = 0,15 (Gr_{pl} \cdot Pr_p)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,15 \cdot (6,64 \cdot 10^{10})^{0,33} = 610$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{l} = 610 \cdot \frac{2,59 \cdot 10^{-2}}{2} = 7,92 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

$$\text{Тоді } \Phi_k = \alpha \Delta t F = 7,92 \cdot 80 \cdot 10 = 6340 \text{ Вт} = 6,34 \text{ кВт.}$$

Тепловий потік, що передається випромінюванням:

$$\Phi_{випр} = \varepsilon_{36} C_0 \left[\left(\frac{T_{cm1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cm2}}{100} \right)^4 \right] \cdot F = \Phi = \frac{c_0}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \left[\left(\frac{T_{cm1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cm2}}{100} \right)^4 \right] \cdot F,$$

$$\Phi_{випр} = \frac{5,67}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 1} \left[\left(\frac{100 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 10 = 5670 \text{ Вт} = 5,67 \text{ кВт.}$$

$$\text{Тому } \Phi_o = \Phi_k + \Phi_{випр} = 6,34 + 5,67 = 12,010 \text{ кВт}$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. № 3, 8	Вар. № 4, 9	Вар. № 5, 10	Вар. № 6, 11
h, м	2	1	3	2	1	3
b, м	5	4	4	3	2	5
t_{cm1} , $^\circ\text{C}$	100	110	100	90	100	

$t_{нос}, ^\circ C$	20	22	22	20	20	25
$t_{см2}, ^\circ C$	20	22	22	21	21	23
$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$						
$l, м$	0,3	0,4	0,1	0,6	0,5	0,4

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ТЕПЛО- ТА МАСООБМІННІ АПАРАТИ

Тема 6. Розрахунок рекуператора

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Теплопередача крізь стінку; коефіцієнт та термічний опір теплопередачі.
2. Шляхи інтенсифікації теплопередачі; теплова ізоляція.
3. Призначення, різновиди та принцип роботи теплообмінних апаратів.
4. Рівняння теплового балансу рекуперативного теплообмінника; визначення необхідної поверхні теплообміну.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Обчислити коефіцієнт тепловіддачі при кипінні води і кількість пари, що одержується у випарнику за 1 ч, загальна площа поверхні якого 5 м². температура стінки випарника $t_{см} = 156^\circ C$. Тиск пари 0,45 МПа.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$F = 5 \text{ м}^2$ $t_{см} = 156^\circ C$ $t_p = 148^\circ C$ $p = 0,45 \text{ МПа}$ $\tau = 1 \text{ година}$	З таблиці для водяної пари приймаємо температуру насичення пари при заданому тиску $p = 0,45 \text{ МПа}$: $t_p = 148^\circ C$ та теплоту паротворення $r = 2120,9 \text{ кДж/кг}$. Різниця температур між поверхнею і паром складає $8^\circ C$. Коефіцієнт тепловіддачі визначимо за формулою: $\alpha = 146 \cdot \Delta t^{2,33} \cdot p^{0,5} = 146 \cdot 8^{2,33} \cdot 0,45^{0,5} = 12850 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ Кількість теплоти, що була віддана при кипінні: $Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot F = 12850 \cdot 8 \cdot 5 = 515000 \text{ Вт} = 515 \text{ кВт}$ Маса пари, яка отримується у випарнику за годину: $m = \frac{Q \cdot \tau}{r} = \frac{515000 \cdot 3600}{2120900} = 875 \text{ кг/г}$

Задача 2.

Плоска стінка агрегату розмірами $B \times H$, м і товщиною δ_1 , мм має зовнішній шар ізоляції товщиною δ_2 , мм. Температура поверхні стінки усередині агрегату t_1 , °C, зовнішньої поверхні ізоляції t_3 , °C; коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки λ_1 , Вт/(м·град), ізоляції λ_2 , Вт/(м·град). Визначити термічний опір двошарової стінки; густину та величину теплового потоку крізь неї; температуру на стику шарів, на відстані $\delta_1/4$ від внутрішньої поверхні стінки та на відстані $\delta_2/3$ від зовнішньої поверхні шару ізоляції. Побудуйте графік розподілу температур по товщині стінки.

Рішення

Термічний опір теплопровідності багатошарової плоскої стінки дорівнює сумі термічних опорів окремих її шарів: $R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$.

Густина та величина теплового потоку крізь стінку з n шарів становлять:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{R_{\Sigma}}; \quad Q = q \cdot B \cdot H$$

Температура за k – тим шаром може бути розрахована за виразом:

$$t_{(k+1)} = t_1 - q \sum_{i=1}^k \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

Градiєнт температур у k - тому шарі стінки при сталому значенні λ_k його матеріалу є також величиною сталою:

$$\left(\frac{dt}{dx} \right)_k = - \frac{t_k - t_{k+1}}{\delta_k}$$

Для визначення температури у деякому перерізі k – того шару стінки можна використати її залежність від координати:

$$t(x) = t_k - \frac{t_k - t_{k+1}}{\delta_k} x,$$

де $0 \leq x \leq \delta_k$ – відстань від поверхні k – того шару, що має температуру t_k .

Зважаючи на лінійний характер зміни температур у кожному з шарів, для побудови графіку достатньо значень t_1 , t_2 та t_3 .

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
$F, \text{ м}^2$	5	6	4	8	4	9
$t_{cm}, \text{ }^\circ\text{C}$	156	143	167	146	158	160
$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	148	178	165	154	143	168
$p=0,45 \text{ МПа}$						
$\tau=1 \text{ година}$						

Тема 7. Розрахунок конденсатора

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Кількість речовини. Молярна маса
2. Що таке тиск. Як він визначається
3. Дайте визначення терміну «температура»
4. В яких одиницях вимірюється температура тіла? Які види температури Ви знаєте?
5. Будова й властивості твердих тіл.
6. В яких одиницях вимірюється тиск? Які види тиску Ви знаєте?
7. Теплові явища.
8. Термодинамічна рівновага
9. Способи вимірювання температури
10. Внутрішня енергія тіл.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Визначити середнє значення коефіцієнта тепловіддачі з боку сухої насиченої пари аміаку, що конденсується на поверхні горизонтального кожухотрубного конденсатора. Конденсація здійснюється холодною водою з температурою 21°C, тиск конденсації 10 атм. Діаметр труб 19×1,5 мм. Розташування труб шахове.

Дано

$$\begin{aligned}d &= 19 \times 1,5 \text{ мм} \\ t_p &= 21^\circ\text{C} \\ p &= 10 \text{ атм} = 1 \text{ МПа}\end{aligned}$$

α -?

Рішення

З таблиці для аміаку або з фазової діаграми визначаємо, що тиску у 1 МПа відповідає температура насичення $t_n = 24,3^\circ\text{C}$. Теплота пароутворення $r = 1169 \text{ кДж/кг}$.

Температура поверхні стінки дорівнює температури охолоджуючої рідини, тобто складає 21 °С.

Середня температура плівки конденсату:

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_p + t_n}{2} = \frac{21 + 24,3}{2} = 22,7^\circ\text{C}.$$

Фізичні параметри аміаку за середньої температури:

$$\rho'' = 606 \text{ кг/м}^3; \lambda'' = 0,48 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; \mu = 13,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі для першого ряду труб:

$$\alpha = 0,724 \sqrt{\frac{\lambda^{n3} \cdot \rho^{n2} \cdot r}{\mu \Delta t d}} = 0,724 \sqrt{\frac{0,48^3 \cdot 606^2 \cdot 1169}{13,8 \cdot 10^{-6} \cdot 3,3 \cdot 0,019}} = 1959 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

Для визначення коефіцієнту тепловіддачі для наступних рядів необхідно добути отримане значення на поправочний коефіцієнт.

Задача 2.

У поверхневому мастилоохолоджувачі трансформаторна мастило охолоджується з 80°C до 30°C. Охолоджуюча вода входить з температурою 5°C. Витрати мастило і води рівні відповідно 0,28 кг/с і 0,56 кг/с. Визначити температуру води на виході з мастилоохолоджувачі. Середню масову теплоємність мастила для даного інтервалу температур прийняти 1,88 кДж/(кгК).

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$t'_1 = 80^\circ \text{C}$	Визначимо тепловий потік, що віддає мастило у ТОА за формулою: $\Phi_1 = m_1 \cdot c \cdot (t'_1 - t''_1) = 0,28 \cdot 1,88 \cdot (80 - 30) = 26,32 \text{ кДж/с} = 26,32 \text{ кВт.}$ Згідно теплового балансу теплообмінника $\Phi_1 = \Phi_2$. $\Phi_2 = m_2 \cdot c \cdot (t''_2 - t'_2) \rightarrow$
$t''_1 = 30^\circ \text{C}$	
$t'_2 = 5^\circ \text{C}$	
$m_1 = 0,28 \text{ кг/с}$	
$m_2 = 0,56 \text{ кг/с}$	
$c_1 = 1,88 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$t''_2 = \frac{\Phi_2}{m_2 c} + t'_2 = \frac{26,32}{0,56 \cdot 4,2} + 5 = 10,53^\circ \text{C.}$
$c_2 = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	
$t''_2 = ?$	

Задача 3.

Теплота вихідних газів котла використовується для нагрівання повітря, необхідного для спалювання палива. Температура газів змінюється від температури $t'_1 = 380^\circ \text{C}$ до $t''_1 = 150^\circ \text{C}$, а температура повітря від $t'_2 = 20^\circ \text{C}$ до $t''_2 = 120^\circ \text{C}$. Визначити середню різницю температур для випадків використання прямооточного і проти точного апаратів. Проаналізувати результати.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$t'_1 = 380^\circ \text{C}$	Середню різницю температур визначаємо за формулою: $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{ex} - \Delta t_{вих}}{\ln \frac{\Delta t_{ex}}{\Delta t_{вих}}}$
$t''_1 = 150^\circ \text{C}$	
$t'_2 = 20^\circ \text{C}$	
$t''_2 = 120^\circ \text{C}$	
$\Delta t_{cp} = ?$	1. Для прямооточного апарата маємо: 350 °C → 150 °C; 20 °C → 120 °C;

Дано

Рішення

$$\Delta t_{\text{вх}} = 350 - 20 = 330^\circ\text{C}; \Delta t_{\text{вих}} = 150 - 120 = 30^\circ\text{C}.$$

Тоді
$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{330 - 30}{\ln \frac{330}{30}} = 125^\circ\text{C}.$$

2. Для протиточного апарата:

$$350^\circ\text{C} \rightarrow 150^\circ\text{C}; 120^\circ\text{C} \leftarrow 20^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{вх}} = 350 - 120 = 230^\circ\text{C}; \Delta t_{\text{вих}} = 150 - 20 = 130^\circ\text{C}.$$

Середня різниця температур
$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{230 - 130}{\ln \frac{230}{130}} = 175^\circ\text{C}.$$

У випадку протитоку середня різниця температур на $\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{\Delta}$ значно більше, ніж у випадку прямогоку, і якщо визначати площі поверхонь нагріву апарата за формулою, то вони будуть зворотно пропорційні різницям температур за різних схем течії:

$$\frac{F_{\text{протит}}}{F_{\text{прям}}} = \frac{\Delta t_{\text{прям}}}{\Delta t_{\text{протит}}} = \frac{125}{175} = 0,7$$

Площа поверхні теплообміну за протитоку на 30 % менше, ніж за прямоотоком.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
$t'_1, ^\circ\text{C}$	380	360	230	290	375	370
$t''_1, ^\circ\text{C}$	150	155	145	148	160	135
$t'^2, ^\circ\text{C}$	20	15	25	30	10	15
$t''_2, ^\circ\text{C}$	120	123	135	120	140	136

Тема 8. Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння. Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Дайте визначення терміну « кількість теплоти »
2. Теплоємність. Які види теплоємності існують?
3. Ізохорний процес
4. Ізотермічний процес

5. Ізобарний процес
6. Адіабатний процес
7. Політропний процес
8. Модель ідеального газу
9. Пароутворення.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Коефіцієнт теплопровідності плоскої стінки товщиною δ , мм змінюється від температури за залежністю $\lambda = \lambda_0 (1 + \beta t)$, Вт/(м·град). За температури поверхонь стінки $t_1, ^\circ\text{C}$ та $t_2, ^\circ\text{C}$ визначити середнє значення коефіцієнта теплопровідності, густину теплового потоку крізь стінку та градієнт температур на її поверхнях.

Рішення

У разі зміни коефіцієнту теплопровідності від температури за лінійним законом середнє його значення у інтервалі температур стінки $t_1 \div t_2$ визначається за виразом:

$$\lambda_{cp} = \lambda_0 \left(1 \pm \beta \frac{t_1 + t_2}{2} \right), \frac{\Delta \dot{Q}}{\delta \cdot \Delta t}$$

Для визначення градієнтів температур на поверхнях стінки слід спочатку знайти значення коефіцієнтів теплопровідності матеріалу стінки за відповідної їх температури t_1 та t_2 , розрахувати густину теплового потоку крізь стінку: $q = \lambda_{cp} \frac{t_1 - t_2}{\delta}, \frac{\Delta \dot{Q}}{\delta \cdot \Delta t}$, а потім знайти значення градієнтів з використанням

рівняння Фур'є: $\frac{dt}{dx} = -\frac{q}{\lambda(t)}, \frac{\Delta \dot{Q}}{\delta \cdot \Delta t}$.

Задача 2.

Циліндрична стінка довжиною l , м, на внутрішній поверхні діаметром d_1 , мм має температуру $t_1, ^\circ\text{C}$, на зовнішній діаметром d_2 , мм – $t_2, ^\circ\text{C}$; коефіцієнт теплопровідності стінки λ , Вт/(м·град). Визначити термічний опір теплопровідності стінки; тепловий потік крізь неї; лінійний тепловий потік; температуру посередині стінки, на відстані $(d_2 - d_1)/8$ від внутрішньої та зовнішньої поверхні; градієнт температур на внутрішній та зовнішній поверхнях. Побудуйте графік зміни температури по товщині стінки.

Рішення

Термічний опір циліндричної стінки, тепловий потік крізь неї та значення лінійного теплового потоку розраховують за формулами:

$$R_{\lambda}^{\text{в}} = \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad \dot{q} = \frac{(t_1 - t_2)\pi l}{\frac{1}{2\lambda} \ln d_2 / d_1}, \quad \hat{A} \dot{\delta}; \quad q_l = \frac{(t_1 - t_2)\pi}{\frac{1}{2\lambda} \ln d_2 / d_1}, \quad \hat{A} \dot{\delta}.$$

Для визначення температури та її градієнту у різних перерізах стінки слід використовувати залежності:

$$t(r) = t_1 - (t_1 - t_2) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad \frac{\partial t}{\partial r} = - \frac{(t_1 - t_2)}{r \ln r_2 / r_1},$$

де $r_1 = d_1/2$; $r_2 = d_2/2$ – внутрішній та зовнішній радіус стінки;

r – поточний радіус вибраного перерізу стінки; його значення для умов задачі становлять: $r = r_1$ на внутрішній поверхні; $r = r_2$ на зовнішній поверхні; $r = (r_1 + r_2)/2$ для середини стінки; $r = r_1 + (d_2 - d_1)/8$ та $r = r_2 - (d_2 - d_1)/8$ для інших двох перерізів. Графік розподілу температур у стінці будують по заданим значенням температури поверхонь та трьом визначеним у розрахунку.

Задача 3.

Пластина товщиною S , мм з температурою t_0 , °C охолоджується (нагрівається) з двох боків у середовищі, температура якого t_{cp} , °C. Коефіцієнт теплопровідності, густина та теплоємність матеріалу пластини λ , Вт/(м·град); ρ , кг/м³; c , кДж/(кг·град); коефіцієнт тепловіддачі α , Вт/(м²·град). Визначити температуру поверхні та середини пластини через τ , хвилин після початку процесу. За який час температура поверхні та середини досягне значення $(t_0 + t_{cp})/2$, °C?

Рішення

За умов задачі спочатку визначають числа Біо та Фур'є:

$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda}; \quad Fo = \frac{a \tau}{\delta^2},$$

де $\delta = S/2$ – визначальний розмір (половина товщини пластини);

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} - \text{коефіцієнт температуропровідності матеріалу, } \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

При $Bi < 0,1$ має місце нагрів (охолодження) термічно тонкого тіла; температура його t у будь-якій точці (у тому числі на поверхні і в середині) однакова і є лише функцією часу τ ; її можна визначити з формули:

$$\Theta = \frac{t - t_{cp}}{t_0 - t_{cp}} = \exp(-Bi \cdot Fo).$$

Шляхом логарифмування цієї формули можна визначити число Fo_1 , що відповідає часу τ_1 , с, для досягнення температури у термічно тонкому тілі величини $t_1 = (t_0 + t_{cp})/2$, °C:

$$Fo_1 = \frac{a \cdot \tau_1}{\delta^2} = \frac{\ln \frac{t_1 - t_{cp}}{t_0 - t_{cp}}}{-Bi}.$$

У разі $Bi \geq 0,1$ має місце нагрів (охолодження) термічно масивного тіла. За розрахункових значень Bi та Fo з номограм додатків Б та В визначають

безрозмірні температури поверхні $\Theta_{\text{rri}\hat{a}} = \frac{t_{\text{rri}\hat{a}} - t_{\text{cp}}}{t_0 - t_{\text{cp}}}$ та середини пластини

$\Theta_c = \frac{t_c - t_{\text{cp}}}{t_0 - t_{\text{cp}}}$, а по їх величинам – температури поверхні $t_{\text{пов}}$ та середини t_c .

Позначимо час досягнення температурою поверхні та середини пластини величини $t_{1(2)} = (t_0 + t_{\text{cp}})/2$ через τ_1 та τ_2 . За безрозмірним значенням

температури $\Theta_{1(2)} = \frac{t_{1(2)} - t_{\text{cp}}}{t_0 - t_{\text{cp}}}$ та числом Bi з додатків Б та В знаходимо числа

$Fo_1 = \frac{a \cdot \tau_1}{\delta^2}$ та $Fo_2 = \frac{a \cdot \tau_2}{\delta^2}$, а за ними величини τ_1 та τ_2 .

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 8.

Таблиця 8

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
$l, \text{ м}$	380	360	230	290	375	370
$d_1, \text{ мм}$	150	155	145	148	160	135
$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$,	20	15	25	30	10	15
$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	120	123	135	120	140	136

Тема 9. Основи розрахунку випарних установок з центральною циркуляційною трубою

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Термодинамічна систем та її основні параметри
2. Кількість речовини. Молярна маса
3. Закон Авогадро
4. Суміш газів
5. Закони ідеальних газів
6. Тиск газу. Парціальний тиск
7. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу.
8. Рівняння Менделєєва-Клапейрона.
9. Пароутворення й конденсація. Кипіння
10. Насичена й ненасичена пара. Діаграми водяної пари
11. Вологість повітря. Точка роси. Методи вимірювання вологості повітря.
12. Властивості рідин. Поверхневий натяг рідини. Змочування. Капілярні явища.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача 1.

Трубу з зовнішнім діаметром d , мм та довжиною l , м обтікає поперечний потік повітря зі швидкістю ω , м/с під кутом β , $^{\circ}$ до її осі. Температура труби $t_{ст}$, $^{\circ}\text{C}$, повітря $t_{ср}$, $^{\circ}\text{C}$. Знайти коефіцієнт тепловіддачі, густину теплового потоку та тепловий потік від поверхні труби до повітря. За якої швидкості має місце плавне безвідривне обтікання труби повітрям?

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1

№ вар.	d , мм	l , м	ω , м/с	β , $^{\circ}$	$t_{ст}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{ср}$, $^{\circ}\text{C}$	№ вар.	d , мм	l , м	ω , м/с	β , $^{\circ}$	$t_{ст}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{ср}$, $^{\circ}\text{C}$
1, 6	220	1,6	2	20	100	40	6	120	1,1	4	70	240	25
2, 7	150	1,5	2	10	150	40	7	130	1,0	5	75	260	35
3, 8	180	1,4	3	35	180	35	8	140	0,9	5	55	280	45
4, 9	120	1,3	3	45	200	20	9	150	0,8	6	80	300	28
5, 10	100	1,2	4	60	220	20	0	160	0,7	6	65	320	38

Рішення

Середнє значення безрозмірного коефіцієнта тепловіддачі при набіганні потоку під кутом 90° до осі труби становить:

$$- \overline{Nu} = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda_{ср}} = 0,56 Re^{0,6} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr_{ср}}{Pr_{н\delta}} \right)^{0,25} \quad \text{при } 5 < Re \leq 10^3 ;$$

$$- \overline{Nu} = 0,28 Re^{0,6} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr_{ср}}{Pr_{н\delta}} \right)^{0,25} \quad \text{при } Re > 10^3 ,$$

$$\text{де } Re = \frac{\omega \cdot L}{\nu_{ср}} ; \quad Pr = \frac{\nu_{ср}}{a_{ср}} - \text{числа Рейнольдса та Прандтля};$$

$\lambda_{ср}, a_{ср}, \nu_{ср}$ - теплофізичні параметри повітря при його температурі $t_{ср}$, які знаходять лінійною інтерполяцією з додатку Е.

У якості визначального розміру L тут приймається діаметр труби. При набіганні потоку на трубу під деяким кутом β , що є відмінним від 90° , отримане значення коефіцієнта тепловіддачі α повинно бути скореговано:

$\alpha_{\beta} = \alpha \cdot \varepsilon_{\beta}$, де поправний коефіцієнт ε_{β} визначають інтерполяцією наступних даних:

$\beta, ^\circ$	80	70	60	50	40	30	20	10
ε_β	1	0,98	0,95	0,87	0,76	0,66	0,6	0,56

Густину теплового потоку та тепловий потік від поверхні труби до повітря визначають за формулами: $q = \alpha_\beta \cdot (t_{c\delta} - t_{cp}), \frac{\hat{A}\delta}{l^2}$; $Q = q \cdot F, \hat{A}\delta$, де $F = \pi \cdot d \cdot l$ – площа поверхні труби, м².

При визначенні швидкості руху середовища, за якої має місце плавне безвідривне обтікання труби, слід зважати на те, що таке явище відповідає $5 \geq Re$.

Задача 2.

Крізь пучок труб з зовнішнім діаметром d , мм рухається поперечний потік димових газів з температурою t_{cp} , °C та швидкістю ω , м/с. Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, якщо у напрямку руху потоку розташовано n рядів труб.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2

№ вар.	Розташування труб	d, мм	ω , м/с	t_{cp} , °C	n	№ вар.	Розташування труб	d, мм	ω , м/с	t_{cp} , °C	n
1	Коридорне	60	2	840	8	6	Коридорне	30	4	825	3
2	Шахове	50	2	940	7	7	Шахове	55	5	850	4
3	Коридорне	80	3	735	6	8	Коридорне	40	5	945	5
4	Шахове	40	3	920	5	9	Шахове	50	6	780	6
5	Коридорне	45	4	1020	4	0	Шахове	60	6	840	7

Рішення

Коефіцієнт тепловіддачі α_3 для глибинних рядів труб, починаючи з третього, визначають для коридорного пучка труб при $Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu_{cp}} \leq 10^3$ та

$Re > 10^3$ відповідно за формулами:

$$Nu = \frac{\alpha_3 \cdot d}{\lambda_{cp}} = 0,56 Re^{0,5} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr_{cp}}{Pr_{\hat{n}\delta}} \right)^{0,25}; \quad Nu = 0,22 Re^{0,65} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr_{cp}}{Pr_{\hat{n}\delta}} \right)^{0,25}.$$

При шаховому розташуванні труб і значенні $Re \leq 10^3$ та $Re > 10^3$ відповідні формули для визначення α_3 мають вигляд:

$$Nu = 0,56 Re^{0,5} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr_{cp}}{Pr_{\hat{n}\delta}} \right)^{0,25}; \quad Nu = 0,4 Re^{0,6} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr_{cp}}{Pr_{\hat{n}\delta}} \right)^{0,25}.$$

Для труб другого ряду при їх коридорному розташуванні коефіцієнт тепловіддачі складає $\alpha_2 = 0,9\alpha_3$, при шаховому - $\alpha_2 = 0,7\alpha_3$; для першого ряду $\alpha_1 = 0,6\alpha_3$ у обох випадках.

Середній коефіцієнт тепловіддачі визначають за формулою:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + (n-2)\alpha_3}{n}, \frac{\hat{A}\delta}{i^2 \cdot \hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{i}}$$

Значення теплофізичних параметрів $\lambda_{cp}, a_{cp}, \nu_{cp}$ димових газів при їх температурі t_{cp} , що входять до чисел Re, Nu та $Pr = \frac{\nu_{cp}}{a_{cp}}$, визначають лінійною інтерполяцією з додатку Е [4].

Тема 10. Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Способи передачі теплоти
2. Термодинамічна рівновага
3. Температура. Способи вимірювання температури
4. Внутрішня енергія тіл. Способи зміни внутрішньої енергії тіла
5. Робота і кількість теплоти. Робота термодинамічного процесу.
6. Теплоємність. Ізобарна та ізохорна теплоємності. Теплоємність суміші
7. Перший та другий закони термодинаміки.
8. Цикл Карно
9. Необоротність теплових процесів
10. Холодильна машина.
11. Цикли холодильних машин
12. T-s діаграма
13. Вологе повітря.
14. Ступень сухості та ступінь вологості
15. Діаграми вологого повітря
16. Насичена та ненасичена водяна пара
17. Перегріта водяна пара
18. В чому відмінність випарювання та випаровування?

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача 1. Знайти площу рекуперативного теплообмінника для нагрівання G_2 , кг/с середовища при його теплоємності $C_{p2}, \frac{\hat{e}\hat{A}\hat{e}}{\hat{e}\hat{a}\hat{e}\hat{E}}$ від t_2' , °C до t_2'' , °C, якщо коефіцієнт теплопередачі становить $K, \frac{\hat{A}\delta}{i^2 \cdot \hat{E}}$, а температура гарячого

теплоносія змінюється від t_1' , $^{\circ}\text{C}$ до t_1'' , $^{\circ}\text{C}$. Яка витрата гарячого теплоносія потрібна за його теплоємності C_{p1} , $\frac{\hat{e}\ddot{A}\varepsilon}{\hat{e}\tilde{\alpha}\cdot\hat{E}}$?

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 10.

Таблиця 10

№ вар.	Рух теплоносіїв	G_2 , кг/с	C_{p2} , $\frac{\hat{e}\ddot{A}\varepsilon}{\hat{e}\tilde{\alpha}\cdot\hat{E}}$	t_2' , $^{\circ}\text{C}$	t_2'' , $^{\circ}\text{C}$	K , $\frac{\hat{A}\delta}{i^2\cdot\hat{E}}$	t_1' , $^{\circ}\text{C}$	t_1'' , $^{\circ}\text{C}$	C_{p1} , $\frac{\hat{e}\ddot{A}\varepsilon}{\hat{e}\tilde{\alpha}\cdot\hat{E}}$
1	Прямоток	0,10	1,05	15	150	3,0	400	200	1,18
2	Протиток	0,15	1,06	18	160	3,2	400	200	1,12
3	Прямоток	0,20	1,07	20	170	3,5	450	200	1,14
4	Прямоток	0,25	1,08	25	180	3,7	450	250	1,20
5	Протиток	0,08	1,09	15	190	4,0	500	250	1,16
6	Протиток	0,12	1,10	18	200	4,2	500	250	1,18
7	Прямоток	0,16	1,02	20	210	4,5	550	300	1,12
8	Прямоток	0,24	1,03	25	220	4,8	550	300	1,14

Рішення

Поверхню теплообміну визначають з рівняння теплопередачі:

$$F = \frac{G_2 \cdot c_{p2} (t_2'' - t_2')}{K \cdot \Delta t}, \text{ м}^2,$$

де Δt - середній температурний напір, тобто, середня різниця температур між гріючим та нагріваємым теплоносіями, яку для прямотоку та протитоку визначають за формулами відповідно:

$$\Delta t = \frac{(t_1'' - t_2'') - (t_1' - t_2')}{\ln \frac{t_1'' - t_2''}{t_1' - t_2'}}; \quad \Delta t = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}.$$

Витрату гарячого теплоносія G_1 визначають з рівняння теплового балансу:

$$G_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = G_2 c_{p2} (t_2'' - t_2') \quad [4].$$

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

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕПЛОМАСООБМІНУ

Тема 1. Теплопередача через одношарову та багатошарову стінку

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

Як називають перехід речовини з однієї фази в іншу внаслідок хаотичного руху молекул в нерухомому рідкому (газоподібному) середовищі

- A. молекулярна дифузія
- B. конвективна дифузія
- C. термодифузія
- D. бародифузія

Кількість теплоти, що переноситься через будь-яку ізотермічну поверхню в одиницю часу

- A. термічний опір
- B. теплова провідність стінки
- C. щільність теплового потоку (питомим тепловим потоком)
- D. тепловий потік (теплова потужність)

Волога, яка видаляється на початковому етапі сушіння з продукту

- A. структурна волога
- B. хімічна волога
- C. механічна волога
- D. осмотична волога

Скількома критеріями подібності характеризується (описується) конвективний теплообмін

- A. двома
- B. чотирма
- C. п'яти
- D. восьма

Види руху рідини

- A. прямопропорційним та конвективним
- B. лінійним та хаотичним
- C. ламінарним та турбулентним

D. механічним

Формула, за якою визначається теплообмін в необмеженому просторі при вільному русі рідини

A.
$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$$

B.
$$Nu_{pl} = 0,15 (Gr_{pl} \cdot Pr_p)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$$

C.
$$Nu_{pd} = 0,5 (Gr_{pd} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$$

D.
$$Nu_{ph} = 0,75 (Gr_{ph} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$$

Режим кипіння буває

- A. бульбашковий
- B. перехідний
- C. плівковий
- D. всі відповіді вірні

Що означає ідеальний газ

- A. відсутні сили взаємодії між молекулами
- B. сили відштовхування рівні нулю
- C. газ у якого відсутні сили взаємодії між молекулами, обсяг дорівнює нулю
- D. газ у якого відсутні сили взаємодії між молекулами, обсяг дорівнює одиниці

Яким законом підпорядковуються ідеальні гази

- A. закон Бойля - Маріотта
- B. закон Гей - Люссака
- C. закон Авогадро
- D. всі відповіді вірні

Теплоємність газів

- A. температура газу
- B. кількість теплоти, яку необхідно при нагріванні одиниці кількості газу (1кг, 1м³, 1 до моль) для зміни температури на 1к в термодинамічній процесі
- C. питома теплоємність
- D. гази у яких відсутні сили взаємодії між молекулами

3. Задачі для самостійного розв'язування.

Задача 1. Знайти кількість тепла, що передається крізь плоску стінку товщиною 100 мм, висотою 3 м і шириною 5 м, якщо температура на її поверхнях складає 20°C і -15°C ; $\lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$.

Задача 2. Визначити різницю температур зовнішньої та внутрішньої поверхонь плоскої стінки товщиною 100 мм, якщо густина теплового потоку крізь неї $1 \text{ кВт}/\text{м}^2$; $\lambda=15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ [9].

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “ Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 2. Теплопередача через циліндричну одношарову та багатшарову стінку.

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

Конвекція

А. самодовільний незворотний процес поширювання теплоти в рідких, твердих і газоподібних середовищах, або переносу 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

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

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

В яких одиницях вимірюється теплопровідність матеріалу

- A. $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$
- B. $\frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$
- C. $\frac{Вт}{м \cdot К}$
- D. $\frac{Вт}{м^2}$

Густина теплового потоку при передачі теплоти теплопровідністю визначається за формулою

- A. $q = \alpha \cdot (t_1 - t_2)$
- B. $q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2)$
- C. $q = c \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4$
- D. $Q = c \cdot m \cdot (t_1 - t_2)$

Термічний опір одношарової пласкої стінки визначається за формулою

- A. $R = \frac{1}{\alpha}$
- B. $R = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$
- C. $R = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}$
- D. $R = \frac{\delta}{\lambda}$

Інтенсивність конвективного теплообміну оцінюється

- A. коефіцієнтом теплопередачі
- B. коефіцієнтом поглинання
- C. коефіцієнтом інтенсивності теплообміну

D. коефіцієнтом тепловіддачі

Якщо коефіцієнт проникності тіла дорівнює 1, то тіло називається

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

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 теплопередачі
- C. коефіцієнтом теплопровідності
- D. коефіцієнтом теплообміну

Яким фізичним тілам властиве теплове випромінювання

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

Про що говориться в законі Планка

- A. будь-яке фізичне тіло в однаковому ступені поглинає промені, що падають, у всіх довжинах хвиль при будь-яких температурах
- B. кожній довжині хвилі відповідає певна інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла що збільшується зі зростанням температури
- C. густина інтегрального випромінювання абсолютно чорного тіла E_s прямо пропорційна четвертому степеню його абсолютної температури
- D. 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

3. Задачі для самостійного розв'язування.

Задача 1. Знайти градієнт температур у плоскій стінці, якщо густина теплового потоку крізь неї 600 Вт/м^2 ; $\lambda = 22 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$.

Задача 2. Визначити густину стаціонарного теплового потоку крізь плоску стінку товщиною 200 мм, якщо залежність коефіцієнта теплопровідності від температури $\lambda = 2(1+0,0008t)$, $\text{Вт/(м}\cdot\text{град)}$, а температури поверхонь стінки 400 і 40 °C [9].

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 3. Тепловіддача та основи теплопровідності.

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

Що означає термін «ідеальний газ»

- А. 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
- це газ, який складається тільки з «ідеальних», з точки зору молекулярної фізики, молекул

Теплоємність газів

- А. температура газу
- В. кількість теплоти, яка підводиться до тіла у процесі його нагрівання при постійному тиску
- С. кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання одиниці кількості речовини для зміни температури на 1°C
- Д. характеристика ентальпії газу

Основними термодинамічними параметрами для газів є

- А. молярна маса, масова частка, внутрішня енергія молекул
- В. атмосферний, надлишковий та парціальний тиски

- C. абсолютна температура, абсолютний тиск, абсолютна енергія руху
- D. абсолютний тиск, абсолютна температура, питомий об'єм

Що означає ентальпія газу

- A. універсальна стала характеристика
- B. внутрішня енергія
- C. параметр стану робочого тіла - тепловміст
- D. питомий обсяг газу

Що таке внутрішня енергія

- A. кількість теплоти, необхідна для нагрівання речовини на 1⁰C
- B. кількість теплоти, яку отримує або віддає тіло при теплопередачі
- C. кількість теплоти, яка необхідна для охолодження речовини на 1⁰C
- D. це потенційна і кінетична енергія молекул, що складають тіло

Одиниці виміру тиску

- A. кг/м³
- B. К
- C. Па
- D. Дж

При постійному питомому об'ємі протікає процес

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

При нормальних умовах

- A. T = 273 К, P = 760 мм рт. ст.
- B. T = 237 К, P = 765 мм рт. ст.
- C. T = 760 К, P = 273 мм рт. ст.
- D. T = 873 К, P = 573 мм рт. ст.

Надмірний тиск вимірюється

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

Рівняння PV=mRT

- A. рівняння Менделєєва
- B. рівняння Клапейрона
- C. рівняння Авогадро
- D. рівняння першого закону термодинаміки

3. Задачі для самостійного розв'язування.

Задача 1. За якого значення коефіцієнта тепловіддачі α необмежену пластину товщиною 200 мм ($\lambda = 20$ Вт/(м·град) при двобічному нагріві можна вважати термічно тонкою?

- 1) $\alpha < 20$ 2) $\alpha > 20$ 3) $\alpha < 80$ 4) $\alpha > 80$ 5) $\alpha < 200$ Вт/(м²·град).

Задача 2. За якого значення коефіцієнта тепловіддачі α довгий циліндр діаметром 150 мм ($\lambda = 37,5$ Вт/(м·град) можна вважати термічно масивним?

- 1) $\alpha < 16$ 2) $\alpha > 16$ 3) $\alpha < 50$ 4) $\alpha > 50$ 5) $\alpha > 40$ Вт/(м²·град) [9].

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилев В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 4. Вимушена конвекція.

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

Процес сушіння, під час якого продукт спочатку заморожують, а потім вакуумують, називається

- А. сублимація
- В. екстрагування
- С. ректифікація
- Д. кристалізація

Для здійснення конвективного сушіння використовують

- А. валкові сушарки
- В. шахтні сушарки

- C. розпилювальні сушарки
- D. сублімаційні установки

Критерій Рейнольдса

- A. $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d_{екв}}{\lambda}$
- B. $Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu} = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}$
- C. $Pr = \frac{\nu}{a}$
- D. $Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{g \cdot d^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2}$

За принципом дії теплообмінні апарати (ТОВА) поділяють на

- A. рекуперативні
- B. регенеративні
- C. змішувані
- D. всі відповіді вірні

Термодинамічний процес

- A. вплив на робоче тіло (газ, пар)
- B. вплив середовища
- C. стиснення, розширення, нагрівання
- D. зміна параметрів стану робочого тіла

Теплообмін в необмеженому просторі за турбулентним режимом визначається за формулою

- A. $Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$
- B. $Nu_{pl} = 0,15 (Gr_{pl} \cdot Pr_p)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$
- C. $Nu_{pd} = 0,5 (Gr_{pd} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$
- D. $Nu_{ph} = 0,75 (Gr_{ph} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$

Водяна пара

- A. робоче тіло
- B. сухий пар
- C. теплоносій
- D. вологий пар

Який вид теплообміну існує

- A. теплообмін
- B. теплопровідність, перенесення теплоти мікрочастинками речовини з області високої температури в область низької температури
- C. перенесення теплоти
- D. стиснення, розширення, нагрівання

Конвективний теплообмін

- A. перенесення теплоти
- B. теплопровідність
- C. процес перенесення теплоти за рахунок руху рідкого або газоподібного середовища
- D. теплообмін

Що означає ентальпія газу

- A. сушка і охолодження с / г продукції
- B. внутрішня енергія
- C. параметр стану робочого тіла (газу) - тепловміст
- D. питома обсяг газу

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 5. Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні.

Форми контролю: опитування, перевірка 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

Закон збереження матерії щодо видів енергій

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

При однакових температурі і тиску в рівних об'ємах газу міститься одна й та сама кількість молекул, або 1 моль будь-якого газу при нормальних умовах займає той самий об'єм. Це формулювання

- A. першого закону термодинаміки
- B. першого закону Карно
- C. закону Авогадро
- D. закону Менделєєва-Клапейрона

Закриті термодинамічні системи, це системи в яких

- A. є обмін з навколишнім середовищем і речовиною, і енергією
- B. є обмін з навколишнім середовищем тільки енергією
- C. відсутній будь-який обміну з навколишнім середовищем
- D. всі процеси протікають при постійній температурі

Атмосферний тиск вимірюється

- A. манометрами
- B. вакуумметрами;
- C. барометрами
- D. амперметрами

Який термодинамічний процес протікає при постійному тиску

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

З яких процесів складається цикл Карно

- A. цикл Карно містить всі термодинамічні процеси, які послідовно змінюють один одного
- B. двох ізотермічних, адіабатного та ізохорного
- C. двох ізотермічних і двох ізохорних
- D. двох ізохорних і двох адіабатних

В яких одиницях вимірюється газова стала R

- A. кДж/(кг×К)
- B. кг

- C. кг/м^3
- D. Дж

Яке з наведених рівнянь є рівнянням стану ідеального газу

- A. $P = mRVT$
- B. $PV = mRT$
- C. $PR = mVT$
- D. $Pm = VRT$

Цикли, у яких робота розширення більше роботи стиску, називають

- A. ідеальними циклами
- B. реальними циклами
- C. прямими циклами
- D. зворотними циклами

Задача 1. Знайти температуру поверхні нагріву для утворення і росту на ній парових бульбашок, якщо радіус її мікрозападин $R = 3,5 \cdot 10^{-3}$ мм. Тиск 0,2 МПа, температура насичення $t_n = 120$ °С; коефіцієнт поверхневого натягу $\sigma = 54,84 \cdot 10^{-3}$ н/м; теплота пароутворення $r = 2202,78$ кДж/кг; густина сухої насиченої пари $\rho'' = 1,121$ кг/м³ [9].

Задача 2. Визначити радіус парової бульбашки біля поверхні нагріву з температурою $t_{ст} = 130$ °С через 2 с після утворення. Температура насичення при тиску 0,2 МПа складає $t_n = 120$ °С; параметри води при цій температурі $c_p = 4,25$ кДж/(кг·град); $\rho' = 943,1$ кг/м³; $a = 0,171 \cdot 10^{-6}$ м²/с; теплота пароутворення $r = 2202,78$ кДж/кг; густина сухої насиченої пари $\rho'' = 1,121$ кг/м³ [9].

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ТЕПЛО- ТА МАСООБМІННІ АПАРАТИ

Тема 6. Розрахунок рекуператора

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

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

У законі Дальтона йдеться про те, що

- A. при однакових температурі і тиску в рівних об'ємах газу міститься одна й та сама кількість молекул
- B. загальний тиск суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків цих газів
- C. кількість підведеної теплоти до термодинамічної системи йде на зміну внутрішньої енергії робочого тіла і виконання зовнішньої корисної роботи цим тілом
- D. неможливо створити вічний двигун I роду

Парціальний тиск P_i окремого газу газової суміші

- A. тиск, який властивий тільки для ідеальних газів
- B. це тиск навколишнього середовища, якій вимірюють барометрами
- C. такий тиск, який мав би цей газ, знаходячись один у тій же кількості, у тому ж об'ємі і при тій же температурі, що й у суміші
- D. різниця між тиском навколишнього середовища і тиском рідини чи газу за умовою, що він перевищує атмосферний тиск

Зі зростанням температури в'язкість газів

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

Який з наведених процесів протікає без теплообміну з навколишнім середовищем

- A. ізобарний

- В. ізохорний
- С. ізотермічний
- Д. адіабатний

Якими одиницями вимірюють теплоємність

- А. Дж
- В. Дж/К
- С. Дж/кг×К
- Д. Дж×К

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

- А. енергія
- В. тиск
- С. ентропія
- Д. рівнодіюча

Розрядження газу щодо атмосферного тиску, вимірюють

- А. манометрами
- В. вакуумметрами
- С. барометрами
- Д. амперметрами

Яка послідовність відповідає прямому циклу Карно

- А. ізотермічне розширення, адіабатне розширення, ізотермічне стискання; адіабатне стискання
- В. адіабатне розширення, ізотермічне розширення, адіабатне стискання, ізотермічне стискання
- С. ізотермічне розширення, ізотермічне стискання, ізохорне розширення, ізохорне стискання
- Д. немає правильної відповіді

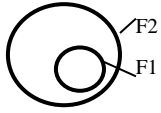
Величина, яка дорівнює $R = 8314$ Дж/(кмоль К)

- А. універсальна питома теплоємність ідеального газу
- В. універсальний термічний к.к.д. циклу
- С. універсальна газова стала
- Д. мольна маса повітря

3. Задачі для самостійного розв'язування.

Задача 1. Знайти густину випромінювання тіла зі ступенем чорноти $\varepsilon = 0,7$ при температурі $t = 300$ °С

- 1) 1 - 1,1 2) 1,9 - 2 3) 3,3 - 3,4 4) 4,2 - 4,3 5) 6,1 - 6,2 кВт/м².



Задача 2. Знайти кутовий коефіцієнт φ_{21} для системи поверхонь площею $F_1 = 0,3 \text{ м}^2$ і $F_2 = 0,5 \text{ м}^2$ [9].

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 7. Розрахунок конденсатора.

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

Формула поверхневої густини теплового потоку (питомий тепловий потік)

A. $q = \frac{Q}{\tau \cdot F}$

B. $q_l = \frac{\Phi}{l}$

C. $q_F = \frac{\Phi}{F}$

D. $q_v = \frac{\Phi}{V}$

Величина, що зворотна термічному опору стінки

- A. термічний опір
- B. теплова провідність стінки
- C. щільність теплового потоку (питомим тепловим потоком)
- D. тепловий потік (теплова потужність)

Критерій Прандтля

- A. $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d_{екв}}{\lambda}$
- B. $Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu} = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}$
- C. $Pr = \frac{\nu}{a}$
- D. $Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{g \cdot d^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2}$

Що означає ентропія

- A. внутрішня енергія
- B. наведена теплота
- C. зв'язок між основними параметрами газу
- D. параметр стану робочого тіла

Яке паливо є природним

- A. горючі сланці
- B. бензин
- C. кокс
- D. дизель

Теплообмін в необмеженому просторі за ламінарним режимом біля горизонтальних труб визначається за формулою

- A. $Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$
- B. $Nu_{pl} = 0,15 (Gr_{pl} \cdot Pr_p)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$
- C. $Nu_{pd} = 0,5 (Gr_{pd} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$
- D. $Nu_{ph} = 0,75 (Gr_{ph} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$

Спалювання газоповітряної суміші називається

- A. повним горінням
- B. гетерогенним горінням
- C. гомогенним горінням
- D. немає вірної відповіді

Який елемент в складі палива паралізує активність горючих складових

- A. водень
- B. вуглець
- C. кисень
- D. сірка

Для спалювання рідкого палива застосовують

- A. пальники
- B. радіаційні труби
- C. форсунки
- D. не радіаційні труби

Які пальники застосовують в нагрівальних печах?

- A. пальники без попереднього змішування
- B. турбулентні пальники
- C. пальники "труба в трубі"
- D. торцеві пальники

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 8. Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння. Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

Самодовільний незворотний процес поширювання теплоти в рідких, твердих і газоподібних середовищах, або переносу теплоти від одного середовища до іншого називають

- A. теплопровідністю
- B. тепловіддачею

- С. теплопередачею
- Д. теплообіном

Теплопровідність

- А. 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

За якою формулою визначається термічний опір багат шарової пласкої стінки

- А. $R = \frac{1}{\alpha}$
- В. $R = \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$
- С. $R = \frac{\lambda}{\delta}$
- Д. $R = \frac{\Phi_{отр}}{\Phi}$

Якщо коефіцієнт віддзеркалення дорівнює 1, то тіло називають

- А. абсолютно білим;
- В. абсолютно чорним;
- С. абсолютно прозорим
- Д. сірим

Тепловіддача описується рівнянням Ньютона-Ріхмана

- А. $q = \alpha (t_{cm} - t_{cep})$
- В. $q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2)$
- С. $q = c \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^4$
- Д. $Q = c \cdot m \cdot (t_1 - t_2)$

Який з перелічених заходів не сприятиме інтенсифікації теплопередачі через пласку одношарову стінку

- А. підвищення коефіцієнту тепловіддачі від теплоносія до стінки

- В. підвищення коефіцієнту тепловіддачі від стінки до середовища, що нагрівається
- С. зменшення товщини стінки, що відокремлює середовища
- Д. заміна матеріалу стінки на матеріал з меншим коефіцієнтом теплопровідності

Яке з наведених формулювань є законом 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

Максимальна швидкість наростання температури за відстанню

- А. густина теплового потоку
- В. інтенсивність теплового потоку
- С. тепловий потік
- Д. градієнт температури

В яких величинах вимірюють коефіцієнт тепловіддачі

- А. $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$
- В. $\frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$
- С. $\frac{Вт}{м \cdot К}$
- Д. $\frac{Вт}{м^2}$

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

- А. коефіцієнтом поглинання
- В. коефіцієнтом випромінювання сірого тіла
- С. густиною інтегрального випромінювання
- Д. ступенем чорноти тіла

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.

2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.

3. 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.

4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 9. Основи розрахунку випарних установок з центральною циркуляційною трубою

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

Конвекція

А. самодовільний незворотний процес поширювання теплоти в рідких, твердих і газоподібних середовищах, або переносу 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

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

А. однорідним

В. стаціонарним

С. рівноважним

Д. об’ємним

В яких одиницях вимірюється теплопровідність матеріалу

А. $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

В. $\frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$

С. $\frac{Вт}{м \cdot К}$

D. $\frac{Bm}{m^2}$

Густина теплового потоку при передачі теплоти теплопровідністю визначається за формулою

A. $q = \alpha \cdot (t_1 - t_2)$

B. $q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2)$

C. $q = c \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4$

D. $Q = c \cdot m \cdot (t_1 - t_2)$

Термічний опір одношарової 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. $R = \frac{\delta}{\lambda}$

Інтенсивність конвективного теплообміну оцінюється

A. коефіцієнтом теплопередачі

B. коефіцієнтом поглинання

C. коефіцієнтом інтенсивності теплообміну

D. коефіцієнтом тепловіддачі

Якщо коефіцієнт проникності тіла дорівнює 1, то тіло називається

A. абсолютно білим

B. сірим

C. абсолютно прозорим

D. абсолютно чорним

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 теплопередачі

- C. коефіцієнтом теплопровідності
- D. коефіцієнтом теплообміну

Теплове випромінювання властиве

- 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

Закон Планка

- A. будь-яке фізичне тіло в однаковому ступені поглинає промені, що падають, у всіх довжинах хвиль при будь-яких температурах
- B. кожній довжині хвилі відповідає певна інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла що збільшується зі зростанням температури
- C. густина інтегрального випромінювання абсолютно чорного тіла E_s прямо пропорційна четвертому степеню його абсолютної температури
- D. 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

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Тема 10. Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон

Форми контролю: опитування, перевірка 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.

У яких печах переважає конвективний теплообмін

- A. муфельних

- В. паливних
- С. вакуумних
- Д. електричних

Закон збереження матерії щодо видів енергій

- А. перший закон термодинаміки
- В. другий закон термодинаміки
- С. третій закон термодинаміки
- Д. закон всесвітнього збереження

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

- А. однакові маса і температура
- В. однакові маса і тиск
- С. однакові тиск і температура
- Д. однакові маса, тиск і температура

У законі Дальтона йдеться про те, що

- А. при однакових температурі і тиску в рівних об'ємах газу міститься одна й та сама кількість молекул
- В. загальний тиск суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків цих газів
- С. кількість підведеної теплоти до термодинамічної системи йде на зміну внутрішньої енергії робочого тіла і виконання зовнішньої корисної роботи цим тілом
- Д. неможливо створити вічний двигун I роду

Парціальний тиск P_i окремого газу газової суміші

- А. тиск, який властивий тільки для ідеальних газів
- В. це тиск навколишнього середовища, якій вимірюють барометрами
- С. такий тиск, який мав би цей газ, знаходячись один у тій же кількості, у тому ж об'ємі і при тій же температурі, що й у суміші
- Д. різниця між тиском навколишнього середовища і тиском рідини чи газу за умовою, що він перевищує атмосферний тиск

Зі зростанням температури в'язкість газів

- А. зменшується
- В. збільшується
- С. залишається незмінною
- Д. немає вірної відповіді

Без теплообміну з навколишнім середовищем відбувається процес

- А. ізобарний
- В. ізохорний
- С. ізотермічний
- Д. адіабатний

Теплоємність вимірюють в

- A. Дж
- B. Дж/К
- C. Дж/кг×К
- D. Дж×К

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

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

Розрядження газу щодо атмосферного тиску, вимірюють

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

Рекомендована література:

1. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища шк., 1989. - 344 с.
2. Ісаченко В.П. та ін. Теплопередача. М.: Енергія, 1981. - 417 с.
3. 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.
4. Бобилєв В.П., Іванов І.І., Стовба Я.В. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49. с.

Список використаних джерел

1. Лабай В.Й. Приклади і задачі з курсу тепломасообміну. Львів : Вид. Львівської політехніки, 2017. – 228 с.
2. Тирінов А.І. Тепломасообмін та гідродинаміка теплотехнічних мікро- та наносистем. К. : ТОВ “СІ Принт”, 2017 – 42 с.
3. Дреус А.Ю., Лисенко К.Є., Сясев В.О. Збірник задач з тепломасообміну. – Д. : ДНУ ім. О. Гончара, 2016. – 124 с.
4. Малишев В., Кретов В. Технічна термодинаміка та теплопередача. К. : Університет "Україна", 2015. – 258с.
5. Горбунов О. Д. Термінологічний словник з тепломасообміну. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. – 71 с.
6. Вассерман О.А., Слинько О.Г., Мальчевський В.П. Основи тепломасообміну. Одеса : Фенікс, 2014. – 150 с.
7. Акмен Р. Г. Тепло- и массообмен. Х. :ХПІ, 2010. – 136 с.
8. Дорохін В.О., Герман Н.В., Шеляков О.П. Теплове обладнання підприємств харчування. Полтава : РВВ ПУСКУ, 2004. – 583 с.
9. Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи масо – та теплообміну” для студентів, що навчаються за напрямом 6.040106 – «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування” / В.П. Бобилєв, І.І. Іванов, Я.В. Стовба. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49 с.