

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

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Л.О. Цвіркун, О.В. Омельченко, Д.П. Заїкіна

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ
ДИСЦИПЛІНИ**

Тепломасообмін

Ступінь: бакалавр

**Кривий Ріг
2020**

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

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Л.О. Цвіркун, О.В. Омельченко, Д.П. Заїкіна

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Тепломасообмін

Ступінь: бакалавр

Затверджено на засіданні
кафедри загальноінженерних дисциплін
та обладнання
Протокол № 5
від «12» листопада 2020 р.

Рекомендовано навчально-
методичною радою ДонНУЕТ
Протокол №4
від «17» грудня 2020 р.

**Кривий Ріг
2020**

УДК 338.487(072)

Цвіркун Л.О., Омельченко О.В., Заїкіна Д.П.

Ц 67 Тепломасообмін [Текст] : метод. рук. до вивч. дисц. / Л.О. Цвіркун, О.В. Омельченко, Д.П. Заїкіна; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. – 76 с.

Методичні рекомендації призначені для допомоги студентам у процесі навчання і покликані 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 338.487(072)

© Цвіркун Л.О., Омельченко О.В.,
Заїкіна Д.П. 2020

© Донецький національний
університет
економіки і торгівлі імені Михайла
Туган-Барановського, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЧАСТИНА 1. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕПЛОМАСООБМІН»	6
ЧАСТИНА 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	11
Змістовий модуль 1. Основні закономірності тепломасообміну.....	12
Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати.....	35
ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	51
Змістовий модуль 1. Основні закономірності тепломасообміну.....	52
Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати.....	64

ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни є формування системи знань щодо 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 наданні знань щодо використання методів математичного моделювання, розв'язування інженерних задач з розрахунку теплових і термодинамічних процесів в тепломасообмінних агрегатах, які використовуються в харчовій промисловості.

Предмет: положення, принципи і методи тепломасообміну.

ЧАСТИНА 1.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

1. Опис дисципліни

Найменування показників	Характеристика дисципліни
Обов'язкова (для студентів спеціальності "назва спеціальності") / вибіркова дисципліна	Обов'язкова для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
Семестр (осінній / весняний)	весняний
Кількість кредитів	7
Загальна кількість годин	210
Кількість змістових модулів	2
Лекції, годин	56
Практичні / семінарські, годин	28
Лабораторні, годин	14
Самостійна робота, годин	112
Тижневих годин для денної форми навчання:	
аудиторних	7
самостійної роботи студента	8
Вид контролю	екзамен

2. Програма дисципліни

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

Завдання: надання знань щодо використання методів математичного моделювання, розв'язування інженерних задач з розрахунку теплових і термодинамічних процесів в тепломасообмінних агрегатах, які використовуються в харчовій промисловості..

Предмет: положення, принципи і методи 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	20	4	2	-	10
Тема 2. Теплопередача	20	4	2	-	10
Тема 3. Вільна та вимушена конвекція	20	6	2	4	10
Тема 4. Теплопровідність та тепловіддача	20	6	2	4	10
Тема 5. Теплове випромінювання	20	6	4	-	12
Разом за змістовим модулем 1	100	26	12	8	52
Змістовий модуль 2. Тепло- та масообмінні апарати					
Тема 1. Основи теорії подібності в масообмінних процесах	22	6	2	-	12
Тема 2. Теплообмінні апарати. Особливості конструкцій та основи розрахунку	22	6	2	6	12
Тема 3. Конденсація. Конструктивні особливості конденсаторів	22	6	4	-	12
Тема 4. Сушильні установки в харчовій промисловості	22	6	4	-	12
Тема 5. Процеси охолодження і заморожування	22	6	4	-	12
Разом за змістовим модулем 2	110	30	16	6	60
Разом	210	56	28	14	112

4. Теми практичних/лабораторних занять

№ з/п	Вид та тема практичних/лабораторних занять	Години
Змістовий модуль 1		
1.	Практичне заняття № 1: «Теплопередача через одношарову та багатошарову стінку».	2
2.	Практичне заняття № 2: «Теплопередача через циліндричну одношарову та багатошарову стінку».	2
3.	Практичне заняття № 3: «Тепловіддача та основи теплопровідності».	2
4.	Практичне заняття № 4: «Вимушена конвекція».	2
5.	Практичне заняття № 5: «Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні».	4
6.	Практичне заняття № 5: «Розрахунок теплового потоку при радіаційному випромінюванні».	4
7.	Практичне заняття № 6: «Розрахунок рекуператора».	2
8.	Практичне заняття № 6: «Розрахунок рекуператора».	

9.	Практичне заняття № 7: «Розрахунок конденсатора».	2
10.	Практичне заняття № 8: «Побудова кривих кінетики сушіння та швидкості сушіння. Аналіз процесу. Основи тепломасообміну в конвективних сушарках».	4
11.	Практичне заняття № 9: «Основи розрахунку випарних установок з центральною циркуляційною трубою».	4
12.	Практичне заняття № 10: «Визначення основних конструктивних параметрів ректифікаційних колон».	4
Всього (Практичне заняття):		28
Лабораторні заняття		
1	Лабораторне заняття № 1 «Аналіз процесів теплообміну на підставі численних розрахунків і експерименту Ansys»	4
2	Лабораторне заняття № 2 «Чисельне моделювання процесів конвекції за допомогою комп'ютерної програми Ansys»	4
3	Лабораторне заняття № 3 «Моделювання теплових процесів в теплообмінних апаратах за допомогою комп'ютерної програми Ansys»	6
Всього (Лабораторне заняття):		14

5. 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 - (50 балів).

Оцінювання студентів протягом семестру (очна форма навчання)

№ теми практичного/лабораторного заняття	Аудиторна робота					Позааудиторна робота	Сума балів
	Тестові завдання	Ситуаційні завдання, задачі	Обговорення теоретичних питань теми практичного заняття	Захист лабораторних робіт	ПМК	Завдання для самостійного виконання	
Змістовий модуль 1							
П.р 1		1	0,5	-		0,5	2
П.р. 2		1	0,5	-		0,5	2
П.р. 3		1	0,5	-		0,5	2
Лаб.р. 1		1	-	-		-	1
Лаб.р. 1		1	-	3		0,5	4,5
П.р. 4		1	0,5	-		0,5	2
Лаб.р. 2		1	-	-		-	1
Лаб.р. 2		1	-	3		0,5	4,5
П.р. 5		1	-	-		-	1-
П.р. 5		1	0,5	-	3	0,5	5
Разом		10	2,5	6	3	3,5	25

змістовий модуль 1							
Змістовий модуль 2							
П.р. 6		2	1	-		0,5	3,5
П.р. 7		1	1	-		0,5	2,5
Лаб.р. 3		1	-	-		-	1
Лаб.р. 3		2	-	-		1	3
Лаб.р. 3		1	-	3		-	4
П.р. 8		1	1	-		0,5	2,5
П.р. 9		1	1	-		0,5	2,5
П.р. 10		1	1	-	3	1	67
Разом змістовий модуль 2		10	5	3	3	4	25
Усього		20	7,5	9	6	7,5	50

**Оцінювання студентів протягом семестру
(заочна форма навчання)**

Поточне тестування та самостійна робота			Підсумковий тест (екзамен)	Сума в балах
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Індивідуальне завдання		
15	15	20	50	100

Загальне оцінювання результатів вивчення дисципліни

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

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

Дано
 $H=2,0\text{ м}$
 $t_p=20^\circ\text{C}$
 $t_{cm}=100^\circ\text{C}$

α - ?

Рішення

Тепловіддачу при природній конвекції у поверхні вертикальної плити можна визначити за формулою:

$$Nu_p = c \cdot (Gr Pr)_p^n \left(\frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,025},$$

де за визначальний розмір береться висота плити H .

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

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

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

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

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

Щільність теплового потоку:

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

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_0 , 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 $q_1 = \frac{Q}{l} = \frac{2185}{10} = 218,5 \text{ Вт}/\text{м},$
$\Phi - ?; t_c - ?; t_0 - ?$	

Температура поверхні дроту визначається з умов тепловіддачі:

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

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 , °C	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 багатшарову 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 м². температура стінки випарника $t_{cm}=156^{\circ}C$. Тиск пари 0,45 МПа.

<i>Дано</i>	<i>Рішення</i>
$F=5\text{ м}^2$ $t_{cm}=156^{\circ}C$ $t_p=148^{\circ}C$ $p=0,45\text{ МПа}$ $\tau=1\text{ година}$	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 °С. Коефіцієнт тепловіддачі визначимо за формулою: $\alpha - ?; Q - ?; m - ? \quad \alpha = 146 \cdot \Delta t^{2,33} \cdot p^{0,5} = 146 \cdot 8^{2,33} \cdot 0,45^{0,5} = 12850\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ 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 °С, тиск конденсації 10 атм. Діаметр труб 19×1,5 мм. Розташування труб шахове.

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

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:

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

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 $\epsilon_{ш} = 0,8$ і листовій сталі $\epsilon_{ст} = 0,6$.

<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
$t_1=127^\circ \text{C}$	
$t_2=50^\circ \text{C}$	
$\epsilon_{ш} = 0,8$	
$\epsilon_{ст} = 0,6$	
$\Phi - ?$	

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

$$\text{де } \epsilon_{36} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,6} - 1} = 0,522.$$

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

Задача 4.

Визначити тепловий потік від вертикальної плити висотою $h=2 \text{ м}$ і шириною $b = 5 \text{ м}$ з температурою $t_{cm1}=100^\circ \text{C}$ у навколишнє середовище, у якому знаходиться спокійне повітря, що має температуру $t_{нов}=20^\circ \text{C}$. На відстані $0,3 \text{ м}$ від плити розміщено вертикальну стінку, температура якої $t_{cm2}=20^\circ \text{C}$. Ступінь чорноти плити і стінки однакові і дорівнюють $\epsilon_1 = \epsilon_2=0,9$.

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:

$$\Phi_o = \Phi_{\kappa} + \Phi_{випр.},$$

де Φ_{κ} – 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 $\Phi_{\kappa} = \alpha \Delta t F = 7,92 \cdot 80 \cdot 10 = 6340$ Вт = 6,34 кВт.

Тепловий потік, що передається випромінюванням:

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

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

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

$R_{cm} - ?$ $R_m - ?$ 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 опору 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:

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

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

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
$t_{кр}, -1\text{ }^{\circ}\text{C}$	-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

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. Виконання практичної та лабораторних робіт.

3.1. 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
$b = 2 \text{ м}$
$a = 1,5 \text{ м}$
$t_n = 20^\circ\text{C}$
$t_{nn} = 90^\circ\text{C}$
$\omega_0 = 3 \text{ м/с}$

Рішення

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

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

Визначимо характер руху рідини, для цього розрахуємо число Рейнольдса:

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

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

$$\text{Nu}_{pl} = 0,66 \text{Re}_{pd}^{0,5} \cdot \text{Pr}_p^{0,33} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_p}{\text{Pr}_{cm}} \right)^{0,25}$$

У даному випадку

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

Коефіцієнт тепловіддачі

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

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 $d = 0,008 \text{ м}$ і довжиною $l = 6 \text{ м}$, якщо швидкість $\omega_{ж} = 0,1 \text{ м/с}$; 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:

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

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

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

α -?

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

3.2. *Лабораторна робота №1 «Аналіз процесів теплообміну на підставі численних розрахунків і експерименту за допомогою комп'ютерної програми Ansys»*

Мета роботи: Вивчення поглиблених методик аналізу отриманих результатів чисельних розрахунків в програмі Ansys

Теоретична частина

Число Нуссельта є основним числом подібності, що використовується для аналізу теплових процесів тепловідведення за участю вимушеної і вільної конвекції, визначається формулою:

$$N_{u} = \frac{q}{\frac{(T_w - T_{ref})^L}{k_f}},$$

де

q – тепловий потік;

T_w – температура стінки;

L – характерна довжина;

k_f – коефіцієнт теплопровідності повітря;

$T_{ref} = 25^{\circ}\text{C}$.

Число Нуссельта показує відношення конвективного теплового потоку до дифузійного теплового потоку, тобто, показує роль конвекції в процесі тепловідведення в навколишнє середовище. Чим вище число Нуссельта, тим швидше відбувається конвективний тепловідвід з поверхні.

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

Для виконання лабораторної роботи використовується програмний пакет Ansys:

1) Порядок виконання роботи в COMSOL.

1. Створюється відрізок для подальшого відображення розподілу температури уздовж нього в довільному просторі розрахункової області за допомогою функції **Results>Data Set>Cut Line 3D**, завдання відрізка відбувається за координатами двох точок. Відрізок відображається у вікні **Graphics**.

Зауваження: якщо відрізок не відображається в графічному вікні, значить, він заданий поза розрахункової області.

2. Створюється графік розподілу температури уздовж створеного відрізка за допомогою функції **Results>1D Plot Group>Line Graph** з параметрами **Data set>Cut Line 3D** (приклад такого графіка показаний на рис. 1).

2) Порядок виконання роботи в Ansys.

Створення графіка розподілу температури на довільному відрізку:

1. Створення довільного відрізка для подальшого відображення результатів, використовуючи команду **User Locations and Plot> Insert> Location> Line** лінія задається за двома точками.

2. Поставити необхідну кількість точок на відрізку для коректного відображення розподілу температури, задавши параметр **Line Type> Samples> 100**.

3. Додати графік, використовуючи команду **Report>Insert>Chart** з наступними параметрами:

– **Data Series>Data Source>Location>Line 1** – задає джерело даних для графіка;

– **Y Axis>Data Selection>Variable>Temperature** – задається фізична величина для відображення на графіку.

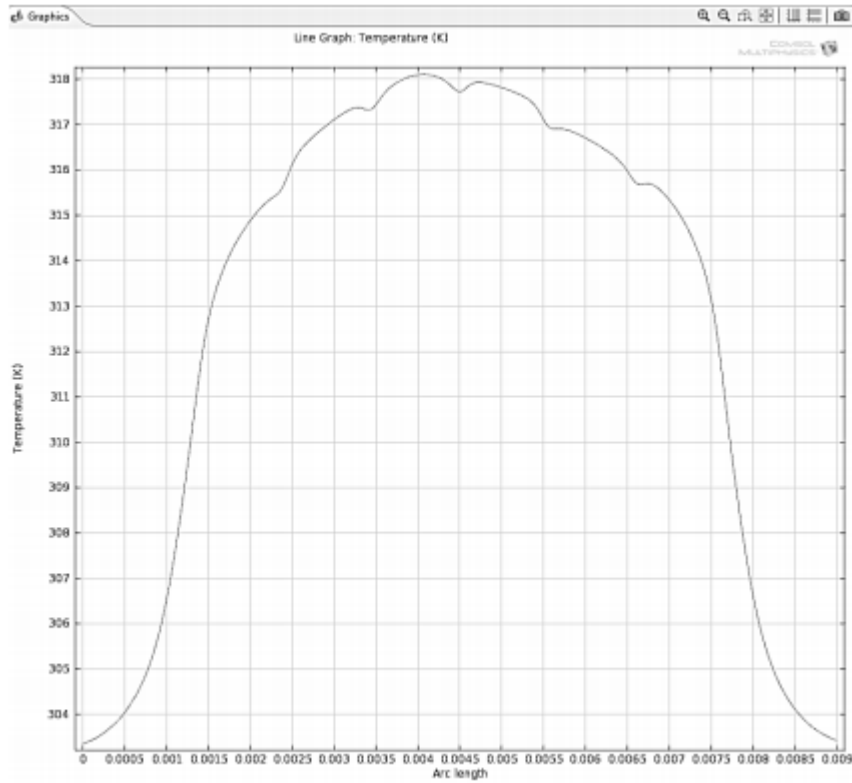


Рисунок 1 – Приклад розподілу температури по поверхні інкапсулюючого гелю

3) Побудова розподілу числа Нуссельта.

1. Завдання вираження для нової змінної з використанням команди **Expression>New**, вираз для нової змінної має вигляд:

$$-0.04[\text{m}] * \text{Wall Heat Flux} / (\text{Temperature} - 298.15 [\text{K}]) / 0.0261 [\text{W} * \text{m}^{-1} * \text{K}^{-1}].$$

2. Завдання нової змінної з використанням команди **Variables>New**, при завданні нової змінної слід вибрати вираз, раніше створене в пункті 1 даного розділу.

3. Для відображення отриманого розподілу числа Нуссельта слід включити відображення поверхонь радіатора (рис. 2 і рис. 3).

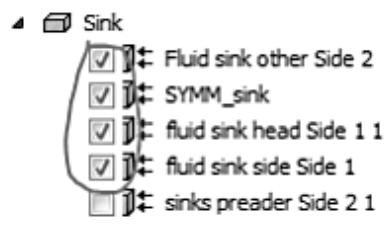


Рисунок 2 – Включення відображення поверхонь радіатора

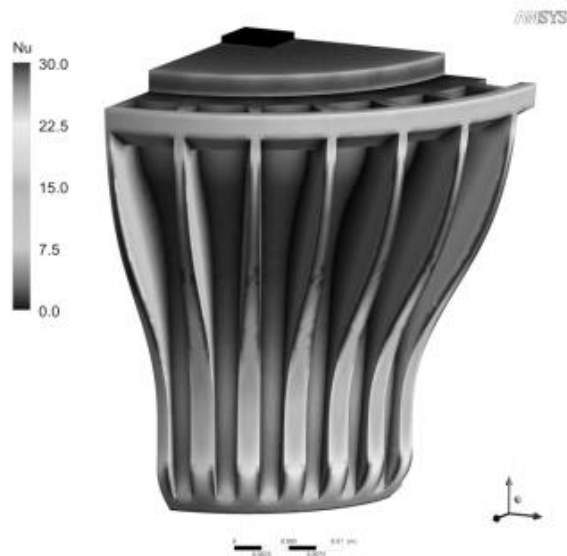


Рисунок 3 – Приклад розподілу числа Нуссельта

4. Вибір відображення розподілу числа Нуссельта на обраних поверхнях радіатора з використанням команд:

- «Назва поверхні»>Mode>Variable.
- «Назва поверхні»>Variable>«Назва змінної».

5. Завдання кордонів числа Нуссельта з використанням команди «Назва поверхні»>Range>User Specified.

Вимоги до звіту

Звіт повинен містити отримані результати аналізу, а також висновки на основі отриманих результатів аналізу, в процесі написання висновку слід приділити увагу можливим шляхам поліпшення відводу тепла.

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. Виконання практичної та лабораторних робіт.

3.1. Практичні завдання.

Приклад розв'язування задач

Задача

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

$l - ?$

$$Nu_{pd} = 0,26 Re_{pd}^{0,65} \cdot Pr_p^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{S_2}{d} \right)^{-0,15}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2. Лабораторна робота №2 «Чисельне моделювання процесів конвекції за допомогою комп'ютерної програми Ansys»

Мета роботи: Оволодіти методами моделювання процесів конвекції в програмі Ansys

Теоретична частина

Моделювання стаціонарного процесу теплообміну радіатора світлодіодної лампи з навколишнім середовищем з урахуванням вільно конвективних течій. Дане моделювання корисно при розробці систем тепловідведення ламп на основі світлодіодів.

Є пластиковий радіатор, що використовується в ретрофітних світлодіодних світильниках, тепловиділення відбувається в світлодіодному модулі, закріпленому на поверхні даного радіатора (рис. 4).

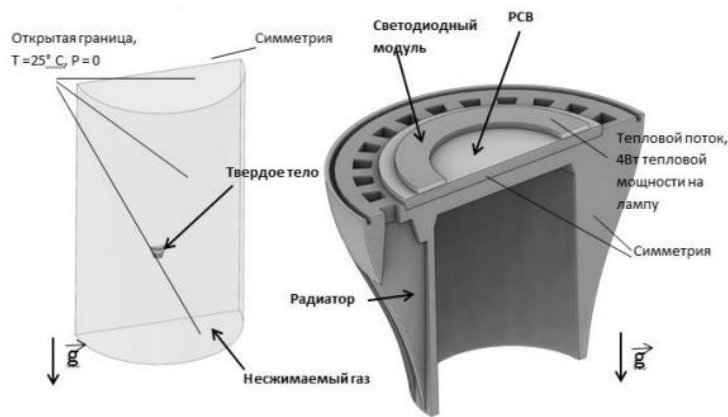


Рисунок 4 – Схема розрахункової області досліджуваної конструкції і граничні умови

Порядок виконання роботи описано для п'яти програмних модулів, що містяться в програмному комплексі Ansys:

1. Ansys DesignModeller – програма, призначена для створення, імпортування та модифікування геометрії.
2. Ansys Meshing – програма, призначена для створення розрахункових сіток.
3. Ansys CFX - Pre – програма призначена для завдання граничних умов, властивостей матеріалів і параметрів вирішувача.
4. Ansys CFX - Solver Manager – програма для управління вирішувачів і контролю збіжності рішення.
5. Ansys CFD - Post – програма для постпроцесингу і обробки результатів.

Всі згадані вище модулі об'єднуються програмною оболонкою Ansys Workbench і не вимагають передачі файлів з одного модуля в інший користувачем.

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

Для виконання лабораторної роботи використовується програмний пакет Ansys:

- 1) Порядок виконання роботи в Ansys DesignModeler.
 1. Імпортувати файл геометрії lamp.igs.
 2. Забезпечити відсутність перетинів об'ємів (необхідно для коректної роботи програми) функцією **Create> Boolean (Subtract)**. Для цього необхідно послідовно відняти обсяги лампи: **Sink, Chip, Spreader** з об'єму газу: **Fluid**, зі збереженням початкових об'ємів (параметр **Preserve Tool Bodies** зі значенням **Yes**).
 3. Забезпечити узгодженість поверхонь тіла радіатора і обсягу нестисливого газу командою **Tools> Face Split**.
- 2) Порядок виконання роботи в Ansys Meshing.

1. Задати прикордонний шар в обсязі **Fluid** на всіх твердих поверхнях з впровадженням функції **Mesh>Inflation** з налаштуваннями **Transition Ratio 1.2**.
2. Досить дрібного розбиття сітки об'єму газу, задати розмір елементів на поверхнях радіатора в обсязі **Fluid** з настройками параметра **Face Sizing>Element Size** зі значенням **3e-4**.
3. Для досить дрібного розбиття сітки всередині твердих тіл задати розміри елементів в твердих тілах, використовуючи функцію **Body Sizing>Element Size** зі значенням **4e-4**.
4. Створити набори граней твердих тіл і об'єму газу для подальшого створення інтерфейсів між ними (всі набори твердих тіл і об'єму рідини повинні збігатися), використовуючи команду **Named Selection>Insert**.
5. Згенерувати сітку, використовуючи команду **Mesh>Update** (приклад сітки зображений на рис. 5).

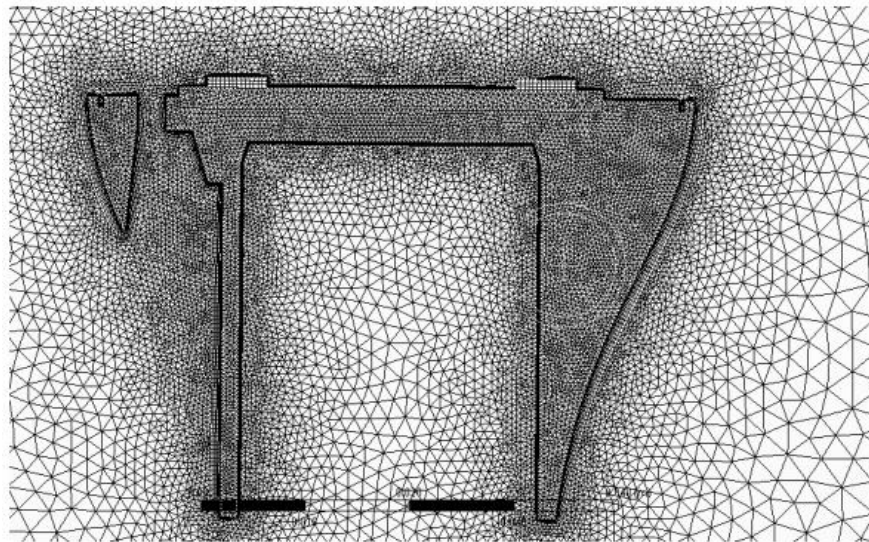


Рисунок 5 – Приклад згенерованої сітки

3) Порядок виконання роботи в Ansys – Pre.

1. Створити набір матеріалів, використовуючи команду **Materials>Insert>Material**.
2. Створити окремі розрахункові області для кожного об'єму, використовуючи команду **Flow Analysis>Insert>Domain**, в процесі створення вказати наступні параметри:
 - **Basic Settings>Domain Type: Solid Domain** для твердих тіл, **Fluid Domain** для об'єму газу.
 - **Basic Settings>Material** слід вибрати відповідний матеріал.
 - **Solid Models>Heat transfer** (для твердих тіл) слід вибрати параметр **Thermal Energy**.
 - **Buoyancy Model>Option>Buoyant**.
 - **Buoyancy Model>Gravity X Dirn.>0**.
 - **Buoyancy Model>Gravity Y Dirn.>9.8**.
 - **Buoyancy Model>Gravity Z Dirn.>0**.

- **Fluid Models> Heat Transfer> Thermal Energy.**
- **Fluid Models> Turbulence> None (Laminar).**
- 3. Поставити інтерфейси, використовуючи функцію **Interfaces> Insert> Domain Interface.**
- 4. Поставити **Expert Parameters> tbulk for htc> 298.15.**
- 5. Поставити граничні умови згідно Помилка! Джерело посилання не знайдено, використовуючи функцію "Ім'я Домена"> **Insert> Boundary: 7681.29 Вт / м²** для умови на тепловий потік і **298.15 ° К** на температуру на відкритого кордону.
- 6. Задати параметри Солвер:
 - **Sovler Control> Max.Iterations> 4000.**
 - **Sovler Control> Convergence Criteria> Residual Type> MAX.**
 - **Sovler Control> Convergence Criteria> Residual Target> 0.000001.**

Порядок виконання роботи в Ansys CFX - Solver Manager

1. Розрахунок запускається кнопкою **Start Run.**
2. Розрахунок зупиняється кнопкою **STOP** при досягненні збіжності (падіння невязок менш $1e-4$ і припинення їх падіння).

Порядок виконання роботи в Ansys CFD - Post

1. Створюється вираз, використовуючи функцію **Expressions> New ...** види: **maxVal (Temperature)@Spreader.**
2. Записується значення максимальної температури в звіт.

Вимоги до звіту

Звіт повинен містити вихідні дані, постановку задачі, ілюстрацію сітки кінцевих обсягів, а також результати розрахунків згідно з пунктом «Порядок виконання роботи в Ansys CFD - Post» розділу «Порядок виконання роботи»: значення максимальної температури.

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 $\varepsilon_{\text{ст}} = 0,6$.

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

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

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

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

Задача 2.

Визначити тепловий потік від вертикальної плити висотою $h=2\text{ м}$ і шириною $b = 5\text{ м}$ з температурою $t_{\text{см1}}=100^\circ\text{C}$ 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 $t_{\text{см2}}=20^\circ\text{C}$. Ступінь чорноти плити і стінки однакові і дорівнюють $\varepsilon_1 = \varepsilon_2=0,9$.

Дано	Рішення
$h=2\text{ м}$	У задачі дано складний випадок теплообміну, коли сумарний тепловий потік визначається за рівнянням: $\Phi_o = \Phi_{\text{к}} + \Phi_{\text{випр.}}$ де $\Phi_{\text{к}}$ – тепловий потік, що передається конвекцією, Вт; $\Phi_{\text{випр.}}$ – тепловий потік, що передається випромінюванням, Вт; Для визначення режиму течії за вільної конвекції знаходимо значення комплексу $(Gr \cdot Pr)$. За температури
$b = 5\text{ м}$	
$t_{\text{см1}}=100^\circ\text{C}$	
$t_{\text{нов}}=20^\circ\text{C}$	
$t_{\text{см2}}=20^\circ\text{C}$	
$\varepsilon_1 = \varepsilon_2=0,9$	
$l = 0,3\text{ м}$	

Дано

Φ -?

$t_{нов}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для повітря з табл. 1 (додатка В):
 $\lambda=2,59 \cdot 10^{-2}\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\nu=15,06 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$; $Pr=0,703$.

Рішення

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

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

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:

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

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

Тепловий потік, що передається випромінюванням:

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

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

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

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
$t_{cm1},\text{ }^{\circ}\text{C}$	100	110	100	90	100	
$t_{нов},\text{ }^{\circ}\text{C}$	20	22	22	20	20	25
$t_{cm2},\text{ }^{\circ}\text{C}$	20	22	22	21	21	23

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$						
l, M	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 $t_{cm}=156^{\circ}C$. Тиск пари 0,45 МПа.

Дано	Рішення
$F=5\text{ м}^2$ $t_{cm}=156^{\circ}C$ $t_p=148^{\circ}C$ $p=0,45\text{МПа}$ $\tau=1\text{ година}$	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 °С. Коефіцієнт тепловіддачі визначимо за формулою:
$\alpha - ?; Q - ?; m - ?$	$\alpha=146 \cdot \Delta t^{2,33} \cdot p^{0,5} = 146 \cdot 8^{2,33} \cdot 0,45^{0,5} = 12850\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
	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 В×Н, м і товщиною δ_1 , мм має зовнішній шар ізоляції товщиною δ_2 , мм. Температура поверхні стінки усередині агрегату $t_1, ^{\circ}C$, зовнішньої поверхні ізоляції $t_3, ^{\circ}C$; 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. Виконання практичної та лабораторних робіт.

3.1. 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:

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

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:

$$\alpha = 0,72 \sqrt[4]{\frac{\lambda^{n_3} \cdot \rho^{n_2} \cdot r}{\mu \Delta t d}} = 0,72 \sqrt[4]{\frac{0,48^3 \cdot 606^2 \cdot 1169}{13,8 \cdot 10^{-6} \cdot 3,3 \cdot 0,019}} = 1959 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

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 $0,28 \text{ кг/с}$ і $0,56 \text{ кг/с}$. Визначити температуру води на виході з мастилоохолоджувачі. Середню масову теплоємність мастила для даного інтервалу температур прийняти $1,88 \text{ кДж/(кгК)}$.

Дано

$$\begin{aligned} t'_1 &= 80^\circ \text{C} \\ t''_1 &= 30^\circ \text{C} \\ t'_2 &= 5^\circ \text{C} \\ m_1 &= 0,28 \text{ кг/с} \\ m_2 &= 0,56 \text{ кг/с} \\ c_1 &= 1,88 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)} \\ c_2 &= 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)} \end{aligned}$$

$$t''_2 = ?$$

Рішення

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 $\Phi_1 = \Phi_2$.

$$\Phi_2 = m_2 \cdot c \cdot (t''_2 - t'_2) \rightarrow$$

$$t''_2 = \frac{\Phi_2}{m_2 c} + t'_2 = \frac{26,32}{0,56 \cdot 4,2} + 5 = 10,53^\circ\text{C.}$$

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.

Дано

$$\begin{aligned} t'_1 &= 380^\circ \text{C} \\ t''_1 &= 150^\circ \text{C} \\ t'_2 &= 20^\circ \text{C} \\ t''_2 &= 120^\circ \text{C} \end{aligned}$$

$$\Delta t_{cp} = ?$$

Рішення

Середню різницю температур визначаємо за формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{ex} - \Delta t_{vux}}{\ln \frac{\Delta t_{ex}}{\Delta t_{vux}}}$$

1. Для прямооточного апарата маємо:

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

Дано

Рішення

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

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

2. Для протиточного апарата:

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

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

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

У випадку протитоку середня різниця температур на $\frac{\Delta t_{\text{cp}}}{\Delta}$ 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

3.2. Лабораторна робота №3 «Моделювання теплових процесів в теплообмінних апаратах за допомогою комп'ютерної програми Ansys»

Мета роботи: Оволодіти методами моделювання теплових процесів в програмі Ansys

Теоретична частина

Ansys – це багатоцільовий пакет програм скінченно-елементного аналізу, який розв’язує задачі у різних областях інженерної діяльності (міцність конструкцій, термодинаміка, механіка рідин і газів).

Ansys є одною з найвідоміших програмних систем у своєму класі та відноситься до CAE-систем (Computer-Aided Engineering), а також забезпечує двосторонній зв’язок з багатьма САД пакетами.

Математичні моделі, які описують певні фізичні процеси, а також чисельні методи їх розв’язання реалізовано у компонентах (модулях) Ansys, які називаються вирішувачі. Для розв’язання конкретної фізичної задачі необхідно обрати потрібні модулі програмного комплексу.

В Ansys реалізовано спеціальні модулі для розв’язання таких типів задач:

- Fluid Mechanics – моделювання руху рідин або газів;
- Structural Mechanics – моделювання задач динаміки та міцності конструкцій;

Оболонка Ansys Workbench забезпечує єдиний інтерфейс для доступу до різних модулів програмного комплексу, керування процесом розрахунку та візуалізацію результатів моделювання.

Інтерфейс користувача оболонки Workbench містить наступні панелі та вікна:

1 – вікно Project Schematic, в якому відображається схема проекту (набір модулів, які використовуються у проекті);

2 – панель інструментів, яка об’єднує загальні властивості проекту, налаштування способу відображення, одиниць виміру тощо;

3 – панель Properties, яка містить опис властивостей об’єкта у вікні Project Schematic;

4 – панель Toolbox, яка відображає всі доступні модулі програмного пакета Ansys.

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

Для виконання лабораторної роботи використовується програмний пакет Ansys Workbench.

1) Спочатку необхідно запустити Ansys Workbench (рис. 6): Пуск → Усі програми → Ansys 14.5 → Workbench 14.5. Відкриється робоче вікно програми.

Як проект, потрібно вибрати Fluid Flow (Fluent). Для імпорту геометричної моделі потрібно зайти в модуль Geometry.

Програма запропонує вибрати одиницю виміру. Необхідно вибрати міліметри.

Після цього завантажується геометрична модель проточної частини теплогенератора (File → Import External Geometry File). На дереві побудови з’явиться значок Import. Натисніть на нього ПКМ та оберіть Generate. Після цього модель повинна візуалізуватися у вікні Graphics.

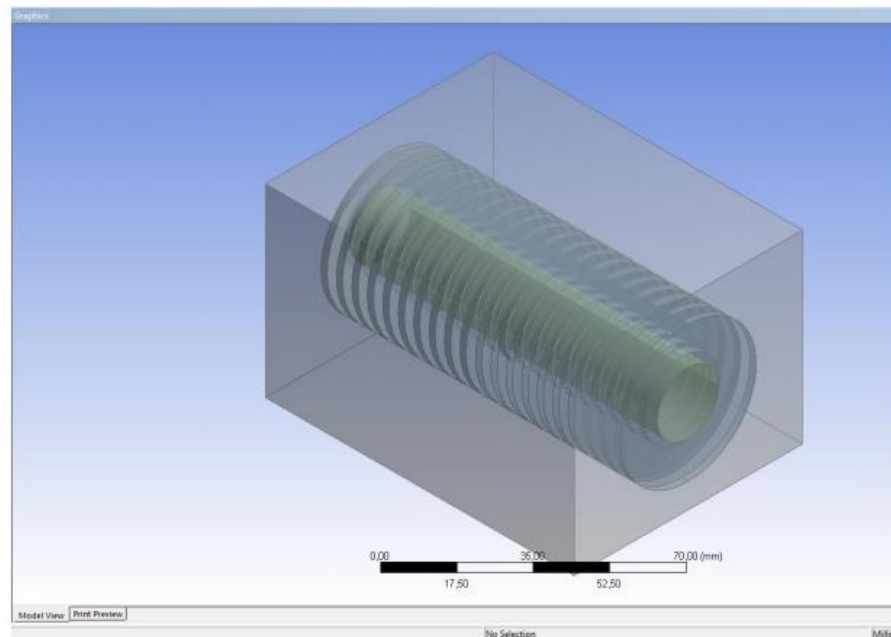


Рисунок 6 – Зовнішній вигляд секції теплообмінного апарату

Розрахункова модель являє собою секцію теплообмінного апарату.

Теплообмінний апарат складається з трубок з ребрами, всередині яких тече вода. Зовні обрєблена поверхня труб обдувається гарячим повітрям, тепло якого передається через сталеву трубу холодній воді. Розрахункову модель необхідно розділити на 3 основні частини: газовий тракт (gas), труба (tube) і водяну порожнину (water). Для цього в дереві побудови необхідно відкрити розділ Parts, виділити тіло і натиснувши праву клавішу у вікні вибрати Rename.

Після імпорту вихідної моделі за замовчуванням всі 3 основні частини є твердими тілами. Для газового (gas) і водяного (water) трактів необхідно змінити тип тіла з твердого на рідкий (fluid). Для того щоб з'явилося меню Details of Body необхідно вибрати тіло у вкладці Parts як на попередньому кроці.

2) Побудова сітки деталі проводиться в модулі Meshing. Модель теплообмінника завантажиться автоматично.

Для коректного розрахунку сітку у орєбреної поверхні, самої труби і водяного тракту необхідно відобразити у меншому форматі. Для цього в дереві побудови обираємо вкладку Mesh й натискаємо праву кнопку. У вікні необхідно вибрати Insert → Sizing.

Розмір елемента (Element Size) на поверхні ребер, що стикаються з газом і тіла самої труби дорівнює 0,5 мм. Розмір елемента для водяній порожнини - 1 мм.

Після цього необхідно натиснути правою кнопкою миші на Mesh і вибрати Update. Програма почне процес розбиття обсягів кінцево-елементної сіткою. Після його закінчення модель буде виглядати наступним чином (рис. 7).

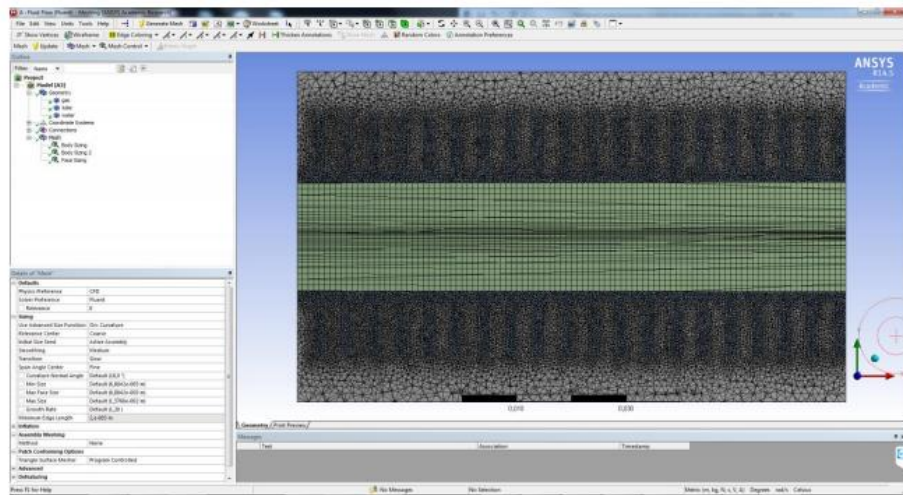


Рисунок 7 – Зовнішній вигляд побудованої сітки

Тепер потрібно позначити поверхні для граничних умов входу і виходу води і газу. Також для подальшої настройки процесу передачі тепла від газу до води через трубу необхідно окремо позначити поверхні стикання газу і оребрені труби, внутрішньої поверхні труби і води (всього 4 поверхні). Для цього треба виділити необхідну поверхню, натиснути ПКМ і вибрати пункт Named Selection. Відкриється діалогове вікно (рис. 8). Напрямок руху води впорається з віссю X, напрямку руху газу з віссю Y. Результат налаштування вибору поверхонь представлений на рис 9. У дереві побудови вказані всі поверхні.

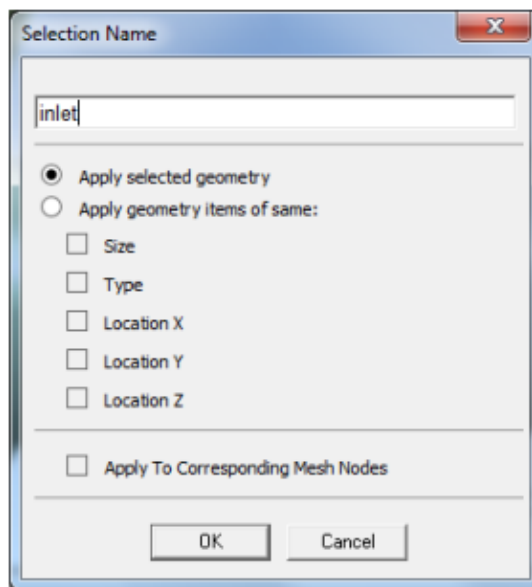


Рисунок 8 – Зовнішній вигляд вікна вибору імені поверхні

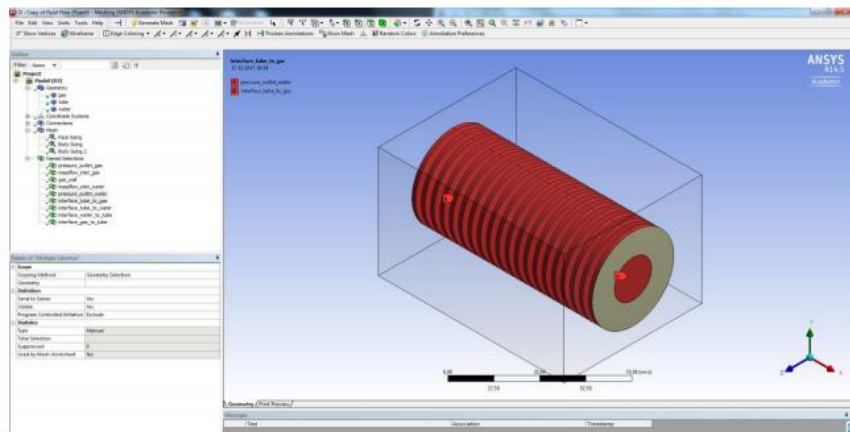


Рисунок 9 – Зовнішній вигляд вікна вибору імені поверхні

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:

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

Для визначення градієнтів температур на поверхнях стінки слід спочатку знайти значення коефіцієнтів теплопровідності матеріалу стінки за відповідної її температури t_1 та t_2 , розрахувати густину теплового потоку крізь стінку: $q = \lambda_{cp} \frac{t_1 - t_2}{\delta}, \frac{\Delta \dot{\theta}}{\dot{\theta}}$, а потім знайти значення градієнтів з використанням рівняння Фур'є: $\frac{dt}{dx} = -\frac{q}{\lambda(t)}, \frac{\ddot{\theta}}{\dot{\theta}}$.

Задача 2.

Циліндрична стінка довжиною l , м, на внутрішній поверхні діаметром d_1 , мм має температуру t_1 , °С, на зовнішній діаметром d_2 , мм – t_2 , °С; 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:

$$R_{\lambda}^{\ddot{\theta}\dot{\theta}} = \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}, \frac{\ddot{\theta}}{\dot{\theta}}; Q = \frac{(t_1 - t_2)\pi l}{\frac{1}{2\lambda} \ln d_2 / d_1}, \dot{\theta}; q_l = \frac{(t_1 - t_2)\pi}{\frac{1}{2\lambda} \ln d_2 / d_1}, \frac{\dot{\theta}}{\dot{\theta}}$$

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

$$t(r) = t_1 - (t_1 - t_2) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \dot{\theta}; \frac{\partial t}{\partial r} = -\frac{(t_1 - t_2)}{r \ln r_2 / r_1}, \frac{\ddot{\theta}}{\dot{\theta}}$$

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 , °С охолоджується (нагрівається) з двох боків у середовищі, температура якого t_{cp} , °С. 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 $(t_0 + t_{cp})/2$, $^{\circ}\text{C}$?

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 $t_1 = (t_0 + t_{cp})/2$, $^{\circ}\text{C}$:

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

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 $\Theta_{i\hat{a}} = \frac{t_{i\hat{a}} - t_{cp}}{t_0 - t_{cp}}$ та середини пластини

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

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

$\Theta_{1(2)} = \frac{t_{1(2)} - t_{cp}}{t_0 - t_{cp}}$ 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 , мм	150	155	145	148	160	135
t_1 , °C	20	15	25	30	10	15
t_2 , °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 , ° до її осі. Температура труби $t_{ст}$, °C, повітря $t_{ср}$, °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 , °	$t_{ст}$, °C	$t_{ср}$, °C	№ вар.	d , мм	l , м	ω , м/с	β , °	$t_{ст}$, °C	$t_{ср}$, °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 90^0 до осі труби становить:

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

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

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

$\lambda_{cp}, a_{cp}, \nu_{cp}$ - теплофізичні параметри повітря при його температурі t_{cp} , 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 90^0 , отримане значення коефіцієнта тепловіддачі α повинно бути скореговано:

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

$\beta, ^0$	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: $q = \alpha_{\beta} \cdot (t_{c\delta} - t_{cp}) \cdot \frac{\hat{A}\delta}{i}$; $Q = q \cdot F, \hat{A}\delta$, де $F = \pi \cdot d \cdot l$ - площа поверхні труби, m^2 .

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 $t_{cp}, ^0C$ 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, м	ω, м/с	t _{cp} , °C	n	№ вар	Розташування труб	d, м	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:

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

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

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

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:

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

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} , $\frac{\hat{e}\hat{A}\hat{\alpha}}{\hat{e}\hat{\alpha}\cdot\hat{E}}$ від t_2' , °C до t_2'' , °C, якщо коефіцієнт теплопередачі становить K , $\frac{\hat{A}\hat{\delta}}{\hat{i}^2\cdot\hat{E}}$, а температура гарячого теплоносія змінюється від t_1' , °C до t_1'' , °C. Яка витрата гарячого теплоносія потрібна за його теплоємності C_{p1} , $\frac{\hat{e}\hat{A}\hat{\alpha}}{\hat{e}\hat{\alpha}\cdot\hat{E}}$?

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 10.

Таблиця 10

№ вар.	Рух теплоносіїв	G_2 , кг/с	C_{p2} , $\frac{\hat{e}\hat{A}\hat{\alpha}}{\hat{e}\hat{\alpha}\cdot\hat{E}}$	t_2' , °C	t_2'' , °C	K , $\frac{\hat{A}\hat{\delta}}{\hat{i}^2\cdot\hat{E}}$	t_1' , °C	t_1'' , °C	C_{p1} , $\frac{\hat{e}\hat{A}\hat{\alpha}}{\hat{e}\hat{\alpha}\cdot\hat{E}}$
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:

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

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 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.

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. восьми

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 (1 кг, 1 м³, 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

А. однорідним

- В. стаціонарним
- С. рівноважним
- Д. 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 0К
- B. всім тілам, температура яких вище 273К
- 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 °С [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°С
- Д. характеристика ентальпії газу

Основними термодинамічними параметрами для газів є

- А. молярна маса, масова частка, внутрішня енергія молекул
- В. атмосферний, надлишковий та парціальний тиски
- С. абсолютна температура, абсолютний тиск, абсолютна енергія руху
- Д. 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 1°C
- B. кількість теплоти, яку отримує або віддає тіло при теплопередачі
- C. кількість теплоти, яка необхідна для охолодження речовини на 1°C
- D. це потенційна і кінетична енергія молекул, що складають тіло

Одиниці виміру тиску

- A. кг/м^3
- 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. $T = 273 \text{ K}$, $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$
- B. $T = 237 \text{ K}$, $P = 765 \text{ мм рт. ст.}$
- C. $T = 760 \text{ K}$, $P = 273 \text{ мм рт. ст.}$
- D. $T = 873 \text{ K}$, $P = 573 \text{ мм рт. ст.}$

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. 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 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

- A. сублимація
- B. екстрагування
- C. ректифікація
- D. кристалізація

Для здійснення конвективного сушіння використовують

- A. валкові сушарки
- B. шахтні сушарки
- C. розпилювальні сушарки
- D. сублимаційні установки

Критерій Рейнольдса

$$A. \quad Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d_{екв}}{\lambda}$$

$$B. \quad Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu} = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}$$

$$C. \quad Pr = \frac{\nu}{a}$$

$$D. \quad Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{g \cdot d^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2}$$

За принципом дії теплообмінні апарати (ТОВА) поділяють на

- A. рекуперативні
- B. регенеративні
- C. змішувачі
- 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

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

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

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

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

Водяна пара

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

Який вид теплообміну існує

- A. теплообмін

- В. теплопровідність, перенесення теплоти мікрочастинками речовини з області високої температури в область низької температури
- С. перенесення теплоти
- Д. стиснення, розширення, нагрівання

Конвективний теплообмін

- А. перенесення теплоти
- В. теплопровідність
- С. процес перенесення теплоти за рахунок руху рідкого або газоподібного середовища
- Д. теплообмін

Що означає ентальпія газу

- А. сушка і охолодження с / г продукції
- В. внутрішня енергія
- С. параметр стану робочого тіла (газу) - тепловміст
- Д. 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

- А. при високих температурах і малих тисках
- В. при низьких температурах і малих тисках
- С. 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/м³

Д. 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

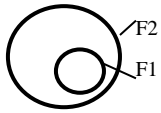
Величина, яка дорівнює $R = 8314$ Дж/(кмоль К)

- 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

$$A. \quad Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \frac{\alpha \cdot d_{екв}}{\lambda}$$

$$B. \quad Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu} = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}$$

$$C. \quad Pr = \frac{\nu}{a}$$

$$D. \quad Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{g \cdot d^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2}$$

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

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

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

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

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

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

- В. вуглець
- С. кисень
- Д. сірка

Для спалювання рідкого палива застосовують

- А. пальники
- В. радіаційні труби
- С. форсунки
- Д. не радіаційні труби

Які пальники застосовують в нагрівальних печах?

- А. пальники без попереднього змішування
- В. турбулентні пальники
- С. пальники "труба в трубі"
- Д. 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. 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 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

- А. теплопровідністю
- В. 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. $R = \frac{l}{\alpha}$

В. $R = \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$

С. $R = \frac{\lambda}{\delta}$

Д. $R = \frac{\Phi_{omp}}{\Phi}$

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. $q = \alpha (t_{cm} - t_{sep})$

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. $R = \frac{l}{\alpha}$

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

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

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.

Навчальне видання

Цвіркун Л.О., Омельченко О.В., Заїкіна Д.П.

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

«ТЕПЛОМАСООБМІН»

Формат 60×84/8. Ум. др. арк. 2.

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