МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ ПРОМИСЛОВОЇ ТЕПЛОТЕХНІКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт студентів

з дисципліни **«Спеціальні розділи промислової теплотехніки»**

для студентів спеціальностей : 7.05050315, 8.05050315 – «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

Рекомендовано Вченою радою інженерно-хімічного факультету

Київ
НТУУ «КПІ»
2013

Спеціальні розділи промислової теплотехніки :

Метод. вказівки до виконання практичних робіт студентів з дисципліни **«Спеціальні розділи промислової теплотехніки»** для студентів спеціальності 7.05050315, 8.05050315 – «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»/ Уклад.: І.Л. Шилович, Т.Б. Шилович – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 19 с.

Гриф надано Вченою радою ІХФ

(Протокол № 3 від 03.04. 2013 р.)

Навчальне видання

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ ПРОМИСЛОВОЇ ТЕПЛОТЕХНІКИ

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни **«Спеціальні розділи промислової теплотехніки»** для студентів спеціальності 7.05050315, 8.05050315 – «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

Авторська редакція

Укладач: І.Л. Шилович, к.т.н., доц.

Т.Б. Шилович, к.т.н.

Відповідальний редактор Є.М. Панов, д.т.н., проф.

Рецензент: М.В. Коржик, к.т.н., доц.

Зміст

	Вступ ……...	4
Тема 1.1	Основні поняття та закони теплопередачі. Методика аналізу теплових процесів……...	5
Тема 1.2.	Спеціальні розділи стаціонарної теплопровідності.....	8
Тема 1.3.	Спеціальні розділи нестаціонарної теплопровідності.....	11
Тема 2.1.	Основи розрахунків конвективного теплообміну	13
Тема 2.2.	Основи розрахунків конвективного теплообміну при фазових перетвореннях речовини (кипіння)	14
Тема 3.1.	Основи розрахунків радіаційного теплообміну	15
Тема 3.2.	Розрахунки радіаційного теплообміну	15
Тема 4.	Основи теплових розрахунків теплообмінних агрегатів та промислового обладнання	16
	Список рекомендованої літератури	19

ВСТУП

Дисципліна «Спеціальні розділи промислової теплотехніки» вивчає основні теоретичні та практичні методики дослідження тепломасообмінніх процесів у промисловому обладнанні та устаткуванні та входить і входить до блоку дисциплін вільного вибору студентів спеціальностей 7.05050315, 8.05050315 – «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів».

Дисципліна складається з двох кредитних модулів, відноситься до вибіркової частини навчальної програми (дисципліна вільного вибору студентів), входить до циклу професійної та практичної підготовки студентів і являється спеціалізуючою в галузі машинобудування..

Вивчення матеріалу дисципліни базується на широкому використанні фізичних уявлень та теоретичних положень фундаментальних і загальноінженерних дисциплін, яки розкривають фізичну сутність процесів, що протікають при переробці полімерів в пакувальні вироби. Успішне засвоєння матеріалу дисципліни потребує від студентів підготовки з вищої математики, інформатики, матеріалознавства, технології конструкційних матеріалів, загальної та неорганічної хімії, інженерних розрахунків на ПЕОМ.

Метою курсу «Спеціальні розділи промислової теплотехніки» є надання студентам певного комплексу знань щодо особливостей теплообмінних процесів в апаратах галузі виробництва будівельних матеріалів.

Згідно з ОПП, змістом умінь, що забезпечуються, є наступне:

- здатність демонструвати знання теоретичних основ процесів, пов'язаних з технікою і технологією;
- здатність демонструвати знання теоретичних основ процесів, пов'язаних з технікою і технологією.

Тема 1.1. Основні поняття та закони теплопередачі. Методика аналізу теплових процесів.

Практичне заняття 1. Розв'язок задач стаціонарної теплопровідності для стінок різноманітної геометричної форми та 3-х видів граничних умов.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі з стаціонарної теплопровідності.

Теоретичні відомості. Загальне диференціальне рівняння одномірного температурного поля для необмеженої плоскої стінки, необмеженого циліндра

При стаціонарному режимі температурне поле не залежить від часу $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$ і диференціальне рівняння теплопровідності набуває вигляду [8]:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z}\right) + q_v = 0. \quad (1)$$

Необмежена плоска стінка (рис.1) являє собою тіло, обмежене з двох сторін паралельними поверхнями, протяжність яких у напрямках *y* і *z* велика. Якщо бокові стінки необмеженої плоскої стінки ізотермічні, то зміною температури в ній по осям *y* і *z* можна знехтувати ($\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0$) і диференціальне рівняння теплопровідності (1) приймає вигляд:

$$\frac{d}{dx}\left(\lambda \frac{dt}{dx}\right) + q_v = 0. \quad (2)$$

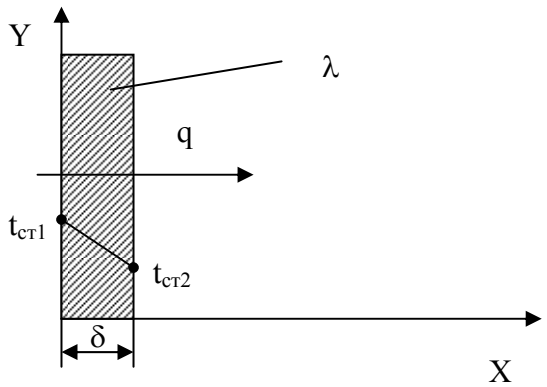

Рисунок 1. Необмежена плоска стінка.

Тіло циліндричної форми (рис.2) протяжність якого по осі z велика, називається необмеженим циліндром, який може бути суцільним ($r_1 = 0$) і порожнистим ($r_1 \neq 0$). Як для суцільного, так і для порожнистого необмежених циліндрів у тому випадку, коли внутрішні і зовнішні поверхні є ізотермічними, маємо $\partial t/\partial z = \partial t/\partial \varphi = 0$, ($r^2 = x^2 + y^2$) і диференціальне рівняння теплопровідності набуває вигляду:

$$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right) + q_V = 0. \tag{3}$$

У випадку ізотермічної внутрішньої і зовнішньої поверхонь для порожнистої кулі маємо $\partial t/\partial \varphi = \partial t/\partial \psi = 0$, ($r^2 = x^2 + y^2 + z^2$). Отже, диференціальне рівняння теплопровідності в цьому випадку записується наступним чином:

$$\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\lambda\frac{dt}{dr}\right) + q_V = 0. \tag{4}$$

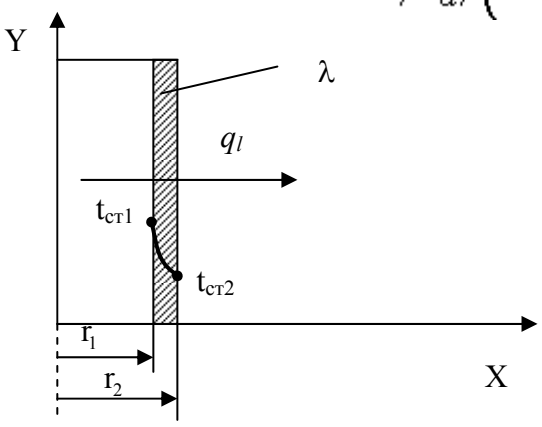

Рисунок 2. Необмежений порожнистий циліндр.

Умови однозначності. Отримане диференціальне рівняння (1) описує множину явищ теплопровідності. Щоб із безмежної кількості цих явищ виділити одне і дати його повний математичний опис, до диференціального рівняння теплопровідності необхідно додати умови однозначності, які містять у собі геометричні, фізичні, початкові і граничні умови. *Геометричні умови* визначають форму і розміри тіла, в якому відбувається досліджуваний процес. *Фізичні умови* задаються теплофізичними параметрами тіла λ, c_V і розподілом

внутрішніх джерел теплоти q_v. *Початкові умови* містять розподіл температури в тілі в початковий момент часу. *Граничні умови* визначають умови теплообміну на границі тіла.

Граничні умови I роду: задається розподіл температури на поверхні тіла для кожного моменту часу:

$$t_{ст} = f(x, y, z, \tau), \tag{5}$$

де $t_{ст}$ – температура поверхні тіла; x, y, z, – координати поверхні тіла.

Граничні умови II роду: задається величина теплового потоку для кожної точки поверхні тіла в довільний момент часу:

$$q_{ст} = f(x, y, z, \tau) \tag{6}$$

Граничні умови III роду: задаються температури середовища t_o і умови теплообміну цього середовища з поверхнею тіла.

Для опису інтенсивності теплообміну між поверхнею тіла і середовищем використовується гіпотеза Ньютона-Ріхмана, згідно з якою:

$$q_{ст} = \alpha(t_{ст} - t_o), \tag{7}$$

де α – коефіцієнт пропорціональності, що назвається коефіцієнтом тепловіддачі, Вт/(м^2·К).

Граничні умови III роду записуються так:

$$\left.\frac{\partial t}{\partial n}\right|_{ст} = -\frac{\alpha}{\lambda}\left(t_{ст} - t_o\right). \tag{8}$$

Граничні умови IV роду формуються на основі рівності теплових потоків, які проходять крізь прилеглі одна до іншої поверхні тіл, тоді

$$\lambda_1 \left.\frac{\partial t}{\partial n}\right|_{ст1} = \lambda_2 \left.\frac{\partial t}{\partial n}\right|_{ст2}. \tag{9}$$

Задача 1. Стіни сушильної камери зроблені із шару червоної цегли товщиною δ_1-250 мм і будівельної повсті. Температура на зовнішній поверхні цегляного

шару t_{c1} =110°С, на зовнішній t_{c3} =25°С. Коефіцієнт теплопровідності піно червоної цегли λ_1=0,7 Вт/(м·К), будівельної повсті λ_2=0,0465 Вт/(м·К).

Розрахувати температуру в площині дотику шарів і товщину повстяного слою при умові що теплові втрати через 1 м^2 стінки камери не перевищують q=110 Вт/м^2.

Література: [4] с.23 - 28, [3] с.14 - 17, [8]

Тема 1.2. Спеціальні розділи стаціонарної теплопровідності.

Практичне заняття 2. Розв'язання задач стаціонарної теплопровідності для ребра довільного геометричного перетину; визначення ефективного коефіцієнту тепловіддачі ребристої стінки; розрахунки теплопередачі через ребристу стінку.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі на інтенсифікацію теплообміну.

Теоретичні відомості. Диференціальне рівняння, яке характеризує теплообмін в прямому ребрі довільного профілю [8]

$$-2\lambda L\int_x \frac{d}{dx}\left[f(x)\frac{dt}{dx}\right]dx + 2L\alpha\int_x (t-t_o)\,dx = 0$$

звідки

$$f(x)\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{df(x)}{dx}\frac{dt}{dx} - \frac{\alpha}{\lambda}(t-t_o) = 0. \qquad (10)$$

Пряме ребро прямокутного профілю показано на рис.3.

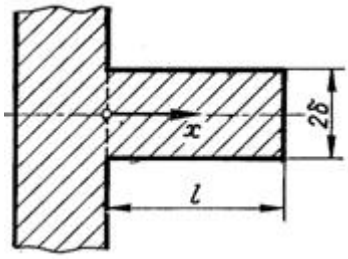

Рисунок 3. Пряме ребро прямокутного профилю.

У цьому випадку $f(x) = \delta$ і, як наслідок, (10) спрощується:

$$\frac{d^2t}{dx^2} - m^2\left(t - t_o\right) = 0, \tag{11}$$

де $m = \sqrt{\alpha / (\lambda\delta)}$ – комплекс.

Загальний розв'язок (11) виражається початковою функцією типу

$$t - t_o = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}. \tag{12}$$

Якщо знехтувати тепловіддачею з поверхні вершини ребра ($x = \delta$) и вважати температуру основи ребра ($x = 0$) рівною $t_{осн}$, отримаємо, пропустивши проміжні викладки,

$$\frac{t - t_o}{t_{осн} - t_o} = \frac{\mathrm{ch}\, m\ell\left(1 - \frac{x}{\ell}\right)}{\mathrm{ch}\, m\ell}. \tag{13}$$

Формула (13) характеризує температурне поле в ребрі прямокутного профілю при розглянутих граничних умовах.

Показником робочої характеристики ребра є його *ефективність*. Під цим поняттям слід розуміти відношення повного теплового потоку, який передається через ребро, до того теплового потоку, який передавався б через ребро у випадку, коли б вся поверхня ребра знаходилась би при температурі $t_{осн}$.

Повний тепловий потік, який проходить крізь ребро і той, що розвіюється з його поверхні, визначається з урахуванням (2.63) за формулою

$$Q = 2L\alpha\int_0^{\ell}\left(t + t_o\right)dx = \frac{2L\alpha\left(t_{осн} - t_o\right)}{\mathrm{ch}\, m\ell}\int_0^{\ell}\mathrm{ch}\, m\ell\left(1 - \frac{x}{\ell}\right)dx = \frac{2L\alpha\left(t_{осн} - t_o\right)}{m}\mathrm{th}\, m\ell. \tag{14}$$

Тепловий потік, який розвіювався б з поверхні ребра, якби воно знаходилось при постійній температурі $t_{осн}$, визначається виразом

$$Q_{осн} = 2L\ell\alpha\left(t_{осн} - t_o\right). \tag{15}$$

Розділивши (14) на (15), отримаємо формулу для ефективності ребра прямокутного профілю

$$\xi = \frac{\mathrm{th}\, m\ell}{m\ell}, \tag{16}$$

де ξ – коефіцієнт ефективності ребра прямокутної форми.

Ефективність ребра, як це слідує з (16), змінюється від 0 до 1; значення ξ = 1 відповідає ідеальному випадку, коли температура всієї поверхні ребра дорівнює температурі його основи. Це свідчить про максимальне теплове знімання з поверхні ребра.

Задача 2. Розв'язати задачу 1-48 [5], стор. 22.

Література: [3] с.23 - 28, [4] с.14 - 17, [5], [8].

Практичне заняття 3. Розв'язання задач стаціонарної теплопровідності для багатошарової стінки, циліндричної стінки з урахуванням залежності коефіцієнту теплопровідності від температури. Моделювання двовимірної задачі теплопровідності багатошарової стінки. Поняття критичного діаметру ізоляції.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі з визначенням критичного діаметру ізоляції.

Задача 3. Стінка неекранованої топкової камери парового котла виконана із шару піношамоту товщиною δ_1= 125 мм і шару червоної цегли товщиною δ_2= 400 мм. Шари щільно дотикаються один до одного. Температура на внутрішньої поверхні топкової камери t_{c1} =1100°C, а на зовнішній t_{c3} =50°C.

Коефіцієнт теплопровідності піно шамоту λ_1=028+0,00023t, червоної цегли λ_2=0,56 Вт/(м·К). Розрахувати витрати через 1 м^2 стінки топочної камери і температуру в площині дотику шарів.

Література: [4] с.31 - 38.

Тема 1.3. Спеціальні розділи нестаціонарної теплопровідності.

Практичне заняття 4. Розв'язання задач нестаціонарної теплопровідності для тіл правильної геометричної форми. Розв'язання задач нестаціонарної теплопровідності для тіл правильної геометричної форми кінцевих розмірів та нескінченої довжини.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі з нестаціонарної теплопровідності для тіл правильної геометричної форми.

Теоретичні відомості. Диференціальне рівняння нестаціонарної теплопровідності при відсутності внутрішніх джерел теплоти:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) = a\nabla^2 t \qquad (16)$$

де а – коефіцієнт температуропровідності, м^2/с.

Це лінійне однорідне диференціальне рівняння другого порядку в частинних похідних. Диференціальне рівняння теплопровідності відноситься до диференціальних рівнянь математичної фізики, для розв'язку яких застосовуються як класичні методи, так і наближені. До класичних методів відносяться, наприклад, метод розподілу змінних, метод джерел і інтегрального перетворення. До наближених методів відносяться метод кінцевих різниць (метод сіток).

Задача 4. Довгий стальний вал діаметром d=2r_0=120 мм, який мав температуру t_0=20°С, був розміщений у печі з температурою t_p =820°С. Визначити час, який

необхідний для нагріву вала, якщо нагрів вважати закінченим, коли температура на осі вала $t_{r=0}$ =800°С. Коефіцієнт теплопровідності сталі λ=21 Вт/(м·К), температуропровідності а=6,11·10^{-6} м^2/с. Коефіцієнт тепловіддачі до поверхні вала α= 140 Вт/(м^2·К).

Література: [4] с.31 - 38.

Практичне заняття 5-6. Розв'язання задач нестаціонарної теплопровідності чисельними методами. Основи створення чисельної моделі в стандартних прикладних редакторі МатКАД.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі з застосуванням стандартних прикладних редакторі МатКАД.

Приклад розв'язання задачі 3 за допомогою прикладного редактора МатКАД.

$a := 0.00000611$

$\alpha := 140$

$\lambda := 21$

$t_k := 800$ $\quad t_p := 820$

$r := 0.060$

$t_0 := 20$

$Bi := \alpha \cdot \frac{r}{\lambda} \rightarrow .40000000000000000001 \qquad Bi = 0.4$

$\Theta_{r0} := \frac{(t_p - t_k)}{t_p - t_0} \rightarrow \frac{1}{40} \qquad \Theta_{r0} = 0.025$

З графіка визначаємо $\quad Fo := 5.2$

$\tau := \frac{(r^2 \cdot Fo)}{a} \rightarrow 3063.8297872340425532$

$\frac{\tau}{60} \rightarrow 51.063829787234042554$

Відповідь час нагріву $\frac{\tau}{60} = 51.064$ хв

Література: [4] с.40 - 51, [5] с.131 - 145.

Тема 2.1. Основи розрахунків конвективного теплообміну

Практичне заняття 7-8. Окремі задачі конвективного теплообміну; визначення ефективного коефіцієнту тепловіддачі для випадків складного теплообміну.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі з визначення ефективного коефіцієнту тепловіддачі.

Література: [4] с.53 - 55.

Задача 5. Визначити ефективний коефіцієнт тепловіддачі від поверхні горизонтального паропроводу, зовнішнім діаметром d=300 мм, якщо температура його поверхні $t_{ст}$=300°С, температура навколишнього повітря t_0=30°С. Прийняти $\alpha_{конв}$ = 10 Вт/(м^2.К).

Практичне заняття 9 . Модульна контрольна робота.

Мета практичного заняття – перевірка і контроль знань і умінь студентів.

Тема 2.2. Основи розрахунків конвективного теплообміну при фазових перетвореннях речовини (кипіння).

Практичне заняття 10. Конвективний теплообмін при фазових переходах. Кипіння у великому об'ємі. Визначення коефіцієнтів при кипінні.

Теоретичні відомості. При бульбашковому кипінні у великому об'ємі коефіцієнт тепловіддачі може бути розрахований за формулою:

$$\text{при } Re \geq 10^{-2},\ Nu = 0.125 Re^{0.65} Pr^{1/3} \quad (17)$$

$$\text{при } Re \leq 10^{-2},\ Nu = 0.0625 Re^{0.5} Pr^{1/3} \quad (18)$$

$$Re = \frac{q \cdot l}{r\rho'' \nu}$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda},\ Pr = \frac{\nu}{a},\ l = \frac{c_p \rho'}{(r\rho'')^2} \sigma T_s,$$

де ν - кінематична в'язкість рідини, м^2/с,

c_p – теплоємність, кДж/кг.К,

r - теплота пароутворення, кДж/кг,

λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м.К),

а - коефіцієнт температуровідності, м^2/с,

σ - коефіцієнт поверхневого натягу. Значення визначаються за температурою насичення t_s. Для води l і $l/(r\rho''\nu)$ в залежності від t_s наведені в таблиці 1 [5].

Задача 6. Визначити коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні труби випаровувача до киплячої води, якщо теплове навантаження поверхні нагріву $q = 2 \cdot 10^5$ Вт/м^2, режим кипіння бульбашковий, вода знаходиться під тиском $p = 2 \cdot 10^5$ Па.

Таблиця 1 – Значення l, $\frac{l}{r\rho''\nu}$, $\frac{\lambda}{r\rho''\nu}$

t_s, °C	$l \cdot 10^6$, м	$\frac{l}{r\rho''\nu} \cdot 10^6$, м^2/Вт	$\frac{\lambda}{r\rho''\nu} \times 10^2$, 1/°C
30	16 450	276 870	1040
50	2 305	20 894	587
100	48,7	122	172
150	2,82	2,58	60,5
200	0,296	0,123	27,5
250	0,0451	0,00989	13,6

Практичне заняття 11. Основи теорії динамічного двофазного шару. Визначення умов кризи кипіння.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв’язувати задачі теплообміну при кипінні.

Теоретичні відомості. Критичне теплове навантаження визначається за формулою: $q_{êð} = Re_{êð}(r\rho''\nu / l)$ де:

$$Re_{êð} = 68Ar^{4/9}\,Pr^{-1/3} \qquad (19)$$

де $Re_{êð} = \frac{q_{êð} l}{r\rho'' \nu}$, $Ar = g\frac{l^3}{\nu^2}\frac{\rho' - \rho''}{\rho'}$. Усі позначення, як в *практичному занятті 10*.

Задача 7. Визначити критичне теплове навантаження при кипінні води у великому об'ємі при тиску $p=10^5$ Па.

Тема 3.1. Основи розрахунків радіаційного теплообміну.

Практичне заняття 12-13. Розв'язання задач для випадків радіаційного переносу теплоти.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі теплообміну при радіаційному теплопереносі.

Теоретичні відомості. Результуючий тепловий потік між двома паралельними поверхнями:

$$E = q_{1-2} = \varepsilon_{ïð}\, c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right], \qquad (20)$$

приведений ступінь чорноти

$$\varepsilon_{ïð} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Задача 8. Стінка топкової камери виконана з шамотної цегли, зовнішня оболонка – зі сталі. Відстань між ними 30 мм (мала порівняно з розмірами камери). Розрахувати втрати теплоти в оточуюче середовище з одиниці поверхні в одиницю часу в умовах стаціонарного режиму за рахунок радіаційного переносу теплоти між стінкою та обшивкою, якщо температура обмурівки $t_1 = 127^0C$, стальної обшивки $t_2 = 50^0C$, ступінь чорноти шамоту $\varepsilon_1 = 0.8$, листової сталі $\varepsilon_2 = 0.6$.

Тема 3.2. Розрахунки радіаційного теплообміну.

Практичне заняття 14-15. Визначення ефективних коефіцієнтів тепловіддачі при радіаційному теплопереносі.

Мета практичного заняття – сформувати уміння самостійно розв'язувати задачі теплообміну при радіаційному теплопереносі.

Задача 9. За умов попередньої задачі визначити ефективний коефіцієнт тепловіддачі при радіаційному тепло переносі.

Тема 4. Основи теплових розрахунків теплообмінних агрегатів та промислового обладнання.

Практичне заняття 16. Основи розрахунків теплообмінників: однофазних, з наявністю фазового переходу.

Мета практичного заняття – сформувати знання про основи розрахунку теплообмінників.

Теоретичні відомості. Розрахунок коефіцієнт тепловіддачі конвекцією при турбулентному русі повітря в трубах і каналах [9]:

$$\alpha_{ê}=0{,}018\frac{\lambda}{d}Re^{0{,}8}\varphi\ \text{Âò/(ì}^{2}\times{}^{0}\text{Ñ)} \qquad (21)$$

де λ — коефіцієнт теплопровідності газів, Вт/(м $\cdot{}^{0}$C)

d — діаметр трубы (приведений діаметр каналу), $м$;

$Re=\frac{vd}{\nu}$ — критерій Рейнольдса;

v — швидкість руху газів, м/с;

ν —коефіцієнт кінематичної в'язкості, $м^2/с$;

φ — поправочний множник, що залежить від відношення довжини труби до діаметра і критерію Re , наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Значення поправочного коефіцієнта φ в залежності від $\frac{l}{d}$ і Re

Re	Значення поправочного коефіцієнта φ								
	Відношення $\frac{l}{d}$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$1 \cdot 10^4$	1,65	1,50	1,34	1,23	1,17	1,13	1,07	1,03	1,00
$2 \cdot 10^4$	1,51	1,40	1,27	1,18	1,13	1,10	1,05	1,02	1,00
$5 \cdot 10^4$	1,34	1,27	1,18	1,13	1,10	1,08	1,04	1,02	1,00
$1 \cdot 10^5$	1,28	1,22	1,15	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02	1,00
$1 \cdot 10^6$	1,14	1,11	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

Формули для визначення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією за даними досліду ВНІІМТ для регенеративних насадок

$$\alpha_к = A\frac{\lambda}{d_п}Re^n \ \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot {}^0\text{C}) \qquad (22)$$

де λ -коефіцієнт теплопровідності продуктів горіння або повітря, Âò / (ì $^2 \cdot$ Ê)

$d_п$ - приведений (гідравлічний) діаметр комірки.

Re – критерій Рейнольдса, $Re = \frac{v \cdot d_ï}{\nu_t}$

v - дійсна швидкість газів , $м^2/с$;

ν_t -коефіцієнт кінематичної в'язкості $м^2/с$.

Таблиця 3. Значення коефіцієнтів A і n для формули (22)

Тип насадки	Розмір комірки, мм	Розмір цегли, мм	Приведенний діаметр, $d_{ї}$ мм	A	n
Насадка Сіменса з суцільними каналами	165×165	230×115×65	0,0824	0,2	0,61
Те саме	120×120	230×115×65	0,0824	0,193	0,62
Те саме	50×50	230×115×65	0,0824	0,045	0,78
Брускова	120×120	230×65×65	0,065	0,081	0,74

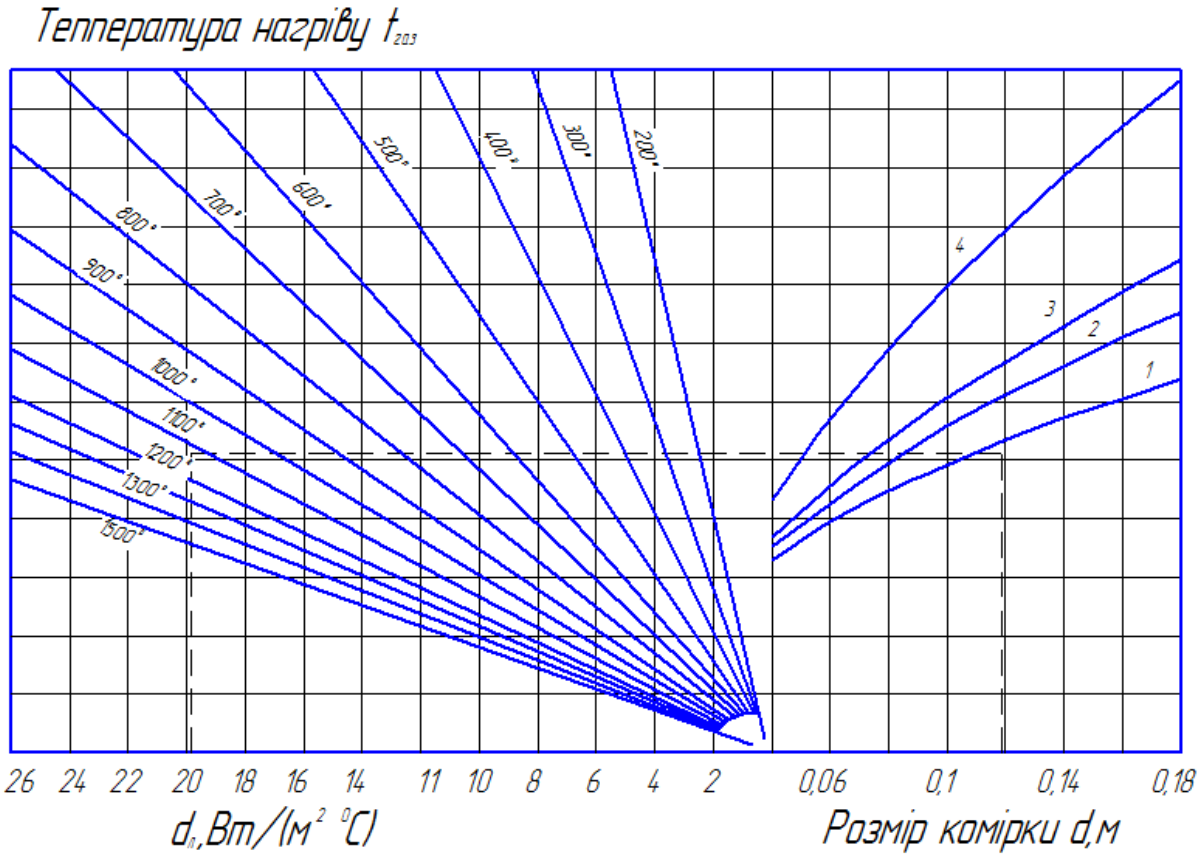

Рисунок 4. Графік для визначення коефіцієнта теплопередачі випромінювання в регенеративних насадках: Продукти горіння: *1*-мазут: *2*- змішаного коксо-доменного газу, *3*- генератор газу: *4*- коксового газу.

Практичне заняття 17. Модульна контрольна робота.

Мета практичного заняття – перевірка і контроль знань і умінь студентів.

Практичне заняття 18 . Залік.

Мета практичного заняття – перевірка і оцінювання знань і умінь студентів

Список рекомендованої літератури

1.Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. - М.; Энергоиздат, 1983.

2. Исаченко В.М., Осипова В.А., Сухомел А.С. Теплопередача. -М.; Энергоиздат, 1981.

3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. -М.; Энергия, 1977.

4. Сб. задач по технической термодинамике /Андрианов Т.А., Дзампов Б.В. и др. -М.; 1971.

5. Краснощеков Е.А., Сухомел А.С. Задачник по теплопередаче. -М.; 1975.

6.Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Термодинамика сложных термодинамических систем - М.: Наука,1981. - 212 с.

7. Промышленная теплотехника: Справочник /Под ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина. - М.:Энергоатомиздат, 1991. - 588 с.

8. Електронний ресурс http://posibnyky.vntu.edu.ua/tep/2.htm

9. Левченко П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности. Учебное пособие для вузов. Перепечатка с издания 1968 г. – М.: ООО ИД «Альянс». 2007. 366 с.