

**МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
Кафедра „Теплотехніка та теплові двигуни”

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ В ТОПЦІ  
ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ  
ЗА МЕТОДОМ «ВТИ-ЭНИН»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт з дисципліни  
**«КОТЕЛЬНІ УСТАНОВКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

**Харків - 2010**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» від 29 вересня 2008 р., протокол № 3.

Викладено основні положення методики розрахунку теплообміну в топці.

Методичні вказівки призначено для студентів спеціальності «Теплоенергетика» по дисципліні «Котельні установки промислових підприємств».

Укладачі:

старш. викл. В.К. Кадневський,  
доценти М.Г. Ніколенко,  
А.О. Каграманян,  
асист. П.В. Рукавішников

Рецензент

доц. Д.Ю. Бородін

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ В ТОПЦІ  
ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ  
ЗА МЕТОДОМ «ВТИ-ЭНИН»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт з дисципліни  
*«Котельні установки промислових підприємств»*

Відповідальний за випуск Кадневський В.К.

Редактор Буранова Н.В.

---

Підписано до друку 10.11.08 р.  
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.  
Умовн.-друк.арк. 0,5. Обл.-вид.арк. 0,75.  
Замовлення № Тираж 100 Ціна

---

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК 2874 від 12.06.2007 р.  
Друкарня УкрДАЗТу,  
61050, Харків - 50, майд. Фейєрбаха, 7

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ І ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

*Механічний факультет  
кафедра «Теплотехніка та теплові двигуни»*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ В ТОПЦІ  
ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ ЗА МЕТОДОМ «ВТИ-  
ЭНИН»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт  
з дисципліни *«Котельні установки промислових під-  
приємств»*

Харків – 2008

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» від 29 вересня 2008 р., протокол № 3.

Викладено основні положення методики розрахунку теплообміну в топці.

Методичні вказівки призначено для студентів спеціальності «Теплоенергетика» по дисципліні «Котельні установки промислових підприємств».

Укладачі:

Старш. викл. В.К. Кадневський,  
доценти М.Г. Ніколенко,  
А.О. Каграманян,  
асист. П.В. Рукавішников.

Рецензент

доц. Д.Ю. Бородін

## **1 МЕТА РОЗРАХУНКУ**

Дослідження процесів теплообміну в однокамерних топках, визначення температури продуктів згоряння на виході з топки і теплосприйняття топки.

Розрахунок виконується з використанням ЕОМ. Розрахуноків на ЕОМ повинне передувати визначення геометричних характеристик топки за кресленнями і складовими теплового балансу котла за методикою, викладеної в [1, 2].

Доцільно використовувати результати розрахунку геометричних характеристик топки і складових теплового балансу, отримані в ході виконання курсового проекту з дисципліни «*Котельні установки промислових підприємств*» .

## **2 МЕТОД РОЗРАХУНКУ**

В основу методу покладені загальні закономірності процесу радіаційного теплообміну в камері, заповненій випромінюючим середовищем, і що має поверхню нагрівання, обмуровування й у загальному випадку шар палаючого палива.

Метод дозволяє в явному вигляді врахувати вплив на теплообмін таких факторів:

- температура теплоносія;
- термічний опор шару забруднень;
- селективність випромінювання топкових газів;
- ступінь екранування топкової камери;
- кут установлення паливних пальників;
- рециркуляція газів у топку;
- склад палива;
- висота ошипування;
- тиск у топці.

Метод ґрунтується на розв'язанні системи чотирьох рі-

внянь, що описують процес теплообміну в топковій камері. У систему рівнянь входять:

- рівняння радіаційного теплообміну топкового середовища з поверхнями нагрівання

$$Q_{\dot{\epsilon}} = \frac{\sigma_0 \cdot a_{\dot{\epsilon}} \cdot H_{\dot{\epsilon}}}{B_p \cdot \chi} (T_{\dot{\epsilon}}^4 - T_{\dot{\epsilon}\delta}^4), \quad (1)$$

- рівняння теплового балансу

$$Q_{\dot{\epsilon}} = \varphi(Q_{\dot{\delta}} - I_{\dot{\delta}}''), \quad (2)$$

- рівняння теплопередачі між зовнішнім шаром забруднень поверхні нагрівання і теплоносієм

$$Q_{\dot{\epsilon}} = \frac{H_{\dot{\epsilon}}}{B_p \cdot \left( \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right)} (T_{\zeta} - T_{\dot{\epsilon}\delta}), \quad (3)$$

- емпіричне рівняння для визначення ефективної температури топкового середовища

$$T = T'' \left( 1 + \sum_{i=1}^n \Delta_i \right). \quad (4)$$

Тут  $Q_{\dot{\epsilon}}$  – теплота, передана теплоносієві в топці,  $кВт$ ;  
 $a_k$  – приведений ступінь чорності топкової камери;  
 $\sigma_0 = 20,53 \cdot 10^{-8}$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла,  $кВт/м^2 \cdot K^4$ ;  
 $H_{\dot{\epsilon}}$  – промінесприймаюча поверхня нагрівання топки,  $м^2$ ;  
 $B_p$  – розрахункова витрата палива,  $кг/год$ ;  
 $T_{\text{эф}}$  – абсолютна ефективна температура топкового середовища,  $K$ ;  
 $T''_{\tau}$  – температура газів на виході з топки,  $K$ ;  
 $T_3$  – температура поверхні шару забруднень,  $K$ ;  
 $T_{\text{сп}}$  – температура середовища в трубах,  $K$ ;

- $\varphi$  – коефіцієнт збереження теплоти;
- $\varepsilon$  – термічний опір шару забруднень,  $m^2 \cdot K / kWm$ ;
- $Q_T$  – корисне тепловиділення в топці,  $kWm$ ;
- $I''_T$  – ентальпія продуктів згоряння 1 кг палива при температурі  $T''_T$ ,  $kJ/kg$ ,
- $\Sigma \Delta_i$  – сума виправлень  $\Delta_i$ , що враховують вплив на ефективну температуру різних факторів;
- $\Delta_p$  – виправлення, що враховує рід палива;
- $\Delta_\varphi$  - виправлення, що враховує кут нахилу пальника до горизонталі;
- $\Delta_x$  - виправлення, що враховує ступінь екранування топкової камери.

Числові значення виправлень, а також формули для розрахунків інших параметрів наведені в [1, с. 89...92].

Рішення системи рівнянь (1)...(4) щодо чотирьох невідомих величин  $T_{эф}$ ,  $T''_T$ ,  $T_з$ ,  $Q_L$  виконується в такий спосіб.

Задаємо нижню  $T_0$  і верхню  $T_1$  границі температурного інтервалу, усередині якого може знаходитися шукане значення  $T''_T$ .

При заданих  $T_0$ ,  $T_1$  обчислюємо значення  $Q_L$  за рівняннями (1) і (2).

Якщо відносна відмінність  $\Delta Q_L$ , підрахована за рівняннями (1) і (2), перевершує наперед задану величину похибки, за методом половинного розподілу визначаємо нове значення температури  $T''_T$  і повторюємо розрахунок. Якщо відносна різниця менше заданої похибки, обчислення припиняються і друкуються результати розрахунку.

Обчислення об'ємів і ентальпії продуктів згоряння в залежності від складу палива, коефіцієнта надлишку повітря і температури  $T''_T$  виконується у відповідність до п.п. 4.01.... 4.09 [1].

Перелік вихідних даних у порядку їхнього введення і відповідні ним ідентифікатори програми подані в таблиці 1.

Для заповнення таблиці вихідних даних необхідно, використовуючи рекомендації [1], виконати ряд допоміжних роз-

рахунків:

- вписати з таблиць I і II [1] розрахункові характеристики палива;
- у залежності від типу топкового пристрою і роду палива, що спалюється, вибрати, використовуючи рекомендації п. 4.14 [1] і таблиць XVII – XXI [1] розрахункові характеристики топки;
- визначити складові теплового балансу котла відповідно до п.п. 5.01...5.14 [1] і витрата палива відповідно до п.п. 5.15...5.16 [1];
- визначити геометричні характеристики топки відповідно до п.п. 6.01...6.05 [1];
- за таблицею XXIII визначити температуру води в трубах  $T_{cp}$ , як температуру насичення при тиску в барабані котла;
- якщо спеціально зауважено, прийняти тиск у топці  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ .

Посилання на формули і графіки, необхідні для визначення інших вихідних даних, подані в таблиці 1 даних методичних вказівок.

У ході курсового проектування студентам рекомендується виконати розрахунок топки методом ЦКТИ [1] без застосування ЕОМ, а потім за допомогою наведеної програми досліджувати вплив різних факторів на теплообмін у топці. Вибір факторів за вказівкою викладача.

Необхідно враховувати, що і методика ЦКТИ, і методика ВТИ-ЭНИН є наближеними. Тому неминуча деяка відмінність значень  $T''_т$ ,  $I''_т$ , обчислених за цими методиками.

### **Контрольні питання**

1 Які допущення прийняті при розробленні методики ЦКТИ?



2 Які допущення прийняті при розробленні методики ВТИ – ЭНИН ?

3 Назвіть складове теплового балансу котла?

4 Назвіть і охарактеризуйте відомі вам методи чисельного розв'язання рівнянь?

Таблиця 1 - Вихідні дані для розрахунку топки

Параметр	Розмірність	Ідентифікатор	Значення	
1	2	3	4	5
L		L		Ознака роду палива: L =1 мазут, L=2 буре вугілля, L=3 кам'яне вугілля АШ
L <sub>1</sub>		L1		Ознака типу шарової топки: L <sub>1</sub> =1 топка Померанцева, L <sub>1</sub> =2 топка з закидувачем
L <sub>2</sub>		L2		Ознака типу топки: L <sub>2</sub> =1 шарова топка , L <sub>2</sub> =2. факельна топка
Q <sub>δ</sub> <sup>δ</sup>	кДж/кг	QP		Розташовувана теплота палива
q <sub>3</sub>	%	Q3		Утрата теплоти від хімічної неповноти згоряння
q <sub>4</sub>	%	Q4		Утрата теплоти від механічної неповноти згоряння
q <sub>6</sub>	%	Q6		Утрата теплоти зі шлаком
Q <sub>в</sub>	кДж/кг	QB		Теплота, внесена в топку з повітрям
r <sub>i</sub>	кДж/кг	RI		Теплота газів, що рециркулюють

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
V <sub>p</sub>	Кг/год	BP		Витрата палива
α <sub>т</sub>		AT		Коефіцієнт надлишку повітря
φ		FI		Коефіцієнт збереження теплоти

$q_v$	$\text{кВт/м}^3$	QV		Теплова напруга топкового об'єму
$Q_a^{ai}$	$\text{кДж/кг}$	QBB		Теплота, одержувана повітрям при підігріві поза котлом
$H_{\text{л}}$	$\text{м}^2$	HL		Променесприймаюча поверхня нагрівання
$T_{\text{ср}}$	$\text{К}$	TCP		Температура води в трубах
$\varepsilon$	$\text{м}^2 \cdot \text{К/кВт}$	E		Термічний опір шару золи (таблиця V-3, с. 92 [1])
$\varphi_{\text{гор}}$	<i>градус</i>	FG		Кут відхилення пальника від горизонталі. Відхилення вниз - зі знаком «плюс», нагору - зі знаком «мінус»
$s_v$	$\text{м}$	SV		Ефективна товщина випромінюючого шару
$P_1$	$\text{МПа}$	P1		Тиск у топці
$a_{\text{л}}$		AL		Усереднена ефективна поглинаюча здатність теплосприймаючих поверхонь (формула V-9, с. 92 [1])
$\chi_{\text{сл}}$		XCL		Ступінь екранування шарової топки
$\chi_{\text{л}}$		XL		Ступінь екранування топки
$X$		X		Коефіцієнт, що враховує вплив селективності випромінювання на радіаційний теплообмін. Для твердого палива і мазуту $X = 1$
$k_{\text{кокс}} \cdot X_1 \cdot X_2$		KXX		Ефективний коефіцієнт ослаблення променів коксовими частками – п. 6.08 [1])
$\varepsilon_1$		E1		Припустима відносна похибка обчислення $Q_v$ за рівняннями (1) і (2) (рекомендується приймати 0,005)
$d_{\text{зл}}$	$\text{м}$	DZL		Діаметр золових часток
$T_0, T_1$	$^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}$	$T_0, T_1$		Відповідно мінімальне і максимальне значення температурного інтервалу, усередині якого очікується $T_{\text{т}}$ (рекомендується задавати $T_0 = 1100^{\circ}\text{C}, T_1 = 1800^{\circ}\text{C}$ )

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
$W^p$	%	W		Вологість робочої маси палива
$A^p$	%	Z		Зольність палива
$S^p$	%	S		Вміст сірки палива
$C^p$	%	C		Вміст вуглецю в паливі

$O^p$	%	O		Вміст кисню в паливі
$H^p$	%	H		Вміст водню в паливі
$N^p$	%	N		Вміст азоту в паливі
$P$	кг/кг	P		Кількість пари, що подають на розпил палива
$a_{ун}$		U		Частка золи, що відноситься газами

## Приклад розрахунку

### ВИХІДНІ ДАНІ

$L = 0.3080E 00$      $LI = 0.2000E 01$      $L2 = 0.2000E 01$      $QP = 0.5000E 04$   
 $Q3 = 0.0000E 00$      $Q4 = 0.5000E 00$      $Q6 = 0.3600E 00$      $QB = 0.6970E 03$   
 $RI = 0.0000E 00$      $BP = 0.1333E 06$      $AT = 0.1200E 01$      $FI = 0,9980E 00$   
 $QV = 0.1430E 06$      $QBB = 0.0000E 00$      $HL = 0,2079E 04$      $TCP = 0.3090E 03$   
 $E = 0.4000E -02$      $FG = 0.5000E 01$      $SV = 0.0000E 00$      $P1 = 0.1000E 00$   
 $AL = 0.7290E 00$      $XCL = 0.8000E 00$      $XL = 0.9500E 00$      $X = 0.1050E 01$   
 $KXX = 0.5000E -01$      $E1 = 0.1000E -01$      $DZL = 0.1300E -02$      $T0 = 0.1100E 04$   
 $T1 = 0.1700E 04$      $W = 0.8000E 01$      $Z = 0.2300E 02$      $S = 0.3200E 02$   
 $C = 0.5520E 02$      $H = 0.3800E 01$      $O = 0.5800E 01$      $N = 0.1000E 01$   
 $P = 0.0000E 00$      $U = 0.0000E 00$

### РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

ТЕМПЕРАТУРА НА ВИХОДІ З ТОПКИ     $T2 = 1462.5$   
ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНІ ШАРУ ЗАБРУДНЕННЯ     $TZ = 901.0$   
ТЕПЛОСПРИЙМАННЯ ТОПКИ     $Q2 = 2298.7$

ЕФЕКТИВНА ТЕМПЕРАТУРА ТОПКОВОГО  
СЕРЕДОВИЩА

TET = 506.3

ЕНТАЛЬПІЯ ГАЗІВ НА ВИХОДІ

I11 = 3374,51099

СТУПІНЬ ЧОРНОСТІ ТОПКОВОЇ КАМЕРИ

AK = 0.7068

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1 Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. - М.: Энергия, 1973. - 296 с.

2 Сидельковский Л.Н., Юренев В.И. Котельные установки промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 528 с.