

## УМОВИ ЗАГОРАННЯ ГАЗОВОГО ВУГІЛЛЯ ПОГІРШЕНОЇ ЯКОСТІ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ

© Кравець Т.Ю., 2009

**Досліджено умови загорання Львівсько-волинського вугілля.**

**The flashing condition research of Lviv-Volyn' coal was review in this work.**

**Постановка проблеми.** Після проголошення незалежності в Україні тверде паливо займає все вагомніше місце в розвитку її енергетичного комплексу. Аналіз літературних джерел показав, що в найближчі десятки років на Україні основним паливом на теплових електричних станціях (ТЕС) для виробництва електроенергії буде вугілля [1].

Погіршення гірничо-геологічних умов видобутку, переходу на проходку тонких шарів вугілля (<1,0 м) складної структури із збільшенням видобутку гірської маси призвело до зниження якості видобуваного вугілля [2]. Тому сьогодні актуальною є проблема спалювання в топках котлів твердого палива погіршеної якості з високою ефективністю та економічністю.

Так, наприклад, Львівсько-Волинський вугільний басейн є основною паливною базою західного регіону України. Поблизу нього розміщені: Бурштинська ТЕС потужністю 2400 МВт, Добротвірська ТЕС-600 МВт і з 1970р. на спалювання цього вугілля переводять Калузьку ТЕЦ-200МВт. У згаданому вугільному басейні є великі промислові запаси твердого палива, проте частка запасів якісного вугілля становить приблизно 12%, а більше ніж 85% – це низькоякісне вугілля.

Можливість використання низькоякісного вугілля Львівсько-Волинського басейну вимагає спеціального дослідження [3], зокрема і умов загорання такого палива у існуючих котлоагрегатах.

*Аналіз останніх досліджень.* З цієї проблематики дослідження умов загорання кам'яного вугілля Львівсько-Волинського басейну не проводили, а тому автори в цій публікації їх розглядають вперше.

**Формування цілей статті.** Необхідно дослідити та проаналізувати теоретично умови загорання твердого палива погіршеної якості Львівсько-Волинського вугільного басейну з виділенням основних факторів, що дозволили б підвищити ефективність та економічність спалювання його на існуючих ТЕС.

Дослідження загорання палива здійснено за допомогою методу математичного моделювання. Цей метод дозволяє встановити, за якої температури і величини концентрації кисню відбувається процес загорання.

У роботі досліджується процес загорання кам'яного вугілля марки Г Львівсько-Волинського басейну, що має такий склад на робочу масу палива:

$$1. A^p = 19,8 - 44\%;$$

$$2. W^p = 10 - 24\%;$$

$$3. Q_n^p = 5250 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} (21997,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}) - 3000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} (12570 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}});$$

**Дослідження процесу samozapalювання без врахування тепловідведення.** Першим етапом дослідження процесу запалювання є розв'язання нестационарної задачі без врахування тепловідведення в стінку. це дозволило проаналізувати вплив на процес запалювання реакційних влас-

тивостей палива, а також режимних умов (концентрацій реагентів, швидкості). У цьому випадку рівняння Д.М. Хзмалян [4] набуває вигляду

$$\frac{1}{\Theta^2} e^{-1/\Theta} - \frac{d\Theta}{d\chi} = 0, \quad (1)$$

де  $\Theta = \frac{RT}{E}$  – безрозмірна температура;

$$\chi = x \frac{\beta k_0 C_0 \mu_0 f Q 273^2 R^3}{W_0 (c_{нов} + \mu_0 c_n) E^3} - \text{безрозмірна координата};$$

$\mu_0$  – концентрація повітря у паливо-повітряній суміші,  $кг/м^3$ ;

$\beta$  – стехіометричний коефіцієнт;

$f$  – питома поверхня палива,  $м^2/кг$ ;

$C_0$  – концентрація палива у паливо-повітряній суміші,  $кг/м^3$ ;

$E$  – енергія активації,  $кДж/моль$ ;

$R$  – газова стала дорівнює  $8,314 \text{ кДж}/(\text{кмоль}\cdot\text{К})$ ;

$Q$  – теплота згоряння палива,  $кДж/кг$ ;

$C_{нов}, C_n$  – теплоємності, відповідно повітря і палива,  $кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;

$k_0$  – передекспоненціальний множник,  $с^{-1}$ ;

$W_0$  – швидкість потоку,  $м/с$ .

Рівняння 1 аналітично не розв’язується, а його розв’язок можна отримати лише за допомогою обробки на обчислювальній машині.

Для отримання рівняння вигляду  $\Theta = \Theta(\chi, \Theta_1)$ , тобто функціональної залежності безрозмірної температури потоку суміші палива з повітрям в потоці гарячих топкових газів від безрозмірної координати і початкової температури суміші перетворимо рівняння (1) до вигляду, в якому його було оброблено на ЕОМ:

$$\frac{1}{\Theta^2} e^{-1/\Theta} = \frac{d\Theta}{d\chi} \quad (2)$$

$$d\chi = \frac{d\Theta}{\frac{1}{\Theta^2} e^{-1/\Theta}} \quad (3)$$

$$\int_0^\chi d\chi = \int_{\Theta_1}^\Theta \Theta^2 e^{1/\Theta} d\Theta \quad (4)$$

Рівняння (1) має універсальний характер, тобто його розв’язок можна використовувати для будь-яких палив і режимних умов.

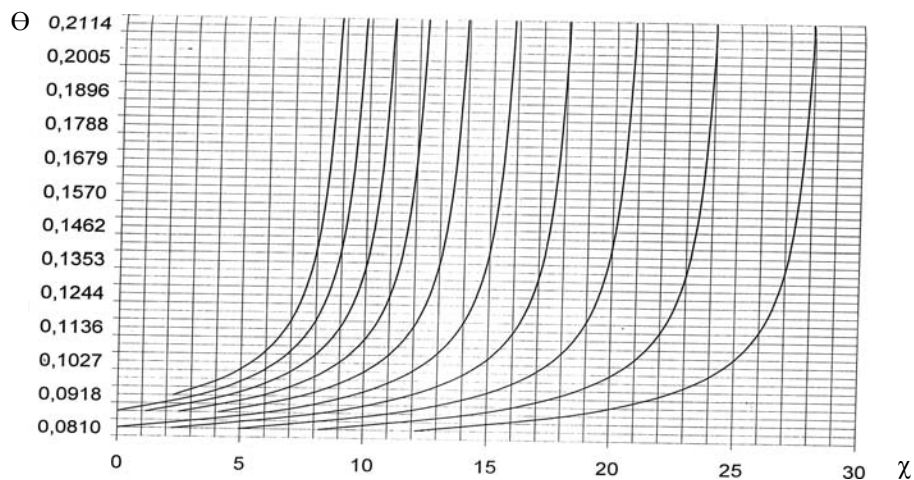


Рис. 1. Залежність безрозмірної температури від безрозмірної координати

Специфіка рівняння (1) полягає у тому, що, якщо його розв'язати для одного, а саме – меншого значення безрозмірної температури  $\Theta_1$ , то будь-якого більшого значення  $\Theta_1$  криві температур можна отримати, використовуючи адитивні властивості інтегралу.

Проінтегрувавши рівняння (4) при початковій температурі паливо-повітряної суміші  $t_1 = 5, 10, 15, \dots 50$  °С отримали такі результати, які наведені у вигляді графіків на рис. 1. Криві мають спочатку невеликий, а потім різкий підйом, майже вертикально догори.

Відрізки координат  $\chi$  від  $\Theta = \Theta_1$  до  $\Theta \rightarrow \infty$  будемо називати ділянкою запалювання. Отже, ділянка запалювання характеризує період розвитку процесу від початкової температури до моменту доволі різкого підйому температур. Безумовно, кінець процесу фактично буде іншим, оскільки почнеться вплив дифузії, вигорання палива і окислювача, крива відхилиться і при повному вигоранні палива, досягнувши максимальної температури горіння, вийде на горизонталь.

Але оскільки нас цікавлять початкові умови запалювання, то момент різкого підйому кривої і дає нам шукану довжину ділянки запалювання.

Значення безрозмірних величин ділянок запалювання за відсутності тепловідведення  $\chi_e^0$ , що відповідають початковим умовам, які наведені вище, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Залежність безрозмірної ділянки запалювання від початкової безрозмірної температури**

|  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Початкова безрозмірна температура $\Theta_1$ | 0,0755 | 0,0769 | 0,0782 | 0,0796 | 0,0810 | 0,0823 | 0,0837 | 0,0850 | 0,0864 | 0,0878 |
| Безрозмірна ділянка запалювання $\chi_e^0$   | 27,26  | 22,44  | 19,08  | 16,50  | 14,41  | 12,64  | 11,11  | 9,77   | 8,57   | 7,49   |

Доволі цікавим є знаходження функціональної залежності між початковою температурою і відповідною ділянкою запалювання. Залежність  $\Theta_1 = f(\chi_e^0)$  буде універсальною для різноманітних палив і режимних параметрів і має вигляд:

$$\Theta_1 = 0.073 + 0.02878 \cdot e^{-\frac{\chi_e^0}{11.21521}} \quad (5)$$

Формула для знаходження безрозмірної ділянки запалювання можна одержати з рівняння (5):

$$\chi_e^0 = 11.21521 \cdot \ln \frac{0.02878}{\Theta_1 - 0.073} \quad (6)$$

або із залежності безрозмірної ділянки запалювання від початкової безрозмірної температури:

$$\chi_e^0 = 791.70311 - 17558.94956 \cdot \Theta_1 + 98308.35565 \cdot \Theta_1^2 \quad (7)$$

Розбіжність між значеннями  $\chi_e^0$ , отриманої за формулами (6) і (7) при  $\Theta_1 = 0.0755..0.0878$  не перевищує 5,2 %.

Температура  $\Theta_1$  і, відповідно  $t_1$ , є реальною температурою загорання за відсутності тепловідведення, яка дійсно приводить систему до різкого підйому температур на визначеній ділянці. Знайдена таким способом температура загорання залежатиме як від режимних умов, так і від заданого розвитку процесу.

*Дослідження процесу samozapalювання з врахуванням тепловідведення.*

Другим етапом дослідження процесу запалювання є розв'язання нестационарної задачі з врахуванням тепловідведення в стінку. Рівняння має вигляд:

$$\frac{1}{\Theta^2} e^{-1/\Theta} - \frac{d\Theta}{d\chi} - \Omega(\Theta - \Theta_1) = 0 \quad (8)$$

$$\Omega = \frac{4\alpha_c E^3}{273^2 \beta k_0 C_0 \mu_0 f Q R^3 d} - \text{безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі.} \quad (9)$$

де  $\alpha_c$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$d$  – діаметр камери, м.

Якщо рівняння (1) давало універсальний розв'язок не тільки для будь-якого виду палива і режимних умов, але й для будь-якого  $\Theta_1$ , то рівняння (8) такої універсальності не дає. Це пояснюється наявністю параметра  $\Omega$ . Очевидно, що криві росту температур відставатимуть від кривих  $\Omega = 0$  тим більше, чим більшим буде  $\Omega$ .

При розрахунках були прийняті ті самі початкові умови:  $\Theta_1 = 0.0755..0.0878$ .

Як очевидно з рівняння (9),  $\Omega$  залежить лише від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  (нехтуючи зміною енергії активації при зміні температури), при заданих режимних і апаратних умовах. Тому приймаючи, що  $\alpha$  змінюється в межах:  $\alpha = 0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0$  отримали відповідні значення параметра  $\Omega$ , які наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Значення безрозмірного коефіцієнта тепловіддачі залежно від коефіцієнта надлишку повітря**

| Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha$          | 0,05     | 0,5     | 1,0     | 1,5     | 2,0     | 2,5     | 3,0     | 3,5     | 4,0   |
|---|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі $\Omega$ | 0,001276 | 0,01276 | 0,02551 | 0,03827 | 0,05102 | 0,06378 | 0,07653 | 0,08929 | 0,102 |

Рівняння (8) перетворене до вигляду, в якому його обробляли на комп'ютері, має вигляд

$$\int_0^{\chi} d\chi = \int_{\Theta_1}^{\Theta} \frac{d\Theta}{\frac{1}{\Theta^2} e^{-1/\Theta} - \Omega(\Theta - \Theta_1)} \quad (10)$$

Результати дослідження цього рівняння наведені графічно для  $\alpha = 0,05; 1,5; 4,0$  на рис. 2–4.

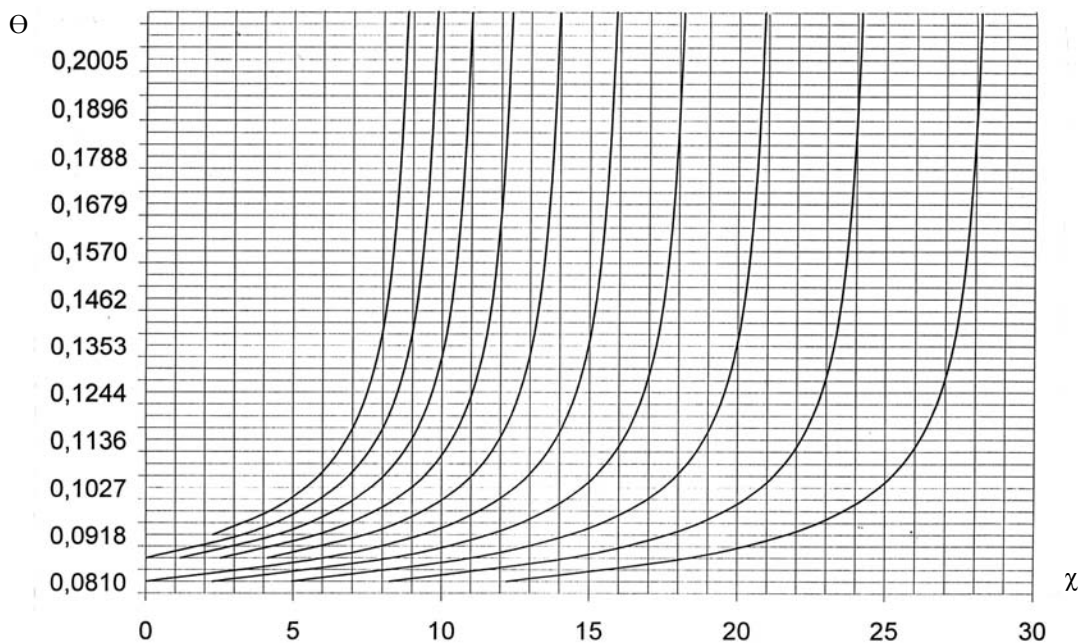


Рис. 2. Залежність безрозмірної температури від безрозмірної координати при  $\alpha = 0,05$

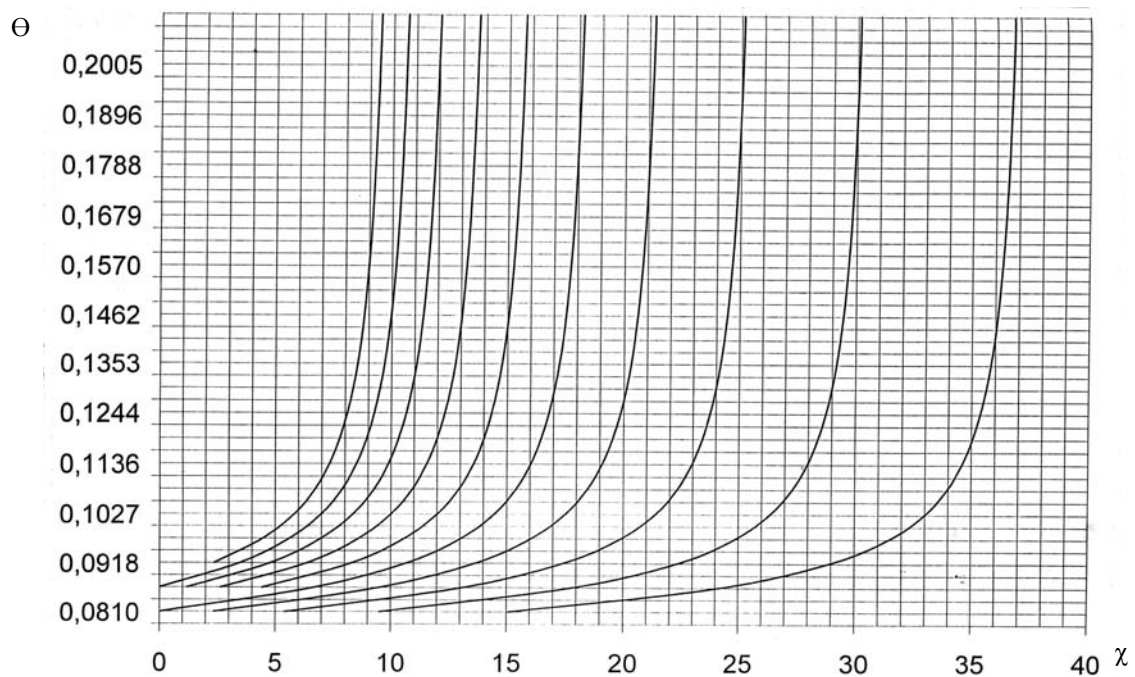


Рис. 3. Залежність безрозмірної температури від безрозмірної координати при  $\alpha = 1,5$

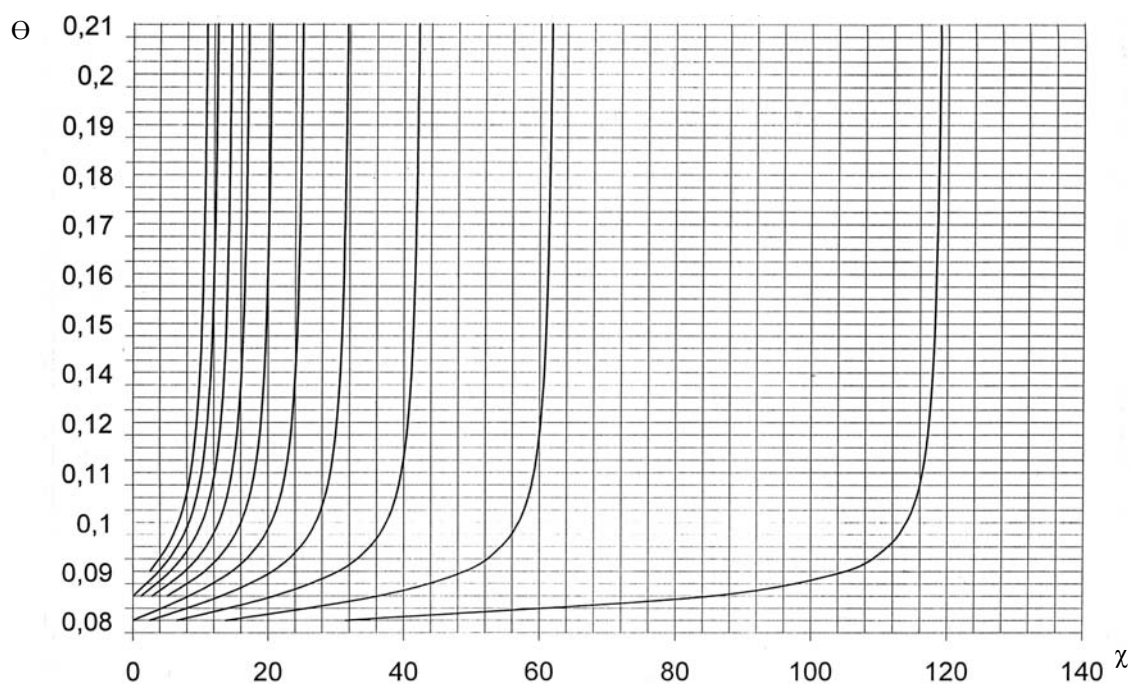


Рис. 4. Залежність безрозмірної температури від безрозмірної координати при  $\alpha = 4,0$

При порівняно малих значеннях  $\Omega$  криві зливаються з кривими без тепловідведення. Великі значення  $\Omega$  можуть спричиняти відсутність загоряння. Така крива, піднявшись на деяку величину, далі виходить на горизонталь. Граничним є значення  $\Omega_{\kappa}$  і, відповідно, температура  $\Theta_{\kappa}$ . У стаціонарній теорії самозапалювання ці значення мають назву критичного тепловідведення і критичної температури самозапалювання.

### **Висновки досліджень**

1. На процес згоряння частинок палива впливає їх розмір, так у частинок розміром 90 мкм час загорання приблизно дорівнює часу загорання летких речовин (від 673 до 1273К).

2. Із збільшенням температури газового середовища тривалість загорання зменшувалась.

3. З підвищенням початкової температури суміші  $\Theta_1$ , оптимальне значення коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  зростає. Зі збільшенням  $\alpha$  вище від оптимального значення для самозагорання, а саме:  $\alpha_{\text{опт}} = 0,12$  до  $\alpha = 0,44; 0,72; 1,05$ , коли  $\Theta = 0,075$  довжина ділянки загорання збільшувалась в 2,5; 4,5 і 6,5 рази. Це означає, що найкращі умови для розвитку першого реагування, який переводить процес до швидкотемпературного режиму, тобто до самозагорання в одномірному потоці за однакових інших умов, виникають в суміші тоді, коли є недостатня кількість повітря для палива погіршеної якості.

*1. Эффективное сжигание низкосортных углей в энергетических котлах / А.А. Мадоян и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 200 с. 2. Мисак Й.С., Івасик Я.Ф., Кравець Т.Ю. Вплив якості палива на технікоекономічні показники котельних установок теплових електростанцій / Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – № 404. – 2000. – С. 89–96. 3. Електроенергетика України: Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку. ІНЕД. – К., 1998. 4. Хзмалян Д.М. Теорія топочних процесов: Учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.*

**УДК 697.34**

**В.І. Венгльовський**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## **ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ТЕПЛОТИ В ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ПОПЕРЕДНЬО ТЕПЛОІЗОЛЬОВАНИМИ ТРУБОПРОВОДАМИ**

© Венгльовський В.І., 2009

**Розглянуто методику теплового розрахунку трубопроводів теплових мереж. Наведено результати досліджень роботи теплових мереж і мереж гарячого водопостачання із використанням попередньо теплоізольованих трубопроводів.**

**In this article the thermal design procedure of pipe systems of thermal networks is considered. The investigations results work of thermal networks and networks of water supply with use preliminary heat – insulated pipelines are presented.**

**Постановка проблеми.** Робота систем теплопостачання (СТ) вимагає впровадження енергозберігаючих технологій як під час нового проектування, так і у разі реконструкції цих систем і під час їх експлуатації. Існуючі СТ потребують істотного оновлення на основі енергоощадних технологій [1–10].

Відмова від центральних і влаштування індивідуальних теплових пунктів (ІТП) в окремих будівлях і спорудах чи в їх частинах перетворить існуючі чотиритрубні СТ у двотрубні. Заміна зовнішніх розподільних каналних мереж на безканалні з попередньо ізольованими трубопроводами, зменшення кількості трубопроводів знизить тепловтрати і вартість теплових мереж, скоротить витрати електроенергії на перекачування теплоносіїв. Для двотрубних СТ у будинках треба використати компактні двофункціональні теплові пункти. Останні мають високопродуктивні пластинчасті підігрівники, безшумні відцентрові електроприводні помпи із регульованою подачею і напором, засоби автоматики і контрольно-вимірювальні пристрої для регулювання і реєстрації