

# ХЛІБОПЕКАРСЬКА І КОНДИТЕРСЬКА ПРОМИСЛОВІСТЬ УКРАЇНИ

№3 (04) березень 2005

- \* **Житньо-пшеничний хліб обробляють в електромагнітному полі НВЧ - ст. 4**
- \* **Як емульгатори і стабілізатори формують структуру здобного печива - ст. 10**
- \* **Жорсткі дунсти проти черствіння хліба - ст. 12**
- \* **Розрахуйте теплообмін у конвективних хлібопекарських печах - ст.20**
- \* **Шортенінги замість маргарину - ст. 42**





# ЯК ВПЛИВАЄ ЗМІНА ТЕМПЕРАТУРИ ТА ОБ'ЄМНИХ ВИТРАТ ГРІЮЧИХ ГАЗІВ на затрати палива й електроенергії у хлібопекарських печах

**О. КОВАЛЬОВ,**  
доцент  
**В. ТАРАН,**  
професор  
Національний університет  
харчових технологій

**Н**а відміну від печей з повним видаленням продуктів згоряння, де температура газів на вході в робочий простір печі  $t_p$  визначена теплою згоряння палива  $Q_{pH}$ , а їхній обсяг – кількістю його згоряння  $V$ , в умовах рециркуляції об'єм і температуру гріючих газів можна змінювати разом з кількістю рециркулюючих на  $1 \text{ м}^3/\text{кг}$  палива газів. У зв'язку з цим виникає необхідність вибору таких режимів роботи хлібопекарської печі з рециркуляцією димових газів, при яких температури відхідних  $t_{від}$  і робочих газів, а також об'ємні витрати гріючих газів мали б оптимальні значення. Адже зміна  $t_{від}$  призводить до зміни втрати тепла з вихідними газами, а зміна температури та об'ємних витрат газів – до зміни потужності на приводі рециркуляційного вентилятора.

Зниження температури гріючих газів на вході в робочий простір печі, що спостерігається в печах з рециркуляцією димових газів, можна також досягти додаванням до продуктів згоряння холодного повітря. Оскільки розведення топкових газів холодним повітрям призводить до збільшення об'єму відхідних газів і втрати тепла, зниження температури гріючих газів внаслідок рециркуляції відхідних газів завжди виявляється ефективним.

Витрата палива в печі з рециркуляцією або без неї дорівнює:

$$V = \frac{Q}{Q_{pH}\eta_T - c_{від}t_{від} [V^0_{г} + (\alpha_{від} - 1)V^0]} \quad (1)$$

де:  $Q$  - кількість тепла, подана в робочу камеру, Вт,  $\eta_T$  - коефіцієнт корисної дії топки, прийнятий за  $\eta_T = 1$ ,  $c_{від}$ ,  $t_{від}$  - відповідно теплоємність, кДж/(м<sup>3</sup>К) і температура °С відхідних газів;  $V^0$  - теоретично необхідний об'єм повітря для повного згоряння  $1 \text{ м}^3$  газу;  $\alpha_{від}$  - коефіцієнт витрати повітря з відхідними газами,  $V^0_{г}$  - об'єм продуктів згоряння при коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha = 1$ , м<sup>3</sup>/кг.

Відносну витрату палива в печі з рециркуляцією ( $V_{pц}$ ) і без неї ( $V$ ) при однакових  $Q$  визначають з виразу:

$$\frac{V_{pц}}{V} = \frac{Q_{pH} - c_{від}t_{від} [V^0_{г} + (\alpha_{від} - 1)V^0]}{Q_{pH} - c_{від}t_{від} [V^0_{г} + (\alpha_{pц} - 1)V^0]} \quad (2)$$

де:  $\alpha_{від} = \alpha_T + \Delta\alpha$ ,  $\alpha_T$  - коефіцієнт витрати повітря з урахуванням повітря для охолодження продуктів згоряння до температури газів  $t_p$  на виході з топки печі без рециркуляції.  $\alpha_{pц} = \alpha_{pцT} + \Delta\alpha$ ,  $\alpha_{pцT}$  - коефіцієнт

витрати повітря на виході з топки печі з рециркуляцією,  $\Delta\alpha$  - підсмоктування повітря в печі.

З рівняння балансу тепла на виході з топки печі без рециркуляції визначаємо  $\alpha_T$ :

$$Q_{pH} = c_p t_p [V^0_{г} + (\alpha_T - 1)V^0] \quad (3)$$

За формулою (3) зроблено обчислення значення  $\alpha_T$  (див. таблицю) для випадку згоряння природного газу - найбільш поширеного палива для тунельних хлібопекарських печей з рециркуляцією продуктів згоряння (брали газ Дашавського родовища:  $Q_{pH} = 35,7 \text{ Мдж/м}^3$ ,  $V^0_{г} = 10,64 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $V^0 = 9,48 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ). Розрахунки проводили в широкому діапазоні температур  $t_p = 250 - 600^\circ \text{ С}$ .

Температура газів $t_p$ , °С	Коефіцієнт витрати повітря $\alpha_T$	Відношення $\frac{V_{pц}}{V}$
250	10,5	0,09
350	7,6	0,35
450	5,9	0,5
550	4,8	0,6

За знайденими  $\alpha$  визначають  $\alpha_{від}$  і проводять обчислення по формулі (2). При розрахунках брали  $\alpha_{pцT} = 1,2$ ,  $\Delta\alpha = 0,8$ , тобто нормальний розрахунковий надлишок повітря і підсмоктування повітря в печі. Тоді  $\Delta\alpha = \alpha_T + 0,8$ ,  $\alpha_{pцT} = 1,2 + 0,8 = 2,0$  ( $c_{від} = 1,38 \text{ кДж/м}^3$ ). Обчислення проводили в тому ж діапазоні зміни  $t_p$  і практично в усьому можливому для хлібопекарських печей діапазоні зміни  $t_{від} = 200 - 350^\circ \text{ С}$ .

**З розрахунків видно, що рециркуляція газів тим ефективніша, чим нижча температура робочих газів,  $t_p$ . Чим вища температура відхідних рециркуляційних газів,  $t_{від}$ , тим вища теплота згоряння палива  $Q_{pH}$ .** Відносну витрату палива при рециркуляції можна також знайти, виходячи з балансу тепла робочої камери печі. Причому в цьому випадку остаточні відповідності виявляються трохи простіше.

Продукти згоряння при температурі  $t$  змішуються з повітрям температурою  $t_{пов}$ , яка підводиться для їхнього охолодження, й утворюють робочу суміш з температурою  $t_p$ .

Рівняння змішування має вигляд:

$$V_T c_T t_T + V_{пов} c_{пов} t_{пов} = (V_T + V_{пов}) t_p c_p \quad (4)$$

де:  $V_{пов} c_{пов}$  - об'єм, м<sup>3</sup>, і теплоємність, Дж/(м<sup>3</sup>К), повітря, поданого до камери змішування на  $1 \text{ м}^3/\text{кг}$  палива для охолодження продуктів згоряння.

Кількість повітря, що додається до  $1 \text{ м}^3$  топкових газів для зниження їхньої температури  $t_p$ , приймаючи, що теплоємність продуктів згоряння, робочих газів і повітря приблизно однакові,  $c_T = c_p = c_v = c$ , одержимо з рівняння (4).

$$\frac{V_{пов}}{V_T} = \frac{t_{пов} - t_p}{t_p - t_{пов}} = K_{пов}, \quad V_{пов} = K_{пов} V_T \quad (5)$$



При охолодженні продуктів згоряння з рециркулюючими газами об'ємом  $V_{рц}$ ,  $m^3/m^3$  і температурою  $t_{від}$ , аналогічно знаходимо:

$$\frac{V_{рц}}{V_T} = \frac{t_T - t_p}{t_p - t_{від}} = K_i, V_{рц} = K_i V_T \quad (6)$$

Рівняння балансу тепла теплообмінника, що працює на газоповітряній суміші, може бути представлено так:

$$BV_T(1 + K_{пов})(c_p t_p - c_{від} t_{від}) = Q, \text{ Вт} \quad (7)$$

Звідки:

$$B = \frac{Q}{V_p(1 + K_{пов})(i_p - i_{від})} \quad (8)$$

де:  $i_p$ ,  $i_{від}$  - ентальпії  $1 m^3$  суміші (робочих газів) у камері змішування і відхідних газів,  $Дж/м^3$ .

**Теплообмін у каналах робочої камери при внутрікамерній рециркуляції хлібопекарських печей з рециркуляцією продуктів згоряння описується такою системою рівнянь.**

I. Рівняння теплового балансу.

$$Q = c(V_T + V_{рц})(t_p - t_{від}), \text{ Дж}/(m^3 \text{ кг}) \quad (9)$$

II. Рівняння сумарної тепловіддачі за час випікання,  $к/м^3$  стінки газового каналу, зверненої в пекарську камеру,

$$Q = \alpha \Delta t_{вип}, \text{ Дж}/m^2 \quad (10)$$

де:  $\alpha$  - коефіцієнт сумарної тепловіддачі до стінки каналу,  $Вт/м^2 \text{ град}$ .

Використовуючи ці співвідношення, можна встановити важливі для теорії і практики роботи хлібопекарських печей з рециркуляцією продуктів згоряння залежності температури робочих газів і тепловіддачі в робочу камеру від коефіцієнта кратності рециркуляції  $K$  і температури відхідних газів.

Як показали теплові розрахунки тунельних хлібопекарських печей, тепловіддача механічної конвекції від гріючих газів до випромінюючої стінки газового каналу і від неї до робочого та безпосередньо до зверненого в пекарську камеру робочої стінки каналу становить близько 70 % від загальної тепловіддачі продуктів згоряння. Тоді, відносячи сумарну тепловіддачу продуктів згоряння в каналах до тепловіддачі механічної конвекції, можна приблизно прийняти  $\alpha = \alpha_{кон}$ . **У хлібопекарських печах з рециркуляцією продуктів згоряння зміна температури й об'ємних витрат гріючих газів впливає на витрату палива та електроенергії для привода вентилятора рециркуляції.** Характер впливу й економічна витрата енергії на привод вентилятора рециркуляції можуть бути встановлені на підставі згаданих розрахунків.

#### Використана література.

1. Володарский А.В., Кацев Б.Л. Наладка печей хлебопекарного производства. К.: Техніка, 1979.
2. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / А.А.Михелев, Н.М.Ицкович, М.Н.Сигал, А.В.Володарский. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.