

УДК 664.655.1

Ковальов О.В., к.т.н.

Доломакін Ю.Ю.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

Федорів В.М., к.т.н.

Кам'янець-Подільський коледж харчової промисловості, м. Кам'янець-Подільськ, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПЕЧЕЙ

Хлібопекарська піч може працювати з різною продуктивністю  $G$ , при цьому величина питомої витрати палива  $b=f(G)$  буде змінюватися. Раціональна робота печі досягається тоді коли питомі витрати палива досягають мінімального значення. Визначення раціональної продуктивності з точки зору економії теплоти є важливою задачею. У промислових печах однією з основних величин, найбільш чутливою до зміни продуктивності, є температура відпрацьованих газів  $t_{від}$ , які ідуть із печі у навколишнє середовище. Це у свою чергу пов'язано з значною втратою теплоти з відпрацьованими газами  $q_z$ . Остання величина визначає зміну витрати палива, яке не пов'язане безпосередньо з продуктивністю печі. Тому задача визначення раціональної продуктивності печі зводиться головним чином до встановлення точної або наближеної залежності величини температури відпрацьованих газів від продуктивності.

Нами проведені досліджування роботи печей з рециркуляцією продуктів згоряння – найбільш розповсюдженого типу хлібопекарських печей, при перемінних режимах роботи. У цих печах підвищення продуктивності призводить до збільшення температури відпрацьованих газів, зниження – до зменшення температури відпрацьованих газів.

Збільшення температури відпрацьованих газів, що відбувається з ростом продуктивності печі зумовлюється тим, що підвищення продуктивності викликає відповідну зміну теплового потоку в робочу камеру печі. Ця зміна відбувається в результаті збільшення витрати палива і підвищення початкової температури гріючих газів. При цьому зростання сумарної ентальпії газів визначає збільшення тепловіддачі від них, що приводить до росту відпрацьованих газів.

Мета наших досліджень – встановлення залежності температури відпрацьованих газів від продуктивності печі і визначення найбільш раціональної продуктивності для печей даного типу.

З метою визначення вхідних шуканих величин і функції відпрацьованих газів від продуктивності для хлібопекарських печей з рециркуляцією продуктів згоряння проведені дослідження, при перемінних режимах, на печі К-ПХМ-25 (рис. 1) Дослідження проводили при випічці хліба “Дарницького” подового масою 0,8 кг у всьому практично доцільному для цієї печі діапазоні змін продуктивності  $G = 0,069 \dots 0,079$  кг/с, (у відсотках)  $G = 100 \dots 115$  %, якщо за 100 % прийняте навантаження  $G = 0,069$  кг/год. У топці спалювали паливо пічне побутове (ТПБ) ТУ 38.101656-67.

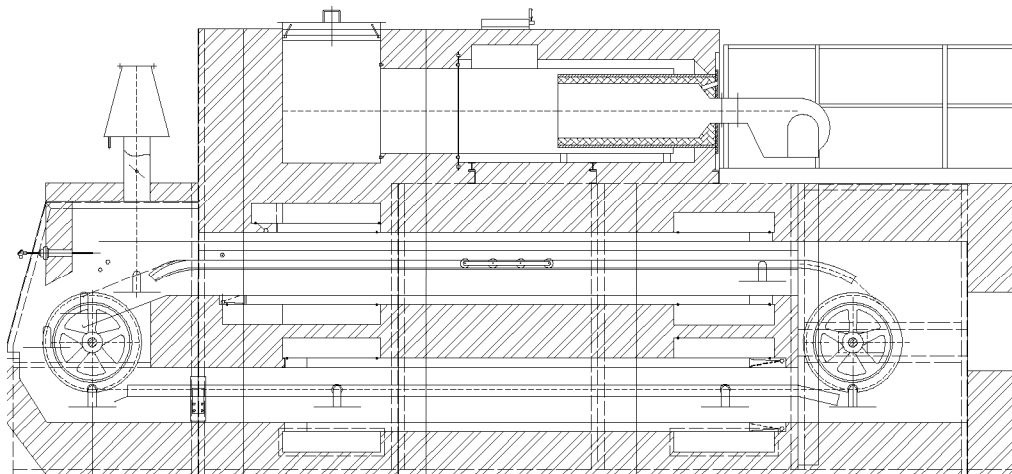
За результатами науково-дослідної роботи, у національному університеті харчових технологій, розроблено конструкторську документацію на тупикову конвеєрну, з каналним обігрівом, хлібопекарську піч марки К-ПХМ-25, яку пропонується встановлювати замість печі ФТЛ-2. Хлібопекарська піч К-ПХМ-25 являє собою металеву блочну конструкцію, з колісковим конвеєром, та каналною системою обігрівання, з примусовою рециркуляцією газів. Піч призначена для випікання пшеничного, житнього та житньо-пшеничного хліба.

Хлібопекарська піч являє собою суцільнометалеву конструкцію, зібрану з окремих модулів, і теплоізольовану зовні (рис. 1) і складається із завантажувально-розвантажувального пристрою, системи парозволоження, корпусу який являє собою цільнометалеву конструкцію, яка зібрана з окремих модулів і теплоізольована зовні мінеральною ватою. В середині печі розташовано верхній та нижній нагрівні канали, над якими знаходяться відповідно верхній і нижній газоходи, які мають шибер для подачі

гріючих газів. Топково-запальниковий блок складається із топки, камери змішування, муфеля, запальника. Тістові заготовки переміщуються колісковим конвеєром. Подача гріючих газів у газоходи пекарної камери відбувається за допомогою вентилятора рециркуляції.

Принцип роботи печі заснований на подачі гріючих газів, які отримані за рахунок згорання палива у топці, в гріючі канали пекарної камери, в якій підтримується задана температура випікання тістових заготовок відбувається на колісковому конвеєрі, який разом з тістовими заготовками проходить через пекарну камеру. Готові вироби розвантажувальним пристроєм подаються на відповідний транспортер.

Піч має контрольно-вимірювальні прилади для вимірювання та контролю параметрів технологічного режиму (температури в пекарній камері, тиску пари, що надходить на зволоження, тривалості випікання), параметрів процесу горіння палива (тиску газу і рідкого палива, тиску повітря біля пальників, розрідження в топці, температури продуктів згорання в камері змішування, наявності факела та ін.) за вимогами безпеки спалювання газу та рідкого палива).



*Рисунок 1 - Загальний вигляд хлібопекарської печі К-ПХМ-25*

Така будова печі забезпечує високу ступінь заводської готовності, зменшує витрати палива та масу печі.

Науковцями національного університету харчових технологій була досліджена робота даної печі, яку встановлено на Ялтинському хлібокомбінаті КППХП “Кримхліб”.

За час дослідження визначали технологічні параметри напівфабрикатів (закваски, тіста, тістових заготовок): вологість, температуру, тривалість бродіння, тривалість вистоювання та випікання, кислотність. Якість готової продукції оцінювали за фізико-хімічними (вологість, кислотність, пористість) і органолептичними показниками (стану поверхні хліба, структурі пористості, еластичності та пропеченості м’якуша, товщини скоринки).

Для оцінки режиму випікання у печі проведені вимірювання температури середовища пекарної, відносної вологості середовища, температури центра м’якуша хліба і скоринки. Під час дослідження визначали упікання, продуктивність печі, витрати палива, пари і електроенергії. Вимірювання температури тіста-хліба визначали безперервно за допомогою батареї мідь-константових термопар.

Результати дослідів наведені в табл.1.

На дану піч отримано сертифікат відповідності за № UA 1.003.25949-00 Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації та розроблені технічні умови ТУ У 19402247-05-01, які затверджені Державним департаментом з нагляду за охороною праці та Українським центром Державного санепідемнагляду. До Державного підприємства “Інститут промислової власності” подано матеріали на винахід.

В таблиці 2 показано отримані при експериментах зміни температури відпрацьованих газів  $t_{від}$  у залежності від продуктивності, і відповідна зміна втрати теплоти з відпрацьованими газами  $q_z$ .

Таблиця 1 - Визначення упікання хліба по ширині колиски

| № ко-лиски | Вага тістової заг-ки по ширині колиски, гр |     |     |     |     |     |     | Вага хліба по ширині колиски, гр |      |     |     |      |      |      |
|------------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------------------|------|-----|-----|------|------|------|
|            | 1                                          | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 1                                | 2    | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    |
| 4          | 920                                        | 920 | 925 | 920 | 925 | 920 | 920 | 830                              | 825  | 840 | 840 | 840  | 830  | 835  |
| 12         | 915                                        | 925 | 920 | 920 | 925 | 920 | 920 | 825                              | 830  | 830 | 835 | 830  | 820  | 825  |
| 22         | 920                                        | 925 | 915 | 915 | 925 | 915 | 915 | 840                              | 835  | 835 | 835 | 840  | 835  | 835  |
| № ко-лиски | Упікання, гр                               |     |     |     |     |     |     | Упікання, %                      |      |     |     |      |      |      |
|            | 1                                          | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 1                                | 2    | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    |
| 4          | 90                                         | 95  | 85  | 85  | 80  | 90  | 85  | 9,7                              | 10,3 | 9,1 | 8,6 | 9,1  | 9,8  | 9,2  |
| 12         | 90                                         | 95  | 90  | 85  | 95  | 95  | 95  | 9,8                              | 10,2 | 9,7 | 9,2 | 10,2 | 10,4 | 10,3 |
| 22         | 80                                         | 90  | 80  | 80  | 85  | 85  | 80  | 8,6                              | 9,7  | 8,7 | 8,7 | 9,1  | 9,2  | 8,7  |

Таблиця 2

| № п/п | Продуктивність, кг/с | Температура відпрацьованих газів, °С | Втрати теплоти з відпрацьованими газами, % |
|-------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1     | 0,069                | 302                                  | 7,6                                        |
| 2     | 0,072                | 318                                  | 7,9                                        |
| 3     | 0,076                | 322                                  | 8,2                                        |
| 4     | 0,079                | 340                                  | 8,5                                        |

З таблиці 1 видно, що залежності температури відпрацьованих газів і втрати теплоти з відпрацьованими газами від продуктивності виявилися лінійними. При цьому середня температура відпрацьованих газів, з урахуванням продуктивності пальника апроксимується розрахунковою залежністю

$$t_{від} = 219 + 1486 G, \text{ } ^\circ\text{C}$$

де  $G$  – продуктивність, кг/с.

Лінійну залежність температури відпрацьованих газів від продуктивності печі можна пояснити, проаналізувавши характер зміни основних експериментальних і розрахункових параметрів роботи (див. табл. 3). Параметри в таблиці 2 приведені для наочності тільки для чотирьох характерних режимів, що лежать на границях і в середині досліджуваного діапазону продуктивності.

Таблиця 3

| Параметри                                                           | Режими обігріву |             |             |             |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                     | 1               | 2           | 3           | 4           |
| Навантаження $G$ , % (кг/с)                                         | 100 (0,069)     | 105 (0,072) | 110 (0,076) | 115 (0,079) |
| Витрата палива $B$ , м <sup>3</sup> /год                            | 40,2            | 44,0        | 47,5        | 48,0        |
| Температура робочих газів $t_p$ , °С                                | 530             | 552         | 580         | 595         |
| Об'єм рециркулюючих газів $V_{pc}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> | 94              | 89          | 81          | 78          |
| Коефіцієнт витрати повітря в робочих газах $\alpha_p$               | 2,9             | 2,86        | 2,82        | 2,8         |
| Коефіцієнт рециркуляції $r$                                         | 2,74            | 2,59        | 2,36        | 2,28        |
| Тепловіддача продуктів згорання $\Delta I$ , МДж/м <sup>3</sup>     | 20,4            | 19,7        | 19,2        | 18,7        |

На підставі даних таблиці 3 були розраховані складові теплового балансу печі. Результати обчислень приведені нижче. Втрати теплоти на нагрівання вентиляційного повітря розраховували при середній продуктивності 107,5 %.

Розрахунок питомої теплоти: кДж/кг

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| на випікання, $q_1^{n.k}$ .....                     | 438 |
| на перегрів пари, $q_2^{n.k}$ .....                 | 104 |
| на нагрівання вентиляційного повітря, $q_3$ .....   | 259 |
| на нагрівання транспортних пристроїв, $q_4$ .....   | 80  |
| втрати теплоти в навколишнє середовище, $q_5$ ..... | 42  |

Сумарна тепловіддача  $\Sigma Q = 156,2$  кВт.

Ці дані використані при обчисленні тепловіддачі гріючих газів у робочу камеру.

Результати розрахунків у % до теплового потоку в камеру при продуктивності 100 %.

Використовуючи аналітичні й експериментальні співвідношення знайдені витрати палива на холостий хід печі, тобто на роботу печі з нормальними теплотехнічними параметрами (температура в пекарній камері), але без вироблення продукції. Обрахунки витрат палива на холостий хід печі показали, що  $B_x = 9,13$  м<sup>3</sup>/год.

Коефіцієнт холостого ходу печі визначаємо, як відношення витрат палива на холостий хід печі до витрат палива при нормальній (розрахунковій) продуктивності печі.

Коефіцієнт холостого ходу печі складає 0,253 при витраті палива 44,0 м<sup>3</sup>/т.

Величина витрати палива на холостий хід і коефіцієнт холостого ходу печі можуть бути використані в економічних розрахунках, пов'язаних із плануванням роботи печей і підтримки їх у гарячому резерві.

**Висновок.** Як видно з таблиці 2 для даної печі, також і в інших хлібопекарських печах аналогічної конструкції, об'єм рециркулюючих газів з ростом навантаження зменшується. Це відбувається внаслідок того, що вентилятор рециркуляції не може змінювати свої характеристики при зміні продуктивності печі. При цьому зміна теплового потоку у робочу камеру визначається зміною температурного напору від гріючих газів. Це приводить до зміни температури гріючих газів разом з продуктивністю печі, що впливає, внаслідок росту температури відпрацьованих газів, на економічність печі. Для зменшення цього впливу необхідно разом з зміною продуктивності (витрат теплоти) змінювати об'єм рециркулюючих газів, зберігаючи кратність рециркуляції.

### Література

1. Володарский А.В., Сигал М.Н., Ничиков И.М. Промышленные печи пищевых производств. – К.: Техника, 1986. – 136 с.
2. Михелев А.А., Володарский А. В. Практикум по курсу “Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства”. М.: Пищевая промышленность, 1974. – 288 с.
3. Михелев А.А. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / А.А. Михелев, Н.М. Ицкович, М.Н. Сигал, А.В. Володарский. М.: Пищевая промышленность, 1979. – 327 с.