

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТОПКИ ТУНЕЛЬНОЇ ХЛІБОПЕКАРСЬКОЇ ПЕЧІ

**Вступ.** Основна частина хлібобулочних виробів в даний час випікається в тунельних хлібопекарських печах. Вони відрізняються універсальністю, економічністю, можливістю в широких межах змінювати температурні параметри по довжині пекарної камери.

Основний пристрій, від роботи якого залежить стабільність роботи печі - це топка. В ній спалюється природний газ або рідке паливо. Принцип її дії пов'язаний з рециркуляцією відпрацьованих гріючих газів. Відпрацьовані гази з температурою 350...400°C частково видаляються через трубу а частково подаються в топку, де змішуються зі свіжими продуктами згоряння та направляються в гріють канали.

**Актуальність.** Від якісного перемішування свіжих і відпрацьованих гріючих газів залежить і рівномірність обігріву пекарної камери.

Визначення параметрів роботи печі в заводських умовах – складний експериментальний процес. Методи дослідження трудомісткі і мають значні похибки.

Пропонується використовувати методи імітаційного комп'ютерного моделювання. Вони дозволять візуалізувати потоки гарячих газів всередині топки. Дані методи дозволяють відслідковувати зміну швидкості потоків, перепади температури і тиску, процеси дисипації кінетичної енергії потоків газів.

**Основна частина.** В даній роботі була використана програма FlowVision фірми Тесис. Вона призначена для розрахунку гідро - та газодинамічних завдань (разом з пов'язаними процесами тепло - і масопереносу) в широкому діапазоні чисел Рейнольдса в довільних тривимірних областях.

Використання даної програми вже дозволило отримати унікальну наукову інформацію в різних галузях харчової промисловості [1]. Були досліджені та запропоновані шляхи модернізації обладнання для змішування харчових продуктів [2], для транспортування продуктів по трубах [3], теплових процесів у вистійних шафах [4].

Також було вивчено рух гріючих газів по різних зонах тунельних печей [5].

В даній роботі в ході моделювання була використана  $k - \epsilon$  модель турбулентної течії в'язкої рідини з невеликими змінами густини при великих змінах числа Рейнольдса.

У розрахунку були використані фізичні параметри, отримані в свій час при реальних модельних експериментах:

- температура продуктів згоряння, що виходять з камери згоряння, 1900°C;
- температура газів, що подаються на рециркуляцію 350°C;
- перепад тиску, по довжині топки дорівнює 30 Па.

Кількість і пропорція газів, що надходять в топку, визначалася за коефіцієнтом надлишку газів, що дорівнює 2,15.

При визначенні граничної умови стінки була задана шорсткість поверхні, яка характерна для матеріалу, з якого виготовляються топка.

При моделюванні використано декілька способів візуалізації отриманих результатів. Візуалізація скалярного поля дисипації кінетичної енергії, яка пропорційна градієнту швидкості деформації продукту, дозволила визначити місця виникнення завихрень в потоці. Поле дисипації візуалізовано шляхом використання градієнтних ізоліній. Візуалізація векторного поля швидкості дозволила визначити місця зміни величини швидкості і зміни напрямку руху продукту.

Аналізуючи розподіл швидкостей по довжині топки, виділені дві стійкі області. Перша область – по осі топки – де виходять гази з камери згоряння. Друга область - циліндрична – в якій гази рециркуляції рухаються біля зовнішніх стінок топки. Встановлено, що змішування газів в топці практично не відбувається. Воно починається вже в розподільній коробці. Зрозуміло, що такий режим роботи нестійкий і не дає якісного результату.

Температура газів по центру потоку знижується від 1900°C до 600°C практично по лінійній залежності. Але при ефективній роботі топки вона повинна на початку зони змішування різко знижуватися. В газоходи повинен йти потік з температурою близько 600°C. Отримання такої температури відбувається в самому кінці камери змішування.

Дисипація кінетичної енергії газів показує місця виникнення завихрень, завдяки яким і відбувається змішування гарячих і холодних газів. Відмічені завихрення в двох локальних областях. Перша область – кільце навколо виходу продуктів згоряння з камери згоряння. Друга область – в області звуження топки – на виході.

Проведений аналіз роботи топки дозволив виявити і локалізувати недоліки існуючої базової конструкції. Це недостатня турбулізація потоку газів. Метод комп'ютерного моделювання дозволяє запропонувати шляхи вирішення проблеми.

Розглянемо один з варіантів вирішення проблеми. По шляху потоку газів необхідно створити штучний місцевий опір. Він буде змінювати швидкість і напрямки потоків. Це призведе до їх зіткнення і активного перемішування. У запропонованому тестовому варіанті – це кільцева шайба, яка встановлена на внутрішній стінці камери змішування.

### **Висновки**

1. Газы рециркуляції, які вводяться в топку тангенційно, утворюють стійкий обертовий потік близько стінок камери. Це перешкоджає їх змішуванню зі свіжими продуктами згоряння.

2. Найбільші області турбуленції, в яких відбувається перемішування газів, розташовані на початку камери змішування і на виході з неї.

3. Пропонується обладнати топку подібного типу додатковими деталями. Вони повинні змінювати напрямки потоків газів рециркуляції так, щоб відбувалося активне їх перемішування з продуктами згоряння по всій довжині топки.

4. Запропонований спосіб дослідження хлібопекарських печей може бути використаний при розробці нових ефективних конструкцій цього виду хлібопекарського обладнання а також для модернізації існуючих конструкцій.

5. Комп'ютерне моделювання складних теплообмінних процесів дозволяє отримати унікальну наукову інформацію про роботу топок хлібопекарських печей. Комп'ютерне моделювання дозволяє оперативно перевірити правильність запропонованих технічних рішень при модернізації конструкцій теплових пристроїв хлібопекарських печей.

### **Література**

1. Шпак М.С. Моделирование основных процессов в оборудовании пищевой промышленности / М. С. Шпак, И. Н. Литовченко // Инженерные системы: тезисы докладов, международная научно-практическая конференция. – Москва, 2011. – с. 4.

2. Luchian I. Numerical simulation of energy dissipation in mixing process of bread dough / M. I. Luchian, I. Litovchenko, S. Stefanov, C. Csatlós // Journal of EcoAgriTourism, Proceeding of BIOATLAS. - conference. - 2012. - Vol. 8., no. 2. (25). - p. 67-70.

3. Litovchenko I. Computer modelling of movement of meat raw material on pipelines / I. Litovchenko, V. Taran, S. Beseda // National university of food technology, Kiev, Ukraine, Nyiregyhaza, Hungary 2011 p. 211-214.

4. Stefanov S. Use of computer modeling for modernization of final proofers of preparation of dough / S. Stefanov, W. Hadjiiski, I. Litovchenko // 12th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2012, 13-17. September 2012. - Vrnjacka Banja, Serbia, 2012. - p. 791-796.

5. Litovchenko I. The study of the baking ovens by computer simulation / I. Litovchenko // Food technology. – Romania, 2013. - Vol. XVII - p. 107-115.