

перший склад неосвітленого соку, що дає можливість вибрати режим освітлення в полі дії відцентрових сил.

Література

1. Самсонова А.М., Ушева В.Б. Фруктовые и овощные соки. Техника и технология. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
2. Хімічний склад харчових продуктів. / під. ред. акад. АМН СРСР А.А.Покровський. – М.: Харчова промисловість, 1976. – 228 с.
3. Технологія консервування плодів, овочів, м'яса і риби / Флауменбаум Б.Л., Кротов С.Г. Загібалов О.Ф. та ін. ; За ред. Флауменбаум Б.Л. – К.: Вища школа, 1995. – 301с.

УДК 664.643

ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПЕЧЕЙ

Ковальов О.В., канд. техн. наук, доцент, Миколів І.М., канд. техн. наук, доцент
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Федорів В.М., канд. техн. наук, доцент

Кам'янець-Подільський коледж харчової промисловості НУХТ, м. Кам'янець-Подільський

Важливим техніко-економічним показником роботи хлібопекарської печі є питомі витрати енергії на випікання продукції. Аналіз витрат енергії на обігрів пекарної камери і допоміжних механізмів пічного агрегату, дозволяє визначати раціональність конструкції механізмів хлібопекарської печі.

The important technical and economic indicators of the baking oven is the specific energy consumption for baking products. Cost analysis of energy use for heating the baking chamber and the auxiliary machinery heating unit, allows to determine the extent to rationally chosen design of the baking oven.

Ключові слова: хлібопекарська піч, продуктивність, теплота, гріючі газу.

Хлібопекарська піч – один з головних агрегатів, що визначає технічний рівень хлібопекарського виробництва. Піч повинна забезпечувати хорошу якість продукції, високий ступінь механізації, найменші питомі витрати палива, невелику теплову інерцію. У процесі випікання в пекарній камері тепло передається тістовим заготовкам за рахунок випромінювання від поверхонь нагріву, конвекції – від парогазового середовища пекарної камери, теплопровідності – від поду печі до нижньої поверхні тістової заготовки. 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.

В промислових печах основною величиною, найбільш чутливою до зміни продуктивності, є температура відпрацьованих газів $t_{вг}$, які йдуть із печі у навколишнє середовище. Значні втрати теплоти з відпрацьованими газами $q_{г}$ визначають зміну витрати палива, що безпосередньо не пов'язане з продуктивністю печі. Тому встановлення раціональної продуктивності печі зводиться до встановлення точної або наближеної залежності величини температури відпрацьованих газів від продуктивності.

Нами проведено дослідження роботи хлібопекарських печей з рециркуляцією продуктів згорання при змінних режимах роботи. Мета досліджень – встановлення залежності температури відпрацьованих газів від продуктивності печі і визначення раціональної продуктивності для печей даного типу.

Для печей з рециркуляцією продуктів згорання 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.

В Національному університеті харчових технологій розроблено конструкторську документацію на тушкову 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 обігріву, з примусовою рециркуляцією газів.

Піч призначена для випікання пшеничного, житнього та житньо-пшеничного хліба. Параметри, що характеризують роботу печі К-ПХМ-25 наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні параметри, що характеризують роботу печі К-ПХМ-25

Параметри	Значення
Час випікання твип, хв	42
Середнє упікання, віднесене до маси гарячого хліба $W_{вип}$, %	8,7
Витрата насиченої пари з тиском 0,11 МН/м ² Гп, кг/т	135
Максимальна температура середовища пекарної камери t_c , °С	270
Середній вологовміст середовища пекарної камери x , кг/кг	0,5
Температура підігріву колиски Δt_k , °С	100
Усереднена на поверхні температура обшивки печі t_{zag} , °С	40
Середній коефіцієнт витрати повітря:	
– на виході з топки α_T	1,2
– на виході з гріючих каналів α_K	2,5
– на виході з печі α_B	3,0

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.

Хлібопекарська піч К-ПХМ-25 є суцільнометалевою конструкцією, що зібрана з окремих модулів і теплоізолювана зовні. Піч складається із завантажувально-розвантажувального пристрою, системи парозволоження та корпусу, зібраного з окремих модулів. Всередині печі розташовано верхній та нижній нагрівні канали, над якими знаходяться відповідно верхній і нижній газоходи, які мають шибери 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. Конвеєрно-колісковий пристрій містить у собі ланцюговий конвеєр, коліски, пристрій для перекидання колісок (в разі потреби). Готові вироби розвантажуються спеціальним пристроєм і подаються на відповідний транспортер.

Модуль завантаження – розвантаження складається з камери, привідного вала, пристрою для парозволоження, пристрою для видалення парів. Привід складається з електродвигуна, пасової передачі, редуктора, ланцюгової передачі.

Пекарний модуль складається з монтажних секцій, верхньої пекарної камери, нижньої пекарної камери, приєднувальних патрубків. Газоходи пекарних камер мають шибери для регулювання подачі гріючих газів по ширині пекарної камери. Газоходи верхньої пекарної камери мають, крім того, шибери для регулювання подачі гріючих газів, у зону парозволоження. Система парозволоження складається з водяних баків, трубопроводів із регулювальними вентилями, парової гребінки, пристрою для видалення конденсату. Система рециркуляції теплоносія містить напірний короб із запобіжно-вибуховим клапаном, розподільний газохід із шиберним пристроєм для розподілу газового потоку, колектор газів, що відходять, перехідник, вентилятор рециркуляції, пристрій розподілу газів, що рециркулюють.

Модуль натягнення конвеєра складається з камери та вала з натяжними пристроями. У задній стінці є лаз-люк і оглядові люки з підсвічуванням для спостереження за процесом випікання.

Теплоізоляція й обшивка складається з теплоізоляції, обшивки, майданчика обслуговування, драбини, огорожень. Піч теплоізолювана зовні мінеральною ватою.

Систему електроавтоматики складають датчики температури та шафа керування, що містить пускову апаратуру, регулятори датчиків температури, реле для продування системи, реле витримки конвеєра.

Піч оснащена контрольно-вимірювальними приладами для вимірювання та контролю параметрів технологічного режиму: температури в пекарній камері, тиску пари, що надходить на зволоження, тривалості випікання, а також, згідно вимог безпеки спалювання газу та рідкого палива, для контролю 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.

Запропонована будова печі забезпечує високу ступінь заводської готовності, зменшує витрати палива та вагу печі. Технічна характеристика розробленої хлібопекарської печі К-ПХМ-25 наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Технічна характеристика хлібопекарської печі К-ПХМ-25

Назва показника	Значення
Продуктивність, кг/год, не менше:	
– батон нарізний з борошна пшеничного 1-го гатунку масою 0,4 кг	480
– хліб білий з борошна пшеничного 1-го гатунку масою 0,8 кг, формовий	790
– хліб житньо-пшеничний, масою 0,8 кг, подовий	280
Робоча площа поду, м ²	25 ± 1,4
Встановлена потужність, кВт, не більше	8
Габаритні розміри, мм, не більше:	
– довжина	8500
– ширина	4000
– висота	3600
Маса металоконструкцій, кг, не більше	8500
Питомі витрати умовного палива, кг/кг, не більше	0,05
Питомі витрати електроенергії, Вт-год/кг, не більше	14
Питомі витрати пари, кг/кг, не більше	0,2
Показники надійності печі:	
– середнє напрацювання на відмову, год, не менше	600
– середній ресурс до капітального ремонту, років, не менше	3
– коефіцієнт технічного використання, не менше	0,9

Науковцями Національного університету харчових технологій буда досліджена робота даної печі, яку встановлено на Ялтинському хлібокомбінаті КППХП “Кримхліб”. Під час дослідження визначали технологічні параметри напівфабрикатів (закваски, тіста, тістових заготовок): вологість, температуру, тривалість бродіння, тривалість вистоювання та випікання, кислотність. Якість готової продукції оцінювали за органолептичними (стан поверхні хліба, структура пористості, еластичність та пропеченість м'якуша, товщини скоринки) та фізико-хімічними (вологість, кислотність, пористість) показниками.

З метою визначення вхідних шуканих величин і функції відпрацьованих газів від продуктивності для хлібопекарських печей з рециркуляцією продуктів згорання проведені дослідження, при змінних режимах, на печі К-ПХМ-25. Дослідження проводили при випіканні хліба “Дарницького” подового масою 0,8 кг у діапазоні змін продуктивності $G = 0,069 \dots 0,079$ кг/с, що складає $G = 100 \dots 115$ %, в тому випадку, якщо за 100 % прийняти навантаження $G = 0,069$ кг/год. У топці спалювали паливо пічне побутове, що відповідає ТУ 38.101656-67. Параметри роботи печі були практично постійними в дослідженому діапазоні навантажень печі.

Для оцінки режиму випікання в печі здійснювали вимірювання температури середовища пекарної камери, 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-константанових термопар. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Визначення упікання хліба по ширині колиски

№ ко-лис-ки	Вага тістової заготовки по ширині колиски, г							Вага хліба по ширині колиски, г						
	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-лис-ки	Упікання, г							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

В табл. 4. представлено результати досліджень зміни температури відпрацьованих газів твід залежно від продуктивності та зміни втрати теплоти з відпрацьованими газами q_г.

Таблиця 4 – Залежність температури відпрацьованих газів від продуктивності печі

№ 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

Аналіз експериментальних даних свідчить, що залежності температури відпрацьованих газів і втрати теплоти з відпрацьованими газами від продуктивності G виявилися лінійними. При цьому середня температура відпрацьованих газів твід, з урахуванням продуктивності пальника, апроксимується такою розрахунковою залежністю: $t_{від} = 219 + 1486 \cdot G$.

Лінійну залежність температури відпрацьованих газів від продуктивності печі можна пояснити, проаналізувавши характер зміни основних експериментальних і розрахункових параметрів роботи хлібопекарської печі К-ПХМ-25. В табл. 5. представлено результати досліджень чотирьох характерних режимів роботи печі, що лежать на границях і в середині досліджуваного діапазону продуктивності.

Таблиця 5 – Результати досліджень режимів роботи хлібопекарської печі

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, м3/год	40,2	44,0	47,5	48,0
Температура робочих газів t _р , °С	530	552	580	595
Об'єм рециркуляційних газів V _{рц} , м3/м3	94	89	81	78
Коефіцієнт витрати повітря в робочих газах α _р	2,9	2,86	2,82	2,8
Коефіцієнт рециркуляції γ	2,74	2,59	2,36	2,28
Тепловіддача продуктів згорання ΔI, МДж/м3	20,4	19,7	19,2	18,7

На підставі експериментальних даних (табл. 5) розраховано складові теплового балансу печі. Втрати теплоти на нагрівання вентиляційного повітря визначали при середній продуктивності 107,5 %. Розрахунок питомої теплоти свідчить, що витрати теплоти при роботі хлібопекарської печі складають, кДж/кг :

- на випікання, q_{1п.к.} – 438;
- на перегрів пари, q_{2п.к.} – 104;
- на нагрівання вентиляційного повітря, q₃ – 259;
- на нагрівання транспортних пристроїв, q₄ – 80;
- втрати теплоти в навколишнє середовище, q₅ – 42.

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

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

Наступним нашим завданням було, використовуючи одержані аналітичні й експериментальні співвідношення, визначити витрати палива на холостий хід печі, тобто на роботу печі з нормальними тепло-технічними параметрами (температура в пекарній камері), але без вироблення продукції. Обрахунки витрат палива на холостий хід печі свідчать, що $V_x = 9,13$ м3/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 м3/т.

Розраховані 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.

Загалом, оптимізація використання теплоти продуктів згорання є надзвичайно важливим завданням хлібопекарського виробництва, адже в середньому для випікання 1 т хліба необхідно 50...65 кг умовного палива, з цієї кількості корисно використовуються тільки 30...32 %. За кількістю палива, витраченого на роботу печей, хлібопекарське виробництво лідирує серед інших галузей харчової промисловості, адже з продуктами згорання в атмосферу може видалятися до 30...60 % всієї теплоти. Використання хлібопе-

карських печей з рециркуляцією газів дозволяє економити паливо, таким чином впливаючи на виробничу потужність та економічні показники роботи підприємства.

При розробленні нових енергоощадних печей особлива увага повинна приділялась розв'язанню проблем, від яких значною мірою залежить економічність роботи хлібопекарських печей. Це, передусім, зменшення витрат теплової енергії завдяки:

- зниженню викидів теплоти в атмосферу з вихідними газами;
- зменшенню тепловиділення зовнішніми поверхнями печі;
- раціоналізації автоматизованої системи управління пиччу;
- зменшенню нераціональних витрат теплоти в пекарній камері;
- якісному спалюванню палива;

– зниженню витрат пари на гіротермічну обробку тістових заготовок та, відповідно, зменшення витрат теплоти на одержання цієї пари.

Витрати теплоти, що виносяться з печі вихідними газами, безпосередньо залежать від їх кількості та температури. В свою чергу, температура вихідних газів залежить від інтенсивності тепломасообмінних процесів, що проходять в системах обігрівання пиччу, як з боку продуктів спалювання палива (в топковому просторі, камері змішування гострих та відпрацьованих димових газів, в робочих нагрівальних каналах), так і безпосередньо в пекарній камері між її середовищем та тістовими заготовками, що в ній випікаються.

В хлібопекарських печах з рециркуляцією газів значна інтенсифікація теплообміну з використанням димових газів забезпечується конструкцією топкових пристроїв та камер змішування, розмірами робочих нагрівальних каналів, конструкціями пристроїв для входу і виходу димових газів, раціональними швидкостями та турбулізацією потоків димових газів тощо. Дослідження параметрів роботи хлібопекарської печі К-ПХМ-25 дозволило встановити лінійну залежність температури відпрацьованих газів від продуктивності печі, що значною мірою впливає на економічність печі за рахунок зменшення витрат палива.

Висновки. Дослідження зміни температури відпрацьованих газів твд залежно від продуктивності G та зміни втрати теплоти з відпрацьованими газами q_g , проведені для тупикової конвеєрної, з каналним обігрівом хлібопекарської печі К-ПХМ-25 при змінних режимах роботи, а також для інших хлібопекарських печей аналогічної конструкції, свідчать, що об'єм рециркуляційних 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 в 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 рециркуляційних газів, зберігаючи кратність рециркуляції.

Література

1. Хромеенков В.М. Оборудование хлебопекарного производства. – М.: ИРПО; Издательский центр «Академия», 2000. – 320 с.
2. Цыганова Т.Б. Технология хлебопекарного производства. – М.: ПрофОбрИздат, 2002. – 428с.
3. Ковальов О.В., Бурлака О.М., Бабко С. М., Леметар С. Ю. Ефективність роботи хлібопекарських печей та шляхи їх удосконалення // Хлібопекарское и кондитерское дело – №2 – 2007. – С. 30 – 31.
4. Володарский А.В., Сигал М.Н., Ничиков И.М. Промышленные печи пищевых производств. – К.: Техника, 1986. – 136 с.
5. 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.