

**М.Г. Десик**, аспірант

**В.І.Теличкун**, кандидат технічних наук

**Ю.С.Теличкун**, кандидат технічних наук

**І.В. Житнецкий**, кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

### **Шляхи економії енергоресурсів при виробництві сухарних виробів**

Виробництво сухарних виробів складається з багатьох етапів. Воно досить громіздке як з точки зору технологічних операцій так і з точки зору обладнання на якому вони здійснюються. Основними недоліками виробництва є значна тривалість процесів витримування сухарних плит перед нарізанням, застосування ручної праці. Найбільше енергоресурсів витрачається на випікання сухарних плит та сушіння скибок, крім того повторне нагрівання сухарних скибок до температури випаровування після охолодження сухарних плит перед нарізанням призводить до додаткових витрат тепла.

Нами виконаний аналіз витрат енергії на випікання та висушування сухарних виробів, які виготовлені традиційним способом, та запропоновано шляхи економії енергоресурсів.

При радіаційно-конвективному способі випікання на 1 тону хліба витрачається 50-65 кг умовного палива власне на випікання тіста-хліба, на перегрів пари, нагрівання вентиляційного повітря і транспортних засобів, втрати огороженням пекарної камери в навколишнє середовище та інші витрати. На випікання тіста-хліба використовується лише 30-35% від загальної теплової енергії підведеної в пекарну камеру.

Енергія, що використовується на теплову обробку тіста-хліба складається з витрат на випаровування вологи з заготовки  $q_e$ , на утворення і перегрів скоринки  $q_c$  та на утворення м'якушки  $q_m$ :

$$q_1 = q_e + q_c + q_m = W_{\text{вип}} (i_{\text{н.п.}} - i_e) + g_c c_c (t_c - t_m) + (g_m c_m + W_m c_e)(t_m - t_m) \text{ кДж/кг}$$

де  $W_{\text{вип}}$  – кількість випареної вологи, кг/кг;

$i_{\text{н.п.}}, i_e$  – ентальпія, відповідно перегрітої пари та води, кДж/кг;

$g_c, g_m$  – маса скоринки та сухих речовин м'якушки, кг;

$c_c, c_m, c_e$  – питома теплоємність скоринки, сухих речовин м'якушки та води, кДж/(кг град);

$t_c, t_m, t_m$  – температура відповідно скоринки, м'якушки та тіста, °С;

$W_m$  – вологість м'якушки, кг/кг.

Кількість випареної вологи під час сушіння визначається початковою та кінцевою вологістю продукту, під час процесу випікання характеризується величиною упікання. Одним з факторів, від якого залежать такі показники як тривалість процесу випікання та величина упікання і який впливає на розподіл витрат теплової енергії є розмір та форма заготовок.

Для врахування форми та розміру заготовок використано визначальний геометричний розмір, який визначаємо як відношення об'єму заготовки  $V$ , м<sup>3</sup> до площі поверхні тепломасообміну  $F$ , м<sup>2</sup>, із врахуванням коефіцієнту співвідношення розмірів тіла  $i$ :

$$R = i \frac{V}{F}$$

Коефіцієнт співвідношення розмірів тіла визначаємо за формулою:

$$i = \frac{x}{x} + \frac{x}{y} + \frac{x}{z}$$

де  $x$  – розмір заготовки, вздовж якого спрямований тепловий потік, м  
 $y, z$  – два інших розміри, м;

Нами проаналізовано розподіл кількості тепла, яке використовується на випікання тіста-хліба, вплив його геометричних розмірів та форми на загальний тепловий баланс пекарної камери. Результати розрахунку свідчать, що більшість теплоти витрачається на випаровування вологи з тіста-хліба (рис.1). Ці витрати тепла становлять більше 50% від кількості тепла, яке використовується на випікання і зі збільшенням визначального розміру  $R$  питомі витрати тепла на випаровування вологи зменшуються за рахунок зниження величини упікання.

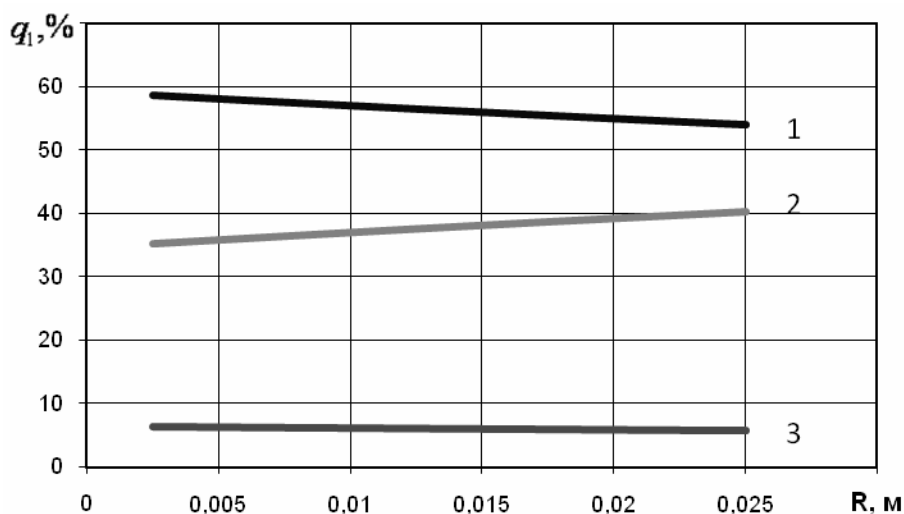


Рис.1 Розподіл відносних витрат енергії на випікання тіста-хліба в залежності від визначального розміру 1 – на випаровування вологи, 2 – на утворення мякушки, 3 – на утворення і перегрів скоринки.

На основі аналізу встановлено, що для періоду випікання зі збільшенням визначального розміру витрати тепла на випаровування вологи та утворення скоринки зменшуються, а на нагрівання м'якушки збільшуються. Загальні питомі витрати тепла на випікання тіста-хліба зменшуються зі збільшенням визначального розміру.

При традиційному способі виробництва сухарних виробів, після випікання сухарні плити охолоджують і нарізають на скибки, які з температурою 25-30 °С завантажують в сушильну камеру або піч. Під час охолодження відбувається перерозподіл вологи в заготовці. Процес

усихання заготовки можна поділити на 2 періоди: 1-період зі змінною інтенсивністю вологовіддачі до досягнення заготовкою температури навколишнього середовища, 2 – період постійної швидкості, для якої характерна низька інтенсивність вологовіддачі. Усихання за період охолодження хліба складає 2,5-3,5% від його маси після випікання.

Зі збільшенням визначального розміру величина упікання знижується і відповідно вологовміст заготовок після процесу випікання збільшується.

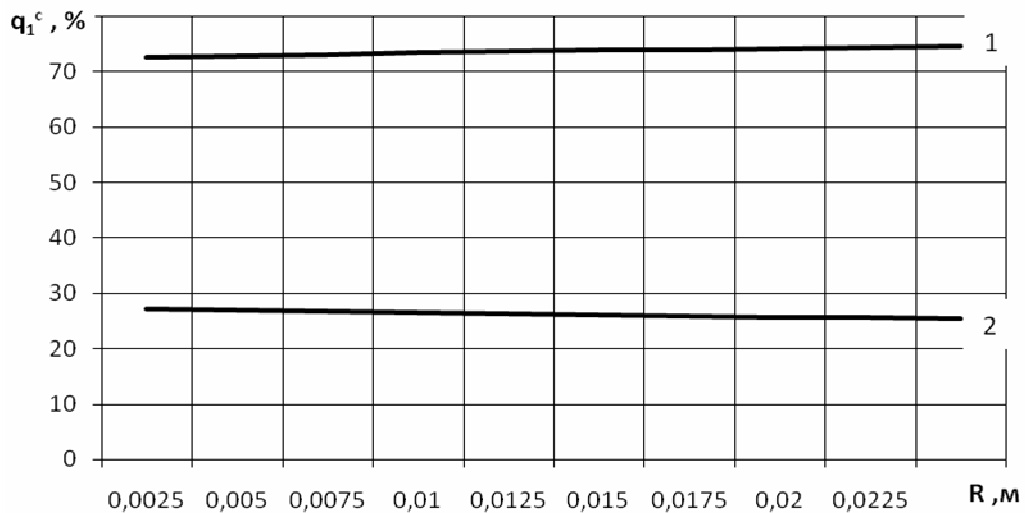


Рис.2 Розподіл відносних витрат тепла на сушіння тіста-хліба в залежності від визначального розміру 1 – на випаровування води, 2 – на повторне нагрівання.

З теплового балансу процесу сушіння скибок (рис.2) видно, що близько 70% теплової енергії витрачається на випарювання води і зі збільшенням визначального розміру дана величина збільшується за рахунок більшого вологовмісту заготовок перед висушуванням. На повторне нагрівання витрачається 25-30% від загальної кількості тепла на процес сушіння. Витрати тепла на повторне нагрівання в натуральному вигляді є сталою величиною, оскільки залежать від кінцевого вологовмісту.

Загальні питомі витрати тепла на процеси випікання та сушіння представлені на рис.3. Зі збільшенням визначального розміру збільшуються витрати енергії на сушіння і знижуються на процес випікання.

Поєднання процесів випікання та сушіння в одній пекарній камері призводить до виключення процесу повторного нагрівання скибок. Але разом з тим під час охолодження випаровується волога, тим самим зменшується початковий вологовміст скибок перед подальшим висушуванням. Результати співставлення витрат тепла при суміщених процесах випікання–сушіння та таких, що проходять окремо в різних пічних агрегатах представлені на рис.4. Встановлено, що визначальний розмір суттєво не впливає на витрати енергії, яка витрачається на перетворення тіста в хліб та випаровування вологи. Поєднання процесів випікання та сушіння в одній пекарній камері знижує витрати енергії приблизно на 9-10% в порівнянні з двостадійним способом.

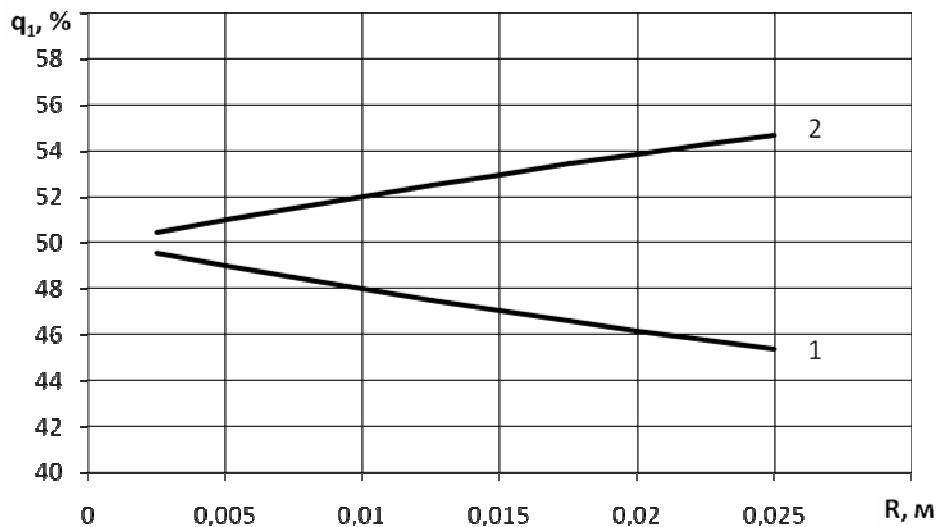


Рис.3. Загальні питомі витрати енергії на процеси випікання та сушіння в залежності від визначального розміру: 1 – витрати енергії на процес випікання, 2 – витрати енергії на процес сушіння.

Нами запропоновано спосіб виробництва сухарних виробів при якому процеси випікання та сушіння суміщені в одній пекарній камері і проходять послідовно. Даний спосіб дозволяє значно спростити машино-апаратурну схему, зменшити виробничі площі виключивши з її складу піч для сушіння скибок, шафу для охолодження сухарних плит та знизити енерговитрати на виробництво сухарних виробів.

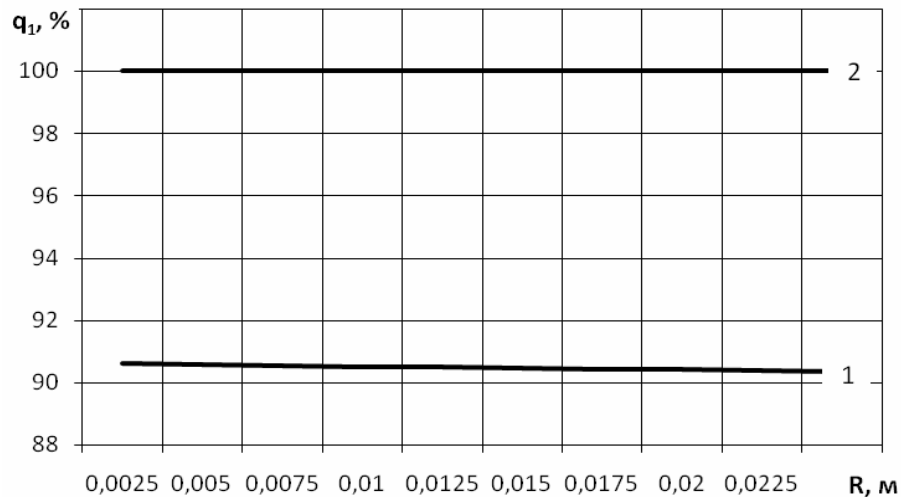


Рис.4 Залежність питомих витрат енергії на процеси випікання та сушіння від визначального розміру: 1 – витрати енергії при суміщених процесах випікання-сушіння, 2 – витрати енергії при процесах випікання та сушіння, що проходять окремо.

Проведений аналіз показує доцільність поєднання процесів випікання та сушіння з точки зору енергетичного балансу. На практиці суміщення даних процесів можливе з врахуванням технологічних параметрів, геометричних розмірів заготовок та інших показників, які впливають на якість виробів та тривалість даного процесу.

#### Література:

1. А.А. Михелев, Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / А.А.Михелев, Н.М. Ицкович. – М.: Пищевая промышленность, 1968.-487с.
2. Н.А. Ильинский, Производство сухарных изделий/Н.А.Ильинский, Т.Н.Ильинская. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. -208с.
3. Теличкун В. И. Поточно-механизованная линия производства сухариков экструзией / В. И. Теличкун, Ю.С. Теличкун, А.А. Губеня, Н. Г. Десик // Хранителна наука, техника и технология 2009: Научна конференция с международно участие, Пловдив, 23-44 октомври 2009: Научни трудове, Том LVI, Свитък 2. С. 295 – 300.