

До питання удосконалення технології гігротермічного оброблення тістових заготованок, що випікаються

Дудко С.Д.

Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

Для підвищення ефективності комплексного процесу випікання в сучасних тунельних печах необхідно, зокрема, оптимізувати технологію гігротермічного оброблення (ГТО) тістових заготованок, що випікаються (ТЗВ), встановити оптимальні значення технологічних і енергетичних показників цього процесу. Зазвичай зона ГТО розташовується в межах пекарної камери печі одразу на її початку. Гігротермічне оброблення ТЗВ відбувається за рахунок технологічної пари, що подається до зони для створення на поверхні готових виробів глянцевої верхньої скоринки, а також скорочення процесу випікання в цілому.

В зоні ГТО відбувається складний тепломасообмін – теплота вноситься до зони з технологічною парою, що зволожує поверхню ТЗВ, видаляється разом з випарами і передається поверхні ТЗВ як внаслідок контакту з нагрітим подом, так і внаслідок тепломасообміну з середовищем. Показником як технологічної, так і енергетичної ефективності процесу ГТО може служити приведена кількість конденсату технологічної пари на поверхні ТЗВ.

Щоб краще оцінити співвідношення складових теплового балансу зони ГТО доцільно розглянути конкретний числовий приклад. Нехай у тунельній печі випікається круглий подовий хліб масою 1 кг, упікання становить $W=8\%$ по гарячому хлібу, що відповідає практиці сучасного хлібопечення. Питому кількість пари, що конденсується на поверхні тістових заготованок, прийемо $\Delta m_c=0,18\text{ кг/м}^2$, що відповідно до літературних даних є середнім показником для процесу ГТО.

У пекарній камері взаємодія ТЗВ із середовищем може відбуватися у різний спосіб. Щоб визначитися з тепломасообмінними процесами під час прогрівання ТЗВ слід окремо розглянути їх перебіг на відкритій і контактній поверхнях. Оскільки конденсація пари під час ГТО відбувається лише на відкритій поверхні ТЗВ, а випаровування упродовж випікання відбувається по різному з відкритої і контактної поверхонь (за даними Stenby Andersen (2013) вологовіддача з контактної поверхні становить орієнтовно 60% від вологовіддачі з вільної) необхідно визначити площу цих поверхонь.

Для вирішення питання щодо площ складових поверхні круглого подового хліба Десик з колегами (2012) пропонують розглядати загальну площу як суму контактної поверхні, верхньої і бічної поверхонь. Для розрахунків за цією методикою мають бути наперед відомі значення таких геометричних розмірів: радіуса контактної поверхні R_k , радіуса буханця R (відповідає радіусу проекції буханця на опорну площину), висоти в центральній точці h . Гіпотетично приймається, що відстань від опорної поверхні до точки, в якій заміряється радіус R буханця дорівнює: $r=R-R_k$.

Повну площу автори пропонують розраховувати за формулою:

$$F = 4\pi n R_s^2,$$

де R_s – радіус кулі, що має однаковий з буханцем об'єм V :

$$R_s = (3V / 4\pi)^{1/3}; n = 0,15d / h + 0,76$$

Об'єм готового круглого подового хліба можна розрахувати за формулою О. Лісовенка:

$$V = 0,559d^2h,$$

де d – діаметр, м;

h – висота буханця, м.

Площа контактної поверхні:

$$F_k = \pi R_k^2$$

Площа бічної поверхні, що розташовується між опорною і верхньою поверхнями:

$$F_l = \pi r(\pi R_k + 2r)$$

Площа верхньої поверхні розглядається як площа еліпсоїда обертання і для її обчислення треба знати фокусні відстані еліпса, що викликає певні складнощі. Але цю площу F_t можна обчислити враховуючи, що $F_t = F - F_l - F_k$.

Для прикладу розглянемо геометричні характеристики хліба українського масою 1,0 кг. Середні розміри його такі: $d=0,22$ м; $h=0,076$ м; $R_k=0,085$ м; $r=d/2 - R_k=0,025$ м.

Розрахунок за вище наведеними формулами дає: $V=0,002056$ м³; $F_k=0,0227$ м²; $F_l=0,0249$ м²; $F_t=0,0462$ м²; $F=0,0939$ м². Конденсація пари відбувається на відкритій поверхні, що є сумою площ верхньої і бічної поверхонь.

Однак використання площі готового хліба для розрахунку масообміну на початку процесу не є коректним, оскільки розміри ТЗВ змінюється впродовж випікання. Найбільш суттєво збільшується висота заготованки протягом першого періоду випікання у проміжку часу від 0,1 до 0,5 загальної тривалості процесу (Лісовенко, 1976). В середньому висота тістової заготованки подового круглого хліба, при якій вона перебуває у зоні зволоження, становить приблизно 76 % від кінцевої висоти хліба (там же, с. 60). У той же час, зростання тістової заготованки під час випікання супроводжується зменшенням її діаметру приблизно у 1,09 рази. Якщо застосувати геометричну модель Десика з колегами (2012) до тістової заготованки круглого подового хліба масою 1,0 кг, за нашими розрахунками площа поверхні, на якій відбувається конденсація, становить в середньому 93 % порівняно аналогічною поверхнею готового хліба. Отже, можна прийняти, що питома поверхня, на якій конденсується пара становить $f'_{cd}=0,066$ м²/кг.

У зоні ГТО на вільній поверхні ТЗВ конденсується водяна пара масою Δm_c , кг/м²; будемо вважати, що конденсат після зони ГТО має кінцеву температуру 100 °С. Практично одразу після виходу ТЗВ із зони ГТО починається і до кінці процесу випікання продовжується випаровування вологи з поверхні і

поверхневого шару, на що витрачається енергія. Випаровується весь конденсат, а також частина води з ближніх шарів. Загальна кількість випареної води Δg_2 , кг, для буханця масою 1,0 кг:

$$\Delta g_2 = g_{m.з} - g_{2.x} + g_k, \quad (1)$$

де $g_{т.з}$ – приведена маса тістової заготованки, кг на 1 кг гарячого хліба ($g_{т.з}=1,08$);

g_k – приведений приріст маси ТЗВ внаслідок конденсації, кг конденсату на 1 кг гарячого хліба:

$$g_k = \Delta m_c f'_{cd} (W / 100 + 1) \quad (2)$$

$g_{г.х}$ – приведена маса гарячого хліба, кг/кг ($g_{г.х}=1$).

Для визначення кількості теплоти, кДж/м², що сприймається ТЗВ під час конденсації пари, скористаємося даними И. Маклюков, В. Маклюков (1983, с. 55). Наведений в роботі графік зміни теплового потоку на поверхні тістових заготовок отриманий для тіста-хліба із пшеничного борошна I сорту при таких значеннях параметрів зони гіротермічного оброблення, які цілком відповідають умовам сучасних тунельних печей: температура $t=125^\circ\text{C}$, відносна вологість $\varphi=77\%$, швидкість потоку $w=0,15$ м/с, точка роси $t_p=92,6^\circ\text{C}$, тривалість процесу $\tau=210$ с. Виконані нами апроксимація даних і обчислення за допомогою програми МАТНСАД кількості поглинутої теплоти дали результат $Q_{ГТО}=544$ кДж/м².

Питоме споживання теплоти внаслідок теплообміну через відкриту поверхню ТЗВ у перерахунку на 1 кг гарячого хліба в зоні ГТО становитиме:

$$Q'_{zmo} = Q_{zmo} f'_{cd} (W / 100 + 1) \quad (3)$$

Після підстановки величин отримаємо загальну кількість теплоти, передану в зоні ГТО від газового середовища за рахунок конденсації пари, конвекції та випромінювання, кДж/кг:

$$Q'_{zmo} = 544 \cdot 0,066 \cdot 1,08 = 38,8$$

За наведеними цими ж авторами даними відносна кількість сконденсованої пари становить $\Delta m_c = 0,18$ кг/м², що відповідає прийнятому нами апріорі значенню. Орієнтовно можна прийняти, що в результаті конденсації передається теплоти, кДж/кг:

$$Q_c = r \Delta m_c f'_{cd} (W / 100 + 1), \quad (4)$$

де r – теплота фазового переходу, кДж/кг.

$$Q_c = 2260 \cdot 0,18 \cdot 0,066 \cdot 1,08 = 29$$

Це становить близько 75 % від загальної кількості переданої теплоти в зоні ГТО, обчисленої за формулою (3). Якщо врахувати теплоту, передану поверхні ТЗВ внаслідок контакту з гарячим конденсатом, ця частка становитиме сумарно понад 80% від загальної кількості переданої теплоти усіма видами теплообміну в зоні гіротермічного оброблення, що узгоджується з оцінками авторів

И. Маклюкова, В. Маклюкова (1983). Також ця величина узгоджується і з результатами, отриманими О. Лісовенком щодо частки теплоти конденсації в загальній витраті теплоти на випікання в межах 8% (у нашому випадку $29/371=0,078$, тобто 7,8 %, де $Q_1 = 371$ кДж/кг – теоретична витрата теплоти на випікання за аналогічних умов за розрахунками Володарського і колег (1986).

Приведена кількість конденсату згідно з (2), кг на 1 кг гарячого хліба, становитиме:

$$g_k = 0,18 \cdot 0,066 \cdot 1,08 = 0,0128$$

У літературі практично відсутні дані щодо значень показників ефективності ГТО в промислових печах, що можна пояснити складністю отримання цих даних та їх низькою достовірністю. Зокрема, результати, які наводить О. Лісовенко (1976, с. 159) для печі VN-50 щодо показника ефективності використання пари на рівні 30 %, на нашу думку, є помилковими. Наведене значення суттєво завищене і є недосяжним навіть для сучасних промислових тунельних печей.

Висновки:

1. У структурі витрат теплоти з випарами, що є складовою енергетичного балансу процесу випікання, близько 14 % складають витрати на випаровування води, яка є результатом конденсації технологічної пари на поверхні ТЗВ у зоні ГТО.

2. Частка сконденсованої технологічної пари відносно загальної її витрати в зоні ГТО складає приблизно 8 – 10 %, що можна уважати досягнутим на сьогоднішній день рівнем ефективності. Решта пари служить своєрідним баластом для створення необхідної відносної вологості середовища в умовах інвазії холодного повітря з приміщення до зони. Це означає, що існує суттєвий резерв для подальшого удосконалення технології ГТО та апаратурного оформлення цієї зони хлібопекарської печі.

Список використаної літератури:

1. Лисовенко А.Т. Процесс выпечки и тепловые режимы в современных хлебопекарных печах / А.Т. Лисовенко. – М.: Пищевая пром-сть. – 1976. – 214 с.
2. И. Маклюков и В. Маклюков. Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства. – М.: Легкая и пищевая пром-сть. – 1983. – 271 с.
3. Stenby Andresen, M., Løje, H., & Adler-Nissen, J. (2013). Experimentally supported mathematical modeling of continuous baking processes. PhD Thesis. Kgs. Lyngby: Technical University of Denmark (DTU). P. 200.
4. Десик М.Г. Дослідження впливу геометричних параметрів хліба на тепломасообмінні процеси / М.Г. Десик, В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, А.І. Германчук // Харчова промисловість. – 2012. - № 12. – С. 203 – 207.
5. Володарский А.В., Сигал М.Н., Ничиков И.М. Промышленные печи пищевых производств. – К.: Техніка. – 1986. – 136 с.