Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

NON MAHSULOTLARINI PISHIRISHDA ISSIQLIK VA NAMLIK ALMASHINUVINI SONLI MODELLASHTIRISH HAMDA PISHIRISH REJIMINI ENERGIYA TEJAMKOR TANLASH

Zaripova Dildora Fatxuddinovna
e-mail: gulinozfattiloyevna@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.23320080

Annotatsiya. Maqolada non xamiri bo‘lagida issiqlik va namlik almashinuvining tandir devori yoki pech podi bilan tutashgan (qo‘shma) bir o‘lchovli nostatsionar modeli taklif etilgan. Model kontakt, nurlanish va konveksiya orqali issiqlik uzatilishini, namlikning bug‘lanishini va qobiq hosil bo‘lishini entalpiya usuli bilan hisobga oladi. Tandir devorining boshlang‘ich harorati 260 dan 340 °C gacha oshirilganda pishish davomiyligi atigi 12 % ga qisqarishi, upek esa 9,4 dan 12,5 % gacha, mahsulotga berilgan issiqlik 400 dan 481 kJ/kg gacha ortishi aniqlandi. Qobiq sifati cheklovlarini hisobga olganda devorning maqbul harorati 280–300 °C. Konveyerli pechda zonali rejim (dastlabki 3 daqiqa 320 °C, keyin 230 °C) 270 °C li doimiy rejimga nisbatan xuddi shu unumdorlikda mahsulotga sarflanadigan issiqlikni 5,3 % ga, upekni 0,86 foiz punktga kamaytiradi.
Kalit so‘zlar: non pishirish, tandir, issiqlik va namlik almashinuvi, matematik model, entalpiya usuli, upek, energiya samaradorligi.

Аннотация. В статье предложена одномерная нестационарная сопряжённая модель тепло- и влагопереноса в тестовой заготовке, контактирующей со стенкой тандыра или подом печи. Модель учитывает подвод теплоты контактом, излучением и конвекцией, испарение влаги и образование корки энтальпийным методом. Установлено, что повышение начальной температуры стенки тандыра с 260 до 340 °C сокращает время выпечки лишь на 12 %, увеличивая упёк с 9,4 до 12,5 % и теплоту, подведённую к продукту, с 400 до 481 кДж/кг. С учётом ограничений по качеству корки рациональная температура стенки составляет 280–300 °C. Зональный режим в конвейерной печи (первые 3 мин 320 °C, затем 230 °C) по сравнению с постоянным режимом 270 °C при той же производительности снижает теплопотребление продукта на 5,3 % и упёк на 0,86 процентного пункта.
Ключевые слова: выпечка хлеба, тандыр, тепломассообмен, математическая модель, энтальпийный метод, упёк, энергоэффективность.

Abstract. The paper presents a one-dimensional transient conjugate model of heat and moisture transfer in a dough piece in contact with a tandoor wall or an oven sole. The model accounts for heat supply by contact conduction, radiation and convection, and describes water evaporation and crust formation by the enthalpy method. Raising the initial tandoor wall temperature from 260 to 340 °C shortens baking by only 12 %, while the baking loss rises from 9.4 to 12.5 % and the heat absorbed by the product from 400 to 481 kJ/kg. Taking crust quality limits into account, the rational wall temperature is 280–300 °C. A zoned regime in a conveyor oven (320 °C for the first 3 min, then 230 °C) reduces the heat absorbed by the product by 5.3 % and the baking loss by 0.86 percentage points compared with a constant 270 °C regime at the same productivity.

Keywords: bread baking, tandoor, heat and mass transfer, mathematical model, enthalpy method, baking loss, energy efficiency.

Kirish

Non ishlab chiqarish oziq-ovqat sanoatining energiya talab tarmoqlaridan biri bo‘lib, texnologik jarayonda eng ko‘p energiya pishirish bosqichida sarflanadi. Pishirish kamerasida yoqilg‘i yoki elektr energiyasining bir qismi mahsulotga uzatiladi, qolgan qismi esa tutun gazlari, devorlar va bug‘-havo aralashmasi bilan atrof-muhitga chiqib ketadi. Energiya resurslaridan samarali foydalanish Yangi O‘zbekistonning 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan taraqqiyot strategiyasida [1] va Prezidentning PQ-4422-son qarorida [2] muhim vazifa sifatida belgilangan.

Issiqlik-texnik nuqtai nazardan non pishirish murakkab jarayon hisoblanadi. Xamir bo‘lagida bir vaqtning o‘zida issiqlik o‘tkazuvchanlik, namlik diffuziyasi, bug‘lanish va kondensatsiya, kraxmal kleysterlanishi va qobiq hosil bo‘lishi sodir bo‘ladi [3, 4]. Thorvaldsson va Janestad [5] issiqlik, suv va bug‘ diffuziyasining birgalikdagi modelini taklif etgan. Zhang va Datta [6] nonni ko‘p fazali g‘ovak muhit sifatida modellashtirgan. Purlis va Salvadori [7] bug‘lanish zonasini harakatlanuvchi chegara sifatida ifodalovchi modelni ishlab chiqqan, Purlis [8] esa modellashtirish natijalari asosida pishirishning texnologik jihatlarini tahlil qilgan. Therdthai va boshqalar [9] uzluksiz ishlaydigan sanoat pechida harorat profilini optimallashtirish masalasini ko‘rib chiqqan. Wong va boshqalar [10] konveyerli pechda pishirish jarayonini hisoblash gidrodinamikasi (CFD) usulida modellashtirgan.

Ko‘rib chiqilgan ishlarning aksariyati qolipli nonni elektr yoki konvektiv pechlarda pishirishga bag‘ishlangan. Tandirda esa xamir bo‘lagi qizdirilgan loy devorga yopishtiriladi va issiqlikni nosimmetrik ravishda oladi: bir tomondan devor bilan kontakt orqali, ikkinchi tomondan qarama-qarshi devordan nurlanish va gaz konveksiyasi orqali. Bunda devor oldindan to‘plangan issiqlik hisobiga ishlaydi va pishirish davomida soviydi. Bunday sharoitda issiqlik almashinuvi hamda pishirish rejimining energiya sarfiga ta’siri yetarlicha o‘rganilmagan.

Ishning maqsadi – non pishirishda issiqlik va namlik almashinuvining qo‘shma modelini ishlab chiqish va uning asosida energiya tejamkor pishirish rejimini asoslash. Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar qo‘yildi: devor (pod) va xamir bo‘lagining qo‘shma modelini tuzish va sonli yechish; tandir devori haroratining pishirish davomiyligi, upek, mahsulotga berilgan issiqlik va qobiq haroratiga ta’sirini aniqlash; konveyerli pech uchun zonali harorat rejimining samaradorligini baholash.

Tadqiqot obyekti va usullari

Tadqiqot obyekti – qalinligi L = 25 mm bo‘lgan non xamiri bo‘lagi. Bo‘lakning diametri (200–250 mm) qalinligidan ancha katta, shuning uchun masala bir o‘lchovli qo‘yilishda ko‘riladi. x koordinatasi devor (pod) bilan kontakt sirtidan erkin sirtga qarab yo‘naltirilgan. Model qo‘shma hisoblanadi: devor (pod) va xamir bo‘lagidagi harorat maydonlari hamda xamirdagi namlik maydoni birgalikda topiladi.

Xamir bo‘lagidagi issiqlik va namlik almashinuvi quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$\rho_s(c_s + Xc_w)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(X)\frac{\partial T}{\partial x}\right) - \rho_s r\frac{\partial X_b}{\partial \tau} (1)$$

$$\frac{\partial X}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial X}{\partial x}\right) - \frac{\partial X_b}{\partial \tau} (2)$$

bu yerda T – harorat, °C; X – namlik, kg/kg quruq modda; ρ_s – hajm birligidagi quruq modda massasi, kg/m^3; c_s, c_w – quruq modda va suvning solishtirma issiqlik sig‘imi, J/(kg·K); λ – issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/(m·K); r – bug‘ hosil bo‘lish issiqligi, J/kg; D – namlik diffuziyasi koeffitsiyenti, m^2/s; X_b – bug‘langan namlik. Issiqlik o‘tkazuvchanlik namlikka chiziqli bog‘liq deb qabul qilingan:

$$\lambda(X) = \lambda_q + (\lambda_m - \lambda_q)\frac{X}{X_0} (3)$$

bu yerda λ_m va λ_q – mag‘iz va quruq qobiqning issiqlik o‘tkazuvchanligi; X_0 – xamirning boshlang‘ich namligi.

Bug‘lanish entalpiya usuli bilan hisobga olinadi. Biror hajm elementida harorat T_b = 100 °C ga yetganda va $X > X_{min}$ bo‘lganda ortiqcha issiqlik namlikni bug‘latishga sarflanadi:

$$\Delta X_b = \frac{(c_s + X c_w)(T^* - T_b)}{r}, \quad T = T_b (4)$$

bu yerda T* – bug‘lanishni hisobga olmasdan topilgan oraliq harorat. Element qurigandan ($X = X_{min}$) so‘ng uning harorati 100 °C dan yuqoriga ko‘tariladi va qobiq hosil bo‘ladi. Shu tariqa bug‘lanish zonasining ichkariga siljishi alohida chegara shartlarisiz tavsiflanadi [7].

Devor (pod) harorati T_w issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$\rho_w c_w \frac{\partial T_w}{\partial \tau} = \lambda_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} (5)$$

Xamir bo‘lagi sirtlaridagi chegaraviy shartlar:

$$x = 0: \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_k (T_{w,s} - T) (6)$$

$$x = L: \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \varepsilon_k \sigma_0 (T_n{}^4 - T^4) + \alpha (t_g - t) (7)$$

bu yerda α_k – devor va xamir orasidagi kontakt issiqlik almashinuvi koeffitsiyenti; $T_{w,s}$ – devorning kontakt sirti harorati; ε_k – keltirilgan qoralik darajasi; σ_0 – Stefan–Bolsman doimiysi; T_n – nurlanuvchi sirtlar harorati; t_g – qizdiruvchi muhit harorati; α – konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti. Tandir devorining tashqi sirti adiabatik deb qabul qilingan, chunki pishirish davrida tandir to‘plangan issiqlik hisobiga ishlaydi. Pech podining pastki sirti isitgichlar harorati T_q da ushlab turiladi.

(1)–(7) tenglamalar sistemasi nazorat hajmlari usulida oshkor chekli ayirmali sxema bilan yechildi. Xamir bo‘lagi N = 100 hajmga (Δx = 0,25 mm), tandir devori 40, pod 20 hajmga bo‘lindi, vaqt qadami Δτ = 0,02 s. Hajmlar chegarasidagi issiqlik o‘tkazuvchanlik qo‘shni hajmlar qiymatlarining garmonik o‘rtachasi sifatida olindi. To‘rning yaqinlashuvchanligi N = 200 va Δτ = 0,005 s da tekshirildi: pishish davomiyligi 0,15 %, mahsulotga berilgan issiqlik 0,6 %, upek 1,1 % ga farq qildi. Hisoblash dasturi Python tilida ishlab chiqilgan.

Pishish tugashi mezoni sifatida mag‘izning eng sovuq nuqtasida haroratning 97 °C ga yetishi qabul qilindi. Qobiq chegarasi X = 0,30 kg/kg bilan aniqlandi. Qobiq sifatini baholash uchun ikki shartli ko‘rsatkich kiritildi: pishish oxiridagi yuqori sirt harorati $t_{yu} \le 200$ °C (qobiqning haddan tashqari qorayishi va kuyishini cheklash) hamda yuqori sirt harorati 150 °C dan yuqori bo‘lgan vaqt $\tau_{150} \ge 240$ s (qobiq rangining yetarli hosil bo‘lishi). Mahsulotga berilgan solishtirma issiqlik kontakt, nurlanish va konveksiya oqimlarini vaqt bo‘yicha integrallash orqali topildi:

$$q = \frac{1}{m}\int_0^{\tau_p} (q_k + q_n + q_{kv}) d\tau (8)$$

bu yerda m = 10,5 kg/m^2 – 1 m^2 sirtga to‘g‘ri keladigan xamir massasi; τ_p – pishish davomiyligi; q_k, q_n, q_{kv} – kontakt, nurlanish va konvektiv issiqlik oqimlari zichligi, Vt/m^2. Hisob parametrlari 1-jadvalda keltirilgan; termofizik xossalar ma’lumotnoma va adabiyot ma’lumotlari asosida qabul qilingan [11, 12].

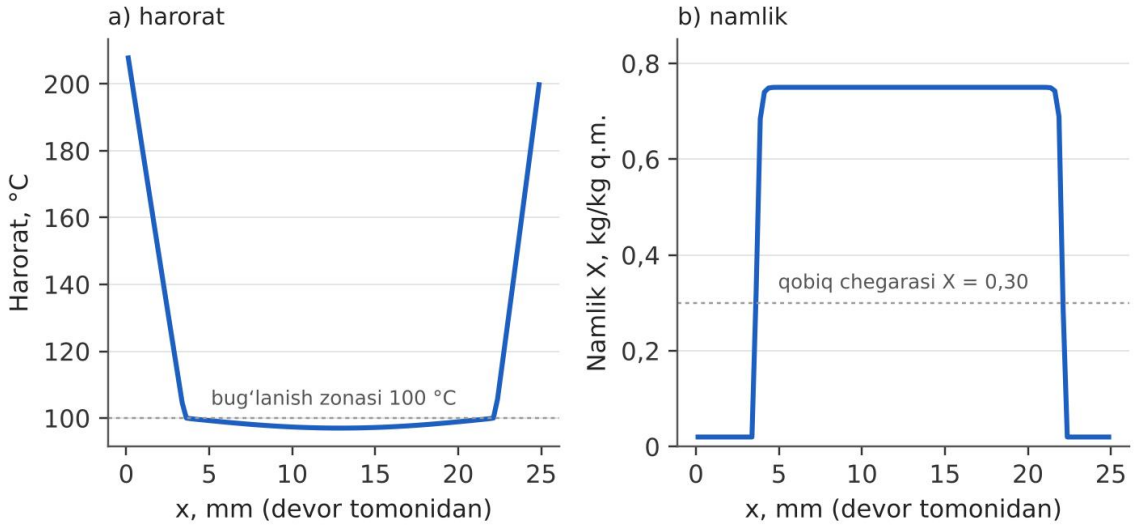
1-jadval. Modelning hisob parametrlari

Parametr	Qiymati
Xamirning boshlang‘ich harorati, °C / namligi X_0, kg/kg	32 / 0,75
ρ_s, kg/m^3; c_s; c_w, J/(kg·K)	240; 1600; 4180
λ_m; λ_q, Vt/(m·K); D, m^2/s	0,35; 0,06; $5\cdot10^{-10}$
Tandir devori (loy, 50 mm): ρ_w, kg/m^3; c_w, J/(kg·K); λ_w, Vt/(m·K)	1800; 880; 0,90
Tandir: T_n; t_g, °C; α, Vt/(m^2·K); ε_k	T_{w0} − 10; 230; 10; 0,80
Pod (tosh, 20 mm): ρ_w, kg/m^3; c_w, J/(kg·K); λ_w, Vt/(m·K)	2200; 900; 1,5
Pod pechi: $T_n = t_g$; α, Vt/(m^2·K); ε_k	rejim bo‘yicha; 12; 0,80
Kontakt koeffitsiyenti α_k, Vt/(m^2·K)	250

Natijalar va muhokama

Harorat va namlik maydonlari

Tandir devorining boshlang‘ich harorati 300 °C bo‘lganda mag‘izning eng sovuq nuqtasi 544 s (9,1 daqiqa) da 97 °C ga yetadi. Pishish oxiridagi harorat va namlik taqsimoti 1-rasmda keltirilgan. Devor tomonida 3,5 mm, erkin sirt tomonida 3,0 mm qalinlikdagi qobiq hosil bo‘ladi. Qobiqda harorat 100 °C dan sirtda 208 va 200 °C gacha keskin oshadi, mag‘iz esa 97–100 °C da qoladi. Qobiqdagi namlik 0,02 kg/kg gacha kamayadi, mag‘izda esa deyarli boshlang‘ich darajada (0,75 kg/kg) saqlanadi. Namlikning keskin o‘zgarish chegarasi bug‘lanish frontining holatini ko‘rsatadi.



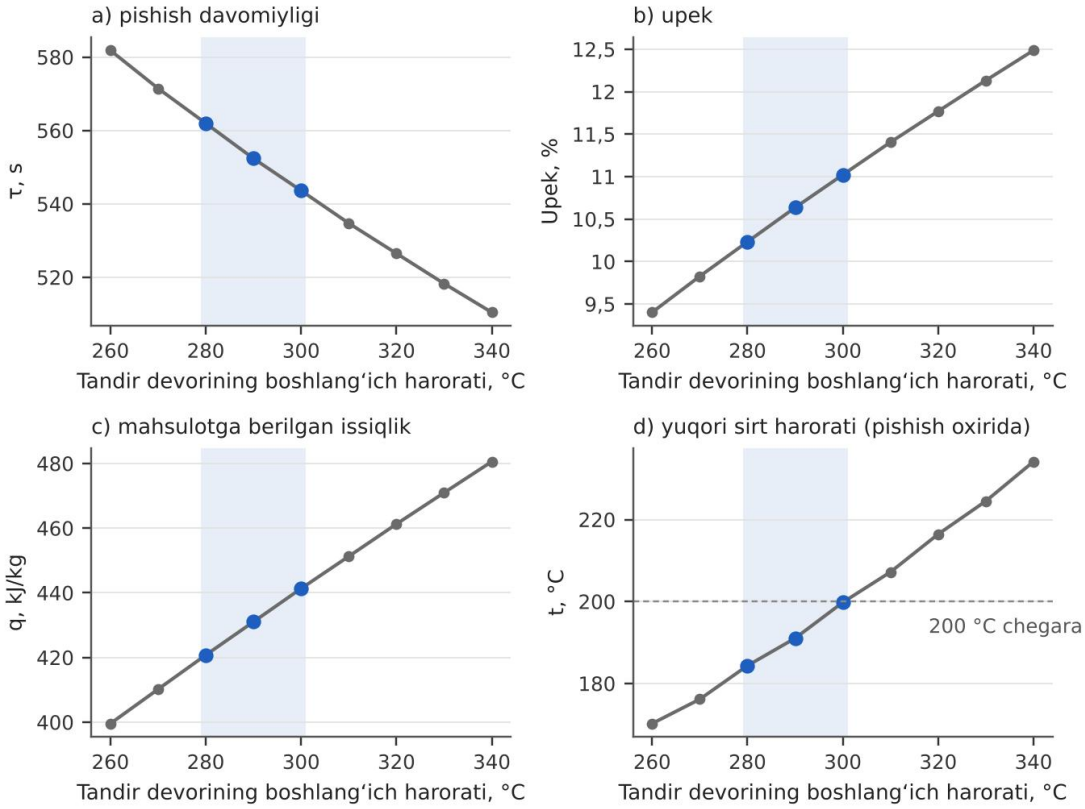
1-rasm. Tandirda pishish oxirida (τ = 544 s) xamir bo‘lagi qalinligi bo‘yicha harorat (a) va namlik (b) taqsimoti

Upek 11,0 % ni, mahsulotga berilgan issiqlik q = 441 kJ/kg xamirni tashkil etadi. Shundan 249 kJ/kg (56 %) upek namligini bug‘latishga, 193 kJ/kg esa xamir va qobiqni qizdirishga sarflanadi. Issiqlikning 54,3 % i devor bilan kontakt orqali, 36,0 % i nurlanish va 9,7 % i konveksiya orqali

uzatiladi. Kontakt zonasida devor sirti dastlabki 30 s ichida 300 dan 230 °C gacha soviydi va pishish oxirida 222 °C atrofida barqarorlashadi. Demak, devordan keladigan issiqlik oqimi loyning issiqlik faolligi ($\sqrt{\lambda\rho c} \approx 1190$ Vt·s^{0,5}/(m^2·K)) va to‘plangan issiqlik zaxirasi bilan belgilanadi.

Tandir devori haroratining ta’siri

Devorning boshlang‘ich harorati 260–340 °C oralig‘ida o‘zgartirilganda olingan natijalar 2-rasmda ko‘rsatilgan. Haroratning har 10 °C ga oshishi pishish davomiyligini o‘rtacha 9 s (1,6 %) ga qisqartiradi, ammo upekni 0,39 foiz punktga va mahsulotga berilgan issiqlikni 10 kJ/kg (2,1–2,5 %) ga oshiradi. Butun oraliqda pishish davomiyligi 582 dan 510 s gacha (12,3 %) qisqaradi, mahsulotga berilgan issiqlik esa 400 dan 481 kJ/kg gacha (20,3 %) ortadi.



2-rasm. Tandir devori boshlang‘ich haroratining pishish davomiyligi (a), upek (b), mahsulotga berilgan issiqlik (c) va yuqori sirt haroratiga (d) ta’siri; ajratilgan soha – maqbul oraliq 280–300 °C

Bu natijaning sababi mag‘izning ichki termik qarshiligi ($L/\lambda_m \approx 0{,}071$ m^2·K/Vt) kontakt qarshiligidan ($1/\alpha_k = 0{,}004$ m^2·K/Vt) qariyb 18 marta katta ekanida. Devor harorati oshirilganda qo‘shimcha issiqlik asosan sirt qatlamlaridagi namlikni bug‘latishga va qobiqni qalinlashtirishga sarflanadi: qobiq qalinligi 3,25/2,25 mm dan 4,0/3,5 mm gacha ortadi. Mag‘izning qizish tezligi esa deyarli o‘zgarmaydi.

Qobiq sifati bo‘yicha qabul qilingan shartlar quyidagi oraliqni belgilaydi. $t_{yu} \le 200$ °C sharti devor harorati 300 °C dan oshmaganda bajariladi. $\tau_{150} \ge 240$ s sharti esa 280 °C va undan yuqori haroratda bajariladi: 260 va 270 °C da τ_{150} mos ravishda 168 va 219 s, 280 °C da 243 s, 300 °C da 303 s. Shunday qilib, devorning maqbul boshlang‘ich harorati 280–300 °C. Bu oraliqning pastki chegarasi energiya jihatidan afzal (q = 421 kJ/kg, 300 °C ga nisbatan 4,7 % kam), yuqori chegarasi esa unumdorlik

jihatidan afzal (τ = 544 s, 280 °C ga nisbatan 3,3 % qisqa). Bundan tashqari, devor haroratini 340 dan 290 °C gacha pasaytirish devorlar orqali yo‘qotishni taxminan 16 % ga kamaytiradi.

Konveyerli pechda zonali harorat rejimi

Konveyerli (tunnel) pechlarda kamera zonalarga bo‘linadi va har bir zonada alohida harorat o‘rnatish mumkin [9, 10]. Model yordamida doimiy rejimlar va ikki zonali rejim taqqoslandi. Ikki zonali rejimda dastlabki 180 s davomida kamera harorati 320 °C, keyin 230 °C, pod isitgichlari harorati esa 250 °C. Natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Konveyerli pechda pishirish rejimlarini taqqoslash

Rejim	τ, s	Upek, %	q, kJ/kg	τ_{150}, s	t_{yu} / t_{past}, °C	Kamera harorati (o‘rtacha), °C
Doimiy 250 °C	564,5	10,17	419,7	237	180 / 201	250,0
Doimiy 260 °C	553,3	10,64	431,7	261	188 / 209	260,0
Doimiy 270 °C	543,0	11,09	443,5	309	199 / 217	270,0
Zonali: 320 °C (0–180 s) → 230 °C, pod 250 °C	543,9	10,23	420,2	306	168 / 201	259,8

Zonali rejim 270 °C li doimiy rejim bilan deyarli bir xil pishish davomiyligi (543,9 va 543,0 s) va qobiq rangi ko‘rsatkichini (τ_{150} = 306 va 309 s) ta’minlaydi. Shu bilan birga mahsulotga berilgan issiqlik 5,3 % ga (443,5 dan 420,2 kJ/kg gacha), upek 0,86 foiz punktga kamayadi. Pishish oxiridagi sirt haroratlari 31 va 17 °C ga past bo‘lib, qobiqning haddan tashqari qizishi bartaraf etiladi. Doimiy 250 °C rejimda esa upek kam bo‘lsa-da, τ_{150} = 237 s bo‘lib, qobiq rangi sharti bajarilmaydi va pishish 21 s uzoq davom etadi.

Zonali rejimning samaradorligi quyidagicha izohlanadi. Birinchi zonada kuchli nurlanish oqimi yuqori sirtni tez qizdiradi va qobiq rangi pishishning boshida shakllanadi. Ikkinchi zonada harorat pasaytirilganda bug‘lanish fronti sekinroq siljiydi, mag‘iz esa ichki issiqlik o‘tkazuvchanlik hisobiga qizishda davom etadi. Natijada pishishning oxirgi bosqichida issiqlik ortiqcha bug‘lanishga sarflanmaydi.

Upekning 0,86 foiz punktga kamayishi bir xil xamir massasidan non chiqishini 0,97 % ga oshiradi. Kameraning o‘rtacha harorati 270 dan 259,8 °C gacha pasayishi atrof-muhitga yo‘qotishlarni taxminan 4,2 % ga kamaytiradi (yo‘qotishlar kamera va atrof-muhit harorati farqiga mutanosib deb qabul qilinganda). Pechning FIK 40 % atrofida bo‘lsa, foydali issiqlik va yo‘qotishlarning birgalikdagi kamayishi yoqilg‘i sarfini taxminan 4,6 % ga qisqartiradi.

Modelda xamirning hajmiy o‘zgarishi, bug‘ning ichkariga diffuziyasi va kondensatsiyasi hisobga olinmagan, termofizik xossalar namlikning chiziqli funksiyasi deb qabul qilingan. Bu soddalashtirishlar natijalarning sifat jihatidan to‘g‘riligiga ta’sir qilmaydi, ammo miqdoriy baholarni tajriba ma’lumotlari bilan aniqlashtirish keyingi tadqiqotlarning vazifasi hisoblanadi.

Xulosa

1. Non xamiri bo‘lagida issiqlik va namlik almashinuvining devor (pod) bilan qo‘shma bir o‘lchovli modeli ishlab chiqildi. Model nosimmetrik issiqlik uzatilishini (kontakt, nurlanish,

konveksiya), devorning to‘plangan issiqlik hisobiga sovishini hamda bug‘lanish va qobiq hosil bo‘lishini entalpiya usuli bilan hisobga oladi. Sonli yechimning to‘rga bog‘liqligi 1,1 % dan oshmaydi.

2. Tandirda 25 mm qalinlikdagi xamir bo‘lagi 544 s da pishadi. Mahsulotga berilgan 441 kJ/kg issiqlikning 56 % i upek namligini bug‘latishga sarflanadi, issiqlikning 54,3 % i esa devor bilan kontakt orqali uzatiladi.

3. Pishish davomiyligi mag‘izning ichki termik qarshiligi bilan cheklanadi. Shu sababli tandir devori haroratini 260 dan 340 °C gacha oshirish pishishni atigi 12,3 % ga qisqartiradi, mahsulotga berilgan issiqlikni esa 20,3 % ga oshiradi. Qobiq sifati shartlarini hisobga olganda devorning maqbul boshlang‘ich harorati 280–300 °C.

4. Konveyerli pechda zonali rejim (320 °C 180 s davomida, keyin 230 °C, pod 250 °C) 270 °C li doimiy rejimga nisbatan xuddi shu unumdorlik va qobiq rangida mahsulotga berilgan issiqlikni 5,3 % ga, upekni 0,86 foiz punktga kamaytiradi. Natijada non chiqishi 0,97 % ga ortadi, yoqilg‘i sarfi taxminan 4,6 % ga kamayadi.

5. Ishlab chiqilgan model pech issiqlik balansi bilan birgalikda pishirish rejimini ko‘p mezonli optimallashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Sun’iy intellektdan foydalanish to‘g‘risida bayonot. Maqola matnini tayyorlash, tahrirlash va hisoblash dasturini ishlab chiqishda sun’iy intellekt vositasidan (Claude, Anthropic) foydalanildi. Mualliflar maqola mazmuni uchun to‘liq javobgarlikni o‘z zimmalariga oladilar.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 22-avgustdagi PQ-4422-son “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori.
3. Mondal A., Datta A.K. Bread baking – A review // Journal of Food Engineering. – 2008. – Vol. 86, No. 4. – P. 465–474.
4. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / под общ. ред. Л.И. Пучковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2002. – 416 с.
5. Thorvaldsson K., Janestad H. A model for simultaneous heat, water and vapour diffusion // Journal of Food Engineering. – 1999. – Vol. 40, No. 3. – P. 167–172.
6. Zhang J., Datta A.K. Mathematical modeling of bread baking process // Journal of Food Engineering. – 2006. – Vol. 75, No. 1. – P. 78–89.
7. Purlis E., Salvadori V.O. Bread baking as a moving boundary problem. Part 1: Mathematical modelling // Journal of Food Engineering. – 2009. – Vol. 91, No. 3. – P. 428–433.
8. Purlis E. Bread baking: Technological considerations based on process modelling and simulation // Journal of Food Engineering. – 2011. – Vol. 103, No. 1. – P. 92–102.
9. Therdthai N., Zhou W., Adamczak T. Optimisation of the temperature profile in bread baking // Journal of Food Engineering. – 2002. – Vol. 55, No. 1. – P. 41–48.
10. Wong S.Y., Zhou W., Hua J. CFD modeling of an industrial continuous bread-baking process involving U-movement // Journal of Food Engineering. – 2007. – Vol. 78, No. 3. – P. 888–896.