NON PISHIRISH TANDIRINING ISSIQLIK BALANSI VA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH IMKONIYATLARI

Zaripova Dildora Fatxuddinovna
e-mail: gulinozfattiloyevna@gmail.com

Annotatsiya. Ishda tabiiy gaz bilan isitiladigan tandirning issiqlik balansi tuzilgan va energiya tejash tadbirlarining samarasi hisoblangan. Mahsulotni pishirish uchun zarur bo'lgan foydali issiqlik miqdori issiqlik va namlik almashinuvining matematik modeli asosida 441 kJ/kg xamir deb aniqlangan. Bazaviy holatda tandirning foydali ish koeffitsiyenti 40,6 % ni tashkil etishi, eng katta yo'qotishlar tutun gazlari (27,2 %) va devorlar orqali (25,8 %) sodir bo'lishi ko'rsatilgan. Havo ortiqligi koeffitsiyentini kamaytirish, tutun gazlari issiqligini utilizatsiya qilish, devorni issiqlik izolyatsiyasi bilan qoplash va yuklash og'zini qopqoq bilan yopish birgalikda soatlik gaz sarfini 44,6 % ga kamaytirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: tandir, non pishirish, issiqlik balansi, foydali ish koeffitsiyenti, tutun gazlari, issiqlik izolyatsiyasi, rekuperator.

Abstract. The heat balance of a natural-gas-fired tandoor was compiled and the effect of energy-saving measures was calculated. The useful heat required for baking was determined from a mathematical model of heat and moisture transfer in the dough piece as 441 kJ per kg of dough. In the base case the tandoor efficiency is 40.6 %, and the largest losses occur with flue gases (27.2 %) and through the walls (25.8 %). Reducing the excess air ratio, recovering flue gas heat, insulating the wall and closing the loading opening with a lid together reduce the hourly gas consumption by 44.6 %.

Keywords: tandoor, bread baking, heat balance, efficiency, flue gases, thermal insulation, recuperator.

Kirish

Non O'zbekiston aholisi ratsionining asosiy mahsuloti bo'lib, milliy non va patirlarning katta qismi tandirlarda pishiriladi. So'nggi yillarda nonvoyxonalarda o'tin va ko'mir bilan isitiladigan an'anaviy tandirlar o'rnini tabiiy gaz bilan isitiladigan tandirlar egallamoqda. Ammo bunday tandirlar ko'pincha ochiq og'iz bilan, yuqori havo ortiqligi bilan va devorlari yetarli izolyatsiyalanmagan holda ishlatiladi. Natijada yoqilg'i issiqligining katta qismi tutun gazlari, devorlar va yuklash og'zi orqali atrof-muhitga chiqib ketadi.

Iqtisodiyot tarmoqlarida energiya samaradorligini oshirish va energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida [1] va Prezidentning PQ-4422-son qarorida [2] ustuvor vazifa sifatida belgilangan. Non ishlab chiqarishda bu vazifani hal etish uchun avvalo pech issiqligining qayerga sarflanishini aniq bilish, ya'ni ishonchli issiqlik balansini tuzish talab etiladi.

Pechlar issiqlik balansini tuzish usullari kimyoviy texnologiya jarayon va qurilmalari fanida yaxshi ishlab chiqilgan [3–5]. Non pishirish jarayonining issiqlik va namlik almashinuvi modellari ham mavjud [6, 7]. Biroq tandir uchun mahsulotga sarflanadigan foydali issiqlikni model asosida aniqlash va yo'qotishlarni kamaytirish tadbirlarini miqdoriy baholash masalasi yetarlicha o'rganilmagan.

Ishning maqsadi – gaz bilan isitiladigan tandirning issiqlik balansini tuzish, asosiy issiqlik yo'qotishlarini aniqlash va energiya tejash tadbirlarining gaz sarfiga ta'sirini hisoblash yo'li bilan baholash.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Tadqiqot obyekti va hisoblash usuli

Tadqiqot obyekti sifatida unumdorligi G = 40 kg/soat xamir bo‘lgan, tabiiy gaz bilan isitiladigan sanoat tandiri olindi. Tandir ichki devorining yuzasi 4,0 m^2, yuklash og‘zining diametri 0,45 m. Gorelka pishirish davomida uzluksiz ishlaydi, shu sababli balans barqaror rejim uchun bir soatga nisbatan tuziladi:

$$BQ_n^i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (1)$$

bu yerda B – gaz sarfi, m^3/soat; Q_n^i – gazning quyi yonish issiqligi, kJ/m^3; Q_1 – mahsulotga berilgan foydali issiqlik; Q_2 – tutun gazlari bilan yo‘qotish; Q_3 – devorlar orqali yo‘qotish; Q_4 – ochiq og‘iz orqali nurlanish yo‘qotishi, kVt.

Foydali issiqlik $Q_1 = G \cdot q_f$ solishtirma issiqlik q_f orqali aniqlanadi. Odatda q_f empirik formulalar bilan hisoblanadi. Ushbu ishda u xamir bo‘lagida issiqlik va namlik almashinuvining sonli modeli yordamida topildi. Model tandir devori bilan kontakt, qarama-qarshi devordan nurlanish va konveksiyani hamda namlik bug‘lanishini hisobga oladi [6, 7]. Devorning boshlang‘ich harorati 300 °C, xamir qalinligi 25 mm bo‘lganda q_f = 441 kJ/kg xamir. Shundan 249 kJ/kg (56 %) upek namligini (11,0 %) bug‘latishga va 193 kJ/kg (44 %) xamir va qobiqni qizdirishga sarflanadi.

Tutun gazlari bilan nisbiy yo‘qotish va tutun gazlarining hajmi quyidagicha hisoblanadi [5]:

$$q_2 = \frac{V_g c_g (t_g - t_h)}{Q_n^i} \quad (2)$$

$$V_g = V_g^0 + (\alpha - 1)V^0 \quad (3)$$

bu yerda V^0, V_g^0 – nazariy havo va tutun gazlari hajmi, m^3/m^3; c_g – tutun gazlarining hajmiy issiqlik sig‘imi, kJ/(m^3·K); t_g, t_h – chiqib ketayotgan gazlar va atrof-muhit harorati, °C; α – havo ortiqligi koeffitsiyenti. Devorlar orqali yo‘qotish ko‘p qatlamli devorning issiqlik o‘tkazishi bo‘yicha topiladi [8]:

$$Q_3 = \frac{F_d (t_i - t_h)}{\sum \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_t}} \quad (4)$$

bu yerda F_d – devor yuzasi, m^2; t_i – ichki devorning o‘rtacha harorati, °C; δ_j, λ_j – qatlamlar qalinligi va issiqlik o‘tkazuvchanligi; α_t – tashqi sirtning issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/(m^2·K). Ochiq og‘iz orqali nurlanish yo‘qotishi og‘izni absolyut qora jism sifatida qabul qilib hisoblanadi:

$$Q_4 = k_o F_o \sigma_0 \left(T_i^4 - T_h^4\right) \quad (5)$$

bu yerda k_o – og‘izning ochiq turish ulushi; F_o – og‘iz yuzasi, m^2; σ_0 – Stefan–Bolsman doimiysi. (1)–(5) tenglamalardan gaz sarfi va foydali ish koeffitsiyenti aniqlanadi:

$$B = \frac{Q_1 + Q_3 + Q_4}{Q_n^i (1 - q_2)}; \quad \eta = \frac{Q_1}{BQ_n^i} \quad (6)$$

Hisob uchun qabul qilingan boshlang‘ich ma’lumotlar sanoat gaz tandirlari uchun xos qiymatlar asosida tanlangan va 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Hisob uchun boshlang‘ich ma’lumotlar

Ko‘rsatkich	Qiymati
Unumdorlik G, kg/soat xamir	40
Solishtirma foydali issiqlik q_f, kJ/kg (model bo‘yicha)	441
Gazning quyi yonish issiqligi Q_n^i, kJ/m^3	34 000
Nazariy havo hajmi V^0 / tutun gazlari hajmi V_g^0, m^3/m^3	9,5 / 10,5
Tutun gazlarining hajmiy issiqlik sig‘imi c_g, kJ/(m^3·K)	1,42

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Ko'rsatkich	Qiymati
Havo ortiqligi koeffitsiyenti α	2,0
Chiqib ketayotgan gazlar harorati t_g, °C	350
Atrof-muhit harorati t_h / ichki devor harorati t_i, °C	25 / 280
Devor tuzilishi	loy 50 mm (λ = 0,90) + g'isht 120 mm (λ = 0,70)
Tashqi issiqlik berish koeffitsiyenti α_t, Vt/(m²·K)	10
Devor yuzasi F_d / og'iz yuzasi F_o, m²	4,0 / 0,159

Natijalar va muhokama

Bazaviy holatdagi issiqlik balansi 2-jadvalda keltirilgan. Tandirning foydali ish koeffitsiyenti 40,6 % ni tashkil etadi: mahsulotga berilgan issiqlikdan 2,5 marta ko'p yoqilg'i issiqligi sarflanadi. Solishtirma gaz sarfi 0,032 m³/kg xamir yoki 1,09 MJ/kg ga teng.

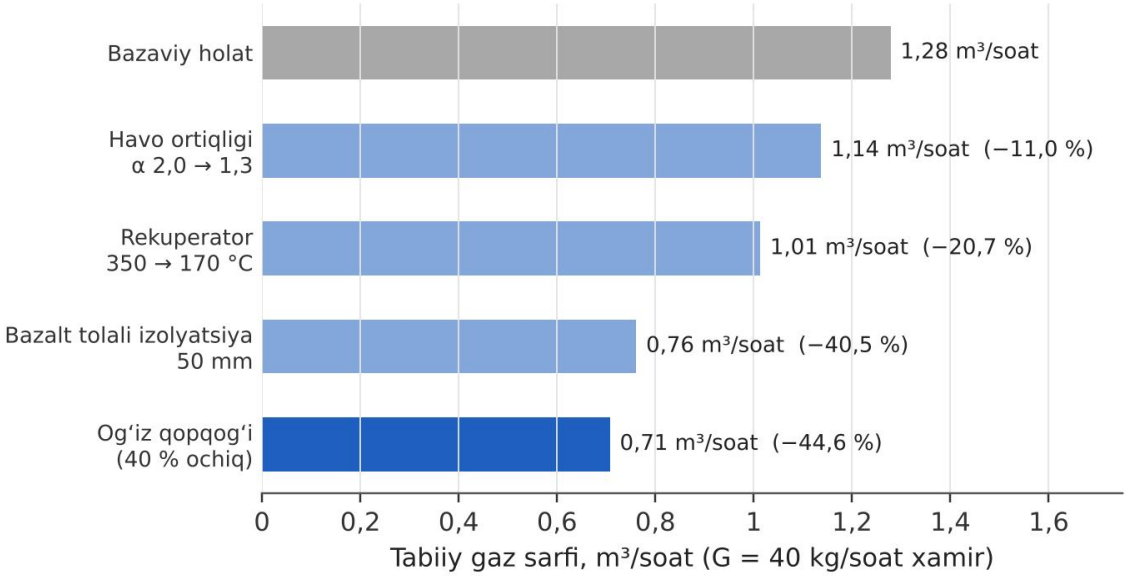
2-jadval. Gaz tandirining bazaviy holatdagi issiqlik balansi

Balans moddasi	kVt	%
Q_1 – mahsulotga berilgan foydali issiqlik	4,90	40,6
Q_2 – tutun gazlari bilan yo'qotish	3,28	27,2
Q_3 – devorlar orqali yo'qotish	3,12	25,8
Q_4 – ochiq og'iz orqali nurlanish	0,77	6,4
Jami: B·Q_{n}^{i} (B = 1,28 m^{3}/soat)	**12,07**	**100,0**

Eng katta yo'qotish tutun gazlari bilan sodir bo'ladi. Bunga havo ortiqligining yuqoriligi sabab: α = 2,0 da 1 m³ gaz yonganda 20,0 m³ tutun gazi hosil bo'ladi, stexiometrik yonishda esa bu miqdor 10,5 m³ ga teng. Ikkinchi o'rinda devorlar orqali yo'qotish turadi. Izolyatsiyasiz devorda issiqlik oqimi 780 Vt/m² ga yetadi, tashqi sirt harorati esa 103 °C ni tashkil etadi. Bunday yuqori sirt harorati mehnat xavfsizligi nuqtai nazaridan ham maqbul emas.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Energiya tejash tadbirlari ketma-ket qo‘llanilganda gaz sarfining o‘zgarishi 1-rasmda ko‘rsatilgan.



1-rasm. Energiya tejash tadbirlari ketma-ket qo‘llanilganda tandirning soatlik gaz sarfi (qavs ichida – bazaviy holatga nisbatan yig‘ma tejash)

Gorelkani sozlash va yuklash og‘zi orqali havo so‘rilishini cheklash hisobiga havo ortiqligini 2,0 dan 1,3 gacha kamaytirish q_2 ni 27,2 dan 18,1 % gacha pasaytiradi va gaz sarfini 11,0 % ga kamaytiradi. Tutun gazlarini rekuperatorda 350 dan 170 °C gacha sovitish q_2 ni 8,1 % gacha tushiradi. Utilizatsiya qilingan issiqlik yonish havosini isitishga yoki xamir qorish uchun suv isitishga yo‘naltirilishi mumkin. Ikki tadbir birgalikda gaz sarfini 20,7 % ga kamaytiradi.

Loy qatlami bilan g‘isht orasiga 50 mm qalinlikdagi bazalt tolali izolyatsiya (λ = 0,065 Vt/(m·K)) joylashtirilganda devorning termik qarshiligi 0,327 dan 1,096 m^2·K/Vt gacha ortadi. Devor orqali yo‘qotish 3,12 dan 0,93 kVt gacha, tashqi sirt harorati 103 dan 48 °C gacha pasayadi. Yuklash og‘zi vaqtning 40 % idagina ochiq turishi uchun qopqoq qo‘llanilsa, nurlanish yo‘qotishi 0,77 dan 0,31 kVt gacha kamayadi. Barcha tadbirlar birgalikda soatlik gaz sarfini 1,28 dan 0,71 m^3/soat gacha (44,6 %) kamaytiradi va FIKni 73,4 % gacha oshiradi.

Devorning ikki varianti uchun harorat taqsimoti va issiqlik yo‘qotishlari 3-jadvalda taqqoslangan.

3-jadval. Devor variantlari bo‘yicha harorat taqsimoti va issiqlik yo‘qotishlari

Ko‘rsatkich	**Izolyatsiyasiz (loy + g‘isht)**	**Izolyatsiyali (loy + bazalt + g‘isht)**
Termik qarshilik, m^2·K/Vt	0,327	1,096
Issiqlik oqimi zichligi, Vt/m^2	780	233
Devor orqali yo‘qotish Q_3, kVt	3,12	0,93
Loy qatlamining tashqi chegarasidagi harorat, °C	237	267

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Ko'rsatkich	Izolyatsiyasiz (loy + g'isht)	Izolyatsiyali (loy + bazalt + g'isht)
Izolyatsiya va g'isht chegarasidagi harorat, °C	–	88
Tashqi sirt harorati, °C	103	48
Ishga tushirishda devorda to'planadigan issiqlik, MJ	177,9	112,3

Izolyatsiyali variantda loyning ishchi qatlami yuqoriroq haroratda (267 va 237 °C) saqlanadi. Pishirish asosan aynan shu qatlamda to'plangan issiqlik hisobiga borgani uchun, xamir yopishtirilgandan keyin devor harorati tezroq tiklanadi va gorelkaga tushadigan yuklama kamayadi.

Izolyatsiya tandirni har kuni ishga tushirishdagi yo'qotishni ham kamaytiradi. Izolyatsiya qatlami tufayli g'isht qatlami kamroq qiziydi, shuning uchun devorlarda to'planadigan issiqlik 177,9 dan 112,3 MJ gacha (37 %) kamayadi. Natijada 10 soatlik ish kunida gaz sarfi 19,97 dan 10,67 m^3 gacha kamayadi (46,6 %). Yiliga 300 ish kuni hisobida bu bitta tandir uchun taxminan 2 790 m^3 tabiiy gazni tejash demakdir.

Ish rejimini to'g'ri tanlash ham muhim. Model bo'yicha hisoblar devorning boshlang'ich haroratini 260 dan 340 °C gacha oshirish pishish davomiyligini atigi 12 % ga qisqartirishini, ammo mahsulotga berilgan issiqlikni 20 % ga va upekni 9,4 dan 12,5 % gacha oshirishini ko'rsatdi. Pishish tezligi mag'izning ichki termik qarshiligi bilan cheklangani uchun devorni haddan tashqari qizdirish foyda bermaydi. Qobiq sifatini ham hisobga olganda, devor haroratini pirometr yordamida 280–300 °C oralig'ida ushlab turish tavsiya etiladi. Bu qo'shimcha xarajatsiz yoqilg'ini tejash va non chiqishini oshirish imkonini beradi.

Keltirilgan qiymatlar texnik potensialni ifodalaydi. Yuklash vaqtida sovuq havoning so'rilishi va rejimning nostatsionarligi tufayli amaldagi tejash bir oz kamroq bo'lishi mumkin.

Xulosalar

1. Gaz bilan isitiladigan tandirning issiqlik balansi tuzildi. Bunda foydali issiqlik empirik formulalar bilan emas, balki xamir bo'lagida issiqlik va namlik almashinuvining sonli modeli asosida aniqlandi (q_f = 441 kJ/kg xamir, shundan 56 % upek namligini bug'latishga sarflanadi).

2. Qabul qilingan sharoitlarda tandirning FIK 40,6 % ni tashkil etadi. Asosiy yo'qotishlar tutun gazlari (27,2 %) va devorlar orqali (25,8 %) sodir bo'ladi, ochiq og'iz orqali nurlanish 6,4 % ni tashkil etadi.

3. Havo ortiqligini 1,3 gacha kamaytirish, tutun gazlari issiqligini rekuperatorda utilizatsiya qilish, 50 mm bazalt tolali izolyatsiya va og'iz qopqog'ini qo'llash soatlik gaz sarfini 44,6 % ga, ishga tushirishni hisobga olgan kunlik sarfni 46,6 % ga kamaytirish imkonini beradi.

4. Devor haroratini 280–300 °C oralig'ida ushlab turish ortiqcha qizdirishga sarflanadigan issiqlikni va upekni kamaytiradi. Eng kam xarajat talab qiladigan va tez o'zini oqlaydigan tadbirlar – gorelkani sozlash va og'iz qopqog'ini qo'llash. Izolyatsiya va rekuperatorni tandirni loyihalash yoki kapital ta'mirlash bosqichida joriy etish maqsadga muvofiq.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

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. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G. Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari. – Toshkent: Sharq, 2003. – 644 b.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 9-е изд. – М.: Химия, 1973. – 750 с.
5. Тепловой расчёт котлов (Нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
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. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – Изд. 2-е, стереотип. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.