Materiallar to'plami · Conference Proceedings
"ZAMONAVIY TADQIQOTLAR VA BARQAROR RIVOJLANISH" respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi
04 August 2026
UDK 620.9
ANIQ FANLAR

Sement ishlab chiqarishda issiqlik yo'qotishlarini ma'lumotlarga asoslangan usullar yordamida kamaytirish

Abror Turakulov*, Abror To'raqulov
Qarshi davlat texnika universiteti
✉ webdastur@gmail.com

ANNOTATSIYA

Mazkur ishda sement klinkeri ishlab chiqarishda issiqlik yo'qotishlari va solishtirma issiqlik sarfini kamaytirish uchun ma'lumotlarga asoslangan yondashuv taklif etilgan. Qashqadaryo viloyatidagi yillik ishlab chiqarish quvvati 1,5 mln tonna bo'lgan sement zavodi tadqiqot obyekti sifatida qaralgan. Pech harorati, chiqindi gaz harorati, yoqilg'i va havo sarfi hamda klinker ishlab chiqarish hajmi kabi texnologik parametrlar asosida gibrid CNN–RNN modeli ishlab chiqilgan va cheklovli optimallashtirish bilan integratsiyalangan. Hisoblash natijalariga ko'ra, klinkerning solishtirma issiqlik sarfini 960–1000 kcal/kg dan 850–880 kcal/kg gacha, ya'ni taxminan 10–12% ga kamaytirish imkoniyati aniqlangan. Bunda CO_2 emissiyalarining 6–9% ga kamayishi baholangan. Taklif etilgan yondashuv mavjud texnologik jarayonni sezilarli o'zgartirmasdan energiya samarador ish rejimlarini aniqlash imkonini beradi.

Kalit so'zlar

sement ishlab chiqarish, issiqlik yo'qotishlari, ma'lumotlarga asoslangan modellashtirish, CNN–RNN, issiqlik energiyasi, optimallashtirish

DOI: 10.5281/zenodo.21743351

Kirish/ Introduction/ Введение

Sement ishlab chiqarish yuqori energiya talab qiluvchi sanoat jarayonlaridan biri bo'lib, energiya sarfining asosiy qismi klinker olish bosqichiga to'g'ri keladi. Xomashyoni qizdirish, kalsinatsiyalash va klinker hosil qilish jarayonlari yuqori haroratlarda amalga oshirilishi sababli aylanuvchi pech tizimining issiqlik samaradorligi yoqilg'i sarfi va mahsulot tannarxiga bevosita ta'sir ko'rsatadi [1, 2].

Pechga kiritilgan issiqlik energiyasining bir qismi chiqindi gazlar, pech korpusi yuzasi, yuqori haroratli klinker va yonish jarayonidagi yo'qotishlar orqali tashqi muhitga chiqib ketadi [3]. Ushbu yo'qotishlarni kamaytirish, ayniqsa ko'mir yoqilg'isidan foydalaniladigan sement zavodlari uchun muhim hisoblanadi. Yoqilg'i sarfi, havo miqdori, material oqimi va haroratlarning o'zaro bog'liqligi jarayonning murakkab nolinear xususiyatini shakllantiradi.

An'anaviy issiqlik balansi hisoblari energiya oqimlarini baholash imkonini bersa-da, o'zgaruvchan texnologik sharoitlarda parametrlarning vaqt bo'yicha o'zaro ta'sirini to'liq ifodalamaydi. Shu sababli tarixiy texnologik ma'lumotlardan foydalanib, jarayonning nolinear va dinamik bog'lanishlarini aniqlash imkonini beruvchi ma'lumotlarga asoslangan modellashtirish usullaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Mazkur tadqiqotning maqsadi CNN–RNN gibrid modeli yordamida klinker ishlab chiqarishdagi solishtirma issiqlik sarfini bashorat qilish va model asosidagi cheklovli optimallashtirish orqali energiya samarador texnologik ish rejimlarini aniqlashdan iborat.

Materiallar va usullar/ Material and methods/ Материалы и методы

Tadqiqotda Qashqadaryo viloyatida joylashgan, yillik ishlab chiqarish quvvati taxminan 1,5 mln tonna bo'lgan quruq usuldagi sement zavodi shartli obyekt sifatida qaraldi. Bazaviy texnologik rejimda klinker ishlab

chiqarish uchun solishtirma issiqlik sarfi 960–1000 kcal/kg oralig‘ida qabul qilindi.

Modelning kirish parametrlari sifatida pech zonalaridagi haroratlar, chiqindi gaz harorati, yoqilg‘i sarfi, havo oqimi bilan bog‘liq parametrlar va klinker ishlab chiqarish unumdorligi qabul qilindi. Dastlab ma’lumotlardagi anomal qiymatlar ajratildi, qisqa muddatli yetishmayotgan qiymatlar interpolatsiya qilindi va parametrlar normallashtirildi. Jarayonning issiqlik inersiyasini hisobga olish uchun vaqt qatorlari siljuvchi oynalar ko‘rinishida shakllantirildi.

Texnologik parametrlar va solishtirma issiqlik sarfi orasidagi bog‘lanish quyidagicha ifodalandi:

$$Q^{spec(t)} = f\theta\,[X(t-k),\ldots,X(t)]\,,$$

bu yerda X(t) - texnologik parametrlar vektori, k - retrospektiv vaqt oynasi uzunligi, fθ - CNN–RNN modeli, Q esa bashorat qilingan solishtirma issiqlik sarfidir.

CNN qismi ko‘p o‘lchovli ma’lumotlar orasidagi lokal bog‘lanishlarni ajratib olish uchun, RNN qismi esa parametrlarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi va kechikishlarini hisobga olish uchun qo‘llanildi. Ma’lumotlar xronologik ravishda 70% o‘qitish, 15% validatsiya va 15% test to‘plamlariga ajratildi.

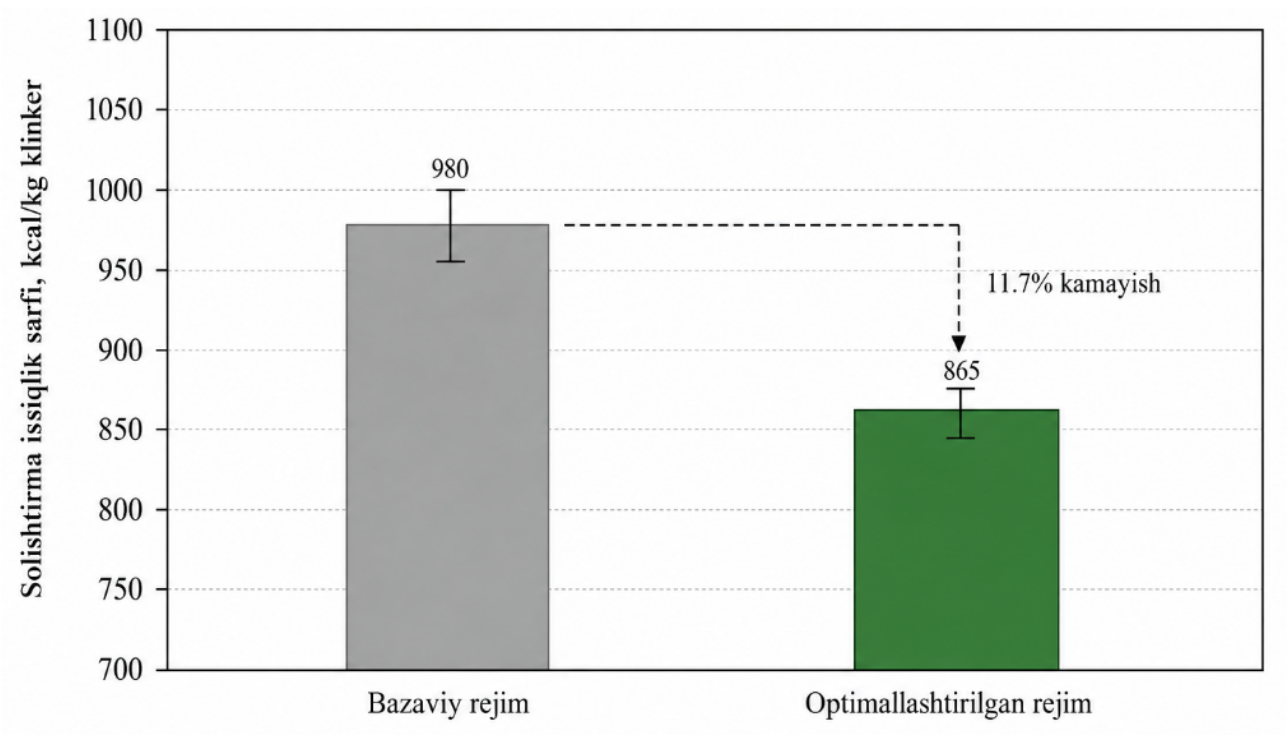
O‘qitilgan model keyingi bosqichda optimallashtirish uchun surrogat model sifatida qo‘llanildi.

Optimallashtirish pech harorati, yoqilg‘i va havo sarfi, material unumdorligi hamda klinker sifati bo‘yicha texnologik cheklovlar doirasida amalga oshirildi.

3. Natijalar

CNN–RNN modeli test ma’lumotlarida solishtirma issiqlik sarfining nolinear o‘zgarishini yetarli aniqlikda ifodaladi. Hisoblash natijalarida determinatsiya koeffitsiyenti $R^2 \approx 0{,}92$, RMSE esa 32–38 kcal/kg klinker oralig‘ida baholandi.

Bazaviy texnologik rejimda solishtirma issiqlik sarfi 960–1000 kcal/kg klinkerni, o‘rtacha hisobda esa 980 kcal/kg klinkerni tashkil etdi. Optimallashtirish natijasida 850–880 kcal/kg oralig‘idagi energiya sarfiga mos keluvchi texnologik rejimlar aniqlandi. O‘rtacha optimallashtirilgan qiymat 865 kcal/kg klinkerni tashkil etib, bazaviy qiymatga nisbatan taxminan 11,7% kamayishni ko‘rsatdi.



1-rasm. Bazaviy va optimallashtirilgan rejimlarda solishtirma issiqlik sarfining taqqoslanishi

Optimallashtirilgan rejimlarda chiqindi gaz haroratining bazaviy holatga nisbatan taxminan 40–60 °C pasayishi baholandi. Bu chiqindi gazlar bilan olib chiqiladigan sezilarli issiqlik miqdorining kamayishiga mos keladi. Tadqiqot

obyekti uchun bazaviy yillik emissiya 1,06 mln tonna CO_2 deb qabul qilinganda, yoqilg‘i sarfining kamayishi hisobiga yillik emissiyani taxminan 0,07–0,09 mln tonna CO_2 yoki 6–9% kamaytirish imkoniyati baholandi.

Natijalar va muhokama/ Results and discussion/ Результаты и обсуждение

Olingan natijalar klinker ishlab chiqarishdagi issiqlik energiyasi sarfi alohida parametr bilan emas, balki yoqilg‘i, havo, material oqimi va haroratlarning o‘zaro nolinear hamda vaqtga bog‘liq ta’siri bilan shakllanishini ko‘rsatadi. CNN–RNN arxitekturasining qo‘llanilishi ushbu bog‘lanishlarni yagona model doirasida ifodalash imkonini berdi.

Aniqlangan 10–12% kamayish yangi issiqlik utilizatsiyasi qurilmasini joriy etish hisobiga emas, balki mavjud texnologik parametrlarning energiya jihatidan qulay kombinatsiyalarini aniqlash natijasidir. Natijalarga ko‘ra, energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlaridan biri chiqindi gazlar bilan issiqlik yo‘qotilishini kamaytirish bilan bog‘liq.

Shu bilan birga, keltirilgan ayrim texnologik qiymatlar dastlabki hisoblashlar uchun qabul qilingan farazlarga asoslangan. Shu sababli aniqlangan optimal rejimlar va energiya tejalishi miqdori sanoat ma’lumotlari hamda batafsil issiqlik balansi yordamida keyingi bosqichda validatsiya qilinishi lozim.

Xulosa/ Conclusion/ Заключение

Sement klinkeri ishlab chiqarishda issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish uchun CNN–RNN modeli va cheklovli optimallashtirishga asoslangan yondashuv taklif etildi. Hisoblash natijalarida solishtirma issiqlik sarfini o‘rtacha 980 dan 865 kcal/kg klinkergacha kamaytirish imkoniyati aniqlandi, bu taxminan 11–12% energiya tejalishiga mos keladi. Energiya sarfining kamayishi hisobiga CO_2 emissiyalarini 6–9% gacha kamaytirish imkoniyati baholandi. Keyingi tadqiqotlarda model natijalarini real sanoat ma’lumotlari va eksperimental issiqlik balansi bilan tekshirish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Madlool, N. A., Saidur, R., Hossain, M. S., & Rahim, N. A. (2011). A critical review on energy use and savings in the cement industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(4), 2042–2060.

[2] Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., & Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO_2 emissions in cement industry. Journal of Cleaner Production, 51, 142–161.

[3] Atmaca, A., & Yumrutaş, R. (2014). Analysis of the parameters affecting energy consumption of a rotary kiln in cement industry. Applied Thermal Engineering, 66(1–2), 435–444.

[4] Mikulčić, H., Vujanović, M., & Duić, N. (2013). Reducing the CO_2 emissions in Croatian cement industry. Applied Energy, 101, 41–48.

[5] Wang, L., Yang, J., Zhang, Y., & Zhao, X. (2020). A data-driven approach for energy consumption prediction in industrial processes using deep learning. Energy, 199, 117445.