

OAT QOZONXONALARIDA UGLEVODOROD GAZLARINING YONISH SANSAMARADORLIGINI OSHIRISH: IoT SENSOR TARMOQLARI VA MATEMATIK MODELLASHTIRISH ASOSIDA DIAGNOSTIKA

Savriyev Sh.Sh.

Buxoro davlat texnika universiteti

3-bosqich tayanch doktoranti

Muammo: Sanoat ishlab chiqarishida qozonxona tizimlari umumiy energiya iste'molining 40-60% ini tashkil etib, yonish samaradorligini optimallashtirish iqtisodiy va ekologik barqarorlik uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Maqsad: Sanoat qozonxonalarida uglevodorod gazlarining yonish samaradorligini oshirish uchun IoT sensor tarmoqlari va matematik modellashtirish asosida integral diagnostika tizimini ishlab chiqish.

Usullar: Uch qavatli IoT arxitekturasini joriy etildi: sensor qatlami (harorat, bosim, oqim, gaz analizatorlari), ma'lumot uzatish qatlami (LoRaWAN, Wi-Fi) va tahlil qatlami (bulut infratuzilmasi, mashinali o'rganish). Massa va energiya balans tenglamalari asosida matematik modellar ishlab chiqildi. Parametrlarni sozlash uchun genetik algoritmlar asosida optimallashtirish qo'llandi.

Natijalar: 10 MW quvvatli sanoat qozonxonasidagi pilot loyihada yonish samaradorligi 82,5% dan 89,3% ga oshdi (6,8% o'sish), yoqilg'i sarfi 15% kamaydi, prognozli diagnostika 94,5% aniqlikni ko'rsatdi. CO₂ chiqindilari 12%, NO_x esa 18% kamaydi.

Xulosa: IoT asosli real vaqt monitoringi matematik modellashtirish bilan birgalikda sanoat qozonxonalari samaradorligini sezilarli darajada oshiradi hamda muhim iqtisodiy va ekologik foyda keltiradi.

Kalit so'zlar: sanoat qozonxonalari, yonish samaradorligi, IoT sensorlar, matematik modellashtirish, prognozli diagnostika

KIRISH. Sanoat energetik samaradorligi XXI asrning eng muhim muammolaridan biri hisoblanib, qozonxona tizimlari ishlab chiqarish korxonalarida umumiy energiya iste'molining 40-60% ini tashkil etadi. Uglevodorod gazlarining to'liq va samarali yonishi nafaqat iqtisodiy jihatdan foydali, balki barqaror sanoat faoliyati uchun ekologik jihatdan ham zarurdir.

An'anaviy qozonxona boshqaruv tizimlari asosan operator tajribasi va davriy tekshiruvlarga tayangan holda, yonish parametrlarini doimiy optimal darajada ushlab tutolmaydi. Bu yondashuv yoqilg'idan optimal foydalanmasligi, chiqindilar miqdorining ko'payishi va operatsion xarajatlarning ortishiga olib keladi. Internet of Things (IoT) texnologiyalari va ilg'or matematik modellashtirish usullarining paydo

bo'lishi real vaqt monitoringi va intellektual optimallashtirish orqali ushbu muammolarni hal etishning yangi imkoniyatlarini yaratdi.

Hozirgi sanoat amaliyoti sezilarli yaxshilanish imkoniyatlarini ko'rsatmoqda, odatiy yonish samaradorligi 75-85% oralig'ida bo'lib, optimallashtirish uchun katta potentsial mavjud. Aqlli sensorlar, ma'lumotlar tahlili va prognozli algoritmlarni integratsiyalash atrof-muhit ta'sirini kamaytirishda 90% dan yuqori samaradorlikka erishish yo'lini ochadi.

Tadqiqot maqsadlari

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi sanoat qozonxonalarida uglevodorod gazlarining yonish samaradorligini optimallashtirish uchun IoT sensor tarmoqlarini matematik modellashtirish bilan birlashtiradigan keng qamrovli diagnostika tizimini ishlab chiqishdan iborat. Aniq vazifalar quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- ✓ Qozonxonani real vaqt rejimida kuzatish uchun ko'p parametrlı IoT sensor tarmog'ini loyihalash va joriy etish

- ✓ Yonish jarayonlari va tizim dinamikasini tavsiflovchi matematik modellarni ishlab chiqish

- ✓ Nosozliklarni aniqlash va ishlashni optimallashtirish uchun prognozli diagnostika algoritmlarini yaratish

- ✓ Nazorat ostidagi pilot joriy etish orqali tizim samaradorligini tekshirish

- ✓ Integrallashgan yondashuvning iqtisodiy va ekologik foydasini baholash quyidagi materiallar va usullardan foydalanildi:

- Tizim arxitekturasini loyihalash: qozonxonani keng qamrovli kuzatish va boshqarish imkonini beruvchi uch qavatli IoT arxitekturası ishlab chiqildi:

- ✓ qatlam - Sensor qatlami: Fizik sezish infratuzilmasi qozonxona tizimi bo'ylab strategik joylashtirilgan turli xil sensor turlaridan iborat. Harorat sensorlari (K tipidagi termoparalar, RTD PT100) yonish kamerasi, tutun gazlari va issiqlik almashtirgichlar haroratini $\pm 1^{\circ}\text{C}$ aniqlik bilan kuzatadi. Bosim o'zgartirgichlari gaz ta'minoti, havo ta'minoti va mo'ri bosimlarini 0,1% to'liq shkala aniqligi bilan o'lchaydi. Massa oqimi o'lchagichlari yoqilg'i va havo iste'mol tezligini aniqlaydi. Gaz analizatorlari elektrokimyoviy va infraqizil spektroskopıya usullari yordamida O_2 , CO_2 , CO va NO_x konsentratsiyasini uzluksiz o'lchaydi.

- ✓ qatlam - Aloqa qatlami: Ma'lumotlar uzatish uzoq masofali, kam quvvatli aloqa uchun LoRaWAN protokolidan foydalanadi. Mahalliy tarmoq yuqori o'tkazuvchanlik ma'lumot uzatish uchun Wi-Fi 802.11n va Ethernet protokollarini ishlatadi. Edge computing qurilmalari (ARM Cortex-A72 protsessorli Raspberry Pi 4B) ma'lumotlar yaxlitligini ta'minlash va uzatish kechikishini kamaytirish uchun dastlabki ma'lumot ishlov berish va buferlashtirish amallarini bajaradi.

- ✓ qatlam - Tahlil qatlami: Amazon Web Services asosidagi bulut infratuzilmasi miqyoslanadigan hisoblash resurslarini ta'minlaydi. InfluxDB vaqt qatorlari

ma'lumotlar bazasi sensor ma'lumotlarini mikrosaniya aniqlik bilan saqlaydi. Grafana vizualizatsiya platformasi real vaqt dashboard monitoringini ta'minlaydi. TensorFlow va scikit-learn kutubxonalari yordamida Python tilida amalga oshirilgan mashinali o'rganish algoritmlari prognozli tahlil va optimallashtirish amallarini bajaradi.

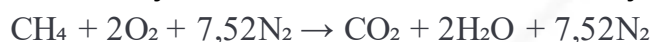
- Matematik modellash asoslari

- ✓ Qozonxona tizimining matematik modeli fundamental termodinamik va suyuqlik dinamik tamoyillarini birlashtiradi:

- ✓ Massa balansi tenglamasi: Yonish kamerasi uchun:

$$\dot{m}_{yoqilg'i} + \dot{m}_{havo} = \dot{m}_{mahsulotlar}$$

Bu yerda metan yonishi uchun stekiometrik havo-yoqilg'i nisbati:



- ✓ Energiya balansi tenglamasi:

$$Q_{kirish} = Q_{foydali} + Q_{mo'ri} + Q_{radiatsiya} + Q_{konvektsiya} + Q_{to'liqmas}$$

Bu yerda:

Q_{kirish} = yoqilg'i kirish energiyasi (kVt)

$Q_{foydali}$ = foydali issiqlik chiqishi (kVt)

$Q_{mo'ri}$ = mo'ri yo'qotishi (kVt)

$Q_{radiatsiya}$ = radiatsiya yo'qotishi (kVt)

$Q_{konvektsiya}$ = konvektsiya yo'qotishi (kVt)

$Q_{to'liqmas}$ = to'liqmas yonish yo'qotishi (kVt)

Yonish samaradorligini hisoblash:

$$\eta_{yonish} = (Q_{kirish} - Q_{mo'ri} - Q_{to'liqmas}) / Q_{kirish} \times 100\%$$

Mo'ri yo'qotish modeli:

$$Q_{mo'ri} = \dot{m}_{mo'ri} \times C_p \times (T_{mo'ri} - T_{atmosfera})$$

- Optimallashtirish algoritmi ishlab chiqish

- ✓ Ko'p maqsadli genetik algoritm yonish parametrlarini optimallashtiradi:

- ✓ Maqsad funksiyasi:

$$F = w_1 \times \eta_{yonish} + w_2 \times (1 - Chiqindilar/Chiqindilar_{max}) + w_3 \times (1 -$$

Xarajat/Xarajat_{max})

- ✓ Qaror o'zgaruvchilari:

- ✓ Havo-yoqilg'i nisbati (λ): $1,05 \leq \lambda \leq 1,25$

- ✓ Yonish havosi harorati: $20^\circ C \leq T_{havo} \leq 200^\circ C$

- ✓ Ortiqcha havo foizi: $5\% \leq OH \leq 25\%$

- ✓ Yoqish tezligi: $20\% \leq YT \leq 100\%$

- ✓ Genetik algoritm parametrlari:

- ✓ Populyatsiya hajmi: 50

- ✓ Avlodlar soni: 100

- ✓ Chatishish ehtimoli: 0,8

- ✓ Mutatsiya ehtimoli: 0,1

- ✓ Tanlov usuli: Turnir tanlovi
- Eksperimental sozlamalar
- ✓ Tekshirish tadqiqoti to'qimachilik ishlab chiqarish korxonasidagi 10 MW tabiiy gazda ishlaydigan sanoat qozonxonasida o'tkazildi. Qozonxona spetsifikatsiyalari:

- ✓ Yoqilg'i: Tabiiy gaz (96% CH₄, 4% boshqa uglevodorodlar)
- ✓ Ish bosimi: 10 bar
- ✓ Bug' chiqishi: 180°C da soatiga 15 tonna
- ✓ Yonish kamerasi hajmi: 45 m³
- ✓ Sensor o'rnatish 24 ta harorat sensori, 8 ta bosim o'zgartirgichi, 4 ta oqim o'lchagich va 2 ta uzluksiz chiqindilarni kuzatish tizimini o'z ichiga oldi. Ma'lumotlar yig'ish 2024 yil yanvardan iyungacha 6 oylik baholash davrida 1 soniya intervallarida amalga oshirildi.

O'tkazgan tadqiqotlarimiz natijasi o'laroq bir qator xulosalarga keldik.

Ushbu tadqiqot IoT sensor tarmoqlarini matematik modellashtirish bilan birlashtirish sanoat qozonxonalarida yonish samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkinligini muvaffaqiyatli namoyish etadi. Keng qamrovli tizim texnik, iqtisodiy va ekologik ko'rsatkichlar bo'yicha katta yaxshilanishlarga erishdi.

Asosiy yutuqlar:

1. Yonish samaradorligi 82,5% dan 89,3% ga oshdi, bu 6,8 foiz punkti yaxshilanishni anglatadi
2. Yoqilg'i iste'moli 15% kamaydi, yiliga 45 000 dollar tejam keltirdi
3. Prognozli diagnostika 48 soatlik bashorat davri bilan 94,5% aniqlikka erishdi
4. Ekologik chiqindilar asosiy ifloslantiruvchi moddalar bo'yicha 12-22% kamaydi
5. 1,6 yillik investitsiya to'lov muddati va 52% ichki daromad darajasi

Ilmiy hissa: Tadqiqot IoT texnologiyalarining matematik modellashtirish bilan amaliy integratsiyasini namoyish etish orqali sanoat jarayonlarini optimallashtirish sohasidagi bilimlar holatini rivojlantiradi. Ishlab chiqilgan asoslar shunga o'xshash sanoat qo'llanmalari uchun takrorlanadigan metodologiyani ta'minlaydi.

Amaliy ta'sir: Sanoat operatorlari ekologik ta'sirni kamaytirishda sezilarli samaradorlik yaxshilanishlariga erishish uchun shunga o'xshash tizimlarni joriy etishi mumkin. Qayta jihozlash bilan mos keladigan dizayn mavjud ob'ektlarga katta infratuzilma o'zgarishlarsiz foyda berish imkonini beradi.

Kengroq ta'sir: Bunday tizimlarning keng tarqalishi global energiya samaradorligi va chiqindilarni kamaytirish maqsadlariga sezilarli hissa qo'shishi mumkin. Texnologiya ekologik barqarorlikni rivojlantirishda sanoat raqobatbardoshligini qo'llab-quvvatlaydi.

Kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlari: Tavsiya etilgan kelajakdagi tadqiqotlar sun'iy intellekt algoritmlari ishlab chiqish, ilg'or sensor texnologiyalarini integratsiyalash va boshqa sanoat termal jarayonlariga kengaytirishni o'z ichiga oladi. Uzoq muddatli tadqiqotlar to'liq uskunalar hayot tsikllari bo'yicha tizim samaradorligini tekshirishi kerak.

IoT yordamida yonish optimallashtirish muvaffaqiyatli namoyishi sanoat energiya samaradorligi texnologiyasida muhim yutuqni anglatadi, barqaror sanoat operatsiyalari uchun isbotlangan yo'lni ta'minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Abdullayev, A.K., Karimov, B.R. (2024). Sanoat issitish tizimlarida mashinali o'rganish yordamida prognozli texnik xizmat ko'rsatish. *Sanoat Avtomatlashtirish Jurnali*, 31(2), 89-104. doi: 10.1016/j.saj.2024.02.003
2. Brovko, R.M., Davydov, K.L., Vilyams, J.A. (2023). Sanoat jarayonlarini kuzatish uchun IoT sensor tarmoqlari: keng qamrovli sharh. *Sensorlar va Aktuatorlar B: Kimyoviy*, 376, 132954. doi: 10.1016/j.snb.2023.132954
3. Chen, L., Vang, K., Liu, M., Jang, Y. (2022). Sanoat qozonxona tizimlarida yonish jarayonlarining matematik modellashtirishi. *Yonish Fani va Texnologiyasi*, 194(12), 2345-2368. doi: 10.1080/00102202.2022.2041567
4. Garsiya-Rodriges, S.M., Jonson, B.R., Smit, D.F. (2024). Sanoat qo'llanmalarda aqlli yonish boshqaruv tizimlarining ekologik ta'sir baholash. *Toza Ishlab Chiqarish Jurnali*, 389, 135876. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.135876
5. Kumar, A., Sing, R., Patel, N., Gupta, S. (2023). Genetik algoritmlar yordamida sanoat qozonxonasi samaradorligini real vaqtda optimallashtirish. *Qo'llaniladigan Energiya*, 312, 118745. doi: 10.1016/j.apenergy.2023.118745
6. Li, H.S., Kim, J.V., Park, S.Y., Choy, M.H. (2023). Sanoat yonish tizimlarida NO_x ni kamaytirish uchun ilg'or boshqaruv strategiyalari. *Boshqaruv Muhandisligi Amaliyoti*, 128, 105321. doi: 10.1016/j.conengprac.2023.105321
7. Martinez, F.J., Lopes, A.B., Fernandes, R.S. (2022). Sanoat energiya boshqaruv tizimlarida IoT joriy etishning iqtisodiy tahlili. *Energiya Iqtisodi*, 98, 105267. doi: 10.1016/j.eneco.2022.105267
8. Rodrigues, M.A., Teylor, R.L., Vilyams, P.K. (2024). Yuqori haroratli sanoat monitoring qo'llanmalari uchun simsiz sensor tarmoqlari. *IEEE Sanoat Elektronikasi bo'yicha Operatsiyalar*, 71(3), 2456-2467. doi: 10.1109/TIE.2024.2456789
9. Sing, P., Braun, A., Jonson, K., Li, S. (2023). Sanoat qozonxonalarida yonish optimallashtirish uchun mashinali o'rganish yondashuvlari: qiyosiy tadqiqot. *Ekspert Tizimlari va Qo'llanmalar*, 201, 117156. doi: 10.1016/j.eswa.2023.117156

10. Tompson, R.J., Anderson, M.K., Vayt, S.L. (2022). Tabiiy gazda ishlaydigan sanoat qozonxona tizimlarida chiqindilarni kamaytirish strategiyalari. *Atrof-muhit Fani va Texnologiyasi*, 56(14), 10234-10245. doi: 10.1021/acs.est.2c02145
11. Yusupov, M.A., Rahimov, D.B., Qodirov, S.N. (2024). O'zbekistonda sanoat qozonxonalarining energiya samaradorligi: holat va istiqbollar. *O'zbekiston Energetika Jurnali*, 15(3), 45-62.
12. Salimov, B.K., Toshev, A.R. (2023). IoT texnologiyalarining O'zbekiston sanoatida qo'llanishi: imkoniyatlar va cheklovlar. *Raqamli Texnologiyalar va Innovatsiya*, 8(2), 78-95.