ISSIQLIK ALMASHTIRGICH TEXNOLOGIK PARAMETRLARINI DINAMIK BELGILARGA ASOSLANGAN NEYRON TARMOQLI VIRTUAL ANALIZATOR YORDAMIDA INTELLEKTUAL TAHLIL QILISH

Baxriddinov Muxriddin Sodiq o‘g‘li

Buxoro davlat texnika universiteti, Standartlashtirish, metrologiya va muvofiqlikni baholash kafedrasi assistenti

e-mail: mukhriddin.2022@mail.ru

Annotatsiya. *Issiqlik almashtirgich chiqish haroratini bashoratlash uchun obyekt dinamikasini oshkor ko‘rinishda hisobga oluvchi neyron tarmoqli virtual analizator ishlab chiqildi. Test tanlanmasida u RMSE = 0,114 K va R^2 = 0,9991 aniqlikka erishib, chiziqli dinamik modeldan 2,0, statik ε–NTU modelidan 3,9 va issiqlik balansi modelidan 10,4 barobar aniqroq natija berdi. Olingan qoldiqning kichik tarqoqligi (σ = 0,090 K) o‘lchash kanallarini metrologik diagnostikalash uchun asos yaratadi.*

Tayanch so‘zlar: *virtual analizator, neyron tarmoq, dinamik belgilar, issiqlik almashtirgich, ε–NTU modeli, energetik qurilma, bashoratlash aniqligi.*

Kirish. Energetik qurilmalarning avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarida o‘nlab va yuzlab o‘lchash kanallari uzluksiz ishlaydi, ularning ko‘rsatkichlari boshqaruv sifati va xavfsizlikka bevosita ta’sir qiladi [2]. Jarayon ma’lumotlariga asoslangan virtual (dasturiy) analizatorlar nazorat qilinayotgan kattalikni mustaqil baholash, ya’ni analitik ortiqchalik hosil qilish imkonini beradi [3, 4]. Biroq energetik qurilmalar uchun virtual analizator aniqligini fizik modellar bilan miqdoriy taqqoslash va bunda obyekt inersiyasini hisobga olish hissasini baholash masalalari yetarlicha o‘rganilmagan.

Tadqiqotning maqsadi — issiqlik almashtirgich misolida dinamik filtrlangan belgilarga asoslangan neyron tarmoqli virtual analizatorni ishlab chiqish va uning

aniqligini chiziqli hamda fizik modellar bilan taqqoslab baholashdan iborat.

Usullar. Obyekt — qarama-qarshi oqimli g‘ilof-quvurli T-1 issiqlik almashtirgichi. Mahsulot va issiqlik eltgich sarflari FIRC-100 va FIRC-110, kirish haroratlari TIR-300 va TIR-310, chiqish haroratlari TIR-320 va TIRC-330 kanallarida o‘lchanadi [1, 554–556-b.]. Bashoratlanadigan kattalik sifatida mahsulotning chiqish harorati (TIRC-330) tanlandi.

Obyektning barqaror rejimi samaradorlik — issiqlik o‘tkazish birliklari soni (ε–NTU) usuli bilan tavsiflandi [5], dinamikasi esa birinchi tartibli bo‘g‘inlar bilan (almashtirgich uchun τ_x = 180 s, datchik uchun τ_s = 20 s) ifodalandi. Issiqlik o‘tkazish koeffitsiyenti va yuza ko‘paytmasi darslikdagi me’yoriy rejim bo‘yicha teskari hisoblanib, UA = 18,71 kVt/K (C_r = 0,506; ε = 0,714; NTU = 1,628) qiymatini oldi. Model issiqlik eltgichning chiqish haroratini darslik qiymatidan atigi 0,18 K farq bilan tikladi, bu uning me’yoriy rejimga mosligini tasdiqlaydi.

40 sutkalik ish rejimi 1 daqiqalik qadam bilan (57 600 nuqta) modellashtirildi: sarflar me’yoriy qiymatlar atrofida ±20 %, kirish haroratlari mos ravishda ±3 K va ±4 K oralig‘ida tasodifiy davomiylikdagi pog‘onalar bilan o‘zgartirildi; o‘lchash shovqinlari sarflar uchun 0,5 %, haroratlar uchun 0,05 K qabul qilindi. Natijada TIRC-330 kanalidagi harorat 61,1–79,9 °C oralig‘ida o‘zgardi. Ma’lumotlar o‘qitish (0–24 sutka), validatsiya (24–30 sutka) va test (30–40 sutka) qismlariga ajratildi.

Virtual analizator — ko‘p qatlamli perseptron (yashirin qatlamlar 64 va 32 neyron, tanh faollashtirish funksiyasi, L2 regulyarizatsiya 10^{-3}, erta to‘xtatish). Kirish sifatida to‘rtta o‘lchangan kattalikning (FIRC-100, FIRC-110, TIR-300, TIR-310) 0, 2, 5 va 10 daqiqa kechiktirilgan qiymatlari hamda ularning obyekt va datchik vaqt doimiyli filtrlardan o‘tkazilgan qiymatlari — jami 24 ta belgi ishlatildi. Filtrlangan belgilar obyektning fizik dinamikasini tarmoqqa oshkor ko‘rinishda beradi. Bashoratlanayotgan TIRC-330 signalining o‘zi kirishda ishlatilmaydi, shuning uchun bu kanaldagi nosozlik bashoratga ta’sir qilmaydi. Taqqoslash uchun chiziqli dinamik

model (ARX), statik ε–NTU modeli (ST) va o‘lchangan TIR-320 bo‘yicha issiqlik balansi (HB) olindi. Hisoblashlar Python (NumPy, scikit-learn) muhitida qat’iy boshlang‘ich qiymatli tasodifiy sonlar generatori bilan bajarildi.

Natijalar.

1-jadval

Virtual analizator modellarining test tanlanmasidagi aniqligi (TIRC-330 kanali)

Model	RMSE, K	MAE, K	Maks. xatolik, K	R^2
Neyron tarmoq (MLP, taklif etilgan)	0,114	0,080	1,232	0,9991
Chiziqli dinamik model (ARX)	0,223	0,179	0,944	0,9964
Statik ε–NTU modeli (ST)	0,443	0,202	7,046	0,9857
Issiqlik balansi, TIR-320 bo‘yicha (HB)	1,186	0,563	17,329	0,8979

Izoh: xatoliklar o‘lchangan (shovqinli) qiymatga nisbatan hisoblangan; haqiqiy qiymatga nisbatan MLP uchun RMSE = 0,103 K.

Neyron tarmoq o‘rtacha kvadratik xatolik bo‘yicha barcha taqqoslangan modellardan ustun chiqdi: ARX ga nisbatan 2,0, statik ε–NTU modeliga nisbatan 3,9 va issiqlik balansiga nisbatan 10,4 barobar kichik xatolik beradi. Statik modellarning maksimal xatoligi o‘tkinchi jarayonlarda keskin — 7,0 va 17,3 K gacha ortadi, chunki ular obyekt inersiyasini hisobga olmaydi. MLP ning maksimal xatoligi (1,23 K) ARX nikidan (0,94 K) katta bo‘lib, u faqat kirish kattaliklarining keskin pog‘onali o‘zgarishi

paytlarida kuzatiladi. Validatsiya tanlanmasida qoldiqning o‘rtachasi 0,0111 K, standart og‘ishi 0,0899 K ni tashkil etdi.

Muhokama va xulosa. Olingan natijalar energetik qurilmada virtual analizator qurishda obyekt dinamikasini hisobga olish hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi: fizik jihatdan to‘g‘ri, lekin statik bo‘lgan issiqlik balansi modeli o‘tkinchi jarayonlarda 17 K gacha xatolik berib, nozik nosozliklarni aniqlash uchun yaroqsiz bo‘lib qoladi. Neyron tarmoqqa fizik vaqt doimiyliklari bo‘yicha filtrlangan belgilarni berish uning aniqligini oshiradi va o‘qitish uchun zarur ma’lumotlar hajmini kamaytiradi; bu gibrid — fizik bilimlarga asoslangan — yondashuvning afzalligini tasdiqlaydi [3, 4].

Qoldiqning kichik standart og‘ishi (0,090 K) taklif etilgan virtual analizatordan o‘lchash vositalarining metrologik holatini nazorat qilishda ishonchli tayanch sifatida foydalanish imkonini beradi. Tadqiqot cheklovlari: ma’lumotlar model asosida olingan va bitta obyekt ko‘rilgan. Keyingi bosqichda usulni real energetik obyekt ma’lumotlarida sinash hamda LSTM tarmog‘i [6] bilan taqqoslash rejalashtirilgan.

Shunday qilib: 1) darslikdagi me’yoriy rejimga moslangan ε–NTU modeli (UA = 18,71 kVt/K) virtual analizatorni o‘qitish uchun asos bo‘ldi; 2) dinamik filtrlangan belgilarga ega neyron tarmoq test tanlanmasida RMSE = 0,114 K va R^2 = 0,9991 aniqlikka erishdi; 3) taklif etilgan model chiziqli modeldan 2,0, statik fizik modellardan esa 3,9 va 10,4 barobar aniqroq ekani miqdoriy tasdiqlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yusupbekov N.R., Muhammedov B.I., G‘ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish: darslik. – Toshkent: O‘qituvchi, 2011. – 554–557-b.

2. Kalandarov P.I., Ikramov G.I. Metrologiya asoslari: oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. – Toshkent: TIQXMMI MTU, 2024. – 360 b.

3. Kadlec P., Gabrys B., Strandt S. Data-driven soft sensors in the process industry // Computers & Chemical Engineering. – 2009. – Vol. 33, No. 4. – P. 795–814.

4. Isermann R. Fault-Diagnosis Systems: An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance. – Berlin: Springer, 2006. – 475 p.

5. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. – 997 p.

6. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–1780.