UO‘K 681.2.082:083

SUN’IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA SUYUQLIKLAR SARFINI NAZORAT QILISHNING INTELLEKTUAL TIZIMI

Ortiqov Elbek Elmirza o‘g‘li, *PhD, dotsent,*
E-mail: ortiqovelbek2018@gmail.com
Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya: *Maqolada sanoatning turli tarmoqlarida suyuqliklar sarfini nazorat qilishda sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish masalasi yoritiladi. Real ishlab chiqarish sharoitida oqim tezligining notekisligi, quvurlar yuzasining ifloslanishi, datchiklarning eskirishi va gidravlik rejimlarning o‘zgarishi an’anaviy sarf o‘lchash asboblarining aniqligini pasaytirishi ko‘rsatib o‘tiladi. Ushbu muammoni bartaraf etish maqsadida sun’iy neyron tarmoqlari asosida qurilgan virtual datchik (soft sensor) konsepsiyasi taklif etiladi. Taklif etilgan yondashuvda suyuqlik sarfi bevosita o‘lchashdan ko‘ra, bosim, harorat, zichlik, qovushqoqlik, ijro mexanizmlarining ochilish darajasi hamda qo‘shimcha reagentlar sarfi kabi bilvosita parametrlar asosida aniqlanadi. Natijalar sun’iy intellekt asosidagi virtual datchik suyuqlik sarfini yuqori aniqlik bilan baholashi, real sensorlar ishdan chiqqan holatlarda o‘lchashni uzluksiz davom ettirishi hamda texnologik jarayonlarni intellektual boshqarish va energiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etishini ko‘rsatadi.*

Аннотация: *В статье рассматривается вопрос использования технологий искусственного интеллекта для контроля расхода жидкостей в различных отраслях промышленности. Показано, что в реальных производственных условиях неравномерность скорости потока, загрязнение поверхности труб, износ датчиков и изменение гидравлических режимов снижают точность традиционных расходомеров. Для устранения этой проблемы предлагается концепция виртуального датчика (soft sensor), построенного на основе искусственных нейронных сетей. В предлагаемом подходе расход жидкости определяется на основе косвенных параметров, таких как давление, температура, плотность, вязкость, степень открытия исполнительных механизмов и расход дополнительных реагентов, а не прямых измерений. Результаты показывают, что виртуальный датчик на основе искусственного интеллекта с высокой точностью оценивает расход жидкости, непрерывно продолжает измерения в случае выхода из строя реальных датчиков и играет важную роль в интеллектуальном управлении технологическими процессами и повышении энергоэффективности.*

Abstract: *The article highlights the issue of using artificial intelligence technologies in liquid flow control in various industries. It is shown that in real production conditions, uneven flow velocity, contamination of pipe surfaces, wear of sensors, and changes in hydraulic regimes reduce the accuracy of traditional flow measuring instruments. In order to eliminate this problem, the concept of a virtual sensor (soft sensor) built on the basis of artificial neural networks is proposed. In the proposed approach, the liquid flow rate is determined based on indirect parameters, such as pressure, temperature, density, viscosity, the degree of opening of actuators, and the consumption of additional reagents, rather than direct measurement. The results show that the virtual sensor based on artificial intelligence assesses fluid consumption with high accuracy, continuously performs measurements in cases of failure of real sensors, and is important for intelligent control of technological processes and increasing energy efficiency.*

Kalit so‘zlar: *suyuqlik sarfi, sun’iy intellekt, sun’iy neyron tarmog‘i, virtual datchik, soft sensor, bashoratli boshqaruv, texnologik jarayonlarni intellektuallashtirish.*

Ключевые слова: *расход жидкости, искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть, виртуальный датчик, софт сенсор, прогнозное управление, интеллектуализация технологических процессов.*

Keywords: *fluid flow rate, artificial intelligence, artificial neural network, virtual sensor, soft sensor, predictive control, intellectualization of technological processes.*

Kirish. Sanoatning jadal rivojlanishi jarayonida avtomatik boshqarish tizimlarining ishonchliligi, xavfsizligi va nazoratning aniqligi tobora muhim omilga aylanmoqda. Mazkur tizimlarning asosiy parametrlari qatorida suyuqliklar sarfini nazorat qilish muhim ahamiyatga ega, chunki sarfning o‘zgarishi jarayonning barqarorligiga, mahsulot sifati va energiya samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Kimyo, neft-gaz, issiqlik energetikasi, oziq-ovqat sanoati kabi tarmoqlarda sarfni aniq o‘lchash texnologik rejimning to‘g‘ri shakllanishi va boshqarilishining asosiy sharti hisoblanadi. Biroq real sharoitlarda sarf o‘lchash ko‘plab murakkabliklarga duch keladi: oqim tezligining notekisligi, quvur yuzasining ifloslanishi, sensorlarning eskirishi, gidravlik qarshiliklarning o‘zgarishi, tashqi vibratsiya va harorat ta’sirlari, texnik xizmat ko‘rsatish davridagi o‘lchash uzilishlari hamda ko‘plab boshqa omillar qo‘chimcha xatolik keltirib chiqaradi. Ana shunday muhitda an’anaviy o‘lchash asboblari ko‘p hollarda yetarli aniqlikni ta’minlay olmaydi [1-3].

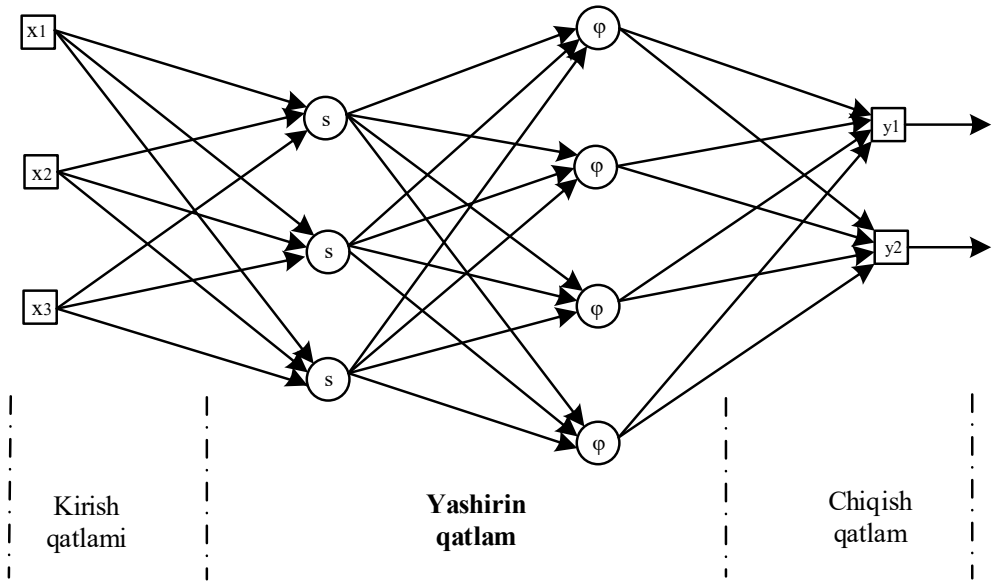
Sun’iy intellektning sanoatga kirib kelishi ushbu muammoni tubdan qayta ko‘rib chiqish imkonini berdi. Neyron tarmoqlar, fuzzy-logika, gibrid intellektual modellar, statistik identifikatsiya usullari asosida qurilgan zamonaviy tizimlar murakkab, noaniq va ko‘p omillarga bog‘liq jarayonlarni aniq modellashtirishga xizmat qiladi. Ular real sensorlarning cheklovlarini bartaraf etadi, bevosita o‘lchab bo‘lmaydigan parametrlarni bashoratlash va virtual datchiklar yaratish imkonini beradi. Ayniqsa virtual datchik (soft sensor) konsepsiyasi so‘nggi yillarda keng qo‘llanilmoqda. Virtual sensor real sensorlar o‘rnini bosuvchi matematik model bo‘lib, u fizik o‘lchov qurilmasisiz, faqat jarayonning boshqa parametrlaridan va o‘lchash haqidagi avvalgi bilimlar bazasidan foydalanib, sarfni aniqlash imkonini beradi. Bu yondashuv sensorlarning yaroqsizligi, o‘chirilishi yoki texnik xizmat ko‘rsatish vaqtida sarfni aniqlashni to‘xtatib qo‘ymaslik imkoniyatini beradi [4,5].

Ushbu ilmiy maqolada suyuqlik sarfini aniqlash uchun sun’iy neyron tarmoqqa asoslangan virtual sensor (datchik) yaratish bo‘yicha tajriba natijalari keltirilgan bo‘lib, real quvurlar bo‘yicha yig‘ilgan ma’lumotlarni qayta ishlash orqali model sarfni aniqlay olgan, bu esa sanoat uchun zarur hisoblanadi. Ushbu natijalar sun’iy intellekt asosidagi metodlarning suyuqlik sarfini nazorat qilish jarayonida samarali va ishonchli yechim ekanini tasdiqlaydi. Mazkur tadqiqotning dolzarbligi shundan iboratki, sanoat obyektlarida suyuqlik sarfini aniqlashga doir mavjud muammolar tobora chuqurlashib, bunday jarayonlarni real vaqt rejimida boshqarish talabining o‘sishi intellektual yechimlarning ahamiyatini yanada oshirmoqda. Shundan kelib chiqib, ushbu maqola da suyuqliklar sarfini nazorat qilishda sun’iy intellektning imkoniyatlarini ilmiy asosda ko‘rib chiqiladi, virtual datchiklar arxitekturasi, neyron tarmoq modellari, ularning afzalliklari va cheklovlari haqida batafsil ma’lumot beriladi.

Metodlar. Ushbu tadqiqotda suyuqliklar sarfini aniqlashning sun’iy intellektga asoslangan yondashuvlari chuqur o‘rganildi. Metodologiya markazida jarayonning fizik xususiyatlarini inobatga olgan holda matematik model yaratish, o‘lchash tizimlarini tahlil qilish, sensor signallarining o‘zaro bog‘lanishini o‘rganish hamda sun’iy neyron tarmoqlar asosida virtual datchik yaratish yotadi. Boshlang‘ich bosqichda suyuqlik sarfini aniqlovchi fizik jarayonlar tahlil qilindi. Suyuqlik oqimi quvur diametri, oqim tezligi, gidravlik qarshiliklar, bosim farqi va quvur materialining xususiyatlariga bog‘liq bo‘lib, ular ko‘p holatlarda aniq o‘lchab bo‘lmaydi. Shu sababli bilvosita parametrlar – bosim, harorat, zichlik, qovushqoqlik, quvurdagi klapanning ochilishi va qo‘shimcha reagentlar sarfi kabi ko‘rsatkichlar sarfni aniqlashda asosiy rol o‘ynaydi.

Metodologiyaning asosiy yo‘nalishlaridan biri virtual sensor konsepsiyasi bo‘lib, u suyuqlik sarfini bevosita o‘lchamasdan turib, boshqa sensorlar ma’lumotlaridan foydalanib hisoblash imkonini beradi. Mazkur yondashuv o‘lchash tizimining ishonchliligini oshiradi, sensor ishdan chiqqan holatlarda ham uzluksiz sarf monitoringi olib borishni ta’minlaydi. Virtual sensor

real sensorning matematik analogi sifatida ishlaydi va jarayonning parametrlaridan o‘rgangan holda sarfni hisoblaydi. Bu vazifani bajarishda sun’iy neyron tarmoqlari model qurishning asosiy vositasi sifatida tanlandi. Neyron tarmoqning o‘rganish qobiliyati tufayli murakkab, nochiziqli va ko‘p omillarga bog‘liq jarayonlarni modellashtirish imkoniyati kengayadi. Modellash jarayonida arxiv ma’lumotlar, ya’ni bir necha kunlik real sensor o‘lchovlaridan tarmoqni o‘qitish uchun foydalanildi. To‘plangan ma’lumotlar avval qayta ishlanib, shovqindan tozalanadi va normallashtiriladi. Keyin neyron tarmoq “kirish-yashirin-chiqish” tuzilmasiga ega ko‘p qatlamli perseptron sifatida shakllantirildi (1-rasm). Yashirin qatlamlar soni jarayon murakkabligiga ko‘ra belgilanadi [6].



1-rasm. Neyron tarmoq tuzilishi

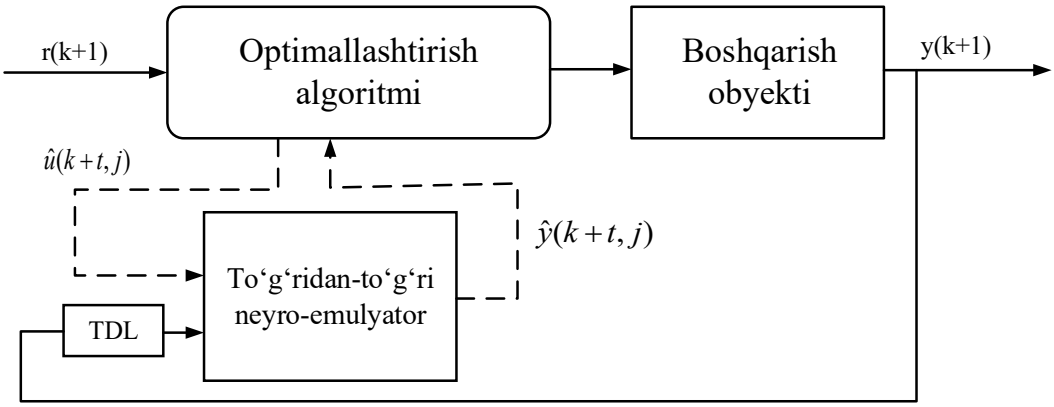
Modellashtirishda jarayon asosiy parametrlarining sarf bilan o‘zaro bog‘liqligi o‘rganildi. Masalan, quvurning chiqish bosimidagi keskin o‘zgarishlar oqim tezligining pasayishiga olib keladi, qo‘shimcha reagentlar miqdorining oshishi esa gidravlik qarshilikni kamaytiradi, bu esa sarfni oshiradi. Aynan mana shu bog‘lanishlar neyron tarmoqqa o‘rgatilganda u jarayonning fizik mazmunini o‘zlashtirib, sarfni aniqlashda yuqori natija ko‘rsatadi.

Modelni real vaqt tizimiga joriy etish uchun uning PLC va SCADA tizimlari bilan integratsiyalash imkoniyatlari ham ko‘rib chiqildi. Virtual sensor ma’lumotlari server orqali SCADA tizimiga uzatiladi, bu esa operatorga haqiqiy sensor ma’lumotlari bilan bir qatorda VA tomonidan hisoblangan sarfni ko‘rish imkonini beradi. Bu yondashuv tarmoqdagi nosozliklarni erta aniqlashga yordam beradi. Bu sohada olib borilgan ilmiy tadqiqotlardan ma’lumki, sun’iy neyron tarmoqlari bir qator afzalliklarga ega, jumladan, murakkab, noaniq, nolinear jarayonlarni o‘rganadi; tarixiy ma’lumotlar asosida jarayonga moslashadi; real vaqt rejimida hisoblashlarni amalga oshiradi [7].

Natijalar. Intellektual nazorat qilishni amalga oshirishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri bu – texnologik parametrlarni o‘lchash uchun neyron tarmoq texnologiyalaridan foydalanish hisoblanadi. Ushbu parametrlar o‘zgarganda, boshqarish tizimi sifati sezilarli darajada yomonlashadi. Tizimning o‘zgaruvchan parametrlar ostida samarali ishlashini ta’minlash uchun texnologik parametrlar o‘zgarishlari oldindan ma’lum bo‘lsa, rostlagich avtomatik ravishda sozlanishi mumkin. Neyro-boshqarishning eng keng tarqalgan usullariga: imitativ, teskari va bashoratli modelli neyro-boshqaruv kiradi, keng tarqalgan usul – ko‘p modelli neyro-boshqaruv samarali nazorat va boshqarish sifatini ta’minlaydi. Sanoatda qo‘llaniladigan zavod laboratoriyasi va o‘lchash asboblari yakuniy mahsulot sifati ma’lumotlarini yetarlicha o‘z vaqtida va tezkor baholashga imkon bermaydi. Chiqarilgan mahsulotning sifat ko‘rsatkichlari to‘g‘risida ishonchli

va aniq o‘lchash ma’lumotlarini olishning kechikishi ortiqcha resurs xarajatlariga olib keladi, bu esa talab qilingan katta sifat chegara zahirasi bilan maqsadli mahsulotlarning hajm va miqdori bo‘yicha kamroq mahsulot ishlab chiqarilishiga yoki yakuniy mahsulot reglament standartlariga javob bermaydigan ishlab chiqarishdagi nuqsonlarga olib keladi [8].

Bashoratli modelli neyro-boshqaruv usuli jarayonning bir necha qadam oldin bashorat qilingan xatoliklarini kamaytirishga qaratilgan bo‘lib, bu o‘z navbatida boshqaruv aniqligini yaxshilashga yordam beradi, shu sababli bir necha qadam oldindan bashorat qilingan integral xatoni minimallashtirish yordamida boshqaruv tizimini optimallashtiradi (2-rasm).

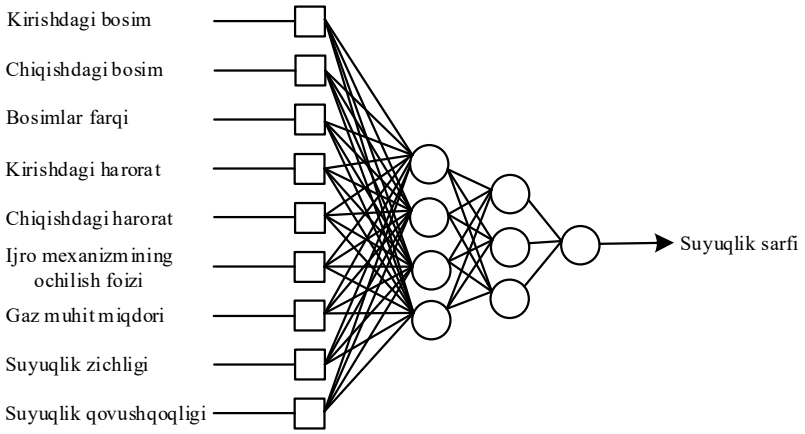


2-rasm. Bashoratli modelli neyro-boshqaruv usuli

Ushbu usulda boshqaruv ob’yektining xatti-harakatlarini bashorat qilish va boshqarish tizimi xatoliklarini hisoblashda to‘g‘ridan-to‘g‘ri neyroemulyator qo‘llaniladi, u xatolarning teskari tarqalish usulida o‘qitilgan neyro rostlagichsiz o‘qitiladi. Aksariyat neyron tarmoqlari faollashtiruvchi funksiyalarni o‘z ichiga olgan bir nechta o‘zaro bog‘langan tugun qatlamlaridan iborat. Ma’lumotlar bir yoki bir nechta kirish qatlamlari orqali yashirin qatlamlarga kelib tushadi, u yerda ma’lumotlarga ishlov beriladi, yashirin qatlamlar esa neyron tarmog‘iga javob beradigan chiqish qatlamiga ulanadi.

Suyuqlik sarfini bashoratlash uchun LSTM (Long Short-Term Memory) modelini o‘qitish tizimning turli datchiklaridan to‘plangan ma’lumotlarning vaqt qatorlarini tahlil qilishga asoslangan. LSTM-tarmoqlar, ayniqsa, vaqtga bog‘liqlikni va parametrlar o‘rtasidagi nochiziqli munosabatlarni hisobga olish zarur bo‘lgan masalalarda samarali hisoblanadi. LSTM neyro tarmoqlarni o‘qitish jarayoni ma’lumotlarni tayyorlash, LSTM modelini ishlab chiqish, modelni o‘qitish, modelni baholash va undan foydalanish bosqichlaridan iborat.

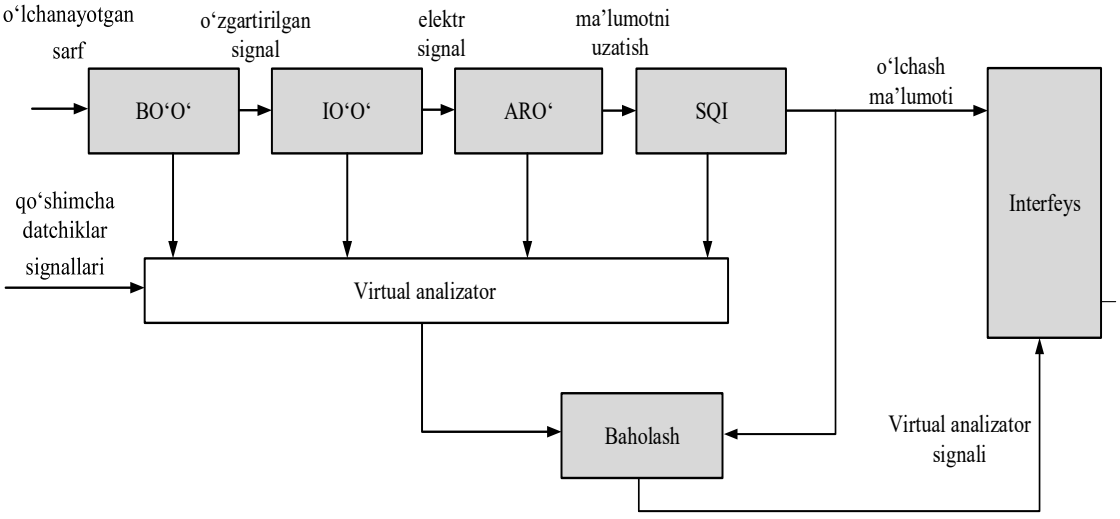
Ma’lumotlarni tayyorlash bosqichida quvurdagi sarfni hisoblash uchun neyron tarmog‘ining kirish parametrlari sifatida datchiklardan olingan kirish va chiqishdagi bosim hamda harorat, bosimlar farqi, ijro mexanizmining o‘tkazish darajasi, gaz muhit miqdori va suyuqliklarning fizik xususiyatlari (zichlik, qovushqoqlik) ma’lumotlaridan foydalanildi (3-rasm). Ma’lumotlar oldindan qayta ishlanadi: normallashtiriladi va vaqtinchalik oynalarga bo‘linadi. Masalan, har bir oyna uchun keyingi qadam uchun sarflashni bashorat qilish uchun oldingi 10 qadam uchun ma’lumotlar qayd etiladi.



3-rasm. LSTM neyro tarmoqlarni o‘qitish uchun ma’lumotlarni tayyorlash

LSTM modelini ishlab chiqishda bir necha qatlamlardan model tuziladi. Birinchi qatlam kirish ma’lumotlarining vaqtli qatorlarini qayta ishlaydi, asosiy vaqtli bog‘liqliklarni ajratib ko‘rsatadi. LSTM qo‘shimcha qatlamlari tahlilni chuqurlashtiradi va modelning chiqishida suyuqlik sarfining qiymatini bashorat qilish uchun to‘liq bog‘langan qatlamdan foydalaniladi. Model bashorat qilingan va haqiqiy qiymatlar o‘rtasidagi xatoni (masalan, o‘rtacha kvadratik xatoni) minimallashtirishga o‘rgatiladi [9,10].

Modelni baholash uchun o‘qitishdan so‘ng model ilgari ko‘rinmagan ma’lumotlarga sinovdan o‘tkaziladi. Bashoratlarning aniqligi o‘rtacha kvadratik va o‘rtacha mutlaq xatolik kabi usullar yordamida baholanadi. Suyuqlik sarfining haqiqiy va bashorat qilingan qiymatlarini taqqoslash uchun natijalar vizualizatsiya qilinadi. LSTM dan foydalanish ma’lumotlardagi murakkab vaqt bog‘liqliklari va shovqinlarni hisobga olish imkonini beradi. Neyron tarmoqlarni qo‘llash nafaqat yirik quvurlarda, balki kichik quvurlarda ham nazorat qilinmaydigan parametrlardan qat’iy nazar suyuqlik sarfini o‘lchash, real vaqt rejimida quvurdagi sarfni bashoratlash, o‘lchash aniqligini oshirish hamda bog‘liqliklarning matematik modellarini qurish imkonini beradi.



4-rasm. Sarf o‘lchash asbobi holatini virtual analizator yordamida monitoring qilish

4-rasmda o‘lchash asbobidan kelayotgan signallar, shuningdek qo‘shimcha datchiklar va mavjud bilimlar bazasidan foydalangan holda o‘lchash asbobi holatini monitoringlash keltirib o‘tilgan.

Bu jarayonda virtual analizator o‘zining sarf haqidagi bashoratlari va sarf o‘lchash asbobi ko‘rsatishlarini baholaydi, natijalarni esa interfeys orqali foydalanuvchiga yuboradi.

Neyron tarmog‘ini amalga oshirish sarfni o‘lchash tizimini hisoblashda ishlatiladigan datchiklardan sun’iy ravishda signallarni generatsiya qilish va chiqish vaqti bilan bog‘liq muammolarni hal qilish imkonini berdi [11]. Ushbu bosqichda neyron tarmog‘i suyuqlikni quvur orqali tashishda texnologik jarayon parametrlari bo‘yicha suyuqlik sarfini hisoblab chiqadi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, sun’iy intellekt asosida qurilgan virtual sensor suyuqlik sarfini aniq aniqlashda an’anaviy usullar bilan solishtirganda sezilarli ustunlikka ega. Shuningdek, neyron tarmoq modeli sarfning fizik sensori bo‘lmagan holatlarda ham sarfni yuqori aniqlik bilan bashorat qila oladi. Bu texnik xizmat ko‘rsatish vaqtida real o‘lchovlarni to‘xtatib qo‘ymasdan jarayonni uzluksiz nazorat qilish imkonini beradi. Bundan tashqari, virtual sensor real sensorning nosozlik holatlarini aniqlashga yordam beradi [12].

Muhokama. Olingan natijalar sun’iy intellektning suyuqlik sarfini nazorat qilish jarayonidagi ahamiyatini to‘liq tasdiqlaydi. Neyron tarmoqlar murakkab parametrlar o‘rtasidagi nochiziqli bog‘lanishlarni chuqur o‘rganadi va real tizimning fizik tabiati to‘g‘risida ichki model shakllantiradi. Bu ularni an’anaviy usullardan ustun qiladi, chunki an’anaviy algoritmlar ko‘pincha quvur diametri, yuzaning tozaligi, laminarlik shartlari kabi ideal nazariy talablarga tayanadi. Amalda esa bu shartlar deyarli to‘liq bajarilmaydi.

Neyron tarmoq asosidagi vazifalarning afzalliklari quyidagicha izohlanadi. Birinchidan, ular o‘rganish jarayonida jarayonning matematik modelini avtomatik ravishda shakllantiradi. Bu esa murakkab fizik tenglamalar tuzishni talab qilmaydi. Ikkinchidan, neyron tarmoqlar shovqinga chidamli bo‘lib, ularning chiqish natijasi sensor signalidagi tasodifiy tebranishlarga deyarli ta’sirlanmaydi. Uchinchidan, ular real vaqt rejimida ishlashi mumkin, bu esa sanoat uchun hal qiluvchi omil hisoblanadi.

Mazkur tadqiqot suyuqlik sarfini o‘lchashda sun’iy intellektning yana bir muhim afzalligi – iqtisodiy samaradorlik hisoblanadi. Ultratovush yoki elektromagnit sarf o‘lchagichlari qimmat bo‘lib, ularni o‘rnatish va texnik xizmat ko‘rsatish ko‘p xarajat talab qiladi. Virtual sensor esa dasturiy ta’minot ko‘rinishida mavjud bo‘lib, u qo‘shimcha apparat xarajatlarini talab qilmaydi. Bundan tashqari, sensorlar ishdan chiqqan yoki noto‘g‘ri ishlagan holatlarda jarayonni to‘liq to‘xtatib qo‘ymasdan, virtual sensor yordamida o‘lchovlarni davom ettirish mumkin.

Shunga qaramay, sun’iy intellektning qo‘llanilishida ayrim cheklovlar ham mavjud. Ulardan biri – modelning sifatli va yetarli hajmdagi ma’lumotlar talab qilishi. Agar ma’lumotlar yetarli bo‘lmasa, neyron tarmoq to‘g‘ri o‘rganmaydi va noto‘g‘ri natija berishi mumkin. Bundan tashqari, modelni o‘qitish jarayoni hisoblash resurslarini talab qiladi. Bu masala ayniqsa katta hajmdagi real vaqt ma’lumotlari bilan ishlaganda dolzarb bo‘ladi.

Kelajakda tadqiqot quyidagi yo‘nalishlarda rivojlanishi mumkin: gibrid modellarni yaratish – ya’ni fizik modellarni sun’iy intellekt bilan birlashtirish; virtual sensorlar asosida nosozliklarni avtomatik diagnostika qilish tizimlarini ishlab chiqish; suyuqlik sarfini uzoq muddatli prognozlash algoritmlarini takomillashtirish; sun’iy intellekt modellarini bulut texnologiyalari bilan integratsiya qilish.

Neyron tarmoqlarning suyuqlik sarfini aniqlashdagi qo‘llanilishi shuni ko‘rsatadiki, ular sanoat jarayonlarini boshqarishda intellektual tizimlarning ajralmas qismiga aylanadi. Bu esa kelajak sanoat ishlab chiqarishini to‘liq raqamlashtirish yo‘lida muhim qadam hisoblanadi.

Xulosa. Tadqiqot davomida suyuqlik sarfini aniqlashda sun’iy intellekt texnologiyalarining samaradorligi ilmiy asosda isbotlandi. Neyron tarmoqlar asosida qurilgan virtual sensorlar murakkab jarayonlarda yuqori aniqlikni ta’minlaydi, an’anaviy sensorlarning cheklovlarini bartaraf etadi va o‘lchov tizimining ishonchliligini oshiradi.

Sun’iy intellektning sanoat tizimlarida joriy etilishi texnologik jarayonlarni to‘liq intellektuallashtirishga zamin yaratadi. Virtual sensorlar jarayonning uzluksizligini ta’minlaydi,

nosozliklarni erta aniqlaydi, iqtisodiy samaradorlikni oshiradi va energiya tejamkorlikka erishishga yordam beradi. Kelgusida suyuqlik sarfini nazorat qilishda sun'iy intellekt texnologiyalarining qo'llanishi yanada kengayib, raqamli sanoatning muhim tarkibiy qismiga aylanadi.

Virtual datchikning joriy etilishi tizimning ishonchliligini keskin oshiradi. Agar real datchik ishdan chiqsa, virtual sensor avtomatik ravishda o'lchov jarayonini davom ettiradi. Bu tizim quvur orqali o'tadigan mahsulotning umumiy hisob-kitobida xatolikni kamaytiradi. Ayniqsa neft mahsulotlari yoki kimyoviy moddalarning katta hajmdagi oqimlari nazorat qilinganda sun'iy intellektning qo'llanilishi iqtisodiy jihatdan muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Modellash natijalari shuni ko'rsatdiki, neyron tarmoqlar suyuqlik sarfini nafaqat aniqlash, balki uni oldindan prognoz qilish imkonini ham beradi. Bu esa texnologik jarayonni avtomatik boshqarish tizimlarida optimal rejimlarni tanlash va energiya sarfini kamaytirish uchun muhim.

Adabiyotlar

1. Василев Т.Р., Кокуев А.Г. Контроль расхода нефтепродуктов на основе искусственной нейронной сети // Вестник Астраханского гос. техн. университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – №2. – С. 43–52.

2. Fortuna L., Graziani S., Rizzo A., Xibilia M.G. Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes. Springer, 2007. – 271 p.

3. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. Prentice Hall, 2009. – 936 p.

4. Lanasa P.J., Upp E.L. Fluid Flow Measurement. Elsevier, 2014. – 280 p.

5. Фазлиахметов Т.И. Диагностика состояния расходомеров на основе ИНС // Автоматизация в нефтяной промышленности. – 2009. – №4. – С. 53–56.

6. Strelnikova S., Michkova D. Mathematical Modeling of Fluid Motion in Pipelines Using Drag Reducing Agents. PSIG Annual Meeting. – 2013. – 11 p.

7. Karray F., De Silva C. Soft Computing and Intelligent Systems Design. Pearson, 2004. – 634 p.

8. Bequette B.W. Process Control: Modeling, Design, and Simulation. Prentice Hall, 2003. – 468 p.

9. E.E. Ortikov. Modern methods of self-monitoring, diagnostics, and fault tolerance in flow measurement systems // International scientific and technical journal "Chemical Technology. Control and Management": 2025, №4 (124) pp. 50-55.

10. E.E. Ortikov. Principles of constructing a virtual liquid flow meter / XIV International Scientific and Practical Conference "Current questions of modern science", July 11-12, 2024, Tallinn, Estonia, pp.44-47. DOI https://doi.org/10.5281/zenodo.12748604

11. U.A. Ruziev, E.E. Ortikov. Improvement of methods and means for increasing the accuracy of instruments for measuring the flow of liquids and gases // International scientific and technical journal "Chemical Technology. Control and Management": Vol. 2024, N5-6 (119-120, Special Issue), WCIS-2024, ISSN 1815-4840, E-ISSN 2181-1105, pp.138-142. (05.00.00, №12, Scopus, OAK ning 04.10.24 yildagi 362/5-son Qarori).

12. N.R. Yusupbekov, Sh.M. Gulyamov, E.E. Ortiqov. Suyuq mahsulotlarning sarfini nazorat qilish va rostlash uchun dasturiy ta'minot / EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. DGU 29071, 14.11.2023y.