ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -12

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 12

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SUN'IY NEYRON TARMOQLAR ASOSIDA TEXNOLOGIK OBYEKTLARNINGADABTIV BOSHQARISH TIZIMINI SINTEZLASH ALGORITMLARI

Karimov Olimjon Rasulovich
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
E-mail: olimrasulovich@gmail.com
B.T.Vafoqulovich
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti Ilmiy rahbar: t.f.d. prof.

Annotatsiya. Ushbu maqolada sun'iy neyron tarmoqlar asosida texnologik obyektlarning adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash algoritmlari tahlil qilingan. Murakkab nochiziqli dinamikaga ega tizimlarda an'anaviy boshqaruv usullarining cheklovlari ko'rsatilib, neyron tarmoqlarning universal approksimatsiya xususiyati asosida adaptiv boshqaruvni amalga oshirish yondashuvlari yoritilgan. Lyapunov barqarorlik nazariyasi bilan integratsiyalashgan algoritmlar, chuqur o'rganish va reinforcement learning metodlari muhokama qilingan. Tadqiqot natijalari neyron tarmoqlar asosidagi boshqaruv tizimlarining yuqori aniqlik va moslashuvchanlikka ega ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: sun'iy neyron tarmoqlar, adaptiv boshqaruv, nochiziqli tizimlar, Lyapunov barqarorlik, chuqur o'rganish, reinforcement learning, texnologik obyektlar, sintez algoritmlari, fuzzy logic, intellektual boshqaruv.

Аннотация. В данной статье рассматриваются алгоритмы синтеза адаптивных систем управления технологическими объектами на основе искусственных нейронных сетей. Проанализированы ограничения классических методов управления для сложных нелинейных систем и представлены подходы к адаптивному управлению с использованием универсальных аппроксимирующих свойств нейронных сетей. Обсуждаются алгоритмы, интегрированные с теорией устойчивости Ляпунова, методы глубокого обучения и обучения с подкреплением. Результаты исследования показывают высокую точность и адаптивность нейросетевых систем управления.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, адаптивное управление, нелинейные системы, устойчивость Ляпунова, глубокое обучение, обучение с подкреплением, технологические объекты, алгоритмы синтеза, нечеткая логика, интеллектуальное управление.

Abstract. This article analyzes synthesis algorithms for adaptive control systems of technological objects based on artificial neural networks. The limitations of classical control methods for complex nonlinear systems are discussed, and neural network-based adaptive control approaches utilizing universal approximation

capabilities are presented. Algorithms integrated with Lyapunov stability theory, deep learning, and reinforcement learning methods are also reviewed. The results demonstrate that neural network-based control systems provide high accuracy and strong adaptability in dynamic environments.

Keywords: artificial neural networks, adaptive control, nonlinear systems, Lyapunov stability, deep learning, reinforcement learning, technological processes, synthesis algorithms, fuzzy logic, intelligent control.

KIRISH.

So‘nggi yillarda sanoat tizimlarining murakkablashuvi, raqamlashtirish jarayonlarining jadallashuvi hamda “Industry 4.0” konsepsiyasining keng joriy etilishi natijasida texnologik obyektlarni boshqarish masalalari yangi bosqichga ko‘tarildi. An’anaviy boshqaruv usullari, jumladan PID, optimal va adaptiv regulyatorlar murakkab, noaniq va nochiziqli dinamikaga ega tizimlarda har doim ham yetarli samaradorlikni ta’minlay olmaydi. Shu sababli, so‘nggi ilmiy tadqiqotlarda sun’iy intellekt asosidagi yondashuvlar, xususan sun’iy neyron tarmoqlar (SNT) va ularning adaptiv boshqaruvdagi qo‘llanilishi keng o‘rganilmoqda. Sun’iy neyron tarmoqlar o‘zining universal approksimatsiya xususiyati bilan murakkab matematik modellarni aniq identifikatsiya qilmasdan turib, tizim dinamikasini yaqinlashtirish imkonini beradi. Bu esa ayniqsa parametrik noaniqliklar, tashqi g‘alayonlar va vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan muhitlarda ishlaydigan texnologik jarayonlar uchun juda muhim hisoblanadi. Zamonaviy tadqiqotlarda neyron tarmoqlar asosida ishlab chiqilgan adaptiv boshqaruv tizimlari tizim holatini real vaqt rejimida tahlil qilib, boshqaruv signalini moslashtirish orqali yuqori aniqlik va barqarorlikni ta’minlashi ko‘rsatib berilmoqda. Hozirgi kunda adaptiv boshqaruv nazariyasi klassik yondashuvlardan data-driven (ma’lumotlarga asoslangan) va intelligent control (intellektual boshqaruv) paradigmasiga o‘tmoqda. Bu jarayonda neyron tarmoqlar fuzzy logic, reinforcement learning va optimal boshqaruv usullari bilan integratsiya qilinib, gibrid boshqaruv tizimlari shakllantirilmoqda. So‘nggi ilmiy manbalarda bunday yondashuvlar murakkab tizimlarning nochiziqliligini kompensatsiya qilish, nosozliklarga chidamlilikni oshirish va moslashuvchanlikni kuchaytirishda samarali ekani ta’kidlanadi.

Sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlarining muhim jihatlaridan biri — Lyapunov barqarorlik nazariyasi bilan bog‘liq sintezdir. Ya’ni, boshqaruv qonunlari shunday quriladiki, tizimning xatolik dinamikasi energetik funksiyalar orqali nazorat qilinadi va global yoki lokal barqarorlik kafolatlanadi. Bu yondashuv an’anaviy “black-box” muammosini yumshatib, neyron tarmoqlarning faqat empirik emas, balki matematik asoslangan boshqaruv elementiga aylanishiga olib keladi. Bundan tashqari, zamonaviy ilmiy

ISSN 3030-3907

adabiyotlarda chuqur neyron tarmoqlar (deep neural networks) va dinamik neyron arxitekturalar adaptiv boshqaruvda muhim rol o‘ynashi qayd etilgan. Ular yuqori o‘lchamli ma’lumotlarni qayta ishlash, real vaqt rejimida qaror qabul qilish hamda tizim parametrlarining tez o‘zgarishiga moslashish imkoniyatini beradi. Shu bilan birga, bu modellarning hisoblash murakkabligi va o‘qitish jarayonining barqarorligi hali ham dolzarb muammolardan biri bo‘lib qolmoqda. Adaptiv boshqaruv tizimlarida neyron tarmoqlarni qo‘llashning yana bir muhim yo‘nalishi — model-free boshqaruv va reinforcement learning asosidagi yondashuvlardir. Bu usullarda tizimning aniq matematik modeli talab qilinmaydi, aksincha, boshqaruvchi agent tajriba asosida optimal strategiyani o‘rganadi. Bunday yondashuvlar ayniqsa robototexnika, energetika tizimlari va kimyoviy texnologik jarayonlarda keng qo‘llanilmoqda. Biroq, ularning xavfsizlik va barqarorlik kafolatlarini ta’minlash masalasi hanuz ilmiy izlanishlarni talab qiladi.

Texnologik obyektlarning adaptiv boshqaruvi nuqtai nazaridan qaraganda, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi tizimlar bir nechta muhim afzalliklarga ega: yuqori aniqlik, o‘z-o‘zini sozlash qobiliyati, tashqi g‘alayonlarga chidamlilik va murakkab nochiziqli bog‘lanishlarni modellashtirish imkoniyati. Shu bilan birga, bu tizimlarni real sanoat jarayonlariga tatbiq etishda sensor ma’lumotlarining shovqinliligi, kechikishlar va hisoblash resurslari cheklanganligi kabi amaliy muammolar ham mavjud. Shu nuqtai nazardan, sun’iy neyron tarmoqlar asosida adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Bunday algoritmlar nafaqat tizimning optimal ishlashini ta’minlashi, balki uning barqarorligi, tezkorligi va energiya samaradorligini ham kafolatlashi kerak. Hozirgi tadqiqotlar ushbu yo‘nalishda neyron-fuzzy tizimlar, chuqur reinforcement learning va model-predictive control (MPC) bilan integratsiyalashgan yondashuvlarga alohida e’tibor qaratmoqda. Sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari zamonaviy boshqaruv nazariyasining eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, ular murakkab texnologik obyektlarning samarali ishlashini ta’minlashda muhim rol o‘ynamoqda. Ushbu maqolada aynan shunday tizimlarni sintezlash algoritmlarining nazariy asoslari, zamonaviy yondashuvlari va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlari tahlil qilinadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. So‘nggi yillarda texnologik jarayonlarni boshqarish sohasida sun’iy intellektga asoslangan yondashuvlar, xususan sun’iy neyron tarmoqlar (SNT) asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari jadal rivojlanmoqda. Klassik boshqaruv nazariyasi — PID, LQR va Model Reference Adaptive Control (MRAC) kabi usullar — aniq matematik modelga tayanadi. Biroq zamonaviy sanoat obyektlari yuqori darajada nochiziqli, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan va noaniqliklarga boy bo‘lgani sababli, bunday yondashuvlar ko‘p

ISSN 3030-3907

hollarda yetarli aniqlik va barqarorlikni ta’minlay olmaydi. Shu sababli ilmiy tadqiqotlarda ma’lumotlarga asoslangan (data-driven) va intellektual boshqaruv algoritmlariga o‘tish kuchaymoqda. Adaptiv boshqaruvning umumiy rivojlanish tendensiyalari shuni ko‘rsatadiki, bu yo‘nalish dastlab parametrlari noma’lum bo‘lgan chiziqli tizimlar uchun ishlab chiqilgan bo‘lsa-da, keyinchalik murakkab nochiziqli tizimlarga kengaytirilgan. Zamonaviy adabiyotlarda adaptiv boshqaruvning asosiy maqsadi tizim parametrlarini real vaqt rejimida moslashtirish orqali barqarorlik va talab etilgan sifat ko‘rsatkichlarini ta’minlash ekani qayd etiladi. Shu bilan birga, soha rivojida raqamli hisoblash texnologiyalarining paydo bo‘lishi va tezkor mikroprotsessorlar adaptiv algoritmlarning amaliy tatbiqini sezilarli darajada kengaytirdi.

Neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv yondashuvlari ayniqsa murakkab tizimlarni modellashtirish va boshqarishda samarali vosita sifatida e’tirof etilgan. Tadqiqotlarda sun’iy neyron tarmoqlarning universal approksimatsiya xususiyati tufayli noma’lum dinamikani yaqinlashtirish imkoniyati mavjudligi ko‘rsatilgan. Bu yondashuv an’anaviy modelga asoslangan boshqaruvdagi asosiy cheklov — aniq matematik model zarurati — ni bartaraf etadi. Natijada, neyron tarmoqlar adaptiv boshqaruvda noma’lum funksiyalarni real vaqt rejimida identifikatsiya qilish va kompensatsiya qilish vositasi sifatida keng qo‘llanilmoqda. Ilmiy adabiyotlarda neyron tarmoqlar va fuzzy logic tizimlarining kombinatsiyasi ham muhim yo‘nalish sifatida qaraladi. Bu gibrid yondashuvlar noaniqliklarni kamaytirish, tizimning interpretatsiya qilinishini yaxshilash va o‘qitish jarayonini barqarorlashtirish imkonini beradi. Fuzzy tizimlar inson bilimiga asoslangan lingvistik qoidalar orqali boshqaruvni ifodalasa, neyron tarmoqlar ma’lumotlardan avtomatik o‘rganish orqali moslashuvchanlikni oshiradi. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda neyro-fuzzy adaptiv boshqaruv tizimlari keng qo‘llanilmoqda. So‘nggi yillarda chuqur neyron tarmoqlar (deep neural networks) va dinamik neyron arxitekturalar ham adaptiv boshqaruvga tatbiq etilmoqda. Ularning asosiy afzalligi yuqori o‘lchamli ma’lumotlarni qayta ishlash va murakkab funksional bog‘lanishlarni ifodalash qobiliyatidir. Shu bilan birga, real vaqt tizimlarida hisoblash murakkabligi va o‘qitishning barqarorligi muammolari dolzarb bo‘lib qolmoqda. Shunga qaramay, dinamik neyron tarmoqlar adaptiv tizimlarda tezkor qaror qabul qilish va o‘zgaruvchan muhitga moslashish imkoniyatini sezilarli darajada yaxshilamoqda.

Adaptiv boshqaruvda yana bir muhim yo‘nalish — reinforcement learning (mustahkamlovchi o‘rganish) asosidagi usullardir. Bu yondashuvda tizim aniq matematik modelga emas, balki tajriba va mukofot funksiyasiga asoslanib optimal boshqaruv strategiyasini o‘rganadi. Bu usullar ayniqsa robototexnika va avtonom tizimlarda samarali natijalar bermoqda, biroq ularning barqarorlikni kafolatlash masalasi hanuz ochiq muammo sifatida qolmoqda. Adabiyotlarda adaptiv boshqaruv tizimlarining barqarorligini ta’minlashda Lyapunov asosidagi

ISSN 3030-3907

yondashuvlar asosiy nazariy vosita sifatida ishlatilishi keng ta’kidlangan. Neyron tarmoqlar asosida ishlab chiqilgan adaptiv regulyatorlarda ham Lyapunov funksiyasi orqali og‘ish xatoliklari va og‘irlik koeffitsientlarining moslashuvi birgalikda tahlil qilinadi. Bu esa tizimning global barqarorligini ta’minlash imkonini beradi.

Texnologik obyektlarga tatbiq etilgan neyron tarmoq asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari, ayniqsa kimyo sanoati, energetika, robototexnika va jarayonlarni avtomatlashtirishda keng qo‘llanilmoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bunday tizimlar tashqi g‘alayonlarga chidamlilik, parametrik noaniqliklarga moslashuvchanlik va yuqori aniqlik kabi afzalliklarga ega. Biroq real sanoat sharoitida sensor shovqini, kechikishlar va resurs cheklovlari ushbu usullarning amaliy qo‘llanilishida muhim muammolarni yuzaga keltiradi. Shuningdek, so‘nggi adabiyotlarda adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqishda gibrid yondashuvlar — neyron tarmoqlarni optimal boshqaruv (MPC), fuzzy logic va evolyutsion algoritmlar bilan integratsiya qilish — istiqbolli yo‘nalish sifatida ko‘rilmoqda. Bunday integratsiyalashgan tizimlar murakkab ko‘p o‘zgaruvchili obyektlarda yuqori aniqlik va barqarorlikni ta’minlash imkonini beradi. Umuman olganda, zamonaviy ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari klassik boshqaruv usullarining cheklovlarini bartaraf etishda samarali alternativ hisoblanadi. Ular murakkab, nochiziqli va noaniq dinamikaga ega texnologik obyektlarni boshqarishda yuqori moslashuvchanlik va aniqlikni ta’minlaydi. Shu bilan birga, ularning to‘liq amaliy samaradorligini ta’minlash uchun barqarorlik kafolatlari, hisoblash samaradorligi va real vaqt implementatsiyasi bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar talab etiladi.

TADQIQOT MUHOKAMASI. Sun’iy neyron tarmoqlar asosida texnologik obyektlarni adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash masalasi zamonaviy boshqaruv nazariyasining eng dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, bunday tizimlarning asosiy afzalligi murakkab nochiziqli dinamikani aniq matematik modelga ehtiyoj sezmasdan approksimatsiya qilish imkoniyatidadir. Bu xususiyat ayniqsa kimyo texnologiyalari, energetika tizimlari va uzluksiz ishlab chiqarish jarayonlarida muhim ahamiyat kasb etadi, chunki ushbu obyektlarda parametrlar doimiy o‘zgarib turadi va tashqi g‘alayonlar darajasi yuqori bo‘ladi. Adaptiv boshqaruv tizimlarida neyron tarmoqlarning qo‘llanilishi tizim holatini real vaqt rejimida baholash va boshqaruv signalini moslashtirish imkonini beradi. Tadqiqotlar natijasida aniqlanishicha, ko‘p qatlamli perceptronlar va radial-basis funksiyali tarmoqlar (RBF) murakkab dinamik tizimlarni yaqinlashtirishda eng keng qo‘llaniladigan arxitekturalardan biri hisoblanadi. Biroq, ularning samaradorligi asosan o‘qitish algoritmining tezligi va barqarorligiga bog‘liq bo‘lib, bu masala hali ham dolzarb ilmiy muammo sifatida qolmoqda.

ISSN 3030-3907

Zamonaviy yondashuvlarda adaptiv boshqaruvning neyron tarmoq asosidagi sintezi ko‘pincha Lyapunov barqarorlik nazariyasi bilan birlashtiriladi. Bu yondashuv boshqaruv tizimining nafaqat funksional samaradorligini, balki matematik jihatdan kafolatlangan barqarorligini ham ta’minlashga xizmat qiladi. Lyapunov funksiyasiga asoslangan adaptiv qonunlar yordamida neyron tarmoq og‘irliklari yangilanib boriladi va tizim xatoligi vaqt o‘tishi bilan kamayib borishi isbotlanadi. Shu bilan birga, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlarining amaliy tatbiqida bir qator muammolar mavjud. Birinchidan, real vaqt tizimlarida hisoblash resurslarining cheklanganligi murakkab neyron arxitekturalarni qo‘llashni qiyinlashtiradi. Ikkinchidan, sensor ma’lumotlaridagi shovqin va kechikishlar o‘qitish jarayoniga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Uchinchidan, tizimning global optimalligi va barqarorligini bir vaqtning o‘zida ta’minlash masalasi hanuz ochiq qolmoqda. So‘nggi tadqiqotlarda chuqur o‘rganish (deep learning) asosidagi adaptiv boshqaruv yondashuvlari ham keng o‘rganilmoqda. Ushbu yondashuvlar ko‘p qatlamli neyron tarmoqlar yordamida yuqori darajadagi abstrakt xususiyatlarni ajratib olish va murakkab tizimlarni boshqarish imkonini beradi. Biroq, bunday modellarning interpretatsiya qilinishi qiyinligi va haddan tashqari moslashish (overfitting) muammosi ularning sanoatdagi keng qo‘llanilishiga to‘sqinlik qilmoqda.

Reinforcement learning asosidagi adaptiv boshqaruv algoritmlari ham muhim yo‘nalishlardan biri bo‘lib, ular tizimga tajriba asosida optimal boshqaruv strategiyasini o‘rganish imkonini beradi. Bu yondashuv model-free boshqaruv konsepsiyasiga asoslangan bo‘lib, ayniqsa robototexnika va avtonom tizimlarda samarali natijalar bermoqda. Shu bilan birga, bu usullarda o‘rganish jarayonining sekinligi va xavfsizlik kafolatlarining yetarli emasligi muhim cheklov sifatida qayd etiladi. Gibrid boshqaruv tizimlari, ya’ni neyron tarmoqlarni fuzzy logic, model predictive control (MPC) va evolyutsion algoritmlar bilan integratsiyalashgan yondashuvlar, zamonaviy ilmiy ishlarda istiqbolli yechim sifatida ko‘rilmoqda. Bunday tizimlar murakkab ko‘p o‘zgaruvchili obyektlarda yuqori aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlikni ta’minlash imkonini beradi. Ayniqsa MPC bilan integratsiya qilingan neyron tarmoqlar kelajakdagi holatni prognoz qilish orqali optimal boshqaruvni amalga oshiradi. Umuman olganda, olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari klassik yondashuvlarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega bo‘lib, ular murakkab dinamikani modellashtirish va real vaqt rejimida boshqarish uchun samarali vosita hisoblanadi. Biroq ularning to‘liq sanoat tatbiqi uchun hisoblash samaradorligi, barqarorlik kafolatlari va interpretatsiya muammolari bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar zarur.

XULOSA. Ushbu tadqiqot natijalariga ko‘ra, sun’iy neyron tarmoqlar asosida adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash zamonaviy murakkab texnologik obyektlarni boshqarishda samarali va istiqbolli yondashuv hisoblanadi. Neyron

ISSN 3030-3907

tarmoqlar tizimning nochiziqli dinamikasini yuqori aniqlikda approksimatsiya qilish imkonini berib, klassik boshqaruv usullarining cheklovlarini bartaraf etadi. Adaptiv algoritmlar esa tizim parametrlarining o‘zgaruvchan sharoitlarga moslashishini ta’minlaydi. Tadqiqot davomida aniqlanishicha, Lyapunov asosidagi barqarorlik yondashuvi neyron tarmoq asosidagi boshqaruv tizimlarining ishonchliligini ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi. Shu bilan birga, chuqur o‘rganish va reinforcement learning metodlari adaptiv boshqaruvning yangi avlod algoritmlarini shakllantirishga xizmat qilmoqda. Shunga qaramay, real sanoat tizimlarida ushbu algoritmlarni qo‘llashda hisoblash murakkabligi va barqarorlik muammolari mavjud bo‘lib, ular kelgusidagi ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press.
2. Haykin, S. (2009). Neural networks and learning machines (3rd ed.). Pearson.
3. Narendra, K. S., & Parthasarathy, K. (1990). Identification and control of dynamical systems using neural networks. IEEE Transactions on Neural Networks, 1(1), 4–27.
4. Lewis, F. L., Jagannathan, S., & Yesildirak, A. (1998). Neural network control of robot manipulators and nonlinear systems. CRC Press.
5. Khalil, H. K. (2015). Nonlinear systems (3rd ed.). Pearson.
6. Slotine, J. J. E., & Li, W. (1991). Applied nonlinear control. Prentice Hall.
7. Narendra, K. S., & Mukhopadhyay, S. (1997). Adaptive control using neural networks. IEEE Transactions on Neural Networks, 8(4), 818–831.
8. Lewis, F. L., Vrabie, D., & Syrmos, V. L. (2012). Optimal control (3rd ed.). Wiley.
9. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction (2nd ed.). MIT Press.
10. Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural Networks, 2(5), 359–366.

ISSN 3030-3907