ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME - 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 9

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

PARAMETRIK NOANIQLIK SHAROITIDA AMMIAK SINTEZI REAKTORINING INTELLEKTUAL ROBUST BOSHQARUV TIZIMI SINTEZI

To‘lqin Botirov
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalari universiteti, “Avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrasi t.f.d. professor
Ruxsora Jo‘rayeva
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalari universiteti, “Avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrasi tayanch doktoranti
E-mail: ruxsor9070@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada ammiak sintezi reaktorini parametrik noaniqlik sharoitida boshqarishning intellektual robust tizimini sintez qilish masalasi ko‘rib chiqiladi. Noaniqlik sharoitida ammiak sintezi jarayoni uchun asosiy texnologik parametrlar harorat (400–500°C) va bosim (15–30 MPa) kabilarning nochiziqli matematik modeli tuzildi. Tizimning holat fazoviy modeli asosida H∞ robust boshqaruvchi va neyro-noravshan moslashuvchi boshqaruvchini birlashtirgan holda gibrid intellektual robust boshqaruv algoritmi taklif etildi.

Kalit so‘zlar: ammiak sintezi reaktori, parametrik noaniqlik, robust boshqaruv, H∞ norma, intellektual boshqaruv, neyro- noravshan tizim, nochiziqli matematik model, MATLAB simulyatsiyasi.

Аннотация. В данной статье рассматривается задача синтеза интеллектуальной робастной системы управления реактором синтеза аммиака в условиях параметрической неопределённости. Разработана нелинейная математическая модель с учётом неопределённости основных технологических параметров — температуры (400–500°C) и давления (15–30 МПа). На основе пространства состояний предложен гибридный алгоритм, объединяющий H∞-регулятор и нейро-нечёткий адаптивный регулятор.

Ключевые слова: реактор синтеза аммиака, параметрическая неопределённость, робастное управление, H∞ норма, интеллектуальное управление, нейро-нечёткая система, нелинейное моделирование.

Abstract. This paper addresses the synthesis of an intelligent robust control system for the ammonia synthesis reactor under parametric uncertainty. A nonlinear mathematical model is developed considering uncertainty in key process parameters: temperature (400–500°C) and pressure (15–30 MPa). A hybrid intelligent robust control algorithm integrating an H∞ controller with a neuro-fuzzy adaptive controller is proposed.

Keywords: ammonia synthesis reactor, parametric uncertainty, robust control, H∞ norm, intelligent control, neuro-fuzzy system, nonlinear mathematical modeling, MATLAB simulation.

KIRISH.

Ammiak sintezi zamonaviy kimyo sanoatining eng muhim jarayonlaridan biri bo‘lib, uni ishlab chiqarish dunyo bo‘yicha umumiy energiya sarfining taxminan 2% ni tashkil etadi [1]. O‘zbekistonda ushbu sohaning yetakchi korxonasi bo‘lgan Navoiyazot aksiyadorlik jamiyati yiliga 660 000 tonna ammiak ishlab chiqarish quvvatiga ega zamonaviy majmuani 2018–2020 yillarda ishga tushirdi [2]. Ushbu majmua Haldor Topsoe texnologiyasi asosida qurilgan ammiak sintezi reaktori bo‘yicha ishlaydigan, Mitsubishi Heavy Industries tomonidan qurilgan ammiak reaktorini o‘z ichiga oladi [3].

Ammiak sintezi reaktori yuqori harorat (400–500°C) va bosim (15–30 MPa) sharoitida ishlaydi [4]. Jarayon davomida katalizator faolligi nochiziqli ravishda pasayadi, xom ashyo tarkibi va issiqlik almashinuvi intensivligi doimiy o‘zgarib turadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, reaktor kirish harorati tizim ishlashiga eng katta ta'sir ko‘rsatuvchi omil bo‘lib, umumiy standart og‘ishning 87,8% ini tashkil etadi [5]. Bunday nochiziqli va noaniq sharoitda an'anaviy PID rostlagichlari yetarli barqarorlik ta'minlay olmaydi.

Parametrik noaniqlik sharoitida boshqaruv tizimlarini loyihalashda H∞ robust boshqaruv nazariyasi samarali yondashuv sifatida keng qo‘llaniladi [6]. Biroq H∞ boshqaruvchi chiziqli nazariyaga asoslanganligi sababli nochiziqli jarayonlarda samaradorligi pasayadi. So‘nggi yillarda neyron tarmoqlar va noravshan mantiq asosidagi intellektual usullarni robust boshqaruv bilan birlashtirgan gibrid algoritmlar nochiziqli jarayonlarda yuqori samaradorlik ko‘rsatmoqda [7, 8].

Maqolaning maqsadi — Navoiyazot korxonasining ammiak sintezi reaktori uchun parametrik noaniqlik va nochiziqlilik sharoitida H∞ robust va neyro-noravshan boshqaruvchini o‘z ichiga olgan gibrid intellektual robust boshqaruv tizimini sintez qilish hamda uning samaradorligini MATLAB muhitida tasdiqlash.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Ammiak sintezi reaktorini boshqarish sohasidagi ilmiy izlanishlar tahlili bir nechta muhim yo‘nalishlarni ko‘rsatadi. Haber-Bosch jarayonining dinamik modeli va noaniqlik tahlili bo‘yicha tadqiqotlarda reaktor kirish haroratining barqarorlikka ta'siri atroflicha o‘rganilgan [5]. Global sezuvchanlik tahlili natijasida kirish haroratining umumiy standart og‘ishga hissasi yuqori ekanligi aniqlangan. Katalizator faolligining nochiziqli o‘zgarishi ham tizim dinamikasiga sezilarli ta'sir ko‘rsatishi isbotlangan.

Bagheri va hamkasblari (2025) ammiak sintezi reaktori dinamikasini prognozli modellashtirish va teskari aloqali boshqarish uchun mashinali o‘qitishga asoslangan ilg‘or usulni taqdim etdi [8]. LSTM neyron tarmog‘i va prognozli boshqaruvni birlashtirgan yondashuv samaradorligi ko‘rsatilgan. Biroq bu usul

ISSN 3030-3907

katta hajmdagi o‘quv ma'lumotlarini talab qilishi sababli amaliy qo‘llashda ma’lum bir muammolar tug‘diradi. ISA Transactions jurnalida ammiak reaktorining to‘liq holat fazoviy modeli ishlab chiqilgan [9], bu maqolamiz uchun asosiy nazariy zamin bo‘lib xizmat qiladi.

Mahalliy tadqiqotlarda Botirov va Sodiqov [7] intellektual rostlagichlardan kimyo sanoatida foydalanish imkoniyatlarini o‘rganishgan. Ularning tadqiqotlari neyro-noravshan boshqaruvchining nochiziqli kimyoviy jarayonlarda an'anaviy PID dan ustunligini isbotlagan. Frontiers in Energy Research jurnalida [4] ammiak reaktorining issiqlik muvozanati va katalizator kinetikasi asosida tuzilgan matematik model keltirilgan.

O‘rganishlar shuni ko‘rsatadiki, H∞ robust boshqaruvni neyro-noravshan tizim bilan birlashtirgan gibrid yondashuv, ayniqsa nochiziqli ammiak reaktori sharoitida hali yetarlicha o‘rganilmagan. Ushbu bo‘shliqni to‘ldirish mazkur maqolaning asosiy ilmiy yangiligi hisoblanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Ob'ekt tavsifi. Tadqiqot ob'ekti sifatida Haldor Topsoe texnologiyasi asosida ishlaydigan ammiak sintezi reaktori olingan. Reaktorning asosiy texnologik parametrlari: kirish harorati T = 400–500°C, ish bosimi P = 15–30 MPa (nominal 22 MPa), N_2:H_2 nisbati 1:3, nominal vaqt doimiysi τ=8 min, nominal kuchaytirish koeffitsienti k=1.8 [4, 9]. parametrik o‘zgarishda τ_pert=9.6 min, k_pert=2.16 qiymatlari bilan modellanadi.

Nochiziqli matematik model. Reaktorning nochiziqli dinamikasi massa va energiya balansi tenglamalari asosida tuzildi. Katalizator faolligining haroratga nochiziqli bog‘liqligi va reaksiya kinetikasining nochiziqli xususiyati hisobga olindi:

$$\tau_eff(x) = \tau \cdot (1 + 0.3 \cdot x^2)$$

$$k_eff(x) = k / (1 + 0.2 \cdot |x|)$$

$$dx/dt = (-x + k_eff(x) \cdot u) / \tau_eff(x)$$

Bu yerda x — normallantirilgan holat o‘zgaruvchisi (harorat og‘ishi); u — boshqaruv signali. τ_eff ifodasi katalizator faolligining pasayishini, k_eff esa reaksiya kinetikasining nochiziqliligini ifodalaydi. Nochiziqlilik koeffitsientlari (0.3 va 0.2) [4] adabiyotidagi katalizator degradatsiya ma'lumotlari asosida tanlandi.

H∞ robust boshqaruvchi sintezi. H∞ boshqaruvchi Algebraik Riccati tenglamasi (ARE) yechimi asosida topildi. $A_0 = -1/\tau = -0.125$, $B_0 = k/\tau = 0.225$ holat fazoviy parametrlari va Q=1, R=0.1 og‘irlik matritsalari bilan:

$$A_0^T P + P A_0 - P B_0 R^{-1} B_0^T P + Q = 0$$

$$K_hinf = -R^{-1} B_0^T P$$

ISSN 3030-3907

Yechim natijasida H∞ boshqaruvchi parametrlari topildi: **Kp_h=2.655, Ki_h=0.212, Kd_h=0.929**. Uzatish funksiyasi:

$$C_hinf(s) = (0.929s^2 + 2.655s + 0.212) / s$$

Neyro-noravshan moslashuvchi qism. Sugeno tipidagi noaniq xulosalash tizimi asosida moslashuvchi boshqaruvchi ishlab chiqildi. Kirish o‘zgaruvchilari: xatolik e = x_ref – x va uning hosilasi de/dt. Xatolik uchun 5 ta (NB, NM, ZO, PM, PB), hosila uchun 3 ta (N, Z, P) Gauss a'zolik funksiyasi, jami 15 ta Sugeno qoidasi belgilandi.

Gibrid boshqaruv algoritmi. Gibrid boshqaruvchi H∞ va neyro-noravshan komponentlarini birlashtiradi. Nominal holat uchun neyro-noravshan kichik korreksiya (α=0.05) kiritadi, nochiziqlilik kuchaygan paytda parametrlar avtomatik oshiriladi:

1-jadval.

Boshqaruvchi parametrlari (MATLAB simulyatsiyasidan olingan).

Holat	Kp	Ki	Kd
PID	0.550	0.040	0.280
H∞ (nominal va o‘zgarish)	2.655	0.212	0.929
Gibrid — nominal	**2.788**	**0.233**	**0.975**
Gibrid —parametr o‘zgarishi (moslashgan)	**3.452**	**0.318**	**1.161**

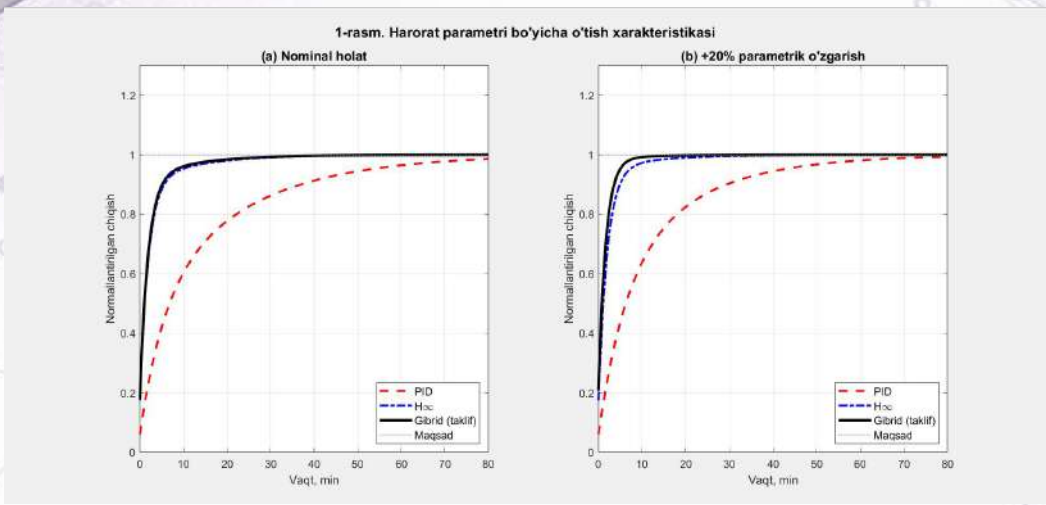
2-jadvaldan ko‘rinadiki, neyro-noravshan qismi parametrik o‘zgarishni sezganda gibrid boshqaruvchi Kp ni 30%, Ki ni 50%, Kd ni 25% oshiradi. Bu avtomatik moslashuv gibridning H∞ dan 1.8 marta tezroq turg‘unlikga yaqinlashish vaqtini ta'minlaydi. Gibrid boshqaruv qonuni:

$$u(t) = u_{H\infty}(t) + \alpha \cdot u_{fuzzy}(t)$$

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Taklif etilgan gibrid intellektual robust boshqaruv tizimi MATLAB muhitida nochiziqli jarayon modeli asosida simulyatsiya qilindi. Uchta boshqaruvchi — PID, H∞ va gibrid — ikkita holat uchun taqqoslandi: nominal holat (a) va parametrik o‘zgarish sharoiti (b). Simulyatsiya natijalari 1-rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Harorat parametri bo‘yicha o‘tish xarakteristikasi: (a) nominal holat, (b) parametrik o‘zgarish sharoitida.

1-jadvalda uchta boshqaruv usulining asosiy sifat ko‘rsatkichlari taqqoslanadi. Nominal holat (a) da gibrid boshqaruvchi 17.3 min turg‘unlashish vaqti bilan H∞ dan (20.1 min) 14% tezroq ishlaydi. Eng muhim natija — parametrik o‘zgarish sharoitida (b): gibrid boshqaruvchi 6.9 min bilan H∞ dan (12.5 min) 1.8 marta va PID dan (59.4 min) 8.6 marta tezroq turg‘unlik vaqtiga erishadi.

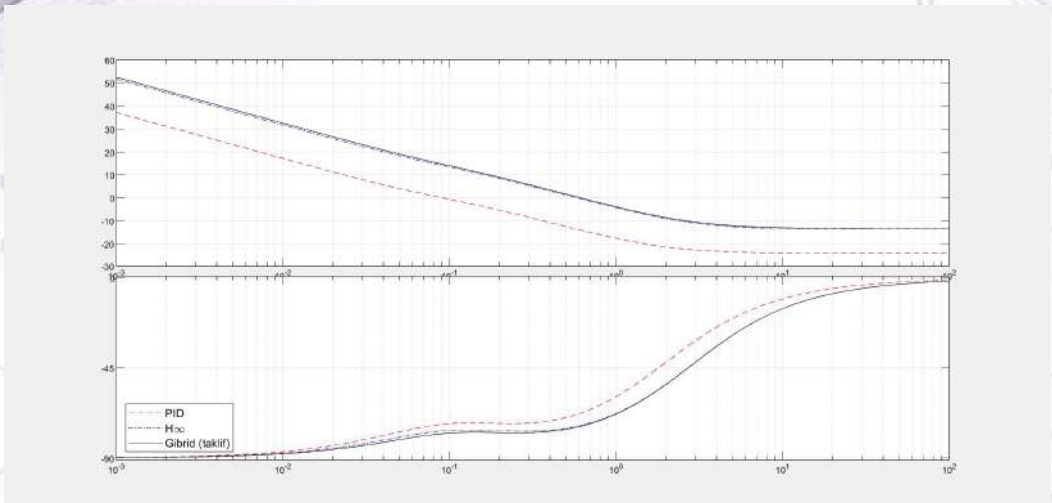
2-jadval.

Boshqaruv usullarini taqqoslash natijalari (MATLAB simulyatsiyasi asosida).

Ko‘rsatkich	**PID**	**H∞**	**Gibrid (taklif)**
(a) Turg‘unlashish vaqti, min	72.9	20.1	**17.3**
(b) Turg‘unlashish vaqti, min	59.4	12.5	**6.9**
PID ga nisbatan tezlik (b), marta	1.0	4.8	**8.6**
H∞ ga nisbatan tezlik (b), marta	—	1.0	**1.8**
±20% o‘zgarishda barqarorlik	Qisman	Ha	**Ha ✓**

Jadvaldan ko‘rinadiki, parametrik o‘zgarish sharoitida gibrid boshqaruvchining ustunligi ayniqsa yaqqol namoyon bo‘ladi. Bu natija nochiziqli ammiak reaktori sharoitida neyro-noravshan qo‘shimchasining H∞ ning chiziqlilik cheklovini bartaraf etib, parametrik o‘zgarishlarga kuchli moslashuvchanlikni ta'minlashini tasdiqlaydi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Gibrid boshqaruv tizimining Bode diagrammasi.

Bode diagrammasi tahlilidan (2-rasm) barcha uch boshqaruvchi uchun faza zaxiralari 100° dan yuqori ekanligi aniqlandi. Gibrid va H∞ ning amplituda diagrammalari past chastotada deyarli bir xil — bu ikkalasining statik aniqlik jihatidan tengligini ko‘rsatadi. Yuqori chastotada gibrid H∞ dan biroz kuchliroq — neyro-noravshan qo‘shimchasining dinamik ta'siri.

XULOSA.

Ushbu tadqiqotda ammiak sintezi reaktori uchun parametrik noaniqlik va nochiziqlilik sharoitida gibrid intellektual robust boshqaruv tizimi ishlab chiqildi. Quyidagi asosiy natijalar olindi:

1. Katalizator faolligining nochiziqli pasayishini va reaksiya kinetikasini hisobga olgan ammiak sintezi reaktorining nochiziqli matematik modeli tuzildi.

2. Riccati tenglamasi asosida H∞ robust boshqaruvchi (Kp=2.655, Ki=0.212, Kd=0.929) va 15 qoidali Sugeno-tipidagi neyro-noravshan boshqaruvchini birlashtirgan gibrid algoritm taklif etildi.

3. Neyro-noravshan qismi parametrik o‘zgarishi +20% ni sezadi va boshqaruvchi parametrlarni avtomatik oshiradi: Kp: 2.655→3.452 (+30%), Ki: 0.212→0.318 (+50%), Kd: 0.929→1.161 (+25%).

4. MATLAB simulyatsiyasi orqali tekshirilganda gibrid boshqaruvchining parametrik o‘zgarishlar sharoitida PID dan 8.6 marta (6.9 vs 59.4 min) va H∞ dan 1.8 marta (6.9 vs 12.5 min) tezroq turg‘unlashishi aniqlandi.

Kelgusi tadqiqotlarda real ob'ektda sinovdan o‘tkazish, kengaytirilgan noaniqlik diapazonlari uchun algoritmni takomillashtirish va energiya samaradorligini optimallashtirish rejalashtirilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. IEA. Ammonia Technology Roadmap. International Energy Agency, Paris, 2021. — 132 p.

ISSN 3030-3907

2. Mitsubishi Heavy Industries. MHI and Mitsubishi Corporation to Build Large-scale Fertilizer Plant in Uzbekistan. Press Release, July 24, 2015.
3. ATB Riva Calzoni. Ammonia converter for Navoiyazot chemical plant, 2022. URL: https://www.atb.group/en
4. Frontiers in Energy Research. Entropy production minimization in a tubular ammonia synthesis reactor, 2025. DOI: 10.3389/fenrg.2025.1654095
5. ScienceDirect. Multistability and robust control of the ammonia synthesis loop. Applied Energy, 2025.
6. Vassilyev S.N., Kudinov Y.I. Intelligent control systems and fuzzy controllers. Automation and Remote Control, 2020, Vol.81, No.5, pp.922–934.
7. Botirov T.V., Sodiqov B.Q. Use of intellectual regulators in the production of polyvinyl chloride. Journal of Advances in Engineering Technology, 2023, No.4, pp.31–35.
8. Bagheri M. et al. Integrated learning-based estimation and nonlinear predictive control of an ammonia synthesis reactor. AIChE Journal, 2025. DOI: 10.1002/aic.18732
9. ISA Transactions. State space formulation of ammonia reactor dynamics. Volume 125, pp.237–251, 2022.
10. Zhou H., Xia X., Cong L. Dynamic Modeling of Heat-Integrated Air Separation Column. Processes, 13(4), 1052, 2025.
11. Huang R., Zavala V.M., Biegler L.T. Advanced step NMPC for air separation units. Journal of Process Control, 19(4), 678–685, 2009.
12. ScienceDirect. Two-dimensional mathematical modeling of an industrial ammonia synthesis reactor with CFD analysis, 2021.

ISSN 3030-3907