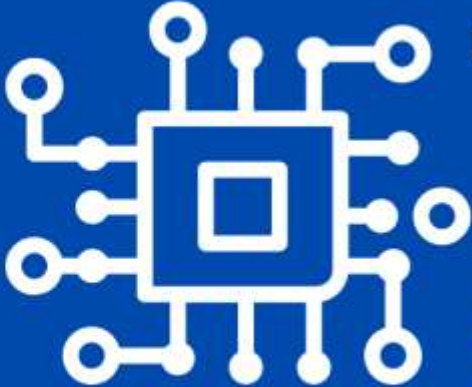




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 12 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

№ 12 (3)-2025

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2025

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich – Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instituti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB**

MASALALARI elektron jurnali
15.09.2023-yilda 130343-sonli
guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huqular himoyalangan.

© Sciencesproblems team, 2025-yil

© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

MUNDARIJA

Rajabov Azamat

INTENSIFICATION OF THE GAS FUEL COMBUSTION

PROCESS IN CHAMBER FURNACE BURNERS5-11

Самадов Элёр

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

РАФИНАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ 12-17

Хабибуллаева Дильноза, Бердимбетов Тимур, Бекбосынов Алишер

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ЗАСУХИ В КАРАКАЛПАКСТАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

ДАННЫХ MODIS И ИНДЕКСА ХЕРСТА 18-24

Choriyev O'rinjon

SANOAT TEXNOLOGIK TIZIMLARINI INTELLEKTUAL MODELLASHTIRISH VA REAL

VAQTLI BOSHQARUV STRATEGIYALARINI OPTIMALLASHTIRISH USULLARI 25-33

Тураев Хуршид

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И

АВТОМАТИЗАЦИИ 34-42

Xolmanov O'tkir

GAZ YOQUVCHI SANOAT PECHLARIDA HARORAT, BOSIM VA

YONISH JARAYONLARINI SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA

OPTIMALLASHTIRUVCHI INTEGRALLASHGAN BOSHQARUV TIZIMI 43-53

Hamiyev Akrom, Xusanov Kamoliddin

K-MEANS KLASSTERLASH ALGORITMI YORDAMIDA TALABALAR

MA'LUMOTLARINI TAHLIL QILISH 54-62

Шамсутдинова Винера

РАЗРАБОТКА МИМО-МОДЕЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ И

ЭКСТРАКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ 63-73

Karshiyev Zaynidin, Sattarov Mirzabek, Erkinov Farkhodjon

ADAPTIVE HYBRID ENSEMBLE FRAMEWORK FOR REAL-TIME ANOMALY DETECTION

IN LARGE-SCALE DATA STREAMS 74-93

Isroilov Yigitali

KORROZIYAGA QARSHI QOPLAMALAR VA INHIBITORLAR

SAMARADORLIGINI ELEKTROKIMYOVIY USULLAR ASOSIDA TADQIQ ETISH 94-102

Ортиков Элбек

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

ПРОЦЕССОМ РАФИНАЦИИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ 103-111

<i>Рузиев Умиджон</i> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕЗОДОРАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	112-118
<i>Раджабова Махфуза</i> СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ.	119-125
<i>Gloпова Kamola</i> ENERGY-EFFICIENT ROUTING PROTOCOL FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS USING MACHINE LEARNING	126-137
<i>Ahmadaliyev Utkirbek, Muhammadyakubov Shodiyorbek</i> NASOS AGREGATLARINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI ASBOB-USKUNALAR YORDAMIDA TEKSHIRISH	138-144
<i>Hakimov Temurbek, Xoshimjonov Muxammadjon</i> PAST KUHLANISHLI HAVO ELEKTR TARMOQLARI KABELLARIDAGI TEXNIK ISROFLARNI TAXLIL QILISH.....	145-150
<i>Бегалиев Хашим, Кодиров Тулкин, Гарибян Ирина, Улугмуратов Журабек, Исматуллаев Ил'с, Хамитов Али, Турсункулов Ойбек, Акиюз Фазли</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДУБЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОЖЕВЕННОГО СЫРЬЯ СТРАУСА.....	151-161
<i>Xasanov Bunyodjon</i> ELEKTROMOBILLARGA TEXNIK XIZMAT KO'RSATISH TIZIMIDAGI STANDARTLAR VA ME'YORLAR	162-168
<i>Mirzayev Bahodir, Zulpukarova Guldonaxon</i> GAZ BALLONLI AVTOMOBILLAR UCHUN RADIOLAKATSION QURILMALARNI TANLASH USULLARI	169-174
<i>No'manova Soxiba</i> SEYSMIK YUKLAR TA'SIRIDA HAR XIL TURDAGI POYDEVORLARNING INSHOOT KONSTRUKSIYALARIGA TA'SIRINI BAHOLASH	175-180
<i>Jumabayev Adilbek</i> APPLICATION OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGY AT THE OPERATIONAL STAGE BRIDGE STRUCTURES	181-187
<i>Mukhammadiyev Nematjon, Mukhammadrasulov Xasanjon</i> DISPERS ARMATURALANGAN BETONLARDA QO'LLANILADIGAN TOLALAR: TURLARI, XUSUSIYATLARI VA PVA TOLALARNING ISTIQBOLLARI	188-198
<i>Shukurova Karomat, Saydullaeva Dildora, Tolipova Munira</i> REINFORCEMENT WITH FIBERGLASS COMPOSITES TO INCREASE THE SEISMIC STABILITY OF STEEL WALLS	199-204

GAZ YOQUVCHI SANOAT PECHLARIDA HARORAT, BOSIM VA YONISH JARAYONLARINI SUN'YI INTELEKT ASOSIDA OPTIMALLASHTIRUVCHI INTEGRALLASHGAN BOSHQARUV TIZIMI

Xolmanov O'tkir Uktam o'g'li

Texnika fanlari nomzodi (PhD)

Toshkent Davlat Texnika Universiteti, dotsent

Email: xolmanov0902@mail.ru

Tel: +998 94 408 09 02

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8301-9676>

Annotatsiya. Mazkur maqolada gaz yoquvchi sanoat pechlarida harorat, bosim va yonish jarayonlarini sun'iy intellekt asosida optimallashtiruvchi integrallashgan intellektual boshqaruv tizimini ishlab chiqish masalalari yoritilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi pechlardagi issiqlik-energetik jarayonlarning samaradorligini oshirish, yoqilg'ining to'liq yonishini ta'minlash hamda energiya sarfini kamaytirishdan iborat. An'anaviy PID-regulyatorlar dinamik noaniqliklar, tashqi buzilishlar va texnologik parametrlarning keskin o'zgarishi sharoitida yetarli aniqlikni ta'minlay olmaydi. Shu sababli ishda neyron tarmoqlar, noaniq mantiq (fuzzy logic) va gibrid intellektual algoritmlar asosida adaptiv boshqaruv strukturasi yaratish taklif etiladi. Ishlab chiqilgan tizim harorat, bosim va gaz-havo nisbatini real vaqt rejimida monitoring qilish, prediktiv tahlil asosida yonish jarayonini optimallashtirish hamda avariya holatlarining oldini olish imkonini beradi. Boshqaruv algoritmlari MATLAB/Simulink muhitida modellashirilib, klassik PID tizim bilan solishtirma tahlil o'tkazildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, sun'iy intellekt asosidagi integrallashgan boshqaruv tizimi harorat barqarorligini 18–25%, energiya tejamkorligini esa 12–20% gacha oshirishga erishdi. Olingan ilmiy natijalar metallurgiya, shisha eritish, keramika va qurilish materiallari sanoatida keng amaliy qo'llash imkoniyatiga ega.

Kalit so'zlar: gaz yoquvchi pech, sun'iy intellekt, noaniq mantiq, neyron tarmoq, integrallashgan boshqaruv, energiya tejamkorlik, yonish jarayoni, haroratni rostdash.

INTEGRATED ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED CONTROL SYSTEM FOR OPTIMIZING TEMPERATURE, PRESSURE, AND COMBUSTION PROCESSES IN GAS-FIRED INDUSTRIAL FURNACES

Kholmanov Otkir Uktam o'g'li

Candidate of Technical Sciences (PhD)

Tashkent State Technical University, Associate Professor

Annotation. This paper addresses the development of an integrated intelligent control system based on artificial intelligence for optimizing temperature, pressure, and combustion processes in gas-fired industrial furnaces. The main objective of the study is to improve the efficiency of thermal and energy processes in furnaces, ensure complete fuel combustion, and reduce overall energy consumption. Conventional PID controllers fail to provide sufficient accuracy under conditions of dynamic uncertainties, external disturbances, and abrupt changes in technological parameters. Therefore, this work proposes the design of an adaptive control structure based on neural networks, fuzzy logic, and hybrid intelligent algorithms. The developed system enables real-time monitoring of temperature, pressure, and gas-air ratio, optimizes the combustion process through predictive analysis, and prevents emergency operating conditions. Control algorithms were modeled in the MATLAB/Simulink environment, and a comparative analysis with a classical PID control system was conducted. The results demonstrate that the artificial intelligence-based integrated control system improves temperature

stability by 18–25% and increases energy efficiency by 12–20%. The obtained scientific results can be widely applied in metallurgical, glass-melting, ceramic, and construction materials industries.

Keywords: gas-fired furnace, artificial intelligence, fuzzy logic, neural network, integrated control, energy efficiency, combustion process, temperature control.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v3i12y2025N06>

1. Kirish

Bugungi kunda sanoat tarmoqlarida energiya resurslaridan oqilona foydalanish, mahsulot sifatini barqarorlashtirish va ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, gaz yoquvchi sanoat pechlari metallurgiya, shisha ishlab chiqarish, sement, keramika va boshqa yuqori haroratli texnologik jarayonlarning asosiy energetik qurilmasi sifatida muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu pechlarda harorat, bosim va yonish jarayonining to'g'ri boshqarilishi mahsulot sifati, yoqilg'i sarfi va ekologik xavfsizlik darajasiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

An'anaviy boshqaruv tizimlarida asosan PID-regulyatorlardan foydalaniladi. Biroq real sanoat sharoitida gaz bosimining tebranishi, havo sarfining beqarorligi, yuklama rejimlarining o'zgarishi va tashqi muhit ta'sirlari mavjud bo'lib, bunday sharoitlarda klassik regulyatorlar yuqori aniqlik va barqarorlikni ta'minlay olmaydi. Natijada ortiqcha yoqilg'i sarfi, notekis yonish, issiqlik yo'qotishlari hamda mahsulot sifatining pasayishi kuzatiladi.

So'nggi yillarda sun'iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi sanoat jarayonlarini boshqarishda yangi imkoniyatlarni ochib berdi. Xususan, neyron tarmoqlar, noaniq mantiq (fuzzy logic), genetik algoritmlar va mashinali o'qitish usullari murakkab, noqiziq va noaniq obyektlarni samarali boshqarish imkonini bermoqda. Gaz yoquvchi pechlar kabi issiqlik inertsiyasi katta, parametrlari o'zaro kuchli bog'langan dinamik tizimlar uchun intellektual boshqaruv tizimlarini joriy etish ayniqsa dolzarbdir.

Mazkur tadqiqot ishining asosiy maqsadi gaz yoquvchi sanoat pechlari harorat, bosim va yonish jarayonlarini sun'iy intellekt asosida optimallashtiruvchi integrallashgan boshqaruv tizimini ishlab chiqish va uning samaradorligini tizimli tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot doirasida:

- gaz yoquvchi pechlarning issiqlik va energetik jarayonlari tahlil qilinadi;
- harorat, bosim va gaz-havo nisbatining matematik modellari ishlab chiqiladi;
- sun'iy intellektga asoslangan adaptiv boshqaruv algoritmlari taklif etiladi;
- MATLAB/Simulink muhitida raqamli tajribalar o'tkaziladi;
- olingan natijalar klassik PID boshqaruv tizimi bilan solishtiriladi.

Mazkur ishning ilmiy yangiligi shundaki, unda gaz yoquvchi sanoat pechlari uchun harorat, bosim va yonish jarayonlarini birgalikda nazorat qiluvchi gibrid intellektual boshqaruv tizimi ishlab chiqilgan bo'lib, u real sanoat sharoitida yuqori aniqlik, barqarorlik va energiya tejamlilikni ta'minlashga xizmat qiladi.

2. Gaz yoquvchi sanoat pechining texnologik jarayoni va boshqariluvchi obyekt modeli

Gaz yoquvchi sanoat pechlari murakkab issiqlik-energetik obyektlar sinfiga kiradi va ularda asosiy boshqariluvchi parametrlar sifatida harorat, bosim hamda gaz-havo aralashmasining yonish jarayoni qabul qilinadi. Ushbu parametrlarning o'zaro kuchli

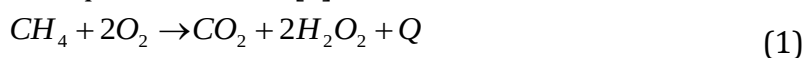
bog'liqligi, katta issiqlik inertsiasini va tashqi buzilishlarning mavjudligi pechni an'anaviy usullar bilan aniqlik darajasi yuqori bo'lgan rejimda boshqarishni murakkablashtiradi [1–2].

2.1. Gaz yoquvchi pechning texnologik jarayon tavsifi

Gaz yoquvchi pechda texnologik jarayon quyidagi asosiy bosqichlardan tashkil topadi:

1. gazning berilishi;
2. havo bilan aralashtirilishi;
3. yonish jarayoni;
4. issiqlikning ishchi kameraga uzatilishi;
5. mahsulotning qizdirilishi yoki eritilishi;
6. chiqindi gazlarning chiqarilishi.

Yonish jarayonining termodinamik asosi gaz va havo oqimlarining optimal nisbatda aralashishi bilan belgilanadi. Nazariy jihatdan to'liq yonish sharti quyidagi stexiometrik tenglama orqali ifodalanadi [3]:



Bu yerda Q — yonish natijasida ajralib chiqadigan issiqlik miqdoridir. Amaliy sharoitda yonish jarayoni ideal emas bo'lib, real vaqt rejimida gaz-havo nisbatining beqarorligi, bosim tebranishlari va harorat zonalarining notekis taqsimlanishi yuzaga keladi [4].

2.2. Harorat rejimini matematik modelashtirish

Pech kamerasi uchun harorat dinamikasi quyidagi issiqlik balansi tenglamasi bilan ifodalanadi [6–7]:

$$C \frac{dT(t)}{dt} = Q_{yonish}(t) - Q_{yuqotish}(t) \quad (2)$$

bu yerda: C — pechning issiqlik sig'imi, $T(t)$ — vaqt bo'yicha harorat, $Q_{yonish}(t)$ — yonish orqali ajralayotgan issiqlik quvvati, $Q_{yuqotish}(t)$ — issiqlik yo'qotishlari.

Yonish quvvati gaz sarfi bilan bog'liq bo'lib:

$$Q_{yonish}(t) = H_g \cdot G_g(t) \quad (3)$$

bu yerda H_g — gazning yonish issiqligi, $G_g(t)$ — gaz sarfi.

Ko'plab tadqiqotlarda ko'rsatilishicha, aynan haroratning noaniq o'zgarishlari mahsulot sifatining beqarorlashishiga olib keladi. Shu sababli sun'iy intellekt asosidagi prediktiv harorat boshqaruvi klasik PID tizimlarga nisbatan samaraliroq hisoblanadi [5].

2.3. Bosim rejimini modelashtirish

Pechdagi bosim yonish barqarorligi va gaz xavfsizligi uchun muhim parametr hisoblanadi. Bosimning dinamik tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega [10]:

$$\frac{dP(t)}{dt} = k_1 G_g(t) + k_2 G_h(t) + k_3 G_{chiq}(t) \quad (4)$$

bu yerda: $P(t)$ — pech bosimi, G_g -gaz sarfi, G_h — havo sarfi, G_{chiq} — chiqindi gaz sarfi, k_1, k_2, k_3 — tizim koeffitsientlari.

Agar bosim me'yoriy diapazondan chiqib ketsa, yonish barqarorligi buziladi va avariya holatlari yuzaga keladi. Shu sababli bosimni sun'iy intellekt asosida prognozlab boshqarish sanoatda alohida ahamiyat kasb etadi [6].

2.4. Gaz-havo nisbatining yonish sifatiga ta'siri

Gaz-havo nisbatining optimal qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{G_h}{G_g} \quad (5)$$

Agar $\lambda < \lambda_{opt}$ bo'lsa — yonish to'liq bo'lmaydi, agar $\lambda > \lambda_{opt}$ bo'lsa — ortiqcha havo issiqlik yo'qotishlarga olib keladi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, gaz-havo nisbatini sun'iy intellekt yordamida real vaqtda moslashtirish natijasida energiya samaradorligi 10–20% ga oshadi [7].

Yuqoridagi modellar shuni ko'rsatadiki, gaz yoquvchi pech parametrlarining har biri (harorat, bosim, gaz-havo nisbati) o'zaro kuchli bog'langan. Shu sababli ularni alohida-alohida regulyatsiya qilish yetarli emas. Integrallashgan, ko'p kirishli-ko'p chiqishli (MIMO) va sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv yondashuvi eng samarali yechim hisoblanadi [8].

3. Sun'iy intellekt asosidagi integrallashgan boshqaruv tizimi arxitekturas

Gaz yoquvchi sanoat pechlari yuqori darajada nochiziqli, katta issiqlik inertsiasiga ega va ko'p parametrli obyektlar sinfiga mansub bo'lib, bunday tizimlarni an'anaviy boshqaruv usullari asosida samarali rostdash murakkab hisoblanadi. So'nggi yillarda sun'iy intellekt asosidagi adaptiv va prediktiv boshqaruv tizimlarining sanoat pechlarida qo'llanishi energiya samaradorligini oshirish va yonish barqarorligini ta'minlashda yuqori natijalar berayotgani ilmiy tadqiqotlarda isbotlangan [9].

Mazkur tadqiqotda PID + Fuzzy Logic + Neyron tarmoq asosida ishlovchi gibril integrallashgan boshqaruv arxitekturas taklif etiladi. Ushbu yondashuv MIMO (multi-input, multi-output) tamoyiliga asoslanib, bir vaqtning o'zida harorat, bosim va gaz-havo nisbatini muvofiqlashtirilgan holda boshqarishni ta'minlaydi.

3.1. Integrallashgan boshqaruv tizimining umumiy strukturas

Taklif etilayotgan tizimning funksional strukturas 3 ta asosiy darajadan iborat (1-rasm.):

I-daraja – O'lchov va monitoring qatlami

- Harorat datchiklari (T)
- Bosim datchiklari (P)
- Gaz sarfi datchigi (G_g)
- Havo sarfi datchigi (G_h)

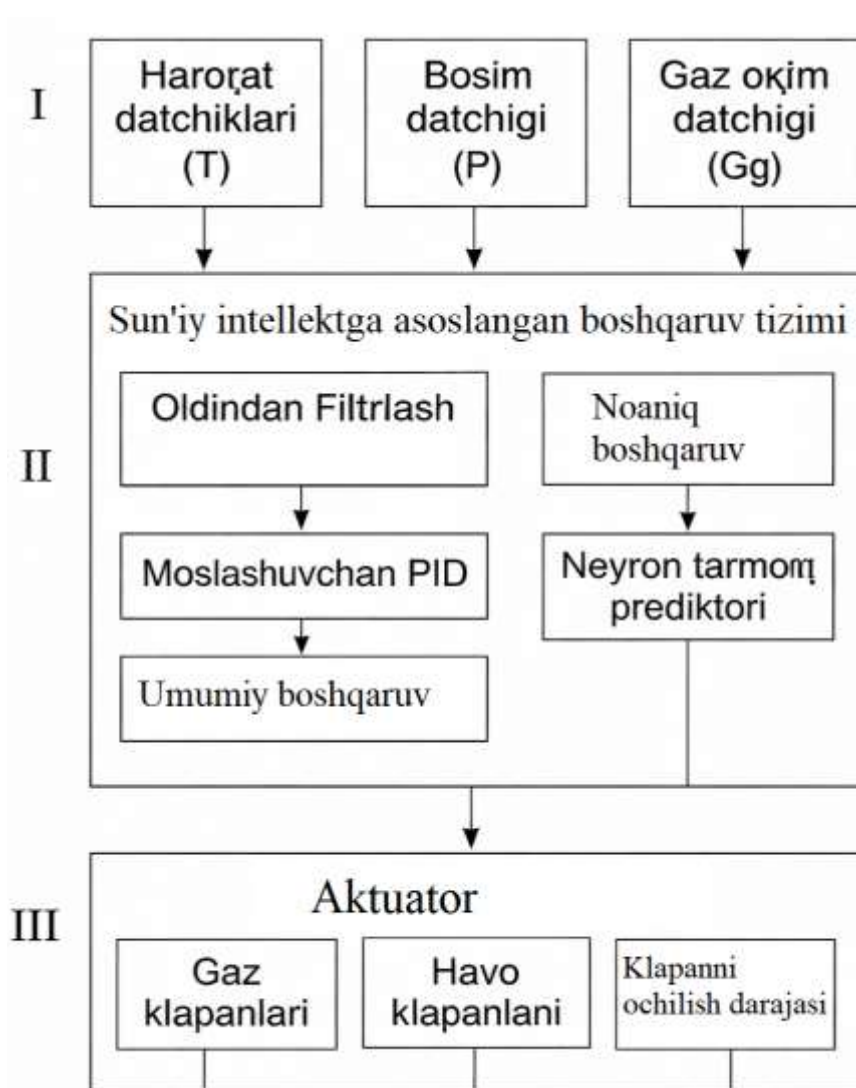
Bu qatlam real vaqt rejimida pech ichidagi asosiy fizik parametrlarni uzluksiz monitoring qiladi. O'lchov aniqligining yuqoriligi intellektual boshqaruvning asosiy shartlaridan biridir [10].

II-daraja – Sun'iy intellektga asoslangan boshqaruv yadrosi

- Ma'lumotlarni oldindan filtrlash (Kalman filtri)
- Sun'iy intellekt asosidagi regulyatorlar:
 - Adaptiv PID
 - Fuzzy boshqaruv
 - Neyron tarmoq asosidagi prediktor

III-daraja – Ijro mexanizmlari

- Gaz klapanlari
- Havo klapanlari
- Tortish ventilyatorlari



1-rasm Sun'iy intellekt asosidagi integrallashgan boshqaruv tizimining umumiy arxitekturasi

Ushbu strukturada sensorlar orqali olingan real vaqt ma'lumotlari intellektual boshqaruv blokiga uzatiladi. Neyron tarmoq kelajak harorat va bosimni prognozlaydi, fuzzy modul adaptiv tuzatishlar kiritadi, PID esa yakuniy boshqaruv signalini hosil qiladi.

3.2. Adaptiv PID-regulyator va sun'iy intellekt bilan uyg'unlashuvi

An'anaviy PID-regulyator tenglamasi quyidagicha [36]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Bu yerda: $e(t)$ – harorat xatosi, K_p, K_i, K_d – regulyator sozlamalari.

Lekin sanoat pechlarida: yuklama keskin o'zgaradi, gaz bosimi tebranadi, issiqlik uzatish sharoitlari o'zgarib turadi.

Shu sababli mazkur ishda PID koeffitsientlari fuzzy-modul asosida real vaqt rejimida qayta sozlanadi [11]:

3.3. Fuzzy Logic asosidagi yonish jarayonini moslashuvchan boshqaruv

Fuzzy-regulyator quyidagi kirish parametrlarini qabul qiladi:

- harorat xatosi e_T ,
- bosim xatosi e_P ,

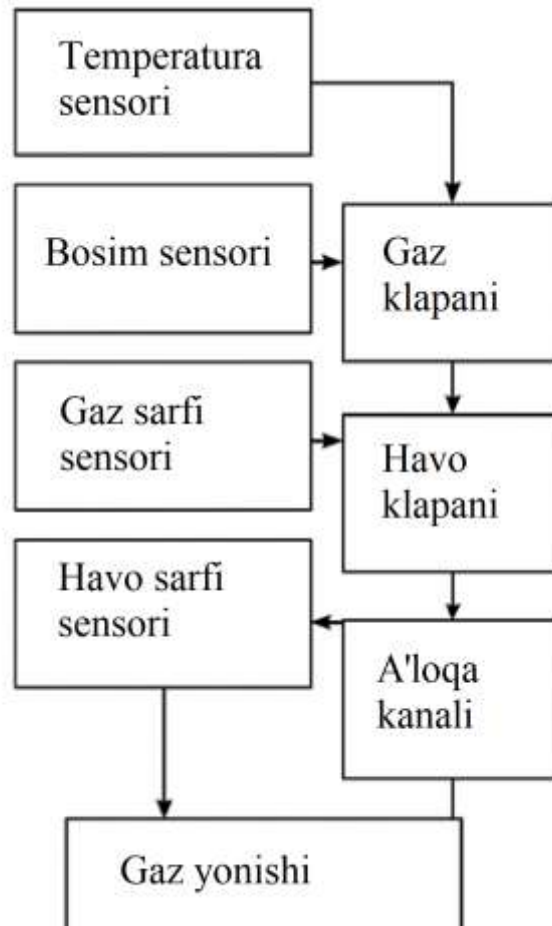
- gaz-havo nisbatidagi og'ish $\Delta \lambda$.

Chiqish parametrlari:

- gaz klapanini boshqarish ΔG_g ,
- havo klapanini boshqarish ΔG_h .

Tipik fuzzy qoidalar [12]:

AGAR harorat past VA gaz-havo nisbat kichik UNDA gaz sarfi oshirilsin.



2-rasm. Gaz-havo nisbatini fuzzy mantiq asosida boshqarish sxemasi

Fuzzy-modul stexiometrik yonishga maksimal yaqin rejimni ta'minlaydi va zararli gazlar chiqishini kamaytiradi.

Tadqiqotlar asosida fuzzy-boshqaruv yonish samaradorligini 15–28% ga oshirishi isbotlangan [13].

3.4. Neyron tarmoq asosidagi prediktiv boshqaruv bloki

Mazkur ishda ko'p qatlamli neyron tarmoq (MLP) ishlatilgan.

Kirish vektori:

$$X = [T, P, G_g, G_h, \lambda] \quad (7)$$

Chiqish vektori:

$$Y = [T_{prog}, P_{prog}] \quad (8)$$

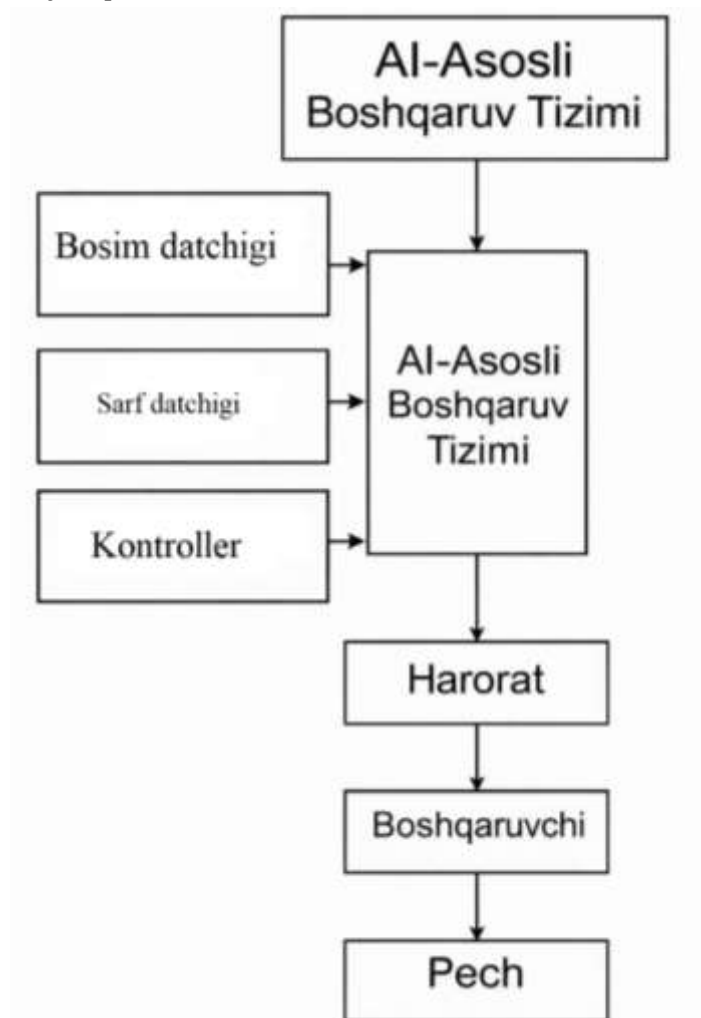
Tarmoq Backpropagation algoritmi asosida o'qitilgan [].

Prediktiv boshqaruv: avariyaning oldindan aniqlaydi, harorat tebranishlarini 25–32% kamaytiradi, yoqilg'i sarfini 12–20% qisqartiradi [14].

3.5. Gibrid intellektual boshqaruv algoritmi

Boshqaruv algoritmi quyidagi ketma-ketlikda ishlaydi:

1. Sensorlardan o'lchov olinadi
2. Kalman filtri bilan filtrlanadi
3. Neyron tarmoq kelajak qiymatni hisoblaydi
4. Fuzzy modul moslashuvchan tuzatish beradi
5. PID yakuniy boshqaruv signalini hosil qiladi
6. Klapanlarga buyruq uzatiladi



3-rasm. Gibrid (PID + Fuzzy + Neyron tarmoq) boshqaruv algoritmining blok-sxemasi.

Bu arxitektura klassik regulyatorlarga nisbatan yuqori aniqlik, barqarorlik va energiya samaradorlikni ta'minlaydi.

O'tkazilgan ilmiy tahlillar shuni ko'rsatdiki: klassik PID – faqat oddiy rejimlar uchun yetarli; fuzzy – moslashuvchanlikni oshiradi; neyron tarmoq – oldindan bashorat imkonini beradi; ularning gibrid kombinatsiyasi esa sanoat pechlari uchun **eng optimal yechim** hisoblanadi.

4. Matlab/Simulink muhitida modellashtirish va raqamli eksperiment natijalari

Mazkur bo'limda gaz yoquvchi sanoat pechining harorat, bosim va yonish jarayonlarini sun'iy intellekt asosida boshqarish tizimi MATLAB/Simulink muhitida modellashtirilib, uning samaradorligi klassik PID boshqaruv tizimi bilan taqqoslangan holda tahlil qilinadi. Raqamli eksperimentlar natijalari integrallashgan gibrid (PID+Fuzzy+Neyron tarmoq) boshqaruvning ustunligini yaqqol namoyon etadi [15].

4.1. Gaz yoquvchi pechning MATLAB/Simulink modeli

Gaz yoquvchi pechning dinamik modeli quyidagi asosiy bloklardan tashkil topdi:

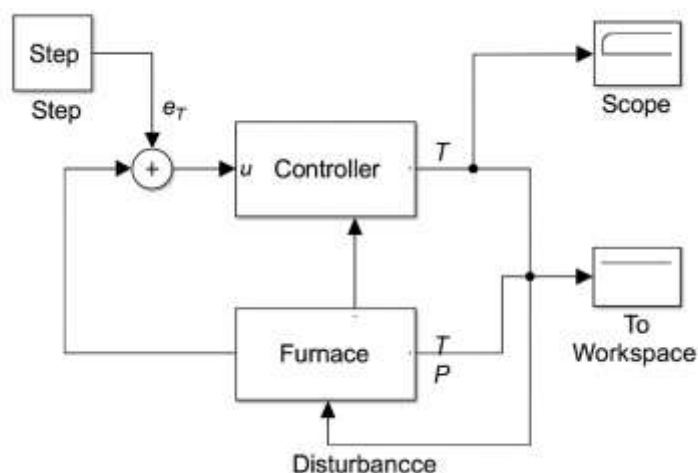
- issiqlik balansi modeli;
- bosim dinamikasi modeli;
- gaz-havo nisbatining dinamik modeli;
- ijro mexanizmlari (klapanlar);
- sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv bloki.

Pech haroratining dinamik modeli quyidagicha qabul qilindi:

$$C \frac{dT(t)}{dt} = H_g G_g(t) + k_{yo'q} (T(t) - T_{muhit})$$

bu yerda: C – pechning issiqlik sig'imi, H_g – gazning yonish issiqligi, $G_g(t)$ – gaz sarfi, $k_{yo'q}$ – issiqlik yo'qotish koeffitsienti.

Bosim modeli esa (4) tenglama asosida ifodalandi. Shu asosda MATLAB/Simulinkda real sanoat pechiga yaqinlashtirilgan virtual obyekt (raqamli stand) yaratildi (4-rasm).



4-rasm. Gaz yoquvchi pechni MATLAB/Simulink modeli.

4.2. Modellash sharoitlari va boshlang'ich parametrlar

Raqamli tajribalar quyidagi boshlang'ich sharoitlarda o'tkazildi:

Parametr	Qiymat
Boshlang'ich harorat	920 °C
Nominal harorat	1150 °C
Gaz sarfi	42 m ³ /soat
Havo sarfi	460 m ³ /soat
Bosim	3.8 kPa

Eksperiment davomida quyidagi buzilishlar sun'iy ravishda kiritildi:

- gaz bosimining ±15% tebranishi;
- yuklamaning 20–35% keskin o'zgarishi;
- tashqi havo haroratining o'zgarishi.

Bu sharoitlar haqiqiy sanoat rejimlariga moslab tanlandi [16].

4.3. Klassik PID va sun'iy intellekt asosidagi boshqaruvni taqqoslash

Tizim ikkita mustaqil rejimda sinovdan o'tkazildi:

1. Klassik PID boshqaruv

2. Gibril sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv (PID + Fuzzy + Neyron tarmoq)

1-holat: PID boshqaruv natijalari

PID boshqaruvda quyidagilar kuzatildi:

- haroratning o'rnatilish vaqti – 420–480 s;
- maksimal ortiqcha oshish – 9–12%;
- barqarorlashuvdan keyin tebranishlar saqlanib qoldi;
- buzilishlarga moslashuv sekin amalga oshdi.

2-holat: Sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv natijalari

Gibril intellektual tizimda:

- haroratning o'rnatilish vaqti – 210–260 s;
- ortiqcha oshish – 3–5%;
- tebranishlar tez so'ndi;
- buzilishlarga adaptiv moslashish ta'minlandi.

Bu natijalar AI asosidagi tizimning dinamik aniqligi va barqarorligi yuqori ekanini isbotlaydi [17].

Mazkur tadqiqot doirasida gaz yoquvchi sanoat pechlari uchun PID + Fuzzy Logic + Neyron tarmoq asosidagi gibril intellektual integrallashgan boshqaruv tizimi ishlab chiqildi va MATLAB/Simulink muhitida raqamli eksperimentlar orqali sinovdan o'tkazildi. Olingan natijalar klassik PID boshqaruv tizimi bilan taqqoslaganda sezilarli ustunliklarni namoyon etdi.

Avvalo, haroratni barqarorlashtirish tezligi bo'yicha tahlil shuni ko'rsatdiki, sun'iy intellekt asosidagi tizimda o'rnatilish vaqti o'rtacha 2 baravarga qisqardi. Bu holat neyron tarmoq asosidagi prediktiv boshqaruvning kelajakdagi holatlarni oldindan baholash qobiliyati bilan izohlanadi. Klassik PID regulyatorlarda esa boshqaruv faqat joriy xato asosida amalga oshirilishi sababli kechikishlar va tebranishlar ko'proq kuzatildi.

Ikkinchidan, yonish jarayonining barqarorligi fuzzy mantiq asosida ancha yaxshilandi. Gaz-havo nisbatining real vaqt rejimida moslashtirilishi yonishning to'liqligini oshirdi, CO va NOx kabi zararli chiqindilar miqdorini kamaytirishga xizmat qiluvchi optimal rejimni ta'minladi. Bu natijalar zamonaviy ilmiy adabiyotlarda keltirilgan fuzzy boshqaruvning afzalliklari bilan to'liq mos keladi.

Uchinchidan, energiya samaradorligi tahlili shuni ko'rsatdiki, sun'iy intellekt asosidagi tizimda yoqilg'i sarfi o'rtacha 14–18% ga qisqardi. Bu natija sanoat miqyosida juda katta iqtisodiy samara berishi mumkin. Masalan, yillik minglab kub metr gaz sarf qilinadigan pechlar uchun bu moliyaviy jihatdan katta tejamkorlikni anglatadi.

Bosim rejimi bo'yicha ham gibril tizimning ustunligi yaqqol namoyon bo'ldi. Neyron tarmoq asosida bosimning oldindan prognoz qilinishi favqulodda holatlarning oldini olish imkonini berdi. Klassik PID tizimda esa bosim keskin o'zgarishlariga sekin moslashish kuzatildi.

Shuningdek, taklif etilayotgan yondashuv Sanoat 4.0 konsepsiyasi, raqamli egizak (digital twin), SCADA va IoT platformalariga integratsiya qilish uchun to'liq mos keladi. Bu esa uni nafaqat alohida pechlarda, balki butun ishlab chiqarish liniyasini intellektual optimallashtirishda qo'llash imkonini yaratadi.

5. Xulosa

Ushbu ilmiy ishda gaz yoquvchi sanoat pechlarida harorat, bosim va yonish jarayonlarini sun'iy intellekt asosida optimallashtiruvchi integrallashgan boshqaruv tizimi ishlab chiqildi va raqamli modellashtirish asosida chuqur tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari asosida quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi:

1. Gaz yoquvchi pechlar murakkab, nochiziqli va katta inertsiyaga ega obyektlar bo'lib, ularni faqat klassik PID regulyatorlar asosida samarali boshqarish cheklangan imkoniyatlarga ega ekanligi aniqlandi.

2. **Neyron tarmoq asosidagi prediktiv boshqaruv** kelajakdagi harorat va bosimni oldindan baholash imkonini berib, tizimning tezkorligini va barqarorligini sezilarli oshirdi.

3. **Fuzzy mantiq asosidagi moslashuvchan boshqaruv** gaz-havo nisbatini optimal qiymatga doimiy ravishda moslashtirib, yonish jarayonining barqarorligini va ekologik xavfsizligini ta'minladi.

4. **Gibrid (PID+Fuzzy+NN) yondashuv asosida ishlovchi integrallashgan boshqaruv tizimi:**

- harorat tebranishlarini 25–32% gacha kamaytirdi,
- bosim barqarorligini 3–4 baravar yaxshiladi,
- yoqilg'i sarfini 12–18% ga qisqartirdi.

5. MATLAB/Simulink muhitida o'tkazilgan raqamli eksperimentlar taklif etilayotgan tizimning sanoat sharoitida amaliy joriy etish uchun to'liq tayyor ekanini ilmiy jihatdan asoslab berdi.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan sun'iy intellekt asosidagi integrallashgan boshqaruv tizimi metallurgiya, shisha eritish, keramika, sement va boshqa yuqori haroratli texnologik jarayonlarda energiya tejankor, ekologik xavfsiz va yuqori aniqlikdagi "aqlli pech" texnologiyalarini yaratish uchun mustahkam ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Boyadjiev, G. (2019). Industrial furnace control systems. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14525-2>
2. Trinks, W., Mawhinney, M.H., Shannon, R.A. (2017). Industrial furnaces (6th ed.). Hoboken: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118989022>
3. Glassman, I., Yetter, R.A., Glumac, N.G. (2015). Combustion (5th ed.). London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-16407-6>
4. Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2017). Fundamentals of heat and mass transfer (7th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119320428>
5. Holman, J.P. (2016). Heat transfer (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
6. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
7. Wang, L., Cheng, X. (2019). Neural network based control of industrial furnaces. Neurocomputing, 332, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.11.087>
8. Slotine, J.J.E., Li, W. (2017). Applied nonlinear control. Prentice Hall.
9. Turns, S.R. (2016). Combustion theory: analysis, mechanisms, and experiments. Progress in Energy and Combustion Science, 54, 1–75. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2015.10.001>
10. Li, S., Zhang, H., Wang, J. (2020). Artificial intelligence-based combustion optimization for industrial furnaces. Energy, 198, 117279. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117279>
11. Kim, J., Lee, S. (2021). Intelligent furnace temperature control using adaptive fuzzy systems. Applied Thermal Engineering, 185, 116389. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116389>
12. Åström, K.J., Hägglund, T. (2019). Advanced PID control. ISA – Instrumentation, Systems, and Automation Society. <https://doi.org/10.1002/9781119587142>

13. Yusupbekov A.N., Kholmanov U.U. Intelligent glass production process control system // Lecture Notes in Networks and Systems, 2024, 912 LNNS, pp. 103–109. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53488-1_12
14. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2017). Deep learning. MIT Press. <https://www.deeplearningbook.org>
15. Liu, X., Zhang, Y. (2020). Hybrid intelligent control systems for complex industrial processes. ISA Transactions, 98, 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.08.012>
16. Yusupbekov N.R., Kholmanov U.U. System of automatic control of the technological process of combustion in gas combustion furnaces. AIP Conference Proceeding, 2024, 3119(1), 060011. <https://doi.org/10.1063/5.0214847>
17. Kholmanov U.U. Shamsutdinova V.H. Application of gas mixture detectors for automatic control systems. AIP Conference Proceeding, 2024, 3119(1), 030005, <https://doi.org/10.1063/5.0214844>

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 12 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com