



BIOREAKTOR UCHUN NORAVSHAN ROSTLAGICHNING QOIDALAR BAZASINI ISHLAB CHIQUISH

G'iyosjon Mahmudov^[0000-0002-0915-9929]

Mahmudov G'.B. – Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti “Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish” kafedrasida dotsenti, texnika fanlari bo'yicha PhD, E_mail: mahmudov.giyos@mail.ru.

Annotatsiya. Ushbu maqolada murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonining parametrlari tahlil qilinib, rostlanuvchi parametrlar asosida noravshan rostlagich asosidagi intellektual boshqarish tizimi uchun shakllantirilgan qoidalar bazasi va uning asosiy tavsiflari keltirilgan. Bioreaktorni samarali boshqarish uchun shakllantirilgan qoidalar bazasi MATLAB muhitidagi Fuzzy logic Toolbox kutubxonasiidan foydalanib, Mamdaning algoritmi asosida bilimlar bazasi yaratilgan. Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayoniga ta'sir qiluvchi tashqi ta'sirlarning o'zgarishining noaniqligi sharoitida ishlab chiqilgan noravshan mantiqiy rostlagich bioreaktorning parametrlarini kerakli qiymatda stabil ushlab turishni amalga oshiradi va texnologik jarayon parametrlari o'zgariganda ham obyektning sifatli boshqarish imkonini beradi.

Kalit so'zlari: noravshan rostlagich, noravshan mantiq, mamdani algoritmi, intellektual boshqarish tizimi, bioreaktor, qoidalar bazasi.

Аннотация. В данной статье проанализированы параметры процесса бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд, а также представлена база правил и ее основные характеристики для интеллектуальной системы управления на основе нечеткого регулятора. База знаний была создана на основе алгоритма Мамдани с использованием библиотеки Fuzzy Logic Toolbox в среде MATLAB. Контроллер нечеткой логики, разработанный в условиях неопределенности изменения внешних воздействий, влияющих на процесс бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд, подлежащих обогащению в комплексе, поддерживает стабильные параметры биореактора на требуемом значении и при изменении параметров технологического процесса позволяет контролировать качество получаемой продукции.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, нечеткая логика, материальный алгоритм, интеллектуальная система управления, биореактор, база правил.

Annotation. This article analyzes the parameters of the process of bacterial oxidation of refractory gold-bearing sulfide ores, and also presents a rule base and its main characteristics for an intelligent control system based on a fuzzy controller. The knowledge base was created based on the Mamdani algorithm using the Fuzzy Logic Toolbox library in MATLAB. The fuzzy logic controller, developed under conditions of uncertainty of changes in external influences affecting the process of bacterial oxidation of gold-containing sulfide ores to be enriched in a complex, maintains stable parameters of the bioreactor at the required value and, when changing the parameters of the technological process, allows you to control the quality of the resulting product.

Key words: fuzzy controller, fuzzy logic, material algorithm, intelligent control system, bioreactor, rule base.

Kirish

Bugungi kunga kelib, murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini mavjud boshqarish tizimi aynan texnologik reglament asosida siqilgan havo sarfi orqali bioreaktordagi erigan kislorod konsentratsiyasini stabil ushlab turish uchun xizmat qiladi. Bu esa yuqori sifatli oksidlash imkonini bermaydi, chunki mavjud lokal avtomatik boshqarish tizimlari texnologik jarayonga ta'sir qiluvchi barcha omillarni, ularning o'zaro bog'liqligini va o'zgaruvchilarning noaniqligini hisobga olish imkoniyatiga ega emas [1]. Shuning uchun, bioreaktorning konstruktiv va texnologik xususiyatlarini hamda uning ishlash rejimlarini hisobga olgan holda bateriyali oksidlash jarayonining dinamik xarakteristikalarini tahlil qilish natijasida jarayonga ta'sir qiluvchi omillar aniqlandi. Qaralayotgan jarayonda sodir bo'ladigan turli xil noaniqliklarni hisobga



olgan holda yuqori sifatli noravshan rostlagichni qo'llash orqali intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish dolzarb muammolardan biri bo'lib qolmoqda. Ushbu muammolarni yechish noaniqlik sharoitida boshqarish obyektlarni noravshan rostlagich asosida qo'llash orqali intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish talab etilmoqda.

Usul va uslubiyatlar

Ishlab chiqilayotgan noravshan mantiqiy rostlagichining asosiy qismi qoidalar bazasi (bilimlar bazasi) hisoblanadi. Noravshan rostlagichini ishlab chiqishda asosan ikki turdagi algoritm asosida amalga oshiriladi. Bularga Mamdani va Takagi, Sugeno, Kang modeli kiradi [2]. Mamdani modelida noravshan qoidalar tarkibi lingvistik o'zgaruvchilari termi sifatida yoziladi. Takagi, Sugeno, Kang modelida esa noravshan qoidalar kirishlarni polinomial funksiya ko'rinishida shakllantiriladi. Shuning uchun, ko'plab tadqiqot ishlarini o'rganish mobaynida qoidalar bazasini shakllantirishda kam vaqt talab etilishini inobatga olib Mamdani modelidan foydalanish maqsadga muvofiq.

Yaratilgan termlar orqali qaralayotgan qiymatlar lingvistik o'zgaruvchining haqiqiylik darajasi deb yuritiladi. So'ngra kiruvchi o'zgaruvchilari kabi ko'rilayotgan xatolik signallarining o'zgarish oraliqlari aniqlanadi, ya'ni $[e_{min}, e_{max}]$, $[e_{min}, e_{max}]$, $[e_{min}, e_{max}]$ ifoda asosida kirish o'zgaruvchilarining joriy qiymatlari uchun $U_i[0, L_i - 1]$ yagona universal to'plam hisoblanadi, bu yerda L – tizimning har bir o'zgaruvchisi uchun $x_i, i = \overline{1, n}$ lingvistik o'zgaruvchilariga tegishli termlar qiymati hisoblanadi. Bunda universal to'plam $U = [0, 1]$ oralig'iga mos keluvchi qiymatlar to'plami hisoblanadi [3, 4].

Ishlab chiqilayotgan noravshan mantiqiy rostlagichning asosiy qismi qoidalar bazasi (bilimlar bazasi) hisoblanadi. Mamdani modeli orqali shakllantirilgan qoidalar bazasi "AGAR (IF)" (boshlang'ich vaziyat), "U HOLDA (THEN)" (javob reaksiyasi) shakli ko'rinishida lingvistik o'zgaruvchilari asosida ishlab chiqiladi. Bu esa noravshan mantiq asosida ishlab chiqilgan noravshan rostlagichning qoidasini ifodalaydi. Modeldagi "AGAR" qismi (zaruriy shartlar) noravshan mantiqiy amallarini bajarish uchun mo'ljallangan bo'lsa, modeldagi "U HOLDA" qismi esa (qaror, xulosa) noravshan rostlagichning chiqish signali uchun lingvistik qiymatning tegishlilik funksiyasini aniqlaydi. Noravshan rostlagichning chiqish signali, ya'ni xulosasini shakllantirish uchun boshqarish signalining har bir lingvistik qiymati uchun ishlab chiqilgan qoidalarning kamida bittasi mos bo'lib chiqadi. Har bir ishlab chiqilgan qoidaning "U HOLDA" qismi haqiqiylik qiymatining "AGAR" qismi bilan birlashtirilganda noravshan mantiqiy qaror qabul qilishning "minimaks" (Max-Min Inference) usuli ko'p holatlarda qo'llaniladi. Bunda cheklangan funksiyalardan "U HOLDA" qismining maksimal haqiqiylik qiymatiga ega bo'lgan tegishlilik funksiyasini ustma-ust qo'yish yo'li bilan tanlash amalga oshiriladi. Natijaviy funksiya qoidalar bazasining joriy vaqtdagi qiymatini aniqlaydi. Natijaviy tegishlilik funksiyasini shakllantirishi bilan qoidalar bazasini qayta ishlash tartibi noravshan rostlagich chiqish qiymatini hisoblash uchun mantiqiy yechimni taqdim etadi [5, 6].

Noravshan to'plamlar nazariyasi yordamida obyektlar va hodisalarni tavsiflashda ishlatiladigan noravshan va lingvistik o'zgaruvchilar tushunchalarini ko'rib chiqamiz.

Noravshan mantiqiy xulosalar mexanizmini ishlab chiqarish noravshan qoidalari to'plami shaklida tuzilgan bilimlar bazasiga asoslanadi:

AGAR \vec{x} bo'lsa A, U HOLDA z bo'ladi C

bu yerda, A va C – tegishlilik funksiyalari bilan belgilanadigan noravshan o'zgaruvchilar. E'tiborlisi shuki, A n-o'lchamli tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadi (\vec{x} vektorining n-kattaligi).

Noravshan mantiqiy xulosa ishlab chiqarilgan noravshan qoidalari to'plamidan olingan bilimlar bazasiga asoslanib, berilgan $\vec{x} = \vec{x}_0$ xulosaga muvofiq xulosani $z = z_0$ aniqlashga

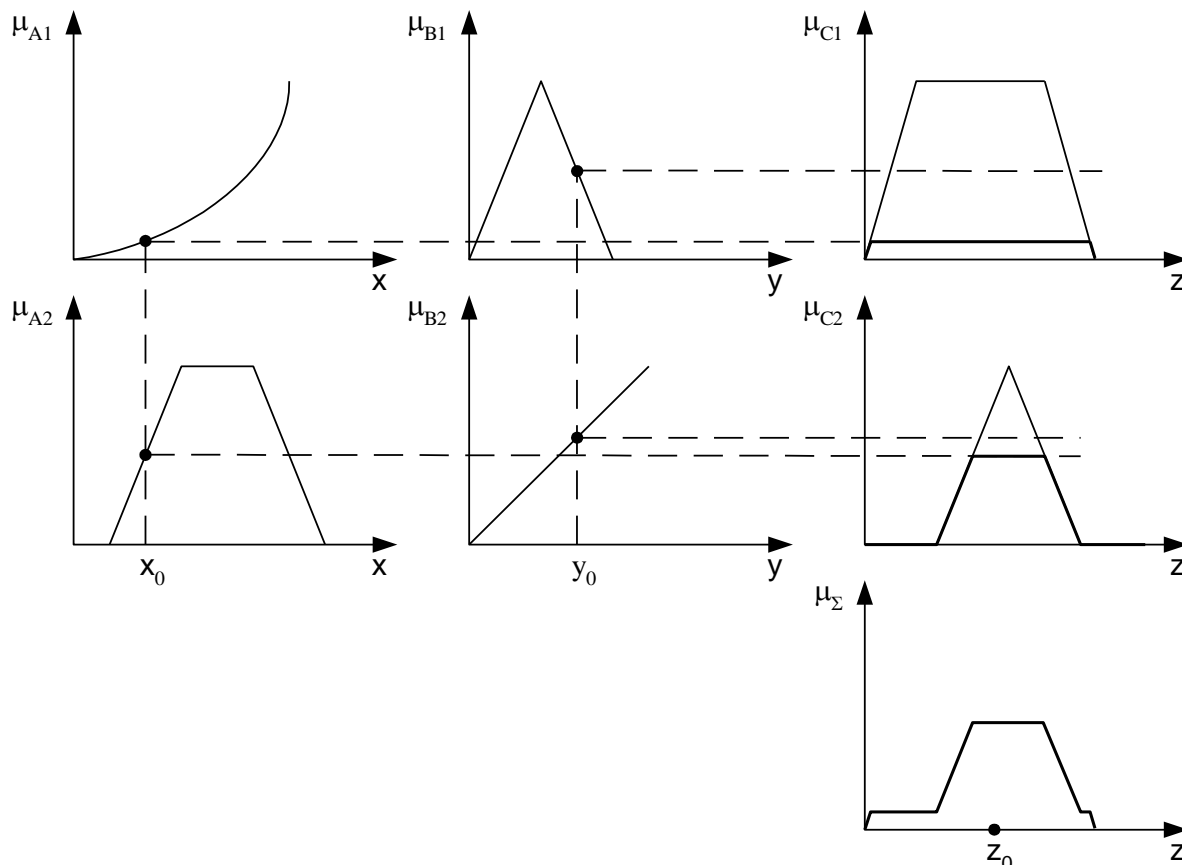


imkon beradigan algoritm hisoblanadi. Ba'zi funksiyalarning $z=f(x, y)$ qiymatlarini hisoblash misolida noravshan xulosa mexanizmini tasvirlangan. Aytaylik, bilimlar bazasi ikkita qoidadan iborat bo'lsa, u quyidagicha tavsiflanadi [7]:

AGAR x bo'lsa $A1$ VA y bo'lsa $B1$, U HOLDA z bo'ladi $C1$,

AGAR x bo'lsa $A2$ VA y bo'lsa $B2$, U HOLDA z bo'ladi $C2$,

bu yerda A_i , B_i , C_i – noravshan o'zgaruvchilar belgilangan x , y , z va mos ravishda tegishlilik funksiyalariga $\mu_{A_i}(x)$, $\mu_{B_i}(y)$ va $\mu_{C_i}(z)$ ega.



1-rasm. Mamdani algoritmi tavsifi

Mamdani algoritmi asosida tegishlilik funksiyalarining grafik shaklda ifodalanishi quyidagi 1-rasmda ko'rsatilgan [8, 9].

Agar UV o'lchangan o'zgaruvchi uchun A sinfiga tegishli UA bo'lsa, *YOKI* qoidasi qo'llaniladi va boshqa o'lchangan o'zgaruvchi uchun V sinfiga tegishli bo'lsa, keyin noravshan VA ikkita tegishlilik qiymatining maksimal qiymati sifatida olinadi.

Boshqarish obyektiga qo'yilayotgan sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash uchun yaratilayotgan noravshan rostlagichning strukturasi ishlab chiqiladi va uning sozlash parametrlarini tanlash masalasi yechiladi. Bu yerda boshqarish tizimi tarkibiga kiruvchi noravshan rostlagichni strukturaviy va parametrik sintezlash masalasini yechish talab etiladi.

Yuqorida ta'kidlangan muammolarni yechish uchun bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimini g'alayonli ta'sirlarini hisobga olgan holda noravshan-mantiqiy rostlagichni adaptatsiyalash yoki sozlashni amalga oshirish imkonini beruvchi noravshan rostlagichni qo'llash orqali intellektual boshqarish tizimlarini qurishda dissertatsiyaning oldingi bo'limlarida ishlab chiqilgan modellardan va algoritmlardan foydalanildi [10-12].

Bakteriyali oksidlash jarayonida foydalanilayotgan chizikli rostlagichlarni noravshan rostlagichlarga almashtirish uchun noravshan rostlagichlarni konstruksiyalash va loyihalash masalalari ko'rib chiqildi. Bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish uchun



qo'llanilayotgan noravshan rostlagichlarni konstruksiyalash va loyihalashning muhim bosqichlaridan biri – bu ishlab chiqilgan noravshan mantiqiy qoidalar bazasini o'rgatish jarayoni hisoblanadi.

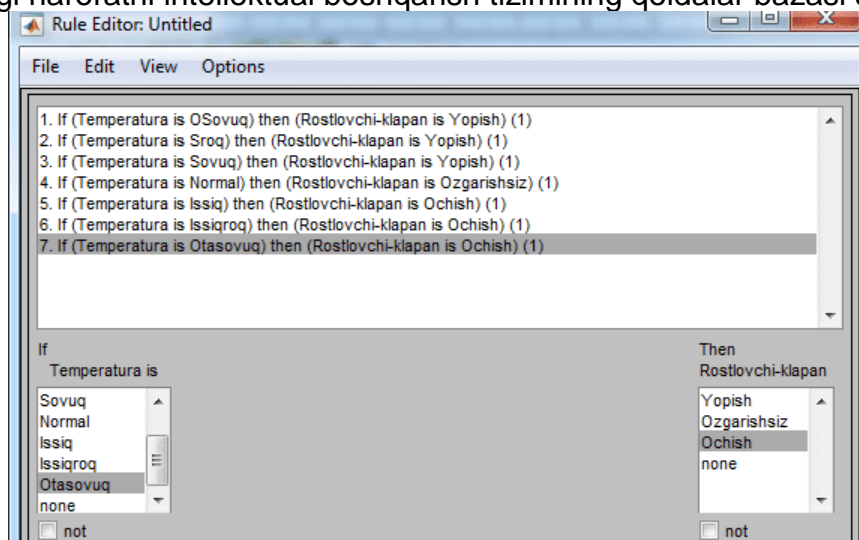
Bioreaktorda harorat rejimini boshqarishning qoidalar bazasi 1 - jadvalda keltirilgan. Bioreaktor haroratini boshqarishning shakllantirilgan qoidalar bazasi.

1 – jadval

Bioreaktor holati	Boshqarish qarori
bioreaktorning harorati yuqori va uning o'zgarish tezligi musbat	rostlagichni chap tomonga juda katta burchakka burib, "sovuq" rejimga o'tkazish
bioreaktorning harorati yuqori va uning o'zgarish tezligi manfiy	rostlagichni chap tomonga kichik burchakka burib, "sovuq" rejimga o'tkazish
bioreaktorning harorati iliq va uning o'zgarishi tezligi musbat	rostlagichni chap tomonga katta burchakka burib, "sovuq" rejimga o'tkazish
bioreaktorning harorati iliq va uning o'zgarish tezligi manfiy	sovutuvchi suv sarfini kamaytirish
bioreaktorning harorati juda sovuq bo'lsa va uning o'zgarish tezligi manfiy	Bioreaktorda bakteriya faol ishlashi uchun pH miqdorini stabil ushlab turish
bioreaktorning harorati juda sovuq va uning o'zgarish tezligi musbat	Bioreaktorda bakteriya faol ishlashi uchun OQP miqdorini stabil ushlab turish
bioreaktorning harorati sovuq va uning o'zgarish tezligi musbat	klapandan o'chiriladi
bioreaktorning harorati issiq va uning o'zgarish tezligi nolga teng	klapanni chapga burib, "sovuq" rejimga o'tkaziladi
bioreaktorning harorat iliq va uning o'zgarish tezligi nolga teng	unda rostlagichni chap tomonga kichik burchakka burib, "sovuq" rejimga o'tkazish
bioreaktorning harorati juda sovuq va uning o'zgarish tezligi nolga teng	rostlagichni o'ng tomonga katta burchakka burib, "iliq" rejimga o'tkazish kerak
bioreaktorning harorati normal chegaralarda va uning o'zgarish tezligi musbat	rostlagichni chap tomonga kichik burchakka burib, "sovuq" rejimini yoqish
bioreaktorning harorati normal chegaralarda va uning o'zgarish tezligi manfiy	klapanni o'ng tomonga kichik burchakka burib, "issiqlik" rejimini yoqish
bioreaktorning harorati normal chegaralarda va uning o'zgarish tezligi nolga teng	klapanni yopib qo'yish



Bioreaktorni intellektual boshqarish tizimi ishlab chiqishda noravshan rostlagichni qo'llash va uni ishlashi uchun qoidalar bazasini shakllantirish maqsadga muvofiq bo'lib, buning uchun MATLAB dasturiy paketidagi SIMULINK kutubxonasidan foydalanib [13-16], quyida keltirilgan bioreaktorni boshqarishning noravshan rostlagich asosidagi intellektual boshqarish tizimi qurildi. Ushbu qurilgan strukturaviy sxemada obyekt sifatida bakteriyali oksidlash jarayonida qo'llanilayotgan bioreaktor olindi. Quyida berilgan 2–rasmda bioreaktordagi haroratni intellektual boshqarish tizimining qoidalar bazasi shakllantirildi.



2-rasm. Bioreaktorni intellektual boshqarish tizimini uchun ishlab chiqilgan qoidalar bazasi.

Ushbu ma'lumotlar noravshan xulosalash tizimining qoidalar bazasini shakllantirish uchun xizmat qilib noravshan boshqarish tizimining xotirasiga yoziladi va boshqarish jarayonida qo'llaniladi.

Xulosa

O'tkazilgan imitatsion modellashtirish natijalariga ko'ra, murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayoniga ta'sir qiluvchi tashqi ta'sirlarning o'zgarishining noaniqligi sharoitida ishlab chiqilgan noravshan mantiqiy rostlagich bioreaktor haroratini kerakli qiymatda stabil ushlab turishni amalga oshiradi va texnologik jarayon parametrlari o'zgarganda ham obyektning sifatli boshqarish imkonini beradi. Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonining parametrlari tahlil qilinib, rostlanuvchi parametrlar asosida noravshan rostlagich asosidagi intellektual boshqarish tizimi uchun shakllantirilgan qoidalar bazasi va uning asosiy tavsiflari keltirilgan. Bioreaktorni samarali boshqarish uchun shakllantirilgan qoidalar bazasi MATLAB muhitidagi Fuzzy logic Toolbox kutubxonasidan foydalanib, Mamdaning algoritmi asosida bilimlar bazasi yaratilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1.] Ботиров Т. В. и др. Разработка программного обеспечения системы нечеткого управления для биореактора //WORLD OF SCIENCE. – 2023. – С. 18-20.
- [2.] Круглов, В.В. Сравнение алгоритмов Мамдани и Сугэно в задаче аппроксимации функции // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2003. – № 5. – С. 69-76.
- [3.] Юсупбеков Н. Р. и др. Ноаниқ мантиқ асосида интеллектуал бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш // Журнал достижений в области инженерных технологий. – 2020. – №. 2. – С. 20-25.



- [4.] Соловьев В.А., Косицын В.Г., Черный С.П., Иванкова Е.П. Оптимизация распределения функций принадлежности при синтезе нечёткого регулятора для систем управления тепловыми процессами // Информатика и системы управления, 2003, №1. – С. 73-82.
- [5.] Jumaev O. et al. Development of a digital signal processing model using a frequency synthesizer and synthesis of quadrature conversion circuits //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 419. – С. 01003.
- [6.] Жумаев О. А., Махмудов Г. Б., Маждова Р. Б. Применения нечеткого контроллера для управления процесса выщелачивания золота из продуктов бактериального вскрытия //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2022. – №. 1. – С. 5-9.
- [7.] Махмудов Г. Б., Саидова А. Х., Мохилова Н. Т. Моделирование нечеткой логики для управления процессом бактериального окисления концентратов в реакторах с мешалкой //Современные инновации, системы и технологии. – 2022. – Т. 2. – №. 2. – С. 0201-0214.
- [8.] Эшмуродов, З. О., Арзиев, Э. И., Исмоилов, М. Т., Махмудов, Г. Б., & Саидова, Ф. А. (2019). Модернизация систем управления электроприводов шахтных подъемных машин.
- [9.] Махмудов Г. Б. и др. Исследование интеллектуальные системы управления на основе нечеткого логика //E Conference Zone. – 2022. – С. 302-308.
- [10.]Жумаев О. А., Ковалева И. Л., Махмудов Г. Б. Управление температурным режимом процесса бактериального окисления на основе нечеткой логики //Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – №. 2. – С. 42-47.
- [11.]Dombi J., Hussain A. A new approach to fuzzy control using the distending function // Journal of Process Control. – 2020. – Т. 86, - pp. 16-29.
- [12.]Jumaev O. et al. Fuzzy-logic system for regulating the temperature regime of a bioreactor in the process of bacterial oxidation //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 525. – С. 05011.
- [13.]Махмудов Г. Б., Тухтамишова М. Регулирование температуры биореактора с использованием метода нечеткой системы //SCHOLAR. – 2023. – Т. 1. – №. 2. – С. 38-47.
- [14.]Mamirov U. F. Sustainable Algorithms For Synthesis Of Regulators In Adaptive Control Systems Of Parametrically Uncertain Objects //Chemical Technology, Control and Management. – 2019. – Т. 2019. – №. 4. – С. 126-132.
- [15.]Yusupbekov N. R., Igamberdiev H. Z., Mamirov U. F. Stable algorithms for adaptive control and adaptation of uncertain dynamic objects based on reference models //CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Т. 2965. – С. 296-302.
- [16.]Мухриддин То'лкин о'г И. и др. Technologik Jarayonlarda Lab View Dasturi Yordamida Haroratni O'lchash Natijalarini Kuzatish Va Signallash Usullarini Tadqiq Etish //Журнал открытий в области прикладных и естественных наук. – 2024. – Т. 2. – №. 2. – С. 7-14.