

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.T.03.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI**

MAHMUDOV G'YOSJON BAQOYEVICH

**MURAKKAB BOYITILADIGAN OLTIN TARKIBLI SULFIDLI
MADANLARNI BAKTERIYALI OKSIDLASH JARAYONINI
INTELLEKTUAL BOSHQARISH TIZIMLARINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.08 – Texnologik jarayonlarni va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish

**texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2023

Falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Mahmudov G‘iyosjon Baqoyevich

Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish3

Махмудов Гиёсжон Бакоевич

Разработка интеллектуальных систем управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд21

Makhmudov Giyosjon Bakoyevich

Development of intelligent control systems for the process of bacterial oxidation of refractory gold-bearing sulfide ores39

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works42

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.T.03.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI**

MAHMUDOV G'YOSJON BAQOYEVICH

**MURAKKAB BOYITILADIGAN OLTIN TARKIBLI SULFIDLI
MADANLARNI BAKTERIYALI OKSIDLASH JARAYONINI
INTELLEKTUAL BOSHQARISH TIZIMLARINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.08 – Texnologik jarayonlarni va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish

**texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2023

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.4.PhD/T3288 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tdtu.uz) hamda «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich**
texnika fanlari doktori, professor, O'zR. FA akademigi.

Rasmiy opponentlar: **Sevinov Jasur Usmonovich**
texnika fanlari doktori, professor

Xolmatov Davron Abdialimovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot: **Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.02 raqamli Ilmiy kengashning 2023 yil « 16 » 12 soat 11⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 246-46-00; faks: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (358 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 207-14-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil « 4 » 12 kuni tarqatildi.
(2023 yil « 6 » 11 dagi 26 raqamli reestr bayonnomasi).



F.T. Adilov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash rais o'rinbosari,
texnika fanlari doktori, professor

U.F. Mamirov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori, dotsent

X.Z. Igamberdiev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor, akademik

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda so‘nggi yillarda texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish sohasidagi dolzarb vazifalardan biri bu sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilaydigan intellektual boshqarish tizimlaridan foydalangan holda yuqori samarali boshqarish tizimlarini yaratish hamda kam energiya va resurs sarflagan holda yuqori sifatli mahsulotlar ishlab chiqarishga erishish hisoblanadi. Bu borada qator xorijiy mamlakatlarda muayyan muvaffaqiyatlarga erishilgan bo‘lib, ularda asosan texnologik obyektlarni boshqarish tizimlarini takomillashtirish, ishlab chiqish, mahsulotlarning raqobatbardoshligi va ishlab chiqarish samaradorligini ta‘minlash muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Jahonda murakkab oltin tarkibli sulfidli madanlarni qayta ishlash, yuqori sifatli nodir metallar olish texnologik jarayonlarini takomillashtirish, jumladan, bakteriyali oksidlash jarayonlarini intellektual boshqarish tizimlarini joriy etishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Xususan, oltin tarkibli sulfidli madanlarning bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarishning intellektual boshqarish tizimlarini yaratish, noravshan mantiqiy rostlagichning qoida bazasini shakllantirish, boshqarish tizimining algoritmi va strukturaviy sxemasini yaratishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Shunday qilib, oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarishning intellektual tizimlarini ishlab chiqish va joriy etish asosida boshqarish tizimlarini takomillashtirish dolzarb masala sifatida qaralmoqda.

Bugungi kunda respublikamiz iqtisodiyotining muhim tarmog‘i hisoblangan tog‘-kon sanoatida texnologik boyitish jarayonlarini energiya va resurslarni tejoychi boshqarishning zamonaviy tizimlarini yaratishga jiddiy e‘tibor qaratilmoqda. 2022-2026-yillarda O‘zbekistonni rivojlantirishning yangi strategiyasida “Sanoat tarmoqlarida yo‘qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish bo‘yicha ..., zamonaviy energiyatejamkor texnologiyalar, asbob-uskunalar va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini joriy etish, qayta tiklanuvchi energiya manbalari qurilmalarini ishlab chiqarish va energiya samaradorlikni oshirish bo‘yicha loyihalarni moliyalashtirish»¹ kabi vazifalari belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni bajarishda zamonaviy texnologik vositalardan foydalanib, murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini yaratishning ustuvor vazifalaridan hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 27- apreldagi PQ-3682-son «Innovatsion g‘oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida», 2018-yil 25- oktyabrdagi PQ-3983-son «O‘zbekiston Respublikasida kimyo sanoatini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida», 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265 son «Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida», 2021- yil 17-fevraldagi PQ-4996-son «Sun‘iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi Farmoni.

to‘g‘risida»gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalari rivojlantirishning IV. «Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish» ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish bilan bog‘liq ilmiy-texnik nashrlar tahlili ushbu sohada ma‘lum darajada nazariy va amaliy natijalarga erishilganligidan dalolat beradi. Bu borada jahonning yetakchi ilmiy markazlari, jumladan, Honeywell (AQSH), LIFE xalqaro laboratoriyasi, Mitsubishi Electric, Siemens (Germaniya), Wecan Agrotexservice (Janubiy Koreya) hamda oliy ta‘lim muassasalari: BISS (AQSH), Zigen Universiteti (Germaniya), Donguk universiteti (Janubiy Koreya) va Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida keng qamrovli ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini rivojiga ko‘plab xorijiy olimlar, jumladan, A.L.Zade², E.Mamdani³, M.Sugeno⁴, T.Takagi⁵, V.I.Vasilyev⁶, V.V.Kruglov⁷, R.A. Aliyev⁸ va boshqalar, hamda intellektual boshqarish tizimlarini yaratish va takomillashtirish bo‘yicha ilmiy muammolarni yechishga mamlakatimiz olimlaridan T.F.Bekmuratov⁹, Sh.M.Gulyamov¹⁰, X.Z.Igamberdiyev¹¹, A.R.Maraximov¹², F.T.Adilov¹³, D.P.Muhitdinov¹⁴, I.X.Siddikov¹⁵, N.R.Yusupbekov¹⁶ va boshqalar o‘zlarini katta hissalarini qo‘shganlar.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarishda noravshan rostlagichlarini qo‘llash, nazorat va boshqarish uchun me‘yoriy bo‘lgan chiqish signallarini olish, intellektual boshqarish tizimlarini tadqiq qilish,

²Л.А. Заде Нечеткие множества, нечеткие системы и мягкие вычисления, 2015, том 10, выпуск 1, С. 7-22.

³Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – No. 7. – P. 1–13.

⁴Terano, Toshiro, Kiyoji Asai, and Michio Sugeno, eds. *Applied fuzzy systems*. Academic Press, 2014. R. 314.

⁵Takagi T., Sugeno M. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control // IEEE Trans. Systems Man Cybernet. – 1985. – Vol. 15, No. 116. – P. 116–132.

⁶Василев В.И. Интеллектуальные системы управления: теория и практика. – Уфа: УГАТУ, 2007. – С. 254-288.

⁷Круглов В.В. Сравнение алгоритмов Mamdani и Sugeno в задаче аппроксимации функции / В.В. Круглов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2003. – № 5 – С. 69-76.

⁸Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем. Учебное пособие для ВУЗов по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления». Баку: Чашыоглы. –2001. – С.720.

⁹Бекмуратов Т.Ф., Дадабаева Р.А. (2016). Концепция построения стратегических систем поддержки принятия решений // Проблемы информатики, (2 (31)), С. 3-12.

¹⁰Gulyamov Sh.M. Intelligent control technology, the reliability of the measuring information // Chemical Technology, Control and Management. №3. – 2018. – pp.128-131..

¹¹Игамбердиев Х.З., Севинов Ж.У., Зарипов О.О. Регулярные методы и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями. - Т.: ТашГТУ, 2014. - 160 с.

¹²Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сидиков И.Х. Нечетко множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. –Т.: ТашГТУ, 2014 – 240 с.

¹³Yusupbekov N.R., Abdurasulov F.R., Adilov F.T., Ivanyan A.I. Application of cloud technologies for optimization of complex processes of industrial enterprises // Advances in Intelligent Systems and Computing 896. – 2018. – pp.852-858.

¹⁴Yusupbekov N.R., Mukhidinov D.R., Sattarov O.U., Boybutayev S.B. Construction of a Neural Network Using an Approach to a Genetic Algorithm // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India, Vol.6, June 20199. – pp.9837-9841.

¹⁵Isamidin S., Mamasodikova N., Rayimjanova O., Khalmatov D., Mirzaaxmedova X. Algorithms for synthesis of a fuzzy control system chemical reactor temperature. (2021). pp. 64-68.

¹⁶N.R. Yusupbekov, R.A. Aliev, R.R. Aliev, A.N. Yusupbekov “Boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilish”, “O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi” Davlat ilmiy nashriyoti. Toshkent – 2015 y. 18-32 b.

bakteriyali oksidlash jarayonini modellashtirish, noravshan rostlagichga asoslangan boshqarish tizimining strukturaviy sxemasini takomillashtirish, boshqarish algoritmini ishlab chiqish, noravshan rostlagichni dasturiy ta'minotini ishlab chiqish va amaliyotga joriy qilish masalalari yetarli darajada o'rganilmagan. Shu munosabat bilan murakkab boyatiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini zamonaviy intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish va yanada takomillashtirish zaruriyati tug'iladi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarning «NKMK ning markaziy kon boshqarmasidagi 5-va 7-son metallurgiya zavodlarida raqamli texnologiyalar asosida texnologik jarayonlarni intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish» (2020-2021) mavzusidagi 11/2021-E-sonli xo'jalik shartnomasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi noaniqliklar sharoitida murakkab boyatiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

murakkab boyatiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini avtomatlashtirish talablari bilan bog'liq holda intellektual boshqarish tizimlarini tizimli tahlil qilish;

murakkab boyatiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonining matematik modelini ishlab chiqish;

oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimlari uchun noravshan rostlagichning ilmiy-uslubiy asoslarini shakllantirish;

bioreaktordagi haroratni rostlashda uchburchakli tegishlilik funksiyasini qo'llash orqali noravshan mantiqiy rostlagichning imitatsion modelini ishlab chiqish;

oltin tarkibli sulfidli ma'danlarni bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimi uchun noravshan mantiqiy rostlagichining fazzifikatsiyalash va defazzifikatsiyalash tarkibiy bloklari va qoidalar bazasini shakllantirish;

noravshan rostlagichning imitatsion modellari va tarkibiy elementlarining funksional strukturaviy sintezi asosida boshqarish algoritmlari va strukturaviy sxemasi ishlab chiqish.

Tadqiqotning obykti murakkab boyatiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonining boshqarish tizimi olingan.

Tadqiqotning predmeti murakkab boyatiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarining strukturaviy sxemalari va ishlash algoritmlaridan iborat.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishida tizimli tahlil, zamonaviy avtomatik boshqarish nazariyasi, matematik va imitatsion modellashtirish, tajriba natijalarini qayta ishlash, kompyuterli dasturlash va intellektual boshqarish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

sovituvchi suv sarfining bioreaktordagi haroratga bog'liqligi asosida murakkab boyatiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonining matematik modeli ishlab chiqilgan;

dastlabki ma'lumotlarning noravshanligi sharoitida bioreaktordagi haroratni rostdashda uchburchakli tegishlilik funksiyasini qo'llash orqali noravshan-mantiqiy rostlagichning imitatsion modeli ishlab chiqilgan;

oltin tarkibli sulfidli ma'danlarni bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimi uchun noravshan rostlagichining fazzifikatsiyalash va defazzifikatsiyalash bloklari va kiruvchi lingvistik o'zgaruvchilardan foydalanib, Mamdani algoritmi asosida qoidalar bazasi shakllantirilgan;

bioreaktorlar tizimini samarali boshqarish imkonini beruvchi noravshan rostlagichining imitatsion modellari va tarkibiy elementlarining funksional strukturaviy sintezi asosida intellektual boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

noravshan rostlagichini strukturaviy-parametrik sintezlash asosida bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish algoritmlari ishlab chiqilgan va tatbiq etilgan;

noravshan rostlagichining strukturaviy-parametrik sintezlash asosida bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimi ishlab chiqilgan;

bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimini noravshan rostlagichining boshqaruv algoritmlari va dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan;

bakteriyali oksidlashning texnologik jarayonini WinCC dasturi va TIA PORTAL muhitida vizuallashtirish amalga oshirilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqotning nazariy va amaliy natijalarining ishonchliligi ma'lumotlarning noaniqligi sharoitida bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish konsepsiyasining nazariy asoslanganligi, taklif etiladigan intellektual boshqarish tizimlarining modellari va algoritmlari belgilangan darajada mosligi, nazariy va amaliy tadqiqotlardan olingan natijalar va ularning o'zaro mosligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ma'lumotlarning noaniqliligi sharoitida bioreaktordagi pulpa harorati va sovituvchi suv sarfini rostdash tizimining ishlab chiqilgan matematik modellari orqali rostdashning sifat ko'rsatkichlarini oshirish imkonini berishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli ma'danlarni bakteriyali oksidlash jarayonining statik va dinamik tavsiflarini hisobga olgan holda bioreaktorni boshqarish uchun takomillashtirilgan noravshan-mantiqiy rostlagichini sintezlashning matematik va algoritmik ta'minotini yaratishda bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimini loyihalashning dasturiy vositasining ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish natijasida

dastlabki ma'lumotlarning noravshanligi sharoitida bioreaktordagi haroratni rostdashda noravshan-mantiqiy rostlagich asosidagi intellektual boshqarish tizimi Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJ ga tegishli 3-GMZ da joriy etilgan (Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJ ning 2023- yil 31-avgustdagi 01-01-05/1179-son ma'lumotnomasi). Natijada bakteriyali oksidlash jarayonini noaniqliklar sharoitida boshqarishning sifat ko'rsatkichlarining oshishiga imkon bergan.

noravshan rostlagichining imitatsion modellari va tarkibiy elementlarining funksional strukturaviy sintezi asosida intellektual boshqarish tizimining dasturiy ta'minoti Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJ ga tegishli 3-GMZ da joriy etilgan (Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJ ning 2023-yil 31-avgustdagi 01-01-05/1179-son ma'lumotnomasi). Natijada bakteriyali oksidlash jarayonining kirishidagi sovituvchi suv sarfini rostlash hisobiga bioreaktordagi harorat rejimlarini stabillashtirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqotlar natijalari 4 ta xalqaro, 7 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlar hamda ilmiy seminarlarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 21 ta ilmiy ish, shulardan 7 ta maqola O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan jurnallarda, (jumladan 3 tasi xorijiy va 4 tasi respublika jurnallarida) chop etilgan. Shuningdek, EHM lar uchun O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi tomonidan dasturiy mahsulotlarga 3 ta guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 114 betni tashkil qiladi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o'tkazilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obykti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnika rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi asoslangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimlarining zamonaviy holatini tahlili**» nomli birinchi bobida murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli ma'danlarni bakteriyali oksidlash jarayonining tavsifi, dastlabki ma'lumotlarning parametrik noaniqlilik sharoitida bakteriyali oksidlash jarayonining boshqarish xususiyatlari, bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish uchun mavjud rostlagichlarning tahlili, dissertatsiya ishining maqsadi va vazifalarining qo'yilishi keltirilgan.

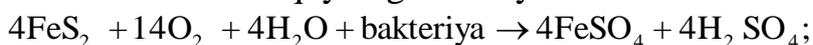
Bakteriyali oksidlash jarayoni ko'plab tashqi va ichki noaniq parametrlar ta'sirida bo'lib, jumladan jarayon dinamikasining murakkabligi, yetarli darajada adekvat matematik tavsifini olishning iloji yo'qligi, samarali boshqarish uchun zarur bo'lgan barcha parametrlarni to'g'ridan-to'g'ri o'lchashning imkoniyati mavjud bo'lmasligi bilan belgilanadi. Bunday hollarda butun tizimning turg'un va samarali ishlashini ta'minlashga imkon beruvchi noravshan rostlagich asosidagi intellektual boshqarish tizimiga murojaat qilish maqsadga muvofiqdir. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun tizim ishlaymay qolganda identifikatsiya signalining eng qisqa davomiyligi va amplitudasini tanlash hisobiga boshqarish sifatini oshirishga imkon beruvchi noravshan rostlagichli va parametrik noaniqliklarni kompensatsiya qilish bilan intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish talab etiladi. Bunda, murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli

madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlariga asoslangan holda boshqarish masalalarini yechishning turli xil mumkin bo'lgan yondashuvlarini ko'rib chiqish va amaliy foydalanish juda muhim hisoblanadi.

Dissertasiyaning «**Bakteriyali oksidlash jarayonining matematik modelini ishlab chiqish**» deb nomlangan ikkinchi bobi bakteriyali oksidlash jarayonining fizik-kimyoviy asoslari, jarayonni boshqarish uchun kirish va chiqish parametrlarini o'rganish va tadqiqot obyektining matematik modelini ishlab chiqishga bag'ishlangan.

Eksperimental ma'lumotlar chiziqli regressiyaga asoslangan bo'lib, bunda minimal standart xatoligini maqbul baholashga olib keladi. Bunda, xuddi shu model aniqligini qora quti modellariga nisbatan asosiy ma'lumotlar bilan tajribalar yordamida olish mumkin. Ushbu yondashuv bioreaktordagi ikki valentli temirning *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakteriya tomonidan uch valentli temirga oksidlanishini modellashtirish uchun ishlatiladi.

Bakteriyali oksidlash jarayonida pirit sulfat kislotasining hosil bo'lishi bilan temir sulfatgacha oksidlanadi va u quyidagi reaksiya bilan ifodalanadi:

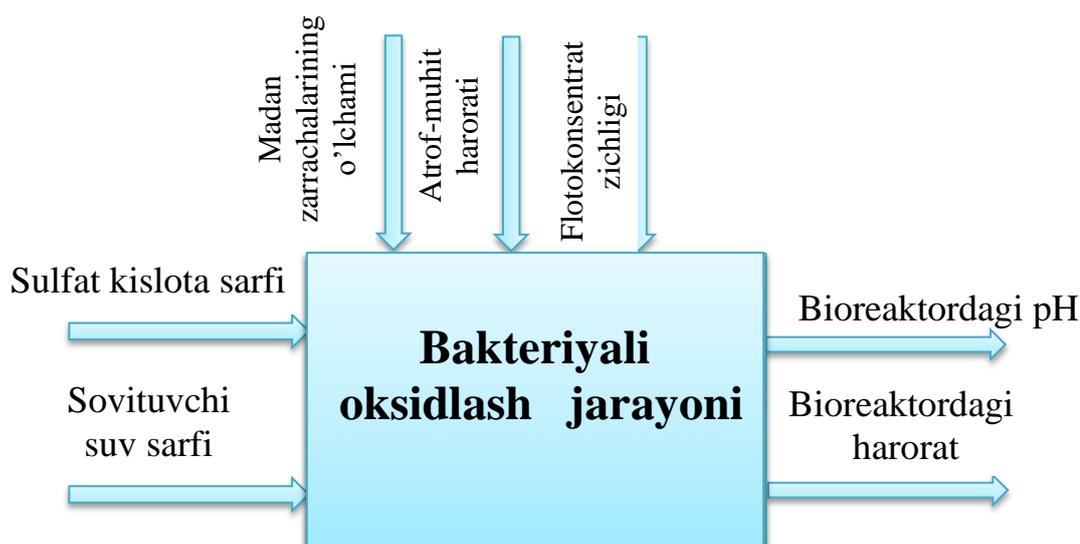


Bakteriyali oksidlash jarayonidagi uch valentli va ikki valentli temir ionlarini o'z ichiga olgan pulpaning oksidlanish-qaytarilish potentsiali $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ konsentratsiyalarining nisbati Nernst tenglamasiga ko'ra aniqlanadi:

$$E_h = E^0 + \frac{R \cdot T \cdot \ln 10}{n \cdot F} \log \frac{\{Fe^{3+}\}}{Fe^{2+}},$$

bu yerda, R – universal gaz doimiysi, F – Faradey doimiysi, E^0 – standart muvozanat potentsiali, n – zaryadlangan zarrachalar soni.

Bakteriyali oksidlash jarayonini tadqiq qilish asosida jarayonni intellektual boshqarish uchun ahamiyatli bo'lgan parametrlar aniqlanib olindi va uning 1-rasmda keltirilgan axborot-konseptual modeli ishlab chiqildi.



1-rasm. Bakteriyali oksidlash jarayonining axborot-konseptual modeli.

Bakteriyali oksidlash jarayonini tavsiflovchi asosiy ko'rsatkichlar sifatida quyidagi o'zgaruvchilar aniqlandi:

- boshqarish parametrlari – $U = \{U_{sks}, U_{sss}\}$, bu yerda, U_{sks} – sulfat kislota sarfi, U_{sss} – sovituvchi suv sarfi;

- chiqish parametrlari – $Y = \{T_B, Q_{pH}\}$, bu yerda, T_B – bioreaktorning harorati, Q_{pH} – bioreaktordagi pH ning miqdori;

- tashqi ta'sirlar – $F = \{f_{mzo}, f_{amh}, f_{fkz}\}$; bu yerda f_{mzo} – madanli zarrachalar o'lchamining o'zgarishi, f_{amh} – atrof-muhit haroratining o'zgarishi, f_{fkz} – flotakonsentrat zichligining o'zgarishi.

Bakteriyali oksidlash jarayonining ma'lumotlari va konseptual modelini nazariy to'plam shaklida quyidagicha yozish mumkin:

$$Z_{BOJ} = \{U, X, Y, F\}; \quad U = \{U_{sks}, U_{sss}\}; \quad Y = \{T_B, Q_{pH}\}; \quad F = \{f_{mzo}, f_{ssh}, f_{fkz}\}$$

Bakteriyali oksidlash jarayonining ishlab chiqilgan axborot-konseptual modeli yuqori samaradorlikka ega intellektual boshqarish tizimini ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Bioreaktorga atrof-muht harorati jarayonga ta'sir qilishini inobatga olib, haroratni o'zgarish tenglamasi quyidagicha tavsiflanadi:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\lambda_r \cdot XHV_B - KP(T_B - T_{AM})}{c\rho V_B} + Q_T$$

Bioreaktordagi substrat va bakteriya konsentratsiyalarining o'zgarishi tenglamasi quyidagi ko'rinishda ifodalandi:

$$\frac{dX}{dt} = \lambda_r X + Q_X, \quad \frac{dS}{dt} = -\frac{\lambda_r}{Y} \cdot X + Q_S.$$

Bioreaktordagi erigan kislorod konsentratsiyasining o'zgarish tenglamasi quyidagi ko'rinishda tavsiflandi:

$$\frac{dC}{dt} = K_L a(C - C_0) - q_{O_2} + Q_C,$$

bu yerda, dT – haroratning o'zgarishi, λ_r – bakteriyaning solishtirma o'sish tezligi, X – biomassa konsentratsiyasi, H – reaksiyaning umumiy issiqlik sig'imi, c – solishtirma issiqlik sig'imi, ρ – pulpa zichligi, V_B – bioreaktor hajmi, K – issiqlik uzatish koeffitsiyenti, T_B – bioreaktordagi harorat, T_{AM} – atrof-muhit harorati, P – issiqlik almashtirish yuzasi, Q_T, Q_X, Q_S, Q_C – harorat, biomassa, substrat va kislorod uchun taqsimlangan funksiyalar, Y – kinetik parametr, θ – vaqt doimiysi, $K_L a$ – issiqlik uzatishning hajmiy koeffitsiyenti, q_{O_2} – bakteriyani solishtirma kislorod iste'moli, S – erigan kislorod konsentratsiyasi.

Boshlang'ich sharoitda $T(0)=T_0, S(0)=S_0, X(0)=X_0, C(0)=C_0, \lambda_m(0)=\lambda_{m0}$, bakteriyaning haqiqiy solishtirma o'sish tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_m^i SC}{(S + K_S)(C + K_K)},$$

bu yerda, K_S, K_K – substrat va kislorod uchun Mixaelis doimiysi.

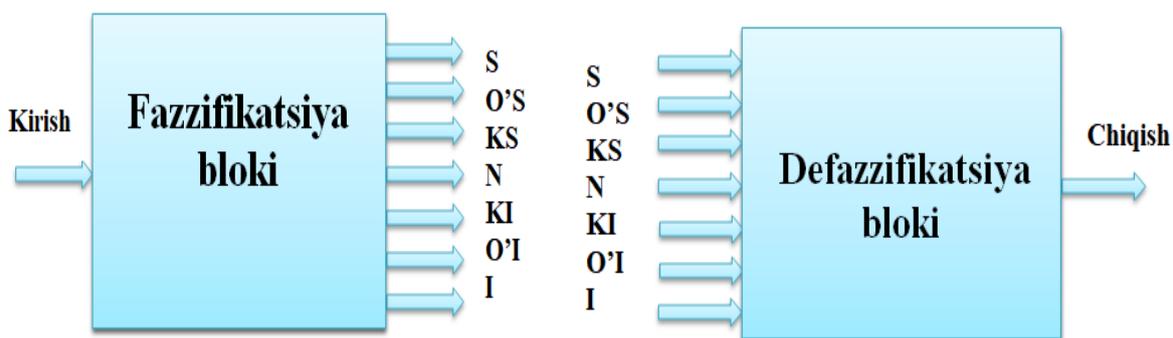
Arrenius tenglamasiga ko'ra bakteriyaning maksimal solishtirma o'sishi, suyuq fazada erigan kislorodning to'yinganlik konsentratsiyasi haroratga bog'liqlik ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\lambda_m(T) = A_1 \exp(-E_1 / RT) - A_2 \exp(-E_2 / RT),$$

bu yerda, E_1, E_2 – bakteriyaning energiyasi, A_1, A_2 – eksponensial ko'paytuvchilar.

kiruvchi va chiquvchi o'zgaruvchilari orasidagi miqdoriy nisbatlarni o'rnatish, qaralayotgan jarayonni intellektual boshqarish tizimini ishlab chiqish uchun obyektning tadqiq qilish imkonini beradi.

Dissertatsiyaning «**Bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish uchun noravshan rostlagichni ishlab chiqish**» deb nomlangan uchinchi bobida noravshan rostlagich (NR) larni konstruksiyalashning nazariy asoslarini tavsifi, noravshan mantiq (NM) ga asoslangan NR ni ishlab chiqish, fazzifikatsiya bloki (FB) (3-rasm), defazzifikatsiya bloki (DFB) (4-rasm) va NR ning qoidalar bazasi (QB) ni shakllantirish, NR ni modellashtirish va sozlash natijalari keltirilgan.



3-rasm. FB ning strukturaviy sxemasi 4-rasm. DFB ning strukturaviy sxemasi

Bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish masalalariga nisbatan NR larni qurish tamoyillarini tahlil qilishda NM dan foydalanish texnologik jarayonlarni boshqarish uchun lingvistik o'zgaruvchilar (LO') dan foydalanishga imkon beradi, bu esa bakteriyalarning faolligi hamda jarayonning parametrlarini rostlashda an'anaviy qonunlarni amalga oshirmaydi. NR juda keng doiradagi g'alayonlarga kam sezgirlikda bo'ladi va an'anaviy rostlagichlarga nisbatan yaxshiroq xarakteristikalarini namoyish etadi.

NR ni ishlab chiqish uchun U – universal to'plam, noravshan to'plam X , TF lari $\mu_x(x)$ ifodalashni amalga oshirish kerak. Bu yerda noravshan to'plam $X = \{\mu_x(x)\}$, tarkibida TF kiritiladi. Noravshan o'zgaruvchilarning rasmiy tavsifi quyidagi formula ko'rinishida ifodalandi:

$$\langle L, T, D, G, M \rangle$$

bu yerda, $T - D$ sohadagi LO' ning qiymatlari to'plami bilan belgilangan, L – LO' larining nomlanishi, D – aniqlanish sohasi, $G - T$ term-to'plam elementlari bilan ishlashga, xususan, yangi mazmunli qoidalarni yaratishga imkon beradigan qoidalar to'plami grammatikasi, M – yangi qiymatda TF ni hisoblash qoidalari G ni amalga oshiradigan semantik o'zgaruvchidir.

Noravshan to'plam universal to'plam elementlarining ma'lum darajada kichik to'plamga tegishli bo'lishiga imkon beradigan aniq to'plamdan olingan. Noravshan to'plam quyida berilgan tenglama bilan tavsiflanadi.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]\}$$

bu yerda, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ - x nuqtaga nisbatan tegishlilik darajasi.

Fazzifikatsiyalash blokida kiruvchi x signalni salbiy (S), o'rtacha salbiy (O'S), kichik salbiy (KS), normal (N), kichik ijobiy (KI), o'rtacha ijobiy (O'I),

ijobiy (I) lingvistik o'zgaruvchilariga ajratildi. Har bir kiruvchi va chiquvchi LO' lar 7 ta termdan $T_x = \{T_e, T_{de/dt}, T_u\}$ tashkil topgan:

$$T_x = \{ "S", "O'S", "KS", "N", "KI", "O'I", "I" \}$$

Kirish o'zgaruvchilarining har biri TF ga ega uchta termga ega bo'ladi va bitta chiqishda beshta term mavjud:

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{agar } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{agar } a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{agar } b \leq x \leq c; \\ 0, & \text{agar } c \leq x. \end{cases}$$

bu yerda, a, b, c – TF ning parametrlari, x – kirish parametrining qiymati.

Kirish xatoligi va uning o'zgarishi hamda boshqaruvchi ta'siri u mos qiymati FB dan keyin LO' ga o'zgartirilib, quyidagicha tavsiflandi:

$$e = \left[\frac{\mu_{S_e}(e)}{S_e}, \frac{\mu_{O'S_e}(e)}{O'S_e}, \frac{\mu_{KS_e}(e)}{KS_e}, \frac{\mu_{N_e}(e)}{N_e}, \frac{\mu_{KI_e}(e)}{KI_e}, \frac{\mu_{O'I_e}(e)}{O'I_e}, \frac{\mu_{I_e}(e)}{I_e} \right]$$

$$\frac{de}{dt} = \left[\frac{\mu_{S_{de/dt}}(\dot{e})}{S_{de/dt}}, \frac{\mu_{O'S_{de/dt}}(\dot{e})}{O'S_{de/dt}}, \frac{\mu_{KS_{de/dt}}(\dot{e})}{KS_{de/dt}}, \frac{\mu_{N_{de/dt}}(\dot{e})}{N_{de/dt}}, \frac{\mu_{KI_{de/dt}}(\dot{e})}{KI_{de/dt}}, \frac{\mu_{O'I_{de/dt}}(\dot{e})}{O'I_{de/dt}}, \frac{\mu_{I_{de/dt}}(\dot{e})}{I_{de/dt}} \right]$$

$$u = \left[\frac{\mu_{S_u}(u)}{S_u}, \frac{\mu_{O'S_u}(u)}{O'S_u}, \frac{\mu_{KS_u}(u)}{KS_u}, \frac{\mu_{N_u}(u)}{N_u}, \frac{\mu_{KI_u}(u)}{KI_u}, \frac{\mu_{O'I_u}(u)}{O'I_u}, \frac{\mu_{I_u}(u)}{I_u} \right]$$

bu yerda, e – kirish xatoligi, de – kirish xatoligining o'zgarishi, u – boshqaruvchi ta'siri, $\mu_{C_e}(e)$, $\mu_{C_{de/dt}}(\dot{e})$, $\mu_{C_u}(u)$ – kirish va chiqish parametrlarini TF.

DFB noravshan LO' larni o'ziga mos keladigan haqiqiy signalni ishlab chiqarish uchun birlashtiradi, undan keyin ba'zi harakatlarni bajarish uchun foydalanish mumkin. DFB da og'irlik markazi usuli asosida uzluksiz holatlar uchun quyida keltirilgan formula ishlatildi:

$$y_{D\Phi} = \frac{\int_{\min}^{\max} y \cdot \mu'(y) dy}{\int_{\min}^{\max} \mu'(y) dy},$$

bu yerda, min, max – noravshan to'plamni integrallash oralig'i.

DB da uzluksiz va diskret holatlarda og'irlik markazi usuli eng aniq usul ekanligi ko'rinib turibdi, ammo agarda tasodifiy g'alayonlarni filtrlash zarur bo'lganda esa, o'rtacha maksimum usulidan foydalanish maqsadga muvofiq.

NR da kirish $e = \text{«xatolik»}$ va boshqarish ta'siri $u = \text{«boshqarish»}$ LO' lari, uchburchakli turdagi 7 xil TF lari bilan ifodalangan holatlarni ko'rildi va matematik ifodalanishi quyidagi ko'rinishda keltirildi:

$$u_{PID} = u_p + K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt + \tau_D \frac{de(t)}{dt} \right\}.$$

Diskret operator tomonidan amalga oshirilgan o'zgartirish \tilde{f}_c ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\tilde{f}_c : \langle \hat{e}_1(k), \hat{e}_1(k) \hat{e}_1(k) \rangle \underline{Faz} \langle E_1, E_1, E_1, QB \rangle \underline{NX} \langle U \rangle \underline{Defaz} \langle \hat{u}(k) \rangle$$

NR ni sozlash va g'alayonli kanallari bo'ylab uzatish funksiyasining turli qiymatlari bo'yicha imitatsion modelida bir qator hisoblash tajribalari o'tkazilgan. Tajriba natijalari asosida bilimlar bazasi qoidalar to'plami tuzilib, noravshan mantiqiy xulosalar ishlab chiqilgan.

Proporsionallik koeffitsiyenti K_P uchun ishlab chiqilgan qoidalar bazasi quyidagi 1-jadvalda berilgan.

<i>de/dt</i>	<i>E</i>						
	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>O'I</i>	<i>I</i>
<i>S</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>O'I</i>	<i>O'I</i>	<i>KI</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
<i>O'S</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>O'I</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>N</i>	<i>KS</i>
<i>KS</i>	<i>O'I</i>	<i>O'I</i>	<i>O'I</i>	<i>KI</i>	<i>N</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>
<i>N</i>	<i>O'I</i>	<i>O'I</i>	<i>KI</i>	<i>N</i>	<i>KS</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>
<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>N</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>
<i>O'I</i>	<i>KI</i>	<i>N</i>	<i>KS</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>S</i>
<i>I</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>

Integrallash vaqti K_I uchun ishlab chiqilgan qoidalar bazasi quyidagi 2-jadvalda berilgan.

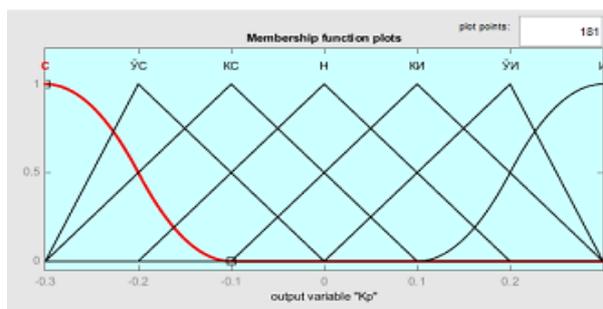
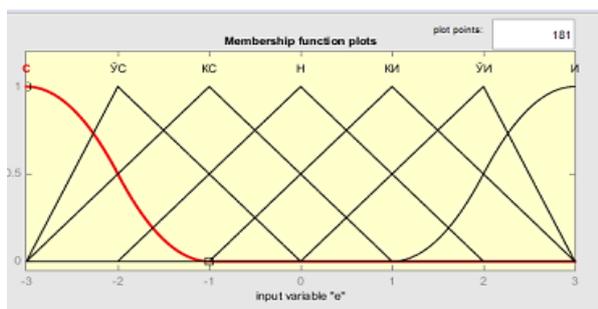
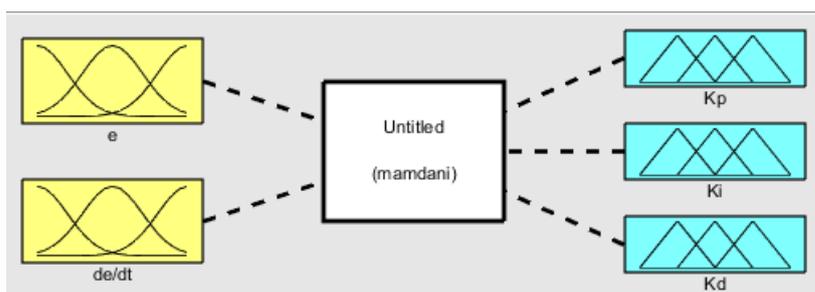
<i>de/dt</i>	<i>E</i>						
	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>O'I</i>	<i>I</i>
<i>S</i>	<i>KI</i>	<i>KS</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>KI</i>
<i>O'S</i>	<i>KI</i>	<i>KS</i>	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>
<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>KS</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>
<i>N</i>	<i>N</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>
<i>KI</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
<i>O'I</i>	<i>I</i>	<i>KS</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>I</i>
<i>I</i>	<i>I</i>	<i>O'I</i>	<i>O'I</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>I</i>

Differensiallash vaqti K_D uchun ishlab chiqilgan qoidalar bazasi quyidagi 3-jadvalda berilgan.

<i>de/dt</i>	<i>E</i>						
	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>O'I</i>	<i>I</i>
<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
<i>O'S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
<i>KS</i>	<i>S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>
<i>N</i>	<i>O'S</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>O'I</i>	<i>O'I</i>
<i>KI</i>	<i>O'S</i>	<i>KS</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>O'I</i>	<i>I</i>
<i>O'I</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>KI</i>	<i>O'I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
<i>I</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>KI</i>	<i>O'I</i>	<i>O'I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>

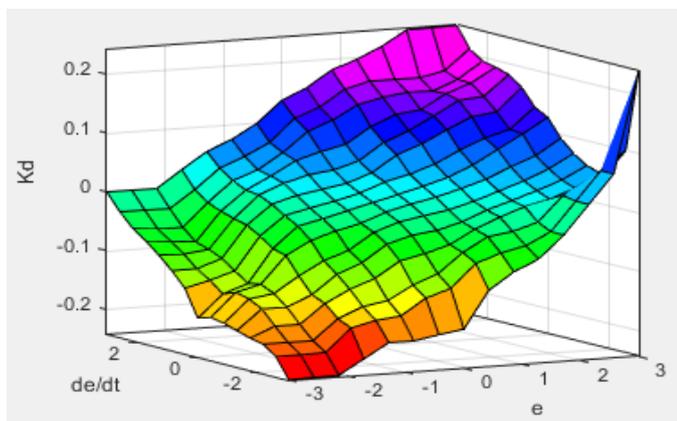
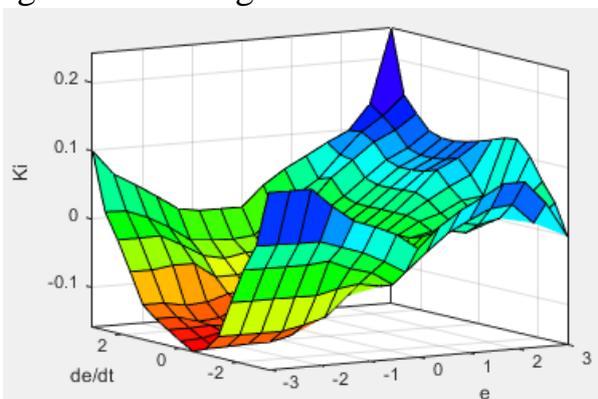
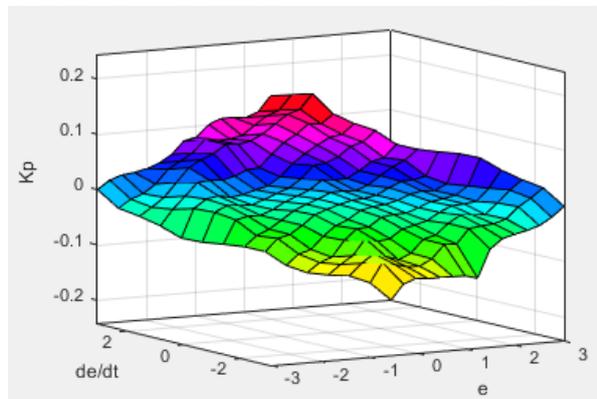
Texnolog-ekspertlar bilimlari asosida noravshan mantiqiy chiqishning 49 ta qoidasi shakllantirilgan bo'lib, kirish o'zgaruvchilari parametrlarining o'zgarishi bilan bog'liq. Bu esa noravshan mantiqiy xulosalar asosida PID-rostlagichining K_P , K_I , K_D koeffitsiyentlarining qiymatlarini aniqlash imkonini beradi. NR asosidagi

intellektual boshqarish tizimini modellashtirish uchun MATLAB muhitidagi Fuzzy Logic Toolbox kutubxonasidan foydalanildi (5-rasm).



5-rasm. Noravshan PID-rostlagichini MATLAB muhitida modellashtirish

Noravshan LO' larini ishlab chiqishda Mamdani modeli tanlandi. Kirish o'zgaruvchilari sifatida kirish xatoligi e va xatolikning o'zgarish de/dt , chiqish o'zgaruvchilari sifatida PID rostlagichining koeffitsiyentlari K_p , K_i , K_d *Edit, Add Variable, Input* va *Output* buyruqlari yordamida kiritildi va yettita LO' larining qiymatlar diapazoni qo'yildi. Ishlab chiqilgan NR ning qoidalar bazasi asosidagi noravshan xulosalarni ko'rinishi 6-rasmda grafiklari berilgan.



6-rasm. K_p , K_i , K_d uchun noravshan xulosalarni ko'rinishi

Olingan grafik ko‘rinishlar NR ning kirish o‘zgaruvchisining o‘zgarishi chiqish o‘zgaruvchisiga bog‘langanligini xarakterlaydi. O‘tkazilgan imitatsion eksperiment natijalari asosida, bakteriyali oksidlash jarayoniga ta’sir etayotgan tashqi muhitning o‘zgarishini noaniqligi sharoitida sintezlangan NR li ABT bioreaktor haroratini kerakli qiymatda stabil ushlab turishni ta’minlaydi hamda obyekt parametrlari keng diapazonda o‘zgarganda ham texnologik jarayonni sifatli boshqarish imkonini beradi.

Dissertatsiyaning «**Bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimini ishlab chiqish**» deb nomlangan to‘rtinchi bobida bakteriyali oksidlash jarayonida bioreaktorning harorat rejimini noravshan-mantiqiy rostdash tizimini modellashtirish, bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimining struktur sxemasini tuzish, bioreaktorni mantiqiy boshqarish tizimlari uchun TIA PORTAL muhitida dasturiy ta’minotini qo‘llash, SIEMENS PLC SIM muhitida noravshan PID-rostlagichi algoritmidan foydalanish natijalari keltirilgan.

Bioreaktorning dinamik xarakteristikalarini tahlil qilish asosida uning ishlash rejimi parametrlariga asosiy talablar ishlab chiqildi hamda boshqarish tizimi uchun NR takomillashtirildi. Boshqarish masalasiga ko‘ra asosiy rostlanuvchi kattalik sifatida bioreaktorning chiqishidagi biokekning harorati hamda kirishdagi sovituvchi suv sarfi olindi.

Qo‘yilgan masalani yechish uchun boshqarish obyektining modeli, uning kirish, chiqish parametrlari va g‘alayonli ta’sirlarni kiritish, bakteriyali oksidlash jarayonining borish sharoitini ifodalaydigan NM asosida qaror qabul qilish algoritmlarini tanlash, g‘alayonli ta’sirlar mavjudligida bioreaktorning harorat rejimini boshqarishning zaruriy sifat va sonli ko‘rsatkichlarini ta’minlovchi NR ni sintezlash orqali amalga oshirildi.

Eksperimental tajribalar asosida olingan ma’lumotlarga ko‘ra ahamiyatli bo‘lgan rostdash kanalining uzatish funksiyasi aniqlandi:

$$W_{22}(p) = \frac{0,98p + 0,1506}{p^2 + 0,13p + 0,045}.$$

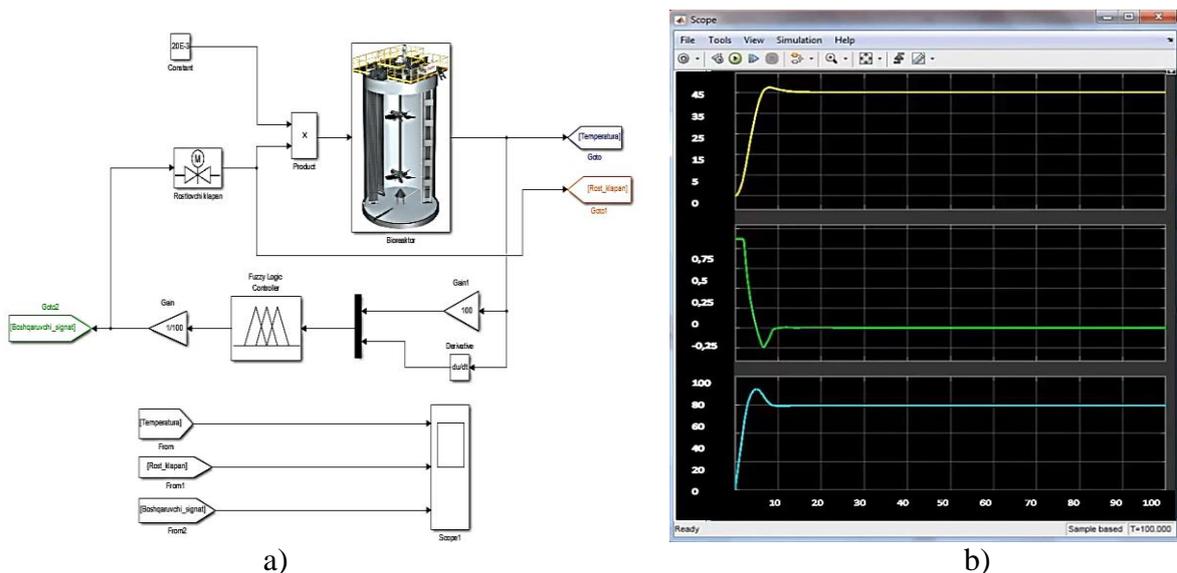
Bioreaktordagi haroratning o‘zgarishi sovituvchi suv kelayotgan truboprovodda o‘rnatilgan rostlovchi klapaning ochilish yoki yopilish darajasiga ko‘ra bog‘liq boshqarish tizimi yaratildi.

Bakteriyali oksidlash jarayonining harorati “o‘ta sovuq”, “sovuqroq”, “sovuq”, “normal”, “issiq”, “issiqroq” va “o‘ta issiq” LO‘ lari bilan belgilandi.

$$\langle \text{Harorat}, [0, 70], \mu_1(x)x, \mu_2(x)x, \mu_3(x)x, \mu_4(x)x, \mu_5(x)x, \mu_6(x)x, \mu_7(x)x, \rangle.$$

MATLAB muhitida noravshan rostlagichning strukturaviy sxemasi va bioreaktordagi harorat o‘zgarishi 7-rasmda keltirilgan.

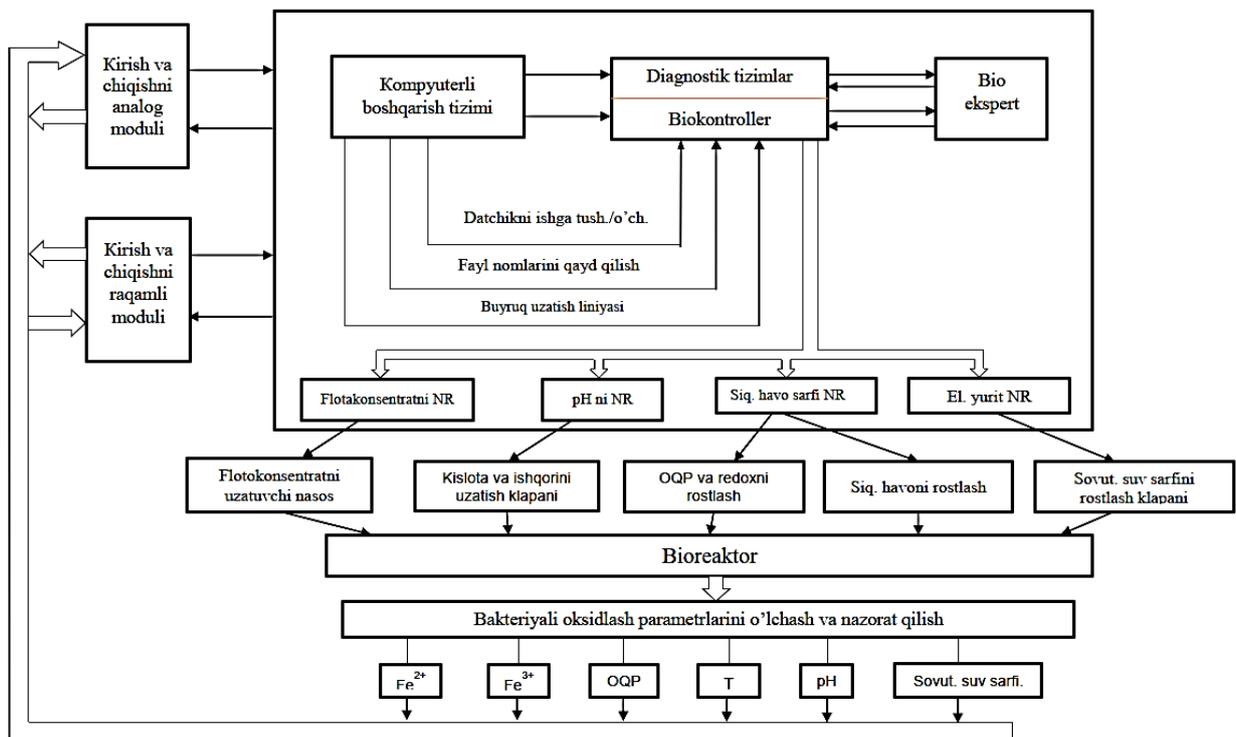
NR asosida ishlab chiqilgan boshqarish tizimi uchun SIEMENS S7-1500 turidagi DMK foydalanilib, bakteriyali oksidlash jarayonining parametrlarini avtomatik rostdashda noravshan PID-rostlagichi sifatida ishlatildi.



7-rasm. MatLAB muhitida noravshan rostlagichning strukturaviy sxemasi va bireaktordagi chiqish signalining o'zgarish grafigi (b)

Texnologik jarayonning borishi va monitoring qilishni WinCC dasturiy ta'minoti o'rnatilgan sanoat kompyuteri karta interfeysi orqali boshqarildi. Yaratilgan dasturning funksional blokida noravshan PID-rostlagichning parametrlarini o'rnatish va sozlash uchun algoritmlar tuzilib, dasturi mantiqiy elementlar orqali yaratildi. DMK ning markaziy protsessorida ma'lumotlar bloki, funktsiya bloki, konfiguratsiya vositalari va foydalanuvchi o'rtasida aloqa interfeysini hosil qiladi. Har bir yaratilgan dastur alohida ma'lumotlar blokida saqlandi.

Bioreaktorni intellektual boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi 8-rasmda keltirilgan.

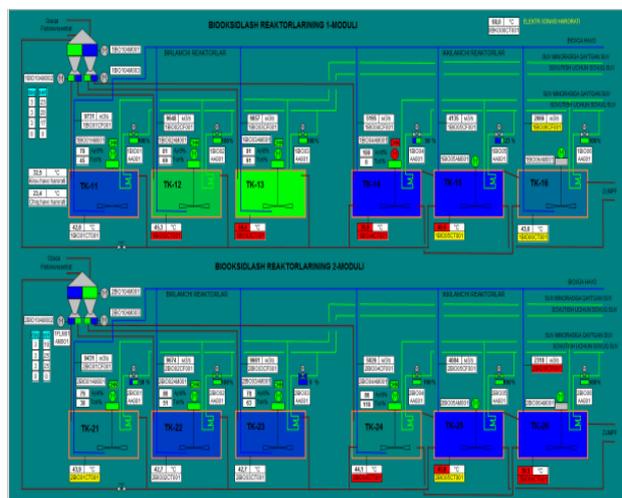


8-rasm. Bioreaktorni intellektual boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi.

Haroratni boshqarish paneli dastur yuklanadigan DMK ga ulangan. Siemens kontrollerlari uchun LAD dasturlash tilidan foydalanish, ba'zi shartlarni yaratish va bu dasturlash tili ba'zi qoidalar talab qiladi. Agar kerakli noravshan boshqarish grafigini diqqat bilan ko'rib chiqilsa, harorat uchun qiymatlar oralig'ini ko'rish mumkin.

No.	Time	Date	Text
3	4:57:48 PM	10/24/2022	Temperatura oshib ketdi
!	4:56:34 PM	10/24/2022	Temperatura tushib ketdi
!	4:54:58 PM	10/24/2022	Temperatura oshib ketdi
!	4:54:58 PM	10/24/2022	Temperatura tushib ketdi
!	4:54:55 PM	10/24/2022	Temperatura oshib ketdi
!	4:54:55 PM	10/24/2022	Temperatura tushib ketdi
!	4:54:35 PM	10/24/2022	Temperatura oshib ketdi
!	4:54:35 PM	10/24/2022	Temperatura tushib ketdi
\$	140000	4:54:35 PM	10/24/2022 Connection established: HMI_Connection_1, Station 19...
\$	110001	4:54:35 PM	10/24/2022 Change to operating mode 'online'.
\$	140001	4:35:42 PM	10/24/2022 Connection disconnected: HMI_Connection_1, Station 1...
!	3	4:30:19 PM	10/24/2022 Temperatura oshib ketdi
\$	140000	4:30:18 PM	10/24/2022 Connection established: HMI_Connection_1, Station 19...
\$	110001	4:30:18 PM	10/24/2022 Change to operating mode 'online'.
\$	270006	4:30:18 PM	10/24/2022 Project modified: Alarms cannot be restored from the p...

a)



b)

9-rasm. Jarayon holati haqidagi xabar berish trendi (a), HMI panelida monitoring qilish grafigi (b).

Bioreaktordagi haroratning keskin o'zgarishi haqidagi xabarni HMI KTP 700 basic PN touch paneliga chiqarish dasturi ishlab chiqilgan. Harorat o'zgarishi grafigi xabar sifatida ogohlantirish trendi yaratildi. Bakteriyali oksidlash jarayonida haroratning o'zgarishi jarayonda ishlayotgan bakteriya faolligiga o'z ta'sirini ko'rsatishi mumkinligini inobatga olib, uning qiymati o'rnatmadan keskin oshishi yoki kamayishi to'g'risidagi ma'lumotlarni HMI paneliga chiqarish operatorning samarali kuzatishini ta'minlaydi.

Taklif etilayotgan boshqarish tizimi joriy etilganda, korxonada standartlariga ko'ra, sovituvchi suv sarfi 4,3 % ga kamayishi hisobidan suv uzatuvchi nasoslarning buzilmay ishlash muddati yanada oshiriladi. Shuningdek, suv uzatuvchi nasoslar yuklama rejimida ishlamayotganligi sababli, ya'ni sovituvchi suv sarfiga ko'ra aylanish tezligi rostlangandan keyin elektr energiya sarfi tejalishi ta'minlanadi.

Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimi uchun noravshan rostlagichni qo'llash natijasida rostlashning sifat ko'rsatkichlarining yaxshilanishiga olib keldi.

XULOSA

Dissertatsiyada tizimli tahlil, zamonaviy avtomatik boshqarish nazariyasi, matematik va imitatsion modellashtirish, tajriba natijalarini qayta ishlash, kompyuterli dasturlash va intellektual boshqarish usullari asosida murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini intellektual boshqarish tizimlari ishlab chiqilgan. Tadqiqot davomida quyidagi ilmiy natijalarga erishildi:

1. Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli ma'danlarni bakteriyali oksidlash jarayonining matematik modeli ishlab chiqilgan. Ushbu model texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarish algoritmini tuzish imkonini beradi.
2. Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli ma'danlarni bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimining bir qismi sifatida noravshan rostlagichni tahlil qilish va sintez qilishning ilmiy-uslubiy asoslari shakllantirilgan.
3. Bioreaktordagi haroratni nazorat qilish uchun uchburchak tegishlilik funksiyasini qo'llash orqali noravshan mantiqiy rostlagichning imitatsion modeli ishlab chiqilgan. Natijada bioreaktordagi haroratni rostlashning sifat ko'rsatkichlari yaxshilangan.
4. Noravshan mantiqiy rostlagichning kiruvchi lingvistik o'zgaruvchilarning fazzifikatsiya va defazzifikatsiya bloklari yordamida oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimi ishlab chiqilgan va Mamdani algoritmi asosida qoidalar bazasi sintezlangan.
5. Ishlab chiqilgan boshqarish va nazorat qilish jarayonlari vizuallashtirilgan, bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimi uchun Siemens TIA PORTAL muhitida dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan. Natijada masofadan boshqarish va nazorat qilish ta'minlangan.
6. Simatic S7 kontrollerlari asosida noravshan PID rostlagichlarni sozlash uchun parametrlarini hisoblash algoritmlari ishlab chiqilgan. Natijada ushbu noravshan rostlagich koeffitsiyentlarini sozlash imkoniyatini beradi.
7. Murakkab boyitiladigan oltin tarkibli sulfidli madanlarni bakteriyali oksidlash jarayonining intellektual boshqarish tizimini strukturaviy-parametrik sintezi asosida metrologik va ishonchlilik ko'rsatkichlari yaxshilangan.
8. Bakteriyali oksidlash jarayonida bioreaktorning harorat rejimini noravshan mantiqiy rostlash tizimini modellashtirish orqali belgilangan haroratni barqarorlashtirish aniqligi 2,1 % ga oshirildi. Shuningdek, taklif etilayotgan boshqarish tizimi joriy etilganda, sovituvchi suv sarfi 4,3 % ga kamayishi hisobidan suv uzatuvchi nasoslarning buzilmay ishlash muddati va sovituvchi suv sarfiga ko'ra aylanish tezligi rostlangandan keyin elektr energiya sarfi tejalishi ta'minlanadi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

МАХМУДОВ ГИЁСЖОН БАКОЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ БАКТЕРИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ ТРУДНО-
ОБОГАТИМЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДНЫХ РУД**

**05.01.08 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей тестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2022.4.PhD/Г3288.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горно-технологическом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель: Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович
доктор технических наук, профессор, академик АН РУз.

Официальные оппоненты: Севинов Жасур Усмонович.
доктор технических наук, профессор
Холматов Даврон Абдиалимович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: Каршинский инженерно-экономический институт.

Защита диссертации состоится «16» 12 2023 года в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №358) (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Автореферат диссертации разослан «4» 12 2023 года.
(реестр протокола рассылки №26 от «6» 11 2023 года)



Ф.Т.Адилов
Заместитель председателя Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

У.Ф.Мамиров
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, доцент

Х.З.Нигамбердиев
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор, академик АН РУз.

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В последние годы в мире одной из актуальных задач в области автоматизации технологических процессов является создание высокоэффективных систем управления с использованием интеллектуальных систем, позволяющих повысить показатели качества и добиться выпуска продукции высокой кондиции с низкими энерго- и ресурсоёмкими затратами. В этой связи в ряде зарубежных стран достигнуты определённые успехи, в которых важное значение уделяется совершенствованию и развитию систем управления технологическими объектами, обеспечению конкурентоспособности конечной продукции и эффективности производства.

В мире проводятся научные исследования, направленные на переработку труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд, на совершенствование технологических процессов получения высококачественных редких металлов, в том числе внедрение интеллектуальных систем управления процессами бактериального окисления. В частности, особое внимание уделяется разработке интеллектуальных систем управления бактериальным окислением золотосодержащих сульфидных руд, формированию базы правил нечёткого логического регулятора, созданию алгоритма и структурной схемы системы управления. Таким образом, разработка и внедрение интеллектуальных систем управления процессом бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд является актуальными вопросами.

На сегодняшний день в горнодобывающей промышленности, которая считается важной отраслью экономики нашей республики, большое внимание уделяется созданию современных энерго- и ресурсосберегающих систем управления технологическими процессами обогащения. В новой Стратегии развития Узбекистана на период 2022-2026 годы, подчёркнута важность «Финансирования проектов по снижению потерь и повышению эффективности использования ресурсов в отраслях промышленности, внедрению современных энергосберегающих технологий, оборудования и возобновляемых источников энергии, производству устройств возобновляемых источников энергии и повышению энергоэффективности»¹. При выполнении этих задач с использованием современных технологических средств одной из приоритетных задач является создание систем интеллектуального управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд.

Данное диссертационное исследование в определённой степени способствует выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практической реализации инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, ПП-3983 «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности Республики Узбекистан» от 25 октября 2018 года, ПП-4265 «О мерах по дальнейшему реформированию и повышению инвестиционной привлекательности химической

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

промышленности» от 3 апреля 2019 года, ПП-4996 «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» от 17 февраля 2021 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технических публикаций, связанных с разработкой систем интеллектуального управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд, свидетельствует о том, что в этой области достигнуты определённые теоретические и практические результаты. Ведущие мировые научные центры, в том числе Honeywell (США), LIFE International Laboratory, Mitsubishi Electric, Siemens (Германия), Wecan Agrotexservice (Южная Корея) и высшие учебные заведения: BISS (США), Ziegen University (Германия), Donguk University (Южная Корея) и Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова ведут обширные научные исследования.

Многие зарубежные ученые, в том числе A.L.Zade², E.Mamdani³, M.Sugeno⁴, T.Takagi⁵, В.И.Васильев⁶, В.В.Круглов⁷, Р.А. Алиев⁸ и др. а также учёные нашей страны такие, как Т.Ф.Бекмуратов⁹, Ш.М.Гулямов¹⁰, Х.З.Игамбердиев¹¹, А.Р.Марахимов¹², Ф.Т.Адиллов¹³, Д.П.Мухитдинов¹⁴, И.Х.Сиддииков¹⁵, Н.Р.Юсупбеков¹⁶ и другие внесли большой вклад в решение научных задач по созданию и совершенствованию интеллектуальных систем управления.

Анализ показывает, что применение нечетких регуляторов в управлении процессом бактериального окисления, получение нормативных выходных

²Л.А. Заде Нечеткие множества, нечеткие системы и мягкие вычисления, 2015, том 10, выпуск 1, С. 7-22.

³Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – No. 7. – P. 1–13.

⁴Terano, Toshiro, Kiyoji Asai, and Michio Sugeno, eds. *Applied fuzzy systems*. Academic Press, 2014.

⁵Takagi T., Sugeno M. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control // IEEE Trans. Systems Man Cybernet. – 1985. – Vol. 15, No. 116. – P. 116–132.

⁶Васильев В.И. Интеллектуальные системы управления: теория и практика. – Уфа: УГАТУ, 2007. – С. 254-288.

⁷Круглов В.В. Сравнение алгоритмов Mamdani и Sugeno в задаче аппроксимации функции / В.В. Круглов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2003. – № 5 – С. 69-76.

⁸Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем. Учебное пособие для ВУЗов по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления». Баку: Чашыюглы. –2001. – С.720.

⁹Бекмуратов Т.Ф., Дадабаева Р.А. (2016). Концепция построения стратегических систем поддержки принятия решений // Проблемы информатики, (2 (31)), С. 3-12.

¹⁰Gulyamov Sh.M. Intelligent control technology, the reliability of the measuring information // Chemical Technology, Control and Management. №3. – 2018. – pp.128-131..

¹¹Игамбердиев Х.З., Севинов Ж.У., Зарипов О.О. Регулярные методы и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями. - Т.: ТашГТУ, 2014. - 160 с.

¹²Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сиддииков И.Х. Нечетко множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. –Т.: ТашГТУ, 2014 – 240 с.

¹³Yusupbekov N.R., Abdurasulov F.R., Adilov F.T., Ivanyan A.I. Application of cloud technologies for optimization of complex processes of industrial enterprises // Advances in Intelligent Systems and Computing 896. DOI:10.1007/978-3-030-04164-9_115. – 2018. – pp.852-858.

¹⁴Yusupbekov N.R., Mukhidinov D.R., Sattarov O.U., Boybutayev S.B. Construction of a Neural Network Using an Approach to a Genetic Algorithm // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India, Vol.6, June 20199. – pp.9837-9841. (05.00.00, №8).

¹⁵Isamididdin S., Mamasodikova N., Rayimdjanoval O., Khalmatov D., Mirzaaxmedova X. Algorithms for synthesis of a fuzzy control system chemical reactor temperature. (2021). pp. 64-68.

¹⁶N.R. Yusupbekov, R.A. Aliev, R.R. Aliev, A.N. Yusupbekov “Boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilish”, “O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi” Davlat ilmiy nashriyoti. Toshkent – 2015 y. 18-32 b.

сигналов для контроля и управления, исследование интеллектуальных систем управления, моделирование процесса бактериального окисления, усовершенствование структурной схемы системы управления на основе нечёткого регулятора, разработки алгоритма управления, программирования нечёткого регулятора, а также вопросы разработки и реализации их программного обеспечения изучены недостаточно. В связи с этим возникает необходимость разработки и дальнейшего совершенствования современных интеллектуальных систем управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ Навоийского государственного горно-технологического университета 11/2021-Э на тему “Разработка интеллектуальной системы управления технологическими процессами на металлургических заводах №5 и №7 Центрального рудоуправления Навоийского горно-металлургического комбината на базе цифровых технологий (2020-2021), которые выполняются в рамках хозяйственного договора.

Цель исследования заключается в разработке интеллектуальной системы управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд в условиях неопределенностей.

Задачи исследования:

системный анализ систем интеллектуального управления применительно к вопросам автоматизации бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд;

разработка математической модели процесса бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд;

формирование научно-методических основ построения нечёткого регулятора для систем управления процессом бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд;

разработка имитационной модели нечёткого логического регулятора с использованием треугольной функции принадлежности в управлении температурой биореактора;

формирование базы правил с использованием блоков компонентов фаззификации и дефаззификации нечёткого логического регулятора для системы управления процессом бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд;

разработка алгоритмов управления и структурных схем на основе функционально-структурного синтеза имитационных моделей и структурных элементов нечеткого регулятора.

Объектом исследования являются системы управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд.

Предметом исследования являются структурные схемы и алгоритмы функционирования интеллектуальных систем управления процессом

бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы системный анализ, современная теория автоматического управления, математическое и имитационное моделирование, обработка результатов экспериментов, компьютерное программирование и методы интеллектуального управления.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель на основе зависимости расхода охлаждающей воды от температуры в биореакторе процесса бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд;

разработана имитационная модель нечётко-логического регулятора с использованием треугольной функции принадлежности для регулирования температуры в биореакторе в условиях неопределённости исходных данных;

сформирована база правил на основе алгоритма Мамдани с использованием блоков фаззификации и дефаззификации нечёткого регулятора и входящих лингвистических переменных для системы управления процессом бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд;

разработана структурная схема интеллектуальной системы управления на основе функционального структурного синтеза имитационной модели и конструктивных элементов нечёткого регулятора, позволяющего эффективно управлять биореакторной системой.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе структурно-параметрического синтеза нечёткого регулятора разработаны и реализованы алгоритмы управления процессом бактериального окисления;

разработана система интеллектуального управления процессом бактериального окисления на основе структурно-параметрического синтеза нечёткого регулятора;

разработаны алгоритмы управления и программное обеспечение нечёткого регулятора системы управления процессом бактериального окисления;

осуществлена визуализация технологического процесса бактериального окисления в программе WinCC в среде TIA PORTAL.

Достоверность результатов исследования. Достоверность теоретических и практических результатов исследования обосновывается теоретическим обоснованием концепции разработки систем интеллектуального управления процессом бактериального окисления в условиях неопределённости данных, установленной требуемой степени совместимости предлагаемых моделей и алгоритмов функционирования интеллектуальной системы управления, результатами теоретических и практических исследований и их согласованием с результатами подобных исследований.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что разработанные математические модели системы регулирования температуры пульпы и расхода охлаждающей воды в биореакторе в условиях неопределённости информации позволяют повысить качественные показатели регулирования.

Практическая значимость результатов исследования заключается в создании математического и алгоритмического обеспечения системы управления для управления биореактором, с помощью усовершенствованного нечётко-логического регулятора, учитывающего статические и динамические характеристики процесса бактериального окисления сульфидных руд и разработки программного инструмента проектирования системы управления процессом бактериального окисления.

Внедрение результатов исследования. В результате разработки систем интеллектуального управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд:

интеллектуальная система управления на основе нечётко-логического регулятора для регулирования температуры в биореакторе в условиях неопределённости исходных данных внедрена на 3-ГМЗ, АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» (Справка АО «Навоийского горно-металлургического комбината» №01-01-05/1179 от 31 августа 2023 года). В результате система позволила повысить качественные показатели управления процессом бактериального окисления в условиях неопределённости;

программное обеспечение интеллектуальной системы управления на основе функционально-структурного синтеза имитационных моделей и конструктивных элементов нечёткого регулятора внедрено на 3-ГМЗ АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» (Справка АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 01-01-05/1179 от 31 августа 2023 года). В результате стабилизировался температурный режим в биореакторе за счёт регулирования расхода охлаждающей воды в процессе бактериального окисления.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 4-х международных и 7-и республиканских научно-практических конференциях и научных семинарах.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликована 21 научная работа, из них 7 статей в журнальных изданиях, рекомендованных ВАК РУз к публикациям основных научных результатов докторских диссертаций (в том числе в трёх зарубежных и четырёх республиканских журналах), также получено 3 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 114 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведён перечень внедрений в практику результатов исследования, список апробации результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

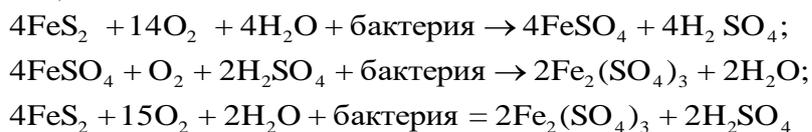
В первой главе диссертации «**Анализ современного состояния системы управления процессом бактериального окисления**» приведено описание процесса бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд, отражены особенности управления процессом бактериального окисления в условиях параметрической неопределённости исходной информации, дан анализ существующих регуляторов управления процессом бактериального окисления, выполнена постановка целей и задач диссертационной работы.

Процесс бактериального окисления подвержен многим внешним и внутренним неопределённым параметрам, в том числе отличается сложностью динамики процесса, невозможностью получения адекватного математического описания на уровне стадии, отсутствием прямого измерения технологических параметров, необходимых для эффективного контроля и управления. В таких случаях целесообразно полагаться на интеллектуальную систему управления на основе нечёткого регулятора, позволяющую обеспечить бесперебойное и эффективное функционирование всей системы. В этой связи целесообразно разработать интеллектуальную систему управления с нечётким регулятором и компенсацией параметрической неопределённости, позволяющую повысить качество управления за счёт выбора наименьшей длительности и амплитуды опознавательного сигнала при отказе системы. При этом очень важно разработать и реализовать на практике самые разнообразные возможные подходы к решению задачи управления на основе интеллектуальных систем управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд.

Вторая глава диссертации «**Разработка математической модели процесса бактериального окисления**» посвящена анализу физико-химических основ процесса бактериального окисления, изучению входных и выходных параметров управления процессом, а также разработке адекватной математической модели функционирования объекта исследования.

Экспериментальные данные основаны на линейной регрессии, что обеспечивает приемлемую оценку минимальной стандартной ошибки. При этом, с помощью экспериментов с базовыми данными, можно получить ту же точность модели, что и с моделями чёрного ящика. Этот подход используется для моделирования процесса окисления двухвалентного железа в трёхвалентное бактерией *Acidithiobacillus ferrooxidans* проходимом в

биореакторе. В процессе бактериального окисления пирит окисляется до сульфата железа с образованием серной кислоты, что представляется следующими реакциями:



Окислительно-восстановительный потенциал пульпы, содержащей ионы трёхвалентного и двухвалентного железа, в процессе бактериального окисления определяется по соотношению концентраций $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ по уравнению Нернста:

$$E_n = E^0 + \frac{R \cdot T \cdot \ln 10}{n \cdot F} \log \frac{\{\text{Fe}^{3+}\}}{\text{Fe}^{2+}},$$

где R – универсальная газовая постоянная, F – постоянная Фарадея, E^0 – стандартный равновесный потенциал, n – число заряженных частиц.

На основе исследования процесса бактериального окисления были выделены параметры, важные для интеллектуального управления процессом, и разработана его информационно-концептуальная модель (рис. 1).



Рис. 1. Информационно-концептуальная модель процесса бактериального окисления.

При этом в качестве основных показателей, характеризующих процесс бактериального окисления, были выделены следующие переменные:

- параметры регулирования – $U = \{U_{\text{рск}}, U_{\text{ров}}\}$, где $U_{\text{рск}}$ – расход серной кислоты, $U_{\text{ров}}$ – расход охлаждающей воды;

- выходные параметры – $Y = \{T_b, Q_{\text{рн}}\}$, где T_b – температура биореактора, $Q_{\text{рн}}$ – рН в биореакторе;

- внешние воздействия – $F = \{f_{\text{ррч}}, f_{\text{тов}}, f_{\text{пфк}}\}$; где $f_{\text{ррч}}$ – изменение размера рудных частиц, $f_{\text{тов}}$ – изменение температуры окружающей среды, $f_{\text{пфк}}$ – изменение плотности флотоконцентрата.

Вычисленные данные и концептуальная модель процесса бактериального окисления могут быть записаны следующим образом:

$$Z_{\text{ПБО}} = \{U, X, Y, F\}; \quad U = \{U_{\text{рск}}, U_{\text{ров}}\}; \quad Y = \{T_b, Q_{\text{рн}}\}; \quad F = \{f_{\text{ррч}}, f_{\text{тов}}, f_{\text{пфк}}\}.$$

Разработанная информационно-концептуальная модель процесса бактериального окисления служит для разработки интеллектуальной системы управления с высокой эффективностью.

Учитывая, что на процесс влияет температура окружающей среды биореактора, уравнение изменения температуры описывается следующим образом:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\lambda_r \cdot XHV_B - KP(T_B - T_{OC})}{c\rho V_B} + Q_T$$

Уравнение изменения концентрации субстрата и бактерий в биореакторе выражается следующим образом:

$$\frac{dX}{dt} = \lambda_r X + Q_X, \quad \frac{dS}{dt} = -\frac{\lambda_r}{Y} \cdot X + Q_S.$$

Уравнение изменения растворенного кислорода внутри биореактора описывается следующим образом:

$$\frac{dC}{dt} = K_L a(C - C_0) - q_{O_2} + Q_C,$$

где dT – изменение температуры, λ_r – удельная скорость роста бактерий, X – концентрация биомассы, H – полная теплоёмкость реакции, c – удельная теплоёмкость, ρ – плотность пульпы, V_B – объем биореактора, K – коэффициент теплопередачи, T_B – температура в биореакторе, T_{OC} – температура окружающей среды, P – поверхность теплообменника, Q_T , Q_X , Q_S , Q_C – функции распределения для температуры, биомассы, субстрата и кислорода, Y – кинетический параметр, θ – постоянные времени, $K_L a$ – объёмный коэффициент теплопередачи, q_{O_2} – относительное потребление кислорода бактериями, S – концентрация растворенного кислорода.

В начальных условиях $T(0)=T_0$, $S(0)=S_0$, $X(0)=X_0$, $C(0)=C_0$, $\lambda_m(0)=\lambda_{m0}$ фактическая удельная скорость роста бактерий представляется в виде:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_m SC}{(S + K_S)(C + K_C)},$$

где K_S , K_C – константа Михаэлиса для субстрата и кислорода.

Согласно уравнению Аррениуса, выражение максимального удельного роста бактерий, концентрации насыщения растворенным кислородом в жидкой фазе и температуры будет иметь следующий вид:

$$\lambda_m(T) = A_1 \exp(-E_1 / RT) - A_2 \exp(-E_2 / RT),$$

где E_1 , E_2 – энергия бактерий, A_1 , A_2 – экспоненциальные множители.

Приведённые выражения представлены в результате аппроксимации методом наименьших квадратов эмпирических данных в зависимости от температуры.

$$Y(T) = 1,48 - 0,024(T - 273,15), \quad C^*(T) = 14,44 - 0,35T + 4,66 \cdot 10^{-3}T^2 - 2,63 \cdot 10^{-5}T^3$$

Входная и выходная составляющие уравнений непрерывного процесса могут быть рассчитаны с использованием следующего выражения:

$$Q_T = F \frac{(T_{ex} - T_B)}{V_B} = D(T_{ex} - T_B).$$

На входе объекта управления u_1 – расход серной кислоты, u_2 – расход охлаждающей воды, на выходе y_1 – рН в биореакторе, y_2 – температура пульпы, тогда анализ процесса в виде чёрного ящика выглядит следующим образом (рис. 2):

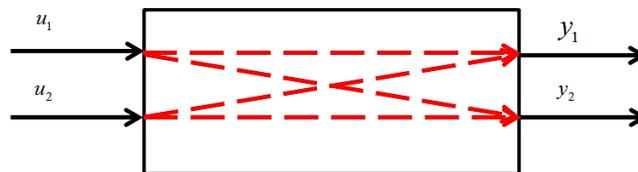


Рис.2. Структурная схема объекта управления.

С учётом динамических характеристик процесса по основным каналам передачи воздействий представлены выражениями:

1. $u_1 \rightarrow y_1: (p^2 + 2,564p + 0,679)y_1(t) = (1,53p + 0,458)u_1(t);$
2. $u_1 \rightarrow y_2: (p^2 + 0,623p + 0,051)y_2(t) = (0,995p + 0,298)u_1(t);$
3. $u_2 \rightarrow y_1: (p^2 + 2,48p + 0,6)y_1(t) = (0,17p + 0,345)u_2(t);$
4. $u_2 \rightarrow y_2: (p^2 + 0,13p + 0,045)y_2(t) = (0,98p + 0,1506)u_2(t).$

На основании анализа разработанных динамических моделей в качестве основного канала регулирования был принят $u_2 \rightarrow y_2$ «расход охлаждающей воды на входе в биореактор – температура пульпы в биореакторе».

Изменение параметров в процессе бактериального окисления описывается приведёнными выше уравнениями, а математические выражения предлагается описывать следующим пространственным уравнением состояния:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + f(t),$$

$$y(t) = Cx(t).$$

Численные значения матриц A , B и C , подлежащие определению в этом уравнении, рассчитываются по результатам, полученным на основе экспериментальных исследований:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0,06 \\ 0,75 & 0,13 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0,98 \\ 2,51 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \ 0]$$

Адекватность разработанной математической модели была проверена экспериментально по остаточным свойствам критерия Фишера. В результате погрешность определения температуры пульпы на выходе из биореактора составила 3,5 %.

Разработанные математические модели процесса бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд позволяют установить количественные соотношения между основными входными и выходными переменными, исследовать объект с целью разработки интеллектуальной системы управления рассматриваемым процессом.

В третьей главе диссертации «**Разработка нечёткого регулятора для управления процессом бактериального окисления**» изложены теоретические основы построения нечётких регуляторов (НР), разработки НР на основе нечёткой логики (НЛ), формирования блока фаззификации (БФ) (рис. 3), блока дефаззификации (БДФ) (рис. 4), разработки базы правил НР, моделирования и настройки НР.



Рис. 3. Структурная схема БФ



Рис. 4. Структурная схема БДФ

Анализ принципов построения НР применительно к вопросам управления процессом бактериального окисления свидетельствует о том, что использование НЛ позволяет применять лингвистические переменные (ЛП) для управления технологическими процессами, не реализующими традиционные законы регулирования параметров активности бактерий и процесса бактериального окисления. НР подходит к очень широкому спектру возмущений, обладает низкой чувствительностью и проявляет лучшие характеристики по сравнению с традиционными регуляторами.

Для разработки НР необходимо выполнить представление U - универсального множества, нечёткого множества X , $\mu_x(x)$ ФП. Здесь нечёткое множество $X = \{\mu_x(x)\}$ содержит ФП. Формальное описание нечётких переменных выражено в виде формулы:

$$\langle L, T, D, G, M \rangle,$$

где T – определяется множеством значений ЛП в области D , L – наименование ЛП, D – область определения, G – T – грамматика множества правил, позволяющих работать с элементами терм-множества, в частности, создание новых содержательных правил, процедур, позволяющих установить связи между M – ЛП и нечётким множеством, а также семантическая переменная, реализующая правила вычисления нового значения ФП G .

Нечёткое множество получается из определённого множества, которое позволяет элементам универсального множества принадлежать некоторому подмножеству множества. Нечёткое множество описывается уравнением:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]\},$$

где $\mu_{\tilde{A}}(x)$ - степень принадлежности точке x .

В блоке фаззификации входной сигнал x разделён на следующие лингвистические переменные (ЛП): отрицательный (О), средний отрицательный (СО), маленький отрицательный (МО), нормальный (Н), маленький положительный (МП), средний положительный (СП), положительное (П). Каждая входная и выходная ЛП состоит из 7 термов $T_x = \{T_e, T_{de/dt}, T_u\}$: $T_x = \{ "O", "CO", "MO", "H", "MP", "SP", "P" \}$

Каждая из входных переменных имеет три термина с ФП, а одна выходная имеет пять термов:

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } b \leq x \leq c; \\ 0, & \text{если } c \leq x. \end{cases}$$

где a, b, c – параметры ФП, x - числовое значение входного параметра.

При этом входная ошибка и её изменение, а также управляющее воздействие u были преобразованы в ЛП после БФ и описаны следующим образом:

$$e = \left[\frac{\mu_{O_e}(e)}{O_e}, \frac{\mu_{CO_e}(e)}{CO_e}, \frac{\mu_{MO_e}(e)}{MO_e}, \frac{\mu_{H_e}(e)}{H_e}, \frac{\mu_{МП_e}(e)}{МП_e}, \frac{\mu_{СП_e}(e)}{СП_e}, \frac{\mu_{П_e}(e)}{П_e} \right]$$

$$\frac{de}{dt} = \left[\frac{\mu_{O_{de/dt}}(\dot{e})}{O_{de/dt}}, \frac{\mu_{CO_{de/dt}}(\dot{e})}{CO_{de/dt}}, \frac{\mu_{MO_{de/dt}}(\dot{e})}{MO_{de/dt}}, \frac{\mu_{H_{de/dt}}(\dot{e})}{H_{de/dt}}, \frac{\mu_{МП_{de/dt}}(\dot{e})}{МП_{de/dt}}, \frac{\mu_{СП_{de/dt}}(\dot{e})}{СП_{de/dt}}, \frac{\mu_{П_{de/dt}}(\dot{e})}{П_{de/dt}} \right]$$

$$u = \left[\frac{\mu_{O_u}(u)}{O_u}, \frac{\mu_{CO_u}(u)}{CO_u}, \frac{\mu_{MO_u}(u)}{MO_u}, \frac{\mu_{H_u}(u)}{H_u}, \frac{\mu_{МП_u}(u)}{МП_u}, \frac{\mu_{СП_u}(u)}{СП_u}, \frac{\mu_{П_u}(u)}{П_u} \right]$$

где e – ошибка ввода, de - изменение ошибки ввода, u - управляющее воздействие, $\mu_{C_e}(e)$, $\mu_{C_{de/dt}}(\dot{e})$, $\mu_{C_u}(u)$ - ФП входных и выходных параметров.

БДФ объединяет нечёткие ЛП для создания соответствующего истинного сигнала, который затем можно использовать для выполнения некоторых операций. В БДФ используется следующая формула для непрерывных операций, основанная на методе центра тяжести:

$$y_{ДФ} = \frac{\int_{\min}^{\max} y \cdot \mu'(y) dy}{\int_{\min}^{\max} \mu'(y) dy},$$

где \min, \max – интервал интегрирования нечёткого множества.

Анализ методов дефазификации свидетельствует, что и в непрерывном, и в дискретном случаях метод центра тяжести является наиболее точным методом, но при необходимости фильтрации случайных возмущений целесообразно использовать метод среднего максимума.

В НР ввода e – "ошибка" и управляющее воздействие u – "управление" ЛП рассматривались случаи, представленные семью различными ФП, математическое выражение которого выглядит следующим образом:

$$u_{PID} = u_p + K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt + \tau_D \frac{de(t)}{dt} \right\}.$$

Преобразование, выполняемое дискретным оператором, \tilde{f}_c может быть выражено как:

$$\tilde{f}_c : \langle \hat{e}_1(k), \hat{e}_1(k), \hat{e}_1(k) \rangle \xrightarrow{Faz} \langle E_1, E_1, E_1, QB \rangle \xrightarrow{NX} \langle U \rangle \xrightarrow{Defaz} \langle \hat{u}(k) \rangle$$

На имитационной модели был проведён ряд вычислительных экспериментов по расчёту параметров настроек НР и различных значений передаточной функции по каналам возмущения. По результатам эксперимента создан набор правил базы знаний и разработаны правила нечётких логических выводов.

База правил, разработанная для коэффициента пропорциональности K_p , представлена в таблице №1.

de/dt	E						
	O	CO	HO	H	HP	CP	P
O	P	P	CP	CP	HP	H	H
CO	P	P	CP	HP	HP	H	HO
HO	CP	CP	CP	HP	H	HO	HO
H	CP	CP	HP	H	HO	CO	CO
HP	HP	HP	H	HO	HO	CO	CO
CP	HP	H	HO	CO	CO	CO	O
P	H	H	CO	CO	CO	O	O

Разработанная база правил для времени интегрирования K_i приведена в таблице № 2.

de/dt	E						
	O	CO	HO	H	HP	CP	P
O	HP	HO	O	O	O	CO	HP
CO	HP	HO	O	CO	CO	HO	H
HO	H	HO	CO	CO	HO	HO	H
H	H	HO	HO	HO	HO	HO	H
HP	H						
CP	P	HO	HP	HP	HP	HP	P
P	P	CP	CP	HP	HP	HP	P

Разработанная база правил для времени дифференцирования K_d приведена в таблице 3.

de/dt	E						
	O	CO	HO	H	HP	CP	P
O	O	O	CO	CO	HO	H	H
CO	O	O	CO	HO	HO	H	H
HO	O	CO	HO	HO	H	HP	HP
H	CO	CO	HO	H	HP	CP	CP
HP	CO	HO	H	HP	HP	CP	P
CP	H	H	HP	HP	CP	P	P
P	H	H	HP	CP	CP	P	P

На основе знаний технологов-экспертов сформировано 49 правил нечёткого логического вывода, которые связаны с изменением параметров входных переменных. Это позволяет определять значения коэффициентов K_P , K_I , K_D ПИД-регулятора на основе нечёткого логического вывода. Для моделирования интеллектуальной системы управления на основе НР использовалась библиотека Fuzzy Logic Toolbox в среде MATLAB (рис. 5).

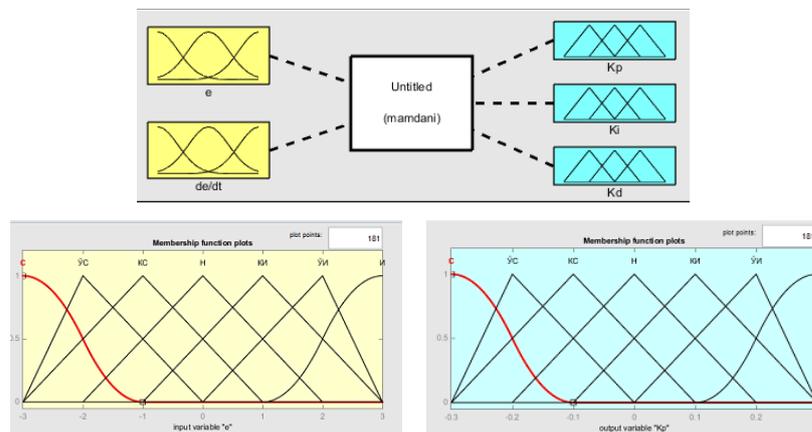


Рис.5. Моделирование нечёткого ПИД-регулятора в среде MATLAB

Модель Мамдани была выбрана для разработки ЛП НР. В качестве входных переменных приняты входная ошибка e и изменение её скорости de/dt , в качестве выходных переменных зафиксированы коэффициенты ПИД-регулятора K_p , K_i , K_d . Эти параметры вводились с помощью команд *Edit*, *add variable*, *input* и *output*, а также задавался диапазон значений семи ЛП. На рис. 6 представлены графики правил нечёткого вывода разработанного НР.

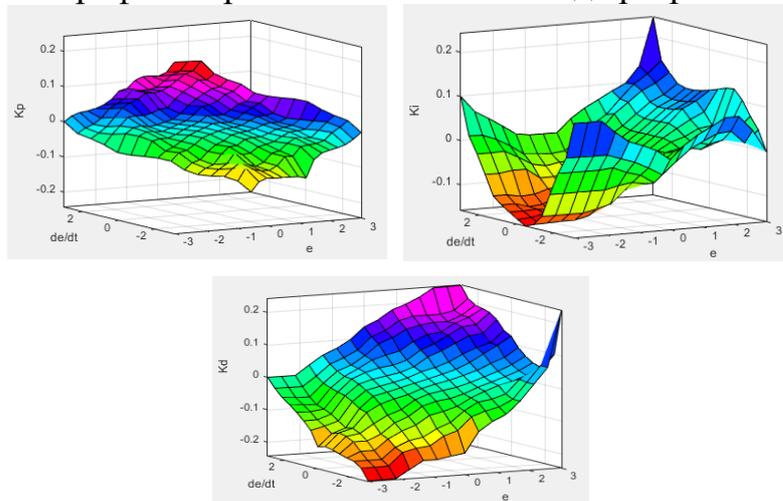


Рис.6. Отображение нечётких выводов для K_p , K_i , K_d .

Полученные графические представления характеризуют изменение входной переменной НР, связанной с её выходной переменной. По результатам модельного эксперимента можно синтезировать САУ с НР, в условиях неопределённости изменения внешней среды, влияющей на процесс бактериального окисления. В результате обеспечивается стабильное поддержание температуры биореактора на требуемом уровне, что позволяет контролировать качество технологического процесса при изменении параметров объекта в широких пределах.

В четвертой главе диссертации **«Разработка интеллектуальной системы управления процессом бактериального окисления»** приведены результаты моделирования системы нечётко-логического регулирования температурного режима биореактора, составлена структурная схема интеллектуальной системы управления процессом бактериального окисления с использованием программного обеспечения в среде TIA PORTAL и с использованием алгоритмом функционирования нечёткого ПИД-регулятора в среде SIEMENS PLC SIM.

На основе анализа динамических характеристик биореактора разработаны основные требования к параметрам его режима работы и усовершенствован НР системы управления. В качестве основных регулируемых величин были приняты температура биокека на выходе из биореактора и расход охлаждающей воды на входе объекта.

Осуществлено моделирование объекта управления, выделены входные и выходные параметры, а также возмущающие воздействия, выбран алгоритм принятия решений на основе НЛ, описывающий условия процесса бактериального окисления. Разработан набор правил, обеспечивающий

необходимые качественные и количественные показатели регулирования температуры биореактора при наличии возмущающих воздействий.

По данным, полученным на основе экспериментальных экспериментов, была определена передаточная функция объекта по каналу регулирования:

$$W_{22}(p) = \frac{0,98p + 0,1506}{p^2 + 0,13p + 0,045}$$

Синтезирована система управления объектом в зависимости от изменения температуры, степени открытия или закрытия регулирующего клапана, установленного на трубопроводе, из которого поступает охлаждающая вода.

Температуру процесса бактериального окисления обозначали ЛП как «очень холодная», «более холодная», «холодная», «нормальная», «горячая», «более горячая» и «очень горячая»:

<температура, [0,70], $\mu_1(x)x$, $\mu_2(x)x$, $\mu_3(x)x$, $\mu_4(x)x$, $\mu_5(x)x$, $\mu_6(x)x$, $\mu_7(x)x$ >.

Структурная схема нечёткого регулятора в среде MATLAB и график изменения температуры в биреакторе, представлены на рис. 7.

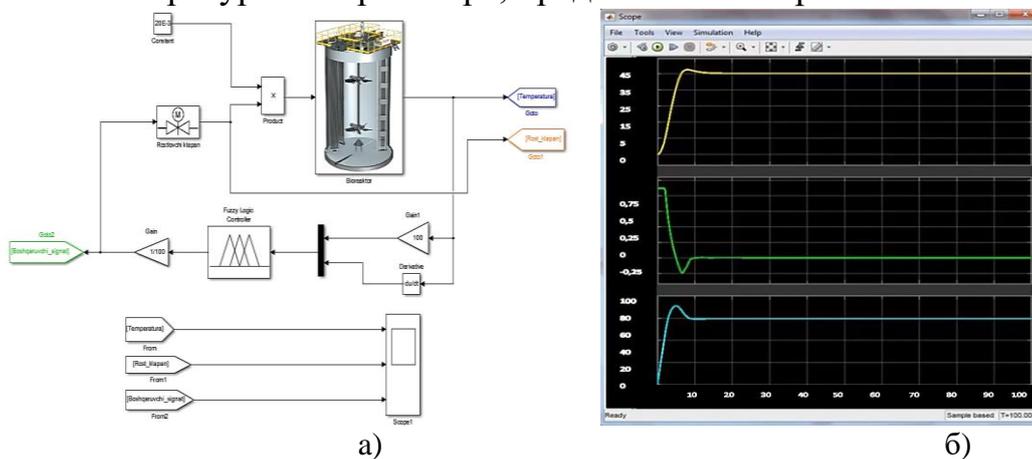


Рис. 7. Структурная схема нечёткого регулятора в среде MatLAB (а) и график изменения выходного сигнала в биреакторе (б)

В системе управления, разработанной на основе НР, использован ПЛК SIEMENS S7-1500, который представляет собой нечёткий ПИД-регулятор. Управление технологическим процессом осуществляется через интерфейс платы промышленного компьютера с установленным программным обеспечением WinCC. Алгоритм расчёта параметров нечёткого ПИД-регулятора был создан в функциональном блоке с использованием логических элементов, формирующих коммуникационный интерфейс между блоком данных, функциональным блоком, средствами конфигурирования в центральном процессоре ПЛК. Каждая разработанная программа хранится в отдельном блоке данных.

Панель управления температурой подключена к ПЛК, где загружена программа. Используя язык программирования LAD для контроллеров Siemens, созданы некоторые условия, правила которых требуют язык программирования.

Структурная схема интеллектуальной системы управления биореактором представлена на рис. 8.

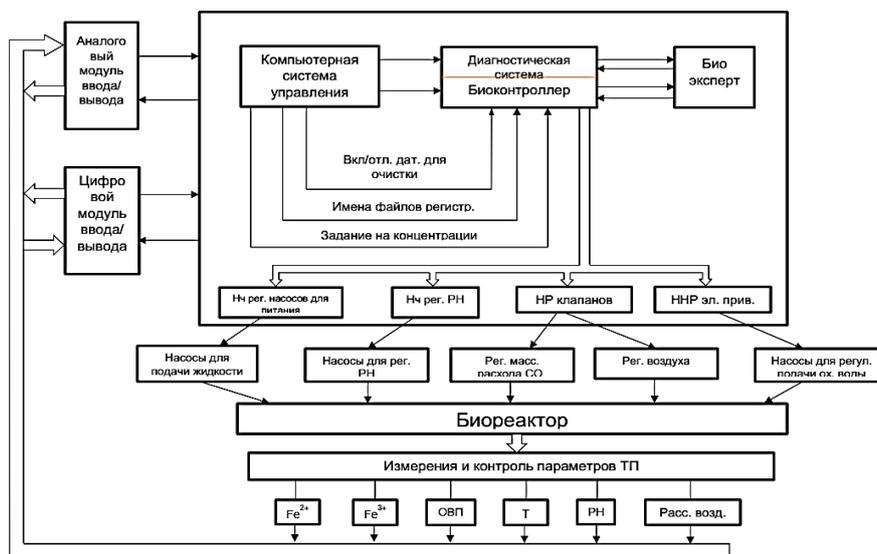


Рис. 8. Структурная схема интеллектуальной системы управления биореактором.

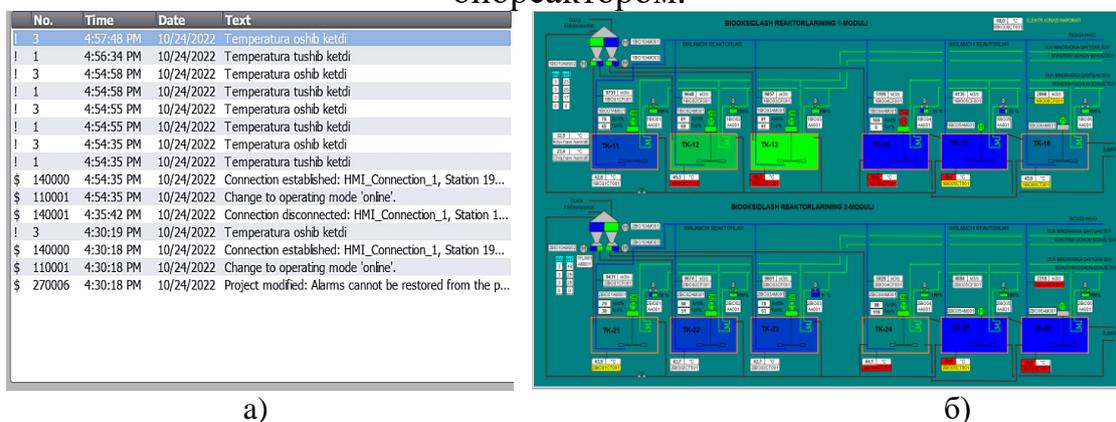


Рис. 9. Тренд состояния процесса (а), график мониторинга на панели HMI (б).

Разработана программа вывода сообщения о резком изменении температуры в биореакторе на сенсорную панель HMI КТР 700 basic PN. Предупреждающий тренд был создан в виде сообщения – графика изменения температуры. Учитывая, что изменения температуры при бактериальном окислении могут влиять на активность работающих в процессе бактерий, вывод информации на панель HMI о резком повышении или понижении ее значения из установки обеспечивает эффективный контроль со стороны оператора.

При внедрении предлагаемой системы управления по стандартам организации срок службы водоперекачивающих насосов будет увеличен за счет снижения расхода охлаждающей воды на 4,3%. Также поскольку водоперекачивающие насосы не работают в режиме нагрузки, т.е. после регулирования скорости вращения, в зависимости от расхода охлаждающей воды, экономится потребление электроэнергии.

Использование нечеткого регулятора в системе управления бактериальным окислением труднообогатительных золотосодержащих сульфидных руд привело к улучшению качественных показателей регулирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе системного анализа современной теории автоматического управления, математического и имитационного моделирования, обработки результатов экспериментов, компьютерного программирования и интеллектуального управления разработаны системы интеллектуального управления процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд. В ходе исследований были достигнуты следующие научные результаты:

1. Разработана математическая модель процесса бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд. Данная модель позволяет создать алгоритм автоматического управления технологическими процессами.
2. Сформулированы научно-методические основы анализа и синтеза нечеткого регулятора в составе системы управления процессом бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд.
3. Имитационная модель регулятора с нечёткой логикой была разработана путем применения треугольной функции принадлежности для контроля температуры в биореакторе. В результате улучшаются качественные показатели регулирования температуры в биореакторе.
4. Разработана система управления процессом бактериального окисления золотосодержащих сульфидных руд с использованием блоков фазификации и дефазификации входных лингвистических переменных в составе нечёткого логического регулятора и синтезирована база правил на основе алгоритма Мамдани.
5. Визуализированы разработанные процессы управления и контроля, разработано программное обеспечение системы управления процессом бактериального окисления в среде Siemens TIA PORTAL. В результате обеспечиваются дистанционное управление и мониторинг.
6. Разработаны алгоритмы расчёта параметров нечетких ПИД-регуляторов на базе контроллеров Simatic S7. Такой нечёткий регулятор имеет возможность настраивать коэффициенты.
7. Осуществлён структурно-параметрический синтез интеллектуальной системы управления сложным технологическим процессом бактериального окисления труднообогатимых золотосодержащих сульфидных руд с улучшенными метрологическими и показателями надежности.
8. Путём моделирования системы нечётко-логического регулирования температурного режима биореактора можно повысить точность стабильного поддержания заданной температуры на 2,1 %. При внедрении предлагаемой системы управления, за счет снижения расхода охлаждающей воды на 4,3%, обеспечивается бесперебойная работа водяных насосов и экономия расхода электроэнергии после регулирования скорости вращения в зависимости от расхода охлаждающей воды.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.02 ON THE
ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

MAKHMUDOV GIYOSJON BAKOYEVICH

**DEVELOPMENT OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR THE
PROCESS OF BACTERIAL OXIDATION OF HARD-TO-EHPICH GOLD-
BEARING SULFIDE ORES**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

**DISSERTATION ABSTRACT
of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences**

Tashkent – 2023

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.4.PhD/T3288 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tdtu.uz) hamda «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich
texnika fanlari doktori, professor, O'zR. FA akademigi.

Rasmiy opponentlar:

Sevinov Jasur Usmonovich
texnika fanlari doktori, professor

Xolmatov Davron Abdialimovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.02 raqamli Ilmiy kengashning 2023 yil « 16 » 12 soat 11⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 246-46-00; faks: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (~~358~~ raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 207-14-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil « 4 » 12 kuni tarqatildi.
(2023 yil « 6 » 11 dagi 26 raqamli reestr bayonnomasi).



F.T.Adilov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash rais o'rinbosari,
texnika fanlari doktori, professor

U.F.Mamirov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori, dotsent

X.Z.Igamberdiev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor, akademik

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the research is to improve the quality of control of the process of bacterial oxidation of refractory gold-bearing sulfide ores under various uncertainties by developing an intelligent control system.

The object of the research is control systems for the process of bacterial oxidation of refractory gold-containing sulfide ores

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

a mathematical model has been developed based on the dependence of cooling water flow on temperature in the bioreactor for the process of bacterial oxidation of refractory gold-containing sulfide ores;

a simulation model of a fuzzy logic controller using a triangular membership function has been developed to regulate the temperature in a bioreactor under conditions of uncertainty in the initial data;

a rule base was formed based on the Mamdani algorithm using fuzzification and defuzzification blocks of a fuzzy controller and input linguistic variables for a control system for the process of bacterial oxidation of gold-containing sulfide ores

a block diagram of an intelligent control system has been developed based on a functional structural synthesis of a simulation model and structural elements of a fuzzy controller, which allows for effective control of the bioreactor system.

Implementation of research results. As a result of the development of intelligent control systems for the process of bacterial oxidation of refractory gold-bearing sulfide ores:

An intelligent control system has been implemented based on a fuzzy logic controller for regulating temperature in the bioreactor under conditions of fuzzy initial information implemented at 3-GMZ Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC (Certificate of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC No. 01-01-05/ 1179 of August 31, 2023). As a result, it was possible to improve the quality indicators of controlling the process of bacterial oxidation under conditions of uncertainty of the initial information.

Software for an intelligent control system based on functional-structural synthesis of simulation models and structural elements of a fuzzy controller was implemented at 3-GMZ Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC (Certificate of Navoi Mining and Metallurgical Combine JSC No. 01-01-05/1179 dated August 31, 2023). As a result, the temperature regime in the bioreactor was stabilized by regulating the flow of cooling water during the process of bacterial oxidation.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 114 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (Часть I; Part I)

1. Jumaev O.A., Nazarov J.T., Mahmudov G.B., Ismoilov M.T., Shermurodova M.F. Intelligent control systems using algorithms of the entropic potential method // Journal of Physics: Conference Series, Volume 2094, 02-Issue. 2021 p.p 1-7. DOI:<https://doi.org/10.1088/17426596/2094/2/022030>. (3, Scopus, IF=0,547)
2. Jumaev O.A., Mahmudov G.B., Shermurodova M.F., Abdusalilov A.O. Development of a digital signal processing model using a frequency synthesizer and synthesis of quadrature conversion circuits // E3S: Web of Conferences 419, 01003 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341901003>. (3, Scopus, IF=0,5)
3. Mahmudov G.B. Modeling and adjustment of a fuzzy controller in a bioreactor control system. // Chemical Technology, Control and Management. Tashkent. Volume 2023, №2 (110) pp. 14-21 (05.00.00; №12)
4. Jumayev O.A., Akhmatov A.A., Makhmudov G.B. Process modeling of optimum mixing of cyanic solutions with use of intellectual systems of measurement on a basis to a fuzzy logic // Chemical Technology, Control and Management. Tashkent. Volume 2018, 1-2-Issue (79-80) pp. 132-137 (05.00.00; №12)
5. Mahmudov G.B. Bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarishda kirish va chiqish parametrlarini tadqiq qilish // Ilmiy texnikaviy jurnal "Fan va texnologiyalar taraqqiyoti" Buxoro. 2021 № 4. 83-87 b. (05.00.00; №24)
6. Махмудов Г.Б. Исследования алгоритмов синтеза нечеткого регулятора на основе ПЛК для системы управления биореакторами // Научно-технический журнал "Развитие науки и технологий" Бухара, 2023 - № 2. - С. 149-154 (05.00.00; №24)
7. Jumaev O.A., Mahmudov G.B., E.I. Arziyev, M. Tuxtamishova Fuzzy logic controller in the management of technological processes of bacterial oxidation // Web of scientist: International scientific research journal. Volume 2, Issue 6, June, 2021 p. 191-197. DOI: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/G4EQM> (39, Impact Factor Search IF=7.565).

II bo'lim (Часть II; PartII)

8. Jumaev O.A., Mahmudov G.B., Rashidov G.H., Sodiqov B.Q. Microcontroller device for increasing the accuracy of PID regulators / 11th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences AIP Conf. Proc. 2872, pp. 120051-1-7. <https://doi.org/10.1063/5.0165126>.
9. 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.
DOI:10.21122/2309-4923-2-42-47.
10. Юсупбеков Н.Р., Жумаев О.А., Махмудов Ф.Б., Исмоилов М.Т. Алгоритмы интеллектуальных систем управления с применением метода теории энтропийных потенциалов / I Евразийский горный конгресс Сборник докладов: Издательство «Навоийский горно-металлургический комбинат». – Навои. 11-12 ноябрь, 2021. – С. 398-403.
 11. Юсупбеков Н.Р., Жумаев О.А., Махмудов Ф.Б., Акмалов С.А. Особенности синтеза микропроцессорных ПИД-регуляторов / Международной конференции «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы» 27-28 октябрь, 2022. – Навои: Узбекистан – С. 35-42.
 12. Юсупбеков Н.Р., Махмудов Ф.Б. Способы построения нечеткого регулятора / Международной конференции «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы» 27-28 октябрь, 2022. – Навои: Узбекистан – С. 155-158.
 13. Mahmudov G'.B. Features application model for assessing the quality of data transfer based on fuzzy logic / I EURASIA MINING CONGRESS – Digest of abstracts: Publishing house SE "Navoi Mining and Metallurgical Combine". Navoi 11-12 November 2021, pp. 407-408.
 14. Махмудов Г.Б. Моделирование процесса бактериального выщелачивания / Интеграция образования, науки и производства и биотехнологии. – Ташкент, 24-25 ноября 2022 года. – С. 346-348.
 15. Махмудов Г.Б., Д.Ю.Абдуназарова Применение интеллектуальной системы управления на основе нечёткой логики / 17-я республиканская научно-практическая онлайн-конференция на тему «Развитие современной системы образования и творческие идеи для нее, республиканская научно-практическая онлайн-конференция «Предложения и решения»». 15 июня 2021 г. № 17. Фергана. – С. 53-56.
 16. Mahmudov G'.B., Mavlonov Sh.SH. Features of application of matlab for fuzzy logic simulation / "Development of a modern education system and creative ideas for it, republican scientific-practical on-line conference on "Suggestions and solutions" 15 June 2021 part-17. Farg'ona city. 2021. – pp. 131-133.
 17. Махмудов Ф.Б., Дустова М.П., Дустов А.Ш. Выбор и обоснование контролируемых и регулируемых параметров процесса бактериального окисления / "Геолог олим, академик Иброҳим Ҳамробоев таваллудининг 100 йиллигига бағишланган илмий конференция". Бухара.14-16 ноября, 2019. -С.250-253.
 18. Махмудов Ф.Б., А.Х. Саидова, Н.Т. Мохилова, Ч.К. Ибрагимова Исследование интеллектуальных систем управления на основе нечеткой логики / International Conference on Developments in Education Hosted from Amsterdam, Netherlands April 30th 2022
 19. Yusupbekov N.R., Jumaev O.A., Mahmudov G'.B., Samadov A.R. Noaniqlik sharoitida oltin tarkibli sulfidli rudalarni boyitish jarayonining kinetikasini

- hisoblash uchun dasturiy ta'minot. EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. DGU 09835, 05.01.2021y.
20. Yusupbekov N.R., Jumaev O.A., Mahmudov G'.B. Genetik algoritm asosida noravshan mantiqiy kontrollerini sozlash uchun dastur ЭHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. DGU 23349, 16.03.2023 y.
 21. Mahmudov G'.B. Bakteriyali oksidlash jarayonini boshqarish tizimi uchun noravshan roslagichining qoidalar bazasini shakllantirish uchun dastur. ЭHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. DGU 21700, 25.01.2023 y.

Avtoreferat “Texnika fanlari va innovatsiya” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi hamda o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 2,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 58/23.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko'chasi, 83-uy.