ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 3

ISSN 3030 -3907

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

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

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

ISSN 3030-3907

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

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

ISSN 3030-3907

BIOTEXNOLOGIK JARAYONINI BOSHQARISH MODELLARI VA ALGORTIMLARI

Abdullayev Husniddin Husen o‘g‘li
O‘zbekiston milliy metrologiya instituti doktoranti (Dsc), dotsenti, texnika fanlar bo‘yicha falsafa doktori(PhD)
Navruzova Aziza Azamat qizi
Buxoro davlat texnika universiteti doktoranti
E-mail: azizanavruzova042@gmail.com
Latipova Bibixonim Hakim qizi
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi

Anotatsiya. Ushbu maqolada anaerob parchalanish jarayonida metan ishlab chiqarishni maksimallashtirish va tizim barqarorligini saqlash uchun noaniq mantiqqa asoslangan supervizor boshqaruv hamda adaptiv model bashoratli boshqaruv usullari tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: Anaerob parchalanish, noaniq mantiqli boshqaruv, adaptiv model, bashoratli boshqaruv, metan ishlab chiqarish, uchuvchan yog‘ kislotalari, bioreaktor, avtomatik boshqaruv tizimi, biogaz ishlab chiqarish, jarayonlarni optimallashtirish.

Аннотация. В данной статье проанализированы методы супервизорного управления на основе нечёткой логики и адаптивного модельно-прогнозирующего управления для максимизации производства метана и поддержания устойчивости системы в процессе анаэробного сбраживания.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, нечёткое управление, адаптивная модель, модельно-прогнозирующее управление, производство метана, летучие жирные кислоты, биореактор, автоматизированная система управления, производство биогаза, оптимизация процессов.

Abstract. This article analyzes fuzzy logic-based supervisory control and adaptive model predictive control methods aimed at maximizing methane production and maintaining system stability in the anaerobic digestion process.

Keywords: Anaerobic digestion, fuzzy logic control, adaptive model, model predictive control, methane production, volatile fatty acids, bioreactor, automatic control system, biogas production, process optimization.

KIRISH.

So‘nggi yillarda biotexnologik jarayonlarni boshqarishda sun’iy intellekt elementlariga asoslangan noaniq mantiqli boshqaruv (Fuzzy Logic Control), adaptiv boshqaruv va model bashoratli boshqaruv (Model Predictive Control – MPC) usullari keng qo‘llanilmoqda. Ushbu usullar jarayon parametrlarining o‘zgarishlariga moslashish, tizim barqarorligini saqlash hamda metan ishlab chiqarishni maksimal darajaga yetkazish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

Mazkur maqolada anaerob parchalanish jarayonini boshqarishning zamonaviy modellari va algoritmlari tahlil qilinadi. Xususan, noaniq mantiqqa asoslangan supervizor boshqaruv va adaptiv model bashoratli boshqaruv usullarining ishlash prinsiplari, afzalliklari hamda biogaz ishlab chiqarish samaradorligini oshirishdagi o‘rni ko‘rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari biotexnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va energiya resurslaridan samarali foydalanish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Material va uslub. Anaerob parchalanish (AD) jarayonida ishtirok etuvchi mikroorganizmlar guruhlarining xilma-xilligi va murakkab biokimyoviy reaksiyalar tufayli uning dinamik modelini yaratish murakkab vazifa hisoblanadi. Shu munosabat bilan AD jarayonining dinamik xatti-harakatlarini tavsiflash uchun turli darajadagi murakkablikka ega bo‘lgan bir qator modellar ishlab chiqilgan. Ular AM2 va AM2HN kabi soddalashtirilgan modellardan tortib, batafsil va mukammal ADM1 modeligacha bo‘lgan modellarni o‘z ichiga oladi.

ADM1 modeli anaerob parchalanish jarayonidagi asosiy biokimyoviy va fizik-kimyoviy jarayonlarni, shuningdek jarayon davomida yuzaga keladigan ingibitsiya (tormozlanish) ta’sirlarini ham hisobga oladigan keng qamrovli model hisoblanadi. Shu sababli u boshqaruv va ekspluatatsiya strategiyalarini ishlab chiqishda standart mezon (benchmark) sifatida keng qo‘llaniladi.

Model suyuq fazadagi (substrat turiga bog‘liq ravishda erigan va zarrachali komponentlar) hamda gaz fazasidagi holat o‘zgaruvchilari uchun massa balanslarini ifodalovchi differensial tenglamalar tizimi asosida qurilgan. Ushbu modelda biokimyoviy reaksiyalar bir necha bosqichlarda amalga oshadi: dezintegratsiya, gidroliz, atsidogenez, asetogenez va metanogenez.

Bundan tashqari, ADM1 modelida gaz-suyuqlik massa almashinuvi hamda ionlarning birikishi va dissotsiyalanishi kabi fizik-kimyoviy jarayonlar ham hisobga olinadi. Zarrachali moddalarning parchalanishi va biomassa yemirilishi birinchi tartibli kinetik tenglamalar yordamida modellashtiriladi. Biomassa o‘sishi esa Monod kinetikasi asosida ifodalanadi hamda bu jarayon pH qiymati, ammoniy va vodorod konsentratsiyasi kabi ingibitsiyalovchi omillar ta’sirida kechadi.

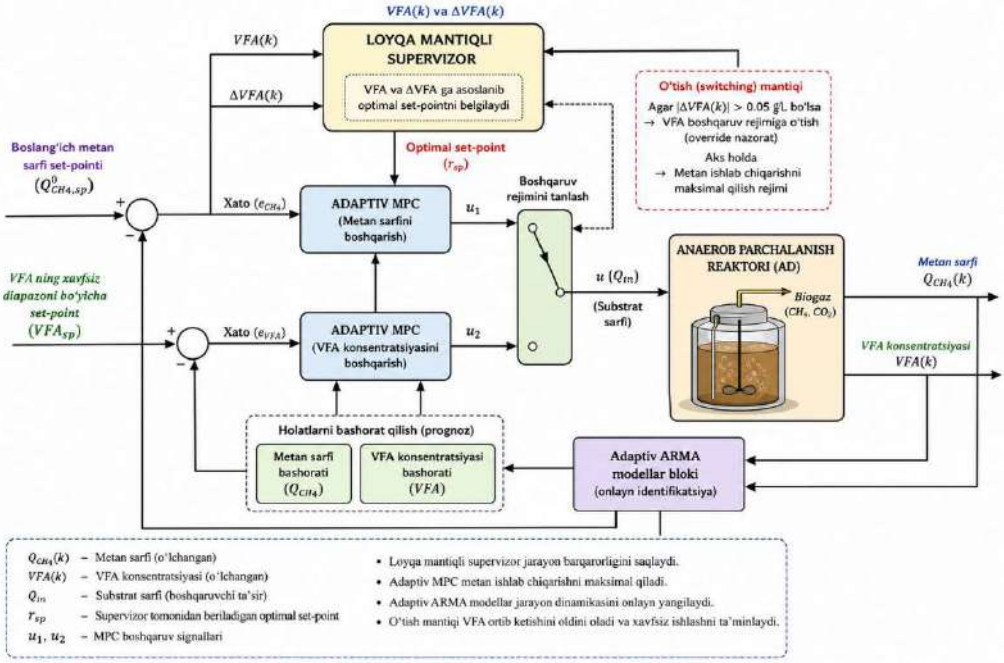
Mazkur ishda anaerob parchalanish jarayonini modellashtirish va taklif etilgan boshqaruv strategiyasining samaradorligini baholash uchun ADM1 modelining batafsil ko‘rinishidan foydalanilgan. ADM1 asosidagi virtual ishlab chiqarish qurilmasi anaerob reaktor uchun tavsiya etilgan standart benchmark modeliga muvofiq shakllantirilgan.

Supervizor boshqaruv tizimi ko‘p darajali boshqaruv arxitekturasiga asoslangan bo‘lib, uning tuzilishi 1-rasmda keltirilgan. Tizimda anaerob parchalanish jarayonining dinamik xususiyatlarini prognozlash maqsadida onlayn

ISSN 3030-3907

identifikatsiyaga ega ARMA modellaridan foydalanilgan. Mazkur modellar metan ishlab chiqarish tezligi ($Q_{ch4(k)}$), uchuvchan yog‘ kislotalari konsentratsiyasi (ΔVFA) va substratni uzatish sarfi ($Q_{in(k)}$) o‘rtasidagi bog‘liqliklarni tavsiflaydi.

Supervizor darajasida noaniq mantiqli boshqaruv algoritmi qo‘llanilib, u MPC regulyatori uchun optimal boshqaruv topshirig‘ini shakllantiradi. Boshqaruv qarorlari (ΔVFA) konsentratsiyasi va uning o‘zgarish tezligiga asoslanadi. Agar (ΔVFA) miqdorining o‘zgarishi kritik chegaradan oshsa, tizim avtomatik ravishda metan ishlab chiqarishni maksimallashtirish rejimidan reaktor barqarorligini ta’minlash rejimiga o‘tadi. Natijada uchuvchan yog‘ kislotalarining ortiqcha to‘planishi oldi olinadi, biologik jarayonlarning izdan chiqishi xavfi kamayadi va anaerob reaktorning ishonchli ishlashi ta’minlanadi.



1-rasm: tahlil qilinayotgan supervizor boshqaruv tizimining umumiy sxemasi.

Ushbu ishda foydalanilgan MPC (Model Predictive Control) algoritmining maqsad funksiyasi quyidagi ko‘rinishda berilgan [29,30]:

$$Ji\left(N_p, N_u\right) = \sum_{j=1}^{N_p} \delta[\hat{y}_i\,(t+j|t) - y_{ri}\,(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda\,[\Delta u\,(t+j|t)]^2$$

$$i = 1\ yoki\ 2$$

Bu yerda $\hat{y}_i\,(t+j|t)$ metan ishlab chiqarish tezligi yoki uchuvchan yog‘ kislotalari (ΔVFA) konsentratsiyasi kabi i-chi chiqish parametrining j qadam oldinga prognozlangan optimal qiymatini anglatadi. u boshqaruv ta’siri sifatida qaraluvchi jarayonning kirish o‘zgaruvchisi bo‘lib, $\hat{y}_i\,(t+j)$ esa chiqish parametrining kelajakdagi talab etilgan qiymatlar trayektoriyasini ifodalaydi. Np va Nu mos ravishda bashorat va boshqaruv gorizontlari bo‘lsa, δ hamda λ maqsad

ISSN 3030-3907

funksiyasining alohida hadlari uchun og‘irlik koeffitsientlari hisoblanadi. Chiqish parametrlarining kelajakdagi qiymatlarini aniqlash maqsadida adaptiv ARMA modeli qo‘llanilib, u jarayon dinamikasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishlariga moslashish imkoniyatini ta’minlaydi.

Organik chiqindilarning tarkibi ularning hosil bo‘lish manbasi va yig‘ilish vaqtiga bog‘liq ravishda o‘zgaradi. Organik chiqindilar tarkibining o‘zgarishi anaerob parchalanish (AD) jarayoniga kiruvchi substrat oqimining tabiiy xususiyati bo‘lib, biologik jarayonlar kinetikasiga hamda AD tizimining ishlab chiqarish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [2,34].

Mazkur keng tarqalgan buzuvchi ta’sir ikki xil oqibatga olib kelishi mumkin. Birinchidan, u reaktorning ortiqcha yuklanishiga sabab bo‘lishi mumkin, bu esa yuqori unumdorlikka erishish uchun metan ishlab chiqarish tezligi bo‘yicha berilgan qiymatni (set-point) oshirishni talab qiladi. Ikkinchidan, ingibitsiya (tormozlanish) ta’sirlari mavjud bo‘lgan sharoitda uchuvchan yog‘ kislotalari (VFA) ning ortiqcha to‘planishi va mikroorganizmlarning reaktordan yuvilib chiqib ketishining oldini olish maqsadida set-point qiymatini kamaytirish zarur bo‘ladi.

Biroq, kiruvchi substrat tarkibidagi o‘zgarishlarni va boshqa tashqi buzuvchi ta’sirlarni onlayn rejimda o‘lchash amaliy jihatdan murakkab hisoblanadi. Shu sababli, buzilishlar mavjud bo‘lgan sharoitda AD jarayonini optimallashtirish uchun metan ishlab chiqarish tezligini maksimal darajada saqlagan holda tizim barqarorligini ta’minlaydigan va metan boshqaruv konturining set-point qiymatini avtomatik ravishda moslashtiradigan onlayn boshqaruv strategiyalaridan foydalanish talab etiladi.

TAJRIBA NATIJALAR. Ushbu murakkab masalani hal qilish maqsadida, substrat tarkibidagi tashqi o‘zgarishlar va model noaniqliklari mavjud bo‘lgan holatlarda anaerob parchalanish jarayonini maksimal ishlab chiqarish rejimida boshqarishga mo‘ljallangan noaniq mantiqqa asoslangan supervizor strategiyasi taklif etilgan. Noraniq xulosa chiqarish tizimining (Fuzzy Inference System – FIS) konseptual tuzilishi 2-rasmda keltirilgan.

Taklif etilgan strategiyada FIS kirish ma’lumotlari sifatida VFA konsentratsiyasi va uning namunalar olish oralig‘idagi o‘zgarishini qabul qiladi hamda noaniq qoidalar bazasi asosida set-point qiymatining o‘zgarishini hisoblaydi. Yakuniy bosqichda esa noaniq chiqish signallari defazzifikatsiya (deffuzification) jarayoni yordamida $\Delta Q_(CH_4)^{sp}(k)$ ko‘rinishidagi aniq boshqaruv signaliga aylantiriladi.

ISSN 3030-3907

1-Jadval

VFA konsentratsiyasi uchun a’zolik funksiyalari parametrlari

Noaniq to‘plam	Funksiya turi	Parametrlar [a, b, c, d] yoki [σ, c]
Past (L)	Trapetsiyasimon (Trapezoidal)	[0, 0, 1300, 1500]
O‘rta (M)	Gauss (Gaussian)	[300, 1750]
Yuqori (H)	Trapetsiyasimon (Trapezoidal)	[2000, 2300, 7000, 7000]

Ushbu a’zolik funksiyalari anaerob parchalanish jarayonidagi uchuvchan yog‘ kislotalari (VFA) konsentratsiyasining past, o‘rta va yuqori darajalarini tavsiflash uchun qo‘llaniladi.

2-Jadval

ΔVFA konsentratsiyasi uchun a’zolik funksiyalari parametrlari

Noaniq to‘plam	Funksiya turi	Parametrlar [a, b, c, d] yoki [σ, c]
Katta manfiy (NB)	Trapetsiyasimon	[-600, -600, -400, -250]
O‘rta manfiy (NM)	Gauss	[65, -250]
Kichik manfiy (NS)	Gauss	[65, -100]
Nol (Z)	Gauss	[65, 0]
Kichik musbat (PS)	Gauss	[65, 100]
O‘rta musbat (PM)	Gauss	[65, 250]
Katta musbat (PB)	Trapetsiyasimon	[250, 400, 600, 600]

ΔVFA parametri VFA konsentratsiyasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini ifodalaydi. Ushbu a’zolik funksiyalari jarayon dinamikasini baholash va noaniq mantiqli qaror qabul qilish tizimida qo‘llaniladi.

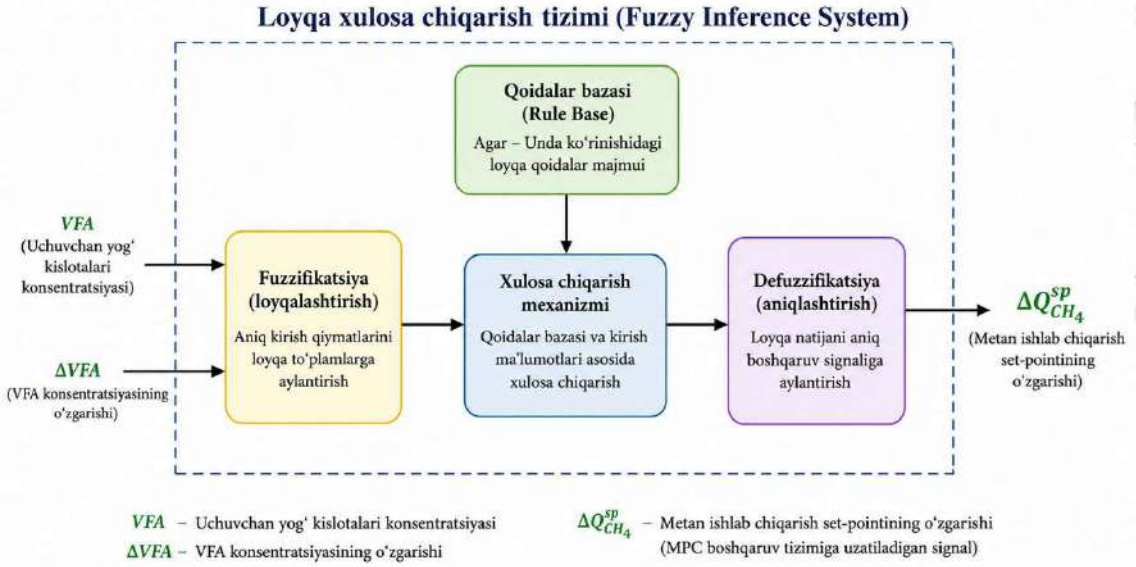
3-Jadval

ΔQ_{CH₄}^{sp} uchun a’zolik funksiyalari parametrlari

Noaniq to‘plam	Funksiya turi	Parametrlar [c, σ]
Juda katta manfiy (ANB)	Gauss	[70, -300]
Katta manfiy (NB)	Gauss	[30, -120]
O‘rta manfiy (NM)	Gauss	[30, -70]
Kichik manfiy (NS)	Gauss	[30, -35]
Nol (Z)	Gauss	[30, 0]
Kichik musbat (PS)	Gauss	[30, 35]
O‘rta musbat (PM)	Gauss	[30, 70]
Katta musbat (PB)	Gauss	[30, 120]
Juda katta musbat (APB)	Gauss	[70, 300]

ISSN 3030-3907

ΔQ_{CH₄}^{sp} metan ishlab chiqarish tezligining berilgan qiymati (set-point) o‘zgarishini ifodalaydi. Ushbu a’zolik funksiyalari noaniq supervizor tomonidan boshqaruv strategiyasini shakllantirishda foydalaniladi. Ular metan ishlab chiqarishni maksimal darajada ushlab turish va reaktorning barqaror ishlashini ta’minlashga xizmat qiladi.



2-rasm. Noraniq xulosa chiqarish tizimining (Fuzzy Inference System – FIS)

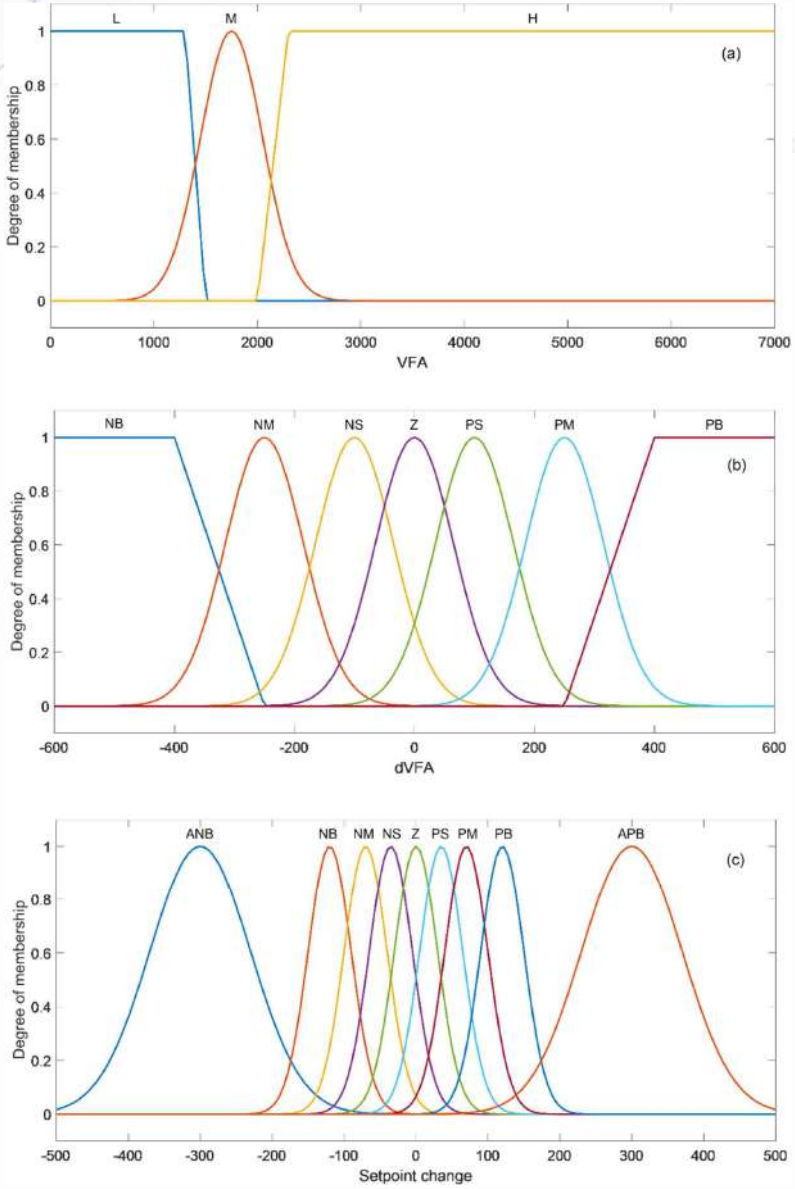
Noaniq tizimning chiqish o‘zgaruvchisi ΔQ_{CH₄}^{sp} bo‘lib, u 9 ta Gauss turidagi a’zolik funksiyalari (Membership Functions – MF) yordamida ifodalanadi. Ushbu funksiyalar mos ravishda Juda katta manfiy (Absolutely Negative Big – ANB), Katta manfiy (Negative Big – NB), O‘rta manfiy (Negative Medium – NM), Kichik manfiy (Negative Small – NS), Nol (Zero – Z), Kichik musbat (Positive Small – PS), O‘rta musbat (Positive Medium – PM), Katta musbat (Positive Big – PB) va Juda katta musbat (Absolutely Positive Big – APB) deb nomlangan (3(c)-rasm va 3-jadval).

Noaniq a’zolik funksiyalarining optimal sonini aniqlash maqsadida sinov va xatolik (trial-and-error) usuli qo‘llanilgan. Buning uchun ma’lum bir turdagi substrat (oziqlantirish oqimi) uchun yopiq konturli modellashtirish dastlab belgilangan sondagi a’zolik funksiyalari bilan amalga oshirilgan. Keyinchalik a’zolik funksiyalari soni bosqichma-bosqich oshirib borilgan va har bir holatda (11)-tenglama bilan aniqlanadigan samaradorlik mezoni qiymati hisoblangan. Ushbu jarayon samaradorlik ko‘rsatkichida sezilarli yaxshilanish kuzatilmay qolguncha davom ettirilgan.

Keyinchalik keltiriladigan modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatadiki, agar noaniq a’zolik funksiyalari soni sinov va xatolik usuli asosida yetarli darajada tanlansa, boshqaruv tizimi substrat turi va uning tarkibidagi

ISSN 3030-3907

o‘zgarishlarga nisbatan kam sezgir bo‘ladi. Bu esa anaerob parchalanish jarayonining turli ish sharoitlarida ham barqaror boshqarilishini ta’minlaydi.



3-rasm. (a) VFA konsentratsiyasi, (b) VFA konsentratsiyasining o‘zgarishi (ΔVFA) hamda (c) metan ishlab chiqarish set-pointi o‘zgarishi (ΔQCH_4sp) uchun a’zolik funksiyalarining taqsimlanishi.

Noaniq supervizor tizimining kirish–chiqish yuzasi (surface map) 4-rasmda keltirilgan. Noaniq qoidalar bazasi tizimning beqarorlik holatiga bo‘lgan yaqinligi va undan uzoqligi mezonlari asosida shakllantirilgan.

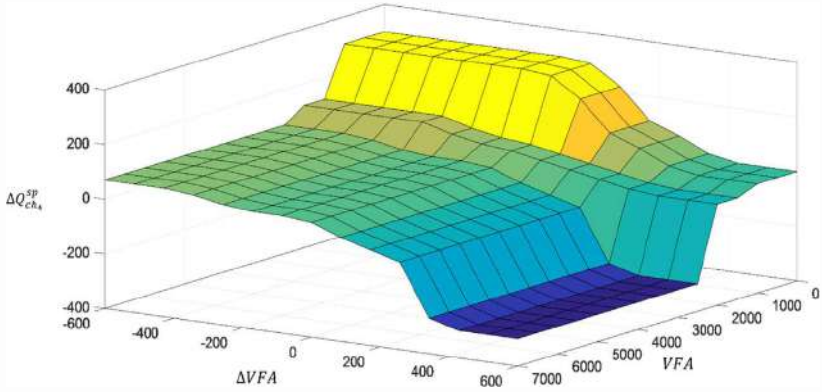
4-rasmdan ko‘rinib turibdiki, VFA konsentratsiyasi va uning o‘zgarishi (ΔVFA) kichik qiymatlarga ega bo‘lganda, ΔQCH_4sp ning qiymati yuqori bo‘ladi. Bu holat boshqaruv tizimining metan ishlab chiqarish tezligini oshirishga intilishini bildiradi, chunki reaktor barqaror ishlash zonasida joylashgan bo‘ladi.

Biroq, VFA va ΔVFA qiymatlari ortib, tizim beqarorlik chegarasiga yaqinlashgan sari, ΔQCH_4sp ning qiymati kamayadi. Natijada metan ishlab chiqarish uchun berilgan set-point pasaytiriladi va substrat yuklanishi cheklanadi.

ISSN 3030-3907

Bu esa uchuvchan yog‘ kislotalarining ortiqcha to‘planishining oldini olib, anaerob reaktorning barqaror ishlashini ta’minlaydi.

Shunday qilib, noaniq supervizor tizimi metan ishlab chiqarishni maksimal darajada saqlash va jarayon xavfsizligini ta’minlash o‘rtasida muvozanat hosil qiladi. Mazkur yondashuv anaerob parchalanish jarayonining samaradorligini oshirish bilan birga, tizimning beqarorlashuv xavfini ham kamaytiradi.



4-rasm. Noaniq supervizor boshqaruv modelining kirish–chiqish bog‘lanishini ifodalovchi sirt xaritasi.

Noaniq mantiqqa asoslangan supervizor model bashoratli boshqaruv (Fuzzy Supervisory Model Predictive Control – FSMPC) strategiyasining metan ishlab chiqarish tezligini (QCH_4) maksimal darajaga yetkazishdagi samaradorligi modellashtirish natijalari orqali namoyish etiladi.

Anaerob parchalanish (AD) jarayonining optimal ishlash rejimi amaliyotda uchrashi mumkin bo‘lgan turli holatlar uchun tadqiq qilingan. Jumladan, substrat tarkibining o‘zgarishi kabi o‘lchanmaydigan buzuvchi ta’sirlar hamda model parametrlaridagi noaniqliklar mavjud bo‘lgan sharoitlarda tizimning ishlashi tahlil qilingan.

Taklif etilgan boshqaruv strategiyasining optimalligini tasdiqlash maqsadida yopiq konturli boshqaruv tizimi xatti-harakatlarini baholashdan oldin anaerob parchalanish jarayonining statsionar holatdagi tahlili amalga oshirilgan. Ushbu tahlil turli ish sharoitlarida metan ishlab chiqarish unumdorligining maksimal qiymatini aniqlashga qaratilgan.

Olingan natijalar asosida noaniq supervizor va model bashoratli boshqaruvning birgalikdagi qo‘llanilishi metan ishlab chiqarishni maksimal darajada ushlab turish bilan birga jarayonning barqaror va ishonchli ishlashini ta’minlashi ko‘rsatilgan. Bu esa taklif etilgan strategiyaning amaliy qo‘llash uchun istiqbolli ekanligini tasdiqlaydi.

XULOSA. Mazkur tadqiqotda anaerob parchalanish jarayonida metan ishlab chiqarishni maksimal darajaga yetkazish va bioreaktorning barqaror ishlashini ta’minlash maqsadida mantiqqa asoslangan supervizor boshqaruv hamda adaptiv model bashoratli boshqaruv (MPC) usullari tahlil qilindi. Tadqiqot

ISSN 3030-3907

jarayonida ADM1 modeli asosida anaerob parchalanish tizimining dinamik xususiyatlari o‘rganildi va turli tashqi buzilishlar hamda model noaniqliklari sharoitida taklif etilgan boshqaruv strategiyasining samaradorligi baholandi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, supervizor tizimi VFA konsentratsiyasi va uning o‘zgarish tezligini nazorat qilish orqali MPC boshqaruvchisiga optimal set-point qiymatlarini uzatadi. Bu esa metan ishlab chiqarish unumdorligini oshirish bilan birga uchuvchan yog‘ kislotalarining ortiqcha to‘planishini oldini oladi va reaktorning barqaror ishlashini ta’minlaydi. Adaptiv ARMA modeli yordamida jarayon parametrlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishlari hisobga olinib, boshqaruv tizimining moslashuvchanligi oshirildi.

Modellashtirish natijalari taklif etilgan supervizorli MPC strategiyasi substrat tarkibidagi o‘zgarishlar va boshqa tashqi buzilishlar mavjud bo‘lgan holatlarda ham samarali ishlashini ko‘rsatdi. Boshqaruv tizimi metan ishlab chiqarishni maksimal darajaga yaqin qiymatlarda ushlab turish bilan birga biologik jarayonlarning izdan chiqish xavfini kamaytirdi hamda anaerob reaktorning ishonchli ishlashini ta’minladi.

Shunday qilib, mantiq va model bashoratli boshqaruv texnologiyalarining integratsiyasi anaerob parchalanish jarayonlarini avtomatlashtirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari biogaz ishlab chiqarish tizimlarini optimallashtirish, energiya resurslaridan oqilona foydalanish va zamonaviy biotexnologik jarayonlarni boshqarish tizimlarini takomillashtirish uchun ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi. Kelgusida ushbu yondashuvni real sanoat bioreaktorlarida sinovdan o‘tkazish va sun’iy intellektga asoslangan ilg‘or boshqaruv algoritmlari bilan integratsiyalash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

ADABIYOTLAR

1. L. Appels, J. Lauwers, J. Degrève, L. Helsen, B. Lievens, K. Willems, J.
2. Van Impe, R. Dewil, Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges, Renew. Sustain. Energy Rev. 15 (2011)
3. 4295–4301, http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121.
4. L. Alibardi, R. Cossu, Composition variability of the organic fraction of municipal solid waste and effects on hydrogen and methane production potentials, Waste Manag. 36 (2015) 147–155, http://dx.doi.org/10.1016/j.
5. wasman.2014.11.019. [3] J.H. Sunil P. Lohani, Anaerobic Digestion: Factors Affecting Anaerobic Digestion Process, 2017, pp. 343–359.
6. D. Nguyen, V. Gadhamshetty, S. Nitayavardhana, S.K. Khanal, Automatic process control in anaerobic digestion technology: A critical review, Biore-
7. sour. Technol. 193 (2015) 513–522, http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech. 2015.06.080.

ISSN 3030-3907

8. J.N. Meegoda, B. Li, K. Patel, L.B. Wang, A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion, Int. J. Environ. Res.
9. Public Health. 15 (2018) 2224, http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15102224.
10. D. Gaida, C. Wolf, M. Bongards, Feed control of anaerobic digestion processes for renewable energy production: A review, Renew. Sustain. Energy
11. Rev. 68 (2017) 869–875, http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.096. [7] W. et al Peters, L. Biernacki, P. Quaghebeur, Model-Based Control for a Demand-Driven Biogas Production To Cover Residual Load Rises, Bioprocess Biosyst Eng. (2019).
12. 8. E. Petre, D. Selişteanu, D. Şendrescu, M. Barbu, S. Caraman, An adaptive control structure for an anaerobic digestion process with unknown inputs, in: 2017 18th Int. Carpathian Control Conf., 2017, pp. 58–63, http://dx.doi.
13. org/10.1109/CarpathianCC.2017.7970371.
14. 9. B. Palacios-Ruiz, H.O. Méndez-Acosta, V. Alcaraz-González, V. González- Álvarez, C. Pelayo-Ortiz, Regulation of volatile fatty acids and total alkalinity in anaerobic digesters, IFAC Proc. 41 (2008) 13611–13616, http:
15. //dx.doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.02305.
16. 10. K.C. Draa, A. Zemouche, M. Alma, H. Voos, M. Darouach, Nonlinear observer-based control with application to an anaerobic digestion process,
17. Eur. J. Control. 45 (2019) 74–84, http://dx.doi.org/10.1016/j.ejcon.2018.09.012.
18. A. Rincón, C. Erazo, F. Angulo, A robust adaptive controller for an anaerobic digester with saturated input: Guarantees for the boundedness and convergence properties, J. Process Control. 22 (2012) 1785–1792, http:
19. //dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2012.07.014.
20. R. Flores Estrella, V. Alcaraz-González, J. García-Sandoval, V. González-Álvarez, Robust output disturbance rejection control for anaerobic diges- tion processes, J. Process Control. 75 (2019) 15–23, http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2018.12.012.

ISSN 3030-3907