

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

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

NASHVANDOVA GULRUXSOR MUROT QIZI

**TABIIY GAZNI ADSORBSIYA USULIDA QURITISH JARAYONINI
QAT'IYMAS-MANTIQIY BOSHQARISH TIZIMINI SINTEZLASH**

**05.01.08 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni
avtomatlashtirish va boshqarish**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Nashvandova Gulruksor Murot qizi

Tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonini qat’iymas-mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash 3

Нашвандова Гулрухсор Мурот кизи

Синтез нечетко-логической системы управления процессом осушки природного газа методом адсорбции 21

Nashvandova Gulruhsor Murot qizi

Synthesis of a fuzzy logic control system for the process of drying natural gas by adsorption.....39

E’lon qilingan ishlar ro’yxati

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**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

NASHVANDOVA GULRUXSOR MUROT QIZI

**TABIIY GAZNI ADSORBSIYA USULIDA QURITISH JARAYONINI
QAT'IYMAS-MANTIQUIY BOSHQARISH TIZIMINI SINTEZLASH**

**05.01.08 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni
avtomatlashtirish va boshqarish**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Hozirda jahonda texnologik jarayonlarni, jumladan, tabiiy gazni tayyorlash va qayta ishlash texnologik jarayonlarni boshqarish tizimini takomillashtirish va yangilarini yaratishga yo‘naltirilgan keng miqyosda ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Shu o‘rinda iste‘molchiga yuqori sifatli gazni yetkazib berish gazni qayta ishlash korxonalari texnologik qurilmalarini avtomatlashtirilganlik darajasiga bog‘liqdir. Shu sababli, gazni qayta ishlash jarayonining muhim bosqichi bo‘lgan tabiiy gazni quritish jarayonini boshqarishning zamonaviy texnika va texnologiyalar asosida takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etadi. Shuning bilan birgalikda tabiiy gazga ishlov berish jarayonining murakkabligi, dinamik xossasining nochiziqliligi, o‘zgaruvchilarning qisman aniqmasligi va tasodifiylik sharoitida gazni quritish jarayonini qat‘iymas-mantiqiy boshqarish tizimini ishlab chiqish masalasini hal qilish dolzarb muammolardan biri hisoblanmoqda.

Jahonda axborotlarning noaniqliligi va o‘zgaruvchanligi sharoitida tabiiy gazni tayyorlash va qayta ishlash texnologik jarayonlarni boshqarish tizimini takomillashtirish va yangilarini yaratishga yo‘naltirilgan keng miqyosda ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada jahonning rivojlangan qator mamlakatlarida, jumladan AQSH, Rossiya, Xitoy Saudiya Arabistoni va boshqalarda amaliyotga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Shu nuqtai nazardan gazni quritish jarayonining dinamik xossalarining o‘zgaruvchanligi, tashqi ta’sirlarning tasodifiyligi va noaniqligi sharoitida yuqori samaradorlikka ega qat‘iymas-mantiqiy boshqarish tizimini ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biri hisoblanmoqda. Bu esa tabiiy gazni quritishda adsorbsiya usuliga asoslangan holda boshqarish jarayonini qat‘iymas mantiq modellari va algoritmlarini ishlab chiqishni taqozo etadi.

Respublikamizda qabul qilingan chora-tadbirlar doirasida, jumladan gazni qayta ishlash obyektlarini loyihalashtirish va qurish jarayonida intellektuallashtirilgan boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etishga alohida e’tibor qaratilmoqda. Bu borada, 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan “Milliy iqtisod yalpi ichki mahsulotda sanoat ulushini oshirishga qaratilgan sanoat siyosatini davom ettirib, mahsulot ishlab chiqarish hajmini 1,4 baravarga oshirish...”¹ kabi vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, gazni qayta ishlash jarayoniga zamonaviy axborot texnologiyalarini keng joriy etish asosida mahsulotning hajmini oshirish, ishlab chiqarishda texnologik jarayonlarning ko‘rsatkichlarini bashoratlash orqali ulardan foydalanish samaradorligini oshirish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

O‘zbekistan Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi № PF-4947-son “O‘zbekistan Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha harakatlar strategiyasi

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

to'g'risida"gi, 2018-yil 27-apreldagi № PQ-3682-son "Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy amalga oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi, 2022-yil 28-yanvardagi №PF-60-son "Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi, 2020-yil 4-apreldagi № PQ-4664-son "Neft va gaz tarmog'ininshg moliyaviy barqarorligini oshirish bo'yicha birinchi navbatdagi chora-tadbirlar to'g'risida" va 2022-yil 7-iyuldagi № PQ-309-son "Neft va gaz sohasida ta'lim-ishlab chiqarish klasterini tashkil etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarorlari hamda mazkur sohadagi boshqa me'yoriy - huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarning amalga oshirishda ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur ilmiy tadqiqot ishi Respublika fan va texnologiyalar rivojlantirishning II. "Energiya, energiya va resurslarni tejash", IV. "Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" ustuvor yo'nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Tabiiy gazni qayta ishlash korxonalarida gazni tozalash va quritish jarayonini boshqarish usullari va algoritmlarini ishlab chiqish bilan bog'liq ilmiy-texnikaviy 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, Siemens (Germaniya) hamda oliy ta'lim muassasalari: BISC (AQSH), Zigen Universiteti (Germaniya), Kaliforniya universiteti (AQSh), Nyu-Jersi universiteti (AQSh), Milliy tadqiqot universiteti (Rossiya), Butunrossiya ilmiy-texnika instituti (Rossiya), Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti hamda "O'zbekneftgaz" AJ da keng qamrovli ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Gazga ishlov berish texnologik jarayonini boshqarish tizimlarini rivojlantirishga ko'plab xorijiy olimlar shug'ullangan, jumladan: Boyun Guo², Audun Brathen³, William C. Lyons⁴, V.M.Dmitriyev, I.Y.Klepak⁵, A.P.Veryovkin⁶, K.F.Tagirov⁷, V.B.Melnikov⁸. Texnologik jarayonlarni intellektuallashtirish tizimlar bilan boshqarilishini loyihalashtirish, texnologik tizimlardan foydalanish jarayonida

² Guo, Boyun & Ghalambor, Ali (2005): Natural Gas Engineering Handbook, Houston, Texas: Gulf Publishing Company, ISBN 0-9765113-3-9.

³ Brathen, Audun (2007): Development of Processes for Natural Gas Drying, Trondheim: Semester project conducted at Department of Energy and Process Engineering, NTNU.

⁴ Lyons, William C. & Plisga, Gary J. (2005), editors: Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering – Second Edition, Oxford, UK: Elsevier, ISBN 0-7506-7785-6, section 6: p.274 - 295.

⁵ Алгоритм регулирования расхода ингибитора при абсорбционной осушке природного газа / В. М. Дмитриев, Т. В. Ганджа, И. Я. Клепак Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика 2010 N 8 С. 8-15 (Автоматизированные системы управления) ISSN 2073-0004 Библиогр.: с. 15 (8 назв.)

⁶ А.П.Веревкин Автоматическое управление технологическими процессами нефтепереработки по показателям качества продуктов: автореферат дис.доктора технических наук: 05.13.07. - Уфа, 1999. - 35 с.

⁷ Тагирова, К. Ф. Решение актуальных задач автоматизации добычи нефти на основе иерархической системы моделей [Текст] / К. Ф. Тагирова // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2007. - N 9. - 37-40. Библиогр.:4 назв.

⁸ Мельников В.Б., Федорова Е.Б., Гафарова Э.Б. Сравнительная оценка адсорбентов для осушки природного газа при производстве сжиженного природного газа // Химия и технология топлив и масел. – 2020. – № 1 (617). – С. 23–25.

optimallashtirish vazifalarini yechishga yo'naltirilgan tadqiqotlar metodologiyasi asoslanishi muammolari, Y.Y.Gromov⁹, R.A.Aliyev, C.M. Кулаков¹⁰ ishlarida o'rganildi.

Mamlakatimizda texnologik jarayonlarni intellektuallashtirish nazariyasiga T.F.Bekmuratov¹¹, N.R.Yusupbekov¹², X.Z.Igamberdiyev¹³, Sh.M.Gulyamov¹⁴, A.R.Maraximov¹⁵, D.T.Muxamadiyeva¹⁶, I.K.Siddiqov, M.A.Ismoilov va boshqa olimlar ulkan hissalarini qo'shib kelmoqdalar.

Shu bilan birga tabiiy gazni quritish jarayonining xususiyatlarini, nohiziqliligini va ma'lumotlarning noaniqliligini hisobga olgan holda yuqori samarali boshqarish sistemasini yaratish ilmiy tadqiqotlar doirasining doimiy kengayishi va murakkablashuvini talab etadi. Shu munosabat bilan gazni quritish jarayonining zamonaviy boshqarish usullari va axborot texnologiyalari yutuqlaridan foydalangan holda boshqarish tizimini sintezlashning samarador modellari va algoritmlarini yaratish va yanada takomillashtirish zaruriyati tug'iladi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi. Ushbu ilmiy-tadqiqot ishi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarining OT-F4-78-fundamental loyiha «Identifikasion yondashuv asosida dinamik obyektlarni adaptiv boshqarish tizimlarini sintezining nazariy asoslari va muntazam usullarini ishlab chiqish» (2017-2020 yy.) mavzusidagi ilmiy loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi ma'lumotlarning noaniqligi sharoitida tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonini boshqarishning modellari va algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

gaz quritish jarayonini dinamik xususiyatlarini boshqarish obyekti sifatida tizimli tahlil qilish;

ma'lumotlar noaniqligi sharoitida gaz quritish jarayonini boshqarishning qat'iymas-mantiqiy modellarini ishlab chiqish;

tabiiy gazni quritish jarayonini qat'iymas-mantiqiy boshqarish tizimining qat'iymas-mantiqiy qoidalar bazasini shakllantirish algoritmini ishlab chiqish;

tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonini qat'iymas-mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish;

⁹ Оптимальное управление динамическими системами: учеб. пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник.

¹⁰ Кулаков С.М., Трофимов В.Б. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика (монография) // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 2. – С. 101-102;

¹¹ Бекмуратов Т.Ф. Систематизация задач интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Проблемы информатики и энергетики Ташкент №4. — 2003 - с.24-35

¹² Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Юсупбеков Н.А. Интеллектуальные системы управления и принятия решений -Ташкент Узбекистан миллий энциклопедияси. -2014 -С.490

¹³ Igamberdiyev X.Z. Regularized algorithms of adaptive assessment of state of control objects with parametric perturbation account //Chemical Technology, Control and Management. Volume - 2018 Issue 2. - pp.47-52.

¹⁴ Gulyamov Sh.M. Intelligent control technology, the reliability of the measuring information //Chemical Technology, Control and Management. №3 — 2018 — pp. 128-131

¹⁵ Марахимов А. Р. и др. Повышение обобщающей способности нейронных сетей и селекция обучающих выборок //Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2020. – №. 2. – С. 99-107.

¹⁶ Mukhamedieva D.T Approaches to solving optimization tasks based on asks based on natural calculation algorithms // Scientific- technical journal Volume 24 Issue 2 2020 pp 58-67.

yaratilgan model va algoritmlar asosida gaz quritish jarayonini avtomatlashtirilgan boshqarish tizimining dasturiy majmuasini yaratishdan iborat.

Tadqiqotning obyekti sifatida tabiiy gazning qayta ishlash jarayonlarini boshqarish tizimlari olingan.

Tadqiqotning predmeti texnologik cheklovlar va tashqi omillarning ta'sirlarini qisman noaniqligi va stoxastikligi sharoitida gazni quritish obyektlarini ish rejimlarini boshqarish usullari, modellari va algoritmlari hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida tizimli tahlil, matematik modelashtirish nazariyasi, avtomatik va intellektual boshqarish, optimallashtirish, neyro qat'iymas - mantiqiy boshqarish nazariyasi usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

gazni quritish jarayonining gidrodinamik va issiqlik almashuvi xususiyatlari asosida obyekt parametrlarini dinamik xossalarini o'zgaruvchanligi, tashqi va ichki ta'sirlar noaniqligi sharoitida boshqarish tizimini qat'iymas-mantiqiy modeli ishlab chiqilgan;

qat'iymas fazaviy yechimlar tekisligida boshqarish qoidalarini shakllantirish asosida o'zgaruvchilarni fazzifikatsiyalash, defazzifikatsiyalash amallarisiz va tegishlilik funksiyalarini hisoblashsiz boshqarish signalini aniqlash algoritmi ishlab chiqilgan;

qat'iymas - mantiqiy xulosa va kombinatsiyalangan boshqarish strategiyasi asosida boshqarish qoidalari sonini kamaytirish va mantiqiy xulosa samaradorligini oshirish imkonini beradigan adaptiv qat'iymas - mantiqiy rostlagich optimizatorini sintezlash algoritmi ishlab chiqilgan.

tabiiy gazni quritish jarayonida texnologik cheklovlarni, ichki va tashqi omillar tasodifiyligini hisobga olish imkoniyatini beruvchi intellektual texnologik usullarga asoslangan qat'iymas - mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash algoritmlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

tabiiy gazga ishlov berish jarayonini intellektuallashtirilgan boshqarish tizimining funksional sxemasi ishlab chiqilgan. U texnologik og'ishlar va tashqi ta'sirlar o'zgaruvchanligi sharoitida boshqarish sifatini oshirish hisobiga seolit va boshqa materiallar sarfini kamaytirish imkonini beradi.

tashqi ta'sirlar noaniqligi sharoitida gazga ishlov berish texnologik parametrlarini (harorat, bosim) reglamentga mos stabillash imkonini beruvchi qat'iymas - mantiqiy boshqarish tizimi ishlab chiqilgan.

tabiiy gazni qayta ishlash jarayonini boshqarish, shuningdek uskunaning texnologik rejimlarini bashorat qilish imkonini beruvchi dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi qatiymas to'plam va mantiqqa asoslangan tabiiy gazni qayta ishlash jarayonlarini intellektual boshqarish nazariy asoslarini bajarilishi, shuningdek zamonaviy usullar va vositalardan foydalanib, bajarilgan nazariy va amaliy tadqiqotlar asosida olingan natijalari va ularning o'zaro mosligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarning ilmiy ahamiyati tabiiy gazni quritish jarayonida texnologik cheklovlar, tashqi va ichki omillarning tasodifiylik xarakteri va qisman noaniqligini hisobga olgan holda intellektual texnologiyalar usullari asosida qat'iy mas-mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash modellari va algoritmlarini yaratilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonining parametrlari keng diapazonda o'zgarganda texnologik reglamentni ta'minlash hisobiga energiya resurslari sarfini kamaytirish imkonini beradigan qat'iy mas - mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash masalasini algoritmik ta'minoti ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonining qat'iy mas - mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash natijalari asosida:

gazni quritish texnologik jarayonlarini qat'iy mas - mantiqiy boshqarish tizimi "Muborak gazni qayta ishlash zavodi"da joriy etilgan ("O'zbekneftgaz" AJ ning 2025-yil 4-apreldagi №03-18-3-373 - sonli ma'lumotnomasi). Natijada, tashqi ta'sirlar noaniqligi sharoitida gazga ishlov berish texnologik parametrlarini (harorat, bosim) reglamentga mos stabilash imkonini bergan;

tabiiy gazni quritish jarayonining texnologik parametrlarini real vaqt rejimida boshqarishning dasturiy vositasi "Muborak gazni qayta ishlash zavodi" da joriy etilgan («O'zbekneftgaz» AJ ning 2025-yil 4-apreldagi №03-18-3-373- sonli ma'lumotnomasi). Natijada, tabiiy gazni qayta ishlash jarayonini boshqarish, shuningdek uskunaning texnologik rejimlarini bashorat qilish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatyasi. Ushbu tadqiqot natijalari 7 ta xalqaro va 1 ta respublika ilmiy - amaliy anjumanlarida muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 16 ta ilmiy ish, shulardan - O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta ilmiy maqola, jumladan, 3 tasi Scopus xalqaro ilmiy ma'lumotlar bazasida indekslangan xorijiy jurnallarda va ilmiy - amaliy anjumanlarida nashr etilgan hamda 3 ta EHM lar uchun yaratilgan dasturiy vositalarga O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligidan ro'yhatdan o'tgan guvohnomalar olingan.

Dissertatsiyaning strukturasi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan tashkil topgan. Dissertatsiyaning hajmi 107 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida olib borilgan tadqiqot ishlarining dolzarbligi hamda zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekt va predmetlari tavsiflangan, tadqiqot ishining O'zbekiston Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

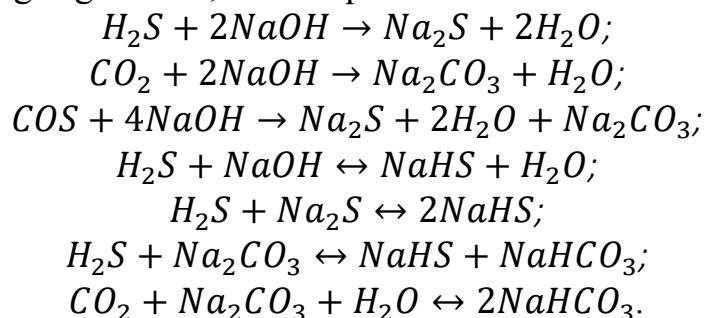
Dissertatsiya ishining **“Tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonining xususiyatlari”** deb nomlangan birinchi bobida tabiiy gazni quritishning texnologik sxemasi, uning xususiyatlarini qisqacha ta'rifi keltirilgan, tabiiy gazni quritish jarayolarini mavjud boshqarish tizimlarining tahlili ko'rib chiqilgan. Buning natijasida quritish jarayoniga ta'sir etuvchi asosiy omillar aniqlangan va jarayonning konseptual modeli ishlab chiqilgan.

Ma'lumki, tabiiy gazni quritishning turli usullari mavjud bo'lib, ulardan biri adsorbsiya usulidir. Bunda gazning tarkibidagi namlik va boshqa qo'shimchalar adsorbentga yutiladi. Adsorbsiya usuli gazning tarkibidan nafaqat namlikni balki boshqa zararli kimyoviy birikmalardan tozalash imkonini beradi. Quritgichlarda adsorbent sifatida, molekulyar tutib qoluvchilar deb nomlanuvchi, sintetik seolitlar (silikat birikmalar) ishlatiladi. Mazkur seolit kovaklarining o'lchamlari 4Å tashkil etadi, bu suv, uglerod dioksidi, asetilen va ammiak molekulalarini ushlab qolish imkonini beradi. Adsorbentning kovaklarining yutilgan molekulalar bilan to'lib qolishi, seolitning to'yinishiga va uni davriy regeneratsiyalash zaruriyatining paydo bo'lishiga olib keladi. Tabiiy gazni yuqori bosim (2300kP) va past harorat (16°C) bilan quritgichlarga yuboriladi. Quritgichning chiqishida tabiiy gaz tarkibidagi suv miqdori 1ppm ($10^{-6}\%$) dan oshmasligi kerak. Shuningdek, jarayonga noaniqlik va tasodifiy xarakterga ega bo'lgan tashqi va ichki omillar ta'sir ko'rsatadi. Bu esa yuqori sifatli boshqarish tizimini ishlab chiqishda ma'lum bir qiyinchiliklar tug'diradi. Bu sababli ushbu masalani yechish uchun intellektual texnologiyalari usullaridan foydalanishni taqozo etadi. Shu munosabat bilan neyro - qat'iymas va qat'iymas - mantiq texnologiyalariga asoslangan holda gazni quritish jarayonining texnologik obyektlarini qat'iymas - mantiqiy boshqarish tizimini yaratish modellari va algoritmlarini ishlab chiqish zaruriyati tug'ildi. Shuning asosida dissertatsiya ishining maqsad va vazifalari aniqlab olindi.

Dissertatsiya ishining **“Gazni quritishda adsorbsiya jarayonining matematik modelini ishlab chiqish”** nomli ikkinchi bobida tabiiy gazni quritish jarayonining fizik - kimyoviy xossalari, unga ta'sir etuvchi omillarning o'zgaruvchanligi va stoxastik xususiyatlari asosida texnologik jarayonning qat'iymas - mantiqiy modeli, uni o'qitishning adaptiv o'qitish algoritmi, boshqarish qoidalarini ishlab chiqish algoritmlari keltirilgan.

Tabiiy gazni quritish jarayoni murakkab xususiyatga ega bo'lib, u turli xildagi tashqi va ichki ta'sirlar ostida bo'ladi. Ushbu ta'sirlarning noaniqligi va tasodifiy xarakteri hamda texnologik parametrlarni o'zaro bog'liqligi bunday jarayonlarni boshqarish masalasini yechishni murakkablashtiradi.

Ushbu jarayonni samarali boshqarish tizimini ishlab chiqish uchun uning dinamik xossalarini, fizikaviy - kimyoviy jarayon xususiyatlarini o'rganish asosida massa va issiqlik almashinuvi tenglamalaridan foydalanib quritish jarayonining matematik modeli qurildi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, tabiiy gazni quritish jarayoni murakkab xarakterga ega bo'lib, u 7 bosqichdan iboratdir:



Ushbu munosabatlar asosida quritish jarayonining matematik ifodasi quydagicha shakllantirildi:

$$dC_{u,\Gamma i+1}/dt = -((v_\Gamma/h) + R_\Gamma(v_\Gamma))C_{u,\Gamma i+1} + R_\Gamma(v_\Gamma)E_p C_{u,a n-i} + (v_\Gamma/h)C_{u,\Gamma i};$$

$$dC_{u,\Gamma i+1}/dt = -((f(u)/h) + R_a E_p)C_{u,\Gamma i+1} + R_a C_{u,a n-i} + (f(u)/h)C_{u,a i};$$

$$dC_{u,\Pi i+1}/dt = -((v_\Pi/h) + R_\Pi)C_{u,\Pi i+1} + (v_\Gamma/h)C_{u,\Pi i} - R_\Pi E C'_{u,a n-i};$$

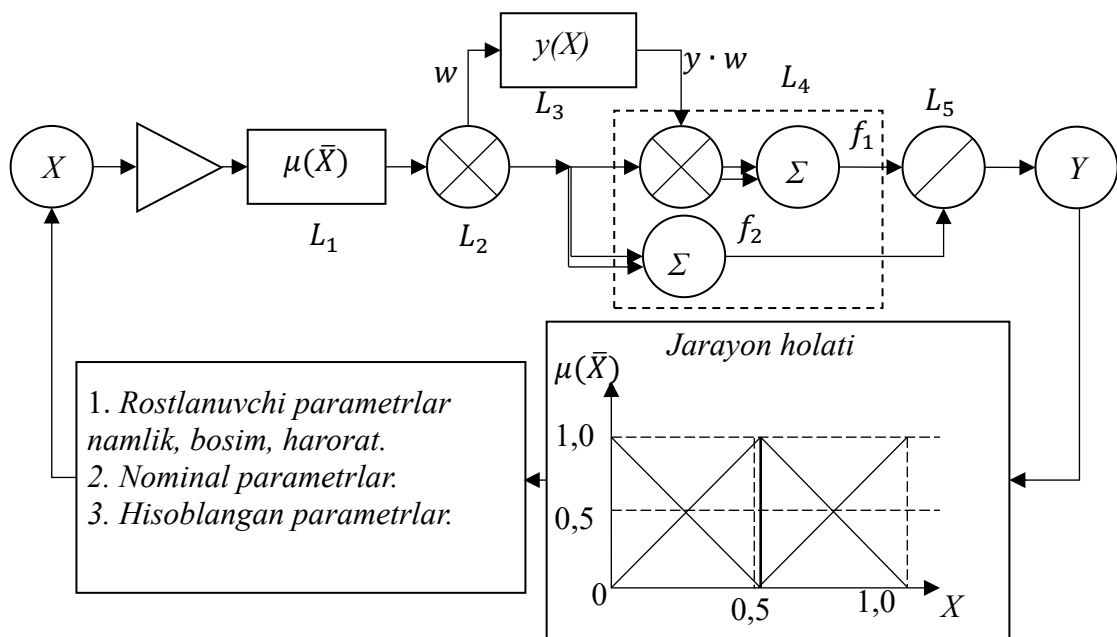
$$dC'_{u,\Pi i+1}/dt = -((v_a/h) + R'_a(v_a)E)C'_{u,\Pi i+1} + (v_a/h)C'_{u,\Pi i} - R'_a(v_a)C'_{u,a n-i},$$

bu yerda $i = 0, \dots, n-1$; E_p, E – fazaviy muvozanat koeffitsiyentlari; $f(u)$ – boshqarish ta'siri; h – diskretlash qadami; $C_{u,\Pi}$ – gaz konsentratsiyasi; $C_{u,\Gamma}$ – maqsadli komponent konsentratsiyasi; v_Γ – gaz tezligi; R_Γ – gazning fizik-texnologik koeffitsiyenti; R_a – adsorberning fizik - texnologik ko'rsatkichi.

Jarayonni o'rganish shuni ko'rsatdiki, diffuziya jarayoniga adsorberdagi gaz harorati, bosimi va quritilayotgan gazning namligi katta ta'sir ko'rsatar ekan. Shu munosabat bilan boshqariluvchi kattalik sifatida adsorberning harorati va bosimi olindi.

Ushbu ta'sirlar noaniqlilik va o'zgaruvchanlik xususiyatiga ega bo'lganligi sababli dissertatsiya ishida neyron tarmoq va qat'iymas mantiqiy usullarini birgalikda qo'llash asosida boshqarish tizimini takomillashtirish taklif etildi. Neyro qat'iymas - mantiqiy xulosa shunday usulki u ma'lumotlarning aniqlasligi, qat'iymasligi va to'liqlasligi sharoitida qat'iymas mantiqiy va sun'iy neyron tarmoq usullarini umumlashgan holda qo'llashga asoslangandir. Buning uchun dastlab tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonini dinamikasini qat'iymas to'plamlar shaklida ifodalandi. Adsorbsiya jarayonining ushbu ishlab chiqilgan matematik modeli obyekt parametrlarini o'zgarishini bashorat qilish asosida yuqori sifatli boshqarish tizimini yaratish imkonini beradi.

Tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonining xususiyati hamda qo'yilgan maqsad asosida neyro qat'iymas-mantiqiy xulosaning umumlashgan strukturasi ishlab chiqildi (1-rasm).



1 - rasm. Neyro qat'iyas-mantiqiy xulosaning umumlashgan strukturasi.

Ushbu struktura 5 qatlam (L_1 ; L_5) dan iborat bo'lib, dastlab kirish parametrlari fazzifikatsiyalanadi so'ngra har bir o'zgaruvchilarning haqiqiylik darajasi (L_1) va vazn koeffisiyentlari (L_2) aniqlanadi va korreksiyalanadi. Shular asosida agregirlangan chiqish funksiyasi $y(X)$ ning qiymatlari aniqlanadi (L_3) va (L_4) da esa xulosalar kompozitsiyalanadi va har bir o'zgaruvchining haqiqiylik darajasi topiladi. (L_5) da chiqish parametrlari defazzifikatsiyalanib, boshqarish signali shakllantiriladi.

Boshqarish jarayonida neyro qat'iyas-mantiq usulidan foydalanganda muhim bosqichlardan biri neyron tarmog'ini o'qitishdir. Tarmoqni o'qitish uchun maqsad funksiyasini minimallashtirish imkonini beruvchi gradiyentning teskari tarqalish algoritmidan foydalanamiz. Taklif qilingan neyron tarmog'i uchun o'qitishning matematik modeli quyidagi bosqichlardan iborat:

$$\begin{aligned}
 E(t) &= \frac{1}{2} (r(t) - y(t))^2 \rightarrow \min, \\
 e_1(t) &= e_2(t) - e_2(t-1), \quad e_2(t) = r(t) - y(t), \\
 e_3(t) &= e_2(t) - 2e_2(t-1) + e_2(t-2), \\
 \delta_j^{(2)} &= e_k \frac{dO_k^{(2)}}{ds_k^{(2)}}, k = \overline{1,3}, \quad \delta_j^{(1)} = \sum_{k=1}^3 \delta_j^{(2)} \omega_{kj}^{(2)} \frac{dO_j^{(1)}}{ds_j^{(1)}}, j = \overline{1,15} \\
 \Delta \omega_{kj}^{(2)}(t) &= \eta_k^{(2)} \delta_k^{(2)} O_j^{(1)} + \alpha \omega_{kj}^{(2)}(t-1) + \beta \omega_{kj}^{(2)}(t-2), \\
 \Delta b_{kj}^{(2)}(t) &= \eta_k^{(2)} \delta_k^{(2)} + \alpha \Delta b_{kj}^{(2)}(t-1) + \beta \Delta b_{kj}^{(2)}(t-2), \\
 \Delta \omega_{ji}^{(1)}(t) &= \eta_j^{(1)} \delta_j^{(1)} O_i^{(0)} + \alpha \Delta \omega_{ji}^{(1)}(t-1) + \beta \Delta \omega_{ji}^{(1)}(t-2), \\
 \Delta b_j^{(1)}(t) &= \eta_j^{(1)} \delta_j^{(1)} + \alpha \Delta b_j^{(1)}(t-1) + \beta \Delta b_j^{(1)}(t-2), \\
 \omega_{kj}^{(2)}(t+1) &= \omega_{kj}^{(2)}(t) + \Delta \omega_{kj}^{(2)}(t), \quad b_k^{(2)}(t+1) = b_k^{(2)}(t) + \Delta b_k^{(2)}(t), \\
 \omega_{ji}^{(1)}(t+1) &= \omega_{ji}^{(1)}(t) + \Delta \omega_{ji}^{(1)}(t), \quad b_j^{(1)}(t+1) = b_j^{(1)}(t) + \Delta b_j^{(1)}(t);
 \end{aligned}$$

bu yerda $r(t)$ – kirish signali; $y(t)$ – boshqarish obyektining chiqish signali; $\eta^{(1)}, \eta_k^{(2)}$ – neyron tarmog‘ining o‘qitish tezliklari; α va β – yaqinlashish ko‘effitsiyentlari; $\delta_j^{(1)}$ ba $\delta_j^{(2)}$ – kirish va ichki qatlam neyronlari uchun xatolik signalining umumiy qiymatlari; e_k – chiqish qatlamidagi neyronlarning xatolik qiymati. Shular asosida boshqarish qoidalari shakllantiriladi.

Qat’iymas-mantiq asosida boshqarish tizimini ishlab chiqishda ikkita masala hal qilinadi:

- boshqarish qoidalarini qat’iymas boshqarish strategiyasi asosida shakllantirish;

- qoidalar sonini minimallashtirish;

Boshqarish signalini ishlab chiqish uchun boshqarish natijasining topshiriqdan farqi (E) va uning o‘zgarishi (C) hamda boshqarish signallari (U) orasidagi munosabatlarni qat’iymas to‘plam sifatida tasvirlanadi.

Texnologik reglament asosida ushbu o‘zgaruvchilarning termlari aniqlanadi:

$$E = \{-N, \dots, -1, 0, 1, \dots, N\}; C = \{-N, \dots, -1, 0, 1, \dots, N\};$$

$$U = \{-M, \dots, -1, 0, 1, \dots, M\},$$

bu yerda: N, M - qat’iymas to‘plamning sath bo‘yicha kvantlashlar soni.

Boshqarish hatoligi va uning o‘zgarish tezligi o‘rtasidagi balansni ta‘minlash uchun vazn ko‘effisenti α kiritiladi hamda kirish va chiqish lingvistik o‘zgaruvchilarining kvantlash sathi turlicha bo‘lganligi sababli ularning mutanosibligini ta‘minlash uchun sozlovchi $\gamma = M/N$ ko‘effitsiyent kiritiladi. U holda boshqarish signali quyidagi ko‘rinishga keladi.

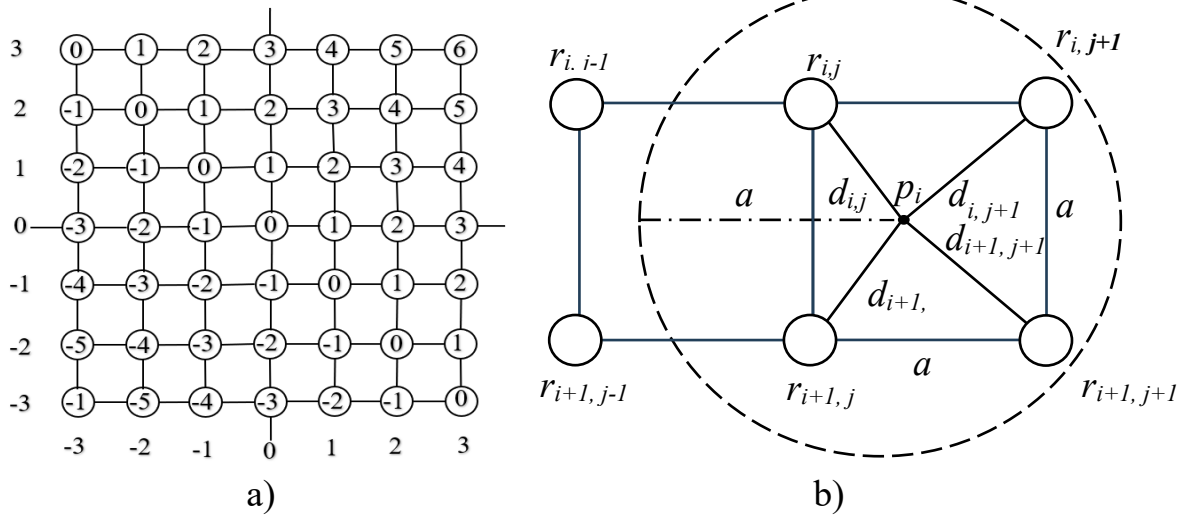
$$U = \gamma K[\alpha E + (1 - \alpha)C],$$

bu yerda K - proporsionallik ko‘effitsiyenti; $\alpha = \frac{|E|}{N}$.

Qat’iymas boshqarish strategiyasi qoidalar bazasini oddiy qat’iymas qoidalar shaklida tasvirlash imkonini beradi.

Qoidalar bazasidagi qat’iymas qoidalar soni kirish o‘zgaruvchilar (l) soni hamda ularni termlarga ajratish soni n orqali aniqlanadi, ya‘ni $p = n^l$. Qoidalar sonini kamaytirish uchun qat’iymas qoidalar bazasi shartlari va xulosasi o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni aks ettiruvchi qat’iymas fazaviy yechimlar usulidan foydalanish taklif etildi.

Buning uchun mantiqiy xulosalash samaradorligini oshirish uchun qat’iymas qoidalar bazasi shartlari va xulosasi o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni aks ettiruvchi qat’iymas fazaviy yechimlar tekisligida boshqarish qoidalari shakllantirildi (2a - rasm). Lingvistik o‘zgaruvchilar 7 ta termlarga ajratib olindi. Faza tekisligida har bir qoida shartlarining kon’yunksiyasi kirish o‘zgaruvchilarining lingvistik o‘zgaruvchilarining kesishish nuqtalarida, har bir qoida xulosasi esa tegishli kesishish nuqtasining tugunida sonli qiymat ko‘rinishida joylashadi. Qat’iymas - mantiqiy tizim bu nuqtalar orasida rostlagichning chiqish ta‘sirini interpolyasiyalaydi.



2 - rasm. (a) boshqarish qarorlarning qat'iymas faza tekisligi, (b) qo'shni tugunlar sohasi

Qat'iymas kirish term to'plamlari tekis taqsimlanmaganligi sababli, joriy $p_i(E_i, C_i)$ kirish va qoidalar shartlari (2b - rasm) o'rtasidagi tegishlilik darajasi quyidagicha aniqlanadi:

$$m_{ij} = 1 - d_{ij},$$

bu yerda: d_{ij} - p_i va uning qo'shni tugunlari orasidagi Yevklid masofasi:

$$d_{ij} = \begin{cases} \|r_{ij} - p_i\|, & \|r_{ij} - p_i\| < a_{ij}, \\ 1, & \text{aks holda} \end{cases}$$

bu yerda: r_{ij} - tugunga mos keluvchi kirish jufti. Yuqoridagilarga ko'ra, qo'shni tugunlar sohasi A_{ni} - ni quyidagicha aniqlanadi.

$$A_{ni}: \|p - p_i\| < a_{ij},$$

Yuqorida keltirilganlar asosida boshqarish signalini topish algoritmi ishlab chiqildi:

1. e_i va Δe_i kirish ma'lumotlarini o'lchash va ularni tegishli ravishda E_i va C_i ga o'zgartiriladi.

2. Qat'iymas faza tekisligida $p_i(E_i, C_i)$ nuqta shakllantiriladi va qo'shni tugunlar sohasi aniqlanadi.

3. (1) va (2) lardan foydalanib, p_i - va tegishli tugunlar orasidagi tegishlilik darajasi hisoblanadi.

4. Boshqarish signalini quyidagicha ko'rinishida hisoblanadi:

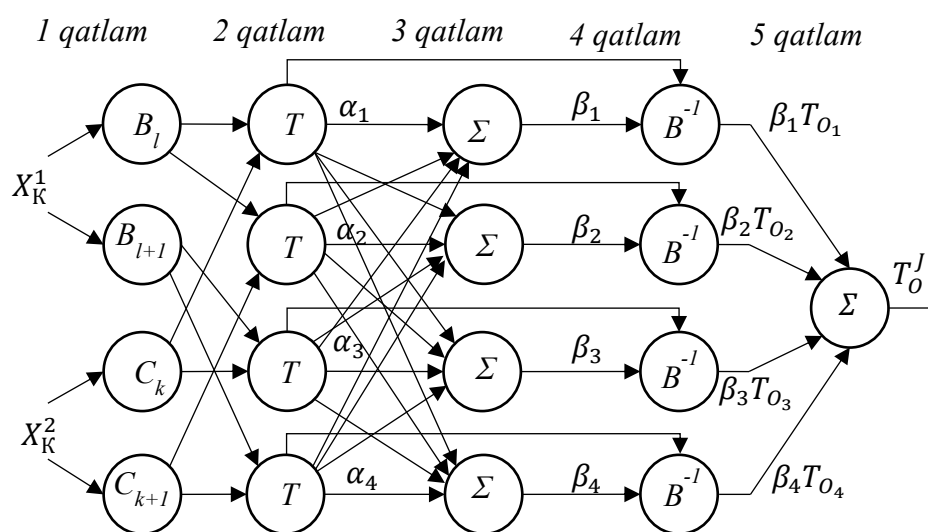
$$u_k = \frac{\sum_{j=1}^q n_{ij} m_{ij}(p_i)}{\sum_{j=1}^q m_{ij}(p_i)},$$

bu yerda n_{ij} - qo'shni tugunlar qiymati, $m_{ij}(p_i)$ - kirish signalining k - qoidaga mansublik darajasi, q - hisoblanadigan qoidalar soni.

Qat'iymas fazalar tekisligi usuli asosida boshqarish algoritmidan foydalanilganda o'zgaruvchilarni fazzifikatsiyalash, defazzifikatsiyalash tegishlilik funksiyasini hisoblash amallarini bajarilmasligi sababli boshqarish signalini ishlab chiqish tezligi mavjud tizimlarga nisbatan bir necha bor yuqori bo'ladi.

Dissertatsiya ishining “**Gazni quritish texnologik jarayoni parametrlarini raqamli boshqarish tizimini sintezlash**” nomli uchinchi bobida gazni quritish texnologik jarayonining parametrlarini raqamli qat’iymas - mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash algoritmlari keltirilgan.

Tabiiy gazni adsorbsiya usuli asosidagi quritish jarayonining xususiyatlarini hamda raqamli texnologiyalarni boshqarish masalalariga keng tadbqiq etilayotganligini hisobga olgan holda neyrotarmoq texnologiyalaridan foydalanib raqamli qat’iymas - mantiqiy boshqarish tizimi sintezlandi. Bunda, raqamli rostlagich parametrlarini optimal sozlash va ularga adaptivlik xususiyatini berish uchun uning neyro - qat’iymas tarmoq modeli qurildi. Ushbu model 5 qatlamdan iborat bo‘lib, rostlagichning kirish kattaliklari sifatida rostlashning xatolik signali (X_K^1) va uning o‘zgarish tezligi (X_K^2), chiqish parametrlari sifatida rostlagich parametrlari (K_P, K_I, K_D) olingan (3-rasm)



3-rasm. Rostlagichning qat’iymas - mantiqiy neyro-tarmoq modeli.

Ikkinchi qatlam neyronlarining chiqishlari tizimning bilimlar bazasidagi har bir noaniq xulosa qoidasining haqiqiylik darajalarini ifodalaydi:

$$\alpha_1 = B_l(X_K^1) \wedge C_k(X_K^2); \alpha_2 = B_l(X_K^1) \wedge C_{k+1}(X_K^2);$$

$$\alpha_3 = B_{l+1}(X_K^1) \wedge C_k(X_K^2); \alpha_4 = B_{l+1}(X_K^1) \wedge C_{k+1}(X_K^2).$$

Uchinchi qatlam neyronlarining chiqishlari quyidagicha hisoblablanadi:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; i = \overline{1,4}$$

To‘rtinchi qatlamda esa quyidagi amallar bajariladi:

$$\beta_i T_{O_i} = \beta_i \cdot B^{-1}(\alpha_i); i = \overline{1,4},$$

bu yerda $T_{O_i} = B^{-1}(\alpha_i) = d_i + \frac{1}{c_i} \cdot \ln\left(\frac{1-\alpha_i}{\alpha_i}\right); i = \overline{1,4}.$

Tarmoqning parametrlariga korreksiya kiritish quyidagicha amalga oshiriladi:

$$c_i := c_i - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(\alpha_i, c_i, d_i)}{\partial c_i} = c_i + \eta \cdot \delta \cdot \frac{1}{c_i^2} \cdot \frac{\alpha_i \cdot \ln\left(\frac{1-\alpha_i}{\alpha_i}\right)}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; i = \overline{1,4}$$

$$d_i := d_i - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(\alpha_i, c_i, d_i)}{\partial d_i} = d_i - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; i = \overline{1,4}$$

Beshinchi qatlamda boshqarish signalini hisoblash uchun zarur bo'lgan rostlagichning parametrlarini qiymatlari quyidagi munosabat asosida aniqlanadi:

$$T_O = \beta_1 T_{O_1} + \beta_2 T_{O_2} + \beta_3 T_{O_3} + \beta_4 T_{O_4} = \frac{\alpha_1 T_{O_1} + \alpha_2 T_{O_2} + \alpha_3 T_{O_3} + \alpha_4 T_{O_4}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}.$$

Ushbu neyro-qat'iymas tarmoqning modelini o'qitish gradiyentni teskari tarqalish algoritmi asosida amalga oshirildi. Buning uchun xatolik funksiyasini minimallashtiruvchi chiqish o'zgaruvchisi c_l , d_l term - to'plamlariga mos ravishda tegishlilik funksiyasining parametrlari quyidagicha sozlanadi:

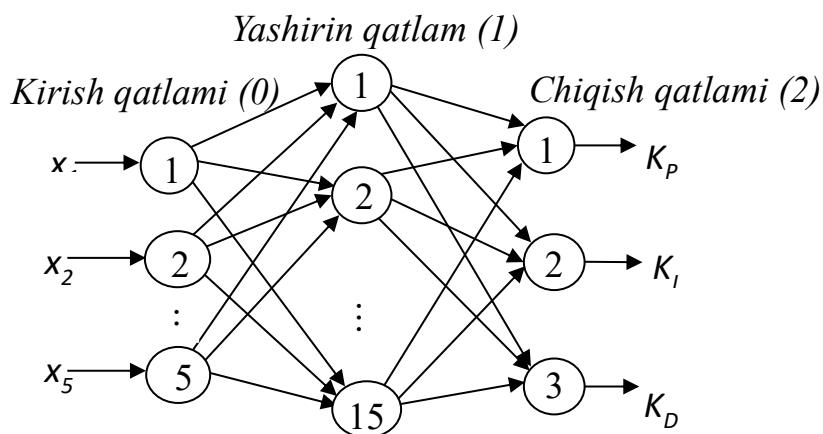
$$[E(c_l, d_l) = \frac{1}{2} \cdot [T_O(c_l, d_l) - T_O^*]^2],$$

bu yerda $T_O(c_l, d_l)$ – neyro-qat'iymas tarmoq modelining bashorat qilinadigan T_O koeffisiyenti; T_O^* – T_O koeffisiyentining joriy qiymati. c_l, d_l koeffisiyentlarini korreksiyalash quyidagicha amalga oshiriladi:

$$c_l := c_l - \eta \cdot \frac{\partial E(c_l, d_l)}{\partial c_l} = c_l - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(c_l, d_l)}{\partial c_l},$$

$$d_l := d_l - \eta \cdot \frac{\partial E(c_l, d_l)}{\partial d_l} = d_l - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(c_l, d_l)}{\partial d_l}.$$

Obyekt dinamikasining o'zgaruvchanligiga mos ravishda rostlagich parametrlarini doimiy ravishda sozlab turish uchun rostlagichga ustquritma sifatida optimizatoridan foydalanish taklif etildi. Bunda raqamli rostlagichdan foydalanish taklif etilganligi sababli optimizatorning kirish signallari sifatida topshiriq va xatolik signali, xatolik signalidan bitta takt oldingi va undan oldingi takt signali hamda rostlagich chiqishidagi signali olindi. Rostlagich parametrlari chiqish signallari sifatida tanlab olindi. Buning uchun neyrotarmoq optimizatorining strukturasi aniqlab olindi (4-rasm). Raqamli PID-rostlagich parametrlari Δt diskret qadamlarda hisoblanishi sababli, boshqarish signalini hisoblashda xatolik signalini joriy vaqtdagi va undan oldingi ikki taktlardagi qiymatlari ham kirish signali sifatida qaraldi.



4-rasm. PID rostlagichning neyron tarmoqli optimizatori tuzilmasi

Rostlagichning neyrotarmoq modelining ichki qatlam neyronlarining qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

$$S_j^{(1)} = \sum_{i=1}^5 \omega_{ji}^{(1)} \cdot x_i + b_j^{(1)}; O_j^{(1)} = f^{(1)}(S_j^{(1)}) \quad (j = \overline{1,15}),$$

$$S_k^{(2)} = \sum_{j=5}^{15} \omega_{kj}^{(2)} \cdot O_j^{(1)} + b_k^{(2)}; O_k^{(2)} = f^{(2)}(S_k^{(2)}) \quad (k = \overline{1,3});$$

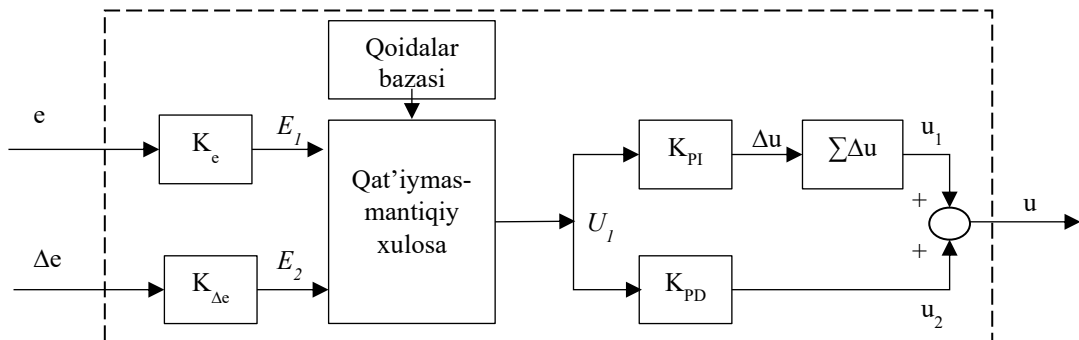
bu yerda $\omega_{ji}^{(1)}$ - ichki va kirish qatlam neyronlarining og'irlik koeffitsiyentlari; $\omega_{ji}^{(2)}$ - ichki va chiqish qatlam neyronlari orasidagi bog'lanishning og'irlik koeffitsiyentlari; x_i - neyron tarmog'ining kirish signallari; $b_j^{(1)}, b_k^{(2)}$ - ichki va chiqish qatlam neyronlarining chegaraviy qiymatlari. $O_j^{(1)}, O_k^{(2)}$ - ichki va chiqish qatlam neyronlarining chiqishlari; $S_j^{(1)}, S_k^{(2)}$ - ichki va chiqish qatlam neyronlarining umumiy og'irlik qiymatlari; $f^{(1)}$ - giperbolik tegishlilik funksiyasi; $f^{(2)}$ - chiziqli tegishlilik funksiyasi.

Ushbu parametrlarning o'zgarish yo'nalishi neyron tarmog'ining ichki va chiqish qatlamidagi neyronlar orasidagi vazn koeffitsiyentlari quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

$$\Delta\omega_{kj}^{(2)}(t) = -\eta_k^{(2)} \delta_k^{(2)} O_j^{(1)}; \omega_{kj}^{(2)}(t+1) = \omega_{kj}^{(2)}(t) + \Delta\omega_{kj}^{(2)}(t); \delta_k^{(2)} = e_k;$$

bu yerda $\eta_k^{(2)}$ - neyronlarning o'qitish tezligi; $\delta_k^{(2)}$ - chiqish qatlamidagi neyronning umumlashgan xatolik signali; e_k - neyron tarmog'ining har bir chiqish kanali uchun neyronlarning xatolik signali; $O_j^{(1)}$ - ichki qatlam neyronining chiqish signali; $\omega_{kj}^{(2)}$ - neyron tarmog'ining ichki va chiqish qatlamlari orasidagi neyronlarning vazn koeffitsiyentlari.

Neyronlarning o'qitish tezligini o'zgartirish qoidasi odatda neyron tarmog'i qoidalar bazasiga kiritiladi. Diskretizatsiya qadamini (Δt) tanlash obyektning dinamik xususiyatlarini hisobga olgan holda amalga oshirilib, u quyidagicha topiladi: $\Delta t = t_p / N$, bu yerda N - neyron tarmog'ining ichki qatlamidagi neyronlar soni, t_p - rostlash vaqti. Tabiiy gazni quritish jarayonining texnologik parametrlarini boshqarish uchun PID rostlagichning ustqurmasi sifatida yaratilgan neyrontarmoq optimizatoridan foydalanildi. Bu holda boshqarish strategiyasi PD va PI algoritmlarini bevosita birlashtirish orqali amalga oshiriladi. Ishlab chiqilgan qoidalar bazasini o'zi generatsiya qilishli qat'iymas-mantiqiy rostlagichning strukturalari 5 - rasmda keltirilgan.



5 - rasm. Kombinatiyalashgan qat'iymas - mantiqiy rostlagichning tuzilishi

Bunda boshqarish algoritmi quyidagi munosabat orqali aniqlanadi.

$$W_c(z) = \frac{z}{z-1} \left(\frac{K_D}{\Delta t z^2} - \frac{\left(\frac{2K_D}{\Delta t} + K_P \right) 1}{z} + \left(K_P + K_I \Delta t + \frac{K_D}{\Delta t} \right) \right).$$

Dinamik tizimning optimal parametrlarini aniqlash uchun yechim strategiyasi taklif etildi. Bu strategiya uzatish koeffitsiyentini qat'iy mas sozlash va integral mezonni integrallash vaqti bo'yicha optimallashtirishni o'z ichiga oladi.

Qo'yilgan masalani parametrik optimallashtirish mezonining matematik ifodasi quyidagichadir:

$$I = \int_{a_n}^{a_k} e^2(t) dt \rightarrow \min K_I;$$

$$T_{ob} \cdot y(t) + y(t) = K_{ob} \cdot u(t - \tau);$$

$$u(t) = K_p \cdot \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{K_I} \int \varepsilon(t) dt \right);$$

$$\delta_{min} \leq \delta \leq \delta_{max},$$

bu yerda $y(t)$ - obyektning chiqishi, T_{ob} - obyektning vaqt doimiysi, K_{ob} - obyektning uzatish koeffitsiyenti, τ - obyektning transport kechikishi, $u(t)$ - boshqarish, $\varepsilon(t) = y_{top} - y(t)$ - nomuvofiqlik signali, K_p va K_I - rostlagichning sozlash parametrlari, y_{top} - rostlagichga berilgan topshiriq, δ - dinamik xatolik.

Rostlagichni kuchaytirish koeffitsiyentining yangi qiymati K_p^{n+1} quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$K_p^{n+1} = \gamma_p \cdot K_p^{(n)},$$

bu yerda γ_p - sozlash koeffitsiyenti, n - K_p ni sozlash qadamining tartib raqami.

Kuchaytirish koeffitsiyenti K_p ni qat'iy mas sozlashda Mamdani mantiqiy xulosa algoritmidan foydalanildi. Rostlagichning optimal parametrlarini hisoblash algoritmini ishlab chiqish uchun rostlash xatolining o'zgarishini va chiqish qiymatining og'ishi olindi. Bu holda rostlagich parametrlarini sozlash strategiyasini tavsiflovchi qoidalar quyidagi ko'rinishga ega:

agar $H(t) > 0, \forall t > 0$, bu $K_I^{m+1} = K_I^m - \beta \cdot H(t)$;

agar $H(t) > 0, \forall t \in (0; T)$, bu $K_I^{m+1} = K_I^m - \gamma \cdot \Delta_{din}$.

β, γ, T larning qiymatlari tanlangan obyektlar sinfi uchun tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

Ishlab chiqilgan model va algoritmlarning samaradorligini aniqlash uchun imitasion tajriba o'tkazildi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, neyron tarmoq parametrlarini optimizatoridan chiziqli rostlagichlarning ustqurmasi sifatida foydalanish, boshqarish obyektining noxizizli xususiyatlarini hisobga olgan holda, rostlash xatoligini 0,23 dan 0,09 gacha kamaytirish imkonini berdi. Taklif etilgan algoritmlarning afzalliklari shundan iboratki, u real sharoitda texnologik jarayonlarni boshqarishda jarayonni bashoratlash imkonini hamda rostlagich parametrlarini mavjud usullarga nisbatan yuqori aniqlikda sozlash imkonini ham beradi.

O'tkazilgan hisoblash tajribalari natijalari shuni ko'rsatdiki, yaratilgan neyron

ustqurmasi neyrooptimizator ko‘rinishida PID rostlagich parametrlarini sozlash uchun sanoat kontrollerining prototipiga aylanishi mumkin.

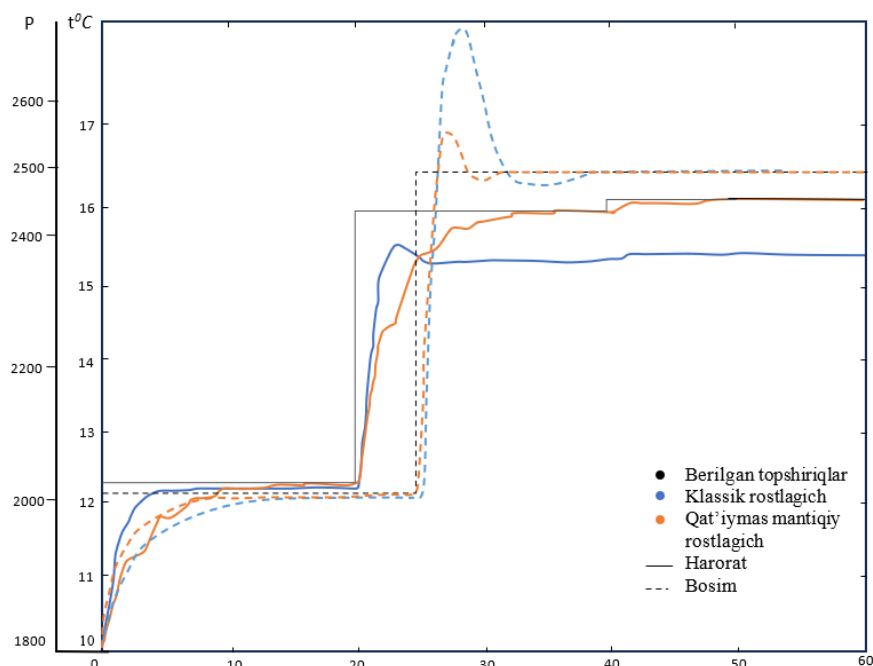
Dissertatsiyaning **“Tabiiy gazni quritish jarayonini boshqarish tizimini imitasion modellashtirish”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonini qat’iymas-mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash hamda boshqarish tizimini imitasion modellashtirish natijalari keltirilgan.

Ishlab chiqilgan model va algoritmlari Muborak gazni qayta ishlash zavodida tadbiq etildi. Tabiiy gazni quritishning texnologik jarayonini boshqarish uchun raqamli texnologiyalarni qo‘llash taklif etildi. Bunda HMI/SCADA - tizimidan foydalanildi.

Ushbu boshqarish tizimi quyidagi vazifalarni bajarishga mo‘ljallangan:

- adsorberdagi gaz harorati va bosimini o‘zgarishi, quritishga berilayotgan gaz sarfi asosida boshqarish signalini hisoblash va rostlovchi organga uzatish;
- uzatilayotgan gaz sarfini ta‘minlovchi klapanlar holatini o‘zgartiruvchi boshqarish signalini ishlab chiqish;
- adsorberda gaz harorati va bosimini nazorat qilish va uni reglamentga mosligini tahlil qilish;

Ishlab chiqilgan qat’iymas-mantiqiy boshqarish tizimini MATLAB vositalari va uning tarkibiga kiruvchi Simulink va Fuzzy Logic Toolbox kichik tizimlarga joriy etib, uni texnologik jarayon bilan SCADA-tizimining OPC protokoli asosida bog‘lash mumkin. Mavjud boshqarish tizimi va sintezlangan qat’iymas boshqarish tizimida qiyosiy tahlillash uchun imitasion tajriba o‘tkazish natijasida olingan o‘tkinchi jarayon grafiklari 6 - rasmda keltirilgan.



6-rasm. Gaz quritish jarayonining neyro qat’iymas-mantiqiy rostlash tizimini tadqiqi

O‘tish jarayoni grafiklaridan ko‘rinib turibdiki, tashqi ta’sir mavjud bo‘lganda qat’iymas boshqarish tizimi barqaror ishlaydi va boshqarish obyektini bir holatdan

ikkinchi holatga yetarlicha tezlikda o'tkazadi. Bu o'ta rostlash qiymatini 22% ga kamaytirish, boshqarish aniqligini $\pm 0,13$ dan $\pm 0,08$ gacha oshirish imkonini berdi.

Tabiiy gazni qayta ishlash jarayonini boshqarish, shuningdek, uskunaning texnologik rejimlarini bashorat qilish imkonini beruvchi dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan. Dasturiy ta'minot Muborak GQIZning GSQQ sexiga joriy qilindi. Ilmiy tadqiqot natijalari texnologik jarayonlarni intellektuallashtirish hisobiga seolitning hayotiy siklini 2 yildan 3 yilga uzaytirish imkonini beradi.

XULOSA

Dissertatsiyada tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonini qat'iymas - mantiqiy boshqarish tizimini sintezlash algoritmlarining ishlab chiqilgan usullari va modellari asosida quyidagi ilmiy natijalar olindi:

1. Mavjud boshqarish tizimlarini tahlil qilish natijasida tabiiy gazni qayta ishlashning texnologik jarayonlarini boshqarish vazifalarida sun'iy intellekt usullarni qo'llanilishi maqsadga muvofiqligi asoslangan.

2. Adsorbsiya usuli asosida tabiiy gazni quritish jarayonining unda sodir bo'ladigan kimyoviy, fizikaviy qonuniyat asosida matematik modeli analitik ko'rinishda olindi.

3. Tabiiy gazni adsorbsiya usulida quritish jarayonining qat'iymas-mantiqiy xulosa tizimini yaratish tamoyili va bilimlar bazasini qurish algoritmi ishlab chiqildi.

4. Qat'iymas fazaviy yechimlar tekisligida boshqarish qoidalarini ishlab chiqish algoritmi yaratildi. Algoritm o'zgaruvchilarni fazzifikatsiyalash, defazzifikatsiyalash va tegishlilik funksiyasini hisoblashlarsiz boshqarish signalini aniqlash imkonini beradi.

5. Boshqarish qoidalar soni va hajmini kamaytirish imkonini beruvchi kombinatsiyalangan qat'iyma-mantiqiy roslagich tizimini va uning parametrlarini optimal sozlash algoritmi ishlab chiqildi.

6. Raqamli rostlagich parametrlarini yuqori aniqlikda sozlash imkonini beruvchi neyrontarmoq optimizatori va uning ishlash algoritmi ishlab chiqildi.

7. Identifikatsiyalash va etalon modelisiz qat'iymas-mantiqiy xulosa tizimini sintezlash algoritmi ishlab chiqildi. Bu boshqarish tezligini oshirish imkonini berdi.

8. Ishlab chiqilgan raqamli qat'iymas-mantiqiy xulosa tizimni tadqiq etishning imitasion modeli ishlab chiqildi.

9. Jarayonning qat'iymas mantiqiy modeli va boshqarish algoritmlari dasturiy majmuasi Muborak GQIZning GSQQ sexiga joriy qilindi va olingan natijalar texnologik jarayonlarni intellektuallashtirish hisobiga seolitning hayotiy siklini 2 yildan 3 yilga uzaytirish imkonini beradi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

НАШВАНДОВА ГУЛРУХСОР МУРОТ КИЗИ

**СИНТЕЗ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА МЕТОДОМ
АДСОРБЦИИ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2025.2.PhD/T3095.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом 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:

Сидиков Исамидин Хакимович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мухитдинов Джалолитдин Пахридинович
доктор технических наук, профессор

Туляганов Шухрат Дилшатович
PhD по техническим наукам

Ведущая организация:

Ташкентский химико-технологический институт

Защита диссертации состоится «16» 08 2025 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 №36) (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Автореферат диссертации разослан «24» 07 2025 года.
(реестр протокола рассылки №35 от «27» 05 2025 года)



Н.Р.Юсупбеков

Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз

У.Ф.Мамиров

Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

Х.З. Игамбердиев

Председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире ведутся широкомасштабные научные исследования, направленные на совершенствование и создание новых систем управления технологическими процессами, в частности, процессами подготовки и переработки природного газа. В этом контексте доставка потребителю высококачественного газа напрямую зависит от уровня автоматизации технологического оборудования газоперерабатывающих предприятий. Кроме того, сложность процесса обработки природного газа, его нелинейные динамические характеристики, частичная неопределенность и случайность изменяемых параметров создают необходимость разработки системы нечетко-логического управления процессом осушки газа. Решение этой задачи является одной из актуальных проблем в данной области. Поэтому, совершенствование управления процессом осушки природного газа, являющегося ключевым этапом переработки, на основе современных технических и технологических решений, приобретает особую значимость.

В условиях неопределенности и изменчивости информации в мире ведутся широкомасштабные научные исследования, направленные на совершенствование и создание новых систем управления технологическими процессами подготовки и переработки природного газа. В этом направлении в ряде развитых стран, таких как США, Россия, Китай, Саудовская Аравия и другие, проводятся прикладные научные исследования. С учетом вышеизложенного, разработка нечетко-логической системы управления процессом осушки газа, обладающей высокой эффективностью в условиях изменчивости динамических характеристик процесса, случайности и неопределенности внешних воздействий, является одной из актуальных задач. Это, в свою очередь, требует разработки моделей и алгоритмов управления процессом осушки природного газа на основе нечеткой логики с применением метода адсорбции.

В рамках принятых в республике мер, в частности при проектировании и строительстве объектов газопереработки, особое внимание уделяется разработке и внедрению интеллектуализированных систем управления. В этом направлении в Стратегии развития «Новый Узбекистан» на 2022–2026 годы поставлены задачи, включающие «продолжение индустриальной политики, направленной на увеличение доли промышленности в ВВП, повышение объемов промышленного производства в 1,4 раза...»¹. Реализация данных задач, в том числе путем широкого внедрения современных информационных технологий в процесс переработки газа, позволит увеличить объемы продукции, а также повысить эффективность использования технологических процессов за счет прогнозирования их показателей. Это делает актуальной задачу повышения эффективности эксплуатации производственных процессов в газоперерабатывающей отрасли.

Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг «2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистон тараққиёт стратегияси тўғрисида» 2022 йил 28-январдаги ПФ-60-сон Фармони.

4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановление Кабинета Министров от 4 апреля 2020 года № ПК-4664 «О первоочередных мерах по повышению финансовой устойчивости нефтегазовой отрасли», а также Постановление Кабинета Министров от 7 июля 2022 года № ПК-309 «О мерах по созданию образовательно-производственного кластера в нефтегазовой сфере» и другие нормативно-правовые акты, регламентирующие данную область, являются основой для реализации поставленных задач.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование проведено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики, в частности в рамках II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технических публикаций, связанных с разработкой методов и алгоритмов управления процессами очистки и осушки газа на предприятиях по переработке природного газа, свидетельствует о достижении определённых теоретических и практических результатов в данной области. В этом направлении широкомасштабные научные исследования проводятся в ведущих мировых научных центрах, в том числе в: Honeywell (США), Международной лаборатории LIFE, Siemens (Германия), а также в высших учебных заведениях: BISC (США), университет Зиген (Германия), Калифорнийском университете (США), Университете Нью-Джерси (США), Национальном исследовательском университете (Россия), Всероссийском научно-техническом институте (Россия), Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова (Узбекистан) и АО «O'zbekneftgaz» (Узбекистан).

Развитием систем управления технологическим процессом обработки газа занимались многие зарубежные ученые, в том числе: Бойун Го², Аудун Братен³, Уильям С. Лайонс⁴, В.М. Дмитриев, И.Я. Клепак⁵, А.П. Верёвкин⁶, К.Ф. Тагиров⁷, В.Б. Мельников⁸. Проблемы разработки методологии исследований, направленных на проектирование управления

² Guo, Boyun & Ghalambor, Ali (2005): Natural Gas Engineering Handbook, Houston, Texas: Gulf Publishing Company, ISBN 0-9765113-3-9.

³ Bråthen, Audun (2007): Development of Processes for Natural Gas Drying, Trondheim: Semester project conducted at Department of Energy and Process Engineering, NTNU.

⁴ Lyons, William C. & Plisga, Gary J. (2005), editors: Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering – Second Edition, Oxford, UK: Elsevier, ISBN 0-7506-7785-6, section 6: p.274 - 295.

⁵ Алгоритм регулирования расхода ингибитора при абсорбционной осушке природного газа / В. М. Дмитриев, Т. В. Ганджа, И. Я. Клепак Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика 2010 N 8 С. 8-15 (Автоматизированные системы управления) ISSN 2073-0004 Библиогр.: с. 15 (8 назв.)

⁶ А.П.Верёвкин Автоматическое управление технологическими процессами нефтепереработки по показателям качества продуктов: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.13.07. - Уфа, 1999. - 35 с.

⁷ Тагирова, К. Ф. Решение актуальных задач автоматизации добычи нефти на основе иерархической системы моделей [Текст] / К. Ф. Тагирова // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2007. - N 9. - 37-40. Библиогр.:4 назв.

⁸ Мельников В.Б., Федорова Е.Б., Гафарова Э.Б. Сравнительная оценка адсорбентов для осушки природного газа при производстве сжиженного природного газа // Химия и технология топлив и масел. – 2020. – № 1 (617). – С. 23–25.

технологическими процессами с интеллектуальными системами, и оптимизация процессов эксплуатации технологических систем, рассматривались в работах Ю.Ю. Громова⁹, Р.А. Алиева, С.М. Кулакова¹⁰.

В нашей стране большой вклад в развитие теории интеллектуализации технологических процессов вносят такие ученые, как Т.Ф. Бекмуратов¹¹, Н.Р. Юсупбеков¹², Х.З. Игамбердиев¹³, Ш.М. Гулямов¹⁴, А.Р. Марахимов¹⁵, Д.Т. Мухамадиева¹⁶, И.К. Сиддигов, М.А. Исмаилов и другие исследователи.

Однако разработка высокоэффективных систем управления процессом осушки природного газа с учетом его специфики, нелинейности и неопределенности данных требует постоянного расширения и углубления научных исследований. В связи с этим возникает необходимость создания и совершенствования эффективных моделей и алгоритмов синтеза систем управления процессом осушки газа, основанных на современных методах управления и достижениях в области информационных технологий.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Данное диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских планов Ташкентского государственного технического университета и соответствует фундаментальному проекту ОТ- F4-78 – «Теоретические основы и систематические методы разработки синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами на основе идентификационного подхода».

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов управления процессом адсорбционной сушки природного газа в условиях неопределенности данных.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

системный анализ динамических характеристик процесса осушки газа как объекта управления;

разработка нечетко-логических моделей управления процессом осушки газа в условиях неопределенности данных;

разработка алгоритма формирования базы нечетко-логических правил для системы нечетко-логического управления процессом осушки природного газа;

⁹ Оптимальное управление динамическими системами: учеб. пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник.

¹⁰ Кулаков С.М., Трофимов В.Б. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика (монография) // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 2. – С. 101-102;

¹¹ Бекмуратов Т.Ф. Систематизация задач интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Проблемы информатики и энергетики Ташкент №4. — 2003 - с.24-35

¹² Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Юсупбеков Н.А. Интеллектуальные системы управления и принятия решений -Ташкент Узбекистан миллий энциклопедияси. -2014 -С.490

¹³ Igamberdiyev X.Z. Regularized algorithms of adaptive assessment of state of control objects with parametric perturbation account //Chemical Technology, Control and Management. Volume - 2018 Issue 2. - pp.47-52.

¹⁴ Gulyamov Sh.M. Intelligent control technology, the reliability of the measuring information //Chemical Technology, Control and Management. №3 — 2018 — pp. 128-131

¹⁵ Марахимов А. Р. и др. Повышение обобщающей способности нейронных сетей и селекция обучающих выборок //Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2020. – №. 2. – С. 99-107.

¹⁶ Mukhamedieva D.T Approaches to solving optimization tasks based on asks based on natural calculation algorithms // Scientific- technical journal Volume 24 Issue 2 2020 pp 58-67.

разработка алгоритмов синтеза системы нечетко-логического управления процессом адсорбционной осушки природного газа;

создание программного комплекса автоматизированной системы управления процессом осушки газа на основе разработанных моделей и алгоритмов.

Объектом исследования является система управления процессом переработки природного газа.

Предметом исследования являются методы, модели и алгоритмы управления режимами работы объектов осушки газа в условиях частичной неопределенности и стохастичности внешних факторов и технологических ограничений.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использованы методы системного анализа, теория математического моделирования, теории автоматического и интеллектуального управления, оптимизации, теория нейро-нечеткого логического управления.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе гидродинамических и теплообменных свойств процесса осушки газа разработана нечетко-логическая модель с учетом изменчивости его динамических характеристик, а также неопределенности внутренних и внешних воздействий;

разработан алгоритм определения управляющего сигнала на основе генерирования базы нечетких правил на плоскости фазовых решений без фазификации и дефазификации переменных, а также без вычисления функций принадлежности;

разработан алгоритм синтеза оптимизатора параметров адаптивного нечетко-логического регулятора, на основе симбиозного применения нечетко-логического вывода и комбинированной стратегии управления, что позволяет уменьшить количество правил управления и повысить эффективность логического вывода;

разработан алгоритм синтеза системы нечетко-логического управления процессом адсорбционной сушки природного газа при технологических ограничениях и стохастичности внешних и внутренних факторов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана функциональная схема интеллектуализированной системы управления процессом обработки природного газа, позволяющая снизить расход цеолита и других материалов за счет повышения качества управления в условиях изменчивости технологических отклонений и внешних воздействий;

разработана нечетко-логическая система управления технологических параметров обработки газа в условиях неопределенности внешних воздействий, обеспечивающая стабилизацию температуры и давления в соответствии с технологическим регламентом;

разработано программное обеспечение управлением процессом переработки природного газа, а также прогнозирования технологических режимов работы оборудования.

Достоверность результатов исследования обеспечивается

выполнением теоретических основ интеллектуального управления процессами переработки природного газа, основанных на нечетких множествах и логике, а также полученными результатами теоретических и практических исследований, выполненных с использованием современных методов и средств, и их взаимным соответствием.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется разработкой моделей и алгоритмов синтеза нечетко-логической системы управления на основе интеллектуальных технологий с учетом технологических ограничений, случайного характера внешних и внутренних факторов и частичной неопределенности в процессе осушки природного газа.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке алгоритмического обеспечения задачи синтеза нечетко-логической системы управления процессом адсорбционной осушки природного газа, что позволяет сократить потребление энергетических ресурсов за счет обеспечения соблюдения технологического регламента при широком диапазоне изменения параметров процесса.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов синтеза нечетко-логической системы управления процессом адсорбционной осушки природного газа:

Нечётко-логическая система управления технологическом процессом осушки газа внедрена на Мубарекском газоперерабатывающем заводе (справка АО «O‘zbekneftgaz» №03-18-3-373 от 04 апреля 2025 года). В результате обеспечена стабилизация технологических параметров переработки газа;

программное средство для управления технологическими параметрами процесса осушки природного газа в реальном времени было внедрено на Мубарекском газоперерабатывающем заводе (справка АО «O‘zbekneftgaz» №03-18-3-373 от 04 апреля 2025 года). В результате обеспечена прогнозирование технологических режимов агрегатов в процессе управления переработкой природного газа.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на 7 международных и 1 республиканской научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации было опубликовано 16 научных работ, из которых 5 научных статей – в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, включая 3 статьи, опубликованные в зарубежных журналах, индексируемых в международной научной базе данных Scopus, а также получены 3 свидетельства от Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на программные средства, созданные для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Общий объем работы составляет 107 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и необходимость проведенного исследования, сформулированы его цель и задачи, описаны объект и предмет исследования, а также показано соответствие работы приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Представлены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта их научная и практическая значимость, изложены сведения о внедрении полученных результатов в практику, публикациях по теме диссертации и структуре диссертационной работы.

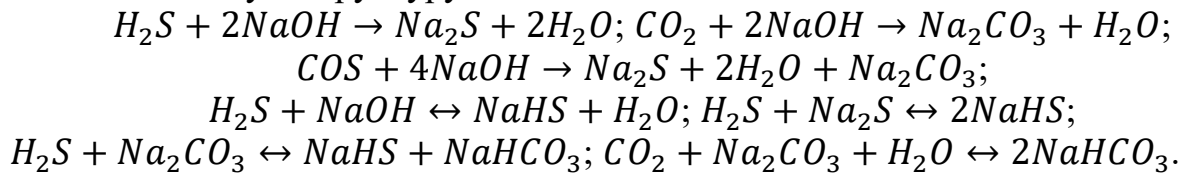
В первой главе диссертации **«Особенности процесса адсорбционной сушки природного газа»** представлена технологическая схема осушки природного газа и приведено краткое описание его характеристик. Проведен анализ существующих систем управления процессами осушки природного газа. В результате определены основные факторы, влияющие на процесс осушки, и разработана его концептуальная модель. Известно, что для осушки природного газа существуют различные методы, одним из которых является адсорбционный метод. В данном случае влага и другие примеси, содержащиеся в газе, поглощаются адсорбентом. Адсорбционный метод позволяет не только удалить влагу, но и очистить газ от вредных химических соединений. В качестве адсорбента в осушителях используются синтетические цеолиты (силикатные соединения), называемые молекулярными ситами. Размер пор таких цеолитов составляет $4\text{\AA}$, что позволяет удерживать молекулы воды, углекислого газа, ацетилен и аммиака. Заполнение пор адсорбента поглощенными молекулами приводит к насыщению цеолита и необходимости его периодической регенерации. Природный газ подается в осушители при высоком давлении (2300 кПа) и низкой температуре (16°C). На выходе из осушителя, содержание влаги в природном газе не должно превышать 1 ppm ($10^{-6}\%$). На процесс оказывают влияние внешние и внутренние факторы, обладающие неопределенностью и случайным характером, что создает определенные трудности при разработке высококачественной системы управления. В связи с этим возникает необходимость применения интеллектуальных технологий для решения данной задачи. С учетом вышеизложенного возникла потребность в разработке моделей и алгоритмов создания системы нечетко-логического управления технологическими объектами процесса осушки газа на основе нейро-нечетких и нечетко-логических технологий. На этой основе были определены цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе диссертации **«Разработка математической модели адсорбционного процесса осушки газа»** приведены физико-химические свойства процесса осушки природного газа, изменчивость влияющих факторов и их стохастические характеристики, на основе которых разработана нечетко-логическая модель технологического процесса, адаптивный алгоритм обучения и алгоритмы разработки правил управления.

Процесс осушки природного газа обладает сложными характеристиками

и находится под воздействием различных внешних и внутренних факторов. Неопределенность и случайный характер этих воздействий, а также взаимосвязь технологических параметров значительно усложняют решение задачи управления таким процессом.

Для разработки эффективной системы управления этим процессом была построена математическая модель осушки с использованием уравнений массо- и теплообмена на основе изучения его динамических свойств и физико-химических характеристик. Анализ показал, что процесс осушки природного газа имеет сложную структуру и состоит из 7 стадий:



На основе этих соотношений математическое выражение процесса осушки было сформировано следующим образом:

$$\begin{aligned} dC_{ц,г\ i+1}/dt &= -((v_g/h) + R_g(v_g))C_{ц,г\ i+1} + R_g(v_g)E_p C_{ц,а\ n-i} + (v_g/h)C_{ц,г\ i}; \\ dC_{ц,г\ i+1}/dt &= -((f(u)/h) + R_a E_p)C_{ц,г\ i+1} + R_a C_{ц,а\ n-i} + (f(u)/h)C_{ц,а\ i}; \\ dC_{ц,п\ i+1}/dt &= -((v_p/h) + R_p)C_{ц,п\ i+1} + (v_p/h)C_{ц,п\ i} - R_p E C'_{ц,а\ n-i}; \\ dC'_{ц,п\ i+1}/dt &= -((v_a/h) + R'_a(v_a)E)C'_{ц,п\ i+1} + (v_a/h)C'_{ц,п\ i} - R'_a(v_a)C'_{ц,а\ n-i}, \end{aligned}$$

здесь: $i = 0, \dots, n-1$ индекс дискретизации; E_p, E – коэффициенты фазового равновесия; $f(u)$ – управляющее воздействие; h – шаг дискретизации; $C_{ц,п}$ – концентрация газа; $C_{ц,г}$ – концентрация целевого компонента; v_g – скорость газа; R_g – физико-технологический коэффициент газа; R_a – физико-технологический показатель адсорбера.

Изучение процесса показало, что на диффузионный процесс в адсорбере существенное влияние оказывают температура газа, давление и влажность осушаемого газа. В связи с этим, в качестве управляемых величин были выбраны температура и давление адсорбера.

Поскольку эти воздействия обладают неопределенностью и изменчивостью, в диссертации предложено совершенствование системы управления на основе совместного применения нейронных сетей и нечеткой логики. Нейро-нечеткий логический вывод представляет собой метод, основанный на интеграции методов нечеткой логики и искусственных нейронных сетей для работы в условиях неточности, размытости и неполноты данных. Для этого, вначале, динамика процесса адсорбционной осушки природного газа была представлена в форме нечетких множеств. Разработанная математическая модель адсорбционного процесса позволяет прогнозировать изменения параметров объекта и создавать высококачественную систему управления.

С учетом особенностей адсорбционного процесса осушки природного газа и поставленной цели была разработана обобщенная структура нейро-нечетко-логического вывода (Рис. 1).

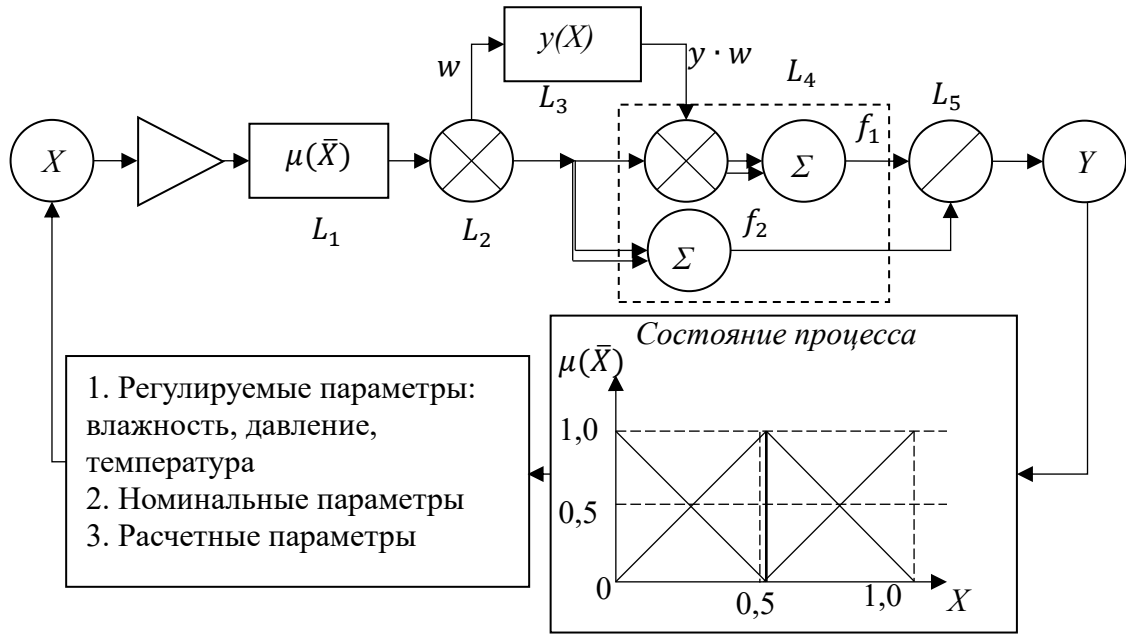


Рис. 1. Обобщенная структура нейро-нечетко-логического вывода.

Данная структура состоит из 5 слоёв ($L_1; L_5$). Сначала входные параметры фаззифицируются, затем определяются и корректируются степень истинности каждой переменной (L_1) и их весовые коэффициенты (L_2). На основе этого вычисляются значения агрегированной выходной функции $y(X)$ (L_3), а в (L_4) осуществляется композиция выводов и определяется степень истинности каждой переменной. В (L_5) выходные параметры дефаззифицируются, в результате чего формируется управляющий сигнал.

В процессе управления, при использовании нейронечетко-логического метода, одним из важнейших этапов является обучение нейронной сети. Для обучения сети применяется алгоритм обратного распространения ошибки по градиенту, который позволяет минимизировать целевую функцию. Для предложенной нейронной сети математическая модель обучения состоит из следующих этапов:

$$E(t) = \frac{1}{2} (r(t) - y(t))^2 \rightarrow \min,$$

$$e_1(t) = e_2(t) - e_2(t-1),$$

$$e_2(t) = r(t) - y(t), \quad e_3(t) = e_2(t) - 2e_2(t-1) + e_2(t-2),$$

$$\delta_j^{(2)} = e_k \frac{dO_k^{(2)}}{ds_k^{(2)}}, k = \overline{1,3}, \quad \delta_j^{(1)} = \sum_{k=1}^3 \delta_k^{(2)} \omega_{kj}^{(2)} \frac{dO_j^{(1)}}{ds_j^{(1)}}, j = \overline{1,5}$$

$$\Delta \omega_{kj}^{(2)}(t) = \eta_k^{(2)} \delta_k^{(2)} O_j^{(1)} + \alpha \omega_{kj}^{(2)}(t-1) + \beta \omega_{kj}^{(2)}(t-2),$$

$$\Delta b_{kj}^{(2)}(t) = \eta_k^{(2)} \delta_k^{(2)} + \alpha \Delta b_{kj}^{(2)}(t-1) + \beta \Delta b_{kj}^{(2)}(t-2),$$

$$\Delta \omega_{ji}^{(1)}(t) = \eta_j^{(1)} \delta_j^{(1)} O_i^{(0)} + \alpha \Delta \omega_{ji}^{(1)}(t-1) + \beta \Delta \omega_{ji}^{(1)}(t-2),$$

$$\Delta b_j^{(1)}(t) = \eta_j^{(1)} \delta_j^{(1)} + \alpha \Delta b_j^{(1)}(t-1) + \beta \Delta b_j^{(1)}(t-2),$$

$$\omega_{kj}^{(2)}(t+1) = \omega_{kj}^{(2)}(t) + \Delta \omega_{kj}^{(2)}(t), \quad b_k^{(2)}(t+1) = b_k^{(2)}(t) + \Delta b_k^{(2)}(t),$$

$$\omega_{ji}^{(1)}(t+1) = \omega_{ji}^{(1)}(t) + \Delta\omega_{ji}^{(1)}(t), \quad b_j^{(1)}(t+1) = b_j^{(1)}(t) + \Delta b_j^{(1)}(t);$$

здесь: $r(t)$ – входной сигнал; $y(t)$ – выходной сигнал объекта управления; $\eta^{(1)}, \eta_k^{(2)}$ – скорости обучения нейронной сети; α и β – коэффициенты сходимости; $\delta_j^{(1)}$ и $\delta_j^{(2)}$ – общие значения сигнала ошибки для нейронов входного и скрытого слоёв; e_k – значение ошибки нейронов выходного слоя. На основе этих величин формируются правила управления.

При разработке системы управления на основе нечеткой логики решаются две задачи:

- формулирование правил управления на основе последовательной стратегии управления;
- минимизирование количества правил

Для выработки управляющего сигнала отклонение результата управления от задания (E), его изменение (C) и взаимосвязь между управляющими сигналами (U), описываются как нечеткие наборы. Технологический регламент определяет термины, которые будут использоваться в производственном процессе:

$$E = \{-N, \dots, -1, 0, 1, \dots, N\}; C = \{-N, \dots, -1, 0, 1, \dots, N\}; \\ U = \{-M, \dots, -1, 0, 1, \dots, M\},$$

здесь: N, M – количество уровней квантования нечеткого множества.

Для обеспечения баланса между ошибкой управления и скоростью её изменения вводится весовой коэффициент α . Поскольку уровни квантования входных и выходных лингвистических переменных различны, для обеспечения их соответствия вводится настроечный коэффициент $\gamma = M/N$. В этом случае управляющий сигнал принимает следующий вид:

$$U = \gamma K[\alpha E + (1 - \alpha)C],$$

здесь K – коэффициент пропорциональности; $\alpha = \frac{|E|}{N}$.

Стратегия нечеткого управления позволяет представить базу правил в виде простых нечетких правил.

Количество нечетких правил в базе правил определяется через количество входных переменных (l) и количество их разбиений на термы (n) по следующей зависимости: $p = n^l$. Для уменьшения количества правил предложено использовать метод нечетких фазовых решений, который отражает взаимосвязь между условиями и выводами в базе нечетких правил.

Для повышения эффективности логического вывода правила управления формируются на плоскости нечетких фазовых решений, которая отражает взаимосвязь между условиями и выводами в базе нечетких правил (Рис. 2а). Лингвистические переменные могут быть разделены на 7 термов. На фазовой плоскости конъюнкция условий каждого правила располагается в точках пересечения лингвистических переменных входных данных, а вывод каждого правила размещается в виде числового значения в соответствующем узле пересечения. Нечеткая логическая система интерполирует управляющее воздействие регулятора между этими точками.

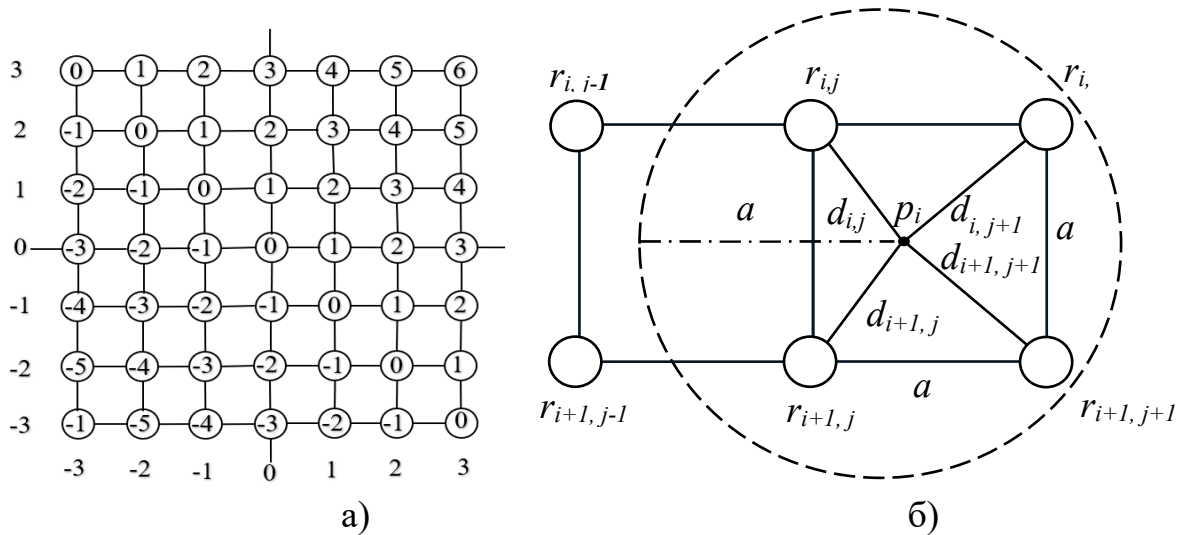


Рис. 2. (а) Нечеткая фазовая плоскость управленческих решений, (б) область соседних узлов

Поскольку нечеткие входные терм-множества распределены неравномерно, степень принадлежности текущей точки $p_i(E_i, C_i)$ к условиям нечетких правил (Рис. 2б) определяется следующим образом:

$$m_{ij} = 1 - d_{ij}, \quad (1)$$

здесь d_{ij} – евклидово расстояние между p_i и его соседними узлами:

$$d_{ij} = \begin{cases} \|r_{ij} - p_i\|, & \|r_{ij} - p_i\| < a_{ij}, \\ 1 & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

где r_{ij} – входная пара, соответствующая узлу.

При этом область соседних узлов A_{ni} – определяется следующим образом:

$$A_{ni}: \|p - p_i\| < a_{ij}. \quad (3)$$

На основе вышеизложенного был разработан алгоритм вычисления управляющего сигнала:

1. Измеряются входные данные e_i и Δe_i которые затем преобразуются в соответствующие значения E_i и C_i .

2. На нечеткой фазовой плоскости формируется точка $p_i(E_i, C_i)$ и определяется область соседних узлов.

3. С использованием данных из шагов (1) и (2) вычисляется степень принадлежности точки p_i – к соответствующим узлам.

4. Управляющий сигнал рассчитывается следующим образом:

$$u_k = \frac{\sum_{j=1}^q n_{ij} m_{ij}(p_i)}{\sum_{j=1}^q m_{ij}(p_i)},$$

здесь n_{ij} – значение соседних узлов; m_{ij} – степень принадлежности входного сигнала (p_i) k - му правилу; q – количество учитываемых правил.

При использовании алгоритма управления на основе метода нечеткой фазовой плоскости отсутствуют операции фаззификации, дефаззификации и вычисления функции принадлежности. Благодаря этому скорость

формирования управляющего сигнала становится в несколько раз выше по сравнению с существующими системами.

В третьей главе диссертации «Синтез системы цифрового управления технологическими параметрами процесса осушки газа» приведены алгоритмы синтеза цифровой нечетко-логической системы управления параметрами технологического процесса осушки газа.

С учетом особенностей процесса адсорбционной осушки природного газа и широкого применения цифровых технологий в задачах управления, была синтезирована цифровая нечетко-логическая система управления с использованием нейросетевых технологий. Для оптимальной настройки параметров цифрового регулятора и придания им адаптивных свойств была разработана нейро-нечеткая модель. Данная модель состоит из 5 слоев, при этом в качестве входных величин регулятора выбраны: сигнал ошибки регулирования (X_K^1), скорость изменения ошибки (X_K^2), выходными параметрами выступают настройки регулятора (K_P, K_I, K_D) (Рис. 3)

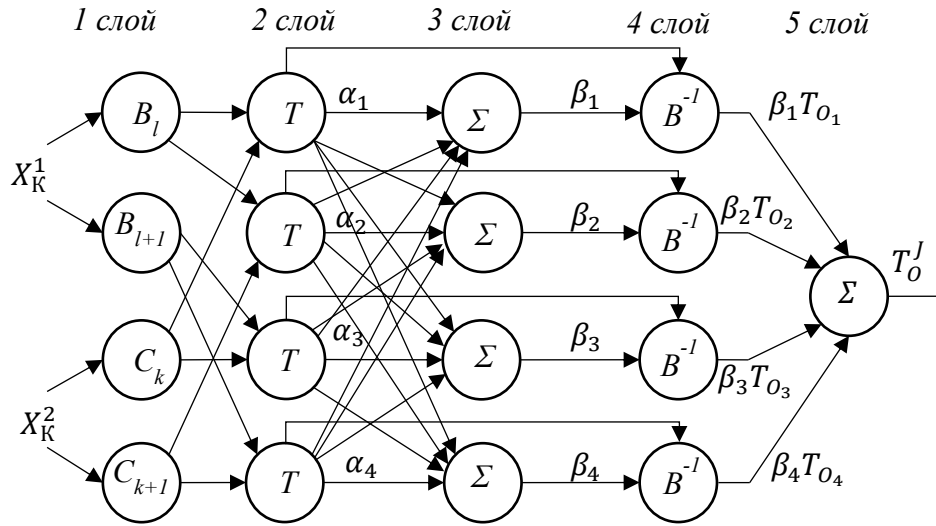


Рис. 3. Нечетко-логическая нейросетевая модель регулятора.

Выходы нейронов второго слоя выражают степень истинности каждого нечеткого правила вывода, содержащегося в базе знаний системы.

$$\alpha_1 = B_l(X_K^1) \wedge C_k(X_K^2); \alpha_2 = B_l(X_K^1) \wedge C_{k+1}(X_K^2);$$

$$\alpha_3 = B_{l+1}(X_K^1) \wedge C_k(X_K^2); \alpha_4 = B_{l+1}(X_K^1) \wedge C_{k+1}(X_K^2).$$

Выходы нейронов третьего слоя вычисляются следующим образом:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; i = \overline{1,4}$$

В четвертом слое выполняются следующие операции:

$$\beta_i T_{O_i} = \beta_i \cdot B^{-1}(\alpha_i); i = \overline{1,4};$$

где $T_{O_i} = B^{-1}(\alpha_i) = d_l + \frac{1}{c_l} \cdot \ln\left(\frac{1-\alpha_i}{\alpha_i}\right); i = \overline{1,4}.$

Коррекция параметров сети осуществляется следующим образом:

$$c_i := c_i - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(\alpha_i, c_i, d_i)}{\partial c_i} = c_i + \eta \cdot \delta \cdot \frac{1}{c_i^2} \cdot \frac{\alpha_i \cdot \ln\left(\frac{1-\alpha_i}{\alpha_i}\right)}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; i = \overline{1,4}$$

$$d_i := d_i - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(\alpha_i, c_i, d_i)}{\partial d_i} = d_i - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; i = \overline{1,4}$$

В пятом слое значения параметров регулятора, необходимых для вычисления управляющего сигнала, определяются на основе следующего соотношения:

$$T_O = \beta_1 T_{O_1} + \beta_2 T_{O_2} + \beta_3 T_{O_3} + \beta_4 T_{O_4} = \frac{\alpha_1 T_{O_1} + \alpha_2 T_{O_2} + \alpha_3 T_{O_3} + \alpha_4 T_{O_4}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}.$$

Обучение данной нейро-нечеткой сетевой модели было выполнено на основе алгоритма обратного распространения градиента. Для этого параметры функции принадлежности выходной переменной, минимизирующей функцию ошибки, настраиваются в соответствии с терм-множествами c_l и d_l следующим:

$$[E(c_l, d_l) = \frac{1}{2} \cdot [T_O(c_l, d_l) - T_O^*]^2],$$

здесь $T_O(c_l, d_l)$ – прогнозируемый коэффициент T_O нейро-нечеткой сетевой модели; T_O^* – текущее значение коэффициента T_O . Коррекция коэффициентов c_l и d_l осуществляется следующим образом:

$$c_l := c_l - \eta \cdot \frac{\partial E(c_l, d_l)}{\partial c_l} = c_l - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(c_l, d_l)}{\partial c_l},$$

$$d_l := d_l - \eta \cdot \frac{\partial E(c_l, d_l)}{\partial d_l} = d_l - \eta \cdot \delta \cdot \frac{\partial b(c_l, d_l)}{\partial d_l}$$

Для постоянной настройки параметров регулятора в соответствии с изменчивостью динамики объекта было предложено использовать оптимизатор в качестве надстройки над регулятором. В качестве входных сигналов оптимизатора были выбраны сигналы задания, ошибки, сигнал ошибки на один такт ранее и на два такта ранее, а также сигнал с выхода регулятора. Параметры регулятора при этом были выбраны в качестве выходных сигналов. Для этого была определена структура нейросетевого оптимизатора (Рис. 4). Поскольку параметры цифрового ПИД-регулятора рассчитываются в дискретные моменты времени (Δt), при вычислении управляющего сигнала в качестве входных сигналов рассматривались текущее значение ошибки и её значения на двух предыдущих тактах.

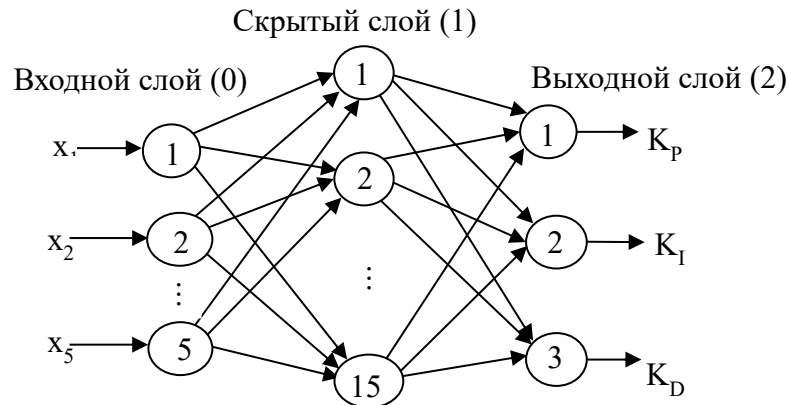


Рис. 4. Структура нейросетевого оптимизатора ПИД-регулятора

Значения нейронов внутреннего слоя нейросетевой модели регулятора определяются следующим образом:

$$S_j^{(1)} = \sum_{i=1}^5 \omega_{ji}^{(1)} \cdot x_i + b_j^{(1)}; O_j^{(1)} = f^{(1)}(S_j^{(1)}) \quad (j = \overline{1,15}),$$

$$S_k^{(2)} = \sum_{j=5}^{15} \omega_{kj}^{(2)} \cdot O_j^{(1)} + b_k^{(2)}; O_k^{(2)} = f^{(2)}(S_k^{(2)}) \quad (k = \overline{1,3});$$

здесь $\omega_{ji}^{(1)}$ - коэффициенты весовых связей между нейронами входного и скрытого слоев; $\omega_{ji}^{(2)}$ - коэффициенты весовых связей между нейронами скрытого и выходного слоев; x_i - входные сигналы нейронной сети; $b_j^{(1)}, b_k^{(2)}$ - пороговые значения нейронов скрытого и выходного слоев; $O_j^{(1)}, O_k^{(2)}$ - выходные значения нейронов скрытого и выходного слоев; $S_j^{(1)}, S_k^{(2)}$ - взвешенные значения нейронов скрытого и выходного слоев; $f^{(1)}$ - гиперболическая функция активации; $f^{(2)}$ - линейная функция активации.

Направление изменения этих параметров определяется весовыми коэффициентами между нейронами внутреннего и выходного слоев нейронной сети и вычисляется по следующим формулам:

$$\Delta\omega_{kj}^{(2)}(t) = -\eta_k^{(2)} \delta_k^{(2)} O_j^{(1)}; \omega_{kj}^{(2)}(t+1) = \omega_{kj}^{(2)}(t) + \Delta\omega_{kj}^{(2)}(t); \delta_k^{(2)} = e_k;$$

здесь: $\eta_k^{(2)}$ - скорость обучения нейронов; $\delta_k^{(2)}$ - обобщенный сигнал ошибки нейрона выходного слоя; e_k - сигнал ошибки нейронов для каждого выходного канала нейронной сети; $O_j^{(1)}$ - выходной сигнал нейрона скрытого слоя; $\omega_{kj}^{(2)}$ - коэффициенты весовых связей между нейронами скрытого и выходного слоев нейросети.

Правило изменения скорости обучения нейронов обычно включается в базу правил нейронной сети. Выбор шага дискретизации (Δt) осуществляется с учетом динамических характеристик объекта и определяется по следующему соотношению: $\Delta t = t_p / N$, где: N - количество нейронов во внутреннем слое нейронной сети, t_p - время регулирования. Для управления технологическими параметрами процесса осушки природного газа был использован нейросетевой оптимизатор, встроенный в ПИД-регулятор в качестве надстройки. В этом случае стратегия управления реализуется путем непосредственного объединения алгоритмов PD и PI. Структура нечетко-логического регулятора с автоматической генерацией собственной базы правил представлена на рис.5.

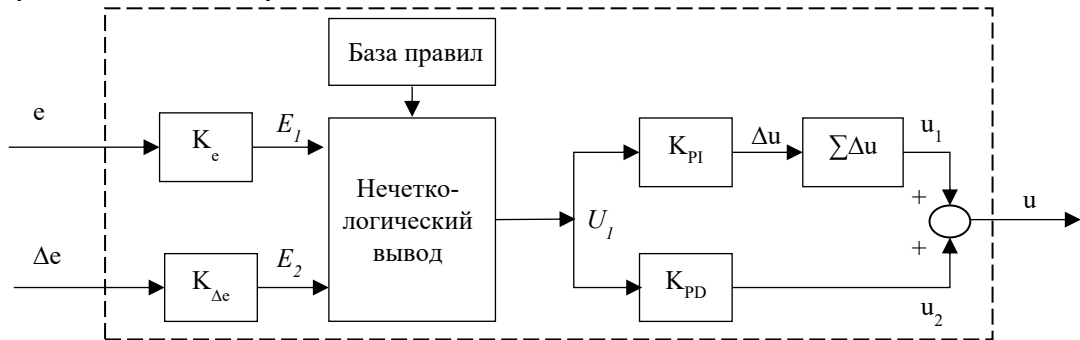


Рис.5. Структура комбинированного нечетко-логического регулятора

При этом алгоритм управления определяется следующим соотношением.

$$W_c(z) = \frac{z}{z-1} \left(\frac{K_D}{\Delta t z^2} - \frac{\left(\frac{2K_D}{\Delta t} + K_P \right) 1}{z} + \left(K_P + K_I \Delta t + \frac{K_D}{\Delta t} \right) \right).$$

Для определения оптимальных параметров динамической системы была предложена стратегия решения. Данная стратегия включает в себя нечеткую коррекцию коэффициента передачи и оптимизацию интегрального критерия по времени интегрирования.

Математическое выражение критерия параметрической оптимизации поставленной задачи имеет следующий вид:

$$I = \int_{a_H}^{a_k} e^2(t) dt \rightarrow \min K_I, T_{ob} \cdot y(t) + y(t) = K_{ob} \cdot u(t - \tau),$$

$$u(t) = K_p \cdot \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{K_I} \int \varepsilon(t) dt \right), \delta_{min} \leq \delta \leq \delta_{max},$$

здесь: $y(t)$ - выход объекта, T_{ob} - постоянная времени объекта, K_{ob} - коэффициент передачи объекта, τ - транспортное запаздывание объекта, $u(t)$ - управляющее воздействие, $\varepsilon(t) = y_{зад} - y(t)$ - сигнал рассогласования, K_p и K_I - настройки регулятора, $y_{зад}$ - заданное значение регулятора, δ - динамическая ошибка.

Новое значение коэффициента усиления регулятора K_p^{n+1} определяется по следующей формуле:

$$K_p^{n+1} = \gamma_p \cdot K_p^{(n)},$$

здесь: γ_p - коэффициент коррекции, n - порядковый номер шага коррекции K_p .

При нечеткой настройке коэффициента усиления K_p был использован алгоритм логического вывода Мамдани. Для разработки алгоритма расчета оптимальных параметров регулятора были взяты изменение ошибки регулирования и прирост выходного значения. В этом случае правила, характеризующие стратегию настройки параметров регулятора, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{если } H(t) > 0, \forall t > 0, \text{ то } K_I^{m+1} &= K_I^m - \beta \cdot H(t); \\ \text{если } H(t) > 0, \forall t \in (0; T), \text{ то } K_I^{m+1} &= K_I^m - \gamma \cdot \Delta_{дин}. \end{aligned}$$

Значения β , γ и T определяются экспериментально для выбранного класса объектов.

Для определения эффективности разработанных моделей и алгоритмов было проведено имитационное экспериментальное исследование. Результаты эксперимента показали, что использование оптимизатора параметров нейронной сети в качестве надстройки над линейными регуляторами, с учетом нелинейных характеристик объекта управления, позволило уменьшить ошибку регулирования с 0,23 до 0,09. Преимущества предложенных алгоритмов заключаются в том, что они обеспечивают возможность прогнозирования процесса при управлении технологическими процессами в реальных условиях, а также более точную настройку параметров регулятора по сравнению с существующими методами.

Результаты проведенных расчётных экспериментов показали, что разработанная нейронная надстройка в виде нейрооптимизатора может стать

прототипом промышленного контроллера для настройки параметров ПИД-регулятора.

В четвёртой главе диссертации «Имитационное моделирование системы управления процессом осушки природного газа» приведены результаты синтеза нечетко-логической системы управления процессом адсорбционной осушки природного газа и имитационного моделирования системы управления.

Разработанная модель и алгоритмы были внедрены на Мубарекском газоперерабатывающем заводе. Для управления технологическим процессом осушки природного газа было предложено использовать цифровые технологии. При этом применялась HMI/SCADA-система.

Данная система управления предназначена для выполнения следующих задач:

- вычисление управляющего сигнала на основе изменений температуры и давления газа в адсорбере и расхода газа, подаваемого на осушку, а также передача его на исполнительный механизм;
- разработка управляющего сигнала для изменения состояния клапанов, обеспечивающих расход подаваемого газа;
- контроль температуры и давления газа в адсорбере и анализ их соответствия регламенту.

Разработанную нечетко-логическую систему управления можно внедрить в небольшие системы с использованием MATLAB и его модулей Simulink и Fuzzy Logic Toolbox, связав её с технологическим процессом через OPC-протокол SCADA-системы. Для сравнительного анализа существующей системы управления и синтезированной нечеткой системы управления была проведен имитационный эксперимент, переходные процессы которого представлены на рис. 6.

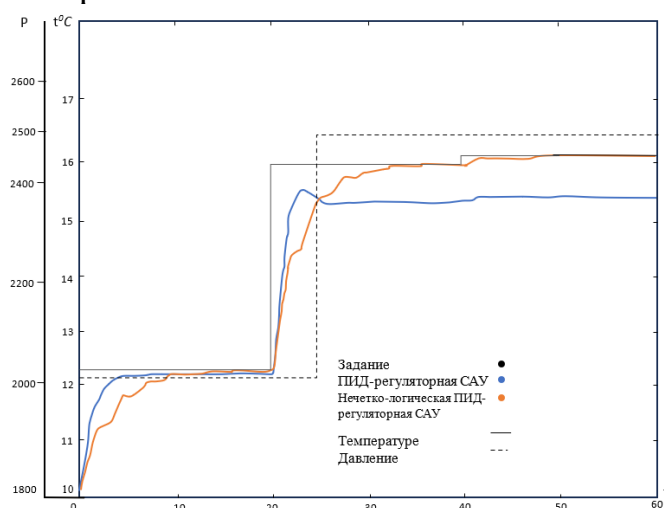


Рис. 6. Сравнительный анализ графиков переходных процессов.

Анализ графиков переходных процессов показывает, что нечеткая система управления демонстрирует стабильную работу даже при наличии внешних возмущений, обеспечивая достаточно быструю передачу объекта

управления из одного состояния в другое. При этом удалось снизить значение перерегулирования на 22% и повысить точность управления с $\pm 0,13$ до $\pm 0,08$.

Разработано программное обеспечение, обеспечивающее управление процессом переработки природного газа и прогнозирование технологических режимов оборудования. Данное программное обеспечение было внедрено в цех подготовки газа и конденсата (УЦОГ) Мубарекского газоперерабатывающего завода. Результаты научного исследования показали, что интеллектуализация технологических процессов позволила увеличить жизненный цикл цеолита с 2 до 3 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе разработанных методов и моделей алгоритмов синтеза нечетко-логической системы управления процессом адсорбционной осушки природного газа были получены следующие научные результаты:

1. В результате анализа существующих систем управления обоснована целесообразность применения методов искусственного интеллекта для решения задач управления технологическими процессами переработки природного газа.

2. Разработана аналитическая математическая модель процесса адсорбционной осушки природного газа с учетом физико-химических закономерностей, протекающих в процессе.

3. Разработан принцип создания нечетко-логической системы вывода для процесса адсорбционной осушки природного газа и алгоритм формирования базы знаний.

4. Создан алгоритм разработки правил управления в нечеткой фазовой плоскости решений, который позволяет определять управляющий сигнал без фаззификации, дефаззификации и вычисления функции принадлежности.

5. Разработан комбинированный нечетко-логический регулятор, обеспечивающий сокращение количества и объема правил управления, а также алгоритм оптимальной настройки его параметров.

6. Разработан нейросетевой оптимизатор, позволяющий обеспечить высокоточную настройку параметров цифрового регулятора, а также алгоритм его функционирования.

7. Предложен алгоритм синтеза нечетко-логической системы вывода без идентификации и эталонной модели, что позволило повысить скорость управления.

8. Разработана имитационная модель для исследования цифровой нечетко-логической системы вывода.

9. Разработанный программный комплекс, реализующий нечетко-логическую модель процесса и алгоритмы управления, был внедрен в цех УЦОГ Мубарекского ГПЗ. Полученные результаты показали, что интеллектуализация технологического процесса позволила увеличить срок службы цеолита с 2 до 3 лет.

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

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

NASHVANDOVA GULRUHSOR MUROT QIZI

**SYNTHESIS OF A FUZZY LOGIC CONTROL SYSTEM FOR THE
PROCESS OF DRYING NATURAL GAS BY ADSORPTION**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2025.2.PhD/T3095.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Sidikov Isamidin Khakimovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Mukhitdinov Djalolitdin Pakhrudinovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Tulyaganov Shukhrat Dilshatovich
PhD technical sciences

Leading organization: **Tashkent Institute of Chemical Technology**

The defense of the doctoral dissertation will be held on «16» 08, 2025 at 12 o'clock at the meeting of the Scientific Council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at Tashkent State Technical University. (Address: 2 Universitet Street, 100095, Tashkent, Uzbekistan. Tel.: (+99871) 246-46-00; Fax: (+99871) 227-10-32; E-mail: tstu_info@tdtu.uz)

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university named after Islam Karimov (registration number 36). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel . (99871) 207-14-70).

Abstract of dissertation sent out on «24» 07 2025 year.
(mailing report № 35, on «27» 05 2025 year).



N.R.Yusupbekov
Chairman of Scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor,
Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

U.F.Mamirov
Scientific secretary of Scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

X.Z. Igamberdiev
Chairman of the Scientific Seminar
at the Scientific Council for Awarding Degrees,
doctor of technical sciences, professor,
Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

INTRODUCTION (abstract to PhD dissertation)

The aim of the research work to develop models and algorithms for controlling the adsorption drying process of natural gas under conditions of data uncertainty.

The objects of the research work is the control system of natural gas processing process.

The scientific novelty of the research work:

based on the hydrodynamic and heat exchange properties of the gas drying process, a fuzzy logical model has been developed taking into account the variability of its dynamic characteristics, as well as the uncertainty of internal and external influences;

an algorithm for determining the control signal on the basis of generating a base of fuzzy rules on the plane of phase solutions without phasification and defuzzification of variables, as well as without calculating the belonging functions has been developed;

the algorithm of synthesis of the parameter optimizer of the adaptive fuzzy-logical controller has been developed on the basis of symbiotic application of fuzzy-logical inference and combined control strategy, which allows to reduce the number of control rules and increase the efficiency of logical inference;

an algorithm for synthesizing the system of fuzzy-logical control of the adsorption drying process of natural gas under technological limitations and stochasticity of external and internal factors has been developed.

Implementation of the research results. Based on the obtained results of synthesis of fuzzy-logical control system of adsorption dehydration process of natural gas:

A fuzzy logic control system for the technological process of gas drying was introduced at the Mubarek Gas Processing Plant (reference of JSC O'zbekneftgaz No. 03-18-3-373 dated April 04, 2025). As a result, the technological parameters of gas processing have been stabilized.;

A software tool for controlling the technological parameters of the natural gas drying process in real time was implemented at the Mubarek Gas Processing Plant (reference of JSC O'zbekneftgaz No. 03-18-3-373 dated April 04, 2025). As a result, the technological modes of the units are predicted during the control of natural gas processing.

Structure and volume of the dissertation: The dissertation includes an introduction, four chapters, conclusion, list of references and appendices. The total volume of the work is 107 pages.

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

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Sevinov J.U., Khamroyev U.R., Nashvandova G.M. Algorithm to increase the reliability of primary data in the commodity description classification system // Technical science and innovation: Vol. 2021: Iss. 1, Article 3., 2021, Tashkent. pp. 217-223. (05.00.00, №16)
2. Isamidin Sidikov, Gulchehra Alimova, Gulruksor Nashvandova. Digital control systems of a dynamic object when closing through an observer // Chemical technology control and management. №4-5, 2022, Tashkent. pp.97-103. (05.00.00., №12)
3. Sidikov I.H., Nasvandova G.M. Multi-mode regulation of the drying process of industrial gas // Technical science and innovation: Vol. 2023: Iss. 4, Article 3., 2023, Tashkent. pp. 16-21. (05.00.00, №16)
4. Nashvandova Gulruksor Murot qizi Synthesize a neural network parameter optimizer for an adaptive pid controller // Chemical Technology, Control and Management - 2024, №1 (115) Tashkent. pp.68-75. (05.00.00, №12)
5. Isamidin Siddikov, Gulruksor Nashvandova, Gulchehra Alimova. Neural network optimizer of proportional-integral-differential controller parameters // International Journal of Electrical and Computer Engineering: vol. 14, №. 3., 2024, Indoneziya. pp. 2533-2540. (3, Scopus, IF= 0.322)

II бўлим (Часть II; Part II)

6. Sidikov I.X., Nashvandova G.M. et al. Adaptive analytical control of technological parameters based on the probability method of oil refining installations // European science review. №1-2 2020 pp.78-83.
7. Sevinov J.U., Nashvandova G.M. The analysis of algorithms and models for development of the adaptive training systems // International journal of advanced science and technology. Vol. 29 No. 11s (2020). pp.1954-1957
8. Khidirova Ch.M., Sadikova Sh.Sh., Nashvandova G.M., Mirzaeva S.E. Neuro-fuzzy algorithm for clustering multidimensional objects in conditions of incomplete data // Journal of Physics: Conference Series. 1901 (2021) 012036. pp. 1-7. (3, Scopus, IF=0,21)
9. Мамасодикова Н.Й., Нашвандова Г.М. Разработка гибридных математических моделей нефтегазовых производств в условиях неопределенности / 2021 Перспективы развития цифровой экономики в регионах: проблемы и решения. Сборник докладов Республиканской научно-практической конференции, 23–24 апреля 2021 года, г. Карши. С.193-195.
10. Нашвандова Г.М. Разработка математической модели процесса абсорбции при очистке газа / Материалы международной конференции «Инновационные подходы к развитию образовательно-производственного

кластера в нефтегазовой отрасли». -30 апрель 2022 год Том 2 (Секция II) Ташкент 2022 г. С.101-103.

11. Сидиков И.Х., Содикова Ф.Б., Нашвандова Г.М. Параметрическая оптимизация нечеткой системы управления с изменяющимися параметрами/ II-Международная научная конференция «Научные основы использования информационных технологий нового уровня и современные проблемы автоматизации» 19-20 Май, СБУМИПТК, Ташкент 2023 г. С.325-332.

12. Isamidin Sidikov, Gulrukhsor Nashvandova, Sanjarbek Bekturdiev, Shakhnoza Sodikova. Synthesis of an optimal control system based on the minimum root-mean-squar error criterion / 2023 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – IEEE, 2023, Toshkent. pp. 81-85. (3, Scopus, IF=0.66)

13. Siddikov I., Porubay O., Nashvandova G., Alimova G. Synthesis of a Control System for a Two-Mass Electromechanical Object / AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024, vol. 3045, №.1, pp. 1-5. (3, Scopus, IF= 0.164)

14. Сиддиқов И.Х., Халматов Д.А. Нашвандова Г.М. Управления технологическим параметром динамических объектов на основе прогнозирующих моделей / Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции РУз. Свидетельство № ДГУ 19883 от 03.12.2022 г.

15. Siddiqov I.X, Nashvandova G.M. Gazni quritish jarayonining neyrotarmoq optimizatorini sintezlash / O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 43927 14.11.2024 yil.

16. Nashvandova G.M. Tabiiy gazni quritish jarayonini noqat’iy-mantiqiy roslash tizimining sintezi / O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 44816 02.12.2024 yil.

Avtoreferat «Al-Fargʻoniy avlodlari» elektron ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan oʻtkazilib, oʻzbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar oʻzaro muvofiqlashtirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 $\frac{1}{16}$. «Times New Roman» garniturası.

Raqamli bosma usulda bosildi.

Shartli bosma tabog'i: 2,75. Adadi 100 dona. Buyurtma № 19/25.

Guvohnoma № 851684.

«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.

Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko'chasi, 83-uy.