



GAZ SAQLASH OMBORLARIDA GAZ HARORATINI ROSTLASH JARAYONINI AVTOMATLASHTIRISH

Mamatbekov Shavkatbek Rustamovich
Andijon davlat texnika instituti assistenti
Ibroximov Mashrabboy Sherzodbek o'g'li
Andijon davlat texnika instituti talabasi

Annotatsiya: Ushbu maqolada gaz saqlash omborlarida gaz haroratini avtomatik rostdash tizimlarining zamonaviy yondashuvlari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot davomida harorat nazorati jarayonining avtomatlashtirish usullari, PID-regulyatorlar va SCADA tizimlari qo'llanilishi tahlil qilingan. Maqolada gaz omborlarida xavfsizlik va samaradorlikni ta'minlash maqsadida ishlab chiqilgan avtomatik boshqaruv tizimining afzalliklari keltirilgan.

Kalit so'zlar: gaz ombori, harorat nazorati, avtomatlashtirish, PID-regulyator, SCADA tizimi, xavfsizlik

1. Kirish

So'nggi o'n yilliklar mobaynida global miqyosda energiyaga bo'lgan ehtiyojning keskin ortib borishi fonida tabiiy gaz yetkazib berish va uni barqaror saqlash masalalari energetika tizimining markaziy muammolaridan biriga aylangan. Tabiiy gaz – ekologik tozaligi, yuqori energetik zichligi va transporti nisbatan arzon bo'lganligi sababli, jahonda keng foydalanilayotgan asosiy yoqilg'i manbalaridan biridir. Bugungi kunda ko'plab mamlakatlarda gaz ishlab chiqarish va iste'mol qilish o'rtasidagi mavsumiy farqlarni muvozanatlash, favqulodda vaziyatlarda barqaror yetkazib berishni ta'minlash maqsadida gaz saqlash omborlari keng qo'llanilmoqda.

Bunday omborlarda tabiiy gazning asosiy fizik parametrlaridan biri bu harorat bo'lib, u gazning zichligi, bosimi, energetik qiymati va fizik holatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Haroratning nazorat qilinmasligi quvurlarda kondensat hosil bo'lishiga, xavfli bosim to'planishiga va avtomatlashtirilgan tizimlarda buzilishlarga olib kelishi mumkin. Ayniqsa, yirik yerosti yoki kriogen gaz saqlash inshootlarida haroratning $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan ortiq og'ishi texnologik xavflarni keltirib chiqaradi. Shu sababli, gaz saqlash tizimlarida haroratni real vaqt rejimida o'lchash, kuzatish va rostdash dolzarb muammoga aylangan.

Avvalgi yillarda bunday nazorat jarayonlari inson omiliga tayanib, qo'lda bajarilgan bo'lsa, bugungi kunda sanoat avtomatlashtirish tizimlari, jumladan PID boshqaruv, SCADA interfeys, PLC modullar, IoT texnologiyalar, va sun'iy intellektga asoslangan tizimlar yordamida harorat barqarorligi yuqori aniqlik bilan ta'minlanmoqda. Shu bilan birga, ilmiy adabiyotlarda bu jarayonning nazariy modellashtirilishi, sanoatdagi real amaliy joriy etish tahlili va zamonaviy boshqaruv strategiyalarining samaradorligi bo'yicha turli qarashlar mavjud.

Mazkur obzor maqola aynan ushbu yo'nalishda olib borilgan ilmiy-texnik izlanishlarni tahlil qilish, mavjud yondashuvlarni qiyosiy baholash va haroratni boshqarish tizimlarining kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlarini aniqlashga qaratilgan. Bu maqsadda quyidagilar o'rganiladi:

- Tabiiy gaz saqlash texnologiyasining umumiy ko'rinishi va haroratga bog'liq muammolar,
- Sanoatda qo'llanilayotgan avtomatik boshqaruv usullari: PID, fuzzy-logic, neyron tarmoqlar, MPC va IoT yechimlari,
- Ilmiy maqolalarda taklif etilgan modellar va ularning real sanoatga mosligi,
- Haroratni boshqarishda uchraydigan tizimli muammolar, ularning diagnostikasi va algoritmik yechimlar.

Maqola oxirida barcha yondashuvlar asosida kelajak tadqiqot yo'nalishlari, mavjud "research gap"lar, va innovatsion takliflar shakllantiriladi.



2. Tabiiy gaz va uni saqlash sharoitlari

Tabiiy gaz — asosan metan (CH_4) dan tashkil topgan yonuvchan aralash gaz bo‘lib, tarkibida etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), azot (N_2), karbonat angidrid (CO_2) va boshqa iz komponentlar mavjud. Uning issiqlik hajmiy qiymati yuqori ($35\text{--}45 \text{ MJ/m}^3$), ekologik ta’siri past, yonish mahsuloti esa asosan suv bug‘i va karbonat angidrididan iborat. Bu xususiyatlar tabiiy gazni boshqa yoqilg‘ilar orasida energiya samaradorligi va ekologik xavfsizlik jihatidan ustun qo‘yadi.

2.1. Tabiiy gazning fizikaviy xossalari

Tabiiy gazning saqlanishi, tashilishi va boshqarilishi asosan quyidagi fizik parametrlar orqali belgilanadi:

Parametr	Qiymat (standart sharoitda)	Izoh
Zichlik (CH_4)	$0.717\text{--}0.850 \text{ kg/m}^3$	Tarkibga bog‘liq
Yonish harorati	$1950\text{--}2100 \text{ }^\circ\text{C}$	Atmosferadagi yonishda
Qaynash harorati	$-161.5 \text{ }^\circ\text{C}$	LNG (suyultirilgan holat)
Kritik harorat	$-82.6 \text{ }^\circ\text{C}$	Bosim bilan bog‘liq
Molekulyar massa (CH_4)	16.04 g/mol	
Odatdagi saqlash bosimi	$1.6\text{--}25 \text{ MPa}$	Yerosti saqlashda
Tavsiya etilgan harorat	-5°C dan $+25^\circ\text{C}$ gacha	Gazsimon holatda qolishi uchun

2.2. Gaz saqlash usullari

Tabiiy gaz saqlashning bir nechta asosiy texnologik shakllari mavjud:

- Yerosti gaz saqlash inshootlari (UGS - Underground Gas Storage): Bu eng keng tarqalgan usul bo‘lib, sobiq neft-gaz konlari, sho‘r suvli qatlamlar yoki toshli tuz strukturalarida amalga oshiriladi. Bu yerda gaz yuqori bosimda saqlanadi va ombor tabiiy filtr sifatida xizmat qiladi. Harorat va bosim doimiy kuzatuv ostida bo‘ladi.
- Yerusti saqlash (tanker, reaktor, sferik rezervuarlar): Asosan past bosimda va qisqa muddatli saqlash uchun mo‘ljallangan. Bu usulda harorat tebranishi yuqori bo‘lib, oson kondensatsiyalanish xavfi mavjud.
- Suyultirilgan gaz (LNG) saqlash: Tabiiy gaz -161.5°C da suyuqlik holatiga o‘tadi va 600 martaga zichlashadi. Maxsus kriogen tanklarda saqlanadi. Harorat nazorati bu usulda eng muhim parametr hisoblanadi.
- Adsorbsiyalangan gaz (ANG) va siqilgan gaz (CNG): Ko‘proq transport tizimlarida qo‘llaniladi. Gaz yuqori bosimda ($200\text{--}250 \text{ bar}$) va xona haroratida maxsus materiallarga singdirilgan bo‘ladi.

2.3. Harorat va saqlashdagi xavfsizlik

Gaz haroratining o‘zgarishi saqlash tizimida bir qator xavf-xatarlarni keltirib chiqaradi:

Holat	Muammo	Ehtimoliy oqibatlar
Harorat pasayishi	Kondensatsiya, quvur ichida suyuqlik	Quvur tiqilishi, korroziya, portlash xavfi
Harorat ortishi	Bosimning ortishi, gaz hajmi kengayishi	Avtomatik klapanlarning avariyaaviy ochilishi
Termik sikllanish	Metall charchoqlari	Quvur yorilishi, isitgich ishdan chiqishi

Shu sababli, harorat nazoratini qo‘lda emas, avtomatik, real vaqtli, teskari aloqa asosida boshqarish zarur bo‘ladi. Ayniqsa, yuqori hajmli saqlash tizimlarida PID boshqaruv tizimlari, SCADA interfeysi va IoT datchiklar asosida haroratni uzluksiz boshqarish va monitoring qilish talab qilinadi.

3. Gaz haroratini nazorat qilish texnologiyalari



Tabiiy gaz saqlash tizimlarida haroratni nazorat qilish — gazning fizik holati, bosim barqarorligi va ekspluatatsion xavfsizlikni ta'minlovchi asosiy boshqaruv jarayonidir. Bu jarayonni avtomatlashtirishga oid texnologiyalar tarixan oddiy termostatik tizimlardan boshlab, hozirgi kunda intellektual boshqaruv algoritmlarigacha rivojlanib bormoqda.

3.1. An'anaviy termostatik va qo'lda boshqaruv tizimlari

Dastlabki tizimlarda haroratni rostdash, odatda, qo'lda sozlanadigan termostatik valflar yordamida amalga oshirilgan. Bu usulning afzalligi — arzonlik va oddiylikda, ammo u quyidagi kamchiliklarga ega:

- Javob vaqti sekin (inson aralashuvi talab etiladi),
- Aniqlik past (harorat $\pm 2-3^{\circ}\text{C}$ darajada og'ish qiladi),
- Uzoq masofali monitoring imkoniyati yo'q,
- Favqulodda holatlarga javoban kechikadi.

Shuning uchun ushbu yondashuv zamonaviy sanoat sharoitlarida raqobatbardosh emas.

3.2. PID (Proportional–Integral–Derivative) boshqaruv tizimlari

Hozirgi sanoat avtomatlashtirish sohasida eng keng qo'llaniladigan texnologiya — PID regulyatorlaridir. Bu algoritm harorat xatosiga nisbatan aniqlik bilan boshqaruv signalini hosil qiladi:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

bu yerda: $e(t)$ — xatolik: $T_{\text{set}} - T_{\text{measured}}$, K_p , K_i , K_d — proporsional, integrallovchi va differensial koeffitsientlar

Afzalliklari: Yuqori aniqlik ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ gacha); Tez javob (2–5 sekund); Oddiy tuzilma, PLC yoki mikrokontroller orqali amalga oshiriladi

Kamchiliklari: Tizim parametrlari o'zgarsa — tuning kerak; Chuqur nolinch yoki inert tizimlarda noaniqlik yuzaga keladi

3.3. Fuzzy Logic boshqaruv tizimlari

Fuzzy Logic — klassik matematikadan farqli ravishda noaniqliklarni hisobga oluvchi boshqaruv metodidir. Tizim mantiqiy qoidalar asosida ishlaydi: “Agar xato katta va harorat oshayotgan bo'lsa, kuchli sovutish”. Bu yondashuv inson tajribasini matematik algoritmgacha aylantiradi.

Afzalliklari: Noaniq va o'zgaruvchan tizimlar uchun ideal; “Soft” boshqaruv: tebranishsiz, silliq rostdash; Ko'p parametrlil tizimlarda oson qo'llaniladi

Kamchiliklari: Har bir tizim uchun qoidalarni qayta sozlash kerak; Boshqaruvni matematik isbotlash murakkab

MATLAB/Simulink va Fuzzy Logic Toolbox orqali fuzzy tizimlarni modellashtirish keng tarqalgan amaliyotdir.

3.4. AI va Model Predictive Control (MPC)

So'nggi yillarda sun'iy intellekt (AI) asosidagi tizimlar va Model Predictive Control (MPC) algoritmlari sanoat avtomatlashtirishining ilg'or yondashuvlariga aylandi. MPC algoritmi tizimning matematik modeliga asoslanib, haroratni prognoz qilish va optimal boshqaruv ta'sirini shakllantirishga qaratilgan.

AI va MPC yondashuvlari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- Neyron tarmoqlar orqali PID tuning
- O'rganuvchi tizimlar (reinforcement learning)
- Katta ma'lumotlar asosida prognozli boshqaruv (big-data driven control)

Afzalliklari: Moslashuvchan va o'zgaruvchan tizimlar uchun ideal; Uzoq muddatli prognoz asosida samarali boshqaruv; IoT bilan integratsiyada mustahkam ishlaydi

Kamchiliklari: Yuqori hisoblash quvvati talab etiladi; Model tayyorlashda katta tajriba va real tizim ma'lumotlari kerak

3.5. IoT va bulutli monitoring tizimlari



Internet of Things (IoT) texnologiyalari gaz haroratini masofadan tahlil qilish, arxivlash va bulut orqali boshqarishni ta'minlaydi. Bunda sensorlar (RTD, DS18B20), Wi-Fi yoki GSM modullar, va mobil ilovalar orqali ma'lumotlar uzatiladi.

IoT asosidagi tizimlar:

- Harorat, bosim va oqimni birdaniga kuzatadi
- Telegram-bot, veb interfeys yoki SCADA orqali ko'rsatiladi
- Real vaqtlilik ogohlantirish (push-notification)

3.6. Solishtirma tahlil

Yondashuv	Aniqlik	Moslashuvchanlik	Tizim talabi	Afzalliklari
Termostatik	Past	Yo'q	Oddiy	Arzon, oson
PID	Yuqori	O'rta	PLC yoki MCU	Tez javob, keng qo'llaniladi
Fuzzy	Yuqori	Yuqori	Dasturiy modul	Noaniqlikda barqaror
AI / MPC	Juda yuqori	Juda yuqori	AI server / CPU	Prognozli boshqaruv
IoT Monitoring	O'rta	Yuqori	Tarmoq, sensor	Masofaviy nazorat

4. Avtomatlashtirilgan tizimlarning tahlili

Avtomatik harorat boshqaruvi bugungi sanoat gaz infratuzilmasida ishonchli ekspluatatsiya, xavfsizlik va energiya tejamkorligini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. So'nggi yillarda butun dunyo bo'ylab ko'plab yirik gaz saqlash kompaniyalari PID, SCADA, IoT, va AI asosidagi avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etishga katta e'tibor qaratmoqda. Ushbu bo'limda mavjud texnologik yechimlar, ularning afzalliklari, kamchiliklari va ilmiy adabiyotlarda yoritilgan namunaviy tizimlar muhokama qilinadi.

4.1. Sanoatdagi amaliy qo'llanmalar (Case studies)

QatarGas LNG terminali (Qatar) Qatar Gas kompaniyasi gazni -160°C haroratda suyultirib saqlaydi. Bu tizimda kriogen rezervuarlar, PID asosidagi harorat rostlagichlar va SCADA interfeysi orqali masofaviy monitoring ishlatiladi. Harorat xatoligi $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ darajasida ushlab turiladi. Kompaniya 2022 yilda "ABB Ability™ System 800xA" SCADA platformasini joriy etdi.

Gazprom UGS tizimi (Rossiya) Gazprom tomonidan boshqariladigan yerosti saqlash inshootlarida Siemens S7-300 PLC va WinCC SCADA tizimlari asosida PID boshqaruv joriy etilgan. Harorat, bosim va oqim real vaqt rejimida kuzatiladi. Tadqiqotlar ko'rsatadiki, PID algoritmlari orqali favqulodda holatlar 37% ga kamaygan.

Equinor (Norvegiya) Equinor kompaniyasi AI asosida ishlovchi Model Predictive Control (MPC) tizimini ishlab chiqqan. U harorat va bosim prognozini hisoblab, avtomatik boshqaruv signalini hosil qiladi. Ushbu tizim MATLAB bilan integratsiyalashgan bo'lib, "digital twin" texnologiyasi orqali real tizimga sinxron ishlaydi.

4.2. Ilmiy adabiyotlarda yondashuvlar tahlili

Ilmiy maqolalar tahlili shuni ko'rsatadiki, eng ko'p qo'llaniladigan avtomatik boshqaruv usullari quyidagilardir:

Manba (yili)	Tizim turi	Yondashuv	Natija / xulosa
IEEE Trans. on Control Systems (2022)	LNG saqlash	PID	$\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ aniqlik, o'rnatilish vaqti $< 5\text{s}$
Applied Energy Journal (2021)	Quruq gaz UGS	Fuzzy-PID	Tez moslashuv, xatolik 28% ga kamaydi
Elsevier: J. of Process Control (2023)	Kriogen tizim	MPC + AI	Optimal boshqaruv, 15% energiya tejaldi



Manba (yili)	Tizim turi	Yondashuv	Natija / xulosa
Energies (MDPI, 2022)	IoT monitoring	LoRa + Cloud-SCADA	Masofaviy monitoring, aniq loglar, tez javob

Bu maqolalar shuni ko'rsatadiki, PID va fuzzy-PID tizimlari hali ham eng ishonchli asosiy vositalar bo'lib qolmoqda, lekin AI, MPC va IoT texnologiyalari ham kuchli rivojlanish bosqichida.

4.3. O'zbekiston sanoatida qo'llanish holati

Afsuski, O'zbekiston gaz sohasida yuqorida ko'rsatilgan ilg'or avtomatik tizimlarning joriy etilishi hali to'liq amalga oshirilmagan. Ko'plab gaz saqlash omborlarida quyidagi muammolar mavjud:

- Ko'p hollarda harorat nazorati qo'lda amalga oshiriladi.
- Sensorlar sifati past, analitik aniqlik yetarli emas.
- PLC yoki SCADA tizimlari faqat markaziy boshqaruvda mavjud.
- Avtomatik tizimlar sinovdan o'tmagan, sertifikatsiyalanmagan.

Shunga qaramay, texnik baza va kadrlar salohiyatining mavjudligi tufayli quyidagi imkoniyatlar mavjud:

- PID asosidagi avtomatik tizimlar uchun PLC bazasi (Siemens, Delta) mavjud.
- SCADA interfeyslarini lokal ishlab chiqaruvchilar bilan loyihalash mumkin.
- AI va IoT texnologiyalari universitetlar va ilmiy markazlar bazasida sinovdan o'tkazilishi mumkin.

4.4. Diagnostika va texnologik takomillashtirish

Avtomatlashtirish tizimlarida quyidagi muammolar ko'p uchraydi:

Muammo	Sababi	Taklif qilingan yechim
O'lchov xatoligi ($\pm 1.5^{\circ}\text{C}$)	Past aniqlikdagi sensorlar	RTD (PT100, Class A), kalibratsiyalash kerak
Javob vaqti sekinligi	Tizim inertsiyasi	Tizim modelini aniqlashtirish, PID tuning
Masofaviy monitoring yo'qligi	SCADA tizimi mavjud emas	WinCC, FactoryTalk yoki IoT interfeyslar
Operator aralashuvi ko'pligi	Manual boshqaruvda qolish	To'liq avtomatik modda o'tish

5. Solishtirma tahlil va kelajak yo'nalishlari

5.1. Solishtirma texnologik tahlil

Obzor davomida aniqlanishicha, gaz saqlash tizimlarida haroratni boshqarish uchun qo'llaniladigan yondashuvlar texnologik jihatdan quyidagicha farqlanadi:

Ko'rsatkich	Termostatik	PID	Fuzzy Logic	AI / MPC	IoT Monitoring
Aniqlik	Past	Yuqori	Yuqori	Juda yuqori	O'rta
Javob tezligi	Sekin	Tez	Tez	Moslashuvchan	Real vaqtli
Moslashuvchanlik	Yo'q	Cheklangan	Yuqori	Juda yuqori	Yuqori
Harajat	Juda arzon	O'rtacha	O'rtacha	Yuqori	O'rtacha yuqori
Amaliyotda tatbiq darajasi	Tarixiy	Keng tarqalgan	O'rta darajada	Tajriba rivojlanmoqda	Rivojlanayotgan

Tahlil shuni ko'rsatadiki, klassik PID boshqaruv hali ham sanoatning asosiy tayanch texnologiyasi bo'lib qolmoqda. Biroq, tizimning murakkablashuvi va real holatlarda ko'plab



noaniqliklar mavjudligi sababli fuzzy va sun'iy intellektga asoslangan algoritmlar tobora ko'proq qo'llanilmoqda.

5.2. Tadqiqotlarda kuzatilgan asosiy muammolar

- Ko'pgina tizimlar faqat haroratga yo'naltirilgan bo'lib, bosim, oqim, namlik kabi parametrlar hisobga olinmaydi.
- Avtomatik tizimlar to'liq integratsiyalanmagan (SCADA, PLC, AI alohida ishlaydi).
- Real tizim modellarining aniqligi past, bu esa simulyatsiya va natijalar o'rtasida tafovutga olib keladi.
- O'zbekistonda gaz saqlash tizimlarining avtomatlashtirilishi sekin sur'atlarda kechmoqda.

5.3. Kelajak rivojlanish yo'nalishlari

Ko'p parametrlil boshqaruv tizimlari: faqat harorat emas, balki bosim, oqim, gaz zichligi kabi parametrlar bo'yicha ham avtomatik tahlil va qaror qabul qiluvchi tizimlar yaratish zarur.

Fuzzy-PID hibrid tizimlari: har ikki algoritmnin kuchli jihatlarini birlashtirib, dinamik javob va barqarorlikni ta'minlash mumkin.

Sun'iy intellekt asosida o'rganuvchi tizimlar (Reinforcement Learning): tizim vaqt davomida o'zini o'zi optimallashtirishni o'rganadi.

Cloud-SCADA va mobil monitoring: Telegram-bot, veb interfeyslar orqali harorat monitoringini masofadan kuzatish (IoT + GSM texnologiyalari asosida).

Kiberxavfsizlikni kuchaytirish: avtomatlashtirilgan tizimlar kiberhujumlardan himoyalaniishi kerak. SCADA tizimlari uchun shifrlash va autentifikatsiya protokollarini ishlab chiqish zarur.

Digital Twin texnologiyasiga asoslangan gaz saqlash modellarini ishlab chiqish — bu orqali har qanday texnik holatning virtual modelini yaratib, avvaldan xavflarni prognoz qilish mumkin bo'ladi.

5.4. Tavsiyalar

- O'zbekiston gaz sohasi uchun PID asosidagi SCADA integratsiyasi bilan avtomatik tizimlar joriy qilish bosqichma-bosqich amalga oshirilishi lozim.
- Ilmiy-tadqiqot institutlari bazasida gaz saqlash tizimining matematik modeli, real datchiklardan ma'lumot yig'ish va AI asosida prognozlash ustida ishlovchi platformalar ishlab chiqilishi maqsadga muvofiq.
- Magistratura va doktorantura bosqichida bu yo'nalishlar bo'yicha amaliy tadqiqotlar qo'llab-quvvatlanishi kerak.
- Energiya tejamkorlik, xavfsizlik, va ekologik monitoring uchun maxsus ishlab chiqilgan avtomatik boshqaruv protokollari ishlab chiqilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] D. E. Seborg, T. F. Edgar, D. A. Mellichamp, and F. J. Doyle III, *Process Dynamics and Control*, 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2020.
- [2] A. N. Morozov and I. P. Kharitonov, "Intelligent temperature regulation of natural gas in underground storages using PID and fuzzy logic," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 69, no. 3, pp. 2054–2063, Mar. 2022.
- [3] M. R. Akbarzadeh and A. S. Gharehbaghi, "A model predictive control approach for gas storage temperature optimization," *Journal of Process Control*, vol. 113, pp. 1–13, Jan. 2023.
- [4] L. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, Jun. 1965.
- [5] ISO 13686:2013, *Natural Gas — Quality Designations*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2013.
- [6] GOST 5542-87, *Natural Gas. Technical Specifications*. Gosstandart, USSR, 1987.
- [7] U. Yusupov, *Energiya tejamkorlik va avtomatlashtirish tizimlari*, T.: Fan, 2022.
- [8] V. Sidorov, *Ekspluatatsiya podzemnix xranilish gazov*. Moskva: Nedra, 2018.



- [9] “ABB Ability™ System 800xA: Integrated process and power automation,” ABB Group, Tech. Rep., 2022. [Online]. Available: <https://new.abb.com/control-systems/system-800xa>
- [10] Equinor ASA, “Digital twin application for predictive control of LNG storage temperature,” *Equinor Tech Bulletin*, vol. 14, no. 2, pp. 31–38, 2021.
- [11] M. Zhang, H. Liu, and S. Wu, “IoT-based SCADA system design for natural gas pipelines,” *Energies*, vol. 15, no. 12, p. 4467, Jun. 2022.
- [12] Gazprom PJSC, “Technical requirements for temperature and pressure control in UGS facilities,” Gazprom Engineering Document, 2021.
- [13] T. Galiyev et al., *SCADA tizimlar nazariyasi va amaliyoti*, Toshkent: TATU nashriyoti, 2021.
- [14] The MathWorks, Inc., “Fuzzy Logic Toolbox™ User’s Guide,” 2023. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/>
- [15] The MathWorks, Inc., “Simulink Control Design Documentation,” 2023. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/>
- [16] A. A. Belyaev, *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov*, Sankt-Peterburg: Piter, 2019.