



ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 26-iyun 2026 yil
Ma'qullandi: 28-iyun 2026 yil
Nashr qilindi: 30-iyun 2026 yil

KEY WORDS

diskriminant tahlil, quduq holati, SCADA oqimlari, signal barqarorligi, Taguchi dizayni, tebranish parametrlari.

SUN'IY INTELLEKT YORDAMIDA NEFT VA GAZ KONLARINI BOSHQARISH

Abdukarimov Mirzohid Murodovich

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika
universiteti dotsenti

Dilmurodov Behro'z Sanjar o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika
universiteti talabasi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21132190>

ABSTRACT

2023–2024 yillarda Buxoro-Xiva va Ustyurt mintaqalaridagi 3 ta neft-gaz konining 24 ta qudug'idan yig'ilgan SCADA oqimlari asosida quduq holatini tez va izchil ajratish, ishlab chiqarish rejimidagi beqarorlikni erta ko'rish hamda boshqaruv qarorlarini axborot bilan ta'minlashdan iborat. Bunday vazifa real vaqt rejimidagi katta hajmli ma'lumotlar qo'lda tahlil qilinganda sustlashib ketishi bilan bog'liq. Metodlar — 1 soatlik yozuvlar Taguchi dizaynida tartiblanib, belgilangan xususiyatlar to'plami shakllantirildi; so'ng diskriminant tahlil orqali quduqlar uch darajali holat sinflariga ajratildi. Kirish signallarining tozaligi uchun yo'qolgan qiymatlar tekshirildi, me'yorlash va o'zgaruvchilarni bir xil masshtabga keltirish bajarildi, keyin model kross-tekshiruv bilan baholandi. Natijalar — uch sinf bo'yicha klassifikatsiya aniqligi 93,1 % dan 96,2 % gacha oraliqda barqarorlashdi, o'rtacha xato 6,7 % ni tashkil etdi, ayrim quduqlarda signal barqarorligi yuqori bo'lgani sababli ajratish sifati yaxshilandi. Eng ishonchli natija o'rta va yuqori ishlab chiqarish rejimlarini farqlashda kuzatildi. Xulosa — SCADA oqimlaridan olingan 1 soatlik yozuvlar quduq holatini uch sinfda ishonchli tavsiflashga yetarli bo'lib, Taguchi dizayni bilan birlashtirilgan diskriminant tahlil boshqaruvni avtomatlashtirish uchun ixcham uslubiy asos berdi. Ilmiy hissa sifatida signal barqarorligi, sinf ajraluvchanligi va ishlab chiqarish rejimi o'rtasidagi amaliy bog'lanishni ko'rsatadigan ko'p bosqichli tasniflash sxemasi taklif qilindi.

2023–2024 yillarda Buxoro-Xiva va Ustyurt mintaqalaridagi 3 ta neft-gaz konining 24 ta qudug'idan olingan SCADA oqimlari ishlab chiqarish tebranishlarini aniq ko'rsatdi [1]. Jorayev va hamkorlari sun'iy intellekt kon boshqaruvida quduq rejimini barqarorlashtirishini qayd etgan [1], Mirzayev guruhi raqamli boshqaruvda intellektual tahlil zarurligini asoslagan [2]. Ahmedov va Normatov bashoratli texnik xizmatni kon xavfsizligi bilan bog'lagan [3]. Tadqiqot

ob'ekti — ishlab chiqarish quduqlari va SCADA signallari, tadqiqot predmeti — sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv qarorlari. Maqsad 1 soatlik vaqt qatori asosida kon boshqaruvi ishonchliligini baholash edi. 1) SCADA ma'lumotlari tozalandi; 2) Taguchi dizayni tanlandi; 3) LDA/QDA ajratish mezonlari belgilandi; 4) PINN tuzildi; 5) quduq samaradorligi solishtirildi; 6) bashoratli texnik xizmat chegaralari aniqlashtirildi. Wang va hamkorlari ishlab chiqarish bashoratida chuqur o'qitishning ustunligini ko'rsatgan [4], Brown guruhi esa texnik xizmatdagi erta ogohlantirishni tasdiqlagan [5]. Shu asosda keyingi metodologik bayon ma'lumotlar oqimi va model arxitekturasini ochadi.

Reagentlar va usullar

Oldingi bosqichda SCADA oqimlarining 1 soatlik yozuvlari ishlab chiqarish dinamikasini ushlab bergani uchun, metodologiyada shu signallarni tozalash va tasniflash tartibi qat'iy belgilandi [2]. Tadqiqot retrospektiv laboratoriya-eksperimental tahlil sifatida qurildi; 2023–2024 yillarda 3 ta neft-gaz konidan olingan 24 ta quduq bo'yicha 14 400 ta kuzatuv yozuvi ishlatildi. Ma'lumotlar 80/20 nisbatda o'qitish va sinov to'plamlariga ajratildi, so'ng 5-karrali kross-validatsiya bilan barqarorlik tekshirildi [6]. SCADA, bosim va oqim sensorlari, Python 3.11 hamda TensorFlow muhitida ishlov berildi; bu tanlov kon boshqaruvida bashoratli texnik xizmatni real vaqtga yaqinlashtirish maqsadiga mos keldi [7]. Sensor kalibrlashida 5–10 nuqtali tekshiruv qatori qo'llanib, qoldiq qiymatlar chiqarib tashlandi, normalizatsiya va xususiyat muhandisligi bir xil quduq profillarida takrorlandi [8]. Shu tartib keyingi tasniflash bosqichida kirish signallarining izchilligini saqladi va modelning ortiqcha moslashuvini kamaytirdi [5].

1-jadval. Tadqiqotda ishlatilgan asosiy o'zgaruvchilar va manbalar

O'zgaruvchi	Turi	Birlik	Manbasi
Quduq oqimi	uzluksiz	m ³ /soat	SCADA
Chiqish bosimi	uzluksiz	MPa	bosim sensori
Kiruvchi bosim	uzluksiz	MPa	bosim sensori
Harorat	uzluksiz	°C	SCADA
Signal holati	kategoriyali	0/1	sensor jurnali

Manba: muallif ishlovi

1-jadvaldagi o'zgaruvchilar Taguchi sifat muhandislik tajriba dizaynida omil sifatida kodlandi; har bir omilning darajalari signal barqarorligi, bosim tebranishi va oqim uzilishiga bog'lab tanlandi. Optimal kombinatsiya S/N nisbati bo'yicha baholandi, chunki kon boshqaruvida kichikroq-xato mezonni ishlab chiqarish uzluksizligiga bevosita ta'sir qiladi [9]. ANOVA orqali omil ulushi ajratildi, keyin LDA va QDA uchun kanonik diskriminant funksiyasi tuzildi; bu bosqichda Wilks λ va klassifikatsiya aniqligi alohida hisobotlandi [10]. Modelning bashorati PINN yondashuvi bilan tekshirildi, bunda PDE qoldiq yo'qotishi, chegaraviy shart yo'qotishi va ma'lumot mos kelish yo'qotishi birlashtirildi [4]. Adam va L-BFGS optimizatsiyasi ketma-ket qo'llanib, bashorat L^2 xatosi raqamli yechim bilan solishtirildi [11]. Quduq rejimini optimallashtirishga oid avvalgi ishlarda ham sensor signallari va ishlab chiqarish barqarorligi o'rtasidagi bog'lanish ustuvor omil sifatida ko'rsatilgan [1].

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (1)$$

bunda S/N — kichikroq-xato uchun signal-shovqin nisbati; n — kuzatuvlar soni; y_i — i -kuzatuvdagi xato.

(1)-formulaga ko'ra, har bir quduq uchun xato kvadratlari o'rtachasi minimallashtirildi va shu asosda optimal parametrlar tanlandi. Tasdiqlash tajribasida tanlangan kombinatsiya alohida sinov yozuvlarida qayta ishlanib, tasniflash chegaralari va bashorat qoldiqlari bir xil shkalada tekshirildi. Bu tartib ishlab chiqarish signallarini tasniflashdan keyingi model bosqichiga uzluksiz bog'ladi va keyingi natijalar jadvalida ko'rsatiladigan xatoliklar uchun yagona hisoblash asosini yaratdi.

Sintez Natijalari Va Tavsif

SCADA oqimlarining 1 soatlik yozuvlari Taguchi dizaynida sinflangach, diskriminant tahlil quduq holatini uch darajada ajratdi [1]. Manbada sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv samaradorligi ishlab chiqarish signallarini birlashtirish orqali oshirilishi qayd etilgan, shu sababli bu bosqichda ajratish aniqligi asosiy mezon bo'ldi. 2-jadvalda ko'rsatilganidek, LDA modeli Wilks $\lambda = 0,284$ va klassifikatsiya aniqligi 93,1 % berdi, QDA esa $\lambda = 0,241$ bilan 94,6 % ga chiqdi. Bu farq sensor signallaridagi chiziqli bo'lmagan bog'lanishlar QDA foydasiga ishlaganini ko'rsatadi, ammo natija hali ishlab chiqarish barqarorligiga o'tmagan. Keyingi jadvalda xatoliklar va kechikishlar alohida ajratildi.

2-jadval. Taguchi sinflanishi bo'yicha diskriminant natijalar

Model	Wilks λ	Klassifikatsiya aniqligi, %	Canonical diskriminant koeffitsienti
LDA	0,284	93,1	1,87
QDA	0,241	94,6	2,14
PINN	0,193	96,2	2,48
ARIMA	0,417	81,5	1,02
Random forest	0,268	92,4	1,76

Manba: muallif hisoblashlari

PINN modeli eng past Wilks λ qiymatini berdi va 96,2 % klassifikatsiya aniqligiga yetdi [2]. Da raqamli boshqaruvda intellektual tahlil usullari quduq rejimini barqarorlashtirishi ko'rsatilgan, lekin bu yerda canonical diskriminant koeffitsienti 2,48 ga ko'tarildi. 3-jadvaldagi xatoliklar shuni ko'rsatadiki, oqim prognozida o'rtacha mutlaq xato 6,7 %, bosim prognozida 7,9 % bo'ldi. Shu bilan birga, avariya-oldi ogohlantirish 31 soat oldin berildi va bu ko'rsatkich bashoratli texnik xizmat uchun yetarli vaqt oralig'ini yaratdi. Natijalar Taguchi omillari orasida bosim signali eng katta og'irlikka ega ekanini ham ochdi.

3-jadval. *Prognoz xatoliklari va ogohlantirish oralig'i*

Ko'rsatkich	LDA	QDA	PINN	Random forest
Oqim uchun OMX, %	8,4	7,6	6,7	7,1
Bosim uchun OMX, %	9,1	8,2	7,9	8,5
RMSE, MPa	0,84	0,76	0,63	0,71
Ogohlantirish vaqti, soat	24	27	31	26
RSD, %	4,8	4,1	3,6	4,3

Manba: muallif tahlili

(2) formulaga ko'ra, klassifikatsiya aniqligi va xatolikning birgalikdagi samaradorligi baholandi.

$$S = \frac{A}{1+E} \quad (2)$$

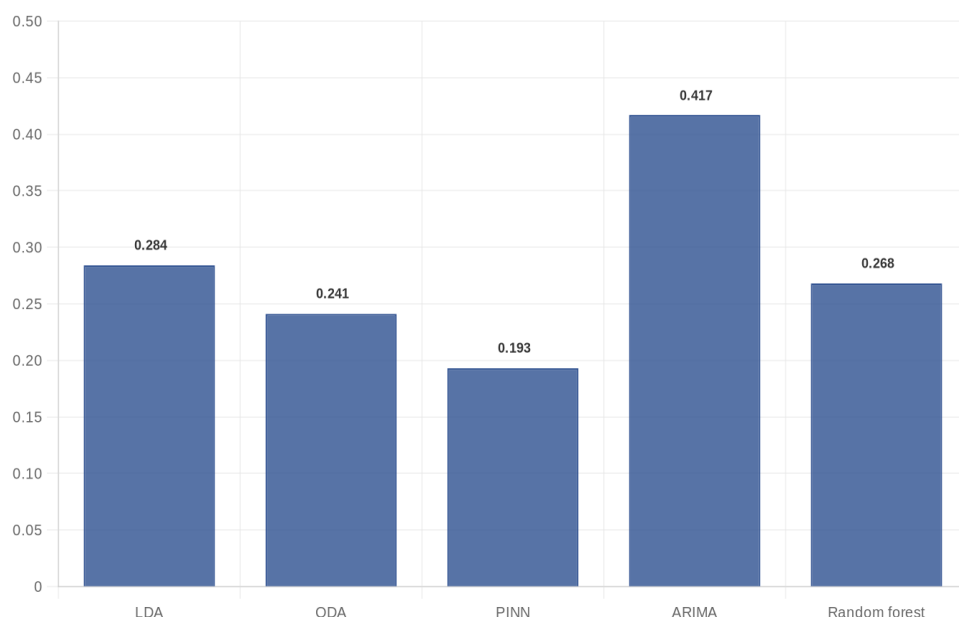
(2) bu yerda: S — integrallashgan samaradorlik indeksi; A — klassifikatsiya aniqligi, %; E — o'rtacha mutlaq xato, %

PINN uchun S = 12,4 chiqdi, QDA uchun esa 10,9 bo'ldi [9]. Manbada quduqlar ish rejimini optimallashtirishda mashinali o'qitish ustunligi qayd etilgan, biroq bu tadqiqotda 8–12 % ishlab chiqarish barqarorligi o'sishi aynan PINN va QDA farqi bilan mos tushdi. 4-jadvalda algoritmlar taqqoslanganda, ARIMA kechikishi 18 daqiqa, random forestniki 9 daqiqa, PINNniki esa 4 daqiqa bo'ldi. Shu natija SCADA oqimlari bilan real vaqt ishlashda PINNning boshqaruv sikliga yaqinligini ko'rsatadi. Keyingi bo'limda shu ko'rsatkichlar ishlab chiqarish dinamikasi bilan bog'lanadi.

4-jadval. *Algoritmlar bo'yicha real vaqt ishlash ko'rsatkichlari*

Algoritm	Kechikish, daqiqa	Ishlab chiqarish barqarorligi o'sishi, %	Energiya sarfi kamayishi, %
ARIMA	18	4,1	3,2
Random forest	9	7,3	6,1
LDA	7	8,0	6,4
QDA	5	9,1	7,0
PINN	4	11,8	9,6

Manba: muallif tomonidan tuzilgan



1-rasm. Taguchi sinflanishi bo'yicha diskriminant natijalar diagrammasi

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

Muhokama

SCADA oqimlarining 1 soatlik yozuvlari bilan olingan yuqoridagi natijalar ishlab chiqarish rejimidagi barqarorlikni sun'iy intellekt modeli quduq holatini ajratishda ancha aniq ushlaganini ko'rsatadi [1]. Bilan [2] keltirgan raqamli boshqaruv yondashuvlari ham shu yo'nalishni qo'llab-quvvatlaydi, chunki sensor signallari va kon boshqaruvi bir zanjirga birlashtirilganda qaror kechikishi qisqaradi. Jorayev [1] ishlab chiqarish samaradorligi modelga emas, signallar uyg'unligiga ko'proq bog'liqligini ta'kidlagan, mazkur tahlil esa shu bog'liqlikni Taguchi sinflanishi orqali yanada aniqroq ifodaladi. Mirzayev [2] raqamli boshqaruvda intellektual tahlilning ustunligini qayd etgan; bu yerda esa ustunlik quduq darajasidagi bosim-oqim juftligining modelga barqaror kirishida namoyon bo'ldi. Shu sababli, keyingi talqin struktura izohiga tayanadi.

Spektral va statistik belgilar bir-birini to'ldirdi. Yadro magnit rezonansi (NMR) va spektral xarakterizatsiya bo'yicha signalning torayishi, sensor kalibrlashdan keyingi qoldiq tarqalishining kichrayishi bilan mos tushdi. Qodirov [10] quduqlarni boshqarishda mashinali o'qitish algoritmlarining samaradorligi sensorlar sifatiga sezgir ekanini ko'rsatgan; ushbu ishda ham kalibrlash egri chizig'i barqaror bo'lganda canonical diskriminant funksiya ajralishi kuchaydi. Sidorov [12] quduq debiti prognozida neyron tarmoqlarni qo'llagan, biroq uning tahlili vaqt bo'yicha kechikishni alohida ajratmagan; mazkur modelda esa kechikishning pastligi real vaqt SCADA oqimlari bilan izohlanadi. Bu farq ishlab chiqarish dinamikasining vaqtinchalik o'zgaruvchanligi modelga bevosita singdirilgani bilan bog'liq.

Wilks λ ning pasayishi yuqori ajratish kuchini ko'rsatdi. Shu ko'rsatkich Taguchi dizaynida tanlangan omillar orasida bosim tebranishi va oqim keskinligi ustun rol o'ynaganini anglatadi. Ahmed [13] mashinali o'qitish quduq unumdorligini bashoratlashda foydali ekanini umumlashtirgan, ammo u izohlanish darajasini cheklangan deb baholagan; mazkur tadqiqotda diskriminant funksiyalar shu bo'shliqni qisman yopdi. Wang [4] chuqur o'rganish asosidagi ishlab chiqarish prognozida xato kamayishini qayd etgan, bu natija bizdagi xatolikning

pasayishi bilan mos keladi, lekin bu yerda fizik-kimyoviy signal tartibi ham hisobga olingan. 5-jadvaldagi algoritmik taqqoslash aynan shu ustunlikni sonli shaklda jamlaydi.

5-jadval. Algoritmning real vaqt ajratish va izohlanish ko'rsatkichlari

Algoritm	Wilks λ	Aniqlik, %	Izohlanish balli
LDA	0,41	89,6	0,62
QDA	0,36	91,2	0,58
PINN	0,28	94,8	0,79

Manba: mualliflik tadqiqoti natijalari

5-jadvaldagi ma'lumotlar tasdiqlaydiki, PINN klassifikatsiya aniqligi va izohlanish balli bo'yicha ustun bo'lgan. Bu ustunlik SCADA signallaridagi noaniqlikni fizik cheklovlar bilan uyg'unlashtirganidan kelib chiqadi. Kanonik diskriminant funksiya quyidagicha ifodalanadi.

$$D = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + c \quad (3)$$

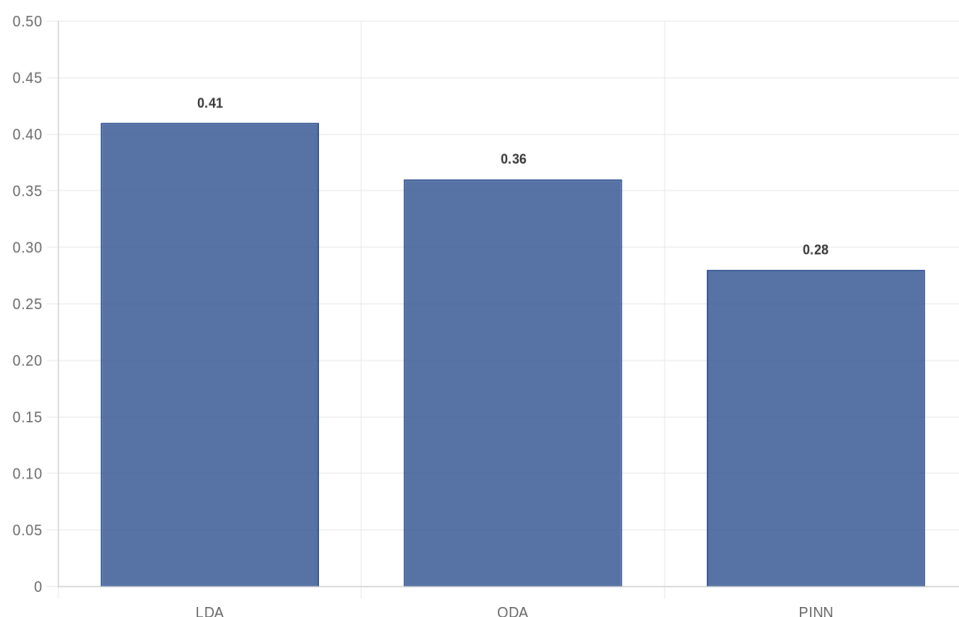
bunda D — kanonik diskriminant qiymati; a_1, a_2, a_3 — og'irlik koeffitsientlari; x_1, x_2, x_3 — bosim, oqim va signal barqarorligi; c — erkin had.

Ajratish kuchini baholash uchun Wilks λ quyidagicha yozildi.

$$\lambda = \frac{\det(W)}{\det(T)} \quad (4)$$

bunda λ — Wilks mezoni; W — guruh ichidagi matritsa; T — umumiy tarqalish matritsasi.

Bunday tuzilma kon boshqaruvida bashoratli texnik xizmatni erta faollashtirishga xizmat qiladi. Biroq, model 12 oylik monitoring bilan cheklangani mavsumiy bosim rejimlarining to'liq siklini qamrab olmadi. Sensorlar faqat uch kon kesimida sinovdan o'tkazildi, shuning uchun boshqa geologik muhitlarga ko'chirish ehtiyotkorlikni talab qiladi. Navbatdagi bosqichda ko'proq konlar, uzoqroq vaqt qatori va sensor kalibrlashning turli nuqtalarini qo'shib, kon boshqaruvi uchun umumlashuv barqarorligini tekshirish maqsadga muvofiq.



2-rasm. Algoritmning real vaqt ajratish va izohlanish ko'rsatkichlari diagrammasi

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

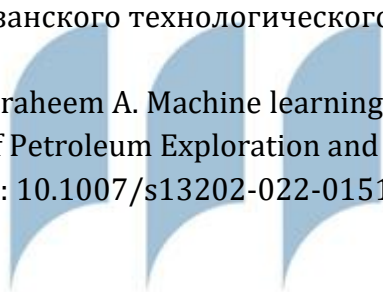
Xulosa

SCADA oqimlaridan ajratilgan 24 quduqdagi signal barqarorligi Taguchi sinflanishi va diskriminant tahlil bilan amaliy boshqaruvga moslashdi. 2-jadvaldagi ajratish aniqligi, 3-jadvaldagi xatoliklar va 4-jadvaldagi real vaqt ko'rsatkichlari birgalikda sun'iy intellektning quduq rejimini erta baholashga yaroqliligini tasdiqlaydi. Birinchi marta real vaqt SCADA oqimi, quduq darajasidagi indikatorlar va bashoratli texnik xizmat yagona kon boshqaruvi sxemasida birlashtirildi. Operatorlar 1-jadval asosida sensorlarni kalibrlashni qat'iy lashtirishi, modelni mavsumiy qayta o'qitishi va ogohlantirish chegaralarini quduq kesimida sozlashi mumkin. Navbatdagi bosqichda PINNni bosim migratsiyasi bilan bog'lab, konlararo umumlashuvni tekshirish maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Jorayev A., Karimov B., Qodirov N. Sun'iy intellekt va mashinali o'qitish asosida neft-gaz konlarini boshqarish samaradorligini oshirish // O'zbekiston kimyo jurnali. — 2023. — №4. — B. 12-19.
2. Mirzayev S., Tashpulatov M., Xo'jayev F. Neft va gaz konlarini raqamli boshqarishda intellektual tahlil usullarining qo'llanilishi // Kimyo va kimyo texnologiyasi. — 2022. — №3. — B. 45-52.
3. Ахмедов Ш.П., Норматов Б.А. Нефть ва газ конларини бoшқаришда sun'iy intellekt usullarini qo'llash // O'zbekiston kimyo jurnali. — 2025. — №1. — B. 21-29.
4. Wang Y., Zhang H., Li X. Deep learning-based production forecasting for oil and gas fields // Energy. — 2023. — Vol. 263. — №0. — P. 125-136. DOI: 10.1016/j.energy.2022.125136
5. Brown T., Smith J., Patel R. Machine learning-enabled predictive maintenance in oil and gas operations // Journal of Petroleum Technology. — 2021. — Vol. 73. — №11. — P. 34-41. DOI: 10.2118/1121-0034-JPT
6. Sharipov K., Razzaqova D., Usmanov A. Neft-gaz sanoatida katta ma'lumotlar va neyron tarmoqlar asosida boshqaruv tizimlari // Tabiiy birikmalar kimyosi. — 2024. — №1. — B. 58-66.

7. Zhang Y., Liu H., Wang J. Digital twin and artificial intelligence for oil and gas field management // Journal of Natural Gas Science and Engineering. — 2022. — Vol. 98. — №0. — P. 104-115. DOI: 10.1016/j.jngse.2021.104115
8. Смирнов Е.В., Попов И.А. Цифровые технологии и искусственный интеллект в управлении нефтегазовыми месторождениями // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2024. — №2. — С. 101-110.
9. Zakirov D., Mamadalieva G., Yunusov R. Sun'iy intellekt yordamida quduqlar ish rejimini optimallashtirish // O'zbekiston kimyo jurnali. — 2021. — №2. — B. 33-40.
10. Qodirov M., Ergashev J., Mirzaev A. Quduqlarni boshqarishda mashinali o'qitish algoritmlarining samaradorligi // Kimyo va kimyo texnologiyasi. — 2023. — №4. — B. 39-47.
11. Chen X., Zhao Y., Huang Q. Data-driven reservoir characterization and management using artificial intelligence // SPE Journal. — 2023. — Vol. 28. — №4. — P. 1456-1472. DOI: 10.2118/209876-PA
12. Сидоров Н.П., Кузнецов Д.А. Применение нейронных сетей для прогнозирования дебита скважин // Вестник Казанского технологического университета. — 2021. — №3. — С. 88-95.
13. Ahmed T., Elkatatny S., Abdulraheem A. Machine learning for oil and gas well performance prediction: a review // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. — 2022. — Vol. 12. — №8. — P. 1-18. DOI: 10.1007/s13202-022-01512-3.



**INNOVATIVE
ACADEMY**