ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 5

ISSN 3030 -3907

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

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

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

ISSN 3030-3907

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

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

ISSN 3030-3907

UO‘K 622.4:004.032.26:681.5

CNN-LSTM VA REAL VAQT SENSOR MA’LUMOTLARI ASOSIDA YER OSTI KONLARI SHAMOLLATISH TIZIMINI PREDIKTIV BOSHQARISH

Namozov Nodirbek Niyozovich
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Katta o‘qituvchi
Email: namozovnodirshox@gmail.com,
https://orcid.org/0000-0001-8930-4454
Muminov Jasurbek Nurmuxamed o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Magistrant,
Email: jjasurmuminov@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-9061-7842

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot yer osti oltin konlarida shamollatish jarayonini real vaqt sensor ma’lumotlari va chuqur o‘qitish algoritmlari asosida prediktiv-adaptiv boshqarish masalalariga bag‘ishlangan. Tadqiqotda kon atmosferasi parametrlarini uzluksiz monitoring qilish, xavfli holatlarni oldindan bashoratlash hamda ventilyatorlarning ish rejimini energiya samaradorligi va sanoat xavfsizligi talablariga mos ravishda avtomatik boshqarish maqsad qilingan. Tizimda gaz konsentratsiyasi, kislorod miqdori, havo sarfi, changlanish darajasi, harorat, bosim va namlik kabi parametrlar real vaqt rejimida sensorlar orqali yig‘ilgan. Olingan ma’lumotlarni qayta ishlash uchun filtrlash, normallashtirish va sirpanuvchi vaqt oynasi usullaridan foydalanilgan. Chuqur o‘qitish modeli sifatida CNN-LSTM arxitekturasiga asoslangan gibrid neyron tarmoq qo‘llanilib, CNN qatlami orqali muhim belgilar ajratib olingan, LSTM qatlami orqali esa vaqt bo‘yicha bog‘liqliklar o‘rganilgan.

Kalit so‘zlar: yer osti konlari, shamollatish tizimi, CNN-LSTM, chuqur o‘qitish, neyron tarmoqlar, real vaqt sensor ma’lumotlari, adaptiv boshqaruv, prediktiv boshqaruv, xavf indeksi, energiya samaradorligi.

Аннотация. Данное исследование посвящено вопросам предиктивно-адаптивного управления процессом вентиляции в подземных золотодобывающих рудниках на основе данных датчиков реального времени и алгоритмов глубокого обучения. Основной целью работы является непрерывный мониторинг параметров шахтной атмосферы, прогнозирование опасных состояний и автоматическое управление режимами работы вентиляторов с учетом требований энергоэффективности и промышленной безопасности. В системе в режиме реального времени собираются такие параметры, как концентрация газов, содержание кислорода, расход воздуха, уровень запыленности, температура, давление и влажность. Для обработки полученных данных применялись методы фильтрации, нормализации и

формирования скользящего временного окна. В качестве модели глубокого обучения использована гибридная нейронная сеть на основе архитектуры CNN-LSTM, где CNN-слой выполняет выделение информативных признаков, а LSTM-слой обеспечивает анализ временных зависимостей.

Ключевые слова: подземные рудники, система вентиляции, CNN-LSTM, глубокое обучение, нейронные сети, данные датчиков реального времени, адаптивное управление, предиктивное управление, индекс риска, энергоэффективность.

Abstract. This study is devoted to the predictive-adaptive control of underground gold mine ventilation processes using real-time sensor data and deep learning algorithms. The main objective of the research is continuous monitoring of mine atmosphere parameters, early prediction of hazardous conditions, and automatic control of ventilation operating modes in accordance with energy efficiency and industrial safety requirements. The system collects real-time data on gas concentration, oxygen level, airflow rate, dust concentration, temperature, pressure, and humidity. Data preprocessing methods including filtering, normalization, and sliding time-window generation were applied. A hybrid CNN-LSTM neural network architecture was employed as the deep learning model, where the CNN layer extracts significant features from multisensor data, while the LSTM layer captures temporal dependencies within the time-series signals.

Keywords: underground mines, ventilation system, CNN-LSTM, deep learning, neural networks, real-time sensor data, adaptive control, predictive control, risk index, energy efficiency.

KIRISH.

Yer osti konlarida shamollatish tizimi ishchi hududlarda xavfsiz mehnat sharoitlarini ta’minlovchi eng muhim texnologik jarayonlardan biri hisoblanadi. Kon atmosferasida metan, uglerod oksidi, karbonat angidrid, chang zarrachalari, harorat, namlik va kislorod miqdorining me’yoriy chegaralarda saqlanishi bevosita shamollatish tizimining barqaror va samarali ishlashiga bog‘liq. Ayniqsa, kon chuqurligi ortib borishi, qazib olish frontlarining kengayishi, yer osti texnikalarining ko‘payishi hamda ishchi xodimlarning turli uchastkalarda harakatlanishi shamollatish jarayonining dinamik va murakkab boshqaruv obyektiga aylanishiga olib keladi. Shu sababli zamonaviy yer osti konlarida shamollatish jarayonini faqat statik rejimlar yoki oldindan belgilangan boshqaruv algoritmlari asosida yuritish yetarli natija bermaydi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR. An’anaviy shamollatish tizimlarida ventilyatorlar ko‘pincha doimiy quvvatda yoki cheklangan sonli ish rejimlarida ishlaydi. Bunday yondashuv kon atmosferasining real holati, gaz konsentratsiyasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, ishchilar joylashuvi va texnologik

ISSN 3030-3907

uskunalar faolligini to‘liq hisobga olmaydi. Bu orqali esa ayrim uchastkalarda havo oqimi yetarli bo‘lmasligi, boshqa hududlarda esa ortiqcha shamollatish hisobiga energiya sarfi oshishi mumkin. Leandro de Vilhena Costa va José Margarida da Silva tadqiqotlarida yer osti konlarida shamollatish elektr energiyasi sarfining katta qismini tashkil etishi va Ventilation-on-Demand yondashuvi orqali sezilarli energiya tejamkorligiga erishish mumkinligi ko‘rsatilgan. Ularning ishida ayrim konlarda talabga mos shamollatish natijasida 21–30% atrofida energiya tejalishi qayd etilgan [1-3].

So‘nggi yillarda shamollatish jarayonini boshqarishda sun’iy intellekt, neyron tarmoqlar, chuqur o‘qitish modellari va raqamli egizak texnologiyalaridan foydalanish bo‘yicha tadqiqotlar kuchaymoqda. Bu yondashuvlar real vaqt rejimida sensorlardan kelayotgan ko‘p parametrli ma’lumotlarni qayta ishlash, xavfli holatlarni oldindan aniqlash, gaz konsentratsiyasi va havo oqimi parametrlarini bashoratlash hamda ventilyatorlarning ish rejimini avtomatik moslashtirish imkonini beradi. Jumladan, Yuan Keyi, Gao Ke va Liu Yujiao tomonidan taklif etilgan DL-Koopman va Fuzzy-PID asosidagi gibrid yondashuv chuqur ko‘mir konlarida gaz konsentratsiyasini bashoratlash hamda havo oqimini optimallashtirishga qaratilgan. Ushbu tadqiqotda chuqur o‘qitish modeli gaz holatini oldindan baholash, Fuzzy-PID esa shamollatish rejimini moslashtirish uchun qo‘llangan [4,5].

Shuningdek, 2024-yilda e’lon qilingan neuro-fuzzy modellarga asoslangan Ventilation-on-Demand tadqiqotida sun’iy intellekt yordamida ventilyator quvvati va gazni suyultirish vaqtini bashoratlash modeli ishlab chiqilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, taklif etilgan model ventilyator energiya sarfini 43% gacha kamaytirish imkonini bergan. Bu esa real vaqt ma’lumotlari va intellektual modellardan foydalanish yer osti konlari shamollatish tizimlarida nafaqat xavfsizlikni oshirishi, balki energiya samaradorligini ham sezilarli yaxshilashi mumkinligini ko‘rsatadi [6-9].

Peng Cao, Jian Liu, Honglin Wang, Yu Wang va boshqa tadqiqotchilar tomonidan bajarilgan ishlarda kon shamollatish tizimining raqamli egizak modeli xavfsizlikni intellektual boshqarishda muhim vosita sifatida qaralgan. Ular shamollatish qarshiligi koeffitsientidagi noaniqliklar raqamli egizak modelining aniqligiga sezilarli ta’sir qilishini ko‘rsatgan. Xijun Yang va Hui Li esa raqamli egizak, chuqur o‘qitish va adaptiv boshqaruvni birlashtirgan yondashuvni taklif qilib, murakkab yer osti sharoitlarida real vaqt monitoringi va dinamik boshqaruv muammolarini hal qilishga e’tibor qaratgan [10-12].

Bundan tashqari, Kai Zhang, Xijun Yang va Hui Li tomonidan grafik neyron tarmoq hamda chuqur mustahkamlovchi o‘qitish texnologiyalarini birlashtirish orqali kon shamollatish tizimlari uchun intellektual qaror qabul qilish modeli ishlab

ISSN 3030-3907

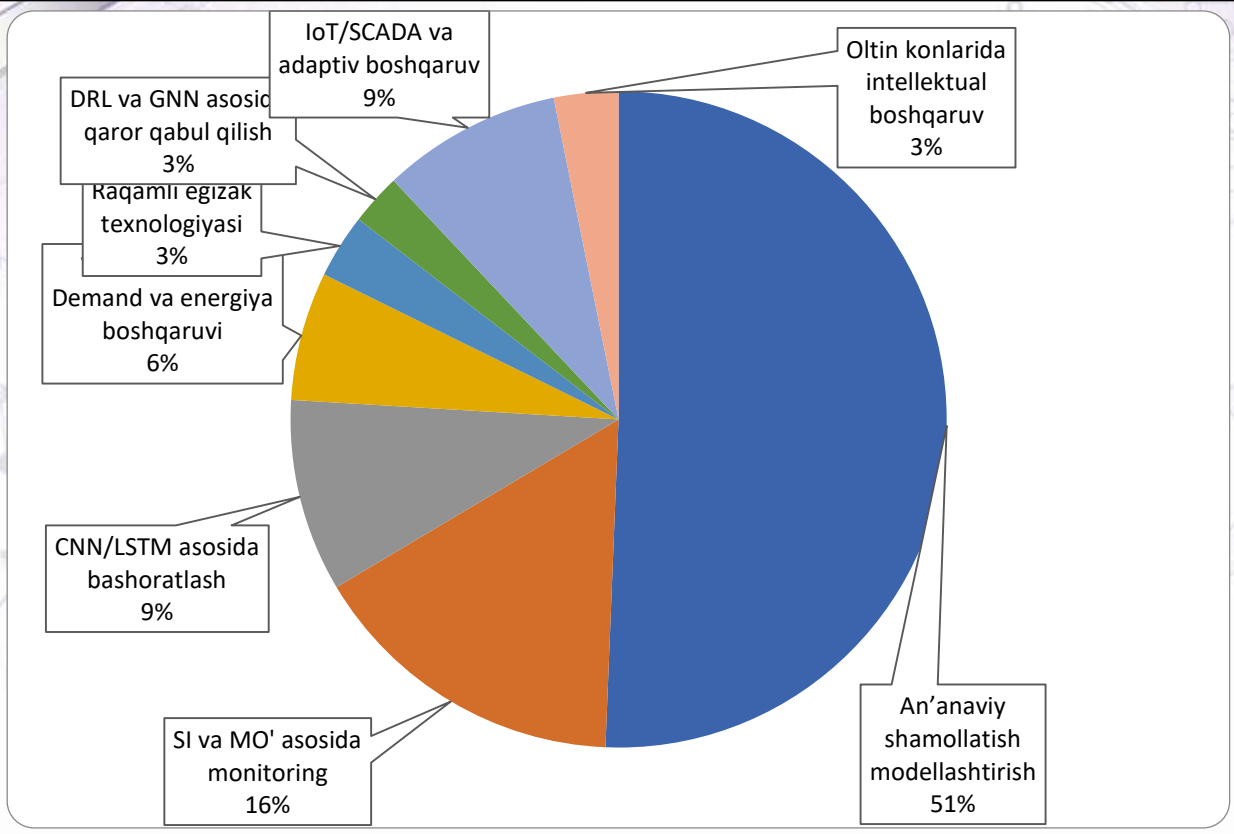
chiqilgan. Bunday yondashuv kon shamollatish tarmog‘ining grafik tuzilishini, ya’ni tugunlar, tarmoqlar, havo yo‘llari va ventilyatorlar o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni hisobga olish imkonini beradi. Shuningdek, yer osti metall konlarida havo oqimi parametrlarini aniqlash bo‘yicha CNN-MLP arxitekturasi asosidagi tadqiqotlarda sensor ma’lumotlari asosida global havo oqimi taqsimotini baholash imkoniyati ko‘rsatilgan; unda CNN-MLP modeli nisbatan yuqori aniqlikni ta’minlagan [13].

Mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, yer osti konlarida shamollatish jarayonini intellektual boshqarish bo‘yicha turli yondashuvlar mavjud bo‘lsada, real vaqt sensor ma’lumotlari, chuqur o‘qitish asosidagi bashoratlash, xavf zonalarini aniqlash va ventilyatorlarni adaptiv boshqarishni yagona tizim sifatida birlashtirish masalasi hali ham dolzarb hisoblanadi. Ko‘plab ishlarda alohida gaz konsentratsiyasini bashoratlash, havo oqimini modellashtirish yoki energiya tejamkor boshqaruv masalalari ko‘rib chiqilgan. Biroq kon atmosferasining ko‘p parametrli holatini real vaqt rejimida baholash, xavf darajasini oldindan aniqlash va boshqaruv ta’sirini avtomatik shakllantirishni kompleks yondashuv asosida amalga oshirish ilmiy-amaliy jihatdan muhim masala bo‘lib qolmoqda.

Mazkur tadqiqotda chuqur o‘qitish va real vaqt sensor ma’lumotlari tahlili asosida yer osti konlari shamollatish jarayonini intellektual boshqarish yondashuvi taklif etiladi. Taklif etilayotgan yondashuvda sensorlardan olinadigan metan, CO, CO_2, O_2, harorat, namlik, chang, havo oqimi tezligi va bosim kabi parametrlar dastlabki qayta ishlanadi, chuqur neyron tarmoq yordamida kon atmosferasining joriy va kelgusi holati baholanadi hamda aniqlangan xavf darajasiga muvofiq ventilyatorlarning ish rejimi adaptiv ravishda boshqariladi. Ushbu yondashuvning asosiy maqsadi yer osti konlarida xavfsiz mikroiqlimni saqlash, xavfli gazlar to‘planishini oldindan aniqlash, favqulodda holatlarga tezkor javob berish va shamollatish tizimining energiya samaradorligini oshirishdan iborat [14].

2019–2026-yillar oralig‘ida Scopus, Springer Nature, Elsevier, Frontiers, MDPI va boshqa yuqori reytingli ilmiy nashrlarda yer osti konlari shamollatish tizimlarini intellektual boshqarish bo‘yicha tadqiqotlar tahlil qilindi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. 2019–2026-yillarda yer osti konlari shamollatish tizimlarini intellektual boshqarish bo‘yicha mavjud tadqiqotlar tahlili.

Mazkur tadqiqotda oltin rudali yer osti konlari sharoitida shamollatish jarayonini intellektual boshqarish uchun real vaqt sensor ma’lumotlari, chuqur o‘qitish modeli va adaptiv boshqaruv algoritmini birlashtirgan metodologik yondashuv taklif etiladi. Tadqiqot obyekti sifatida oltin konining yer osti lahimlari, qazib olish uchastkalari, asosiy va yordamchi shamollatish yo‘llari hamda ventilyator qurilmalari bilan bog‘liq shamollatish tarmog‘i qaraladi. Ushbu obyekt murakkab, ko‘p parametrli, noaniq va vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan boshqaruv obyekti sifatida tahlil qilinadi. Yer osti kon parametrlarini uzluksiz monitoring qilish, real vaqt sensor ma’lumotlarini yig‘ish va dastlabki qayta ishlash, chuqur o‘qitish CNN-LSTM modeli yordamida amalga oshirilgan.

Yer osti oltin konida shamollatish jarayoni ko‘p parametrli, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan va tashqi ta’sirlarga sezgir dinamik boshqaruv obyekti sifatida qaraladi. Bunday obyektning matematik ifodalanishida shamollatish tarmog‘ining topologik tuzilmasi, aerodinamik holati, kon atmosferasi parametrlari, real vaqt sensor signallari, xavf darajasi va ventilyatorlarning boshqaruv ta’siri o‘zaro bog‘langan yagona tizim sifatida qaraladi.

Yer osti oltin konining shamollatish tarmog‘i yo‘naltirilgan graf ko‘rinishida ifodalaymiz

$$G = (V, E),$$

ISSN 3030-3907

bu yerda $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ - kon lahimlari kesishmalari, ishchi zonalar, nazorat nuqtalari va havo taqsimlash tugunlari majmuasi. $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ - havo oqimi harakatlanadigan lahim uchastkalari, shamollatish yo‘llari va ventilyator tarmoqlari majmuasi.

Har bir $e_j \in E$ tarmoq uchun havo sarfi, aerodinamik qarshilik va bosim yo‘qotilishi mos ravishda quyidagicha belgilanadi

$$Q_j(t), R_j(t), \Delta P_j(t).$$

Shamollatish tarmog‘i uchun tugunlarda havo massasi saqlanish qonuni orqali bajariladi

$$AQ(t) = 0$$

bu yerda A -insidensiya matritsasi. B - konturlar matritsasi $B \in \mathbb{R}^{l \times m}$. $\Delta P(t) = [\Delta P_1(t), \Delta P_2(t), \dots, \Delta P_m(t)]^T$ - tarmoqlardagi bosim yo‘qotishlari vektori. $H_f(t)$ - ventilyatorlar tomonidan hosil qilinadigan bosimlar vektori.

Tarmoqdagi bosim yo‘qotilishi nochiziqli aerodinamik bog‘lanish orqali ifodalanadi:

$$\Delta P_j(t) = R_j(t) Q_j(t) \left| Q_j(t) \right|$$

bu yerda $R_j(t)$ - lahimning aerodinamik qarshiligi bo‘lib, u lahim kesimi, uzunligi, devor sirtining dag‘alligi, changlanish darajasi va vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi ekspluatatsion omillarga bog‘liq bo‘ladi.

Shamollatish tarmog‘ining umumiy statik-dinamik holati quyidagi tenglamalar tizimi orqali tavsiflanadi

$$\begin{cases} AQ(t) = 0 \\ B(R(t)Q(t)|Q(t)|) = BH_f(t) \end{cases}.$$

Yer osti oltin koni atmosferasining holati har bir nazorat nuqtasida ko‘p o‘lchovli holat vektori bilan ifodalanadi:

$$X_i(t) = \left[C_{CO,i}(t), C_{CO_2,i}(t), C_{O_2,i}(t), T_i(t), H_i(t), D_i(t), V_i(t), P_i(t), Q_i(t)\right]^T$$

bu yerda $C_{CO,i}(t)$ - uglerod oksidi konsentratsiyasi; $C_{CO_2,i}(t)$ - karbonat angidrid konsentratsiyasi; $C_{O_2,i}(t)$ - kislorod miqdori; $T_i(t)$ harorat; $H_i(t)$ - namlik; $D_i(t)$ - chang konsentratsiyasi; $V_i(t)$ - havo oqimi tezligi; $P_i(t)$ - bosim; $Q_i(t)$ - havo sarfi.

Butun kon bo‘yicha umumiy holat vektori quyidagicha yozamiz

$$X(t) = [X_1^T(t), X_2^T(t), \dots, X_n^T(t)]^T.$$

Sensorlardan keladigan o‘lchovlar esa quyidagi kuzatish modeli orqali ifodalanadi

$$Y(t) = CX(t) + \varepsilon(t),$$

bu yerda: $Y(t)$ - real vaqt sensor ma’lumotlari vektori; C - o‘lchash matritsasi; $\varepsilon(t)$-sensor shovqini, o‘lchash xatoligi va tashqi noaniqliklar vektori.

ISSN 3030-3907

Kon sharoitida sensor signallarining shovqinli, uzilishli yoki noto‘g‘ri bo‘lishi mumkinligini hisobga olib, dastlabki qayta ishlangan ma’lumotlar quyidagicha olinadi

$$\dot{X}(t) = F_{pre}(Y(t)),$$

bu yerda $F_{pre}(\cdot)$ - filtrlash, normallashtirish, anomal qiymatlarni ajratish, vaqt bo‘yicha sinxronlashtirish va yetishmayotgan qiymatlarni tiklash operatori sifatida olamiz.

Yer osti koni shamollatish jarayonining umumiy dinamikasi quyidagi nochiziqli diskret holat tenglamasi bilan ifodalanadi

$$X(t+1) = F(X(t), U(t), Z(t), \xi(t)),$$

bu yerda $U(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_s(t)]^T$ - boshqaruv ta’sir vektori. $Z(t)$ - tashqi texnologik ta’sir vektori. $\xi(t)$ - tasodifiy noaniqliklar, shovqinlar va modellashtirilmagan omillar. $F(\cdot)$ - shamollatish jarayonining nochiziqli operatori.

Amaliy hisoblashlar uchun bu dinamik modelni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin

$$X(t+1) = A_d X(t) + B_d U(t) + G_d Z(t) + \Phi(X(t)) + \xi(t),$$

bu yerda A_d - holat matritsasi; B_d-boshqaruv ta’siri matritsasi; G_d - tashqi ta’sirlar matritsasi; $\Phi(X(t))$ - shamollatish jarayonining nochiziqli komponentasi.

Bunda nochiziqlik asosan havo oqimi va bosim yo‘qotilishi o‘rtasidagi bog‘lanishdan kelib chiqadi

$$\Delta P_j(t) = R_j(t) Q_j(t) \left| Q_j(t) \right|.$$

Shamollatish jarayoni vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi dinamik obyekt bo‘lganligi sababli real vaqt sensor ma’lumotlarini tahlil qilish uchun CNN-LSTM gibrid chuqur o‘qitish modeli qo‘llanildi.

Modelga kiruvchi ma’lumotlar sirpanuvchi vaqt oynasi bo‘yicha shakllantirmiz

$$\mathcal{W}_t = [\bar{X}(t-k+1), \bar{X}(t-k+2), \dots, \tilde{X}(t)]$$

bu yerda: k - vaqt oynasi uzunligi. $\mathcal{W}_t \in \mathbb{R}^{k \times p}$ - k vaqt qadami va p ta sensor belgisidan iborat kirish matritsasi.

CNN qatlami sensor parametrlar orasidagi lokal yashirin bog‘liqliklarni ajratib olamiz

$$Z_c^{(r)} = \sigma\left(W_c^{(r)} * \mathcal{W}_t + b_c^{(r)}\right)$$

bu yerda $W_c^{(r)}$- r-konvolyutsion filtr og‘irliklari; $b_c^{(r)}$- siljish koeffitsienti; $\sigma(\cdot)$- aktivatsiya funksiyasi, Bizning modelda aktivatsiya funksiyasi sifatida ReLU ni tanlab oldik, $\sigma(x) = \max(0, x)$.

CNN qatlamidan keyin muhim belgilar tanlab oldik

$$Z_p = Pool(Z_c),$$

ISSN 3030-3907

bu yerda $Pool(\cdot)$ - maksimal pooling operatori.

Keyin olingan belgilar LSTM qatlamiga uzatiladi. LSTM modeli vaqtli bog‘liqliklarni quyidagi ichki mexanizmlar orqali o‘rganadi va tenglamalarini quyidagicha tuzib olamiz.

$$f_t = \sigma\left(W_f z_t + U_f h_{t-1} + b_f\right),$$
$$i_t = \sigma(W_i z_t + U_i h_{t-1} + b_i),$$
$$\bar{c}_t = \tanh\left(W_c z_t + U_c h_{t-1} + b_c\right),$$
$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \bar{c}_t,$$
$$o_t = \sigma(W_o z_t + U_o h_{t-1} + b_o),$$
$$h_t = o_t \odot \tanh\left(c_t\right),$$

bu yerda: f_t- unutish darvozasi mexanizmi. i_t - kirish darvozasi mexanizmi. o_t- chiqish darvozasi mexanizm. c_t-xotira holati. h_t- yashirin holat. z_t - CNN qatlami orqali ajratib olingan belgilar.

CNN-LSTM modelining umumiy bashoratlash operatori quyidagicha yozib olamiz

$$\hat{X}(t + \Delta t) = f_\theta^{CNN-LSTM}(\mathcal{W}_t),$$

bu yerda θ - CNN-LSTM modelining o‘qitiladigan parametrlar majmuasi.

Agar model gaz konsentratsiyasi va havo oqimini bashoratlash uchun ishlatilsa, chiqish vektori quyidagicha bo‘ladi

$$\hat{X}(t + \Delta t) = \left[\hat{C}_{CO}, \hat{C}_{CO_2}, \hat{C}_{O_2}, \hat{T}, \hat{H}, \hat{D}, \hat{V}, \hat{P}, \hat{Q}\right]^T.$$

Agar model xavf darajasini tasniflash uchun ishlatilsa, chiqish ehtimollik vektori quyidagicha aniqlanadi

$$\hat{p}(t) = \text{Softmax}(W_s h_t + b_s),$$
$$\hat{p}(t) = \left[p_{\text{Normal}}, p_{\text{Warning}}, p_{\text{Dangerous}}, p_{\text{Critical}}\right]^T.$$

Natijaviy xavf sinfi esa quyidagicha aniqlanadi

$$\hat{C}(t) = \arg\max_{c \in \Omega} p_c(t),$$

bu yerda: $\Omega = \{$ Normal, Warning, Dangerous, Critical $\}$.

Kon atmosferasining xavf darajasini integral baholash uchun normalashtirilgan xavf indeksi kiritiladi

$$R(t) = \sum_{r=1}^{p} \omega_r \rho_r(t),$$

bu yerda $R(t) \in [0,1]$ - umumiy xavf indeksi. ω_r - r-parametrning og‘irlik koeffitsienti. $\rho_r(t)$ - mos parametr bo‘yicha normalashtirilgan xavf funksiyasi.

$$\sum_{r=1}^{p} \omega_r = 1, \omega_r \geq 0.$$

Zararli gazlar bo‘yicha xavf funksiyasi quyidagicha yozamiz

ISSN 3030-3907

$$\rho_g(t) = min\left(1, max\left(0, \frac{C_g(t) - C_g^{\min}}{C_g^{\max} - C_g^{\min}}\right)\right).$$

Kislorod miqdori uchun xavf teskari xarakterga ega bo‘lgani sababli

$$\rho_{O_2}(t) = \frac{C_{O_2}^{\text{norm}} - C_{O_2}(t)}{C_{O_2}^{\text{norm}} - C_{O_2}^{\min}}.$$

Agar parametr xavfsiz chegaradan chiqmasa, uning xavf funksiyasi nolga tenglashtiriladi va uni quyidagicha ifodalab olamiz.

$$\rho_r(t) = \max\left(0, \frac{x_r(t) - x_r^{\text{norm}}}{x_r^{\text{crit}} - x_r^{\text{norm}}}\right).$$

Shunda umumiy xavf darajasi quyidagicha tasniflanadi

$$\hat{C}(t) = \begin{cases} \text{Normal}, & 0 \le R(t) < R_1, \\ \text{Warning}, & R_1 \le R(t) < R_2, \\ \text{Dangerous}, & R_2 \le R(t) < R_3, \\ \text{Critical}, & R_3 \le R(t) \le 1. \end{cases}$$

bu yerda: $0 < R_1 < R_2 < R_3 < 1$.

Mazkur tadqiqotda adaptiv ventilyator boshqaruvining optimallashtirish modeli CNN-LSTM modeli orqali bashorat qilingan kon atmosferasi holati, xavf indeksini integral baholash usuli va energiya-xavfsizlik mezoniga asoslangan cheklangan optimallashtirish yondashuvi asosida shakllantiriladi. Ushbu yondashuv oltin rudali yer osti konlari sharoitida shamollatish jarayonining ko‘p parametrli, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan va noaniqlikka ega bo‘lgan boshqaruv obyekti ekanligini hisobga olish imkonini beradi.

Ventilyatorlarning boshqaruv ta’siri quyidagi vektor bilan ifodalaymiz

$$U(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_s(t)]^T,$$

bu yerda $n_j(t)$ - j-ventilyatorning aylanish tezligi yoki chastota o‘zgartirgich signali.

Ventilyator energiya sarfi taxminan quyidagi kubik bog‘lanish orqali baholanadi

$$Q_f \sim n, H_f \sim n^2, P_f \sim n^3.$$

$$E(t) = \sum_{j=1}^{s} \kappa_j n_j^3(t),$$

bu yerda $\kappa_j - j$-ventilyatorning energetik koeffitsienti.

Shamollatish boshqaruvining asosiy maqsadi xavfsizlik talablarini buzmasdan energiya sarfini kamaytirish va boshqaruv signalining keskin o‘zgarishini cheklashdan iborat. Shu sababli maqsad funksiyasi quyidagicha tuzib olamiz

ISSN 3030-3907

$$J(t) = \alpha E(t) + \beta R(t) + \gamma \|\Delta U(t)\|^2,$$

bu yerda $\Delta U(t) = U(t) - U(t-1)$. $\alpha, \beta, \gamma > 0$ - energiya sarfi, xavf darajasi va boshqaruv silliqligiga beriladigan vazn koeffitsientlari.

Optimal boshqaruv signali quyidagi minimallashtirish masalasi orqali aniqlanadi

$$U^*(t) = \arg\min_{U(t)\in U} [\alpha E(t) + \beta R(t) + \gamma \|U(t) - U(t-1)\|^2],$$

bu yerda $\mathcal{U}$ - ruxsat etilgan boshqaruv signallari sohasi bo‘lib ma’lum chegaralar orasida qiymatni o‘z ichiga oladi

$$\mathcal{U} = \{U(t): n_j^{\min} \le n_j(t) \le n_j^{\max}, j = 1, \dots, s\}.$$

Bundan tashqari, shamollatish xavfsizlik cheklovlari bajarilishi shart:

$$C_{CO,i}(t) \le C_{CO}^{\max},$$
$$C_{CO_2,i}(t) \le C_{CO_2}^{\max},$$
$$C_{O_2,i}(t) \ge C_{O_2}^{\min},$$
$$Q_i(t) \ge Q_i^{\min},$$
$$V_i^{\min} \le V_i(t) \le V_i^{\max}.$$

Shunday qilib, adaptiv boshqaruv masalasi quyidagi cheklangan optimallashtirish masalasi sifatida yoziladi

$$U^*(t) = \arg\min_{U(t)} \left[\alpha \sum_{j=1}^{s} \kappa_j n_j^3(t) + \beta R(t) + \gamma \|U(t) - U(t-1)\|^2\right].$$

Bu modelning mazmuni shundan iboratki, boshqaruv tizimi real vaqt sensor ma’lumotlariga asoslanib kon atmosferasining xavf darajasini baholaydi, CNN-LSTM modeli orqali kelgusi holatni bashorat qiladi va xavfsizlik cheklovlari bajarilgan holda ventilyatorlarning optimal ish rejimini tanlaydi.

Agar model bashoratlash vazifasini bajarsa, yo‘qotish funksiyasi sifatida o‘rtacha kvadratik xatolik tanlanadi

$$\mathcal{L}_{\text{reg}}(\theta) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \left\|X_i(t+\Delta t) - \hat{X}_i(t+\Delta t)\right\|^2.$$

Agar model xavf darajasini tasniflash vazifasini bajarsa, categorical cross-entropy funksiyasi qo‘llaniladi

$$\mathcal{L}_{cls}(\theta) = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{c=1}^{K} y_{ic} \ln \hat{p}_{ic}.$$

Ko‘p vazifali modelda umumiy yo‘qotish funksiyasi quyidagicha olinadi

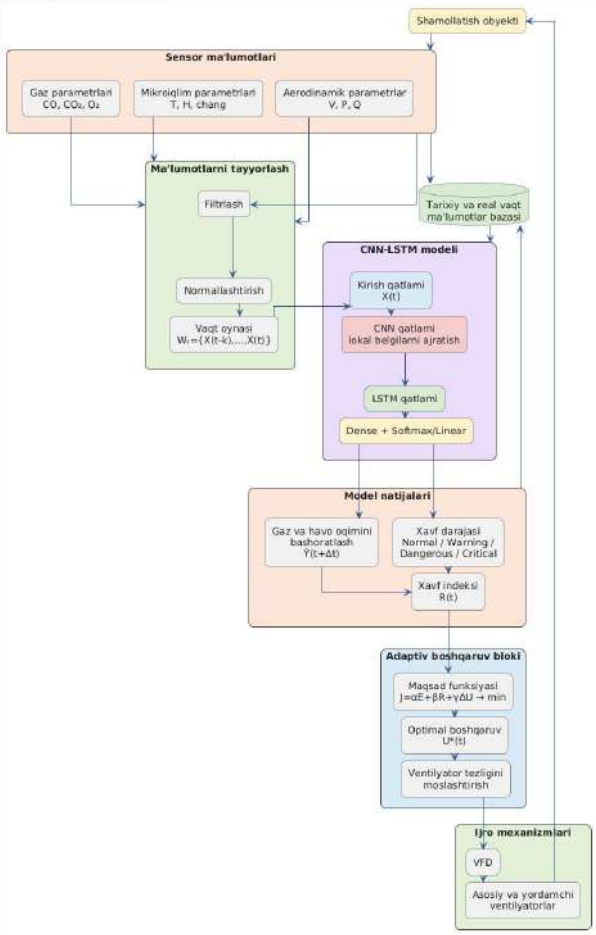
$$\mathcal{L}(\theta) = \lambda_1 \mathcal{L}_{\text{reg}}(\theta) + \lambda_2 \mathcal{L}_{\text{cls}}(\theta) + \lambda_3 \|\theta\|_2^2,$$

bu yerda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - mos vazifalarning vazn koeffitsientlari. $\|\theta\|_2^2$ - model parametrlarini regulyarizatsiya qilish hadi.

Model parametrlari quyidagi optimallashtirish masalasi orqali aniqlanadi

ISSN 3030-3907

$$\theta^* = \arg\min_{\theta} \mathcal{L}(\theta).$$



2-rasm. Yer osti konlari shamollatish jarayonini intellektual boshqarishning funksional arxitekturasi

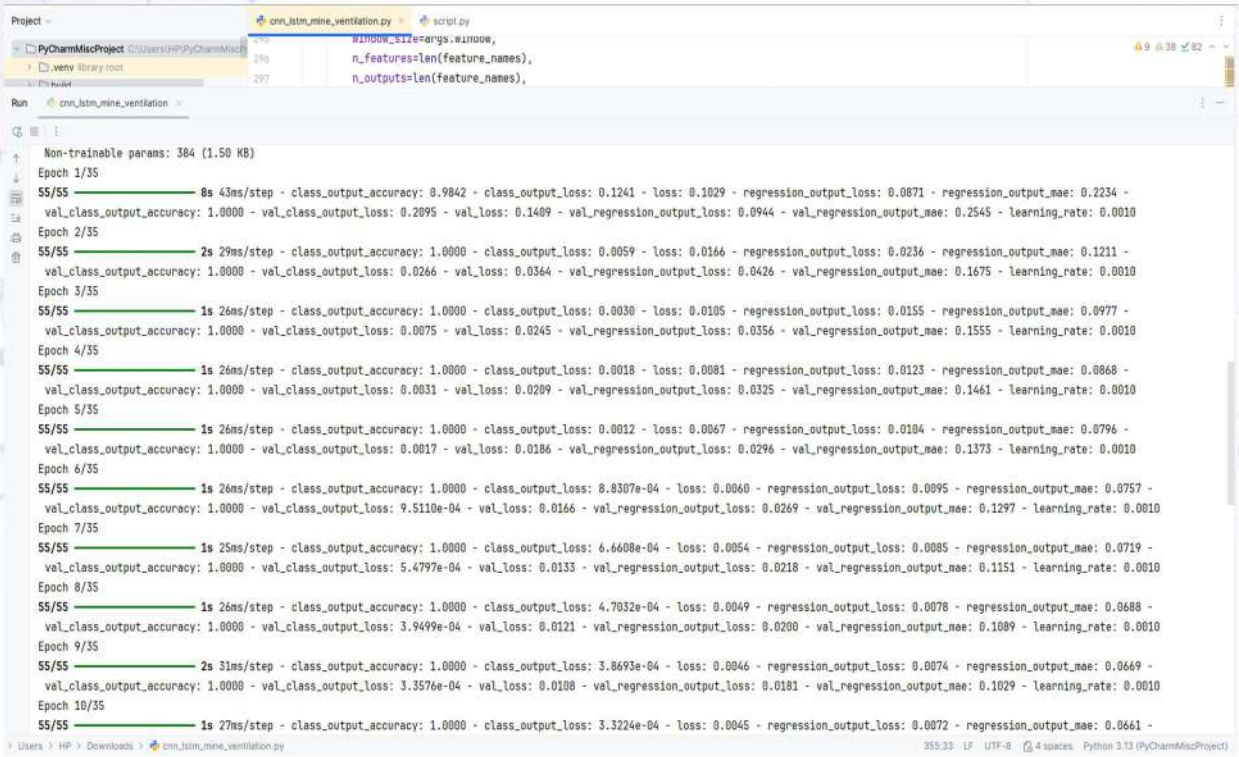
NATIJALAR. Mazkur tadqiqotda yer osti koni shamollatish jarayonini intellektual boshqarish uchun real vaqt sensor ma’lumotlariga asoslangan CNN–LSTM gibrid chuqur o‘qitish modeli ishlab chiqildi va sinovdan o‘tkazildi. Model kon atmosferasi parametrlarini vaqt qatori sifatida tahlil qilish, ularning kelgusi qiymatlarini bashoratlash hamda xavf holatini avtomatik tasniflashga yo‘naltirildi.

Tajriba ma’lumotlari 30 ta vaqt qadami va 9 ta sensor parametridan iborat sirpanuvchi vaqt oynalari asosida shakllantirildi. Ma’lumotlar to‘plami o‘qitish, validatsiya va test qismlariga ajratilib, mos ravishda 3479, 745 va 746 ta namunadan iborat bo‘ldi. Bu tuzilma gaz konsentratsiyasi, havo oqimi, bosim, harorat, namlik va boshqa parametrlarning vaqt bo‘yicha o‘zgarish dinamikasini hisobga olish imkonini berdi.

CNN–LSTM modeli Conv1D, MaxPooling1D, LSTM va Dense qatlamlaridan tashkil topdi. Conv1D qatlamlari sensor signallaridagi lokal belgilarni ajratib olsa, LSTM qatlami vaqt bo‘yicha bog‘liqliklarni o‘rganishga xizmat qildi. Model ikki chiqishga ega bo‘lib, birinchi chiqish 9 ta sensor parametrini regressiya asosida bashoratlashga, ikkinchi chiqish esa xavf holatini 4

ISSN 3030-3907

ta sinfga ajratishga mo‘ljallandi. Modelning umumiy parametrlar soni 120 717 tani, o‘qitiladigan parametrlar soni esa 120 333 tani tashkil etdi.



3-rasm Python dasturlash tilida CNN–LSTM gibrid chuqur o‘qitish modeli asosidagi natijalari

Model 35 epoch davomida o‘qitildi. Klassifikatsiya aniqligi dastlabki epochda 0.9396 ga yetdi va keyingi epochlarda class_output_accuracy hamda val_class_output_accuracy qiymatlari 1.0000 darajasida barqarorlashdi. Regressiya natijalarida ham xatoliklarning kamayishi kuzatildi: regression_output_mae dastlab 0.2367 atrofida bo‘lgan bo‘lsa, keyingi epochlarda 0.058–0.056 oralig‘igacha kamaydi. Validatsiya xatoligi esa taxminan 0.10 atrofida barqarorlashdi.

1-jadval

CNN–LSTM modelini 35 epoch davomida o‘qitish natijalari.

Epoxa	Umumiy xatolik (loss)	Validatsiya xatoligi (val_loss)	Klassifikatsiya aniqligi	Validatsiya aniqligi	Regressiya MAE	Validatsiya MAE
1	0.1029	0.1409	0.9842	1.0000	0.2234	0.2545
5	0.0067	0.0186	1.0000	1.0000	0.0796	0.1373
10	0.0045	0.0099	1.0000	1.0000	0.0661	0.0981
15	0.0036	0.0090	1.0000	1.0000	0.0600	0.0948
20	0.0033	0.0096	1.0000	1.0000	0.0574	0.0985

ISSN 3030-3907

Test bosqichida umumiy loss qiymati 0.0109 ni tashkil etdi. Regressiya chiqishi bo‘yicha regression_output_loss qiymatining 0.0001 ga teng bo‘lishi modelning sensor parametrlarini bashoratlashda kichik xatolikka erishganini ko‘rsatadi. Bu natijalar CNN–LSTM modelining kon atmosferasi parametrlaridagi vaqtli bog‘liqliklarni o‘rganish va kelgusi holatni baholashda samarali ekanligini tasdiqlaydi.

Shu bilan birga, klassifikatsiya natijalarini talqin qilishda sinflar taqsimotini hisobga olish zarur. Classification report chiqarish bosqichida test to‘plamida yoki bashorat natijalarida faqat bitta xavf sinfi mavjudligi aniqlandi. Bu holat xavf sinflari balansining yetarli emasligini ko‘rsatadi. Shu sababli yuqori klassifikatsiya aniqligi barcha xavf sinflari bo‘yicha yakuniy natija sifatida emas, balki mavjud test namunalarining tarkibi bilan bog‘liq holda baholanishi lozim.

MUHOKAMA. Muhokama natijalari CNN–LSTM modelining yer osti koni shamollatish jarayonini adaptiv boshqarishda intellektual bashoratlash bloki sifatida qo‘llanishi mumkinligini ko‘rsatadi. Model real vaqt sensor signallaridan foydalangan holda kon atmosferasi holatini oldindan baholaydi, bu esa ventilyator tezligini xavf darajasi va havo oqimi ehtiyojiga mos ravishda boshqarish imkonini beradi.

XULOSA. Mazkur tadqiqotda yer osti koni shamollatish jarayonini intellektual boshqarish uchun real vaqt sensor ma’lumotlariga asoslangan CNN–LSTM gibrid chuqur o‘qitish modeli ishlab chiqildi. Taklif etilgan model kon atmosferasi parametrlarini vaqt qatori sifatida tahlil qilish va ularning kelgusi qiymatlarini bashoratlash imkonini berdi. Modelga kiruvchi ma’lumotlar 30 ta vaqt qadami va 9 ta sensor parametridan iborat sirpanuvchi vaqt oynalari asosida shakllantirildi. Bu yondashuv gaz konsentratsiyasi, havo oqimi, bosim, harorat, namlik va boshqa texnologik parametrlarning dinamik o‘zgarishini hisobga olish imkonini yaratdi. CNN qatlamlari sensor signallaridagi lokal xususiyatlarni ajratib olishda samarali bo‘ldi. LSTM qatlami esa shamollatish jarayonidagi vaqt bo‘yicha bog‘liqliklar, kechikishlar va inertlik xususiyatlarini o‘rgandi. Modelning regressiya chiqishi kon atmosferasi parametrlarini bashoratlashga, klassifikatsiya chiqishi esa xavf holatini avtomatik baholashga yo‘naltirildi. Tajriba natijalarida model 35 epoch davomida o‘qitilib, regressiya xatoligining bosqichma-bosqich kamayishi kuzatildi. Test bosqichida umumiy loss qiymatining 0.0109, regressiya chiqishi bo‘yicha regression_output_loss qiymatining 0.0001 ga teng bo‘lishi modelning yuqori bashoratlash aniqligiga ega ekanligini ko‘rsatdi. Klassifikatsiya aniqligining yuqori bo‘lishi modelning xavf holatlarini ajratish bo‘yicha berilgan ma’lumotlar tuzilmasini yaxshi o‘zlashtirganini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, test to‘plamida xavf sinflari taqsimotining notekis bo‘lishi klassifikatsiya natijalarini ehtiyotkorlik bilan talqin qilish zarurligini ko‘rsatdi. Model natijalari adaptiv

ISSN 3030-3907

ventilyator boshqaruvi uchun intellektual bashoratlash bloki sifatida qo‘llanishi mumkin. Bunday yondashuv shamollatish tizimida xavfsizlik talablarini saqlagan holda energiya sarfini kamaytirish va havo oqimini real ehtiyojga mos boshqarish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Semin, M., Kormshchikov, D. Application of artificial intelligence in mine ventilation: a brief review. Frontiers in Artificial Intelligence, 2024, Vol. 7, Article 1402555. doi: 10.3389/frai.2024.1402555.
2. Namozov N.N. Ko‘p gorizontli shaxtalarda raqamli egizak asosida adaptiv monitoring va intellektual boshqaruv: qurilmalararo axborot oqimini boshqarish modeli // «Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari xalqaro ilmiy-amaliy anjumani» 2-to‘plam, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, 24-25 sentyabr, 2025, Navoiy, 39-41 betlar.
3. Kalandarov, I., Davlatov, B., Bozorov, B., & Belalova, G. A Model for Optimizing Production Processes in Intelligent Control Systems for Mining and Transport Complexes //Proceedings of the 8th International Conference on Future Networks & Distributed Systems. – 2024. – С. 390-393.
4. Yuan, K., Gao, K., Liu, Y. Enhancing gas concentration prediction and ventilation efficiency in deep coal mines: a hybrid DL-Koopman and Fuzzy-PID framework. Scientific Reports, 2025, Vol. 15, Article 23630. doi: 10.1038/s41598-025-00105-3.
5. Намозов Н.Н. Анализ систем предотвращения столкновений транспортных средств на подземных месторождениях // ISBN 978-5-00236-550-0, Научный форум сборник статей X Международной научно-практической конференции, состоявшейся. Россия, Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2024, стр.61-64
6. Ihsan, A., Widodo, N.P., Cheng, J., Wang, E. Ventilation on demand in underground mines using neuro-fuzzy models: Modeling and laboratory-scale experimental validation. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024, Article 108048. doi: 10.1016/j.engappai.2024.108048.
7. Kalandarov I.I., Namozov N.N., Nasimov R. Testing the Technology and Reliability of Using the Zigbee Network in Underground Mining Operations. In: Koucheryavy, Y., Aziz, A. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. ruSMART NEW2AN 2024 2024. Lecture Notes in Computer Science, vol 15555. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95296-8_14
8. Namozov N.N. Development of protocols and algorithms for ensuring communication between individual means of communication and the central server

of mining personnel // ISSN 2181-8193 «Fan va texnologiyalar taraqqiyoti» ilmiy – texnikaviy jurnali, №2, 2024, 231-236 betlar
9. Cao, P., Liu, J., Wang, H., Wang, Y., Liu, X., Wang, D. Uncertainty analysis of digital twin model of mine ventilation system. Scientific Reports, 2024, Vol. 14, Article 26558. doi: 10.1038/s41598-024-77978-3.
10. Kalandarov I.I., Nasimov R., Namozov N.N. Testing the Technology and Reliability of Using the Zigbee Network in Underground Mining Operations. In: Koucheryavy, Y., Aziz, A. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. ruSMART NEW2AN 2024 2024. Lecture Notes in Computer Science, vol 15555. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95296-8_14
11. Zhang, K., Yang, X., Li, H. Intelligent decision-making for mine ventilation systems based on graph neural network and deep reinforcement learning fusion. Scientific Reports, 2026, Vol. 16, Article 6704. doi: 10.1038/s41598-026-37347-8.
12. Kalandarov I.I., Khojiev A.H., Namozov, N.N., & Khayrullayev, M. Mathematical Model and Algorithm for Calculating Natural and Geological Conditions Affecting the Safety of Workers in Underground Mining //Proceedings of the 8th International Conference on Future Networks & Distributed Systems. – 2024. – С. 394-397.
13. Kalandarov I.I., Bozorov B.N., Namozov N.N. Konchilik sanoati obyektlarida faoliyat olib boruvchi xodimlar jismoniy xolati va sog‘ligi haqidagi axborotlarni ekvivalent o‘zgartirish algoritmi // Academic Research in Educational Sciences, Vol.5, Issues 7-8, 2024, PP.108-118
14. Namozov N. Chiziqli filtrlarga asoslangan raqamli signallarni qayta ishlashning parallel algoritmlari //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2025. – №. 3. – С. 72-79.
15. Kalandarov I.I., Bozorov B.N., Hojiev A.M., Namozov N.N. // Scientific foundations of an automated cyber-physical system for ensuring occupational safety in underground mines based on digital signal processing // Monograph — T.: Publishing. «Science algorithm» ISBN 978-9910-774-57-7, 2025, 180 pages
16. Kalandarov I.I., Namozov N.N. A model for ensuring the safety of personnel operating in underground mines using the linear extrapolation method // «International conference on analysis of mathematics and exact sciences» Volume 01, Issue 01, 2024, 121-125 pp.
17. Kalandarov I.I., Namozov N. N. Yer osti konlarida xodimlarni xavfsizligini ta’minlash individual qurilmalaridagi signallar kechikish vaqtini aniqlash modeli //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2024. – №. 1. – С. 33-36 betlar

18. Namozov N.N. Datchik qurilmalaridan olingan ma’lumotlarni qayta ishlashda neyron tarmoqlarining matematik va cnn arxitektura modellar tahlili //International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. – 2025. – T. 6. – №. 1. – C. 68-75.
19. Kalandarov I.I., Bozorov B.N., Namozov N.N. Sanoat korxonalarida xodimlar havfsizligini ta’minlashning axborot tizimlari tahlili va asosiy ko‘rsatkichlar // ISSN 2181-7383 «O‘zbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy texnik va ishlab chiqarish jurnali, №2(93), 2023, 120-123 betlar