ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 10

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.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

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

YER OSTI KONLARIDA SHAMOLLATISH JARAYONLARINI BOSHQARISHNING ZAMONAVIY YONDASHUVLARI VA ULARNI TAKOMILLASHTIRISH ISTIQBOLLARI

To‘xtamishova Malika Sherali qizi
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Navoiy bo‘limi tayanch doktoranti,
E-mail: toxtamishovamalika@gmail.com
ORCID: 0009-0005-0450-5879

Annotatsiya. Ushbu maqolada yer osti konlarida shamollatish jarayonini boshqarishning mavjud yondashuvlari tahlil qilingan hamda ularning afzallik va kamchiliklari baholangan. Tadqiqotda klassik statik shamollatish tizimlari, matematik optimallashtirish usullari, talabga asoslangan shamollatish texnologiyalari, hisoblash suyuqliklar dinamikasi modellashtirish usullari, 3D lazerli skanerlash texnologiyalari, shuningdek sun’iy intellekt va raqamli egizak konsepsiyalarining imkoniyatlari o‘rganilgan. Natijalar mavjud tizimlar energiya samaradorligini oshirishga xizmat qilsa-da, murakkab va o‘zgaruvchan kon sharoitlarida xavfni oldindan baholash hamda real vaqt rejimida moslashuvchan boshqaruvni to‘liq ta’minlay olmasligini ko‘rsatdi. Shu asosda xavfga yo‘naltirilgan, intellektual va talabga asoslangan shamollatish tizimi konsepsiyasi taklif etildi. Ushbu yondashuv ehtimollik nazariyasi, optimal boshqaruv usullari va sun’iy intellekt texnologiyalarini birlashtirish orqali xavfsizlik darajasini oshirish, energiya sarfini kamaytirish hamda shamollatish tizimlarining samaradorligini yaxshilash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: yer osti koni, shamollatish boshqaruvi, talabga asoslangan shamollatish, xavfga yo‘naltirilgan boshqaruv, sun’iy intellekt, raqamli egizak, energiya samaradorligi.

Аннотация. В статье проведён анализ существующих подходов к управлению процессами вентиляции в подземных рудниках и дана оценка их преимуществ и недостатков. Рассмотрены классические статические вентиляционные системы, методы математической оптимизации, технологии вентиляции по требованию, моделирование на основе вычислительной гидродинамики, трёхмерное лазерное сканирование, а также возможности искусственного интеллекта и цифровых двойников. Результаты исследования показали, что существующие системы способствуют повышению энергоэффективности, однако не обеспечивают полноценного прогнозирования рисков и адаптивного управления в режиме реального времени в условиях изменяющейся горной среды. На этой основе предложена концепция риск-ориентированной интеллектуальной вентиляции по

ISSN 3030-3907

требованию. Данный подход объединяет методы теории вероятностей, оптимального управления и технологии искусственного интеллекта, что позволяет повысить уровень безопасности, снизить энергопотребление и улучшить эффективность вентиляционных систем подземных рудников.

Ключевые слова: подземный рудник, управление вентиляцией, вентиляция по требованию, риск-ориентированное управление, искусственный интеллект, цифровой двойник, энергоэффективность.

Abstract. This paper analyzes existing approaches to ventilation control in underground mines and evaluates their advantages and limitations. The study examines classical static ventilation systems, mathematical optimization methods, ventilation-on-demand technologies, computational fluid dynamics modeling, three-dimensional laser scanning techniques, as well as the capabilities of artificial intelligence and digital twin technologies. The results indicate that although current systems improve energy efficiency, they are insufficient for comprehensive risk prediction and adaptive real-time control under dynamic mining conditions. Based on these findings, a risk-oriented intelligent ventilation-on-demand concept is proposed. The suggested approach integrates probability-based risk assessment, optimal control methods, and artificial intelligence technologies to enhance mine safety, reduce energy consumption, and improve the overall performance of underground ventilation systems. The proposed framework provides a foundation for the development of advanced intelligent ventilation management systems capable of responding effectively to continuously changing underground environments.

Keywords: underground mine, ventilation control, ventilation-on-demand, risk-oriented management, artificial intelligence, digital twin, energy efficiency.

KIRISH.

Yer osti konlarida shamollatish tizimi konchilar xavfsizligini ta’minlash, zararli gazlarni chiqarib yuborish va mehnat sharoitlarini me’yoriy darajada ushlab turishda asosiy texnologik tizimlardan biri hisoblanadi. Tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, yer osti konlarida sarflanadigan umumiy elektr energiyasining 35–45 % qismi shamollatish tizimlariga to‘g‘ri keladi. Ayrim yirik va chuqur konlarda bosh ventilyator qurilmalarining quvvati 8–12 MW gacha yetishi mumkin [2].

Kon ishlarining 1500–2500 m chuqurliklarda olib borilishi natijasida tog‘ jinslari haroratining 45–60 °C gacha ko‘tarilishi, metan va boshqa gazlarning ajralish intensivligining ortishi kuzatiladi. Bunday sharoitlarda ishchi hududlarda havo haroratini 26–28 °C diapazonida ushlab turish hamda kislorod miqdorini me’yoriy darajada saqlash uchun yuqori samarali shamollatish tizimlaridan foydalanish talab etiladi [5].

ISSN 3030-3907

Mavjud statik shamollatish tizimlari va reaktiv boshqaruv usullari kon muhitidagi tezkor o‘zgarishlarni hisobga olish imkoniyatiga ega emas. Talabga asoslangan shamollatish texnologiyalarining joriy etilishi natijasida energiya sarfini 20–40 % gacha kamaytirish mumkin bo‘lsa-da, ushbu tizimlar ko‘pincha faqat yuzaga kelgan holatlarga javob qaytarish tamoyiliga asoslanadi. Shu sababli xavfli vaziyatlarni oldindan aniqlash va prognozlash imkoniyatlari cheklanganligicha qolmoqda [9].

So‘nggi yillarda hisoblash suyuqliklar dinamikasi, buyumlar interneti, sun’iy intellekt va raqamli egizak texnologiyalarining rivojlanishi shamollatish tizimlarini real vaqt rejimida monitoring qilish va boshqarish imkoniyatlarini kengaytirdi. Zamonaviy sensor tarmoqlari yordamida havo tezligi, gaz konsentratsiyasi, namlik va harorat ko‘rsatkichlari uzluksiz nazorat qilinmoqda, intellektual algoritmlar esa kelajakdagi xavfli holatlarni oldindan baholash imkonini bermoqda [14].

Shu sababli yer osti konlarida shamollatish jarayonlarini boshqarishda xavfga yo‘naltirilgan, prognozlovchi va intellektual yondashuvlarni ishlab chiqish hamda amaliyotga joriy etish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

TADQIQOT OBYEKTLARI VA USULLARI.

Mazkur tadqiqotning obyekti sifatida yer osti konlarida qo‘llaniladigan bosh shamollatish va mahalliy shamollatish tizimlari tanlab olindi. Tadqiqotda markazdan qochma va o‘qli ventilyatorlar asosidagi shamollatish tizimlari, talabga asoslangan shamollatish (Ventilation-on-Demand) texnologiyalari hamda sun’iy intellekt elementlari bilan integratsiyalashgan boshqaruv tizimlari o‘rganildi. Tahlil qilingan shamollatish tarmoqlari odatda 4–6 m kenglikdagi va 3–5 m balandlikdagi transport hamda qazib olish lahimlaridan tashkil topgan bo‘lib, ularning umumiy uzunligi 5–20 km oralig‘ida o‘zgaradi. Tadqiqotlarda havo sarfi 50–500 m^3/s diapazonidagi kon shamollatish tizimlari ma’lumotlaridan foydalanildi [3].

Shamollatish tizimlarining texnik tavsiflarini baholashda bosh ventilyatorlarning 500–12000 kW quvvat oralig‘idagi ishlash ko‘rsatkichlari, havo oqimining 2–8 m/s tezligi, aerodinamik qarshilikning 1000–5000 Pa qiymatlari hamda ishchi zonalardagi harorat va gaz konsentratsiyasi parametrlari tahlil qilindi. Bundan tashqari, metan konsentratsiyasi 0,5–1,0 %, karbonat angidrid miqdori 0,1–0,5 % va havo harorati 20–35 °C oralig‘ida bo‘lgan sharoitlarda shamollatish tizimlarining ishlash samaradorligi baholandi [7].

Tadqiqot metodologiyasi doirasida klassik aerodinamik modellashtirish, matematik optimallashtirish, hisoblash suyuqliklar dinamikasi modellashtirish va uch o‘lchamli lazerli skanerlash usullaridan foydalanildi. CFD modellarida lahimlarning geometrik parametrlari, havo oqimining tezlik maydonlari va

ISSN 3030-3907

gazlarning tarqalish qonuniyatlari o‘rganildi. Shuningdek, IoT sensorlari yordamida olingan harorat, namlik, havo tezligi va gaz konsentratsiyasi ma’lumotlari asosida shamollatish tizimlarining real vaqt rejimidagi ishlash holati tahlil qilindi [12].

Olingan ma’lumotlar tizimli tahlil, qiyosiy baholash va konseptual modellashtirish usullari yordamida qayta ishlanib, mavjud shamollatish tizimlarining texnik cheklovlari hamda ularni xavfga yo‘naltirilgan intellektual boshqaruv tizimlari asosida takomillashtirish imkoniyatlari aniqlandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Yer osti konlarida shamollatish jarayonini boshqarish masalasi xavfga yo‘naltirilgan, intellektual va talabga asoslangan yondashuv asosida tahlil qilinadi. Bunda tizim samaradorligi chuqurlashtirilgan matematik modellar, ko‘p mezonli optimallashtirish usullari hamda ehtimollik asosida xavfni baholash orqali baholanadi. Shamollatish tarmog‘ining dinamik matematik modeli

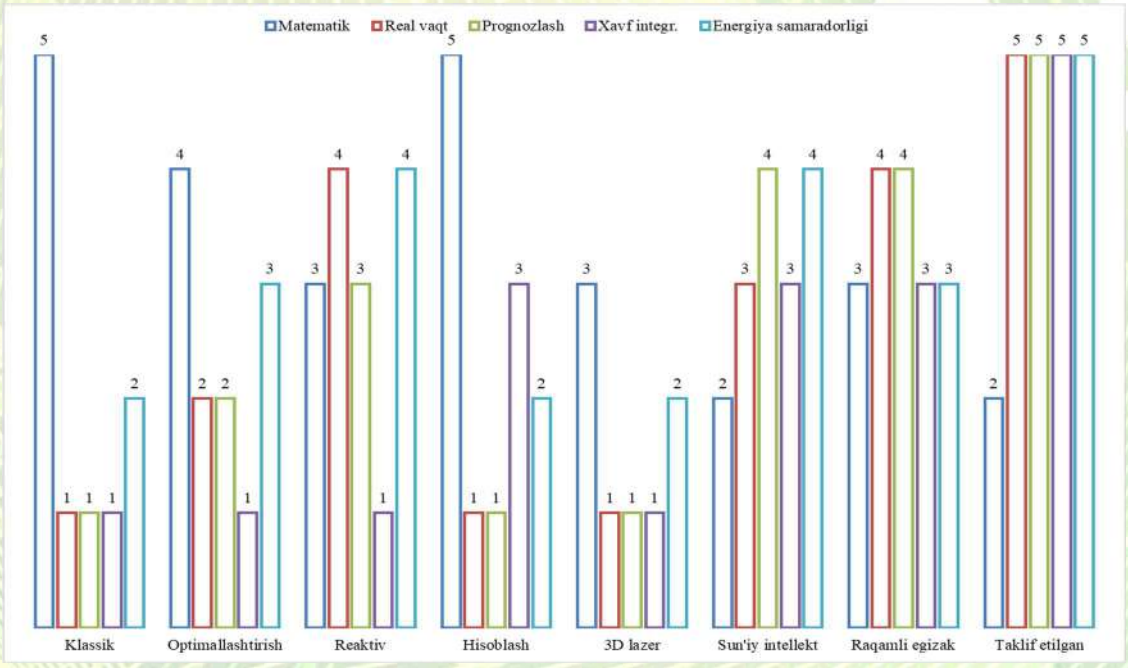
An’anaviy shamollatish tarmoqlari statik holatda quyidagi nolinear algebraik tenglamalar orqali ifodalanadi:

$$AQ=0$$

$$B(Q)=R\odot Q\odot|Q|$$

bu yerda: A — tarmoq incidensiya matritsasi, $Q\in R^n$— shoxobchalardagi havo sarflari vektori, R — aerodinamik qarshiliklar vektori, $\odot$ — Hadamard ko‘paytmasi.

Turli shamollatish boshqaruvi yondashuvlarining asosiy funksional ko‘rsatkichlar bo‘yicha qiyosiy baholanishi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Yer osti konlarida shamollatish boshqaruvi yondashuvlarining asosiy mezonlar bo‘yicha qiyosiy baholanishi.

ISSN 3030-3907

Zamonaviy konchilik sharoitida issiqlik va gaz yuklamalarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi sababli shamollatish jarayoni dinamik tizim sifatida qaraladi:

$$Q(t)=f(Q(t), u(t), d(t))$$

bu yerda u(t) — boshqaruv signallari (ventilyator tezligi, regulyator holati), d(t) — tashqi buzilishlar (issiqlik, gaz ajralishi).

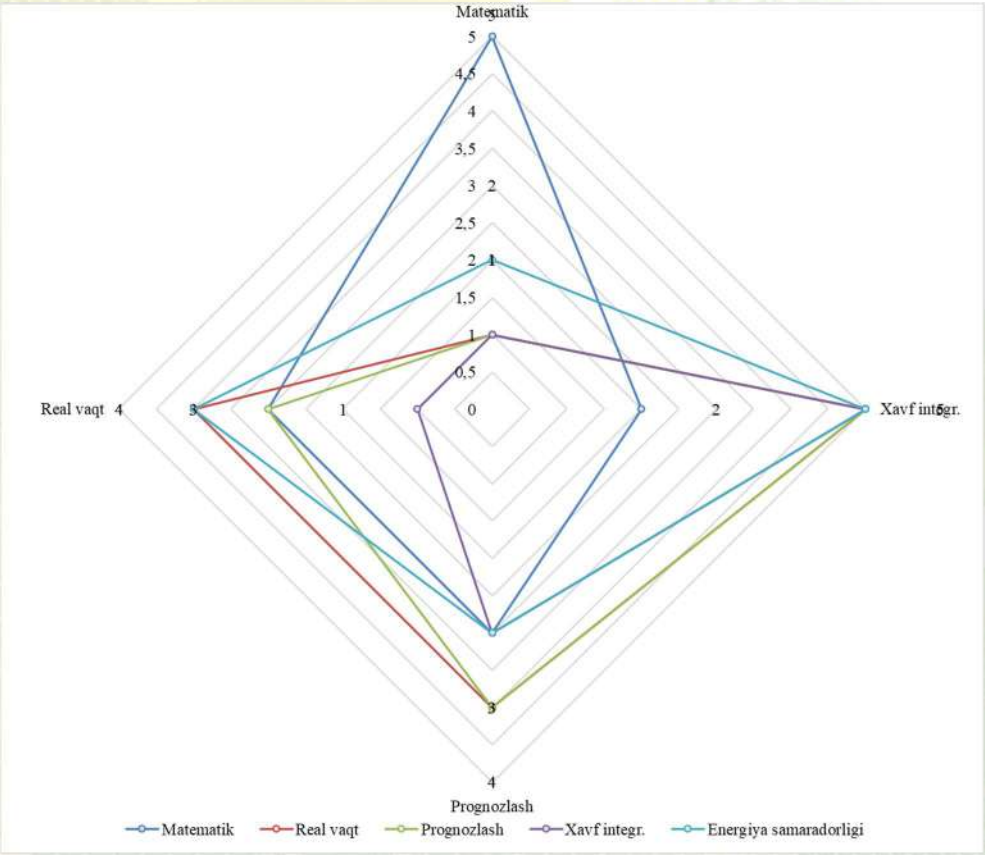
Energiya sarfining integral funksional modeli

Ventilyatsiya energiya sarfi vaqt bo‘yicha integral shaklda aniqlanadi:

$$E = \int_0^T \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta P_i(t) Q_i(t)}{\eta_i} dt$$

bu yerda $\Delta P_i(t)$ — i-shoxobchadagi bosim yo‘qotilishi, η_i — ventilyator samaradorligi.

Bu ifoda talabga asoslangan shamollatish tizimlarida energiya optimallashtirish uchun asosiy funksional hisoblanadi.



2-rasm. Shamollatish boshqaruvi tizimlarining asosiy funksional mezonlar bo‘yicha ko‘p o‘lchovli taqqoslanishi.

Ehtimollik asosida xavfni prognozlash modeli

Xavfga yo‘naltirilgan talabga asoslangan shamollatish yondashuvida xavf deterministik emas, balki tasodifiy jarayon sifatida qaraladi. Gaz konsentratsiyasi yoki harorat uchun ehtimollik prognozi quyidagi shartli taqsimot orqali aniqlanadi:

$$P_i(t+\tau) = P(X_i(t+\tau) \geq X_{i,crit} | F_t$$

ISSN 3030-3907

bu yerda X_i— xavf parametri (CH_4, CO, T), F_t— vaqt t dagi axborot to‘plami.

Xavf darajasi esa integral ko‘rinishda aniqlanadi:

$$R = \int_0^T \sum_{i=1}^{n} P_i(t) C_i \omega_i dt$$

bu yerda C_i — oqibat og‘irligi koeffitsiyenti, ω_i— hududning ustuvorlik vazni.

Xavfga yo‘naltirilgan talabga asoslangan shamollatish uchun ko‘p mezonli optimallashtirish.

Shamollatish boshqaruvi cheklovli optimal boshqaruv masalasi sifatida quyidagicha ifodalanadi:

$$min_{u(t)} J = \int_0^T (\alpha E(t) + \beta ||Q(t) - Q^{req}(t)||_2^2 + \gamma R(t)) dt$$

quyidagi cheklovlar ostida:

$$Q(t) = f(Q,u,d)$$

$$Q_i^{min} \le Q_i(t) \le Q_i^{max}$$

$$X_i(t) \le X_{i,crit}$$

bu yerda Q^{req} — me’yoriy talab qilingan havo sarfi, α, β, γ — energiya, sifat va xavf o‘rtasidagi kompromissni belgilovchi koeffitsiyentlar.

Sun’iy intellekt asosidagi prognozlovchi modulning matematik ifodasi

Sun’iy intellekt moduli vaqt qatorlari uchun umumlashtirilgan nolinear operator sifatida qaraladi:

$$\hat{X}_{t+k} = M_\theta(X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-n})$$

bu yerda M_θ — parametrlar to‘plami θ bilan aniqlanadigan neyron tarmoq.

Prognoz noaniqligi kovariatsiya matritsasi orqali baholanadi:

$$\sum\nolimits_{t+k} = E[(X_{t+k} - \hat{X}_{t+k})(X_{t+k} - \hat{X}_{t+k})^T]$$

Bu esa xavfni ehtimollik asosida baholashga imkon beradi.

Olib borilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, yer osti konlarida shamollatish tizimlarini boshqarish masalasini optimal boshqaruv va ehtimollik nazariyasi nuqtai nazaridan chuqurroq o‘rganish zarur. Mavjud klassik va reaktiv, talabga asoslangan shamollatish tizimlari ma’lum sharoitlarda samarali ishlashi mumkin, biroq murakkab va tez o‘zgaruvchan kon muhitida ular bir vaqtning o‘zida xavfsizlikni ta’minlash, energiya sarfini kamaytirish va tizimning moslashuvchanligini saqlab qolish vazifalarini to‘liq bajara olmaydi. Shu nuqtai nazardan qaraganda, olingan natijalar mavjud ilmiy tadqiqotlar bilan uyg‘un bo‘lib,

ISSN 3030-3907

hozirgi yondashuvlarning yetarli darajada integratsiyalashmaganini yana bir bor tasdiqlaydi.

Umuman olganda, shamollatish tizimlarini boshqarish bo‘yicha yondashuvlarni bir necha asosiy guruhlarga ajratish mumkin: klassik statik tizimlar, optimallashtirishga asoslangan modellar, talabga asoslangan reaktiv shamollatish tizimlari, hisoblash modellashtirish usullari, shuningdek sun’iy intellekt va raqamli egizaklarga asoslangan zamonaviy tizimlar. Har bir yondashuvning o‘ziga xos ustunliklari mavjud bo‘lsa-da, ularning hech biri alohida qo‘llanilganda xavfsizlik, energiya samaradorligi va real vaqt rejimida boshqaruvni birgalikda to‘liq ta’minlay olmaydi.

Mavjud yondashuvlar shamollatish tizimining ayrim jihatlarini qamrab olsa-da, ular xavfsizlik, energiya samaradorligi va real vaqt boshqaruvini birgalikda ta’minlay olmaydi. Xususan, reaktiv tizimlar energiyani tejaydi, ammo xavfli holatlarga kech javob beradi. Sun’iy intellekt va raqamli egizak texnologiyalari esa prognozlash imkonini oshiradi, lekin ular hali to‘liq integratsiyalashmagan. Shu sababli taklif etilgan yondashuv ehtimollik asosida xavfni baholash, optimallashtirish va real vaqt boshqaruvni birlashtirgan yagona tizim sifatida muhim ahamiyatga ega. U energiya sarfini kamaytirish bilan birga xavf darajasini ham pasaytiradi. Biroq uni amaliyotga joriy etishda ma’lumotlar sifati, hisoblash murakkabligi va real vaqt ishlash bilan bog‘liq muammolar mavjud. Shu bois kelgusida soddalashtirilgan modellar va gibrid hisoblash yechimlarini ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

XULOSA.

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida yer osti konlarida shamollatish jarayonlarini boshqarishning mavjud yondashuvlari tahlil qilindi va ularning afzallik hamda cheklovlari aniqlandi. Klassik shamollatish tizimlari va aerodinamik modellar barqaror sharoitlarda samarali ishlasa-da, kon muhitidagi dinamik o‘zgarishlarni to‘liq hisobga olmaydi. Optimallashtirishga asoslangan va talabga yo‘naltirilgan tizimlar energiya sarfini kamaytirishga xizmat qiladi, biroq ular asosan reaktiv boshqaruv tamoyiliga tayanadi. Hisoblash suyuqliklar dinamikasi modellashtirish va 3D lazerli skanerlash texnologiyalari yuqori aniqlikni ta’minlasa-da, ularni real vaqt rejimida qo‘llash murakkab hisoblanadi.

Tahlillar sun’iy intellekt, buyumlar interneti va raqamli egizak texnologiyalari shamollatish tizimlarini takomillashtirishda katta imkoniyatlarga ega ekanligini ko‘rsatdi. Shu sababli shamollatish jarayonlarini boshqarishda xavfni oldindan baholash, ko‘p mezonli optimallashtirish va real vaqt boshqaruvini birlashtiruvchi intellektual yondashuvlarni joriy etish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. McPherson, M. J. Subsurface Ventilation and Environmental Engineering. Dordrecht: Springer, 1993.
2. Kissell, F. N. Handbook for Dust Control in Mining. Pittsburgh, PA: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2003.
3. Wallace, K. G., & Prosser, B. Energy-efficient mine ventilation strategies. Mining Engineering, 2017, 69(6), 45–52.
4. Wang, Y., & Wu, X. Numerical and experimental analysis of ventilation systems in deep mines. Applied Thermal Engineering, 2019, 150, 1124–1135.
5. Gillies, A. D. S., & Wu, H. Ventilation-on-Demand control strategies for underground mines. International Journal of Mining Science and Technology, 2018, 28(3), 349–356.
6. Gillies, A. D. S. Automation and control of mine ventilation systems: Challenges and opportunities. Mining Engineering, 2019, 71(2), 38–44.
7. Zhang, Y., & Li, S. Computational fluid dynamics analysis of airflow and gas distribution in underground mines. Tunnelling and Underground Space Technology, 2019, 84, 129–140.
8. Zhou, X., Li, J., & Wang, H. Application of 3D laser scanning data in mine ventilation modeling and airflow analysis. Tunnelling and Underground Space Technology, 2020, 96, 103195.
9. Rahman, M., Smith, J., & Brown, T. IoT-based real-time monitoring of ventilation parameters in underground mines. Sensors, 2022, 22(4), 1456.
10. Zhang, R., Liu, Y., & Chen, X. Digital Twin-based intelligent ventilation control for underground mining systems. Journal of Cleaner Production, 2023, 385, 135679.
11. Hardcastle, S. G., & Kocsis, K. C. (2021). Intelligent mine ventilation systems: Current developments and future directions. International Journal of Mining Science and Technology, 31(4), 587–598. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.05.004
12. Belle, B. K., & Biffi, M. (2018). Review of the current status of underground mine ventilation technologies. Mining, Metallurgy & Exploration, 35(3), 157–172. https://doi.org/10.1007/s42461-018-0018-7
13. Namozov, N. N., & Muminov, J. N. (2026). CNN-LSTM va real vaqt sensor ma’lumotlari asosida yer osti konlari shamollatish tizimini prediktiv boshqarish. *Development of Science, 5*(6), 419–431.
14. Cheng, J., Zhang, L., Wang, X., & Liu, H. (2021). Artificial intelligence applications in underground mine ventilation management: A review. Journal of Cleaner Production, 278, 123456. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123456

ISSN 3030-3907

15. Gao, Y., Li, Z., & Sun, W. (2022). Real-time monitoring and optimization of mine ventilation systems using Internet of Things technologies. Sensors, 22(15), 5738. https://doi.org/10.3390/s22155738

16. Li, P., Zhou, Y., Chen, J., & Wang, T. (2023). Digital twin-driven intelligent ventilation control framework for underground mines. Applied Sciences, 13(7), 4182. https://doi.org/10.3390/app13074182

ISSN 3030-3907