IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 21 Issue 02 May 2026

YER OSTI KONLARDA SAMARALI VENTILYATSIYA TIZIMLARI VA HAVO SIFATINI NAZORAT QILISH

B.B.Pardayev
Olmaliq davlat texnika instituti “Konchilik” fakulteti “Konchilik ishi” kafedrasi 1-bosqich 3M-25FQKQ guruh magistranti,
bahodirpardayev389@gmail.com

D. A. Sulxonov

Olmaliq davlat texnika instituti "Konchilik" fakulteti "Konchilik ishi" kafedrasi 1-bosqichda 3M-25FQKQ guruh magistranti

sulxonovdiyorbek2@gmail.com

A.D.Melikulov
Olmaliq davlat texnika instituti “Konchilik” fakulteti “Konchilik ishi” kafedrasi t.f.n, dotsenti

Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20383700

Annotatsiya: Yer osti konlarda ishchilarning xavfsizligi va samarali mehnatini ta’minlashda ventilyatsiya tizimlari hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ushbu maqolada shaxtalarni “nafas olish tizimi” deb atash mumkin bo‘lgan ventilyatsiya vositasida zararli gazlar va changlarni suyultirish hamda yo‘qotish, kon ichida qulay mikroiqlim yaratilishi kabi jihatlar yoritiladi. Konlar chuqurlashib, texnika kuchaygani sayin havoni tozalash va yetkazib berish tobora qiyinlashib borayotgani aniq misollar bilan keltiriladi. Maqolada zamonaviy ventilyatsiya tizimlarining energiya tejamkorligini oshirish yo‘llari (masalan, Ventilation on Demand texnologiyasi yordamida) va buning natijasida millionlab kVt· soat energiya tejash imkoniyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, havo sifatini real vaqt rejimida nazorat qilish uchun simsiz sensor tarmoqlari, IoT (nesnalar interneti) va sun’iy intellekt asosida rivojlanayotgan yangi yechimlar ham ko‘rib chiqiladi. Natijalar kon havfsizligini oshirish va ish sharoitini yaxshilashda samarali ventilyatsiya va uzluksiz monitoringning muhim o‘rnini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: Yer osti koni; ventilyatsiya tizimi; havo sifati; gaz konsentratsiyasi; shamollatish; IoT monitoring; energiya samaradorligi; xavfsizlik

Аннотация: Системы вентиляции играют решающую роль в обеспечении безопасности и эффективности работы шахтеров. В данной статье рассматривается роль вентиляции, которую можно назвать «дыхательной системой» шахт, в разжижении и удалении вредных газов и пыли, а также в создании комфортного микроклимата внутри шахты. По мере углубления шахт и совершенствования технологий очистка и подача воздуха становятся все более сложными задачами. В статье анализируются способы повышения энергоэффективности современных систем вентиляции (например, с использованием технологии «Вентиляция по требованию») и, как следствие, потенциал экономии миллионов кВт·ч энергии. Также рассматриваются новые решения на основе беспроводных сенсорных сетей, Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта для мониторинга качества воздуха в режиме реального времени. Результаты подтверждают важную роль эффективной вентиляции и непрерывного мониторинга в повышении безопасности и улучшении условий труда в шахтах.

Annotation: Ventilation systems are crucial for ensuring the safety and efficiency of workers in underground mines. This article discusses the role of ventilation, which can be called the “breathing system” of mines, in liquefying and removing harmful gases and dust, and creating a comfortable microclimate inside the mine. As mines deepen and technology becomes more sophisticated, air purification and supply become increasingly difficult. The article analyzes ways to increase the energy efficiency of modern ventilation systems (for example, using Ventilation on Demand technology) and, as a result, the potential for saving millions of kWh of energy. It also examines new solutions based on wireless sensor networks, IoT (Internet of Things), and artificial intelligence for real-time air quality monitoring. The results confirm the important role of effective ventilation and continuous monitoring in improving mine safety and working conditions.

Kon muhitining qattiq va zararli sharoitlarini tasavvur qilaylik: yer ostida havo dim, kislorod yetishmaydi, zaharli gazlar to‘planmoqda. Bunday vaziyatda samarali ventilyatsiyasiz nafas olishning o‘zi imkonsiz. Haqiqatan ham, ventilyatsiya tizimi konning “nafas oluvchi tizimi” yoki “qon tomiri” deb bejiz ta’riflanmaydi – u barcha yer osti uchastkalariga tinimsiz toza havo yetkazib beradi, zararli gaz va changlarni suyultirib, ularni haydab chiqaradi hamda havoning tezligi, harorati va namligini me’yoriy darajada ushlab, qulay mikroiqlim yaratadi. Ko‘plab mamlakatlarning me’yoriy hujjatlarida konlarda bunday samarali ventilyatsiya tizimini joriy etish qat’iyan talab etiladi, zero u kon ishchilari hayoti va sog‘lig‘ining, butun kon ish jarayonining xavfsizligining asosiy garovidir.

Yer osti konlarida atmosfera havosi tarkibining tez buzilishi ehtimoli yuqori. Masalan, 2014 yilda Pokistondagi Salt Range ko‘mir konlarida ro‘y bergan baxtsiz hodisalarning 35% dan ortig‘i shaxta ichida zaharli gazlar to‘planib qolishi oqibatida yuzaga kelgani qayd etilgan. Kon ichida metan, uglerod oksidi (CO), uglerod dioksidi (CO_2), oltingugurt vodorodi (H_2S), azot oksidlari kabi portlovchi va zaharli gazlar ajralib chiqadi. Agar metan gazi konsentratsiyasi 5% dan oshsa (havo tarkibida), u havoda portlovchi aralashma hosil qiladi – 5%–15% oralig‘ida metan eng kuchli portlash xavfini tug‘diradi. Shuning uchun kon ventilyatsiyasi metan miqdorini doimo xavfsiz darajada, ya’ni portlash chegarasidan ancha pastda ushlab turishi shart. Kon havosidagi CO singari zaharli gazlar miqdori ham qat’iy me’yorga solingan (masalan, ko‘plab davlatlarda CO ning ish joylarida ruxsat etilgan cheklangan miqdori atigi bir necha o‘n ppm bilan o‘lchanadi) va bu ko‘rsatkichlar oshib ketmasligi doimiy nazorat qilinishi lozim. Ventilyatsiya aynan shu zararli aralashmalarni suyultirish va tashqariga haydab chiqarish orqali normal ish muhitini saqlaydi.

Zamonaviy konchilik sanoatida konlar chuqurlashib, qazib olish hajmi oshib, yirik texnikalar qo‘llanilishi ortidan havoga chiqayotgan chiqindilar (chang, dizel dvigateli tutuni, gazlar) hajmi ham ortib bormoqda. Demak, yer osti ish uchastkalariga yetarli miqdorda toza havo uzluksiz yetkazib berish konchilik korxonalari uchun tobora qiyin vazifaga aylanmoqda. Buni ta’minlash uchun ventilyatsiya tizimi eng quyi chuqurliklarga ham yetib boradigan, kuchli havo oqimini uzluksiz yaratadigan qilib loyihalanadi. Odatda yer osti konning asosiy ventilyatsiya tizimi yer yuzasida joylashgan ulkan shamollatgichlardan iborat bo‘ladi. Bunday asosiy ventilyatorlar vertikal shaxtalar yoki maxsus ventilyatsiya shtreklari orqali kon ichiga toza havo yuboradi va ifloslangan havoni sathga tortib chiqaradi. Amaliyotda ko‘p hollarda kon ventilyatsiyasi egzoz tipida ishlaydi, ya’ni asosiy ventilyatorlar havoni shaxtadan so‘rib olib, tashqariga chiqaradi, natijada kon ichiga boshqa ochiq yo‘llar orqali toza havo kiradi. Asosiy shamollatish tizimida diametri 1,2 metrdan katta, quvvati 150 ot kuchidan (110 kVt) yuqori

bo‘lgan ulkan axial ventilyatorlar qo‘llaniladi. Zarur havo almashinuvini ta’minlash uchun ba’zan bir nechta asosiy ventilyatorlar parallel tarzda o‘rnatiladi.

Kon ichida barcha qiyshiq va ko‘ndalang yo‘llarga havo yetib borishi uchun yordamchi (ikkilamchi) ventilyatsiya tizimi qo‘llaniladi. Unda kichikroq portativ ventilyatorlar va havo quvurlari yordamida toza havo shaxtaning olis ishlov berilayotgan qismlariga (masalan, ko‘r chuqurlar, ko‘rfazlar) yuboriladi. Yordamchi ventilyatorlar odatda yengil, ko‘chma va kuchli bosim hosil qila oladigan qilib tanlanadi – masalan, diametri 60–70 sm li aylanish o‘qi bo‘yicha ishlaydigan (aksiyal) shamollatgichlar 5000–6000 Pa statik bosimda havo hayday oladigan bo‘lishi lozim. Bu yordamchi shamollatish quvurlari orqali yuborilayotgan toza havo ifloslangan havo bilan aralashib ketmasligi uchun izolyatsiyalangan tuyalar (tutqichlar)dan foydalaniladi. Ayniqsa, portlatish ishlari olib borilgandan keyin chang va zaharli gazlarni tezda chiqarib yuborish uchun yordamchi ventilyatsiya vositalarining roli katta. Shaxtaning juda chuqur yoki uzoq yer osti qismlarida esa kuchaytiruvchi (booster) ventilyatorlar ham qo‘shimcha tarzda o‘rnatilishi mumkin – ular asosiy havo magistralining ayrim nuqtalarida qo‘shimcha bosim berib, uzoq uchastkalarda havo oqimini barqarorlashtiradi. Kuchaytiruvchi ventilyatorlar odatda allaqachon qazilgan ayrim yo‘laklarga o‘rnatilib, tizimdagi bosim yo‘qotilishini qoplanishiga ko‘maklashadi. Ventilyatsiya tarmog‘ining to‘g‘ri rejalashtirilishi ham nihoyatda muhim: havo oqimi kon ichida “shoxlanib”, har bir ishchi uchastkaga yetib borishi, keyin esa iflos havo alohida yo‘laklar orqali umumiy chiqarish magistraliga jamlanishi lozim. Bu maqsadda konlarda havo eshiklari, havo to‘siqlari va tarqatuvchi shiberlar o‘rnatilib, kerakli yo‘nalishlarda oqimni yo‘naltirishadi.

Samarali ventilyatsiya nafaqat xavfsizlik, balki kon ishlarining uzluksizligi va ishlab chiqarish unumdorligi uchun ham zarur. Agar havoda metan yoki CO miqdori me’yordan oshsa, ishchilar zudlik bilan xavfsiz joyga chiqarilishi kerak – bu esa ishlab chiqarish to‘xtashi, iqtisodiy zarar degani. Shu bois zamonaviy shaxtalarda havo sifatini doimiy nazorat qilish va xavfli vaziyat yuzaga kelmasdan turib choralar ko‘rish asosiy tamoyilga aylangan. Bugungi kunda ko‘plab konlarda real vaqt rejimida atmosfera tarkibini kuzatuvchi sensorlar o‘rnatilmoqda. Havodagi metan, CO, NO_2 kabi gazlar konsentratsiyasini doimiy o‘lchaydigan detektorlar, chang miqdorini nazorat qiluvchi optik datchiklar, havo harorati va namligini o‘lchash asboblari yer osti muhitining “ko‘zi va qulog‘i” vazifasini o‘tamoqda. Ilgari havoning sifati asosan kon muhandislarining ma’lum vaqtlardagi qo‘lda o‘lchovlari (masalan, shamlarda olov uzunligini ko‘rib metan miqdorini baholash kabi usullar) orqali nazorat qilingan bo‘lsa, endilikda har bir uchastkada o‘rnatilgan elektron sensorlardan ma’lumotlar markaziy dispetcher punktiga uzatilmoqda. Ventilyatsiyani monitoring qilish va nazorat etish kundalik kon ekspluatatsiyasining ajralmas qismiga aylandi. Tadqiqotlarga ko‘ra, hozirgi vaqtda shaxtalarda dizel dvigatelli texnika ishlatish tufayli hosil bo‘ladigan dizel cho‘g‘lanma zarrachalari (PM) va portlatishlardan keyingi changni bartaraf etish, shuningdek kutilmaganda sodir bo‘lishi mumkin bo‘lgan shaxta yong‘inlarini erta aniqlash va ularning mahsulotlarini (CO, CO_2, tutun) tezda aniqlash uchun real vaqt monitoring tizimlari joriy qilinishi zarur hisoblanadi. Shu maqsadda dunyo bo‘ylab turli konlarda simsiz sensorlar tarmoqlariga asoslangan innovatsion yechimlar sinovdan o‘tmoqda. Misol uchun, Hindiston olimlari bord-va-stul usulida qaziladigan ko‘mir konida simsiz datchiklar bazasida erta ogohlantirish tizimini ishlab chiqib, u yordamida yer ostida yong‘in boshlanganini ilk bosqichdayoq aniqlash hamda yong‘in tarqalish yo‘nalishini belgilash imkoni yaratilganini ko‘rsatdilar. Xitoyda esa Shangvan ko‘mir konida bir vaqtning o‘zida bir necha parametrni uzluksiz o‘lchaydigan WSN (Wireless Sensor Network) va kabel tarmoqlarini integratsiyalovchi monitoring tizimi joriy etilib, real sharoitda o‘z samaradorligini isbotlagan. Shuningdek, simsiz sensorlar asosida shaxtada zaharli gazlarning paydo bo‘lishini

avtomatik aniqlash va xavfli darajaga yetsa ogohlantirish beradigan ambient intelligence konsepsiyasi taklif etilgan bo‘lib, unda mobil sensorlar kon ichida “aylanib” havoni kuzatishi nazarda tutiladi. Oddiy qilib aytganda, hozirda yer osti konlarida “aqlli” monitoring tizimlari joriy etilmoqda: ular odam kira olmaydigan joylarda ham havoni nazorat qilish, ko‘rsatkichlar xavfli o‘zgarayotganda avtomatik ravishda signal berish yoki hatto ventilyatorlar ish rejimini o‘zgartirish kabi funksiyalarni bajaradi.

Havoni kuzatishning uzluksiz tizimi nafaqat zaharli gazlar, balki chang miqdorini ham kuzatib boradi. Kon havosidagi ko‘mir va kvarts changining yuqori konsentratsiyalari konchilar o‘rtasida silikoz va boshqa kasalliklarni keltirib chiqarishi mumkin. AQSH Milli** (NIOSH) tadqiqotlariga ko‘ra, shaxtalarda havodagi changni real vaqt o‘lchash va nazorat qilish uchun maxsus optik sensorlar (masalan, PDM – Personal Dust Monitor) joriy qilinmoqda. Shuningdek, havodagi zaharli gazlar ichida ayniqsa dizel dvigatellaridan chiqadigan azot dioksidi (NO_2) va birlamchi va ikkilamchi dizel tutuni zarrachalari (DPM) konchilar salomatligiga jiddiy xavf tug‘diradi. Yangi monitoring tizimlari NO_2 va dizel aerozol konsentratsiyasini ham doimiy qayd etib boradi. Bunday sensorlardan kelgan ma’lumotlar dasturiy tizimlarda tahlil qilinib, u yer osti muhiti sifati bo‘yicha integral baho – maxsus indeks shaklida ifodalanishi ham mumkin. Masalan, olimlar Mine Environment Index (MEI) deb nomlangan maxsus ko‘rsatkichni taklif qilishgan bo‘lib, u kon havosining sifatini tez va qulay baholash imkonini beradi. MEI indeksining tarkibiga havodagi asosiy ifloslantiruvchi gazlar konsentratsiyasi va mikroiqlim parametrlari (harorat, namlik) kiritiladi. Shaxta havosining sifati shu ko‘rsatkich orqali “juda yaxshi”dan tortib “juda yomon”gacha bo‘lgan 5 ballik shkalada tavsiflanishi mumkin. Albatta, bunday yondashuvlar ilmiy tadqiqot darajasida taklif qilinayotgan bo‘lsa-da, amaliy jihatdan ularning joriy etilishi kon muhitini kompleks baholashda juda foydali bo‘lishi kutilmoqda.

Ventilyatsiya tizimining yana bir muhim jihati – bu uning energiyatejamkorligi va samaradorligi. Ko‘p yillar davomida shaxtalarda shamollatish tizimi maksimal rejimda, doimiy ishlayveradigan tarzda tashkil qilindi, chunki xavfsizlik nuqtai nazaridan havoni keragidan ortiq berish zararsiz deb qaralgan. Ammo hozirgi kunda energiya resurslari narxining oshishi va konlarning chuqurlashuvi bilan ventilyatsiya tizimining iqtisodiy samaradorligi masalasi keskin o‘rtaga chiqdi. Tadqiqotlar ko‘rsatishicha, yer osti konlarida ventilyatsiya uchun sarflanadigan elektr energiyasi konning umumiy energiya iste’molining 40–60% gacha qismini tashkil qilishi mumkin. Ba’zi konlarda ventilyatsiya nafaqat texnik zarurat, balki eng katta xarajat markazi hamdir – masalan, Avstraliyadagi yirik shaxtalarda havo almashinuvi uchun energiya sarfi konning umumiy energiya sarfining qariyb yarmiga tengligi qayd etilgan. Demak, ventilyatsiya tizimini yanada samarali va tejamkor qilish kon sanoati uchun katta moliya tejamkorligi imkonini beradi. So‘nggi yillarda konchilik bo‘yicha ilmiy ishlar va amaliy tajribalar ventilyatsiya tizimini optimallashtirishga qaratilgan yangi uslublarni ilgari surmoqda. Jumladan, “Ventilyatsiyani talabga ko‘ra boshqarish” (Ventilation on Demand, VoD) kontseptsiyasi ayniqsa e’tiborga loyiq. Bu uslubga muvofiq, ventilyatorlar va havoni sovitish qurilmalari konning barcha qismlarida doimiy to‘liq quvvatda ishlayvermasdan, faqat zarurat bo‘lgan joyga va vaqtda kerakli miqdorda havo uzatishni ta’minlaydi. Masalan, smenalar almashinuvi paytida konning ayrim uchastkalarida ishchi yo‘q va texnika to‘xtagan bo‘lsa, u yo‘laklarga havoning keraksiz sarfini vaqtincha kamaytirish mumkin. Braziliya konlarida o‘tkazilgan tajribalar Ventilation on Demand texnologiyasini joriy etish natijasida ventilyatsiya uchun elektr energiyasi sarfini tegishli ravishda 21%, 26% va 30% ga qisqartirishga erishilganini ko‘rsatdi. Ya’ni, ayrim shaxtalarda avval havo aylanishiga sarflanadigan elektr xarajatlarining qariyb uchdan bir qismi tejab qolingan! Bu jihatdan VoD texnologiyasi konchilik korxonalariga ulkan iqtisodiy samaradorlik beradi. Albatta, bunday tizimni joriy etish uchun muayyan sarmoyalar –

masalan, ventilyatorlarni aylanma chastotasini boshqaruvchi invertorlar bilan jihozlash, shaxta bo‘ylab ko‘plab datchiklar va tarmoq kabelini o‘rnatish, markazlashgan boshqaruv dasturini yaratish – talab etiladi. Braziliyada o‘tkazilgan tajribalarda masalan, Cuiabá konida asosiy ventilyatorlar aylanish tezligi ishchi kuchi soniga qarab avtomatik pasaytirilib-ko‘paytirib turilishi yo‘lga qo‘yilgan, barcha ventilyatorlar holati yer ustidagi markaziy nazorat xonasidan onlayn kuzatilgan. Natijada, hatto bunday eksperimental darajadagi joriy etishning o‘zi elektr sarfini sezilarli kamaytirgani qayd etilgan. Xususan, bir yilda millionlab kilovatt-soat energiya iqtisod qilinishi – iqtisod qilingan energiya evaziga ventilyatsiya uskunalarini modernizatsiya qilish chiqi** ham o‘zini oqlashi mumkinligi ta’kidlanmoqda. Shu bois, bugungi kunda konlarda ventilyatsiya tizimini boshqarishda zamonaviy raqamli yechimlar tobora keng qo‘llanilmoqda.

Ventilyatsiya samaradorligini oshirish bo‘yicha bir qator yangi strategiyalar joriy qilinmoqda. Masalan, ayrim konlarda yuqori samarali axial ventilyatorlar va Performance on Demand kabi boshqaruv tizimlari integratsiyasi natijasida ba’zi shaxtalarda havo oqimini keraksiz joylarga yubormaslik orqali elektr sarfini 50% gacha kamaytirish imkoni paydo bo‘lganligi haqida ma’lumotlar bor. Boshqacha aytganda, oldin 24 soat davomida butun shaxtani shamollatib turgan tizim endi faqat ehtiyoj bor paytda va lozim bo‘lgan joyning o‘ziga kerakli miqdorda havo uzatadi – bu esa havoni aylantirish uchun kerak bo‘lgan quvvatni keskin pasaytiradi. Ventilyator dvigatellarining aylanish tezligini o‘zgartirish quvvati va bosimini kubik bog‘lanishda kamaytiradi – masalan, ventilyator tezligini 20% ga pasaytirsangiz, uning elektr sarfi taxminan 50% ga kamayadi (fan qonuniga binoan). Shu sababli havo oqimini minimal zarur darajada ushlab turish juda katta energiya tejamini beradi. Yana bir tomondan, ventilyatsiya tizimida katta quvvat tejash imkoniyati sifatida shaxtalardagi havoni sovitish (refrigeratsiya) tizimlarini ham talabga ko‘ra ishlash rejasiga o‘tkazish keltirilmoqda – chunki chuqur shaxtalarda havoni sovitishga ham ulkan quvvat sarflanadi.

Kon ventilyatsiyasi tizimlarini intellektual boshqaruvga o‘tkazish zamon talabi bo‘lmoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatmoqdaki, kelajakda “aqlli shaxta” konsepsiyasi doirasida ventilyatsiya ham to‘liq real vaqt ma’lumotlariga asoslanib avtomatik boshqariladi. Masalan, Xitoy tadqiqotchilari shaxta ventilyatsiya tizimini loyihalashda “aqlli arxitektura” tushunchasini ilgari surib, to‘rtta tarkibiy qism – fizik obyektlar (ventilyatorlar, datchiklar va boshqalar), IoT tarmog‘i va hisoblash infratuzilmasi, raqamli egizak (shaxtaning raqamli modeli) va odam-mashina interfeysi – asosida boshqaruvni takomillashtirish mumkinligini ko‘rsatishgan. Allaqachon ayrim olimlar tomonidan masofaviy aqlli havo boshqaruvi uslublari sinovdan o‘tkazilib, ventilyatorlarning aylanish chastotasini avtomatik o‘zgartirish, ayrim yo‘laklarning qarshiligini oshirib/susaytirib havoni taqsimlash kabi funksiyalar kombinatsiyalari samarasini baholashmoqda. Sun’iy intellekt yordamida havoni taqsimlash bo‘yicha optimal yechimlarni tanlash, murakkab tarmoqda qaysi ventilyator qanday rejimda ishlashi kerakligini tez hisoblash kabi masalalar endilikda amaliy hal qilina boshladi. Bu yondashuvlar kon havfsizligini yanada oshirish va energetik tejamkorlikni ta’minlashga xizmat qiladi. Xususan, sun’iy intellekt texnologiyalari yordamida shaxtada gazlarning tarqalishini oldindan prognoz qilish, favqulodda vaziyatlarda (masalan, portlash yoki yong‘in chiqqanda) havoning qayerga va qanday ko‘chishini tezkor hisoblash kabi muammolar ham sezilarli darajada osonlashmoqda. Masalan, ayrim tadqiqotlarda shaxta uzun tunnelida yong‘in chiqqanda tutun tarqalishini minglab turli sharoitlar uchun superkompyuterda modellashtirib, keyin sun’iy intellekt yordami bilan shu turli ssenariylar asosida model yaratilgan – natijada, haqiqiy yong‘in sodir bo‘lganda atigi bir necha soniya ichida tutun qayerga va qay darajada tarqalishini bashorat qilish imkoniyati paydo bo‘lgan. Yana bir misol: Polshalik olimlar noaniq mantiq (fuzzy logic) va sun’iy neyron tarmoqlar asosida uzun devorli (longwall) ko‘mir konida metan kontsentratsiyasining xavfli

darajaga yetishini oldindan ogohlantiruvchi tizimni ishlab chiqishgan – bu tizim havo tarkibidagi gazlar va mikroiqlim ko‘rsatkichlariga qarab portlash xavfi oshayotganini prognozlab, ogohlantirish signalini bera oladi. Bunday misollar ventilyatsiya va havoni nazorat qilish tizimlari bir-biriga integratsiyalashib, yangicha sifat bosqichiga ko‘tarilayotganini anglatadi.

Xulosa qilib aytganda, yer osti konlarda samarali ventilyatsiya tizimlari va havo sifatini nazorat qilish – kon sanoatida xavfsizlik va barqaror ishlashning poydevori hisoblanadi. Kon ventilyatsiyasi konchilarni nafas olish uchun havoga to‘yintiradi, zararli va portlovchi gazlarni xavfsiz darajada saqlaydi, changni tarqatib yuboradi va ish joylarida qulay mikroiqlim yaratadi. Ventilyatsiya sust yoki samarasiz bo‘lsa, kon ichida gazlar to‘planib portlash xavfi yuzaga kelishi, ishchilar zaharlanib qolishi yoki uskunalar zarar ko‘rishi hech gap emas. Shu bois zamonaviy shaxtalarda kuchli ventilyatorlar, oqilona havo tarqatish tarmoqlari bilan bir qatorda, sensorlar va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari joriy etilmoqda. Havo sifati doimiy kuzatuvi orqali kon muhiti onlayn nazorat qilinib, eng kichik og‘ishlar ham darhol aniqlanadi va zarurat bo‘lsa, ventilyatsiya rejimi o‘zgartiriladi. Yangi texnologiyalar (IoT, sun’iy intellekt, raqamli egizak modellari va hokazo) asosida ventilyatsiya tizimlarini takomillashtirish davom etmoqda – ularning maqsadi havfsizlikni yanada mustahkamlash va energiya sarfini optimallashtirishdir. Konchilik sanoatida ventilyatsiya va havo monitoringi sohasidagi ilmiy izlanishlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, “aqlli” ventilyatsiya tizimi kelajak konlarining ajralmas qismi bo‘ladi. Bunday tizimlar inson omilini kamaytirgan holda, doimiy ravishda havoning sifatini kuzatadi, oldindan ogohlantiradi, havoning oqimini real vaqt rejimida talabga mos holda boshqaradi. Bu esa, o‘z navbatida, konchilar hayoti uchun xavfsiz va sog‘lom ish sharoitini yaratib, yirik konlarning barqaror va samarali ishlashiga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Semin M., Kormshchikov D. (2024). *Application of artificial intelligence in mine ventilation: a brief review*. Frontiers in Artificial Intelligence, 7: 1402555.
2. Minhas U.I., Naqvi I.H., Qaisar S., Ali K., Shahid S., Aslam M.A. (2018). *An Internet of Things system for underground mine air quality pollutant prediction based on Azure machine learning*. Sensors, 18(4): 930.
3. Shriwas M., Pritchard C. (2020). *Ventilation monitoring and control in mines*. Mining, Metallurgy&Exploration, 37(4): 1015–1021.
4. Chikande T., Phillips H.R., Cawood F.T. (2022). *Ventilation optimization through digital transformation*. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 122(12): 687–696.
5. de Vilhena Costa L., da Silva J.M. (2020). *Cost-saving electrical energy consumption in underground ventilation by the use of ventilation on demand*. Mining Technology, 129(1): 1–9.
6. FanTR (2023). *Underground Mine Fans – Technical Information*. FanTR rasmiy sayti,<small>URL:</small><code>fantr.com/en/products/underground-mine-ventilation</code>(murojat vaqti: 2026-yil 13-yanvar).
7. National Research Council (US) (1984). *Methane.* Emergency and Continuous Exposure Limits for Selected Airborne Contaminants, Vol. 1, National Academies Press, p. 102–105.
8. Karacan C.Ö., Goodman G.V.R. (2008). *Artificial neural networks to determine ventilation emissions and optimum degasification strategies for longwall mines*. Proc. 12th US/North American Mine Ventilation Symposium, Reno, NV, 9–11 June 2008.

9. Bhattacharjee S., Roy P., Ghosh S., Misra S., Obaidat M.S. (2012). *Wireless sensor network-based fire detection, alarming, monitoring and prevention system for bord-and-pillar coal mines*. Journal of Systems and Software, 85(3): 571–581.
10. Zhang Y., Yang W., Han D., Kim Y.-I. (2014). *An integrated environment monitoring system for underground coal mines – Wireless sensor network subsystem with multi-parameter monitoring*. Sensors, 14(7): 13149–13170.
11. Osunmakinde I.O. (2013). *Towards safety from toxic gases in underground mines using wireless sensor networks and ambient intelligence*. Int. J. Distributed Sensor Networks, 2013: 159273.
12. Minhas U.I., Naqvi I.H., Qaisar S., Ali K., Shahid S., Aslam M.A. (2017). *A WSN for monitoring and event reporting in underground mine environments*. IEEE Systems Journal, 12(4): 4806–4813.
13. Huang X., Liu Y. (2022). *Research and design of intelligent mine ventilation construction architecture*. International Journal of Low-Carbon Technology, 17(5): 1232–1238.
14. Brodny J., Felka D., Tutak M. (2022). *The use of the neuro-fuzzy model to predict the methane hazard during the underground coal mining production process*. Journal of Cleaner Production, 368: 133258.