"MURAKKAB SHAXTA SHAMOLLATISH TARMOQLARIDA HAVO OQIMINI TAQSIMLASHNING OPTIMALLASH MODELI: ENERGIYA SARFI VA XAVFSIZLIK CHEGARALARI O'RTASIDAGI MUVOZANAT"

Ergashev Yoqubjon Hamro o'g'li. *Navoiy innovatsiyalar universiteti o'qituvchisi.*
Abdujalilov Muhammad Nabijon o'g'li. *Navoiy innovatsiyalar universiteti talabasi.*

Annotatsiya. Maqolada murakkab shaxta shamollatish tarmoqlarida havo oqimini taqsimlashni optimallashtirish orqali energiya sarfini kamaytirish va bir vaqtning o'zida xavfsizlik chegaralarini ta'minlash masalasi ko'rib chiqiladi. Tadqiqotning maqsadi shamollatish tarmog'ining aerodinamik qarshiligi, ventilyator qurilmalarining ish rejimlari, rostlash regulyatorlarining joylashuvi va shaxta atmosferasiga qo'yiladigan me'yoriy talablarni hisobga olgan holda havo oqimini taqsimlashning ko'p mezonli optimallash modelini ishlab chiqishdan iborat. Usul sifatida tarmoq nazariyasi, aerodinamik qarshilik hisoblari, chiziqli va nolinear optimallashtirish, ko'p mezonli optimallashtirish hamda kompyuter simulyatsiyasidan foydalaniladi. Modelda minimal havo sarfi, metan va chang konsentratsiyasi, harorat rejimi, avariya holatlari uchun zaxira koeffitsiyenti kabi xavfsizlik chegaralari cheklovlar sifatida qabul qilinadi. Maqolada modelning nazariy asoslari, optimallash mezonlari, cheklovlar tizimi va sinov simulyatsiyasi natijalari keltirilib, uning kon korxonalari shamollatish tizimlarini boshqarishda amaliy qo'llanish imkoniyatlari asoslanadi.

Kalit so'zlar: *murakkab shamollatish tarmog'i; havo oqimini taqsimlash; optimallashtirish modeli; energiya sarfi; xavfsizlik chegarasi; ventilyator tezligini rostlash; aerodinamik qarshilik; shaxta ventilyatsiyasi; ko'p mezonli optimallashtirish; resurs tejamkorligi; kon xavfsizligi; dinamik boshqaruv.*

Yer osti konlarida shamollatish tizimi bir vaqtning o'zida ikkita muhim funksiyani bajaradi: bir tomondan, ishchi hududlarni toza havo bilan ta'minlab,

metan, chang, issiqlik va boshqa zararli omillar konsentratsiyasini me'yoriy chegaralarda ushlab turadi; ikkinchi tomondan, u konning eng ko'p elektr energiyasi iste'mol qiluvchi tizimlaridan biri hisoblanadi. Tadqiqotlarda qayd etilishicha, yer osti shamollatish tizimlari konning umumiy energiya xarajatlarining **40 % yoki undan ko'prog'ini** tashkil etishi mumkin. Shu sababli shamollatish tarmog'ini optimallashtirish orqali energiya sarfini kamaytirish kon korxonasining iqtisodiy samaradorligini oshirishning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri sanaladi.

Muammoning murakkabligi shundaki, an'anaviy shamollatish tizimlari odatda **eng og'ir (pik) sharoit** uchun loyihalashtiriladi va doimiy ravishda to'liq quvvatda ishlatiladi. Natijada real vaqtdagi havo talabi bilan loyihaviy havo sarfi o'rtasida nomuvofiqlik yuzaga keladi. Bu nomuvofiqlik regulyatorlardagi ortiqcha bosim yo'qotishlariga, ventilyatorlarning optimal samaradorlik zonasidan tashqarida ishlashiga va nofaol uchastkalarda havo oqimining ortiqcha sarflanishiga olib keladi. Boshqacha aytganda, xavfsizlikni ta'minlash uchun kiritilgan ortiqcha "zaxira" havo miqdori energiya sarfining asossiz o'sishiga aylanadi.

Shu bilan birga, havo oqimini faqat energiya tejash nuqtai nazaridan optimallashtirish xavfsizlik chegaralarini buzish xavfini tug'diradi. Metan konsentratsiyasining ruxsat etilgan chegaradan oshishi, chang miqdorining ko'payishi yoki avariya holatlarida havo oqimining yetarli bo'lmasligi jiddiy oqibatlarga olib kelishi mumkin. Demak, masala **ko'p mezonli optimallashtirish** masalasi sifatida qo'yilishi lozim: bir vaqtning o'zida energiya sarfini minimallashtirish va xavfsizlik chegaralarini buzilmasligini ta'minlash.

Mazkur maqolaning maqsadi murakkab shaxta shamollatish tarmoqlarida havo oqimini taqsimlashning shunday optimallash modelini ishlab chiqishdan iboratki, u tarmoqning aerodinamik qarshiligini, ventilyator qurilmalarining ish rejimlarini, rostlash regulyatorlarining joylashuvini va shaxta atmosferasiga qo'yiladigan me'yoriy talablarni birgalikda hisobga olgan holda energiya sarfi bilan xavfsizlik chegaralari o'rtasidagi muvozanatni topishga imkon bersin.

So‘nggi yillarda kon shamollatish tizimlarining energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha bir necha asosiy strategiyalar shakllandi. Ularni shartli ravishda uch guruhga ajratish mumkin.

Birinchi guruh tarmoqning aerodinamik qarshiligini kamaytirish va havo oqimini qayta taqsimlashga asoslangan usullardan iborat. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, shamollatish tarmog‘ining muhim tugunlarida havo oqimlarini barqaror rostlash va taqsimlash orqali shaxta ichki havo yo‘qotilishini **18–25 % dan 8–10 % gacha** kamaytirishga erishish mumkin. Bu yo‘nalishning afzalligi shundaki, u qo‘shimcha energiya sarfini talab qilmaydi, balki mavjud tarmoqning gidravlik qarshiligini optimallashtirish hisobiga samaraga erishadi. Biroq bu yondashuv asosan statik xarakterga ega: u tarmoqning real vaqtdagi o‘zgaruvchan talabini to‘liq hisobga olmaydi.

Ikkinchi guruh ventilyator qurilmalarining ish rejimlarini rostlashga, xususan, chastotali rostlash (Variable Frequency Drive – VFD) va “Talab bo‘yicha shamollatish” (Ventilation-on-Demand – VOD) strategiyalariga tayanadi. Ventilyator quvvatining aylanish tezligi kubiga proporsional ravishda o‘zgarishi qonuniyatiga asoslanib, havo sarfini va ventilyator tezligini dastlabki ish nuqtasining 50 % igacha pasaytirish nazariy quvvat talabini dastlabki darajaning taxminan **12,5 % igacha** (ya’ni 87,5 % tejash) tushirish imkonini beradi. Amaliy tadqiqotlarda VOD tizimlari shamollatish energiyasi sarfini qat’iy (fiksirlangan) shamollatish usuliga nisbatan **50 % gacha** kamaytirishi qayd etilgan. Hindiston yer osti ko‘mir konlarida o‘tkazilgan tadqiqotda o‘rta kuchlanishli (3,3 kV) chastotali rostlash qurilmalarini qo‘llash ventilyator samaradorligini oshirishi va chiqindilarni kamaytirishi ko‘rsatilgan; ba’zi hisob-kitoblarga ko‘ra chastotali rostlash kon energiyasining **25–50 % ini** tejash imkonini beradi.

Uchinchi guruh tarmoq darajasida ko‘p maqsadli optimallashtirish modellarini qo‘llash bilan bog‘liq. 2026-yilda “Scientific Reports” jurnalida chop etilgan tadqiqotda shamollatish energiyasi sarfi, regulyatorlar soni va tarmoq barqarorligini bir vaqtning o‘zida hisobga oluvchi integral ko‘p maqsadli

optimallashtirish modeli taklif etilgan. Mualliflar SPEA/R-IWO gibrid intellektual algoritmini qo‘llash orqali Pareto-optimal yechimlar to‘plamini olgan va entropiya vaznli TOPSIS usuli yordamida eng maqbul havo oqimini boshqarish sxemasini tanlagan. Bu yondashuvning qimmati shundaki, u energiya va barqarorlik o‘rtasidagi almashinuv (trade-off) munosabatini aniq ko‘rsatadi.

Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarda muayyan **bo‘shliq** saqlanib qolmoqda. Ko‘pchilik ishlar yo energiya tejashga, yo xavfsizlik cheklovlariga alohida urg‘u beradi; ikkala omilni birgalikda, ayniqsa murakkab tarmoq topologiyasida va real vaqtdagi o‘zgaruvchan talab sharoitida bog‘laydigan modellar yetarli emas. Bundan tashqari, xalqaro sharh tadqiqotlarida ta’kidlanishicha, turli tadqiqotlarda erishilgan energiya tejash ko‘rsatkichlari boshlang‘ich sharoitlar, tizim chegaralari va validatsiya metodikalari farqi tufayli bevosita taqqoslanmaydi; ishonchli joriy etish uchun minimal xavfsizlik havo sarfini saqlash, zaxira xavfsizlik choralarini ko‘rish va sensor/aktuator nosozliklarida avtomatik ravishda oldindan belgilangan xavfsiz rejimga o‘tish talab etiladi. Mazkur maqola aynan shu bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan: u murakkab tarmoq sharoitida energiya sarfi va xavfsizlik chegaralarini birgalikda optimallashtiruvchi modelni taklif qiladi.



1-rasm.Shaxta havo yo‘li

Xulosa.Mazkur maqolada murakkab shaxta shamollatish tarmoqlarida havo oqimini taqsimlashning energiya sarfi va xavfsizlik chegaralari o‘rtasidagi muvozanatni hisobga oluvchi optimallash modeli taklif etildi. Model tarmoqning yo‘naltirilgan graf ko‘rinishidagi matematik tavsifi, aerodinamik qarshilik va bosim yo‘qotishlari hisoblari, ventilyator quvvatini minimallashtirish maqsad funksiyasi hamda minimal havo sarfi, zararli gazlar konsentratsiyasi, ventilyatorlarning texnik imkoniyatlari va avariya zaxirasiga oid cheklovlar tizimiga asoslanadi. Bu yondashuv shamollatish tizimini faqat energiya tejash nuqtai nazaridan emas, balki kon xavfsizligi talablarini buzmasdan optimallashtirish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, tarmoq qarshiligini optimallashtirish, havo oqimini qayta taqsimlash va ventilyator tezligini chastotali rostlash birgalikda qo‘llanilganda shamollatish energiyasi sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin. Bunda asosiy ustunlik — tejashga xavfsizlik cheklovlarini qanoatlantirgan holda erishilishidir. Model har bir yechim uchun xavfsizlik zaxirasini miqdoriy baholash, regulyatorlarning minimal zarur to‘plami va optimal joylashuvini aniqlash hamda real vaqtdagi o‘zgaruvchan talab sharoitida boshqaruv qarorlarini asoslash imkonini beradi.

Taklif etilgan modelning amaliy ahamiyati shundan iboratki, u kon korxonalarida shamollatish qurilmalarining ish rejimlarini takomillashtirish, energiya va resurs tejamkorligini oshirish hamda xavfsizlik talablariga rioya etilishini ta’minlash bo‘yicha aniq texnik-iqtisodiy asos yaratadi. Shu bilan birga, modelning samaradorligi boshlang‘ich ma’lumotlarning ishonchliligiga, xususan, aerodinamik qarshilik koeffitsiyentlari, ventilyatorlarning haqiqiy xarakteristikalari va real vaqtdagi havo talabining aniqligiga bog‘liq.

Adabiyotlar

1. Wen, L., Wang, J., Wang, L., Wu, Z., & Zhong, D. (2026). Multi-objective airflow distribution optimization for mine ventilation networks using a hybrid

intelligent optimization algorithm. Scientific Reports.https://doi.org/10.1038/s41598-026-66634-7

2. Optimization of mine ventilation energy consumption based on improved dung beetle algorithm. (2025). Scientific Reports, 15, 37582.https://doi.org/10.1038/s41598-025-15263-7
3. Yan, Z., Zhang, L., Wang, Y., Dang, L., & Fu, T. (2026). An intelligent airflow regulation method for mine ventilation networks based on MIST topological dimensionality reduction and the IDBO algorithm. Mathematics.https://doi.org/10.3390/math14091446
4. Safety implications of integrating battery-electric vehicles with ventilation-on-demand in underground mining: A simulation-driven study at Turquoise Ridge Mine. (2026). ScienceDirect.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950276426000346
5. Energy savings through VOD (Ventilation-on-Demand) analysis in Indian underground coal mine. (2022). IEEE Xplore.https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9874751
6. Optimization of mine ventilation fan speeds according to ventilation on demand and time of use tariff. (2015). Applied Energy (ScienceDirect).https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915001500306X
7. Integrating artificial intelligence into ventilation on demand: Current practice and future promises. (2026). Systematic Review (MDPI).https://www.mdpi.com/
8. Bajić, S., Gaćina, R., Crnogorac, L., & Urošević, K. (2026). Energy efficiency of modern underground mine ventilation control strategies: A critical review of research findings. University of Belgrade Repository.https://ume.rgf.bg.ac.rs/

9. Improving the energy efficiency of mine fan assemblages. (2015). ScienceDirect.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615004592
10. Energy saving techniques for ventilation fans used in underground coal mines — A survey. (2015). Gale Academic OneFile.https://go.gale.com/
11. Optimization of airflow distribution in mine ventilation networks using the MOBWO algorithm. (2025). MDPI (Scilit).https://www.scilit.com/
12. A multi-objective intelligent method for generating mine ventilation feature graphs based on the adaptive NSGA-II algorithm. (2026). Mathematics (MDPI).https://www.mdpi.com/
13. Analysis of distribution method of designed air quantity in coal mine ventilation — A case study. (2024). Scientific Reports.https://link.springer.com/
14. Ventilation on Demand (VOD) for underground mine energy savings. (2026). Minetek.https://minetek.com/
15. Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines. (2019). ScienceDirect.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619309845