



Konchilik korxonalarida rudani yanchish jarayonining solishtirma elektr energiya sarfiga ta'sir etuvchi texnologik omillarni omilli tahlil asosida baholash

Asqarbek I. Qarshibayev¹, Zavqiyor I. Jumayev^{1,a}

¹ prof., Navoiy Davlat Konchilik va Texnologiyalar Universiteti, Navoiy, 210100, O'zbekiston; a_karshibaev@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-1088-4041>

^{1,a} katta o'qituvchi, Navoiy Davlat Konchilik va Texnologiyalar Universiteti, Navoiy, 210100, O'zbekiston; zavqiyorjumayev@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-5653-5946>

Dolzarblik: ushbu maqola konchilik korxonalarida rudani yanchish jarayonining solishtirma elektr energiya sarfiga ta'sir etuvchi texnologik omillarni baholashga qaratilgan. Rudani yanchish jarayonida elektr energiya sarfining o'zgarishiga ruda xossalari, qayta ishlash hajmi hamda tegirmonlarning texnologik ish rejimlari ta'sir ko'rsatadi. Ushbu omillarni birgalikda hisobga olish asosida rudani yanchish jarayonining energiya samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy texnologik omillar tahlil qilingan.

Maqsad: rudani yanchish jarayonida solishtirma elektr energiya sarfiga sezilarli ta'sir ko'rsatuvchi texnologik omillarni omilli tahlil va korrelyatsion bog'lanishlar asosida aniqlash hamda ularni ustuvor guruhlariga ajratishdan iborat. Solishtirma elektr energiya sarfining shakllanishini baholash texnologik ko'rsatkichlarning o'zaro ta'siri va ularning energiya iste'moli bilan bog'liqligini aniqlash.

Usullar: 7-gidrometallurgiya zavodining ishlab chiqarish va texnologik ko'rsatkichlari asosida omilli tahlil, "toshli to'kilma" (scree) mezoni va korrelyatsiya matritsasi foydalanilgan. Omilli tahlilda omil yuklamalarining chegara qiymati 0,47 deb qabul qilingan. Tadqiqotda texnologik ko'rsatkichlarni omillar guruhlariga ajratish, ularning solishtirma elektr energiya sarfiga ta'sir darajasini baholash hamda ko'rsatkichlar o'rtasidagi korrelyatsion bog'lanishlarni o'rganish amalga oshirilgan.

Natijalar: tadqiqot natijalarida texnologik ko'rsatkichlar to'rtta omil guruhiga ajratilgan. Birinchi to'rtta omil umumiy dispersiyaning 61,25 % ini, dastlabki ikki omil esa 39,07 % ini tashkil etishi aniqlangan. Solishtirma elektr energiya sarfi bilan tegirmon mahsuldorligi ($r=-0,56$), rudadagi umumiy temir ulushi ($r=-0,50$), tegirmon quvvat sarfi ($r=-0,46$) va konsentrat namligi ($r=0,45$) o'rtasidagi korrelyatsion bog'lanishlar baholangan. Yakuniy tahlil natijasida rudani yanchish jarayonining solishtirma elektr energiya sarfiga sezilarli ta'sir etuvchi yettita asosiy texnologik ko'rsatkich aniqlangan.

Kalit so'zlar: rudani yanchish, sharli tegirmon, solishtirma elektr energiya sarfi, energiya samaradorligi, texnologik omillar, omilli tahlil, korrelyatsion tahlil.

Оценка технологических факторов, влияющих на удельный расход электроэнергии процесса измельчения руды на горнодобывающих предприятиях, на основе факторного анализа

Аскарбек И. Қаршибаев¹, Завқийор И. Жумаев^{1,a}

¹ проф., Навоийский Государственный Горно-технологический Университет, Навои, 210100, Узбекистан; a_karshibaev@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-1088-4041>

^{1,a} старший преподаватель, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, 210100, Узбекистан; zavqiyorjumayev@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-5653-5946>

Актуальность: данная статья посвящена оценке технологических факторов, влияющих на удельный расход электроэнергии в процессе измельчения руды на горнодобывающих предприятиях. Изменение расхода электроэнергии в процессе измельчения руды обусловлено свойствами руды, объемом её переработки, а также технологическими режимами работы мельниц. На основе комплексного учёта указанных факторов проведён анализ основных технологических параметров, оказывающих влияние на энергетическую эффективность процесса измельчения руды.

Цель: выявление технологических факторов, оказывающих существенное влияние на удельный расход электроэнергии в процессе измельчения руды, на основе факторного анализа и корреляционных зависимостей, а также их распределение по приоритетным группам. Определение взаимного влияния технологических показателей и их связи с формированием удельного расхода электроэнергии.

For citation: Qarshibayev A.I., Jumayev Z.I. Assessment of Technological Factors Affecting Specific Electricity Consumption in the Ore Grinding Process at Mining Enterprises Based on Factor Analysis. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 3(1), pp. 65-72.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23464613>

Received: 23.03.2026
Revised: 15.04.2026
Accepted: 26.05.2026
Published: 19.10.2026

Copyright: Asqarbek I. Qarshibayev, Zavqiyor I. Jumayev 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Методы: на основе производственных и технологических показателей гидromеталлургического завода № 7 использованы методы факторного анализа, критерий «каменистой осыпи» (scree plot) и корреляционная матрица. Пороговое значение факторной нагрузки принято равным 0,47. В исследовании выполнено распределение технологических показателей по группам факторов, оценена степень их влияния на удельный расход электроэнергии, а также исследованы корреляционные зависимости между рассматриваемыми показателями.

Результаты: по результатам исследования технологические показатели были распределены на четыре группы факторов. Установлено, что первые четыре фактора объясняют 61,25 % общей дисперсии, а первые два фактора – 39,07 %. Оценены корреляционные зависимости между удельным расходом электроэнергии и производительностью мельницы ($r=-0,56$), массовой долей общего железа в руде ($r=-0,50$), потребляемой мощностью мельницы ($r=-0,46$) и влажностью концентрата ($r=0,45$). В результате итогового анализа определены семь основных технологических показателей, оказывающих существенное влияние на удельный расход электроэнергии в процессе измельчения руды.

Ключевые слова: измельчение руды, шаровая мельница, удельный расход электроэнергии, энергоэффективность, технологические факторы, факторный анализ, корреляционный анализ.

Assessment of Technological Factors Affecting Specific Electricity Consumption in the Ore Grinding Process at Mining Enterprises Based on Factor Analysis

Asqarbek I. Qarshibayev¹, Zavqiyor I. Jumayev^{1,a}

¹prof., Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, 210100, Uzbekistan; a_karshibaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1088-4041>

^{1,a}Head teacher., Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, 210100, Uzbekistan; zavqiyorjumayev@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-5653-5946>

Relevance: this article is devoted to assessing the technological factors affecting specific electricity consumption in the ore grinding process at mining enterprises. Variations in electricity consumption during ore grinding are associated with ore properties, the volume of processed ore, and the technological operating modes of the mills. Based on the integrated consideration of these factors, the main technological parameters affecting the energy efficiency of the ore grinding process were analyzed.

The goal: to identify the technological factors that have a significant effect on specific electricity consumption in the ore grinding process based on factor analysis and correlation relationships, as well as to classify them into priority groups. The interrelationships among the technological indicators and their relationship with the formation of specific electricity consumption were determined.

Methods: factor analysis, the scree plot criterion, and a correlation matrix were applied using the production and technological indicators of Hydrometallurgical Plant No. 7. The threshold value of the factor loading was set at 0.47. The study included the classification of technological indicators into factor groups, assessment of the degree of their influence on specific electricity consumption, and analysis of the correlation relationships among the considered indicators.

Results: the technological indicators were classified into four factor groups. It was established that the first four factors explain 61.25% of the total variance, while the first two factors account for 39.07%. Correlation relationships were evaluated between specific electricity consumption and mill productivity ($r=-0.56$), the mass fraction of total iron in the ore ($r=-0.50$), mill power consumption ($r=-0.46$), and concentrate moisture content ($r=0.45$). As a result of the final analysis, seven key technological indicators having a significant effect on specific electricity consumption in the ore grinding process were identified.

Keywords: ore grinding, ball mill, specific electricity consumption, energy efficiency, technological factors, factor analysis, correlation analysis.

1. Kirish (Introduction)

Konchilik korxonalarida ishlab chiqarish jarayonlarining energiya sig'imi yuqori bo'lib, elektr energiya sarfining shakllanishiga tog'-kon geologik, texnologik, energetik, tashkiliy va ekspluatatsion omillar birgalikda ta'sir ko'rsatadi. Konchilik korxonalarida rudani maydalash va yanchish jarayonlari

elektr energiyasining eng yirik iste'molchilaridan biri hisoblanadi. Tadqiqot obyekti bo'lgan 7-gidrometallurgiya zavodida rudani yanchish jarayonining asosiy elektr yuritmalarini 4000 kW quvvatli sharli tegirmonlar tashkil etadi. Texnologik jarayonda qayta ishlanadigan ruda miqdori, tegirmon mahsuldorligi, yanchishga uzatiladigan suv hajmi, tegirmon yuklanishi va ruda tarkibining o'zgarishi elektr energiyasi iste'molining sezilarli o'zgarishiga olib keladi. Shu sababli elektr energiyasi iste'molini faqat uskunaning o'rnatilgan quvvati asosida emas, balki texnologik parametrlarning o'zaro bog'liq ta'sirini hisobga olgan holda baholash muhim ilmiy-amaliy masala hisoblanadi. Bunday sharoitda elektr energiya iste'molini faqat bitta texnologik parametr orqali baholash yetarli emas; jarayonning o'zgaruvchanligi va omillar o'rtasidagi o'zaro bog'lanishni hisobga olish talab etiladi. Rudani qayta ishlashda yanchish jarayoni alohida ahamiyatga ega. Tegirmonning yuklanishi, qayta ishlanayotgan ruda hajmi, ruda tarkibi, yanchishda beriladigan suv miqdori, klassifikator chiqishidagi zichlik va uskunaning quvvat sarfi bir vaqtning o'zida texnologik natijaga ham, solishtirma elektr energiya sarfiga ham ta'sir etadi. Shu sababli yanchish jarayonida energiya samaradorligini oshirish uchun ko'p o'lchovli statistik tahlil usullaridan foydalanish maqsadga muvofiq [1–4].

Mavjud tadqiqotlarda rudani yanchish uskunalarining elektr energiyasi iste'moli, texnologik unumdorligi va energetik samaradorligiga ta'sir etuvchi ayrim parametrlar alohida o'rganilgan. Biroq ishlab chiqarish sharoitida shakllanadigan ko'p sonli energetik, texnologik va fizik-kimyoviy ko'rsatkichlar orasidan solishtirma elektr energiya sarfiga eng sezilarli ta'sir ko'rsatuvchi parametrlarni kompleks ravishda ajratish masalasi yetarli darajada yoritilmagan. Shu sababli mazkur tadqiqotning maqsadi 7-gidrometallurgiya zavodining haqiqiy ishlab chiqarish ma'lumotlari asosida rudani yanchish jarayonining solishtirma elektr energiya sarfiga ta'sir qiluvchi texnologik ko'rsatkichlarni omilli va korrelyatsion tahlil yordamida baholash, ularni ustuvor guruhlariga ajratish hamda keyingi energiya-texnologik monitoring va modellashtirish uchun informativ parametrlarni aniqlashdan iborat.

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Tadqiqotda ishlab chiqarishning miqdoriy ko'rsatkichlari, ruda va konsentratning fizik-kimyoviy tavsiflari hamda yanchish uskunalarining texnologik parametrlari birgalikda ko'rib chiqildi. Dastlabki ko'rsatkichlar A1 – A20 belgilar bilan ifodalangan. Ular elektr energiya iste'moli va solishtirma elektr energiya sarfi, ruda tarkibi, tegirmon mahsuldorligi va quvvat sarfi, yanchishda foydalaniladigan suv hajmi, shuningdek klassifikator chiqishidagi zichlik kabi energetik va texnologik ko'rsatkichlarni qamrab oladi.

1-jadval. Elektr energiya sarfiga ta'sir etuvchi texnologik ko'rsatkichlar

Table 1. Technological Indicators Affecting Electricity Consumption

№	Belgi	Omillar guruhi	Texnologik ko'rsatkich	O'lchov birligi
1	A1	Ishlab chiqarishning asosiy miqdoriy ko'rsatkichlari	Elektr energiya iste'moli miqdori	kVt·soat
2	A2	Ishlab chiqarishning asosiy miqdoriy ko'rsatkichlari	Chiqarilgan konsentrat hajmi	t
3	A3	Ishlab chiqarishning asosiy miqdoriy ko'rsatkichlari	Solishtirma elektr energiya sarfi	kVt·soat/t
4	A4	Rudaning fizik-kimyoviy tarkibi	Ruda tarkibidagi umumiy temir ulushi	%
5	A5	Rudaning fizik-kimyoviy tarkibi	Ruda tarkibidagi magnitit temir ulushi	%
6	A6	Uskunaning texnologik parametrlari	Qayta ishlangan ruda hajmi	t
7	A7	Uskunaning texnologik parametrlari	Markaziy bo'shatiluvchi sharli tegirmon mahsuldorligi	t/soat
8	A8	Uskunaning texnologik parametrlari	Markaziy bo'shatiluvchi sharli tegirmonning ishlash vaqti	soat
9	A9	Uskunaning texnologik parametrlari	Qayta yanchish uchun yuborilgan ruda hajmi	t
10	A10	Uskunaning texnologik parametrlari	Markaziy bo'shatiluvchi sharli tegirmon yuklanishi	%
11	A11	Uskunaning texnologik parametrlari	Sharli tegirmonning quvvat sarfi	kVt
12	A12	Uskunaning texnologik parametrlari	Ruda va shag'al tegirmonining quvvat sarfi	kVt
13	A13	Uskunaning texnologik parametrlari	Yanchishda foydalanilgan suv hajmi	m ³
14	A14	Uskunaning texnologik parametrlari	Tegirmon chiqishidagi klassifikator	g/l

№	Belgi	Omillar guruhi	Texnologik ko'rsatkich	O'lchov birligi
		parametrlari	zichligi	
15	A15	Konsentratning fizik-kimyoviy tarkibi	Konsentratdagi umumiy temir ulushi	%
16	A16	Konsentratning fizik-kimyoviy tarkibi	Konsentratdagi magnitit temir ulushi	%
17	A17	Konsentratning fizik-kimyoviy tarkibi	Konsentrat namligi	%
18	A18	Konsentratning fizik-kimyoviy tarkibi	Konsentrat sinfi	%
19	A19	Chiqindi/qoldiq tarkibi	Qoldiqdagi umumiy temir ulushi	%
20	A20	Chiqindi/qoldiq tarkibi	Qoldiqdagi magnitit temir ulushi	%

Dastlabki ko'rsatkichlarni bevosita va hosilaviy (ikkinchi darajali) ko'rsatkichlarga ajratish orqali takroriy axborot ta'siri kamaytirildi. Manba ma'lumotlarida A1 va A2 ko'rsatkichlari $A3 = A1/A2$ ko'rinishidagi solishtirma elektr energiya sarfini shakllantirishda qatnashishi, shuningdek ayrim ko'rsatkichlarning boshqa koeffitsientlarni hisoblashda ishlatilishi qayd etilgan. Shundan so'ng birinchi darajali texnologik ko'rsatkichlar omilli tahlilga kiritildi.

Ajratiladigan omillar sonini aniqlash uchun xos qiymatlarning kamayish xususiyatini ko'rsatuvchi "toshli to'kilma" (sree) mezonni qo'llanildi. Omil yuklamalarini mazmunli talqin qilishda 0,47 chegara qiymatidan foydalanildi. Keyingi bosqichda kuchli o'zaro bog'langan ko'rsatkichlarni aniqlash va takroriy parametrlarni qisqartirish uchun korrelyatsiya matritsasi tahlil qilindi. [2 – 4]

Tadqiqotda statistik ma'lumotlarni qayta ishlash bir necha ketma-ket bosqichlarda amalga oshirildi. Birinchi bosqichda 7-gidrometallurgiya zavodining rudani yanchish texnologik jarayoniga tegishli ishlab chiqarish va texnologik ma'lumotlar shakllantirildi. Dastlabki ma'lumotlar majmuasiga elektr energiyasi iste'moli, ishlab chiqarilgan konsentrat hajmi, solishtirma elektr energiyasi sarfi, ruda va konsentratning fizik-kimyoviy tavsiflari, qayta ishlangan ruda hajmi, tegirmon mahsuldorligi, yuklanishi va quvvat sarfi, yanchishga berilgan suv hajmi hamda klassifikator chiqishidagi zichlik kabi jami 20 ta ko'rsatkich kiritildi.

Ikkinchi bosqichda boshlang'ich ko'rsatkichlar bevosita o'lchanadigan va hosilaviy ko'rsatkichlarga ajratildi. Xususan, solishtirma elektr energiyasi sarfi $A3$ elektr energiyasi iste'moli $A1$ ning ishlab chiqarilgan mahsulot hajmi $A2$ ga nisbati orqali shakllanishi sababli o'zaro funksional bog'langan ko'rsatkichlarning tahlil natijalariga takroriy ta'sirini kamaytirish choralari ko'rildi. Shundan so'ng omilli tahlil uchun mustaqil axborot qiymatiga ega bo'lgan texnologik ko'rsatkichlar majmuasi shakllantirildi.

Uchinchi bosqichda turli fizik tabiatga va o'lchov birliklariga ega bo'lgan ko'rsatkichlarning omilli tahlil natijalariga nomutanosib ta'sirini kamaytirish maqsadida boshlang'ich ma'lumotlar standartlashtirildi. Har bir (x_j) ko'rsatkich uchun standartlashtirilgan qiymat quyidagi ifoda yordamida aniqlandi.

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (1)$$

Bu yerda x_{ij} – i -kuzatuvdagi j -ko'rsatkich qiymati; $\bar{x}_j$ – j -ko'rsatkichning o'rtacha qiymati; s_j – uning standart og'ishi.

To'rtinchi bosqichda ko'rsatkichlar o'rtasidagi chiziqli statistik bog'lanishlarni aniqlash uchun Pearson korrelyatsiya koeffitsientlari hisoblandi. Ikki x va y ko'rsatkich o'rtasidagi korrelyatsiya koeffitsienti quyidagi ifoda orqali aniqlandi.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Korrelyatsiya matritsasi texnologik ko'rsatkichlar orasidagi o'zaro bog'liqlikni aniqlash, kuchli korrelyatsiyalangan va axborot jihatidan bir-birini takrorlaydigan parametrlarni baholash uchun qo'llanildi. Korrelyatsiya koeffitsientining musbat qiymati ko'rsatkichlarning bir yo'nalishda, manfiy qiymati esa qarama-qarshi yo'nalishda o'zgarishini ifodalaydi.

Beshinchi bosqichda o'zaro bog'langan ko'p sonli texnologik parametrlarni kam sonli umumlashtiruvchi omillarga birlashtirish maqsadida omilli tahlil qo'llanildi. Omilli model umumiy holda

$$Z_j = l_{j1}F_1 + l_{j2}F_2 + \dots + l_{jm}F_m + \varepsilon_j \quad (3)$$

ko'rinishda qabul qilindi, bunda Z_j – standartlashtirilgan j -ko'rsatkich; F_m – umumiy omillar; l_{jm} – omil yuklamalari; ε_j – muayyan ko'rsatkichka xos qoldiq komponent.

Ajratiladigan omillar sonini tanlashda korrelyatsiya matritsasining xos qiymatlari va “toshli to‘kilma” (scree plot) grafigidan foydalanildi. Xos qiymatlar grafigidagi keskin kamayishdan keyingi barqarorlashish nuqtasi omillar sonini tanlash mezonini sifatida qabul qilindi. Omillarning mazmunini talqinida modul bo‘yicha $|l| \geq 0,47$ bo‘lgan yuklamalar ahamiyatli deb qabul qilindi.

Shunday qilib, tadqiqot algoritmi quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirildi: ishlab chiqarish ma’lumotlarini shakllantirish, bevosita va hosilaviy ko‘rsatkichlarni ajratish, ma’lumotlarni standartlashtirish, korrelyatsiya matritsasini shakllantirish, xos qiymatlar asosida omillar sonini aniqlash, omil yuklamalarini hisoblash, $|l| \geq 0,47$ mezonini bo‘yicha informativ ko‘rsatkichlarni saralash, solishtirma elektr energiyasi sarfi bilan korrelyatsion bog‘lanishlarni baholash, ustuvor texnologik ko‘rsatkichlarni aniqlash. Mazkur yondashuv ko‘p sonli texnologik parametrlar orasidan energiya iste’moli bilan eng ko‘p bog‘langan ko‘rsatkichlarni ilmiy asosda ajratish imkonini beradi.

3. Natijalar (Results)

Omili tahlil natijasida texnologik ko‘rsatkichlarning to‘rtta asosiy omillar guruhiga birlashishi kuzatildi. Omilli va korrelyatsion tahlil 7-gidrometallurgiya zavodining rudani yanchish texnologik jarayonidan olingan 365 ta kuzatuvdan tashkil topgan statistik ma’lumotlar majmuasi asosida bajarildi. Kuzatuvlar 2024-yil 1-yanvardan 31-dekabrgacha bo‘lgan davrdagi 365 ta sutkalik kuzatuv davrini qamrab oldi. Har bir kuzatuvda rudani qayta ishlash hajmi, ruda tarkibi, tegirmonning texnologik va energetik ko‘rsatkichlari, suv sarfi, klassifikator zichligi hamda hosil bo‘lgan mahsulotning fizik-kimyoviy parametrlariga oid ma’lumotlar qayd etildi. Dastlabki 20 ta ko‘rsatkich o‘zaro funksional bog‘liqlik va axborot takrorlanishini hisobga olgan holda saralandi va omilli tahlil uchun 15 ta birlamchi hamda informativ ko‘rsatkichdan iborat ma’lumotlar matritsasi shakllantirildi. Ushbu guruhlarining xos qiymatlari mos ravishda 3,1238; 2,7375; 1,7609 va 1,5677 ni tashkil etdi. Ularning umumiy dispersiyadagi ulushi 20,82; 18,25; 11,73 va 10,45 % bo‘lib, dastlabki to‘rtta omil jami 61,25 % dispersiyani izohlaydi. Birinchi ikki guruhning umumiy ulushi 39,07 % ni tashkil etadi.

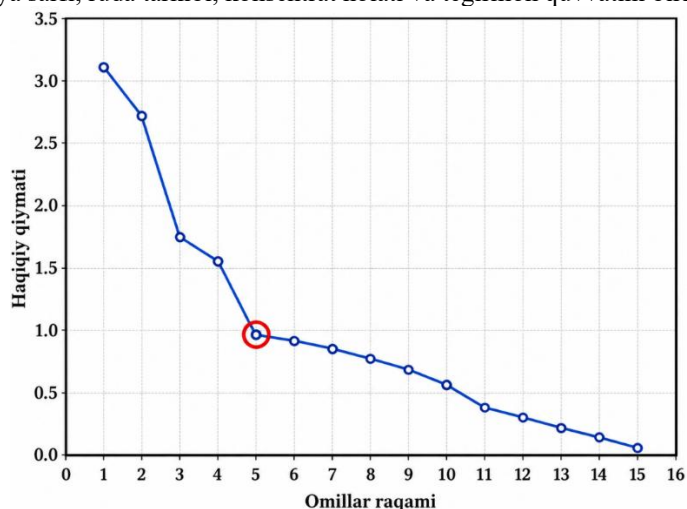
2-jadval. Birinchi darajali texnologik ko‘rsatkichlarning omil yuklamalari

Table 2. Factor Loadings of Primary Technological Indicators

Belgi	Ko‘rsatkich	Omil 1	Omil 2	Omil 3	Omil 4
A3	Solishtirma elektr energiya sarfi	0,2114	0,8746	0,0748	0,0226
A4	Rudadagi umumiy temir ulushi	-0,3010	-0,5873	0,6077	0,0616
A5	Rudadagi magnitit temir ulushi	-0,2140	-0,5486	0,6967	0,1890
A15	Konsentratdagi umumiy temir ulushi	0,1924	0,2809	0,0986	0,2885
A17	Konsentrat namligi	0,0337	0,5456	0,4161	-0,1905
A19	Qoldiqdagi umumiy temir ulushi	-0,0993	0,0755	-0,4224	-0,3986
A20	Qoldiqdagi magnitit temir ulushi	0,4156	-0,1516	-0,0183	-0,2039
A6	Qayta ishlangan ruda hajmi	-0,8075	0,2238	-0,1882	0,2053
A7	Sharli tegirmon mahsuldorligi	-0,4942	-0,4405	-0,4054	-0,4602
A10	Sharli tegirmon yuklanishi	-0,2772	0,3331	-0,0697	0,4251
A11	Sharli tegirmon quvvat sarfi	-0,2383	-0,5409	-0,4198	0,2369
A9	Qayta yanchishga yuborilgan ruda hajmi	-0,7190	0,2079	0,1326	-0,3334
A12	Ruda va shag‘al tegirmoni quvvat sarfi	-0,2260	0,1974	0,3709	-0,7409
A13	Yanchishda foydalanilgan suv hajmi	-0,7715	0,4345	0,0104	0,2074
A14	Klassifikator chiqishidagi zichlik	-0,7238	0,0470	0,0501	0,1164
	Umumiy dispersiya	3,1238	2,7375	1,7609	1,5677
	Umumiy dispersiya ulushi	0,2082	0,1825	0,1173	0,1045

Birinchi omilda eng katta moduldagi yuklamalar A6 (-0,8075), A13 (-0,7715), A14 (-0,7238) va A9 (-0,7190) ko‘rsatkichlariga to‘g‘ri keladi. Bu guruh ishlab chiqarish oqimi va yanchish rejimi bilan bog‘liq parametrlarning umumiy o‘zgarishini aks ettiradi. Ikkinchi omilda A3 (0,8746), A4 (-0,5873), A5 (-0,5486), A17 (0,5456) va A11 (-0,5409) ko‘rsatkichlari ajralib turadi; mazmunan ushbu guruh

solishtirma energiya sarfi, ruda tarkibi, konsentrat holati va tegirmon quvvatini birlashtiradi.



1-rasm. Omillar sonini tanlash uchun “toshli to‘kilma” grafigi

Fig. 1. Scree Plot for Selecting the Number of Factors

1-rasmda keltirilgan “toshli to‘kilma” grafigi xos qiymatlarning dastlabki to‘rtta omilda nisbatan yuqori qiymatlarga ega ekanligini, keyingi omillardan boshlab esa kamayish sur‘atining sezilarli ravishda barqarorlashishini ko‘rsatadi. Ajratilgan dastlabki to‘rtta omilning xos qiymatlari mos ravishda 3,1238; 2,7375; 1,7609 va 1,5677 ni tashkil etib, ular umumiy dispersiyaning 61,25 % ini izohlaydi. Shu sababli keyingi tahlil uchun to‘rtta asosiy omilni saqlab qolish maqsadga muvofiq deb qabul qilindi.

“Toshli to‘kilma” grafigida xos qiymatlarning keskin pasayishi dastlabki omillarda kuzatiladi va keyingi nuqtalarda kamayish sur‘ati sekinlashadi. Manba natijalariga ko‘ra, tahlil uchun to‘rtta omillar guruhini saqlab qolish texnologik ko‘rsatkichlarning asosiy ichki tuzilmasini ifodalash uchun yetarli deb qabul qilingan.

3-jadval. Solishtirma elektr energiya sarfining asosiy texnologik ko‘rsatkichlar bilan korrelyatsiyasi
Table 3. Correlation of Specific Electricity Consumption with the Main Technological Indicators

№	Texnologik ko‘rsatkich	Korrelyatsiya koeffitsienti r
1	Rudadagi umumiy temir ulushi (A4)	-0,50
2	Rudadagi magnitit temir ulushi (A5)	-0,42
3	Konsentrat namligi (A17)	0,45
4	Qayta ishlangan ruda hajmi (A6)	0,01
5	Sharli tegirmon mahsuldorligi (A7)	-0,56
6	Sharli tegirmon quvvat sarfi (A11)	-0,46
7	Qayta yanchishga yuborilgan ruda hajmi (A9)	0,03
8	Yanchishda foydalanilgan suv hajmi (A13)	0,19
9	Klassifikator chiqishidagi zichlik (A14)	-0,09

Korrelyatsion tahlil solishtirma elektr energiyasi sarfi bilan texnologik ko‘rsatkichlar o‘rtasidagi chiziqli bog‘lanishning yo‘nalishi va nisbiy darajasini aniqlash imkonini berdi. Modul jihatidan eng yuqori korrelyatsiya koeffitsientlari sharli tegirmon mahsuldorligi uchun $r=-0,56$, rudadagi umumiy temir ulushi uchun $r=-0,50$, sharli tegirmon quvvat sarfi uchun $r=-0,46$ hamda konsentrat namligi uchun $r=0,45$ ni tashkil etdi. Ushbu ko‘rsatkichlar solishtirma elektr energiyasi sarfining o‘zgarishini tavsiflashda boshqa ko‘rib chiqilgan parametrlar bilan taqqoslaganda yuqoriroq informativlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Manfiy korrelyatsiya tegishli parametr ortishi bilan solishtirma energiya sarfining kamayish tendensiyasini, musbat korrelyatsiya esa bir yo‘nalishdagi o‘zgarish tendensiyasini ifodalaydi. Bunda aniqlangan bog‘lanishlar statistik bog‘liqlikni ifodalaydi va bevosita sabab-oqibat munosabati sifatida talqin qilinmaydi.

Rudadagi umumiy temir A4 va magnitit temir A5 ulushlari o‘rtasida $r=0,80$ darajadagi yuqori bog‘lanish mavjud. Shu sababli model yoki monitoring tizimida ularning ikkalasini bir vaqtda kiritish axborot takrorlanishiga olib kelishi mumkin. Omil yuklamasi va korrelyatsion bog‘lanishlarni birgalikda ko‘rib chiqish texnologik parametrlar ro‘yxatini ixchamlashtirishga imkon beradi.

Omilli tahlilda yuqori omil yuklamasiga ega bo‘lgan parametrlar, solishtirma elektr energiyasi sarfi bilan korrelyatsion bog‘lanishlar hamda parametrlar o‘rtasidagi axborot takrorlanishi birgalikda hisobga olindi. Bunda bir xil texnologik xususiyatni tavsiflovchi yuqori korrelyatsiyalangan



ko'rsatkichlar orasidan energiya sarfini tavsiflash nuqtai nazaridan informativroq bo'lgan ko'rsatkichga ustuvorlik berildi. Natijada solishtirma elektr energiyasi sarfini baholash va keyingi modellashtirish uchun quyidagi yettita texnologik ko'rsatkich tanlandi:

- A4 – rudadagi umumiy temir ulushi, %;
- A17 – oxirgi konsentrat namligi, %;
- A6 – qayta ishlangan ruda hajmi, t;
- A7 – sharli tegirmon mahsuldorligi, t/soat;
- A11 – sharli tegirmon quvvat sarfi, kVt;
- A9 – qayta yanchish uchun yuborilgan ruda hajmi, t;
- A14 – tegirmon chiqishidagi klassifikator zichligi, g/l.

Mazkur ko'rsatkichlar ruda xossalari, ishlab chiqarish hajmi va yanchish uskunasi energetik-texnologik rejimini bir vaqtning o'zida ifodalaydi. Ularni tezkor monitoring va keyingi regressiya modellarida asosiy kirish o'zgaruvchilari sifatida qo'llash elektr energiyasi sarfini texnologik jarayon bilan bog'langan holda baholash imkoniyatini oshiradi.

4. Xulosa (Conclusion)

Tadqiqot natijasida rudani yanchish jarayonining solishtirma elektr energiyasi sarfi alohida bitta texnologik parametr bilan emas, balki ruda xossalari, ishlab chiqarish unumdorligi, tegirmonning energetik yuklanishi va yanchish rejimini ifodalovchi bir qator o'zaro bog'langan ko'rsatkichlar ta'sirida shakllanishi aniqlandi.

Omili tahlil natijasida ko'rib chiqilgan texnologik parametrlarning asosiy o'zgaruvchanligi to'rtta umumlashtiruvchi omil yordamida ifodalanishi belgilandi. Ushbu omillar umumiy dispersiyaning 61,25 % ini izohlaydi. Omil yuklamalari va korrelyatsion bog'lanishlarni kompleks baholash natijasida solishtirma elektr energiyasi sarfini tavsiflash uchun rudadagi umumiy temir ulushi, konsentrat namligi, qayta ishlangan ruda hajmi, sharli tegirmon mahsuldorligi, tegirmon quvvat sarfi, qayta yanchishga yuborilgan ruda hajmi va klassifikator chiqishidagi zichlik asosiy informativ ko'rsatkichlar sifatida ajratildi.

Olingan natijalar ko'p sonli ishlab chiqarish parametrlarini qisqartirilgan informativ ko'rsatkichlar majmuasiga keltirish imkonini beradi. Ushbu ko'rsatkichlardan rudani yanchish jarayonining energiya-texnologik monitoringida, solishtirma elektr energiyasi sarfini prognozlash modellarini shakllantirishda hamda energiya samarador ish rejimlarini aniqlashda kirish parametrlar sifatida foydalanish mumkin. Mazkur yondashuv ishlab chiqarish sharoitida energiya sarfiga ta'sir qiluvchi omillarni tezkor aniqlash va yanchish jarayonining energetik samaradorligini oshirishga qaratilgan boshqaruv qarorlarini shakllantirish uchun ilmiy-uslubiy asos yaratadi.

ADABIYOT

1. Аллаев К. Р. Современная энергетика и перспективы ее развития / Под общей редакцией академика Салимова АУ. –Т.: Фан ва технологиялар нашриёт-матбаа ижодий уйи. 2021. –301б.
2. Анализ показателей надежности и технического состояния объектов распределительных сетей за 2015-2020 г.г. -Т.: АО “Худудий электр тармоклари”, 2021. – 178 с.
3. Таслимов А.Д., Юлдашев А.А., Рахимов Ф.М., Меликузиев М.В. Программа расчёта показателей надёжности кабельных линий на основе статических данных / Программа для ЭВМ. DGU 08019, 2020.
4. Каршибаев А.И., Жумаев З.И., Абдуллаев Ш.Ш. Разработка современных методов повышения эффективности использования электроэнергии на горнодобывающих предприятиях // Журнал «Достижения машиностроительных технологий». -Ташкент, 2022. – С. 39-42.
5. Халъясма А.И. Разработка системы оценки технического состояния электросетевого оборудования на основе нейронечеткого логического вывода /Диссертация. 2015. –С.15 – 30.
6. Гаибов Т.Ш., Шаназаров А.Э. Оптимизация режимов работы энергосистем на основе использования искусственных нейронных сетей. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2024, выпуск 4, -С.18-28.
7. Babu C.K. and Xavier J.S. Load Flow of Radial Distribution Network by using Artificial Neural Network, 2024 International Conference on E-mobility, Power Control and Smart Systems (ICEMPS), Thiruvananthapuram, India, 2024, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICEMPS60684.2024.10559338>.
8. Мавлонов Ж.А., Сайидов М.К. Методы современной оценки технического состояния оборудования в повышении эксплуатационной надежности и эффективности системы ремонта электрооборудования горнодобывающих предприятий // Развитие науки и техники. Бухарский научный журнал - №5 2024. 30-35 с.
9. Castro B., Clerice G., Ramos C., Andreoli A., Baptista F., Campos F. and Ulson J. “Partial Discharge Monitoring in Power Transformers Using Low-Cost Piezoelectric Sensors”, *Sensors*,



2016.vol. 16, no. 8, p. 1266.

10. Суднова В.В. Оценка влияния электроприемников потребителя на качество электрической энергии в точке общего присоединения. //Промышленная энергетика. – 2003. – С.43 – 45.

REFERENCES

1. Allaev K.R. Modern energy and its development prospects /Under the general editorship of academician Salimov AU. “Science and technology” publishing house. - T.: - 2021. 301-b.
2. Analysis of reliability indicators and technical condition of distribution network facilities for 2015-2020. - T.: JSC “Regional power grids”, 2021. - 178 p.
3. Taslimov A.D., Yuldashev A.A., Rakhimov F.M., Melikuziev M.V. Program for calculating reliability indicators of cable lines based on static data // Computer program. DGU 08019, 2020.
4. Karshibaev A.I, Zhumaev Z.I, Abdullaev Sh.Sh. Development of modern methods for increasing the efficiency of electric power use at mining enterprises // Journal "Achievements of mechanical engineering technologies" Tashkent, 2022. - pp. 39-42.
5. Khalyasma AI Development of a system for assessing the technical condition of power grid equipment based on neuro-fuzzy logical inference // Dissertation. 2015. - P. 15 - 30.
6. Gayibov T.Sh., Shanazarov A.E. Optimization of operational operating conditions of power systems based on the use of artificial neural networks //Problems of Energy and Sources Saving, 2024, issue 4, -P.18-28.
7. Babu C.K. and Savier J.S. Load Flow of Radial Distribution Network by using Artificial Neural Network, 2024 International Conference on E-mobility, Power Control and Smart Systems (ICEMPS), Thiruvananthapuram, India, 2024, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICEMPS60684.2024.10559338>.
8. J.A. Mavlonov, M.K. Sayidov Methods of modern assessment of the technical condition of the equipment in improving the operational reliability and efficiency of the electrical equipment repair system in mining enterprises. “The development of science and technology.” Bukhara Scientific Journal - №5 2024. 30 – 35 p.
9. Castro B., Clerice G., Ramos C., Andreoli A., Baptista F., Campos F. and Ulson J. “Partial Discharge Monitoring in Power Transformers Using Low-Cost Piezoelectric Sensors”, Sensors, vol. 16, no. 8, p. 1266, 2016.
10. Sudnova V.V. Estimation of the influence of consumer electrical receivers on the quality of electrical energy at the point of common connection. //Industrial energy. – 2003. – P. 43 – 45.