



Transformatorlarning texnik holatidagi o'zgarishlarni hisobga olgan holda konchilik korxonalarini elektr energiyasi bilan ta'minlashning ishonchligini baholash

Jonibek A. Mavlonov¹, Muzaffar K. Sayidov^{1,a}

¹ PhD, dots., Navoiy Davlat Konchilik va Texnologiyalar Universiteti, Navoiy, 210100, O'zbekiston; jonibek.nsmi@gmail.com <https://orcid.org/0009-0002-1682-7339>

^{1,a} katta o'qituvchi, Navoiy Davlat Konchilik va Texnologiyalar Universiteti, Navoiy, 210100, O'zbekiston; sayidov2024@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-7186-084X>

Dolzarblik: ushbu maqola kuch transformatorlarining ishdan chiqish sabablari va ularning asosiy ta'sir omillarini baholashga qaratilgan. Konchilik korxonalaridagi nimstansiyalardan turli xil rad etish hodisalari tahlil qilingan.

Maqsad: kuch transformatori resursining hayot siklini uzaytirish va oshirish keng qamrovli tadqiqot orqali amalga oshiriladi. Bu murakkab, bilim talab qiladigan va qimmat operatsiya bo'lib, uni amalga oshirish sanoatning normativ-texnik hujjatlariga muvofiq tadqiqot operatsiyalarini bajarish bilan bog'liq.

Usullar: kuch transformatorlari ishonchligiga ta'sir qiluvchi omillarni tahlil qilish, shuningdek tadqiqotda olingan ma'lumotlarga asoslanib, kuch transformatorlarining nosozliklari orasidagi vaqt bo'yicha statistik ma'lumotlarni solishtirish hamda elektr tarmoqlari elementlarining ishlash sifatiga ta'sirini baholashning tajribasini o'rganish.

Natijalar: tadqiqot natijalarida kuch transformatorining ishlashi texnik shartlarini tahlil qilish bo'yicha amalga oshirilgan. Elektr jihozlarning resurslarini boshqarish samaradorligini baholash mezonini taklif etilgan.

Kalit so'zlar: kuch transformator, eksponensial qonun, tasodifiy o'zgaruvchanlik, nosozlik intevsivligi, ishdan chiqish ehtimoli, ishonchlik, texnik diagnostika, hayotiy sikl.

Оценка надежности электроснабжения горнодобывающих предприятий с учетом изменения технического состояния трансформаторов

Жонибек А. Мавлонов¹, Музаффар К. Сайидов^{1,a}

¹ PhD, доц., Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, 210100, Узбекистан; jonibek.nsmi@gmail.com <https://orcid.org/0009-0002-1682-7339>

^{1,a} старший преподаватель, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, 210100, Узбекистан; sayidov2024@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-7186-084X>

Актуальность: данная статья посвящена оценке причин выхода из строя силовых трансформаторов и основных факторов, влияющих на них. Проанализированы различные случаи отказов подстанций горнодобывающих предприятий.

Цель: продление и увеличение жизненного цикла ресурса силового трансформатора достигается за счет комплексных исследований. Это сложная познавательная и дорогостоящая операция, выполнение которой связано с выполнением исследовательских операций в соответствии с отраслевыми нормативно-техническими документами.

Методы: анализ факторов, влияющих на надежность силовых трансформаторов, а также сравнение статистических данных по времени между отказами силовых трансформаторов на основе данных, полученных в ходе исследования; изучение опыта оценки влияния на качество работы элементов электрических сетей.

Результаты: по результатам исследования был проведен анализ технических условий эксплуатации силовых трансформаторов. Предложен критерий оценки эффективности управления ресурсами электрооборудования.

Ключевые слова: силовой трансформатор, экспоненциальный закон, случайная вариация, интенсивность отказов, вероятность отказов, надежность, техническая диагностика, жизненный цикл.

Evaluation of the reliability of power supply of mining enterprises taking into account changes in the technical condition of transformers

Jonibek A. Mavlonov¹, Muzaffar K. Sayidov^{1,a}

¹ PhD, dots., Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, 210100, Uzbekistan; jonibek.nsmi@gmail.com <https://orcid.org/0009-0002-1682-7339>

^{1,a} Head teacher., Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, 210100, Uzbekistan; sayidov2024@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-7186-084X>

For citation: J.A. Mavlonov, M.K. Sayidov. Evaluation of the reliability of power supply of mining enterprises taking into account changes in the technical condition of transformers. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 2, pp. 40-45.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15743063>

Received: 18.04.2025

Revised: 02.05.2025

Accepted: 04.06.2025

Published: 24.06.2025

Copyright: © Jonibek A. Mavlonov, Muzaffar K. Sayidov, 2025. 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/>).



Relevance: this article is devoted to the analysis of the causes of failure of power transformers and the main impacts. Various cases of failures from substations of mining enterprises are analyzed.

The goal: the extension and increase of the life cycle of a power transformer is achieved through comprehensive research. This is a complex, cognitive and expensive operation, which involves performing research operations in accordance with industry regulatory and technical documents.

Methods: the analysis of factors affecting the reliability of power transformers, as well as a comparison of statistical data on the time between failures of power transformers based on the data obtained during the study, and the study of experience in assessing the impact on the quality of electrical grid elements.

Results: based on the results of the study, an analysis of the technical operating conditions of the power transformer was carried out. A criterion for evaluating the effectiveness of electrical equipment resource management is proposed.

Keywords: power transformer, exponential law, random variation, fault intensity, failure probability, reliability, technical diagnostics, life cycle.

1. Kirish (Introduction)

Konchilik korxonalarida transformatorlarning texnik holati elektr ta'minoti ishonchligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Transformatorlar elektr ta'minotining asosiy qismi bo'lib, ularning samaradorligi va ish holati nafaqat tizimning ishonchligini, balki umumiy energiya ta'minotining sifatini ham belgilaydi. Transformatorlarda nosozliklar yuzaga kelsa yoki texnik xizmat ko'rsatish va modernizatsiya etarlicha amalga oshirilmasa, elektr ta'minotida uzilishlar, energiya yo'qotishlari va samaradorlikning pasayishi kuzatiladi. Shu sababli, konchilik sohasida transformatorlarni kuzatish va texnik xizmatlarni muntazam ravishda olib borish muhim ahamiyat kasb etadi [1].

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Muayyan kuch transformatori resursining hayot siklini uzaytirish va oshirish keng qamrovli tadqiqot orqali amalga oshiriladi. Bu murakkab, bilim talab qiladigan va qimmat operatsiya bo'lib, uni amalga oshirish sanoatning normativ-texnik hujjatlariga muvofiq tadqiqot operatsiyalarini bajarish bilan bog'liq. Hozirgi vaqtda O'zbekiston elektr energetikasi sanoatida o'ziga xos xususiyatlarining rivojlanishi eng uzoq xizmat qilish muddatiga ega bo'lgan, konstruktiv muddatidan 1,5 – 2 baravar ko'p bo'lgan katta miqdordagi kuch transformatorlarining ishlashini talab etiladi. Bunday sharoitda ishlaymay qolgan transformatorlarga xizmat ko'rsatish tizimini takomillashtirish ham ushbu transformatorlarning ishlashini ta'minlash muammosiga, ham butun elektr ta'minotining ishonchligini kerakli darajada saqlash vazifasiga aylanadi. 110 kV va undan yuqori kuchlanishdagi kuch transformatorlarining ishlash ma'lumotlariga ko'ra, 110 – 220 kV kuchlanishli nimstansiyalar jihozlarining 40% 25 yildan ortiq, 35 % 15 – 25 yil, taxminan 25 % esa 15 yildan kam muddatga xizmat qilgan. Eksploatatsiya ma'lumotlariga ko'ra, transformator uskunasi texnologik buzilishining eng katta foizi 20 yildan 30 yilgacha bo'lgan davrda sodir bo'ladi. O'z vaqtida kapital ta'mirlash transformatorning ishlash muddatini uzaytiradi. Texnologik buzilishlarning aksariyati moy bilan to'ldirilgan kirishlar, chulg'amlar va tartibga solish moslamalarining shikastlanishi bilan bog'liq. Shuning uchun elektr ta'minoti tizimini uzluksiz ta'minlashda transformatorning texnik holati to'g'risida ma'lumot olishning muhim usullaridan biri bu xizmat ko'rsatishida yuzaga kelgan emirishlar va nosozliklar to'g'risidagi ma'lumotlarni to'plash va tahlil olib borish bilan belgilanadi. Transformatorlarning zarur operatsion ishonchligini saqlab qolish va elektr ta'minoti tizimining uzluksiz ishlashi uchun diagnostik monitoring natijalariga ko'ra o'z vaqtida kapital ta'mirlashni amalga oshirish kerak.[2 – 4]

3. Natijalar (Results)

1 jadval. Tadqiqotda olingan ma'lumotlarga asoslanib, kuch transformatorlarining nosozliklari orasidagi vaqt bo'yicha statistik ma'lumotlar

Table 1. Statistical data on the time between failures of power transformers, based on data obtained in the study

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
68450	74580	54780	39270	60330	40580
61680	72450	48750	36200	39870	38780
88270	64570	53470	2840	35652	25450
64970	68000	57360	37460	38758	40980
55620	50450	3980	36410	39167	38790
59450	58740	60450	65790	50459	40150
7850	45670	47950	40470	35474	37850
57570	56780	60250	38980	37446	39780



Olingan ma'lumotlarni o'sish tartibida joylashtiramiz. Olingan oddiy statistik qatordan maksimal va minimal qiymatlarni topamiz:

$$\tau_{max} = 74580; \quad \tau_{min} = 3980.$$

Qiymatlar oralig'ini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\xi = \tau_{max} - \tau_{min} = 74580 - 3980 = 70600 \text{ soat.} \quad (1)$$

Biz tasodifiy o'zgaruvchi t_i ($n = 50$) qiymatlarining barcha diapazonini intervallarga ajratamiz. Hisoblash qulayligi uchun biz intervallarni teng deb hisoblaymiz. $\Delta\tau$ oraliqning taxminiy qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{1 + 3,3221 \lg n} = \frac{70600}{1 + 3,3221 \lg 50} = \frac{70600}{6,6439} = 10626,288 \text{ soat.} \quad (2)$$

2 – jadval. Har bir interval uchun hisob-kitoblarning amalga oshirilgan natijasini

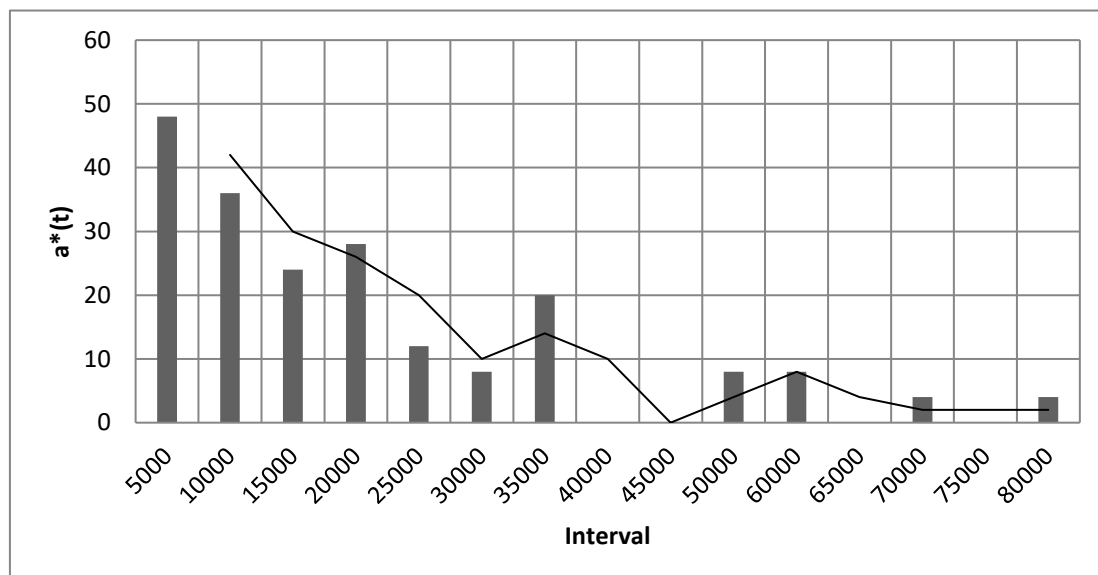
Table 2. The results of the calculations for each interval

No	Interval	Δt	n_i	$P_i = n_i/n$	t_i – intervalning o'rtacha qiymati	$P_i t_i$	$\sum (n_i/n)$	$n_i/n\Delta t 10^{-1}$	$P_i [t_i - M(t)]^2$
1	0-5000	5000	12	0,24	2500	600	0,24	48	47040000
2	5000-10000	5000	9	0,18	7500	1350	0,42	36	14580000
3	10000-15000	5000	6	0,12	12500	1500	0,6	24	1920000
4	15000-20000	5000	7	0,14	17500	2450	0,68	28	140000
5	20000-25000	5000	3	0,06	22500	1350	0,74	12	2160000
6	25000-30000	5000	2	0,04	27500	1100	0,78	8	4840000
7	30000-35000	5000	5	0,1	32500	3250	0,88	20	25600000
8	35000-40000	5000	0	0	37500	0	0,88	0	0
9	40000-45000	5000	0	0	42500	0	0,88	0	0
10	45000-50000	5000	2	0,04	45000	1800	0,92	8	32490000
11	55000-60000	5000	2	0,04	57500	2300	0,96	8	67240000
12	60000-65000	5000	0	0	62500	0	0,96	0	0
13	65000-70000	5000	1	0,02	67500	1350	0,98	4	5202000
14	70000-75000	5000	0	0	72500	0	0,98	0	0
15	75000-80000	5000	1	0,02	77500	1450	1	4	74420000
Σ			50			$M(t)=16500$			$D(t) = 506032000$

Statistikada dispersiya natijalar orasidagi tarqalishni ko'rsatadigan o'lchov hisoblanadi. Agar ularning barchasi o'rtacha qiymatga yaqin bo'lsa, dispersiya past bo'ladi yoki aksincha bo'lsa - yuqori. Bu esa statistik tahlilning asosiy ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi va quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

$$D(t) = \sum \{P_i [t_i - M(t)]^2\}. \quad (3)$$

Olingan ma'lumotlar (2 – jadval) natijasida ishdan chiqishlar orasidagi vaqtning gistogrammasini tuzamiz, 1 – rasmda keltirilgan.



1 – rasm. Taqsimlash gistogrammasi

Fig. 1. Distribution histogram

Gistogrammaning tuzilishiga asoslanib, o'rganilayotgan tasodifiy o'zgaruvchi eksponensial qonun bo'yicha taqsimlangan deb taxmin qilish mumkin. Bu, shuningdek, matematik kutishning kattaligi va tasodifiy o'zgaruvchining o'rtacha kvadrat og'ishning deyarli to'liq mos kelishini isbotlaydi. 1 – rasmda ko'rsatilgan gistogrammada statistik taqsimotning muhim belgilarini saqlab qolgan holda, gistogramma jarayonida tasodifiy tartibsizliklardan xoli bo'lgan funksiya grafigi bo'lgan tekislash taqsimoti egri chizig'i qurilgan.

Ishdan chiqishlar orasidagi vaqtni matematik kutilma sifatida uning taxminiy (statistik o'rtacha) $M(t) = 16500$ soatini olib, biz yozishimiz mumkin: $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$. Chunki eksponensial taqsimlash qonuni bilan $\lambda = \frac{1}{M(t)} = const$ ga teng unda tenglamani quyidagicha keltiriladi:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) = 0,00006e^{-0,0006t}. \quad (4)$$

Nazariy egri taqsimlash chizig'ini tanlashda va u bilan statistik taqsimlash o'rtasida ba'zi tafovutlar mavjud. Bunday holda, bu nomuvofiqliklar faqat cheklangan miqdordagi tajriba ma'lumotlar bilan bog'liq tasodifiy holatlar bilan izohlanadimi yoki ular ahamiyatlimi va o'rnatilgan egri chiziq ma'lumotlar taqsimlanishini yomon moslashtirishi bilan bog'liqligi yoki yo'qligini bilish kerak. [5 – 8]

Agar nosozlik intevsivligi $\lambda = 0,00006$ ga teng bo'lsa, Zarafshon shahrida joylashgan "M – 1" nimstansiyasidagi transformatorning nosozliklarsiz ishlash ehtimoli va nosozliklar orasidagi o'rtacha vaqtni $t_i = 15000, 30000, 45000, 60000, 75000$ soatga teng qiymatda aniqlaymiz. Bunda nosozlik ehtimolligi eksponensial qonuni bo'yicha hisoblaymiz.

Eksponensial qonun doimiy nosozlik intevsivligini ifodalaydi, chunki u $\delta = 1$ da $\lambda - const$ parametri bilan aniqlanadi:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; t \geq 0 \lambda > 0, \text{ nosozlik intevsivligi } \lambda(t) \equiv \lambda.$$

Buzilishsiz ishlashning o'rtacha vaqti eksponensial taqsimot qonuni bilan $T_{o'rt}$ nosozlik intevsivligining teskari qiymatiga teng $-\frac{1}{\lambda}$, ya'ni:

$$T_{o'rt} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,00006} = 16500 \text{ soat.}$$

Bu yerda:

$$P(15000) = e^{-0,0000606 \cdot 15000} = 0,402;$$

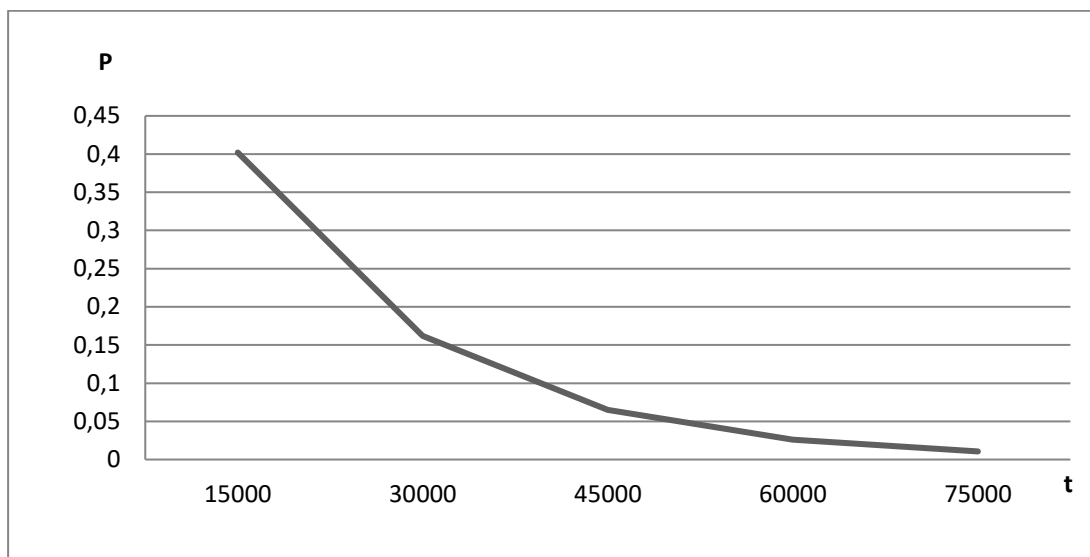
$$P(30000) = e^{-0,0000606 \cdot 30000} = 0,162;$$

$$P(45000) = e^{-0,0000606 \cdot 45000} = 0,065;$$

$$P(60000) = e^{-0,0000606 \cdot 60000} = 0,026;$$

$$P(75000) = e^{-0,0000606 \cdot 75000} = 0,0106.$$

Hisoblangan ma'lumotlar natijasida biz grafik tuzamiz transformatorning ishlamay qolish ehtimolining vaqtiga bog'liqlik grafigini tuzamiz (2 – rasm).



2 – rasm. Transformatorlarning ishlamay qolish ehtimoli

Fig. 2. Probability of transformer failure

Biz ishdan chiqish ehtimolligini aniqlaymiz:

$$Q_{15000} = 1 - P_{15000} = 1 - 0,402 = 0,598;$$

$$Q_{15000} = 1 - P_{15000} = 1 - 0,402 = 0,598;$$

$$Q_{30000} = 1 - P_{30000} = 1 - 0,162 = 0,838;$$

$$Q_{45000} = 1 - P_{45000} = 1 - 0,065 = 0,935;$$

$$Q_{60000} = 1 - P_{60000} = 1 - 0,026 = 0,974;$$

$$Q_{75000} = 1 - P_{75000} = 1 - 0,0106 = 0,9894.$$

4. Xulosa (Conclusion)

Shunday qilib, transformatorni ekspluatatsiya qilish vaqtining o'sishi hisobiga 2 – rasmdagi egri chiziqqa muvofiq to'xtovsiz ishlash ehtimoli kamayadi degan xulosaga kelishimiz mumkin. Albatta transformatorning ekspluatatsion ishonchligini oshirmasak konchilik korxonalari elektr ta'minoti ishonchligiga sezilarli ta'sir o'tkazadi. Bu esa transformatorlarning ishlashini, ya'ni to'liq hayot siklini o'rganish va operatsion ishonchligini baholash texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash tizimini loyihalash, ishlatish va takomillashtirishda muhim vazifalardan biri bo'lib qoladi. Bu transformatorlarning sifati va ishonchligini oshirish, shuningdek, to'satdan nosozliklarni bartaraf etish va rejadani tashqari ta'mirlash va tiklash ishlarini o'rnatish bilan bog'liq xarajatlarni sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi. Bunday holatlarni oldini olishda transformatorlarni real vaqt rejimida kuzatish orqali ular holatini aniqlash va vaqtida ta'mirlash choralarini ko'rish imkonini bera olsa albatta elektr ta'minoti ishonchligini oshirish mumkin. Ushbu tizimlar konchilik sharoitlarida doimiy va uzluksiz elektr ta'minotini ta'minlash imkonini beradi va ishlab chiqarish jarayonlari to'xtovsiz davom etishini ta'minlaydi.

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 тармоқлари”, 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. Хальясма А.И. Разработка системы оценки технического состояния электросетевого оборудования на основе нейронечеткого логического вывода /Диссертация. 2015. –С.15 – 30.

6. Гаيبов 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 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. 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.