



Электр ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларни аниқлаш усули ва алгоритми

Икромжон У. Рахмонов¹, Камол К. Обидов², Айсүлу М. Нажимова³

¹ DSc, проф., Тошкент давлат техника университети, Тошкент, 100095, Ўзбекистон; ilider1987@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-2076-5919>

² “Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети Бухоро табиий ресурсларни бошқариш институти, Бухоро, 200100, Ўзбекистон; Kamoliddinbehzod2015@gmail.com <http://orcid.org/0000-0003-2076-5919>

³ PhD, Қорақалпоқ давлат университети, Нукус, 230100, Ўзбекистон; a_najimova@karsu.uz <https://orcid.org/0009-0001-7336-8362>

Долзарблик: Электр ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларни аниқлаш ҳозирги кунда электр энергияси истеъмолини оптималлаштириш ва ускуналарнинг ишончилигини оширишда муҳим аҳамиятга эга. Айниқса, ишлаб чиқариш корхоналарида электр ускуналарнинг ишдан чиқиши ишлаб чиқариш жараёни узлуксизлигига салбий таъсир кўрсатади ва ортиқча харажатларни келтириб чиқаради. Ушбу тадқиқот ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи асосий омилларни аниқлаш, уларнинг ўзаро боғлиқлигини таҳлил қилиш ва ускуналарнинг ишлаш ҳолатини яхшилашга қаратилган.

Мақсад: Тадқиқотнинг мақсади электр ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларни аниқлаш, уларни асосий ва ёрдамчи гуруҳларга ажратиш ҳамда ушбу омилларни таҳлил қилиш учун алгоритм ишлаб чиқишдан иборат. Шунингдек, ишдан чиқишни олдиндан башорат қилишда самарали восита бўлувчи усулларни таклиф этиш тадқиқотнинг асосий вазифаларидир.

Усуллар: Тадқиқот жараёнида электр ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларни аниқлашда замонавий таҳлил ва моделлаштириш усулларидан фойдаланилди. Эксперт баҳолаш усули орқали омилларнинг ишдан чиқишга таъсир даражаси баҳоланди. Натижаларни чуқурроқ таҳлил қилиш учун корреляцион матритса қурилди, бу эса омиллар ўртасидаги ўзаро боғлиқликни аниқлаш имконини берди. Шунингдек, омилларни баҳолаш ва таҳлил қилиш учун махсус алгоритм ишлаб чиқилди.

Натижалар: Тадқиқот натижаларига кўра, электр ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи асосий ва ёрдамчи омиллар аниқланди. Эксперт баҳолаш натижалари асосида ишдан чиқишга энг катта таъсир этувчи омиллар танлаб олинди. Корреляцион матритса асосида мазкур омилларнинг ўзаро боғлиқлик коэффициентлари ҳисобланди, бу эса омилларнинг ишдан чиқиш жараёнига таъсирини аниқроқ баҳолаш имконини берди. Тадқиқот давомида ишлаб чиқилган алгоритм электр ускуналарнинг ишлаш ҳолатини таҳлил қилиш ва носозликларни олдиндан башорат қилишда юқори самарадорлик кўрсатди. Ушбу алгоритм ишлаб чиқариш жараёни узлуксизлигини таъминлашда муҳим восита бўлиб хизмат қилади. Тадқиқот натижалари, шунингдек, электр ускуналар учун техник хизмат кўрсатиш режаларини такомиллаштиришда, ишдан чиқиш хавфини камайтиришда ва ишлаб чиқариш жараёнининг самарадорлигини оширишда амалда қўлланиши мумкин.

Калит сўзлар: Электр ускуналари, ишдан чиқиш, техник ҳолат, башорат қилиш, корреляцион матритса, эксперт баҳолаш, моделлаштириш, омиллар таъсири, жараён узлуксизлиги, ускуналар ишончилиги, энергия сарфи оптималлаштириш, техник хизмат кўрсатиш, таҳлил алгоритми, энергетик сервис, ишлаб чиқариш жараёнлари.

Метод и алгоритм определения факторов, влияющих на отказ электрического оборудования

Икромжон У. Рахмонов¹, Камол К. Обидов², Айсүлу М. Нажимова³

¹ DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; ilider1987@yandex.ru <http://orcid.org/0000-0003-2076-5919>

² Бухарский институт управления природными ресурсами национального исследовательского университета Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Бухара, 200100, Узбекистан; Kamoliddinbehzod2015@gmail.com <http://orcid.org/0000-0003-2076-5919>

³ PhD, Каракалпакский государственный университет, Нукус, 230100, Узбекистан; a_najimova@karsu.uz <https://orcid.org/0009-0001-7336-8362>

Актуальность: Определение факторов, влияющих на отказ электрического оборудования, является важной задачей в оптимизации энергопотребления и повышении надёжности работы оборудования. Особенно в производственных предприятиях отказы электрического оборудования оказывают негативное влияние на непрерывность технологических процессов и приводят к дополнительным затратам. Данное исследование направлено на выявление ключевых факторов, влияющих на отказы оборудования, их взаимосвязей и разработку методов улучшения технического состояния оборудования.

Целью исследования является определение факторов, влияющих на отказ электрического оборудования, их классификация на основные и второстепенные группы, а также разработка алгоритма для их анализа. Также важной задачей является предложение эффективных методов, которые могут быть использованы для прогнозирования времени отказов оборудования.

For citation: Rakhmonov I.U., Obidov K.K., Najimova A.M. Method and algorithm for identifying factors influencing the failure of electrical equipment. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 1, pp. 63-69. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14216058>

Received: 20.04.2024

Revised: 27.05.2024

Accepted: 08.06.2024

Published: 22.07.2024

Copyright: © Ikromjon U. Rakhmonov, Kamol K. Obidov, Aysulu M. Najimova, 2024. 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: В процессе исследования применялись современные методы анализа и моделирования для выявления факторов, влияющих на отказ электрического оборудования. Метод экспертной оценки использовался для анализа степени влияния факторов на отказы оборудования. Для углублённого анализа была построена корреляционная матрица, которая позволила выявить взаимосвязи между факторами. Кроме того, был разработан специальный алгоритм для оценки и анализа факторов.

Результаты: В результате исследования были выявлены основные и второстепенные факторы, влияющие на отказ электрического оборудования. На основе результатов экспертной оценки были определены факторы с наибольшим влиянием на отказ оборудования. С помощью корреляционной матрицы были рассчитаны коэффициенты взаимосвязи факторов, что позволило более точно оценить их влияние на процесс отказа. Разработанный в рамках исследования алгоритм показал высокую эффективность в анализе технического состояния электрического оборудования и прогнозировании его отказов. Этот алгоритм является важным инструментом для обеспечения непрерывности технологических процессов. Результаты исследования могут быть применены для улучшения планов технического обслуживания электрического оборудования, снижения рисков отказов и повышения эффективности производственных процессов.

Ключевые слова: Электрическое оборудование, отказы оборудования, техническое состояние, прогнозирование отказов, корреляционная матрица, экспертная оценка, моделирование, факторы отказов, непрерывность процессов, надёжность оборудования, оптимизация энергопотребления, техническое обслуживание, алгоритм анализа, энергосервис, производственные процессы.

Method and algorithm for identifying factors influencing the failure of electrical equipment

Ikromjon U. Rakhmonov¹, Kamol K. Obidov², Aysulu M. Najimova³

¹ DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; ilider1987@yandex.ru <http://orcid.org/0000-0003-2076-5919>

² Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization" National Research University of Bukhara Institute of Natural Resource Management, Bukhara, 200100, Uzbekistan; Kamoliddinbehzod2015@gmail.com <http://orcid.org/0000-0003-2076-5919>

³ PhD, Karakalpak State University, Nukus, 230100, Uzbekistan; a_najimova@karsu.uz <https://orcid.org/0009-0001-7336-8362>

Relevance: Identifying factors influencing the failure of electrical equipment is a crucial task in optimizing energy consumption and improving equipment reliability. In industrial enterprises, equipment failures negatively affect the continuity of technological processes and result in additional costs. This study focuses on identifying key factors influencing equipment failures, analyzing their interconnections, and developing methods to improve the technical condition of equipment.

Objective: The objective of this study is to identify the factors influencing the failure of electrical equipment, classify them into primary and secondary groups, and develop an algorithm for their analysis. Additionally, the study aims to propose effective methods that can be used to predict equipment failure times.

Methods: Modern analysis and modeling methods were applied to identify the factors influencing electrical equipment failures. The expert evaluation method was used to assess the degree of influence of these factors on equipment failures. A correlation matrix was constructed for an in-depth analysis, enabling the identification of interrelations between factors. Furthermore, a dedicated algorithm for factor evaluation and analysis was developed.

Results: The study identified primary and secondary factors influencing electrical equipment failures. Based on the results of expert evaluation, the most significant factors contributing to equipment failures were determined. Using the correlation matrix, the interrelation coefficients of the factors were calculated, allowing for a more precise assessment of their impact on the failure process. The algorithm developed during the study demonstrated high efficiency in analyzing the technical condition of electrical equipment and predicting its failures. This algorithm serves as a vital tool for ensuring the continuity of technological processes. The findings of this study can be applied to improve maintenance planning for electrical equipment, reduce failure risks, and enhance the efficiency of industrial processes.

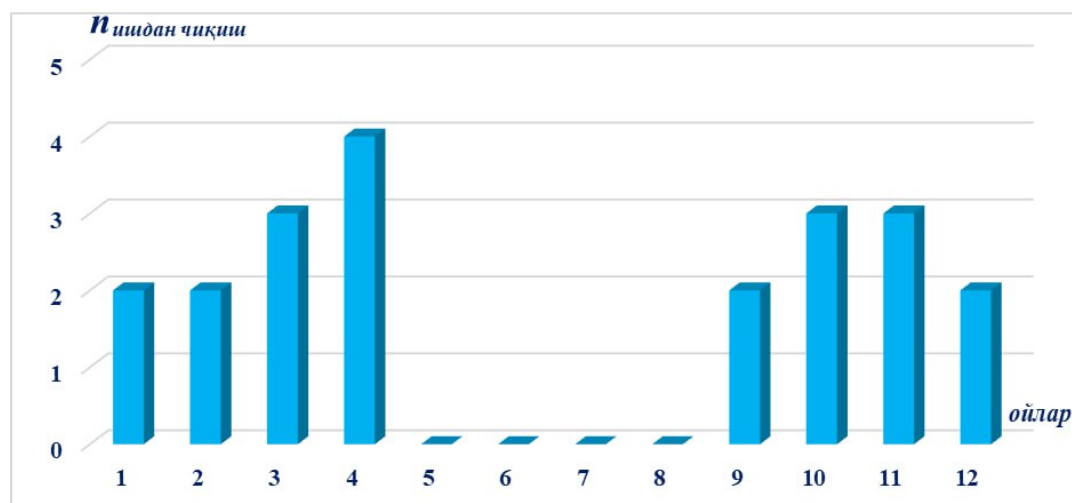
Key words: Electrical equipment, equipment failure, technical condition, failure prediction, correlation matrix, expert evaluation, modeling, failure factors, process continuity, equipment reliability, energy optimization, maintenance, analysis algorithm, energy service, industrial processes.

1. Кириш (Introduction)

Прогнозлашда юқори аниқликдаги кўрсаткичга эришиш учун дастлабки маълумотларнинг таркиби ва сифати муҳим бўлиб ҳисобланади. Шу нуқтаи назардан олиб қаралганда, прогнозлаш тизимида дастлабки маълумотларда аниқлик юқори бўлса, натижа ҳам шунга мос бўлади. Лекин масаланинг яна бир жиҳати борки, прогнозлашни амалга ошириш жараёнида дастлабки маълумотлар сонининг юқорилиги ҳар доим ҳам етарли аниқликни таъминлай олмайди. Яъни прогнозлаш моделида дастлабки маълумотларнинг кам таъсир этувчи улушлари киритилган ҳолда аниқланган прогнозлаш қийматининг ҳақиқий қийматдан оғишига сабаб бўлади. Шунинг учун дастлабки маълумотлар сифатида қабул қилинадиган кўрсаткичларни тўғри аниқлаш ҳам

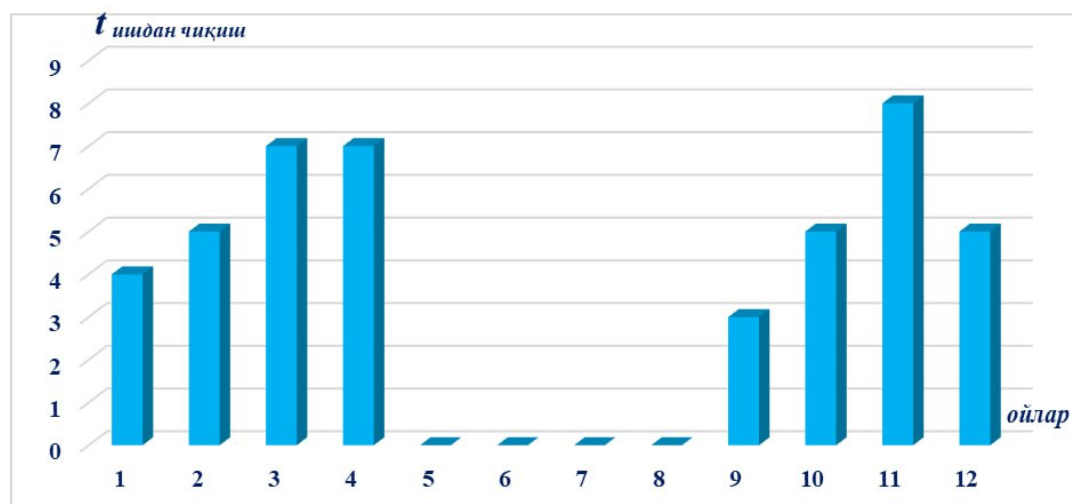
прогнозлашнинг асосий жараёни бўлиб ҳисобланади. Мазкур бобда прогнозлаш моделини ишлаб чиқишда ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи омиллар тадқиқ этилади.

Юқоридагилардан келиб чиқиб, электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омиллар таҳлил қилинди. Шу ўринда ускуналарнинг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларни аниқлашдан олдин, тадқиқот объектида бир йил давомида электр ускуналарининг ўртача ишдан чиқиш кўрсаткичларини тадқиқ этиш мақсадга мувофиқ бўлиб ҳисобланади. 1-расмда жинлаш цехида электр ускуналарининг ойлар кесимида ишдан чиқиш кўрсаткичи келтирилган бўлиб, бунда ускуналарнинг ишдан чиқиш кўрсаткичи ой давомида ўртача иккитани ташкил этганини кўриш мумкин. Технологик жараён хусусиятдан келиб чиқиб, корхонанинг май ойидан август ойлари оралиғида ишламаган муддатда ишдан чиқишлар кузатилмаган. Энг юқори ишдан чиқиш қаралаётган вақт учун апрел ойида кузатилган бўлса, бошқа ойларда ускуналарнинг ишдан чиқиши ўртача икки мартадан кузатилган.



1-расм. Жинлаш цехида электр ускуналарининг ойлар кесимида ишдан чиқиш кўрсаткичи
Fig. 1. Monthly failure rates of electrical equipment in the ginning shop

Жинлаш цехида электр ускуналарининг ойлар кесимида ишдан чиқиш кўрсаткичига мос равишда уларнинг ишдан чиқиш вақти давомийлиги ўртача беш соатдан етти соатгача давом этгани 2-расмда келтирилган. Масалан, ноябр ойида бу кўрсаткич саккиз соатни, январ ойида тўрт соатни ва ҳар бир ойда мос равишда ишдан чиқиш сонига мос равишда ишдан чиқиш вақти давомийлиги келтирилган. Эътибор бериб қараладиган бўлса, ишдан чиқиш кўрсаткичи октябрь, ноябрь ойларида учтани ташкил этсада, ишдан чиқиш вақти давомийлиги беш ҳамда саккиз соатни ташкил этганини кўриш мумкин. Бу албатта жинлаш цехининг электр ускуналарида бўлган нономал режимнинг хусусияти билан ҳарактерланади.



2-расм. Жинлаш цехида электр ускуналарининг ойлар кесимида ишдан чиқиш вақти давомийлиги

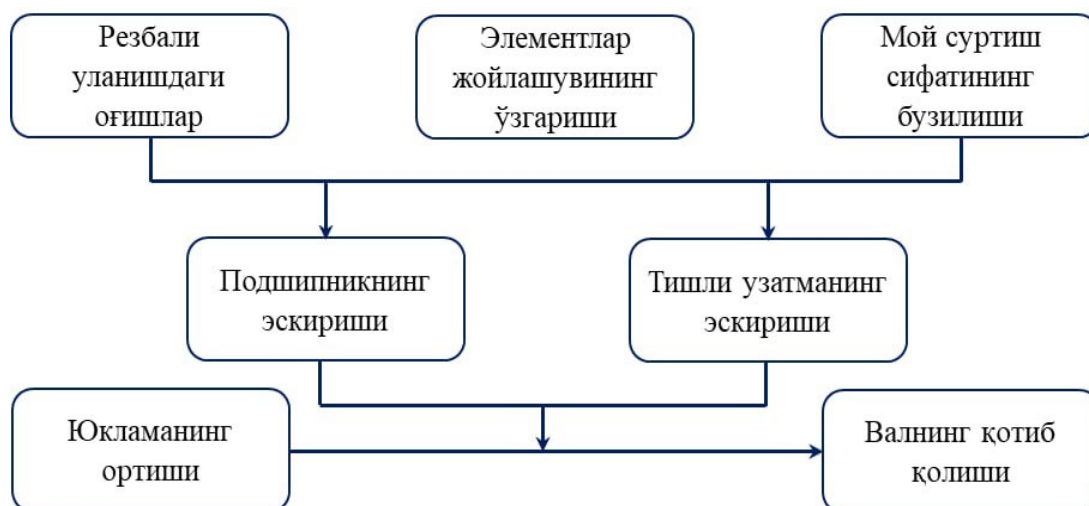
Fig. 2. Monthly failure duration of electrical equipment in the ginning shop

Маълумки, ҳар қандай прогнозлаш кўрсаткичига таъсир этувчи омиллар асосий ҳамда ёрдамчи таъсир этувчи омилларга бўлинади. Асосий омиллар бевосита технологик жараён хусусиятидан келиб чиқиб, ускуналарнинг ишдан чиқишига доимий равишда таъсир этиб келса, ёрдамчи омиллар маълум бир вақт оралиғида таъсир этади.

2. Материаллар ва усуллар (Materials and Methods)

Ўтказилган тақиқотлар асосида электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларнинг умумий жиҳатлари аниқланиб, бир нечта гуруҳга бўлинди. Бунда электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омиллар сифатида ишончликни бошқариш жараёни, технологик, конструктив, ташқи, эксплуатация, техник, ташкилий омиллар белгилаб олинди.

Умуман олганда электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омиллар таснифи 3-расмда келтирилган бўлиб, ускунанинг ишдан чиқиш жараёни 3 та асосий босқич билан характерланади. Биринчи босқич, резбали уланишдаги оғишлар, элементлар жойлашувининг ўзгариши ва мой суртиш сифатининг бузилиши билан ифодаланса, иккинчи босқич, подшипник ва тишли узатманинг эскириши, учинчи босқич эса юкламанинг ортиши ва валнинг қотиб қолиши билан ифодаланади. Ҳар бир босқичда бўладиган носозликлар ўз вақтида бартараф этилмаса, ускунанинг қисман ёки тўлиқ ишдан чиқишига олиб келади [1-3, 7].



3-расм. Электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омиллар таснифи
Fig. 3. Classification of factors influencing the failure of electrical equipment

3. Тадқиқот натижалари (Results)

Тадқиқот объектида олиб борилган тақиқотлар асосида электр ускуналарининг ишдан чиқиш вақтига таъсир этувчи омиллар сифатида қуйидагилар танлаб олинди:

- Ф1 – ташқи ҳарорат (°C);
- Ф2 – кучланиш ўзгариши (%);
- Ф3 – изоляциянинг эскириши (Мегаомларда);
- Ф4 – чангланиш даражаси (PM Концентрацияси ($\mu\text{g}/\text{m}^3$));
- Ф5 – юкламанинг ортиши (%).

Электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи факторларининг боғлиқлик функцияси қуйида келтирилган:

$$RUL=f(\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5)$$

Мазкур мақолада электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омиллари аниқлашнинг алгоритми ишлаб чиқилган бўлиб, мазкур алгоритм 4-расмда келтирилган.

Юқорида келтирилган омилларнинг юқори таъсир даражасига эга бўлганини аниқлаш мақсадида электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи факторлари сони эксперт баҳолаш усули асосида аниқланган бўлиб, бу жараёнда корхонанинг 7 нафар тажрибали ва малакали мутахассиси иштирок этиб, электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи факторларни аниқлаш мақсадида шакллантирилган сўровномада иштирок этдилар.



1-жадвал. Электр ускунасининг ишдан чиқиш вақтига таъсир этувчи факторларни аниқлаш мақсадида ўтказилган экспертнинг баҳолаш усули натижалари

Table 1. Results of the expert evaluation method to identify factors influencing the failure time of electrical equipment

Факторлар номи	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6	Эксперт 7	Жамоавий эксперт баҳолаш натижалари
Ташқи ҳарорат - Φ_1	4	4	5	5	4	4	5	4,43
Кучланиш ўзгариши - Φ_2	8	9	7	8	8	7	6	7,57
Изоляциянинг эскириши - Φ_3	7	5	8	7	6	6	6	6,43
Чангланиш даржаси- Φ_4	5	3	4	4	6	4	4	4,29
Юкламанинг ортиши - Φ_5	7	9	7	7	6	6	8	7,14

Ўтказилган сўровномада иштирок этган экспертлар электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этиши мумкин бўлган 5 та факторларни электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи фактор сифатида танлаб факторларнинг таъсир даражасини ўз тажриба ва малакасидан келиб чиқиб, 10 баллик баҳолаш тизимида баҳоладилар (1-жадвал).

$$RUL=f(\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5) \quad (1)$$

Экспертлар томонидан баҳолаш натижаларига кўра, ўртача баҳолаш қиймати 6 баллдан юқори бўлган омилларни (Φ_2 – кучланиш ўзгариши (%), Φ_3 – изоляциянинг эскириши (Мегаомларда), Φ_5 – юкламанинг ортиши (%)) электр ускунасининг ишдан чиқишига таъсир этувчи асосий омиллар сифатида танлаш мақсадга мувофиқдир.

Юқорида эксперт баҳолаш усули асосида аниқланган электр ускунасининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларни илмий асослаш мақсадида, ҳар бир омилнинг электр ускунасининг ишдан чиқишига таъсир этиш даражасини аниқлаш корреляция матричасини куриш орқали амалга ошириш мақсадга мувофиқ бўлиб ҳисобланади. Асосий таъсир этувчи омилларни аниқлаш 4-расмда келтирилган алгоритм асосида бажарилади.

2-жадвал. Корреляцион матрица

Table 2. Correlation Matrix

Факторлар Factors	RUL	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
RUL	1,00					
Φ_1	0,42	1,00				
Φ_2	0,71	-0,12	1,00			
Φ_3	0,69	0,25	0,74	1,00		
Φ_4	0,21	0,57	0,05	-0,14	1,00	
Φ_5	0,75	0,35	0,68	0,84	0,19	1,00

Корреляцион матрица натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, корреляция коэффициенти 0,6 дан юқори бўлган қуйидаги 3 та фактор электр ускунасининг ишдан чиқиш вақтига таъсир этувчи асосий фактор бўлиб ҳисобланади:

Φ_2 – кучланиш ўзгариши (%) – 0,71;

Φ_3 – изоляциянинг эскириши (Мегаомларда) 0,69;

Φ_5 – юкламанинг ортиши (%) – 0,75.

Демак, мазкур учта омилни прогнозлаш моделига киритиш мақсадли бўлиб ҳисобланади.

4. Мухокама (Discussion)

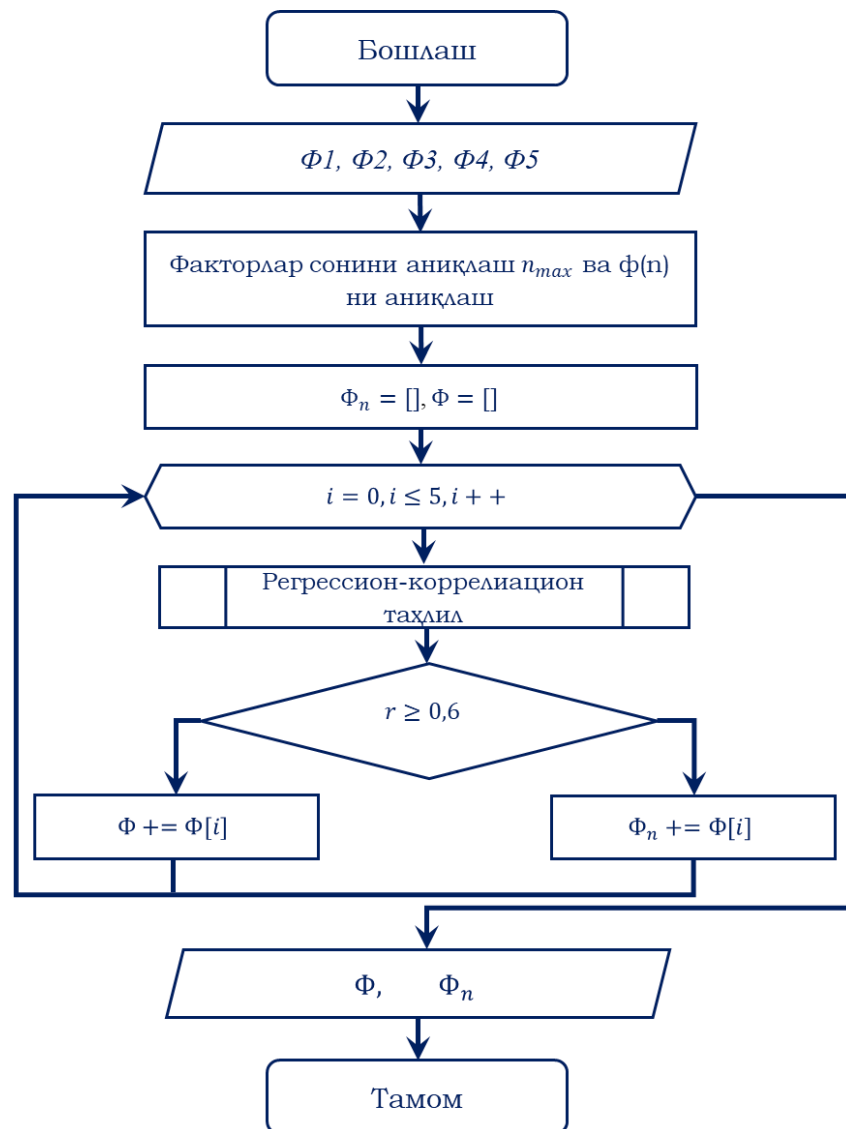
4-расмда келтирилган алгоритмдан кўриш мумкинки, маълумотлар қабул қилинганида киритилган маълумотлар устуни (омиллар сони) Len функцияси ёрдамида аниқланади ва омиллар миқдори лист шаклида алоҳида қабул қилинади. Ушбу факторларнинг ҳар бири регрессион таҳлил қилиниб, корреляция коэффициенти 0,6 дан катта бўлган факторлар алоҳида $\Phi(n)$ тўпламда сақланади ва такрорланишлардан сўнг чоп этилади.

Алгоритмга электр ускуналарининг ишдан чиқиш вақтига оид дастлабки маълумотлар киритилганда қабул қилинган факторлар сони Len функцияси ёрдамида аниқланади. Электр

ускуналарининг ишдан чиқиш вақтига таъсир этувчи факторлар сони *Лист* шаклида алоҳида қабул қилинади. Мазкур факторлар қийматларида 300 та ҳолат учун етти факторнинг қийматлари корхона томонидан тақдим этилган маълумотлар асосида шакллантирилган. Алгоритмга киритилган факторларнинг ҳар бири регрессион таҳлил усулидан фойдаланган факторларнинг таъсир даражаси аниқланади.

Маълумки, регрессион таҳлилда асосий кўрсаткич корреляция коэффиенти ҳисобланиб, мазкур коэффицент қиймати 0,6 дан юқори бўлган бўлган факторлар электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи асосий факторлар сифатида танлаб олинади. Танлаб олинган факторлар $\Phi(n)$ тўпламда сақланади.

Масалан, танлама сифатида 1-фактор, яъни ташқи ҳарорат қиймати олинандиган бўлса, мазкур фактор дастлаб регрессион таҳлил қилиниб, унинг корреляция коэффиенти аниқланади. Корреляцион матрица натижасидан кўриш мумкинки, Φ_1 факторининг корреляция коэффиенти қиймати 0,42 га тенг. Коэффицент қиймати 0,6 дан кичик бўлганлиги сабабли, Φ тўпламда сақланади ва бу омил прогнозлаш моделига киритилмайди. Худди шундай Φ_2 -кучланиш ўзгариши омили таҳлил этиладиган бўлса, унинг корреляция коэффицент қиймати 0,71 га тенг бўлиб, 0,6 дан катта бўлганлиги сабабли, $\Phi(n)$ тўпламда сақланади ва бу омил прогнозлаш моделига киритилади. Шу тартибда барча факторларнинг корреляция коэффицентлари аниқланиб, 0,6 дан юқори бўлганлари алоҳида $\Phi(n)$ тўпламда, 0,6 дан кичик бўлганлари алоҳида Φ тўпламда сақланади.



4-расм. Электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи факторларни аниқлаш алгоритми блок – схемаси

Fig. 4. Block diagram of the algorithm for identifying factors influencing the failure of electrical equipment



5. Хулоса (Conclusions)

Тадқиқот электр ускуналарининг ишдан чиқишига таъсир этувчи омилларни аниқлаш, уларни таҳлил қилиш ва асосий факторларни ажратишга қаратилган бўлиб, ушбу жараёнда замонавий таҳлил усуллари қўлланилди. Эксперт баҳолаш усули орқали электр ускуналарининг ишдан чиқиш вақтини шакллантирадиган асосий омиллар дастлаб танлаб олинди ва улар ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш учун корреляцион матрица қурилди. Корреляцион матрица натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, электр ускуналарининг ишдан чиқиш вақтига таъсир этувчи асосий 3 та фактор аниқланди. Ушбу факторлар корреляция коэффициентининг 0,6 дан юқори бўлиши билан асосланган: Ф2 – кучланиш ўзгариши (%) – корреляция коэффициенти 0,71; Ф3 – изоляциянинг эскириши (Мегаомларда) – корреляция коэффициенти 0,69; Ф5 – юкламанинг ортиши (%) – корреляция коэффициенти 0,75. Бу омилларнинг юқори даражада таъсир этувчи эканлиги тадқиқотнинг муҳим илмий янгилигини тасдиқлайди. Кучланиш ўзгариши (Ф2) электр ускуналарининг техник ҳолатига салбий таъсир этиб, ишдан чиқиш хавфини оширади. Изоляциянинг эскириши (Ф3) ускунанинг ишончлилигини пасайтириб, тезкор носозликларга сабаб бўлиши мумкин. Юкламанинг ортиши (Ф5) эса электр ускуналарига ортиқча босимни юклаб, уларнинг ишлаш муддатига салбий таъсир кўрсатади. Тадқиқот давомида ушбу омиллар учун таҳлил алгоритми ишлаб чиқилди, бу эса электр ускуналарининг техник ҳолатини баҳолаш ва ишдан чиқиш вақтини олдиндан башорат қилиш имконини яратди. Тадқиқот натижалари, шунингдек, электр ускуналарининг техник хизмат кўрсатиш тизимини такомиллаштириш, ишлаб чиқариш жараёни узлуксизлигини таъминлаш ва энергия истеъмолини оптималлаштириш учун муҳим амалий восита сифатида қўлланиши мумкин. Шу билан бирга, ушбу тадқиқот электр ускуналарининг ишлаш режимида таъсир этувчи асосий омилларни аниқлашда самарали ечимларни таклиф этиш орқали ишлаб чиқариш корхоналаридаги муаммоларни камайтиришга хизмат қилади.

REFERENCES

1. Dong, J., Xue, G. Y., & Li, X. (2016). Value evaluation of integrated energy services based on balanced scorecard. In Y. C. Chang, M. K. Ng, & D. S. Ma (Eds.), *Proceedings of the 2016 International Conference on Humanities and Social Science (HSS 2016)* (Vol. 33, pp. 870-875). Atlantis Press.
2. Lakhdari, A., & Bouguettaya, A. (2021). Proactive composition of mobile IoT energy services. In C. Chang, E. Daminai, J. Fan, P. Ghodous, M. Maximilien, Z. Wang, R. Ward, & J. Zhang (Eds.), *2021 IEEE International Conference on Web Services (ICWS)* (pp. 192-197). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICWS53863.2021.00037>
3. Abusafia, A., Lakhdari, A., & Bouguettaya, A. (2023). Flow-based energy services composition. *IEEE Transactions on Services Computing*, 16(6), 4025-4040. <https://doi.org/10.1109/TSC.2023.3307143>.
4. Sovacool, B. K. (2011). Security of energy services and uses within urban households. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(4), 218-224. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.06.004>.
5. Rakhmonov I.U., Obidov K.K. Factors affecting the development of energy service in the enterprises of the agricultural complex // Scientific and technical journal "Problems of energy and resource saving". Special issue No. 83. 2022, pp.197-201.
6. Li, X., & Liu, W. G. (2010). A research study on the construction of renewable energy service chains in rural areas. In K. L. Zhu & H. Zhang (Eds.), *Statistic Application in Scientific and Social Reformation* (pp. 1016-1022). Applied Statistics Institute of Shandong Province.
7. Wen, J., Zhang, P., & Zhang, T. Data-driven Predictive Maintenance for Electrical Equipment Using Machine Learning Techniques. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2019, Vol. 15(7), pp. 4356–4364.
8. Z.Y.Huang, Z.G.Xu, W.H.Wang, Y.X. Sun. Remaining usefullife prediction for a nonlinear heterogeneous Wie-ner process model withan adaptive drift // *IEEE Trans. Rel.* – June, 2015. – Vol. 64, No. 2. – P. 687–700.
9. Zhang, Rui, Xu, Yuan, Yang, Zhen, et al. A Survey of Predictive Maintenance: Applications, Machine Learning Techniques, Challenges and Opportunities. *IEEE Access*, 2020, Vol. 8, pp. 102001–102016.
10. Khan, R., Shahzad, F., & Li, Z. Electrical Equipment Fault Detection and Diagnosis Using AI Techniques: A Review. *Artificial Intelligence Review*, 2021, Vol. 54, pp. 3319–3355.