

## TAQSIMLOVCHI ELEKTR TARMOQLARIDAGI ELEKTR ENERGIYA ISROFLARINI BAHOLASH

**Bobonazarov Bahrom Sirjevich**

Qarshi davlat texnika universiteti, t.f.f.d.

**Rahmonov Sarvar Ruslan o'g'li**

Qarshi davlat texnika universiteti, magistr.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19641938>

**Annotatsiya.** Sanoat korxonalarida elektr energiyasini uzatish va taqsimlash jarayonida yuzaga keladigan energiya isroflarini baholash va tahlil qilish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Maqolada kon-metallurgiya kombinatining 6–10 kV taqsimlovchi tarmoqlarida elektr energiyasi isroflarini baholash uchun turli sun'iy neyron tarmoqlarga asoslangan modellar taklif etiladi.

**Kalit so'zlar:** sun'iy neyron, intellektual, operativ, sinaptik koeffisient, oddiy perseptron, faollashtirish funksiyasi, kaskad, determinasiya koeffisienti.

**Аннотация.** В промышленных предприятиях одной из актуальных задач является оценка и анализ потерь электроэнергии, возникающих в процессе её передачи и распределения. В статье предлагаются модели, основанные на различных искусственных нейронных сетях, для оценки потерь электроэнергии в распределительных сетях 6–10 кВ горно-металлургического комбината.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, интеллектуальный, оперативный, синаптический коэффициент, простой перцептрон, функция активации, каскад, коэффициент детерминации.

**Abstract.** In industrial enterprises, one of the urgent tasks is the assessment and analysis of power losses occurring during electricity transmission and distribution. The paper proposes models based on various artificial neural networks to evaluate power losses in 6–10 kV distribution networks of a mining and metallurgical plant.

**Keywords:** artificial neural network, intelligent, operational, synaptic coefficient, simple perceptron, activation function, cascade, determination coefficient.

**Kirish.** Kon-metallurgiya va barcha ishlab chiqaruvchi sanoatlarda elektr energiya isrofi miqdori elektr tarmoqlarining ishlash samaradorligini baholash uchun eng muhim ko'rsatkichlardan biridir. Hozirgi kunda sanoat elektr tarmoqlaridagi elektr energiya isroflarini aniqlash va kamaytirish vazifasi o'ta dolzarb va iqtisodiy jihatdan muhim muammo hisoblanadi [1,10].

Avtomatlashtirilgan o'lchov tizimlari ishlaganda elektr energiya isroflarini hisoblash tezkor hisob-kitoblarni amalga oshirish imkoni bo'lib, ularni jarayon davomida baholashni nazarda tutadi [2,18]. Bunday sharoitda, elektr energiya isroflarini hisoblash uchun mavjud bo'lgan usullardan foydalanish bir qancha qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi. Elektr energiya isroflarini hisoblash uchun mavjud usullar tarmoq sxemasi va yuklama bo'yicha hisoblanadigan barqarorlashgan holatlarga asoslanadi. Ushbu hisob-kitoblar yuqori o'lchovlilik, ma'lumotlarning aniqligi va to'laligi, hisoblash vaqti bilan bog'liq bo'ladi.

Shu bilan bir qatorda, [3,28., 4,302] dagi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy usullarga nisbatan sun'iy neyron tarmoqlarini (SNT) o'z ichiga oluvchi "intellektual" usullar ancha yaxshi natijalarni beradi [5,32]. Hozirgi vaqtda SNT lar elektr energiya isroflarni tahlil qilishda [6,705., 7,85., 8,184], barqarorlashgan holatlarni hisoblashda [9,10], elektr yuklamalari va isroflarni bashorat qilishda va boshqa shu kabi elektr energetika masalalarida keng foydalanilmoqda [11,127., 12,138., 13,8].

Elektr energiya isroflarini hisoblashda SNTdan foydalanishning afzalliklari quyidagilardan iborat:

- murakkab jarayonlarni modellashtirish imkoniyati;
- ma'lumotlar bilan ishlashda yuqori moslashuvchanlik;
- kompleks va noxiziqli jarayonlarni modellashtirish imkoniyati;
- real vaqtda baholash va monitoring qilish;
- avtomatlashtirish va inson omilini kamaytirish;
- tizim samaradorligini oshirish;
- nisbatan oddiyroq bo'lgan modellarni tuzish imkoniyati;
- kirish va chiqish parametrlari o'rtasidagi aniq bog'liqligini shakllantirish orqali yuqori

darajada ishonchli natija olinishi.

Shuning uchun ushbu maqolaning maqsadi elektr energiya isroflarini tezkor tarzda baholash uchun turli tipdagi SNT larini qiyosiy baholash va an'anaviy usullarga nisbatan ulardan foydalanishning afzalliklarini ko'rsatishdir.

**Adabiyotlar tahlili va metodlar.** Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda texnik isroflar yuklamaga bog'liq va salt ishlash kabi turlariga bo'linadi. Ular elektr uzatish liniyalari va transformatorlarda kuzatiladi. Boshlang'ich ma'lumotlar va barqarorlashgan holatni hisoblash natijalariga qarab, ularni turli usullar yordamida hisoblash mumkin: 1) tezkor hisob-kitoblar; 2) hisoblangan sutkalar; 3) o'rtacha yuklamalar; 4) maksimal quvvat isroflar vaqti [1,21., 14,210., 15]. Ushbu usullardan taqsimlovchi tarmoqlarida o'rtacha yuklamalar usuli keng qo'llaniladi [14,34].

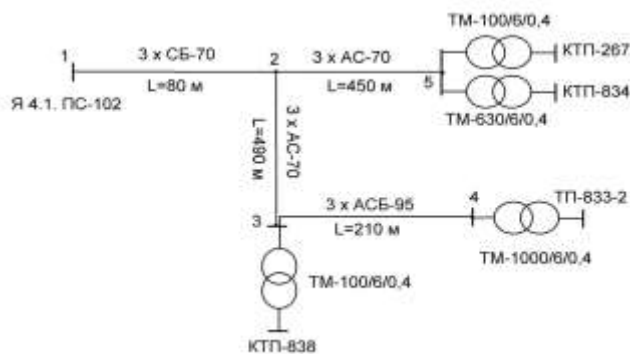
Ochiq taqsimlovchi elektr tarmoqlarda klassik usullar bilan bir qatorda elektr energiya isroflarini baholash uchun SNTlardan foydalaniladi. Ushbu ishda, SNTning ikki xil turi ko'rib chiqiladi: gibrid tarmoq turlaridan biri bu GMDH SNT (Group method of data handling) va uzoq muddatli bog'liqliklarni takroriy neyron tarmoqlariga qaraganda ancha yaxshi saqlab turadigan LSTM SNT (long short-term memory).

SNT ga asoslangan modellashtirish jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Dastlabki ma'lumotlarni shakllantirish.
2. Ma'lumotlarni o'qitish va yordamchi to'plamlarga ajratish.
3. SNT tuzilishi va parametrlar tanlash.
4. O'qitish to'plamida SNTni o'qitish.
5. Yordamchi to'plamlari bo'yicha SNT baholash.
6. Test to'plami ma'lumotlarini shakllantirish.
7. Asosiy va yordamchi to'plami asosida eng yaxshi SNT modelini tanlash.

SNT turlarining har biri uchun 3, 4 va 5-bosqichlar alohida bajariladi. Ushbu bosqichlarni ketma-ket amalga oshirish natijasida, elektr energiya isroflarni baholash uchun eng yaxshi model tanlanadi.

**Natijalar.** SNT asosida elektr energiya isroflarini aniqlash uchun Navoiy kon-metallurgiya kombinatiga qarashli Markaziy kon boshqarmasi Muruntov koni hududida joylashgan 102 nimstansiyasidan taʼminot oladigan 6 kV li taqsimlovchi tarmoqning 1-yacheyka sxemalaridan foydalanamiz (1-rasm).



**1-rasm. 6 kV LK-102-2-1 taqsimlovchi tarmog'ining bir chiziqli sxemasi**

Yuqorida keltirib oʻtilgan taqsimlovchi tarmoqlarda elektr energiyasining texnik isroflarini baholash modellarini ishlab chiqish uchun ikki turdagi SNT koʻrib chiqildi, ular quyidagilardan iborat:

1. Gibrid tarmogʻi (group method of data handling net - GMDH);
2. Uzoq qisqa muddatli xotiraga ega neyron tarmoq (long short-term memory net- LSTM);

Berilgan sxemaga qoʻshimcha ravishda fiderlarning bosh qismining yuklamalari haqida maʼlumot ham taqdim etildi.

Elektr energiya isroflarini aniqlashda zarur boʻlgan asosiy parametrlardagi oʻzgarishlar oraligʻini aniqlash uchun "DisNetLoad" dasturidan [DGU 24258] foydalanib, har oy uchun yuklama grafiklarini tahlili alohida qilindi [15].

LK-102-2-1-yacheyka uchun 2023-yil avgust oyining tahlil natijalari (2-rasm).

Elektr energiya isroflarini hisoblash uchun maksimal yuklama bilan ishlash vaqti ( $T_{max}$ ) dan foydalanish ham talab qilinadi.

Maksimal yuklama bilan ishlash vaqti  $T_{max}$  isteʼmolchi ish rejimi va yuklamasi bilan belgilanadi.  $T_{max}$  baʼzi sanoat tarmoqlari uchun yiliga quydagicha olinadi:

- yoritish yuklamalari uchun 1500 – 2000 soat;
- bir smenali korxonalar uchun 1800 – 2500 soat;
- ikki smenali korxonalar uchun 3500 – 4500 soat;
- uch smenali korxonalar uchun 5000 – 7000 soat.



**2-rasm. 2023-yil avgust oyi uchun LK-102-2-1-yacheykaning yuklama grafik tahlili**

Shunday qilib, yuklama grafigini tahlil qilish natijalariga ko'ra, ma'lumotlarni shakllantirish uchun zarur bo'lgan ta'sir etuvchi omillarning o'zgarishi diapazonlari aniqlanadi:

Tashqi harorat	$t = 20 \div 45 \text{ }^{\circ}\text{C};$
Bosh tugunning kuchlanishi	$U_{bt} = 6 \div 6.3 \text{ kV};;$
Transformator yuklanish koeffisienti	$k_{yk} = 0.1 \div 0.9;$
Bosh tugun uchun quvvat koeffisienti	$\cos\varphi_{bt} = 0.7 \div 1.0;$
Maksimal yuklama bilan ishlash vaqti	$T_{max} = 5000 \div 7000 \text{ soat};$

Taqdim etilgan ma'lumotlarga asosanib, "RRTPRS" dasturidan [DGU 16613] foydalangan holda [16], elektr energiya rejimlari va isroflarni hisoblash uchun quydagilar hosil qilindi:

1488 juft "kirish-chiqish" ma'lumotlari (har yarim soat uchun 31 ta);

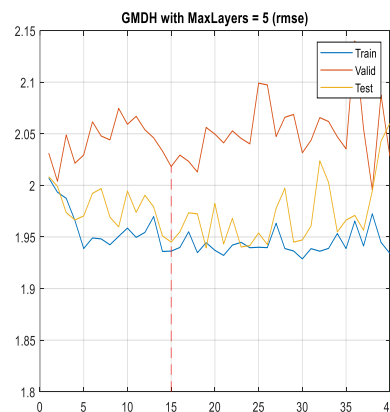
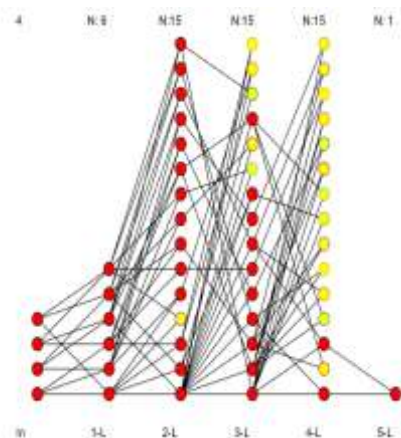
eng yaxshi modelni tanlash uchun foydalaniladigan 336 ta "kirish-chiqish" ma'lumotlar juftligini o'z ichiga olgan yordamchi to'plam (har yarim soat uchun 7 ta) iborat asosiy ma'lumotlar shakllantirildi.

Kirish parametrlariga; uzatilgan elektr energiyasi, bosh tugunning kuchlanishi, tashqi harorat va bosh tugundagi quvvat koeffisient ( $W_{bt}, U_{bt}, t, \cos\varphi_{bt}$ ). Chiqish parametrlariga esa umumiy oylik qiymatida elektr energiya isroflari hisoblanadi. ( $\Delta W_{TT}$ , ming. kW \* s).

Asosiy to'plam - 1488 ta "kirish - chiqish" ma'lumotlarni quydagicha bo'lib olamiz: o'qitish to'plami - 70% yoki 1042 ma'lumotlar juftligi; test to'plami - 15% yoki 223 ma'lumotlar juftligi; validasiya to'plami - 15% yoki 223 ma'lumotlar juftligi; yordamchi to'plam - 336 ta ma'lumotlar juftligi.

SNTni turini tanlashda yuzaga keladigan eng muhim muammolardan biri uning giperparametrlarini tanlash (qatlamlar soni, qatlamdagi neyronlar soni) hisoblanadi. Har bir tur uchun individual yondashuv talab etiladi.

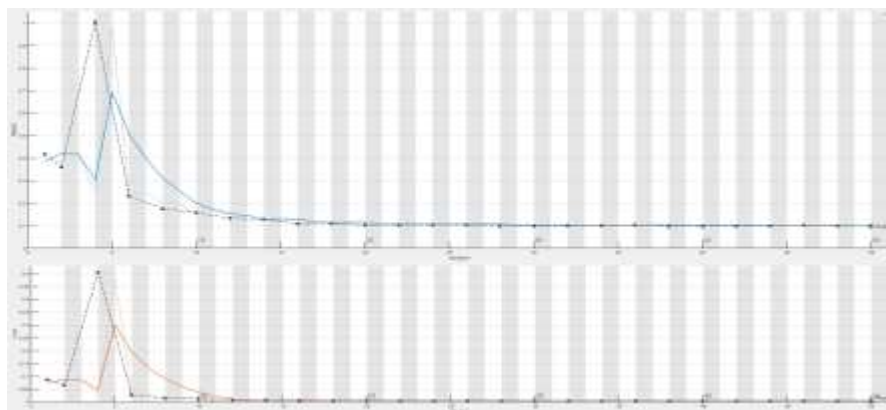
GMDH neyron tarmog'i uchun quyidagi giperparametrlar tanlangan (3-rasm): qatlamlarning maksimal soni 5 ta, yashirin qatlamlardagi neyronlarning maksimal soni esa 15 tani tashkil qildi.



3-pacm. GMDH tarmog'ining ko'rinishi

SNT ning LSTM turi uzoq qisqa muddatli xotiraga ega chuqur neyron tarmoqlar turidir.

Eng yaxshi natija model giperparametrlarning quyidagi qiymatlarida olingan (4-rasm): qatlamlar soni - 2, 1 va 2 qatlamlardagi neyronlar soni - 300, maksimal davrlar soni - 50, o'rganish tezligi - 0,005.



4-pacm. LSTM SNTning o'qitish jarayoni

**Muhokama.** Modellashtirish natijalarini tahlil qilish uchun etalon qiymat sifatida taqsimlovchi tarmoqlarning elektr energiya isroflarini o'rta yuklamalar usulidan foydalangan holda barcha rejmlar uchun hisoblab chiqamiz. Hisoblab topilgan natijalarni etalon qiymat sifatida qabul qilamiz.

Shakllantirilgan SNTlarning eng yaxshi modelni aniqlash uchun yuqorida keltirilgan barcha to'plamlardan (o'qitish, validasiya, test, asosiy, yordamchi to'plam) foydalaniladi. Shakllantirilgan modellarning kechik xatolisini aniqlashda baholash mezon sifatida korrelyasiya koeffisienti ( $R$ ), eng yaxshi modelni ajratishda modellashtirishda o'rtacha kvadrat xato (RMSE), determinasiya koeffisienti ( $R^2$ ) va  $t_{mod}$  vaqtidan foydalanamiz:

$$R = \frac{COV_{Y_{fact} Y_{mod}}}{\sigma_{Y_{fact}} \sigma_{Y_{mod}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i,fact} - \bar{Y}_{fact})(Y_{i,mod} - \bar{Y}_{mod})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{i,fact} - \bar{Y}_{fact})^2 \sum_{i=1}^n (Y_{i,mod} - \bar{Y}_{mod})^2}} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{mod,i})^2 \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{mod,i})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( Y_i - \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} \right)^2} \quad (3)$$

bu erda,  $Y_i$  - o'rtacha yuklamalar usuli asosida hisoblangan elektr energiya texnik isroflarining haqiqiy qiymati;  $Y_{mod,i}$  - SNT yordamida olingan elektr energiya texnik isroflarining qiymati.

LK-102-2-1 taqsimlovchi tarmoq uchun olingan ikki turdagi SNTning korrelyasiya koeffisienti to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Natijalardan ko'rinib turibdiki, SNTning ikki turida ham korrelyasiya koeffisienti birga yaqin.

1-jadval.

**Korrelyasiya koeffisienti (R)**

To'plamlar	Model turi	
	GMDH	LSTM
O'qitish	0,97735	0,97992
validasiya	0,97829	0,97624
Test	0,98077	0,97895
Asosiy	0,97811	0,97958

Eng yaxshi SNT modelini tanlashda, LK-102-2-1 taqsimlovchi tarmoq uchun modellashtirishda o'rtacha kvadrat xato (RMSE), determinasiya koeffisienti ( $R^2$ ) va  $t_{mod}$  keltilirildi.

2-jadval.

**Modellashtirishda o'rtacha kvadrat xato RMSE**

Tўпламлар	Model turi	
	GMDH	LSTM
Asosiy	0,0454	0,0487
Yordamchi	0,0507	0,0622
Hisoblash vaqti	2.13572	176.251

3- jadval.

**Determinasiya koeffisienti R2**

To'plamlar	Model turi	
	GMDH	LSTM
Asosiy	0,9557	0,9489
Yordamchi	0,9497	0,9242

Natijalardan ko'rinib turibdiki, elektr energiyasining texnik isroflarini baholashning eng yaxshi modeli GMDH neyron tarmog'i ekan.

Ushbu model orqali taqsimlovchi tarmoqlarni elektr energiyasining texnik isroflari hisoblab topiladi.

4- jadval.

**Modellashtirish natijalarni solishtirish**

№	O'рта yuklamalar usuli	SNT	Absolyut xatolik	Nisbiy xatolik
	$\Delta W_{TT}, \text{ming. kW} \cdot \text{s}$		ming. kW · s	%
1	0,27250	0,27068	0,00182	0,67
2	0,73222	0,72417	0,00805	1,10
3	0,59388	0,60186	0,00798	1,34
4	0,37634	0,37469	0,00165	0,44
5	0,65401	0,65938	0,00537	0,82
6	0,71866	0,71212	0,00654	0,91
7	0,35830	0,35780	0,00050	0,14
8	0,30173	0,30272	0,00098	0,33
9	0,68501	0,67650	0,00851	1,24
10	0,22539	0,22275	0,00265	1,17
<b>O'rtacha xatolik</b>			<b>0,004405</b>	<b>0,81</b>

Taqqoslash maqsadida taqsimlovchi tarmoqlarning elektr energiyasining texnik isroflarini o'рта yuklamalar usullarda ham hisoblab topilgan natijalar bilan solishtiriladi (4- jadval).

**Xulosa.** Ochiq taqsimlash elektr tarmoqlarda elektr energiya isroflarini aniqlash uchun sun'iy neyron tarmoqlardan foydalanish an'anaviy hisoblash usullariga munosib alternativ bo'lib hisoblanadi.

Klassik usullar bilan taqqoslaganda, sun'iy neyron tarmoqlar yordamida elektr energiya isroflarini baholash juda kam vaqt talab qiladi, bu esa o'z navbatida tezkor hisoblashni amalga oshirishda juda muhim ahamiyatga ega.

Yordamchi to'plamidagi solishtirish natijalari shuni ko'rsatdiki, elektr energiya isroflarni baholash uchun ko'rib chiqilgan, SNTlardan eng ma'qbuli GMDH bo'lib hisoblanadi. Etalon qiymat bilan taqqoslaganda **o'rtacha xatolik juda kichchik qiymat ya'niy 0,004405 ming. kW · s** tashkil qilmoqda.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с
2. Насиров Т.Х., Васильев В.Г. Методы расчёта потерь электрической энергии в сетях энергосистем, - Т.: «Fan va texnologiya», 2016. – 336 с
3. Манов Н.А. и др. Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами. – Екатеринбург: Издво УрО РАН, 2002. – 205 с.
4. Заиграева Ю.Б., Манусов В.З. Прогнозирование потерь мощности и электроэнергии с учетом новых реалий в электроэнергетики // Энергетика: экология, надежность,

- безопасность: Матер. XIII Всеросс. научноотехн. конф. – Томск: Изддво ТПУ, 2006. – С. 35–37.
5. Bourguet R. E., P., Antsaklis J. "Artificial Neural Networks in Electric Power Industry," Technical Report of the ISIS (Interdisciplinary Studies of Intelligent Systems) Group, No. ISIS-94-007, Univ of Notre Dame, April 1994.
  6. Leal A. G., Jardini J. A., Magrini L.C., and S. Ahm. (2009) Distribution Transformer Losses Evaluation: A New Analytical Methodology an Artificial Neural Network Approach. IEEE Transactions on Power Systems, 24, 705-712.
  7. Hsu C.T., Tzeng Y. M., Chen C. S., and Cho M. Y. (1995) Distribution feeder loss analysis by using an artificial network. Electric Power System Research, 34, 85-90.
  8. Худаяров М.Б., Бобоназаров Б.С. Оперативный расчёт технических потерь электроэнергии в распределительных сетях. // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари № Специальный выпуск - 2021 г 184-189. (05.00.00 №21)
  9. Velasco J. A., Amaris H., Alonso M. Deep learning loss model for large-scale low voltage smart grids. Electrical Power and Energy Systems 121 (2020) 106054. doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106054.
  10. Khudayarov M., Normamatov N. Power system steady state calculations using artificial neural networks. E3S Web of Conferences 216, 01102 (2020), RSES 2020. doi.org/10.1051/e3sconf/202021601102
  11. Aishwarya N., Manjula S. Analysis of Steady State Stability of Power System using Artificial Neural Network International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 10, Issue 5, May-2019 ISSN 2229-5518
  12. Marwala L., Twala B., Forecasting Electricity Consumption in South Africa: ARMA, Neural Networks and Neuro-Fuzzy Systems, International Joint Conference on Neural Networks (2014), Beijing, China, pp. 5049-5066
  13. Khudayarov M.B., Bobonazarov B.S., Rakhimov Sh. Utilizing artificial neural networks for the assessment of technical losses in power distribution networks. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 11, Issue 12, December 2024. (05.00.00 №8)
  14. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с.: ил.
  15. Худаяров М.Б., Бобоназаров Б.С. Таксимловчи электр тармоқ тугунлари юклама графикларининг таҳлили // Программа для ЭВМ. № DGU 24258 25.03.2023.
  16. Худаяров М.Б., Бобоназаров Б.С., Нормаматов Н.Н. Таксимловчи электр тармоқларининг ҳолати, улардаги исрофарни ҳисоблаш ва статистик маълумотларни шакллантириш дастури // Программа для ЭВМ. № DGU 16613 27.04.2022.