



Ishlab chiqarish korxonalarida elektr energiyasi iste'molini me'yorlash va optimallashtirishning boshqarish blok-sxemasi

Maxsud Q. Bobojanov^{1a)}, Yunus O. Ochilov²

^{1a)} DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

² PhD, dots., Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi 180119, O'zbekiston; kstu@kstu.uz <https://orcid.org/0009-0001-3853-8346>

Dolzarbli: Bugungi kunda sanoat korxonalarida elektr energiyasidan samarali va oqilona foydalanish, energiya sarfini kamaytirish hamda ishlab chiqarish jarayonlarining energetik samaradorligini oshirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, uzluksiz ishlab chiqarish jarayoniga ega korxonalarda elektr energiyasi iste'molining yuqori darajada bo'lishi va unga ta'sir etuvchi texnologik, energetik hamda ekspluatatsion omillarning ko'pligi energiya sarfini aniq me'yorlashni murakkablashtiradi. Mavjud me'yorlash yondashuvlarida ushbu omillarning o'zaro bog'liqligi yetarli darajada hisobga olinmasligi hisoblash natijalarida xatoliklarning yuzaga kelishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu bois elektr energiyasining solishtirma sarfini matematik-statistik usullar asosida aniqlash, asosiy ta'sir etuvchi omillarni ajratib olish va energiya iste'molini zamonaviy avtomatlashtirilgan tizimlar yordamida boshqarish dolzarb masala hisoblanadi.

Maqsad: Sanoat korxonalarida elektr energiyasi iste'molini ilmiy asosda me'yorlash va solishtirma energiya sarfini aniqlashning matematik modelini ishlab chiqish hamda iste'molni optimallashtiruvchi boshqaruv algoritmini taklif etish

Usullari: Tadqiqotda matematik statistika, korrelyatsion va ko'p omilli regressiya tahlili, eng kichik kvadratlar usuli hamda Fisher mezoni qo'llanilgan. Shuningdek, Smart Meter, ENHAT va SCADA tizimlari asosida real vaqt rejimida monitoring va boshqaruv algoritmi ishlab chiqilgan.

Natijalar: Elektr energiyasi sarfiga eng katta ta'sir qiluvchi omillar — tok ostida ishlash davomiyligi, pechning to'xtab turish vaqti va eritma massasi aniqlandi. Ishlab chiqilgan modelning adekvatligi Fisher mezoni bilan tasdiqlanib, haqiqiy va hisobiy qiymatlar orasidagi o'rtacha og'ish 1,9 % ni tashkil etdi. Taklif etilgan boshqaruv algoritmi esa elektr energiyasi iste'molini 3–5 % gacha kamaytirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: Elektr energiyasi, energiya samaradorligi, solishtirma energiya sarfi, me'yorlash, regressiya modeli, korrelyatsiya tahlili, matematik modellash, yuklama grafigi, optimallashtirish, Smart Meter, ENHAT, SCADA, energiya tejash.

For citation: Bobojanov M.Q., Ochilov Y.O. Flowchart for Controlling the Normalization and Optimization of Electrical Energy Consumption in Industrial Enterprises. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 3(1), pp. 56-64.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23464521>

Received: 23.03.2026

Revised: 15.04.2026

Accepted: 26.05.2026

Published: 19.10.2026

Copyright: Maxsud Q. Bobojanov, Yunus O. Ochilov 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/>).

Управление нормированием и оптимизацией потребления электрической энергии на производственных предприятиях

Махсуд К. Бобожанов^{1a)}, Юнус О. Очилов²

^{1a)} DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

² PhD, доц., Карши государственный технический университет, Карши, 180119, Узбекистан; kstu@kstu.uz <https://orcid.org/0009-0001-3853-8346>

Актуальность: В настоящее время эффективное и рациональное использование электрической энергии на промышленных предприятиях, снижение энергопотребления и повышение энергетической эффективности производственных процессов являются одними из приоритетных задач. Особенно это актуально для предприятий с непрерывным характером производства, где высокий уровень потребления электрической энергии и наличие множества технологических, энергетических и эксплуатационных факторов усложняют процесс точного нормирования энергопотребления. При существующих подходах к нормированию недостаточный учёт взаимосвязи указанных факторов может приводить к возникновению погрешностей в расчётах. В связи с этим актуальной задачей является определение удельного расхода электрической энергии на основе математико-статистических методов, выявление основных влияющих факторов и управление энергопотреблением с использованием современных автоматизированных систем.

Цель: Разработка математической модели научно обоснованного нормирования потребления электрической энергии и определения её удельного расхода на промышленных предприятиях, а также разработка алгоритма управления для оптимизации энергопотребления.

Результаты: Определены основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на расход электрической энергии: продолжительность работы под током, время простоя печи и масса плавки. Адекватность разработанной модели подтверждена по критерию Фишера, при этом среднее отклонение между фактическими и расчётными значениями составило 1,9 %. Предложенный алгоритм управления позволяет снизить потребление электрической энергии до 3–5 %.



Ключевые слова: электрическая энергия, энергетическая эффективность, удельный расход электрической энергии, нормирование, регрессионная модель, корреляционный анализ, математическое моделирование, график нагрузки, оптимизация, Smart Meter, ЭНУАТ, SCADA, энергосбережение.

Flowchart for Controlling the Normalization and Optimization of Electrical Energy Consumption in Industrial Enterprises

Maxsud Q. Bobojanov^{1a)}, Yunus O. Ochilov²

^{1a)} DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

¹ PhD, assoc.prof., Karshi State Technical University, Karshi, 180119 Uzbekistan; kstu@kstu.uz <https://orcid.org/0009-0001-3853-8346>

Relevance: At present, the efficient and rational use of electrical energy in industrial enterprises, reduction of energy consumption, and improvement of the energy efficiency of production processes are among the important priorities. This issue is particularly relevant for enterprises with continuous production processes, where high electricity consumption and the presence of numerous technological, energy, and operational factors make accurate energy consumption normalization more challenging. In existing normalization approaches, insufficient consideration of the interrelationships among these factors may lead to errors in calculation results. Therefore, the determination of specific electricity consumption using mathematical and statistical methods, identification of the main influencing factors, and management of energy consumption through modern automated systems represent an important and relevant research problem.

Aim: to develop a scientifically based mathematical model for normalizing electricity consumption and determining specific electricity consumption in industrial enterprises, as well as to propose a control algorithm for optimizing energy consumption.

Methods: The study employs methods of mathematical statistics, correlation and multiple regression analysis, the least squares method, and the Fisher criterion. In addition, a real-time monitoring and control algorithm based on Smart Meter, ENHAT, and SCADA systems has been developed.

Results: The main factors having the greatest influence on electricity consumption were identified as the duration of operation under current, furnace downtime, and melting mass. The adequacy of the developed model was confirmed using the Fisher criterion, while the average deviation between the actual and calculated values was 1.9%. The proposed control algorithm makes it possible to reduce electricity consumption by up to 3–5%.

Keywords: electrical energy, energy efficiency, specific electricity consumption, normalization, regression model, correlation analysis, mathematical modeling, load curve, optimization, Smart Meter, ENHAT, SCADA, energy saving.

1. Kirish (Introduction)

Har qanday sanoat korxonasida, xususan, ishlab chiqarish jarayoni uzluksiz xarakterga ega bo'lgan korxonalarda solishtirma energiya sarfini kamaytirishning asosiy yo'nalishlaridan biri progressiv me'yorlash tizimini joriy etishdan iborat. Mazkur tizim elektr energiyasining solishtirma sarfi ko'rsatkichlarining ilmiy asoslangan qiymatlari va ularning shakllanish qonuniyatlarini, elektr energiyasi sarfini me'yorlash jarayonida foydalaniladigan tashkiliy-uslubiy va yo'riqnoma hujjatlarini, shuningdek, ishlab chiqarish jarayonida elektr energiyasi iste'moli samaradorligini oshirishga qaratilgan tashkiliy-texnik tadbirlarni o'z ichiga oladi.

Mamlakatimizda sanoat korxonalarida elektr energiyasi iste'molini me'yorlashning zamonaviy holati tahlili shuni ko'rsatadiki, sovet davrida, xususan, 1979-yilda qabul qilingan me'yoriy hujjatlardan foydalanilgan bo'lib, ular bugungi kun talablariga to'liq javob bermaydi. Mamlakat iqtisodiyotining postsovet davridagi jadal rivojlanishi va sanoat korxonalarining ishlab chiqarish jarayonlariga avtomatlashtirishning keng joriy etilishi energiya iste'molini boshqarishning zamonaviy yondashuvlarini talab etmoqda. Biroq mahalliy mahsulot ishlab chiqarishda energiya sarfining yuqori darajada saqlanib qolayotgani ushbu me'yoriy hujjatlarni takomillashtirish zaruratini yuzaga keltirgan.

Shu maqsadda O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining "O'zneftgazinspeksiya" va "O'zenergoinspeksiya" tashkilotlari tomonidan O'zbekiston Respublikasi iqtisodiyot tarmoqlarida yoqilg'i-energetika resurslarini me'yorlash tartibi ishlab chiqilgan. Ushbu dissertatsiya muallifi mazkur hujjatni ishlab chiqishda ishtirok etgan hamda muallif tomonidan ishlab chiqilgan va takomillashtirilgan uslublar asosida hisoblangan ishlab chiqarilayotgan mahsulot birligiga elektr energiyasi sarfi me'yorlarini aniqlash metodikasini ushbu Tartibga kiritish taklifini olgan.

Qabul qilingan hujjat sanoat korxonalarida turli xil energiya iste'molini ratsionalizatsiya qilish bo'yicha yagona metodologik yondashuvni belgilaydi. Bundan tashqari, mazkur Tartib korxonalar tomonidan ishlab chiqariladigan mahsulot turlari bo'yicha yoqilg'i-energetika resurslari (YOER) sarfini qisqartirishga qaratilgan tashkiliy chora-tadbirlar va standartlarni belgilovchi tarmoq metodikalari

hamda uslubiy ko'rsatmalarni ishlab chiqish va tahlil qilish imkonini beradi. Mazkur Tartib 2020-yil 1-noyabrdan amalga kiritilgan bo'lib, 2021-yil 1-yanvardan boshlab iqtisodiyot tarmoqlarida yoqilg'i-energetika resurslari iste'moli to'g'risidagi ma'lumotlar har chorakda tahlil qilinadi.

Shu bilan birga, elektr energiyasi iste'molini ratsional boshqarish algoritmini qo'llash korxonalarda energiya resurslaridan samarali foydalanish, yuklama grafigini optimallashtirish va energiya isroflarini kamaytirish imkonini beradi. Mazkur algoritmi real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish, ularni tahlil qilish, yuklama holatini baholash hamda tegishli boshqaruv ta'sirlarini amalga oshirish bosqichlaridan tashkil topadi. Bunday yondashuv elektr energiyasi iste'molini belgilangan me'yorlar asosida nazorat qilish bilan bir qatorda, yuklamalarni oqilona taqsimlash, energiya sarfini optimallashtirish va energiya tizimining iqtisodiy hamda texnik samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

2. Usul va materiallar (Methods and materials)

Elektr energiyasining solishtirma sarfiga ta'sir etuvchi omillarni baholash usuli.

Elektr energiyasidan foydalanish samaradorligini oshirish va energiya tejash zaxiralarini aniqlash masalasini hal qilishda mahsulot ishlab chiqarish uchun elektr energiyasining ilmiy asoslangan solishtirma sarfini aniqlash asosiy rol o'ynaydi. Elektr energiyasi solishtirma sarfining ilmiy asoslangan me'yorlari korxonaning elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojini yuqori aniqlikda aniqlash imkonini beradi. Bunda elektr energiyasi iste'moliga ta'sir etuvchi ham asosiy, ham yordamchi omillarni hisobga olish zarur. Ularning elektr energiyasining solishtirma sarfiga ta'sir darajasini aniqlash uchun ehtimollar nazariyasi va matematik statistika usullari qo'llaniladi [1, 2].

Solishtirma elektr iste'moli miqdorini quyidagi ko'rinishdagi ko'phad bilan ifodalash mumkin:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n, \quad (1)$$

bu yerda $Y = d$ - yakuniy mahsulotni ishlab chiqarishda elektr energiyasining solishtirma sarfi, kVt·soat/t; $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ - regressiya tenglamasining koeffitsiyentlari; $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ - ta'sir etuvchi omillar.

Avval bajarilgan ishlar natijalarini tahlil qilish natijalariga ko'ra [3, 4] va belgilangan muammoni hal qilish uchun taklif etilayotgan yondashuvlarni hisobga olgan holda, dissertatsiya muallifi barcha ta'sir etuvchi omillarni (energetik, texnologik, ekspluatatsion va boshqalar) ikki guruhga, asosiy va yordamchi [5, 6]:

- texnologik sxemaning xususiyatlari,
- uskunaning texnologik rejimi,
- unumdorlik,
- mahsulot sifati,
- xomashyo sifati,
- uskunaning texnik holati,
- uning yuklanish darajasi.

Yordamchi omillar Elektr energiyasining solishtirma sarfiga ta'sir qiluvchi omillar quyidagilardir: mavsumiylik, mahsulot va xomashyo sifatining tasodifiy o'zgarishlari, texnologiyadan tasodifiy og'ishlar, uskunalar holatining o'zgarishi, atrof-muhit parametrlarining o'zgarishi.

Avvalgi ishlarda mutlaq va solishtirma elektr iste'molini hisoblashda faqat ikkita asosiy omil - soatlik unumdorlik va ishlab chiqarilayotgan mahsulot hajmi hisobga olingan edi. Real sharoitlarda esa iste'mol qilinayotgan quvvat va energiya miqdoriga tasodifiy va vaqtincha ta'sir etuvchi boshqa omillarning talaygina soni sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Bunday omillarga quyidagilar kiradi: atrof-muhit yoki qayta ishlash mahsulotlarining harorati, namlik va qayta ishlash mahsulotlarining yirikligi, materialning qattiqligi va boshqalar.

Matematik statistika usullari muvofiqlik mezonlari yordamida o'zgaruvchan mahsulot assortimenti sharoitida elektr energiyasi iste'moli samaradorligini obyektiv baholash va energetik, texnologik va ekspluatatsion omillarning elektr energiyasi iste'moli ko'rsatkichlariga ta'sirini baholash imkonini beradi [7, 8].

Har bir omilning ta'sirini alohida-alohida tadqiq qilish bilan birga, ularning birgalikdagi ta'sirini baholash zarur, chunki ishlab chiqarish sharoitida barcha omillar o'zaro bog'liq va bir vaqtda ta'sir ko'rsatadi. Energetik parametrlarni tahlil qilish, tasniflash va hisoblash uchun matematik statistika usullarini qo'llash o'zaro bog'liq bo'lgan turli xil energetik, texnologik va ekspluatatsion omillarning ko'pligi bilan murakkablashadi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, qo'yilgan masalani yechishning barcha mavjud usullaridan regressiya qadamli usulidan foydalanish maqsadga muvofiq. Bu usul hisoblash nuqtayi nazaridan tejamkor bo'lib, barcha mumkin bo'lgan regressiya usuli, istisno usuli jihatlari o'z ichiga oladi, shuningdek, amaliy foydalanish uchun yaroqli bo'lgan o'rganilayotgan obyektning adekvat matematik modelini olish imkonini beradi [9].

Taklif etilayotgan usul metallurgiya korxonasining po'lat eritish ishlab chiqarishida elektr energiyasining solishtirma sarfiga ta'sir etuvchi omillarni tahlil qilishda sinovdan o'tkazildi.

Olingan hisob-tajriba ma'lumotlari va 2018-2020-yillar oralig'idagi operativ ma'lumotlar asosida 874 ta po'lat eritishning statistik tahlili o'tkazildi. Birlamchi ma'lumotlarni tanlash mezonlariga ko'ra, keyingi statistik ishlov berish uchun faqat 598 ta suyuqlanma tanlab olindi [9].

Tahlil natijalariga ko'ra, quyidagi omillar inobatga olindi:

F_1 - pechning yuklanishi, t;

F_2 - yuklab jo'natilgan metall miqdori, t;

F_3 - yuklanayotgan metall shixtaning massasi, t;

F_4 - metall eritish davomiyligi, daqiqa;

F_5 - tok ostida ishlash davomiyligi, daqiqa;

F_6 - birlamchi shixtadagi yirik lomning ulushi, %;

F_7 - birlamchi shixtadagi o'rtacha lomning ulushi, %;

F_8 - birlamchi shixtadagi mayda lomning ulushi, %;

F_9 - pechning to'xtab turish davomiyligi, daqiqa;

F_{10} - eritish massasi, t.

1-jadval. Texnologik liniyalar bo'yicha elektr energiyasining solishtirma va mutlaq sarflari me'yorlarining yiriklashtirilgan ko'rsatkichlari.

Table 1. Aggregated indicators of specific and absolute electricity consumption standards for technological production lines.

No	Mahsulot ishlab chiqarishning texnologik liniyasi	P, t	P ^t , t	W, ming kVt/oy	±W, ming kVt/oy	d, kVt/t	± d, kVt·soat/t
1	P10	3500	4500	420	±30	110	±7
2	P12	3500	4500	600	±30	90	±6
3	P14	3500	4500	720	±30	100	±9
4	P18	3500	4500	770	±20	90	±10
5	P20	3500	4500	830	±10	110	±7

2-jadval. Omillarning korrelyatsion matritsasi

Table 2. Correlation matrix of the factors

F	e	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
e	1,000	0,129	0,149	0,220	0,457	0,921	0,005	-0,025	0,024	0,921	1,000
F_1	0,129	1,000	0,793	0,567	0,028	0,134	-0,006	0,012	-0,011	0,134	0,129
F_2	0,149	0,793	1,000	0,701	0,070	0,153	-0,042	-0,002	0,009	0,153	0,149
F_3	0,220	0,567	0,701	1,000	0,125	0,227	-0,026	-0,001	0,006	0,227	0,220
F_4	0,457	0,028	0,070	0,125	1,000	0,497	0,053	-0,003	-0,005	0,497	0,457
F_5	0,921	0,134	0,153	0,227	0,497	1,000	0,032	-0,013	0,008	1,000	0,921
F_6	0,005	-0,006	-0,042	-0,026	0,053	0,032	1,000	-0,125	-0,034	0,032	0,005
F_7	-0,025	0,012	-0,002	-0,001	-0,003	-0,013	-0,125	1,000	-0,987	-0,013	-0,025
F_8	0,024	-0,011	0,009	0,006	-0,005	0,008	-0,034	-0,987	1,000	0,008	0,024
F_9	0,921	0,134	0,153	0,227	0,497	1,000	0,032	-0,013	0,008	1,000	0,921
F_{10}	1,000	0,129	0,149	0,220	0,457	0,921	0,005	-0,025	0,024	0,921	1,000

Natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki, yuqorida keltirilgan omillar nafaqat elektr po'lat eritish ishlab chiqarishida, balki barcha metallurgiya korxonalarida asosiy hisoblanadi. Hisob-kitoblarning aniqligini oshirish maqsadida ko'p omilli regressiya usuli yordamida eng muhim omillar aniqlandi. Bunda olingan natijalar 3.2-jadvalda keltirilgan[10].

3.1-jadval ma'lumotlari asosida xulosa qilish mumkinki, qolgan omillarning ($F_1, F_2, F_3, F_4, F_6, F_7, F_8$) ta'siri ahamiyatsiz va beqaror bo'lib, korrelyatsiya koeffitsiyentlari 0,02-0,46 oralig'ida bo'ladi.

Matematik model bo'yicha asosiy ta'sir etuvchi omillarga bog'liq holda elektr iste'molining solishtirma sarfi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$e=B_0+B_1F_5-B_2F_9+B_3F_{10} \quad (2),$$

bu yerda: F_5 - tok ostida ishlash davomiyligi, F_9 - pechning to'xtab turish davomiyligi, F_{10} - eritish

massasi,

B_0, B_1, B_2, B_3 – regressiya tenglamasining olingan koeffitsiyentlari.

(3.36) ifodada regressiya tenglamasining B_0, B_1, B_2, B_3 koeffitsiyentlari noma'lumligicha qoladi. Bu koeffitsiyentlar eng kichik kvadratlar usulini qo'llash orqali aniqlanadi; bunda (3.7) matematik model quyidagi ko'rinishni oladi:

$$e = 257965,576 + 2838,082F_5 - 405,456F_9 + 1621,012F_{10}. \quad (3)$$

Modelning adekvatligi Fisher mezonini bo'yicha tekshiriladi.

$$F_{hisob} > F_{jadval}; \quad 594 > 434.$$

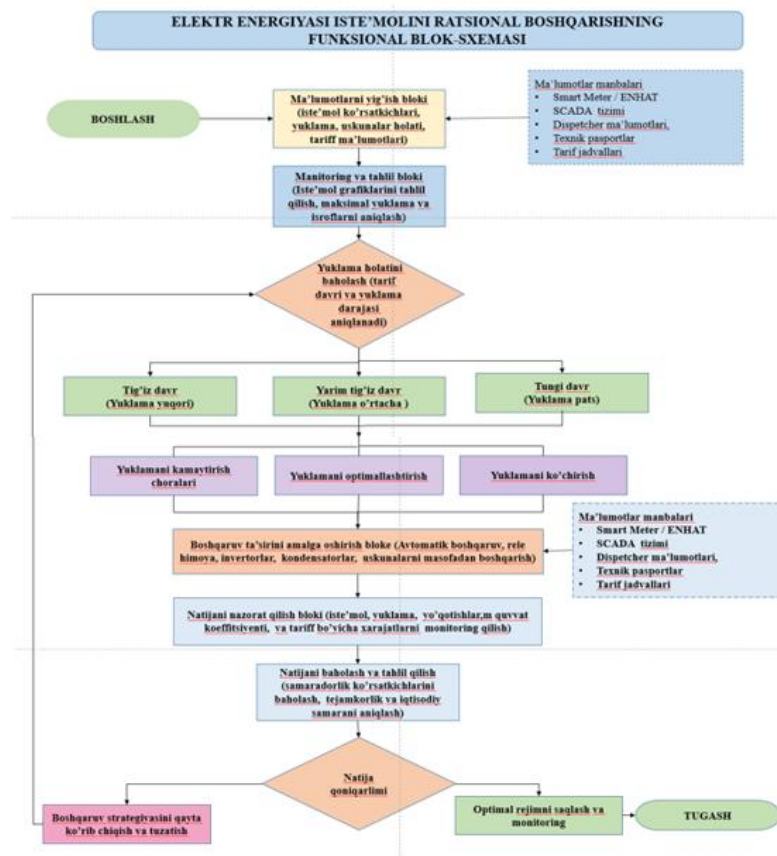
Ushbu shartning bajarilishi ishlab chiqilgan modelning yuqori darajadagi adekvatligini ko'rsatadi, unga ko'ra ta'sir etuvchi omillarni hisobga olgan holda elektr energiyasining solishtirma sarfining hisobiy qiymatlarini aniqlash mumkin.

(3.8) yordamida po'lat eritishda elektr energiyasining solishtirma sarfining hisobiy qiymatlari aniqlanadi. 3.3-jadvalda 3.2-rasmda grafik ko'rinishda ko'rsatilgan haqiqiy va hisoblangan ma'lumotlarning qiyosiy tahlili amalga oshiriladi. Bunda 3.4-band bo'yicha faktik ma'lumotlar sifatida 10 ta protokol suyuqlanmalari tanlandi[11].

3-jadval. Po'lat eritishda solishtirma elektr energiyasi sarfining haqiqiy va hisoblangan qiymatlari.

Table 3. Actual and calculated values of specific electricity consumption in steel production.

№ P/P	Elektr energiyasining solishtirma sarfi haqiqatda, ming kVt·soat	Modellashtiruvchilarning solishtirma elektr energiyasi sarfi ming kVt·soat/t	Prognoz xatoligi	
			Mutlaq, kVt·soat	Nisbiy, %
1	460	467	7	1,5
2	493	488	-5	-1,0
3	476	460	-16	-3,4
4	488	495	7	1,4
5	465	470	5	1,1
6	485	480	-5	-1,0
7	493	490	-3	-0,6
8	476	480	4	0,8
9	498	500	2	0,4
10	491	493	2	0,4



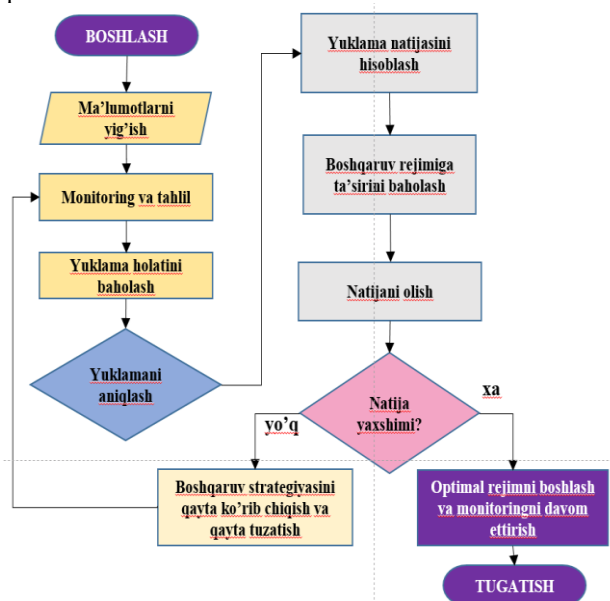
1-rasm: Elektr energiyasi iste'molini ratsional boshqarishning funksional blok sxemasi

Fig. 1. Functional Block Diagram of Rational Electricity Consumption Management

Haqiqiy va hisobiy qiymatlar xatoligi grafingining tahlili (3.3-rasm) shuni ko'rsatadiki, haqiqiy va hisobiy qiymatlar o'rtasidagi o'rtacha og'ish 1,9% oralig'ida bo'lib, bu po'lat eritishda elektr energiyasining solishtirma sarfini aniqlash uchun ishlab chiqilgan matematik modelning yuqori adekvatligini ko'rsatadi. Shu munosabat bilan uni elektr energiyasi solishtirma sarfining hisobiy qiymatlarini aniqlashda, xususan, elektr po'lat eritish ishlab chiqarishida qo'llash mumkin[12].

Tahlil natijalariga asosan yuklama holatini baholash bosqichi bajariladi. Ushbu bosqichda tarif davrlari va yuklama darajalari aniqlanadi. Algoritm yuklamani uchta asosiy davrga ajratadi: Shundan so'ng boshqaruv ta'sirini amalga oshirish bosqichi bajariladi. Ushbu bosqichda avtomatik boshqaruv tizimlari, rele himoyasi, inverterlar, kondensator qurilmalari hamda masofadan boshqarish vositalari orqali kerakli boshqaruv amallari bajariladi. Boshqaruv tizimi uskunalarini avtomatik ravishda ulash yoki uzish, reaktiv quvvatni kompensatsiyalash hamda yuklamalarni qayta taqsimlash imkonini beradi. Bu esa elektr tarmog'ining barqaror ishlashini ta'minlaydi.

Algoritmning keyingi bosqichi natijalarni nazorat qilishdan iborat. Ushbu jarayonda elektr energiyasi iste'moli, yuklama miqdori, quvvat koeffitsienti, energiya yo'qotishlari va tarif bo'yicha xarajatlar monitoring qilinadi. Olingan natijalar avvalgi ko'rsatkichlar bilan taqqoslanadi va energiya samaradorligi darajasi aniqlanadi.



2-rasm. Iste'mol qiymatlarini ratsional boshqarishning funksional blok sxemasi
Fig.2. Functional block diagram of rational management of consumption values

Natijalarni baholash va tahlil qilish bosqichida tizimning samaradorligi aniqlanadi. Bunda energiya tejamkorligi, iqtisodiy samaradorlik, yuklama grafingining tekislanish darajasi hamda elektr energiyasi isroflarining kamayishi asosiy mezon sifatida olinadi. Agar olingan natijalar qoniqarli bo'lsa, tizim optimal rejimda ishlashda davom etadi va doimiy monitoring amalga oshiriladi. 1-rasmda iste'mol qiymatlarini ratsional boshqarishning funksional blok sxemasi keltirilgan

Agar natijalar talab darajasida bo'lmasa, algoritm boshqaruv strategiyasini qayta ko'rib chiqish bosqichiga o'tadi. Bu bosqichda yuklama taqsimoti, tarif davrlari, boshqaruv parametrlar hamda uskunalar ish rejimlari qayta tahlil qilinadi va tizimga tuzatishlar kiritiladi. Shundan so'ng algoritm qayta monitoring bosqichiga o'tadi va jarayon takrorlanadi.

Keltirilgan usul energetik ko'rsatkichlarga ta'sir etuvchi turli xil omillar orasidan eng muhimlarini ajratib olish va ularning har biriga tegishli baho berish imkonini beradi. Shuningdek, u yuqorida keltirilgan barcha hisob-kitob variantlari uchun yagona hisoblanadi va solishtirma elektr iste'moli me'yorlarining tegishli natijaviy hisob-kitoblariga kiritilgan.

Shunday qilib, elektr energiyasining solishtirma sarfini aniqlashning taklif etilayotgan matematik modeli yetarli darajada adekvat bo'lib, ta'sir etuvchi omillarni hisobga olish elektr energiyasining solishtirma sarfini hisoblashning yuqori aniqligini ta'minlaydi[13].

3. Olingan samaradorlik va natija (Results and discussion)

Uzluksiz ishlab chiqarish xususiyatiga ega korxonalarda energiya xarajalarini kamaytirish.

Tadqiqot natijasida sanoat korxonalarida elektr energiyasi iste'molini baholash va me'yorlashning takomillashtirilgan yondashuvi ishlab chiqildi. Elektr energiyasining solishtirma sarfiga ta'sir etuvchi omillar tizimli ravishda tahlil qilinib, ularni asosiy va yordamchi guruhlariga ajratish orqali baholash

metodikasi taklif etildi. Bu yondashuv energiya iste'moliga ta'sir qiluvchi omillarni chuqurroq aniqlash va ularning o'zaro bog'liqligini hisobga olish imkonini berdi.

Ko'p omilli regressiya usulidan foydalanish asosida elektr energiyasi solishtirma sarfini aniqlovchi matematik model ishlab chiqildi. Hisob-kitoblar natijasida eng muhim ta'sir etuvchi omillar sifatida tok ostida ishlash davomiyligi, pechning to'xtab turish vaqti hamda eritma massasi aniqlanib, ular energiya sarfiga bevosita kuchli ta'sir ko'rsatishi isbotlandi. Modelning adekvatligi Fisher mezoni asosida tasdiqlanib, uning yuqori ishonchligi aniqlandi.

Taklif etilgan model asosida amalga oshirilgan hisoblashlar natijasida haqiqiy va hisobiy qiymatlar orasidagi o'rtacha og'ish atigi 1,9% ni tashkil etgani aniqlanib, bu modelning amaliy qo'llash uchun yuqori aniqlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Mazkur natija energiya iste'molini prognozlash va rejalashtirish jarayonlarida aniqlikni sezilarli darajada oshirish imkonini beradi.

Shuningdek, ishlab chiqilgan metodika asosida sanoat korxonalarida energiya sarfini kamaytirish bo'yicha samarali tashkiliy-texnik chora-tadbirlar yo'nalishlari taklif etildi. Ushbu yondashuv energiya tejash xarakterlarini aniqlash, energiya resurslaridan oqilona foydalanish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi [14].

Umuman olganda, tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida elektr energiyasi iste'molini optimallashtirish, energiya samaradorligini oshirish va zamonaviy me'yorlash tizimini shakllantirish uchun ilmiy asoslangan yechim sifatida tavsiya etiladi. 3.4-rasmda keltirilgan yo'nalishlar barcha korxonalar uchun maqbul bo'lib, ularning har biri doirasida amalga oshiriladigan tadbirlar ishlab chiqarish uzluksiz xarakterga ega bo'lgan sanoat korxonalari uchun ham samarali hisoblanadi. Quyida har bir yo'nalishning batafsil tavsifi keltirilgan.

"Elektr energiyasi isrofini kamaytirish" yo'nalishida amalga oshirilgan chora-tadbirlar tahlili (3.5-rasm) shuni ko'rsatadiki, ularni amalga oshirish korxonaning energiya iste'molini o'rtacha 3-5% ga kamaytirish imkonini beradi.

Masalan, qora metallurgiyada po'lat eritishda kuchlanishning nominal qiymatini ta'minlash quvvat isrofini sezilarli darajada kamaytiradi. Bundan tashqari, ishlab chiqarish uzluksiz xarakterga ega bo'lgan sanoat korxonalarida 80% uskunalar ishlab chiqarish jarayonining asosiy texnologik uskunalari hisoblanadi. Sifatli joriy va oraliq ta'mirlashlar nafaqat elektr energiyasi sarfini kamaytiradi, balki uskunaning xizmat muddatini ham uzaytiradi [15].

4. Xulosa (Conclusion)

1. Sanoat korxonalarida elektr energiyasi iste'molini me'yorlashda mavjud ekspert baholash usullari sezilarli xatoliklarga olib kelishi mumkin. Shu sababli, zamonaviy matematik-statistik usullardan foydalanish zarur.

2. Regressiya-korrelatsiya tahlili orqali elektr energiyasining solishtirma sarfiga eng ko'p ta'sir etuvchi asosiy omillar aniqlandi. Ko'plab omillarni hisobga olish esa hisoblash xatoligini oshirishi mumkinligi ko'rsatildi.

3. Elektr energiyasi iste'molini optimallashtirishga asoslangan boshqaruv algoritmi ishlab chiqilib, Smart Meter, ENHAT va SCADA tizimlari asosida real vaqt rejimida monitoring va boshqaruv imkoniyati yaratildi.

4. Taklif etilgan algoritm yuklama grafiklarini optimallashtirish, differensiallashgan tariflardan samarali foydalanish, elektr energiyasi yo'qotishlari va xarajatlarini kamaytirish hamda energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi.

5. Ishlab chiqilgan yondashuvlar sanoat korxonalari va yirik elektr energiyasi iste'molchilarida energiya resurslaridan oqilona foydalanish hamda elektr ta'minoti tizimining ishonchligini oshirish uchun tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR

1. Fayziyev, M., Tuychiev, F., Mustayev, R., & Ochilov, Y. (2023). Development and research of non-contact starting devices for electric consumers and motors. In E3S Web of Conferences (Vol. 384, p. 01038). EDP Sciences.
2. Fayziyev, M., Ochilov, Y., Nimatov, K., & Mustayev, R. (2023). Analysis of payment priority for electricity consumed in industrial enterprises on the base of classified tariffs. In E3S Web of Conferences (Vol. 384, p. 01039). EDP Sciences.
3. Mirzanovich, B. T., & Bakhridinov, N. K. (2022). Investigating Insects with Light Diode Lights for Fish Food. The Peerian Journal, 6, 75-80.
4. Tashatov, A. K., Beytullayeva, R. X., Ungbayevich, T. T., Pardayevich, U. A., & Yunus, O. (2020, September). Comparison of parameters of heteroepitaxial structures. In IOP Conference Series. Materials Science and Engineering (Vol. 919, No. 2). IOP Publishing.

5. Makhmutkhanov, S., Ochilov, Y., Nurov, H., & Kurbonazarov, S. (2024, June). Increasing the environmental cleanness of industrial enterprises. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1). AIP Publishing.
6. Бобожанов, М. К., Эшмуродов, З. О., & Очилов, Ю. О. (2023). Қайта тикланадиган энергия манбаларидан Ғойдаланган ҳолда, дифференциаллашган тарифларга уланган истеъмолчилар самарадорлигини оширишни тадқиқ қилиш. *Journal of Advances in Engineering Technology*, (4), 55-59.
7. Бейтуллаева, Р. Х., Очилов, Ю. О., Курбонов, Н. А., & Мухаммадиев, Ш. М. (2020). Факторы, влияющие на качество напряжения в кабельных сетях 6-10 кВ. ББК 72 П115, 17.
8. Бейтуллаева, Р. Х., Тошев, Т. У., & Бобоназаров, Б. С. (2019). Требования надёжности электроснабжения для образовательных учреждений. In *Colloquium-journal* (No. 9-2, pp. 29-29). Голопристанский мисскрайонный центр занятости= Голопристанский районный центр занятости.
9. Очилов, Ю. О., & Бегимкулов, С. А. (2025). Муқобил энергия манбалари ва дифференциаллашган тарифлар орқали электр таъминоти тизимининг самарадорлигини ошириш. *Ilm fan taraqqiyotida raqamli iqtisodiyot va zamonaviy ta'limning o'rni hamda rivojlanish omillari*, 56-63.
10. Fayziyev, M., Bobojanov, M., & Ochilov, Y. (2022). Elektr energiya uchun to'lovlarni tabaqalashtirilgan tariflar asosida to'lash samaradorligining tahlili. *Innovatsion texnologiyalar*, 47, 7-10.
11. Ochilov, Y. O., & Saparov, A. X. (2025). Sustainable development in industry and energy: analysis of green solutions and calculation methods.
12. Ochilov, Y. (2022). Improving the operational efficiency of oil wells by electrical processing bottom-hole zone. *Science and innovation*, 1(A7), 384-389.
13. Shevelyov, A. A., Ashurov, F. R., Kantarbayev, S. U., Xo'janazarov, S. A., & Ochilov, Y. O. (2025). Technological breakthrough in the field of unmanned systems: creation of highly maneuverable drones. *FARS International Journal of Education, Social Science & Humanities.*, 13(6), 254-261.
14. Bobojanov, M., & Ochilov, Y. (2023). A complete analysis of the module program to assess the reduction of electricity emissions in distribution transformers with extensive use of the differential tariff system. *Theoretical Aspects in the Formation of Pedagogical Sciences*, 2(18), 152-157.
15. Очилов, Ю. О., & Бобожанов, М. К. (2023). Analysis of Opportunities to Reduce Energy Waste in Distribution Transformers By Applying Time-Differentiated Tariffs. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 10(10), 21118-21123.

REFERENCES

1. Fayziyev, M., Tuychiev, F., Mustayev, R., & Ochilov, Y. (2023). Development and research of non-contact starting devices for electric consumers and motors. *E3S Web of Conferences*, 384, 01038. EDP Sciences.
2. Fayziyev, M., Ochilov, Y., Nimatov, K., & Mustayev, R. (2023). Analysis of payment priority for electricity consumed in industrial enterprises on the basis of classified tariffs. *E3S Web of Conferences*, 384, 01039. EDP Sciences.
3. Mirzanovich, B. T., & Bakhridinovich, N. K. (2022). Investigating insects with light diode lights for fish food. *The Peerian Journal*, 6, 75-80.
4. Tashatov, A. K., Beytullayeva, R. X., Ungbayevich, T. T., Pardayevich, U. A., & Yunus, O. (2020). Comparison of parameters of heteroepitaxial structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919(2). IOP Publishing.
5. Makhmutkhanov, S., Ochilov, Y., Nurov, H., & Kurbonazarov, S. (2024). Increasing the environmental cleanness of industrial enterprises. *AIP Conference Proceedings*, 3152(1). AIP Publishing.
6. Bobojanov, M. K., Eshmurodov, Z. O., & Ochilov, Y. O. (2023). Study of improving the efficiency of consumers connected to differentiated tariffs using renewable energy sources. *Journal of Advances in Engineering Technology*, (4), 55-59.
7. Beytullayeva, R. X., Ochilov, Y. O., Kurbonov, N. A., & Mukhammadiev, Sh. M. (2020). Factors affecting voltage quality in 6-10 kV cable networks. ББК 72 П115, 17. [in Russian]
8. Beytullayeva, R. X., Toshev, T. U., & Bobonazarov, B. S. (2019). Reliability requirements for power supply of educational institutions. *Colloquium-journal*, (9-2), 29.
9. Ochilov, Y. O., & Begimkulov, S. A. (2025). Improving the efficiency of power supply systems through renewable energy sources and differentiated tariffs. *The Role and Development Factors of Digital Economy and Modern Education in the Development of Science*, 6(1), 56-63.
10. Fayziyev, M., Bobojanov, M., & Ochilov, Y. (2022). Analysis of the efficiency of electricity payment based on differentiated tariffs. *Innovative Technologies*, 47, 7-10.
11. Ochilov, Y. O., & Saparov, A. X. (2025). Sustainable development in industry and energy: Analysis of green solutions and calculation methods.
12. Ochilov, Y. (2022). Improving the operational efficiency of oil wells by electrical processing of the bottom-hole zone. *Science and Innovation*, 1(A7), 384-389.

13. Shevelyov, A. A., Ashurov, F. R., Kantarbayev, S. U., Xo'janazarov, S. A., & Ochilov, Y. O. (2025). Technological breakthrough in the field of unmanned systems: Creation of highly maneuverable drones. *FARS International Journal of Education, Social Science & Humanities*, 13(6), 254–261.
14. Bobojanov, M., & Ochilov, Y. (2023). A complete analysis of the module program to assess the reduction of electricity losses in distribution transformers with extensive use of the differential tariff system. *Theoretical Aspects in the Formation of Pedagogical Sciences*, 2(18), 152–157.
15. Ochilov, Y. O., & Bobojanov, M. K. (2023). Analysis of opportunities to reduce energy waste in distribution transformers by applying time-differentiated tariffs. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 10(10), 21118–21123.