

UO‘K: 621.365.3

ELEKTRDA PO‘LAT ERITISHDA ELEKTRODLAR HARAKATINI ROSTLASH QURILMASI

Raxmonov Ikromjon Usmonovich – texnika fanlari doktori (DSc), professor,

ORCID: 0000-0003-2076-5919, E-mail: raxmonov.ikromjon@tdtu.uz

Qorjobova Mahzuna Faxriddin qizi – doktorant (PhD),

ORCID: 0009-0001-2959-9585, E-mail: mahzunaqorjobova@gmail.com

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektrda po‘lat eritish pechlarida energiya samaradorligini oshirish masalasi tahlil qilingan. Tadqiqotda aynan elektrda po‘lat eritish jarayonida elektr energiyasi sarfiga bevosita ta‘sir ko‘rsatuvchi elektrodlar harakatini rostdash va boshqarish mavjud holati ko‘rib chiqilgan. O‘zbekistondagi mavjud elektrda po‘lat eritish texnologik jarayonida elektr energiyasi iste‘moli jahondagi ko‘rsatkichlar bilan taqqoslangan. Natijada, respublikadagi elektrda po‘lat eritish pechlarida 1 tonna po‘latga to‘g‘ri keluvchi elektr energiyasining solishtirma sarf ko‘rsatkichi o‘rtacha 530-550 kVt·soatni tashkil etib, jahon davlatlaridagi ko‘rsatkichga qaraganda 47% yuqoriligi tahlil qilindi. Shu sababli, maqolada elektr yoy parametrlarining keskin va noxiziqli o‘zgarishi sharoitida samarali boshqaruvni ta‘minlovchi sun‘iy intellektning Fuzzy boshqaruv tizimiga asoslangan yangi avtomatik elektrodlar harakatini rostdash qurilmasining strukturaviy hamda funksional sxemasi ishlab chiqilgan. Amaldagi tok va kuchlanish transformatorlar vazifasini bajaruvchi transreaktorni qisqa tutashtirilgan tarmoqqa o‘rnatish asosida kerakli bo‘lgan birlamchi kirishi parametrlari Fuzzy boshqaruv tizimiga uzatildi. Tadqiqot natijalari taklif etilgan qurilmaning elektr yoy toki va kuchlanishi keskin o‘zgarganda ham, mavjud analoglarga nisbatan tezkorlik va aniqlik jihatidan ustunligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: elektrda po‘lat eritish pechi, elektrodlar harakati, quvvat regulyatori, rostdash va boshqarish qurilmasi, elektr yoy uzunligi, Fuzzy mantig‘i, transreaktor, kontroller.

UDK: 621.365.3

ELECTRODE MOVEMENT CONTROL DEVICE IN ELECTRIC STEELMAKING FURNACES

Rakhmonov, Ikromjon Usmonovich – Doctor of Technical Sciences (DSc), Professor

Korjobova, Makhzuna Fakhridin kizi – Doctoral student (PhD)

Tashkent State Technical University, Tashkent city, Uzbekistan

Abstract. This article examines the issue of improving energy efficiency in electric arc furnaces (EAFs). The study focuses on the current state of controlling and regulating electrode movement, which directly affects electrical energy consumption during the electric steelmaking process. The energy consumption levels in Uzbekistan’s existing EAF-based steelmaking processes are compared with global indicators. As a result, it was found that the specific energy consumption for producing one ton of steel in Uzbekistan’s EAFs averages 530–550 kWh, which is approximately 47% higher than global benchmarks. Therefore, the article proposes a new structural and functional scheme of an automatic electrode movement control system based on Fuzzy logic, which ensures effective control under sharp and nonlinear changes in arc parameters. The system transmits the necessary input parameters to the Fuzzy logic controller via a short-circuited network through a trans-reactor that functions as a current and voltage transformer. The results of the study demonstrate that the proposed system responds faster and more accurately to dynamic changes in arc current and voltage compared to existing analogues.

Keywords: electric arc furnace, electrode movement, power regulator, control and regulation device, arc length, fuzzy logic, trans-reactor, controller.

UDK: 621.365.3

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДОВ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Рахмонов Икромжон Усмонович – доктор технических наук (DSc), профессор
Коржובה Махзуна Фахриддиновна – докторант (PhD)

Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан

***Аннотация.** В данной статье проанализирована проблема повышения энергоэффективности в электродуговых сталеплавильных печах. В исследовании рассмотрено текущее состояние регулирования и управления движением электродов, оказывающее прямое влияние на потребление электроэнергии в процессе выплавки стали. Проведено сравнение уровня энергопотребления в существующих технологических процессах электродуговой сталеплавки в Узбекистане с международными показателями. Установлено, что в республике средний удельный расход электроэнергии на производство 1 тонны стали составляет 530–550 кВт·ч, что на 47% превышает показатели в зарубежных странах. В связи с этим в статье представлена новая структурная и функциональная схема автоматического устройства регулирования движения электродов на основе системы управления с использованием нечеткой логики (Fuzzy Logic), обеспечивающей эффективное управление в условиях резких и нелинейных изменений параметров электрической дуги. Первичные входные параметры передаются в систему управления Fuzzy через трансреактор, установленный на короткозамкнутом участке, выполняющий функции измерительных трансформаторов тока и напряжения. Результаты исследования показали, что предложенное устройство превосходит существующие аналоги по точности и быстрдействию при резких изменениях тока и напряжения дуги.*

***Ключевые слова:** электродуговая печь, движение электродов, регулятор мощности, устройство регулирования и управления, длина электрической дуги, нечеткая логика, трансреактор, контроллер.*

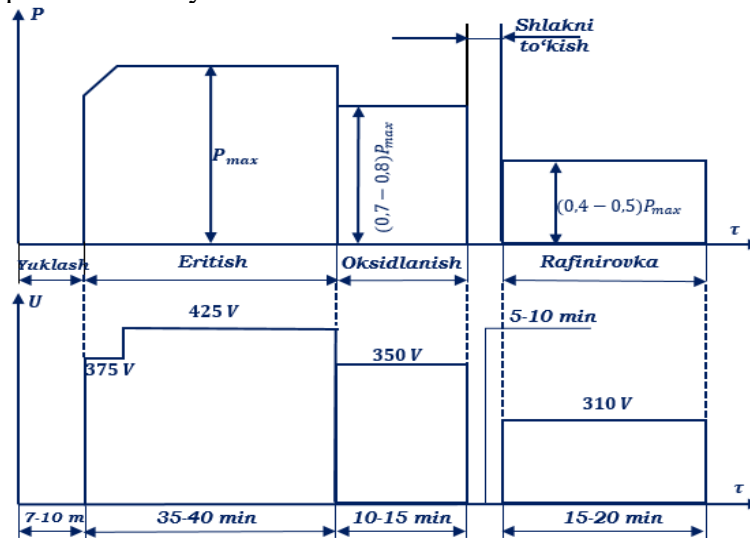
Kirish

Bugungi kunda qora metallurgiya tarmog'ida elektrda po'lat eritish texnologiyasi alohida ahamiyat kasb etuvchi jarayonlardan biri hisoblanadi. Bunga sabab, yildan-yilga respublikada urbanizatsiyalashtirish va aholi sonining ortishi asnosida po'lat mahsulotlariga bo'lgan talabning ortishi hamda elektrda po'lat eritish energiya sig'imi yuqori bo'lgan texnologik jarayon hisoblanadi. Quyidagi 1-rasmda elektrda po'lat eritish sexida birlamchi shixtani eritish va ishlov berishning texnologik jarayoni ketma-ketligi strukturasi keltirilgan bo'lib, elektrda po'lat eritish sexining texnologik kartasiga ko'ra, yarim tayyor mahsulotgacha bo'lgan umumiy vaqtning o'rtacha 55% ulushi aynan elektrda po'lat eritish agregati – pechda (EPEPda) birlamchi shixtani eritishga sarflanmoqda. Bu esa o'z navbatida elektrda po'lat eritish pechida energiya samaradorligini oshirish zarurligini bildiradi.

Ma'lumki, energiya samaradorligini tavsiflovchi asosiy ko'rsatkichlarga – mahsulot birligiga to'g'ri keluvchi elektr energiyasining solishtirma sarf ko'rsatkichi, quvvat isroflari hamda ekologik ko'rsatkichlar kiradi. Quvvat isroflari va ekologik ko'rsatkichlar ko'p jihatdan mahsulot birligiga to'g'ri keluvchi elektr energiyasining solishtirma sarf ko'rsatkichi bilan bog'liq holda o'zgaradi. Bugungi kunda O'zbekistonda mavjud metallurgiya korxonalarida 1 tonna mahsulotga to'g'ri keluvchi solishtirma sarf ko'rsatkichi jahondagi o'rtacha ushbu ko'rsatkichga qaraganda 1,5-2 barobar yuqori. Jahon stadartlariga ko'ra, metallurgiya korxonalarida 1 tonna mahsulotga to'g'ri keluvchi elektr energiyasining solishtirma sarf ko'rsatkichini ruxsat etilgan qiymati 349 kVt·soat deb belgilangan. O'zbekistonda aynan EPEPlarda 1 tonna po'latni eritishda o'rtacha 530 kVt·soat elektr energiyasi iste'mol qilinmoqda. Jahonda esa ko'rsatkich o'rtacha 420 kVt·soatni tashkil etadi.

Bu esa O'zbekistondagi EPEPlarida 1 tonna mahsulotga to'g'ri keluvchi elektr energiyasining solishtirma sarf ko'rsatkichini ruxsat etilgan qiymatdan 47% yuqori ekanligini yaqqol ifodalab, elektrda po'lat eritish pechlarida po'lat eritish texnologik jarayonini boshqarish va rostlash usullarini

tadqiq qilish hamda zamonaviy sun'iy intellektga asoslangan avtomatik rostlash va boshqarish tizimlarini ishlab chiqish zaruratini yanada oshiradi.



1-rasm. Elektrda po'lat eritish sexining texnologik kartasi.

Asosiy qism

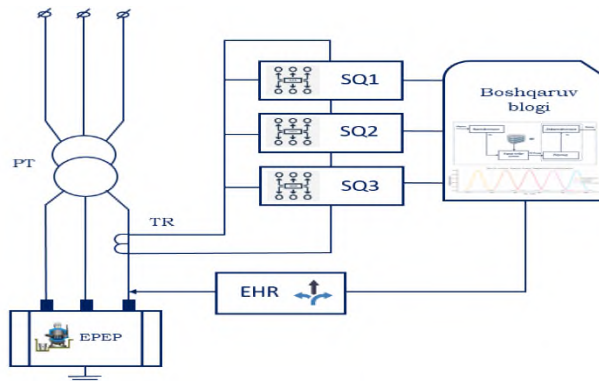
Bugungi kunda EPEPlarda elektrodlar harakatini rostlash va boshqarish orqali energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan turli xil rostlash qurilmalari va boshqaruv tizimlari qo'llanilmoqda [5, 8, 11, 15, 27], bular:

- elektrodlar harakati va joylashish pozitsiyasini elektrogidravlik va elektromexanik quvvat regulyatorlari orqali rostlash;
- an'anaviy kontrollerlar (PID-proporsional-integral hosilaviy, PD-proporsional xosilaviy, PI-proporsional integral) yordamida elektrodlar harakati boshqarish;
- sun'iy intellekt (*Fuzzy* mantig'i, *Neyron* tarmoq, *Genetik algoritim*, *Neyro-Fuzzy* va *Adaptiv boshqaruv*) yordamida elektrodlar harakatini boshqarishni amalga oshirmoqda.

EPEPlarda birlamchi shixtani eritish jarayoni bevosita elektrodlar harakatini rostlovchi quvvat regulyatorlariga bog'liqdir. Po'lat eritish pechining ishlash rejimi asosan quvvat regulyatorining xarakteristikalariga bog'liq bo'lib, ular elektr yoyini barqaror hosil qilish, og'ir massali elektrodni yuqori tezlikda vertikal harakatlantirishda ishlatilib kelinmoqda. Lekin po'lat eritish jarayoni ko'p pog'onali hamda noxiziqli murakkab texnologik jarayon bo'lib, texnologik jarayonning noxiziqiligi tufayli yoyning elektr parametrlari qisqa muddatda keskin o'zgarib turadi. Shunday murakkab jarayonda esa aynan elektrodning optimal harakatini rostlash va elektr yoy uzunligini maqbul diapazonda saqlash jarayoni murakkablashadi. Bunday murakkab jarayonda esa amaliyotda qo'llanilayotgan regulyatorlar yordamida elektrodlar harakatini ma'lum bir tezlikda aniq rostlash hamda elektrodlar va birlamchi shixta o'rtasida elektr yoy uzunligini aniq diapazonda saqlash yuqori murakkablikni paydo qiladi. Shuningdek, elektrda po'lat eritish jarayonida elektrodlar sinishi va ularning shikastlanishiga sabab bo'lib, texnologik jarayonda uzulishlar tufayli 1 tonna po'latga to'g'ri keluvchi elektr energiyasining solishtirma sarf ko'rsatkichini ortishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida sun'iy intellektga integratsiya qilingan zamonaviy elektrodlar harakatini rostlash va boshqarish kompleks tarzda nazorat qiluvchi qurilma ishlab chiqish zaruratini keltirib chiqaradi.

Yuqorida keltirilgan murakkabliklarni bartaraf etish masalasida elektrda po'lat eritish jarayonida elektrodlar harakatini zamonaviy sun'iy intellektga asoslangan boshqaruv tizimiga ega avtomatik rostlovchi qurilma ishlab chiqildi (2-rasm).

2-rasmda elektrodlar harakatini avtomatik rostlash qurilmasining strukturaviy sxemasi keltirilgan bo'lib, bunda elektr yoy toki va kuchlanishi o'zgaruvchan parametrlar sifatida qabul qilinib, shunga mos holda elektrodlar harakatini rostlash vazifasi bajariladi. Taklif etilayotgan sxema mavjud sxemalardan farqli ravishda, maxsus transformatorning past kuchlanishi tomonida qisqa tutashirilgan tarmoqqa ulangan transreaktor, sezgir blokda o'rnatilgan relelar va boshqaruv blogida *Fuzzy* mantig'i boshqaruv mexanizmiga ega kontrollerdan tashkil topgan.

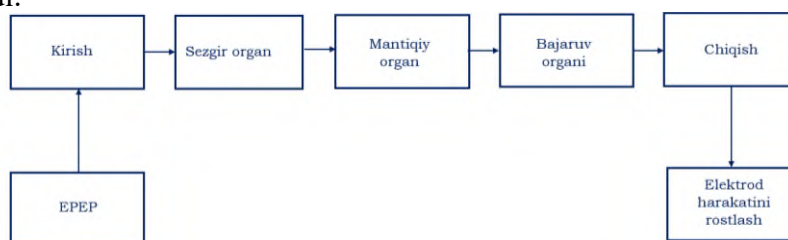


2-rasm. Elektrodlar harakatini rostdash qurilmasining strukturaviy ko‘rinishi.

Mazkur sxema elektrda po‘lat eritish pechida *Fuzzy* mantiq‘ida ishlab chiqilgan qarorlar asosida elektr yoy quvvatini elektr yoy toki o‘zgarishiga bog‘liq holda yuritmalarga elektrodlar harakatini maqbul chegaralar asosida vertikal pastga yoki yuqoriga harakatlanish tezligini rostdash imkoniyatini beradi. Ishlab chiqilgan sxemaning ishlash prinsipi oddiyliigi bilan boshqa sxemalardan ajralib turadi (3-rasm).

Quyidagi rasmda elektrodlar harakatini avtomatik rostdash qurilmasining funksional sxemasi keltirilgan bo‘lib, ishlab chiqilgan *sxemaning ishlash ketma-ketligi quyidagicha*: Elektrda po‘lat eritish pechi maxsus transformatorining ikkilamchi chulg‘amida elektr yoy tokining ma‘lum bir qiymatiga mos holda ularning ishlashi uchun tok miqdorini avtomatik tarzda kuchlanishga aylantirib beruvchi qisqa tutashtirilgan tarmoqda o‘rnatilgan transrektordan kirish qiymati sezgir organga uzatiladi. Sezgir organ yarim o‘tgazgich elementlardan tashkil topgan. Bunda tiristorlarning boshqaruv elektrodida kuchlanish paydo bo‘lib, opto-relelarning svetodiodi ishga tushadi va kondensatorlar zaryadlanadi. Opto-releining normal ochiq kontakti yopilib, qo‘shimcha rezistorlarini shuntlaydi va natijada sezgir relelarning qaytish koeffitsiyenti kamayadi. Kuchlanish hisobiga sezgir organda tiristorlar kuchlanish qiymatini pog‘onalar asosida kuchlanish qiymatini o‘zgartirib uzatadi. Mantiqiy organida joylashgan zamonaviy kontrollerga kuchlanish qiymatini o‘zgartirgich element orqali 5-10 V kamaytirib uzatiladi va shu organda o‘rnatilgan *Fuzzy* mantiq‘i asosida elektrodlar harakati tezligi va elektr yoy uzunligini boshqaruv tizimining dasturi ishlab chiqilgan bo‘lib, u maxsus pech transformatorining ikkilamchi chulg‘amida elektr yoy toki va kuchlanish parametrlarining o‘zgarish diapazoni fuzzifikatsiya jarayoniga o‘qitiladi. O‘qitilgan elektr yoy parametr qiymatlariga mos holda chiquvchi elektrodlar harakati yo‘nalishi va tezligi hamda elektr yoy uzunligi qiymatlari defuzzifikatsiya qilinib, jarayonga mos holda yuritmalar orqali po‘lat eritish elektrodlar harakatini yuqoriga-pastga harakatlantiriladi. Natijada, amaliyotda mavjud EPEPda elektrodlar harakatini rostdash qurilmalaridan farqli ravishda elektr yoy toki va kuchlanishining kichik yoki keskin o‘zgarishlarida ham aniq va tezkor javob beruvchi muhit yaratiladi.

Tadqiqotda olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, ushbu rostdash qurilmasi yordamida elektr yoydagi keskin o‘zgarishlarga aniq javob beradigan, elektrodning optimal harakatini ta‘minlaydigan hamda elektr yoy uzunligini boshqa qurilmalarga qaraganda barqaror holatda saqlash vazifasini bajarish imkoniyatiga ega bo‘linadi. Bu esa elektrda po‘lat eritish jarayonida 1 tonna po‘latga to‘g‘ri keluvchi elektr energiyasining solishtirma sarf ko‘rsatkichini minimallashtirish imkoniyatini beradi.



3-rasm. Elektrodlar harakatini rostdash qurilmasining funksional ko‘rinishi.

Xulosa

Ushbu maqolada EPEP larda elektrodlar harakatining energiya samaradorligiga ta'siri hamda mavjud rostlash va boshqarish usullari tahlil qilindi. An'anaviy boshqaruv tizimlarida elektr yoy toki va kuchlanishining keskin va noxiziqli o'zgarishlari sharoitida aniq va tezkor boshqaruvni qiyinlashishi aniqlandi. Shu sababli, muammoga kompleks yechim sifatida elektrodlar harakatini rostlash va boshqarish uchun integratsiyalashgan intellektual qurilma ishlab chiqildi. Ushbu qurilmaning strukturaviy va funksional sxemasi yaratildi. Shuningdek, qurilmaning tarkibiga elektrodlar harakat tezligini optimallashtiruvchi va birlamchi metall va elektrodlar orasidagi elektr yoy uzunligini maqbul chegaralarda saqlashni ta'minlovchi tizim integratsiya qilindi. Taklif etilayotgan tizim mavjud tizimlardan farqli ravishda, elektr yoy parametrlarining o'zgaruvchan diapazonida barqaror rostlash va boshqarish imkoniyatini yaratdi. Bu esa o'z navbatida elektrda po'lat eritish jarayonining energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

- [1] Kozyra, J.; Lozynskyy, A.; Łukasik, Z.; Kuśmińska-Fijałkowska, A.; Kutsyk, A.; Kasha, L. Electric Arc Furnace Electrode Movement Control System Based on a Fuzzy Arc Length Identifier. *Energies* 2023, 16, 7281. <https://doi.org/10.3390/en16217281>
- [2] Maslov D.V., Development of algorithms and control systems for arc steel-smelting furnaces that reduce electrode breakdowns. PhD Thesis, 2014.
- [3] Yu-Jen Liu, Gary W. Chang, and Rong-Chin Hong, Curve-fitting -based method for modeling voltage current characteristic of an ac electric arc furnace, Elsevier, Electric Power Systems Research, Volume 80, Issue 7, July 2010, Pages 807-814.
- [4] Yeizabet Napoles-Baez, Guillermo Gonzalez-Yero, Ruben Martínez, Yunier Valeriano, JoseR. Nuñez-Alvarez, Yolanda Llosas-Albuerne. Modeling and control of the hydraulic actuator in a ladle furnace. *Heliyon* 8-2022 e11857. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11857>
- [5] Paranchuk, Y.; Jancarczyk, D.; Falat, P. Study and Analysis of Dynamics and Energy Efficiency of Arc Steelmaking Furnace Electrical Modewith a Fuzzy Control Algorithm. *Energies* 2023, 16, 3451. <https://doi.org/10.3390/en16083451>
- [6] Mahmood Moghadasian, Emad Al-Nasser.; Modelling and Control of Electrode System for an Electric Arc Furnace. 2nd International Conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET'2014), March 21-22, 2014 Dubai (UAE) <http://dx.doi.org/10.15242/IIE.E0314558>
- [7] C. Xinming, "The dynamic analysis for hydraulic system of EAF," *Industrial Heating*, vol.3, pp.1-5, 1980.
- [8] Nikolaev A.A., Tulupov P.G. and Astashova G.V. The comparative analysis of electrode control systems of electric arc furnaces and ladle furnaces, 2016 2nd Int. Conf. Ind. Eng. Appl. Manuf. (ICIEAM), pp. 1-7, 2016.
- [9] Rakhmonov I.U., Korjobova M.F., Kuwatbaev P.K. Fuzzy logic – based automatic control for efficient electrode movement system in electric arc furnaces (EAFs). *Vestnik nauki i obrozovaniya* 11 (154). Chapter 3. 2024.
- [10] Challenges in Electrode Usage in the Steelmaking Process. Rakhmonov I.U., Korjobova M.F., Kholixmatov B.B., Uzakov N.Ch. *E3S Web of Conferences*, 461, 01090 (2023) DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/2023 46101090. *RSES* 2023.
- [11] Рахмонов И.У., Коржобова М.Ф., Абдухалилов М.К., Отепбергенов Ш.Т. Анализ существующих подходов при выборе методов оценки эффективности управления энергопотреблением промышленных предприятий // «Проблемы современной науки и образования» научно-методический журнал. 2024. № 5 (192). С. 5-9.