# ELEKTR QARSHILIKLI ISSIQLIK PECHLARIDA QIZDIRUVCHI ELEMENTLAR PARAMETRLARINI OPTIMALLASHTIRISH VA SAMARADORLIK TAHLILI

**Axmadaliyev Utkirbek Akramjonovich**
*Muqobil energiya manbalari kafedrasi katta o'qituvchisi*
**Jahongirov Xurshidbek Jahongir o'g'li**
*Andijon davlat texnika instituti muqobil energiya manbalari kafedrasi 4-kurs talabasi*

**Annotatsiya:** Ushbu tadqiqotda elektr qarshilikli issiqlik pechlarida ishlatiladigan qizdiruvchi elementlarning asosiy elektr, issiqlik va konstruktiv parametrlari chuqur tahlil qilinadi. Qizdiruvchi element materialining turi, elektr qarshiligi, geometrik shakli va o'lchamlarining pechning umumiy samaradorligiga ta'siri o'rganiladi. Shuningdek, ishchi harorat rejimlari, issiqlik uzatish jarayonlari va energiya yo'qotish omillari baholanadi. Tadqiqot davomida energiya sarfini kamaytirish, qizdiruvchi elementlarning xizmat muddatini uzaytirish hamda pechning ishonchliligini oshirishga qaratilgan optimallashtirish usullari ko'rib chiqiladi. Olingan natijalar asosida elektr qarshilikli issiqlik pechlari uchun qizdiruvchi elementlarni tanlash va loyihalash bo'yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi. Ushbu ish sanoat va laboratoriya pechlarining energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** elektr qarshilikli issiqlik pechi, qizdiruvchi element, energiya samaradorligi, parametrlarni optimallashtirish, elektr qarshiligi, issiqlik almashinuvi, ishchi harorat rejimi, elektr energiyasi sarfi, issiqlik yo'qotishlari, pech samaradorligi, xizmat muddati, termik barqarorlik, konstruktsion xususiyatlari.

**Аннотация:** В данном исследовании представлен углубленный анализ основных электрических, тепловых и конструктивных параметров нагревательных элементов, используемых в электропечах сопротивления. Изучено влияние типа материала нагревательного элемента, электрического сопротивления, геометрической формы и размеров на общую эффективность печи. Также оценены режимы рабочих температур, процессы теплопередачи и коэффициенты потерь энергии. В ходе исследования рассмотрены методы оптимизации, направленные на снижение энергопотребления, продление срока службы нагревательных элементов и повышение надежности печи. На основе полученных результатов разработаны научные и практические рекомендации по выбору и проектированию нагревательных элементов для электропечей сопротивления. Данная работа направлена на повышение энергоэффективности промышленных и лабораторных печей.



ISSN 3030-3907

**Ключевые слова:** электропечь сопротивления, нагревательный элемент, энергоэффективность, оптимизация параметров, электрическое сопротивление, теплопередача, режим рабочих температур, потребление электроэнергии, тепловые потери, эффективность печи, срок службы, термическая стабильность, конструктивные особенности.

**Annotation:** This study provides an in-depth analysis of the main electrical, thermal, and structural parameters of heating elements used in electric resistance furnaces. The influence of the type of heating element material, electrical resistance, geometric shape, and dimensions on the overall efficiency of the furnace is studied. Operating temperature regimes, heat transfer processes, and energy loss factors are also evaluated. Optimization methods aimed at reducing energy consumption, extending the service life of heating elements, and increasing furnace reliability are considered during the study. Based on the results obtained, scientific and practical recommendations are developed for the selection and design of heating elements for electric resistance furnaces. This work serves to increase the energy efficiency of industrial and laboratory furnaces.

**Keywords:** electric resistance furnace, heating element, energy efficiency, parameter optimization, electrical resistance, heat transfer, operating temperature regime, electricity consumption, heat losses, furnace efficiency, service life, thermal stability, structural features.

**Kirish.**

Elektr qarshilikli issiqlik pechlarining samarali ishlashi zamonaviy sanoat va ilmiy tadqiqot jarayonlarida muhim ahamiyatga ega bo‘lib, ularning energiya samaradorligini oshirish masalalari ilmiy va amaliy jihatdan yuqori dolzarblik kasb etmoqda. Elektr qarshilikli pechlar ishlash prinsipi asosida elektr energiyasining to‘liq issiqlikka aylanishi yotadi, bu jarayon pech ichidagi qizdiruvchi elementlar orqali amalga oshadi va ularning parametrlari pechning umumiy samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi [1]. Qizdiruvchi elementlarning materiali, geometrik shakli va ishchi harorat rejimlari ularning termal va elektr xarakteristikalari orqali pechning energiya sarfi va isitish samaradorligini belgilaydi [2].

Hozirgi tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, pechda optimal qizdiruvchi elementlarni tanlash va ularning xarakteristikalarini moslashtirish orqali issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish va harorat nazoratini yaxshilash mumkin, bu esa energiya tejashni ta’minlaydi [3]. Shu bilan birga, pechning termal maydoni va elektr maydon taqsimoti ham pech samaradorligiga ta’sir qiladi, bu o‘zaro bog‘liq fizik jarayonlarni matematik modellar yordamida aniqlash samaradorlikni oshirish uchun muhimdir [4]. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, dinamik harorat nazorati va optimallashtirilgan element konfiguratsiyasi isish jarayonini barqarorlashtirib, pech samaradorligini oshiradi [5].



ISSN 3030-3907

Shu bois, elektr qarshilikli issiqlik pechlarida qizdiruvchi elementlarning parametrlarini optimallashtirish bugungi kunda energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan yetakchi tadqiqot yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, u sanoat pechlaridan tortib laboratoriya uskunalarigacha barcha turdagi pechlarda qo‘llanilishi mumkin.

**METOLOGIYA.**

Elektr qarshilikli issiqlik pechlarida **qizdiruvchi elementlar** (heating elements) pechning asosiy issiqlik manbai bo‘lib, ularning material xossalari, geometrik o‘lchamlari va elektr parametrlari pechning umumiy samaradorligini belgilovchi eng muhim omillardir. Qizdiruvchi elementlar odatda **nikrom (NiCr), kanthal (FeCrAl), tungi mis simlar** yoki **keramika ichiga o‘tkazilgan metall tolalar** dan tayyorlanadi. Ularning tanlovi pechning ishchi harorati, energiya sarfi va ishlash muddati bilan bevosita bog‘liq.

Elektr qarshilikli elementda issiqlik ishlab chiqarish Joule-Lenz qonuni orqali ifodalanadi:

$$Q= I^2Rt \qquad (1)$$

Bu formulaga ko‘ra, qizdiruvchi elementning harorat ko‘tarilishi bilan qarshilik oshadi va shuning natijasida tok va issiqlik ishlab chiqarish qiymati dinamik tarzda o‘zgaradi. Shu sababli, elementlarni optimallashtirishda haroratga bog‘liq qarshilikni hisobga olish juda muhimdir. Bu formulada tokning kvadrati bilan issiqlik energiyasi proporsional ekanligi ko‘rsatilgan. Shu bilan birga, qarshilik RRR ham element materiali va geometrik o‘lchamlariga bog‘liq.

Kengaytirilgan shaklda, qarshilikning haroratga bog‘liqligi hisobga olinadi:

$$R(T)=R_0[1+\alpha(T-T_0)] \qquad (2)$$

Bu formulaga ko‘ra, qizdiruvchi elementning harorat ko‘tarilishi bilan qarshilik oshadi va shuning natijasida tok va issiqlik ishlab chiqarish qiymati dinamik tarzda o‘zgaradi. Shu sababli, elementlarni optimallashtirishda haroratga bog‘liq qarshilikni hisobga olish juda muhimdir.

Bu formulalar asosida element dizaynini optimallashtirish quyidagicha qarorlarni talab qiladi:

- Qarshilikni mos tanlash — elementning ρ qiymati yuqori bo‘lsa, u kam tok bilan ham ko‘p issiqlik chiqaradi.
- Geometriyani sozlash — uzunlik va kesim sohasini o‘zgartirish orqali R ni kerakli darajaga olib kelish.

Ushbu optimal elementlar uchun quyidagi qizdiruvchi element materiallari va ularning xususiyatlarini ifodalovchi jadvalni tavsiya qilish mumkin[4-6].


ISSN 3030-3907

**1-jadval**

| № | Materiallar | 273 $^0$ K da solishtirma qarshilik ρ , Ohm mm $^2$ / m | Maksimal ish harorati, $^0$ C | Zichlik 273 $^0$ K, g/ sm$^3$ |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Alyuminiyli X15N6ON nichrom | 1.0 | 1000 | 8.2 |
| 2. | Temir xrom nikel X25N20 | 0.92 | 7000 | 7.9 |
| 3. | Nichrom X20N80 | 1.09 | 1100 | 8.4 |
| 4. | Nichrom X20N80T3 | 1.27 | 1100 | 8.2 |
| 5. | Alyuminiyli XN70N nichrom | 1.34 | 1200 | 7.9 |
| 6. | Alyuminiyli nichrom X15N60N3A | 1.27 | 1200 | 7.9 |
| 7. | Temir-xrom-alyuminiy OX23U5A | 1.42 | 1300 | 7.9 |
| 12. | Molibden | 0,05 | 2200 | 0.2 |
| 13. | Volfram | 0,054 | 3000 | 19.8 |

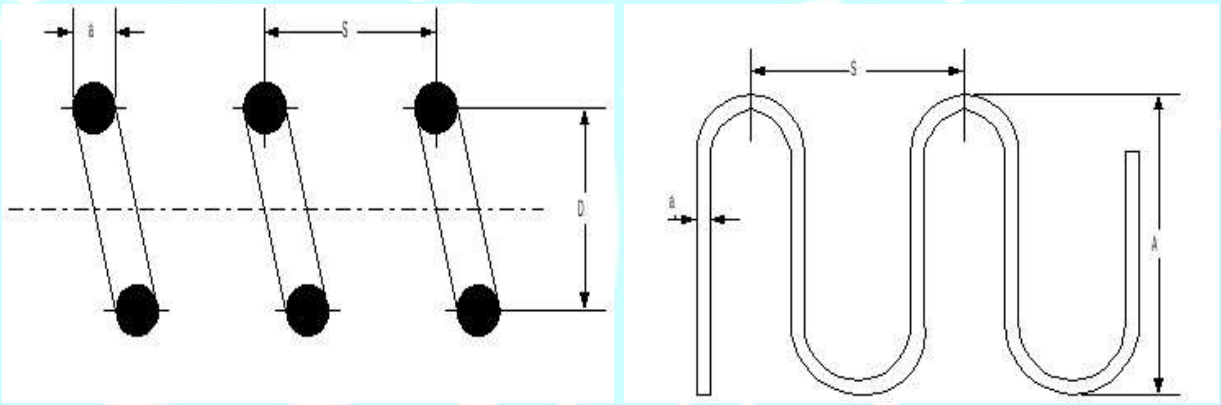
Qizdiruvchi elementning optimalligi bu ishlab chiqaradigan issiqlik miqdori bilan pech ichidagi issiqlik tarqalishini muvozanatlashdir. Agar R juda past bo‘lsa, tok kuchi oshib ketadi va sim tez isiydi, bu esa elementni shikastlashi mumkin. Qarshi holatda R juda yuqori bo‘lsa, element ko’p issiqlik chiqarmaydi.

Amaliyotda elektr qarshilikli pechlar uchun eng ko‘p qo‘llaniladigan metall qizdiruvchi elementlar xrom–alyuminiy qotishmalari (Fe–Cr–Al), nixrom (Ni–Cr), shuningdek yuqori haroratli pechlar uchun volfram va molibden hisoblanadi. Ushbu materiallar yuqori erish harorati, katta solishtirma elektr qarshiligi va yaxshi termik barqarorligi bilan ajralib turadi. Bundan tashqari, zamonaviy issiqlik pechlarida metall bo‘lmagan qizdiruvchi elementlar — karborund (SiC), molibden disilitsidi ($MoSi_2$), grafit kabi materiallardan ham keng foydalanilmoqda. Bu materiallar o‘ta yuqori haroratlarda ishlash imkoniyati va uzoq xizmat muddati bilan ajralib turadi.

Strukturaviy jihatdan metall qizdiruvchi elementlar turli konstruktiv shakllarda tayyorlanadi. Amaliyotda ular simli spiral, zigzag shaklli sim, zigzag lenta, tasma ko‘rinishidagi elementlar, shuningdek list materiallardan shtamplash


ISSN 3030-3907

yo‘li bilan tayyorlangan yoki quyma usulda ishlab chiqarilgan qizdiruvchi elementlar sifatida qo‘llaniladi (1.2-rasm). Qizdiruvchi element konstruksiyasining tanlanishi pechning ishchi harorati, quvvat zichligi, issiqlik tarqalish bir xilligi va ekspluatatsion ishonchlilik talablariga bog‘liq bo‘ladi[7].




**1-rasm.Qizdirish elementlarining konstruktiv sxemalari:**
**a) simli spiral; b) zigzag lenta.**

**TAHLIL VA NATIJALAR**.

Qizdiruvchi elementlarning yakuniy geometrik o‘lchamlari sanoatda ishlab chiqariladigan standart elementlar o‘lchamlariga mos ravishda **GOST 2615 va GOST 2.238** talablariga muvofiq aniqlashtiriladi. Bu yondashuv elektr qarshilikli issiqlik pechlarida elementlarning almashinuvchanligini ta’minlash bilan birga, ularning ishonchli va barqaror ishlashini ham kafolatlaydi.

Qizdiruvchi elementlarning kesimini aniqlash hisoblarini soddalashtirish maqsadida **yuqoridagi jadvaldan** foydalanish mumkin. Ushbu jadval orqali pech quvvati (yoki bitta faza/parallel tarmoq quvvati), **solishtirma sirt quvvati W** hamda qizdiruvchi elementning geometrik o‘lchamlari — sim uchun **diametri d,** lenta uchun esa **qalinligi a** o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalaydi. Grafiklar 380, 220 va 127 V standart kuchlanishlar uchun, shuningdek, **ρ = 10⁻⁶ Ом·м** solishtirma elektr qarshilikka ega material va lenta kengligining qalinlikka nisbati **m = 10** bo‘lgan sharoitda tuzilgan.

Mazkur grafiklar yordamida qizdiruvchi element quvvati va ta’minlovchi kuchlanish ma’lum bo‘lganda, belgilangan solishtirma sirt quvvatiga mos keluvchi sim diametri yoki lenta qalinligini tez va aniqlik bilan aniqlash mumkin. Agar qizdiruvchi element boshqa solishtirma elektr qarshilikka ega materialdan tayyorlansa, solishtirma sirt quvvatining **ρ ga proportsional** o‘zgarishi inobatga olinadi. Bunda grafiklarda qo‘llaniladigan **W qiymati materialning ishchi haroratdagi haqiqiy solishtirma qarshiligiga bo‘linadi.**

Mazkur yondashuv qizdiruvchi elementlarning optimal o‘lchamlarini tanlash, ortiqcha qizishning oldini olish va natijada **issiqlik pechining energiya samaradorligini oshirish** imkonini beradi.


ISSN 3030-3907



**2-rasm. Nixrom olovga chidamli qizdirish elementi**

Ko‘pgina sanoat pechlaridagi isitish elementlari lenta yoki simdan yasalgan. 1-rasmda odatiy nichrom simli isitgichning tuzilishi, jumladan, pechning tomi, devorlari va poli uchun umumiy o'rnatish moslamalari va terminal dizayni ko'rsatilgan. Sanoat pech isitgichlarini ishlab chiqarish uchun odatda 3 dan 7 mm gacha bo'lgan sim diametri ishlatiladi. Biroq, ish harorati 1000°C va undan yuqori bo'lgan pechlar uchun 5 mm dan kam sim diametridan foydalanilmasligi kerak.

Spiralning qadami h va uning diametri D hamda simning diametri d o‘rtasidagi bog'liqlik (2-rasm) isitgichlarni pechga joylashtirishni osonlashtiradigan, ularning yetarlicha qattiqligini ta'minlaydigan va shu bilan birga ulardan mahsulotlarga issiqlik o'tkazilishiga haddan tashqari to‘sqinlik qilmaydigan tarzda tanlanadi.

G'altakning diametri qanchalik katta va uning qadami qanchalik zich bo'lsa, isitgichlarni pechga joylashtirish shunchalik oson bo'ladi. Biroq, diametr oshishi bilan g‘altakning mustahkamligi pasayadi va uning burilishlarining bir-birining ustiga chiqish moyilligi ortadi. Aksincha, o'rash zichligi oshishi bilan uning burilishlarining qolgan qismining mahsulotga qaragan qismining ekranlash effekti ortadi va natijada uning sirt maydoni kamayadi.[8-9].

**XULOSA.**

Xulosa qilib aytganda, qizdiruvchi elementlarning yakuniy o‘lchamlari sanoat standartlariga mos ravishda aniqlashtirilishi, ularning ishlash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Grafik va formulalardan foydalanish orqali elementlarning diametri yoki lenta qalinligini tez va aniq tanlash mumkin, bu esa ortiqcha qizish va energiya yo‘qotilishining oldini oladi. Shuningdek, element materiali solishtirma qarshilik jihatdan farq qilsa, W qiymatini materialning haqiqiy qarshiligiga moslashtirish orqali hisoblash natijalarining to‘g‘riligi ta’minlanadi. Natijada, issiqlik pechining energiyadan samarali foydalanishi va elementlarning uzoq muddat barqaror ishlashi kafolatlanadi.



ISSN 3030-3907

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Abdullaev, Sh.X. “Elektr qarshilikli issiqlik pechlarining dizayni va samaradorligi”, Toshkent: Fan va texnika nashriyoti, 2018.
2. Rahimov, A.T “Qizdiruvchi elementlar va ularning ishlash parametrlari”, Toshkent: O‘zbekiston Milliy Universiteti nashriyoti, 2020.
3. Логачёв, М.В., Иваницкий, Н.И., Давидович, Л.М. “Электрические нагреватели: расчет, конструкция, материалы”, Москва: Энергоатомиздат, 2015.
4. Кузнецов, В.А. “Металлические сопротивления и нагревательные элементы в промышленных печах”, Санкт-Петербург: Лань, 2017.
5. Hussein M. M., Alkhalaf S. va boshqalar. Modern Temperature Control of Electric Furnace in Industrial Applications Based on Modified Optimization Technique. Energies. 2022;15(22):8474.
6. Numerical simulation of resistance furnaces by using distributed and lumped models. Advances in Computational Mathematics. 2024.
7. Insights into the thermal and electric field distribution and the structural optimization in the graphitization furnace. Energy, 2024.
8. Temperature Control Method for Electric Heating Furnaces Based on Auto-Encoder and Fuzzy PI Control. Sensors. 2025.
9. Department of Energy – Electric Resistance Heating overview. U.S. Government.



ISSN 3030-3907