

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA
MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI
ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

PO‘LAT VA FERROSPLAV ELEKTROMETALLURGIYASI

“5310300-Metallurgiya” ta’lim yo‘nalishi bakalavriat talabalari
uchun amaliy mashg‘ulotlarni bajarish bo‘yicha uslubiy qo‘llanma

Toshkent - 2014

Tuzuvchilar: Sh.A. Xudoyarova

“Po‘lat va ferrosplav elektrometallurgiyasi” fanidan “ 5310300-Metallurgiya” yo‘nalishi bakalavrlari uchun amaliy mashg‘ulotlarni bajarish bo‘yicha uslubiy qo‘llanma– Toshkent, ToshDTU, 2014 ,61 bet

Uslubiy qo‘llanma “Polat va ferrosplav elektrometallurgiyasi” fanining namunaviy va ishchi fan dasturlari asosida tuzilgan.

Uslubiy qo‘llanmada elektr pechlarda po‘lat eritish jarayonlarining texnologik hisobotlar keltirilgan, jumladan elektr yoyli pechlarda, induksion va qarshilik pechlarda, ya‘ni uslubiy qo‘llanmada texnologik hisoblardan olingan natijalar asosida kerak bo‘lgan dastgohni tanlash va hisoblash uslubi keltirilgan.

Uslubiy qo‘llanma “Po‘lat va ferrosplav elektrometallurgiyasi” fanining o‘quv uslubiy va ishchi dastur asosida tuzilgan.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy – uslubiy kengashining qaroriga binoan chop etildi.

Taqrizchilar: O.F.Xodjayev-O‘z MU Kimyo fakulteti professori k.f.d.
H.R.Valiyev- ToshDTU: “Metallurgiya” kafedrasi dotsenti t.f.n.

1- amaliy mashg'ulot

Yoyli po'lat eritish pechining tahminiy hisoboti.

Eritish jarayoni uchun ko'rsatkichlar keltirilgan.

Yoyli po'lat eritish pechida eritish quyidagi asosiy davrlarda kechadi.

1. Eritish davri (60 %)
2. Oksidlanish davri (9,4%)
3. Tozalash davri (18,2 %)
4. 2 ta eritish davri orasidagi turib qolishlar, bunga metallni chiqarish, yoqilg'i – moy quyishni, pechni tozalashni va pechga shixta yuklashni o'z ichiga oladi (12,4 %)

Yuklangan metallning qizish erishi sodir bo'ladi, bunda pech elektroenergiyaning katta qismini iste'mol qiladi.

Shuning uchun, loyihalashda hisob olib boradi. Eritish davri uchun o'z ichiga quyidagilarni oladi.

1. Materiallar balansi hisobi.
2. Pechning asosiy o'lchamlari hisobi.
3. Energetik balansi hisobi.
4. Transformatorning zaruriy quvvat hisobi.

Hajmi $G = 100$ t bo'lgan po'lat eritish pechini hisoboti quyidagicha keltirilgan. Transformatorli po'lat ishlab chiqarish uchun quyidagi shixtadan foydalangan: 11% cho'yan, 76% passport bolvanka va kesimlar, 11% lom, 1,74% aglomerat va 0,26% elektrodlar. Po'lat eritilish jarayoni ohirida po'lat tarkibi quyidagicha.

		C	Si	Mn	Fe
Cho'yan	(12	4,3	0,68	1,06	qoldiq
%).....					
Pasport bolvanka	(74	0,17	0,28	0,36	qoldiq
%).....					
Lom ryadoviy	(12	0,69	0,31	1,0	qoldiq
%).....					
Aglomerat	(1,75	%)	-	-	57,0
.....					
Elektrodlar	(0,25%)	0,7271	0,326	0,5136	qoldiq
.....					
Erigandan		0,23	0,036	0,190	qoldiq
so'ng.....					

O'rtacha
tarkib.....

Eritish jarayonidagi futerovkaning sarfi quyidagicha:
Magnezit xromli g'isht – 0,03 %
Magnezit kukuni – 1,03 %
Magnizit g'ishti – 0,28 %

Eritish jaratonida vannaga quyidagilar yuklanadi:
Magnezit – 56 %
Ohak – 2,25 %
Aglomerat – 3,25 %

Yoyli po'lat eritish pechining material va energetik balansini hisoblash uchun avvalo shixta tarkibidagi moddalarning o'rtacha tarkibi hisoblab topiladi: masalan cho'yan $12 \cdot 4,3 / 100 = 0,516\%C$
temir g'ulalari: $74 \cdot 0,17 / 100 = 0,1258\%C$ va hokazo.

2-amaliy mashg'ulot

Yoyli po'lat eritish pechiga yuklangan material balansi

Shixta va po'latning erigandan keyingi kuyindi aralashmasini o'rtacha element miqdori farqini aniqlaymiz.

C	$0,6544 - 0,230 = 0,7244$ кг
Si	$0,3325 - 0,036 = 0,2965$ кг
Mn	$0,5284 - 0,190 = 0,3384$ кг
Fe (в дым)	3,0000 кг
Всего	4,3593 кг.

30% C-CO₂ gacha, 70 % esa CO gacha oksidlanadi deb qabul qilamiz. Begona moddalarning oksidlanishga kislorod sarfini va xonada bo'gan oksidlar miqdorini topamiz.

Kislordaning sarfi, kg		Oksidning massasi, kg	
C→CO ₂	0,2173·32:12 = 0,5795	0,2173 + 0,5795 = 0,796	
C→CO	0,5070·16:12 = 0,6760	0,5070 + 0,6760 = 1,1830	
Si→SiO ₂	0,2965·32:28 = 0,3389	0,2965 + 0,3389 = 0,6354	
Mn→MnO	0,3384·16:55 = 0,0984	0,3384 + 0,0984 = 0,4368	
Fe→Fe ₂ O ₃	3,0000·48:112 = 1,2857	3,0000 + 1,2857 = 4,28541	
(tutun)			

Jami	2,9785	7,3374
------	--------	--------

Erish jarayoni ohirida shlak tarkibini aniqlaymiz:

	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Metallli shixta	0,6354	-	-	-
Magnezit xromitli g'isht	0,0018	0,0006	0,0198	0,0012
Magnezitli g'isht	0,0084	0,0073	0,2520	0,0045
Magnezitli kukun	0,0419	0,0262	0,9431	0,0083
Magnezit (podvalka)	0,0168	0,0146	0,5040	0,0086
Aglomerat	0,4359	0,6508	0,0401	-
Ohak	0,0787	1,9125	-	-
Jami				

	<i>davomi</i>				
	Cr ₂ O ₃	S	MnO	P ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Metallli shixta		-	0,4368	-	
Magnezit xromitli g'isht	0,0036	-	-	-	0,0030
Magnezitli g'isht	-	-	-	-	0,0056
Magnezitli kukun	-	-	-	-	0,0105
Magnezit (podvalka)	-	-	-	-	0,0112
Aglomerat	-	-	-	-	-
Ohak	-	0,0029	-	0,0023	0,0079
Jami	0,0036	0,0029	0,4368	0,0023	0,0382

Ilova: magnezitli g'isht va ohakni 0,002 kg va 0,1557 kg CO₂ qoshiladi.

(Fe b FeO)/(Fe b Fe₂O₃) nisbatini 2—4 teng qilib qabul qilamiz. Keltirilgan tavsiyalarga ko'ra eritish davri oxirida uglerod miqdori 0,23 % bo'lsa shlak tarkibida bo'lgan temir oksidi miqdori 10,05 % teng, shu jumladan FeO 7,5 % va Fe₂O₃ 2,55% teng bo'ladi.

Jadvaldan temir oksidsiz shlak og'irligi 6,1481 kg teng bo'lib, bu 89,95% ni tashkil qiladi va shlakning umumiy ogirligi quyidagicha:

$$L_{\text{shl}} = 6,1481/0,8995 = 6,8350 \text{ kg.}$$

Shlak tarkibidagi temir oksidi og'irligi $6,8350 - 6,1481 = 0,6869$ kg teng bo'lib, shundan Fe_2O_3 0,1717 kg va FeO 0,5152 kg teng.

Shlak tarkibi quyidagicha:

	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Cr_2O_3
kg	1,2189	2,6120	1,8377	0,0339	0,0036
%	17,83	38,22	26,89	0,500	0,050

davomi

	S	MnO	P_2O_3	Fe_2O_3	FeO
kg	0,0029	0,4368	0,0023	0,1717	0,5152
%	0,040	6,390	0,030	2,51	7,54

Shlak asosligi $\text{CaO}/\text{SiO}_2 - 38,22/17,83 = 2,14$.

Temir oksidlanishi, kg:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ gacha} \dots\dots\dots 0,1717 - 0,0382 = 0,1335.$$

$$\text{FeO gacha} \dots\dots\dots 0,5152.$$

Temir metallldan shlakga o'tishi

$$0,1335 \cdot 112:160 + 0,5152 \cdot 56:72 = 0,0092 + 0,4007 = 0,4099 \text{ kg.}$$

Yaroqli metalll chiqishini quyidagini tashkil qiladi.

$$98,0 - 4,3592 - 0,4099 - 0,5 + 3,843 = 96,5739 \text{ kg,}$$

Bu yyerda: 98,0 – shixtagidagi metallning og'irligi, kg;

4,3592- kuyindi aralashmasi, kg;

0,5- temir soni kg;

0,4099- shlak bilan yo'qolgan temir miqdori kg;

Temirni oksidlash uchun kislorod sarfi quyidagiga teng:

$$(0,5152 - 0,4007) + (0,1335 - 0,0092) = 0,2388 \text{ kg.}$$

Hamma qo'shimchalarni oksidlash uchun kislorod sarfi quyidagicha:

$$2,9785 + 0,2388 = 3,2173 \text{ kg.}$$

Kislorod qabul qilish koeffitsientini 0,9 deb qabul olganda 100 kg shixtaga kerak bo'lgan kislorod miqdori:

$$3,2173/0,9 = 3,5714 \text{ kg yoki } 3,5714 \cdot 22,4:32 = 2,5 \text{ m}^3.$$

Qabul qilinmagan kislorod miqdori

$$3,5714 - 3,2173 = 0,3541 \text{ kg yoki } 0,2479 \text{ m}^3.$$

Kislorod bilan birga bo'lgan azot miqdori

$$3,5714 \cdot 77 : 23 = 11,9564 \text{ kg yoki } 8,3695 \text{ m}^3.$$

Bu yyerda: 77 va 23 —havoda azot va kislorod og'irligi.

Elektrodlarning uglerodi yonganda va chiqayotgan gazlarni chiqishini aniqlanganda CO va CO₂ hosil bo'lishini inobatga olish kerak (70% va 30% nisbati bo'yicha). Amaliyotdan olingan natijalar bo'yicha bir eritmaga sarflanadigan elektrodlar miqdori (4—7) kg/t va ~60% eritish davriga sarflanadi.

Material balansi 100 kg shixtaga tuzilsa va eritish davrida elektrodlar sarfini $0,6 \cdot 5,0 = 3,0$ kg/t (0,3 kg/100 kg shixtaga) qabul qilsak, C oksidi hosil bo'lganda $0,3 \cdot 0,7 = 0,21$ kg C yonadi va $0,21 \cdot 28 : 12 = 0,49$ kg CO ajralib chiqadi.

CO₂ hosil bo'lganda $0,3 \cdot 0,3 = 0,09$ kg C yonadi va $0,09 \cdot 44 : 12 = 0,33$ kg CO₂ ajralib chiqadi.

Elektrodlar uglerodini yonishi uchun quyidagi kislorod miqdori kerak $(0,49 - 0,21) + (0,33 - 0,09) = 0,52$ kg.

Kislorod bilan birga bo'lgan azot miqdori

$$0,52 \cdot 77 : 23 = 1,74 \text{ kg}$$

1-jadval

Chiqayotgan gazlar tarkibi:

	kg	m ³	%
CO ₂	$0,7968 + 0,002 + 0,1557 + 0,33 = 1,2845$	0,6539	4,95
CO	$1,1830 + 0,49 = 1,6730$	1,3384	10,14
O ₂	0,2479	0,1735	1,88
N ₂	$1,74 + 11,9564 = 13,6964$	10,9571	83,03
Jami	16,9018	13,1229	100,00

Eritish davrining material balansi

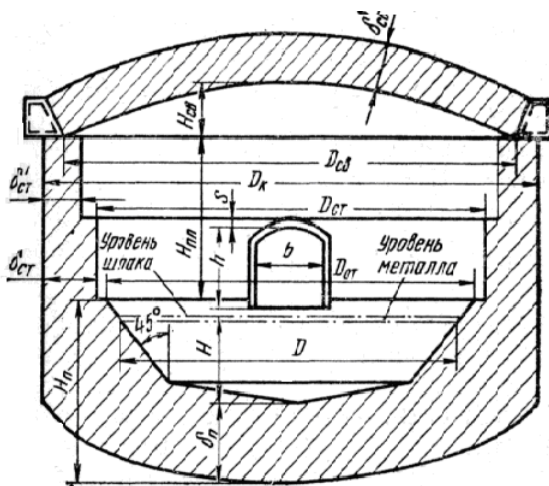
Keldi , kg:		Olindi , kg:	
Cho‘yan	11,00	Metall	96,57,39
Temir g‘ulalari	gaz	Shlak	6,8350
Lom	11,00	Gaz	16,9018
Elektrodlar sinig‘i	0,26	Shlak bilan metall	0,5000
		yo‘qotilishi	
Aglomerat	5,01	F ₂ O ₃ (tutunda)	4,2854
Magnezit	0,56	Jami	125,0963
Ohak	2,25		
Futrovka	1,34		
Elektrodlar	0,30		
Havo	17,38		
Jami	125,10		

3-amaliy mashg‘ulot Pechning asosiy o‘lchamlarini aniqlash

DSP pechining vannsi keng tarqalgan formasi bo‘lib yasovchi va konus asosi bilan 45°C hosil qiluvchi sferik ko‘nussimon formasidir. DSP pechining suyuq metalllda hajmi $G = 100 \text{ t}$ bo‘lganda sig‘imi quyidagiga teng:

$$V = vG = 0,145 \cdot 100 = 14,5 \text{ m}^3$$

Bu yyerda $v=0,145$ – suyuq po‘latni solishtirma hajmi m^3/t .



1-rasm. DSP vannasi.

Metall sathi diametrini quyidagi formula orqali topamiz

$$P = 2000 \cdot C \sqrt[3]{V} = 2000 \cdot 1,085 \sqrt[3]{14,5} = 5291,5 \text{ mm} = 5,3 \text{ m}$$

Bunda C koeffitsientini quyidagi jadvalda $D/H = 5,0$ teng qilib qabul qilamiz.

D/H.....	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
C.....	1,043	1,064	1,085	1,106	1,127	1,149	1,165

Vannadagi suyuq metallning balandligi $H = 5,3/5,0 = 1,06 \text{ m}$

Shlakning hisobiy hajmi $0,1 \text{ v}$ teng bo'lib u holda

$$V_{sh} = 0,1 \cdot 1,45 = 1,45 \text{ m}^3$$

Shlak qavatining balandligi

$$H_{sh} \frac{4V_{sh}}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 1,45}{3,14 \cdot 5,3^2} = 0,0658 \text{ m} = 65,8 \text{ mm}$$

va shlak sathi diametri:

$$D_{sh} = D + 2H_{sh} = 5291,5 + 2 \cdot 65,8 = 5423,1 \text{ mm}$$

Ishchi tuynukning ostona sathi shlak sathidan 40 mm balandda joylashishi kerak, unda qiyalik sathi ishchi tuynukning ostonasidan 65 mm li balandda bo'ladi.

$$D_{qiya} = D + 2(H_{sh} + 40 + 65) = 5291,5 + 2(65,8 + 40 + 65) = 5633 \text{ mm}$$

$$\text{va } D_{dev} = D_{qiya} + 200 = 5633 + 200 = 5833 \text{ mm.}$$

Erishish maydonining balandligi H_{er} va futerovkaning qatlamiga pech hajmiga bog'liq.

G, T.....	0,5 – 6,0	12 – 50	>100
H_{er}/D_{qiya}	0,5 – 0,45	0,45 – 0,4	0,38 – 0,34
δ_{tubi} , mm.....	450 – 55	600 – 700	800 – 1000
δ_{sv} , mm.....	230	300	380 – 460
δ_{dev} , mm.....	300 – 35	300 – 350	300 – 350

Yuqorida keltirilgan tavsiyalarga asosan.

$$H_{er} = 0,36 \cdot 5633 = 2028 \text{ mm.}$$

Pech tubi futerovkasining qalinligi $\delta_n = 960$ mm va qalinligi 125 mm bo'lgan magnezitli olovbardosh materiallar bilan zichlangan. Magnezitli g'ishtlarning futerovkasi qalinligi 575 mm va yengil massali shamotning qalinligi esa 260 mm.

Qiyalik sathidagi devor futerovkasi qalinligi $\delta_{qiya} = 500 \text{ mm}$ bo'lib qalinligi 460 mm magnezit g'isht bilan terilgan va ular orasi 40 mm magnezitli material bilan to'ldirilgan.

Kojuxning ichki diametri

$$D_k = D_{dev} + 2 \cdot 500 = 5833 + 2 \cdot 500 = 6833 \text{ mm}$$

Devorning yuqori qismidagi magnezitli futerovkaning qalinligi $\delta_{dev} = 300$ mm

Pech svodining qalinligi $\delta_{sv} = 460$ mm bo'lgan xrom magnezitli g'ishtdan teriladi, svodning ustunlari orasidagi strelkani o'qlari svod ustunlari orasiga nisbatan 15% qilib olinadi.

$$h_{sv} = 0,151 D_{sv} = 0,15(D_k - \delta_{sv}), \text{ mm.}$$

Pechning ichki tuynugi o'lchamlarini pechga yoqilg'i yordamida shlak hosil qiluvchi va legirlovchi materiallarni qo'llab yuklashiga qarab olinadi.

$$b \times h = 1600 \times 1600 \text{ mm}$$

4-amaliy mashg'ulot

Erish davrining energetik balansi.

Energetik balansning tuzishdan maqsad elektr energiyani umumiy miqdorini aniqlashdir. Bu energiya DSP–100 pechga eritish jarayoni uchun ajralib chiqqan bo'lib bu miqdorga asosanib pech transformator quvvati aniqlanadi. Bu miqdor bo'yicha keyinchalik pech transformatoriga kerak bo'lgan quvvatni topishdan foydalaniladi. Hajmi 100 tonna bo'lgan zamnaviy DSP pechlari uchun eritish jarayoni vaqti τ_{er} transformator quvvatiga bog'liq va quyidagicha

N,MVA.....	25	32	42
T _{er,S}	12240	9504	7452

Taxminan erish davrini o'rtasida davomiyligi $\tau_d = 2160$ s teng bo'lgan shixta podvalkasi sodir bo'ladi.

Tok ostidagi erish davomiyligi $\tau_{e,t} = \tau_e - 2160$ s. $\tau_e = 9504$ s deb qabul qilsak, shunda

$$\tau_{e,t} = 9504 - 2160 = 7344 \text{ s bo'ladi.}$$

Issiqlik kelishi:

1. Shixta yordamida issiqlik kelishi ($t_{sh} = 20^\circ\text{C}$)

$$Q_{sh} = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,98 \cdot 0,469 \cdot 20 = 919,24 \cdot 10^3 \text{ kDj} = 0,919 \text{ GDj}$$

2. Elektr yoylar yordamida issiqlik kelishi.

$$Q_{yoy} = \eta_{el} W_{el} \cdot 10^{-6}, \text{ GDj,}$$

Bunda $\eta_{el} - 0,87 - 0,92$ ga teng bo'lgan elektr FIK ; W_{el} pechga kelayotgan elektr energiyasi kDj.

$$Q_{yoy} = 0,9 W_{el} \cdot 10^{-6}, \text{ GDj}$$

3. Ekzotermik reaksiyalar yordamida issiqlik kelishi

$$C \rightarrow CO_2 \dots 0,002173 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 34,09 = 7407,76$$

$$C \rightarrow CO \dots 0,005070 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 10,47 = 5308,29$$

$$Si \rightarrow SiO_2 \dots 0,002965 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 31,10 = 9221,15$$

$$Mn \rightarrow MnO \dots 0,003384 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 7,37 = 2494,01$$

$$Fe \rightarrow Fe_2O_3 \dots 0,001335 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 7,37 = 983,90$$

$$Fe \rightarrow FeO \dots 0,005152 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 4,82 = 2483,26$$

$$Fe \rightarrow Fe_2O_3 \text{ (tutun)} 0,03000 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 7,37 = 22110,00$$

$$Q_{ekz} = 50008,37 \text{ MDj} = 50,0 \text{ GDj.}$$

4. Shlak hosil bo'lishidan issiqlik kelishi.

$$\text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_2 \text{SiO}_2 \quad 0,006354 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2,32 = 1481,09 \text{ MDj}$$

$$Q_{\text{shl}} = 1,48 \text{ GDj}.$$

Issiqlik sarfi:

1. Po'latning fizik issiqligi

$$Q_{\text{po'l}} = 0,965739 \cdot 100 \cdot 10^3 [0,7 \cdot 1500 + 272,16 + 0,837(1600-1500)] = 135770 \cdot 10^3 \text{ kDj} = 135,77 \text{ GDj}$$

2. Po'latning shlak bilan yo'qotilgandagi fizik issiqligi

$$Q_{\text{po'l-shl}} = 0,005 \cdot 100 \cdot 10^3 [0,7 \cdot 1500 + 272,16 + 0,837 (1700-1500)] = 745230 \text{ kDj} = 0,745 \text{ GDj}.$$

3. Shlakning fizik issiqligi

$$Q_{\text{shl}} = 0,068350 \cdot 100 \cdot 10^3 (1,25 \cdot 1700 + 209,35) = 15955,282 \cdot 10^3 \text{ kDj} = 15,955 \text{ GDj}.$$

4. $t_{\text{ket}} = 1500^\circ\text{C}$ bo'lganda reaksiyaning gaz holdagi mahsulotlar bilan issiqlik sarfi.

$$Q_{\text{ket}} = 0,131229 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2244,83 = 29625,3 \cdot 10^3 \text{ kDj} = 29,625 \text{ GDj}.$$

$$\text{CO}_2 \dots 0,0495 \cdot 3545,34 = 175,49$$

$$\text{H}_2\text{O} \dots 0,1014 \cdot 2200,26 = 223,11$$

$$\text{O}_2 \dots 0,0188 \cdot 2296,78 = 43,18$$

$$\text{N}_2 \dots 0,8308 \cdot 2170,55 = 1803,05$$

$$i_{\text{ket}}^{1500} = 2244,83 \text{ kDj/m}^3$$

5. Fe_2O_3 zarralari yordamida issiqlik sarfi.

$$Q_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,042854 \cdot 100 \cdot 10^3 (1,23 \cdot 1500 + 209,34) = 8803,67 \cdot 10^3 \text{ kDj yoki } 8,8 \text{ GDj}.$$

6. Futerovka orqali issiqlik o'tkazuvchanlik hisobiga issiqlik sarfi.

Devor balandliklari bir xil lekin qalinliklari har xil bo'ladi. Quyi qismi 500 mm va yuqori uchastkasi 300 mm magnezit g'ishtlaridan terilgan. Issiqlikning yo'qotilishini oldini olish uchun 40 mm qalinlikdagi magnezit qatlamini hisobga olmaymiz. Jarayon oxirida devor futerovkasi svodining yemirilishi 50% deb qabul qilamiz. Keyinchalik futerovkani qalinligiga nisbatan 75% deb olamiz.

Quyidagilarni hisobga olib, devor uchastkalari qalinliklari quyidagilarga teng:

$$0,75 \cdot 500 = 375 \text{ mm va } 0,75 \cdot 300 = 225 \text{ mm}.$$

Magnezitning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti

$$\lambda_M = 6,28 - 0,0027 t \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$$

Futerovkaning ichki yuzasining harorati $t_1 = 1600^\circ\text{C}$

Devorning yuqori qismidagi futerovkasini tashqi temperaturasi $t_2^{\text{tepa}} = 350^\circ\text{C}$, $t_2^{\text{past}} = 300^\circ\text{C}$,

u holda

$$\lambda_M^{\text{tepa}} = 6,28 - 0,0027(1600 + 350)/2 = 3,65 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$$\lambda_M^{\text{past}} = 6,28 - 0,0027(1600 + 300)/2 = 3,715 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$$\alpha_{\text{konv}}^{\text{tepa}} = 10 + 0,06 \cdot 350 = 31 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)};$$

$$\alpha_{\text{konv}}^{\text{past}} = 10 + 0,06 \cdot 300 = 28 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)};$$

Sexdagi harorat 30°C deb hisoblaymiz

$$Q_{\text{issiq}}^{\text{po'l.tepa}} = 1600 - 30/0,225/3,65 + 1/388 \cdot 9504 = 6.8 \text{ GDj}$$

$$Q_{\text{issiq}}^{\text{po'l.past}} = 1600 - 30/0,225/3,65 + 1/388 \cdot 9504 = 4,2 \text{ GDj}$$

Bunda

$$F_{\text{yuza}}^{\text{dev.}} = \pi D_k \cdot H_{\text{ev}}/2 = 3,14 \cdot 6,833 \cdot 2,028/2 = 21,7 \text{ m}^2 - \text{pech}$$

devorlarining tashqi qatlamining yuqori va quyi qismi yuzasi maydoni.

Svod orqali issiqlik yo'qotilishi, svodning ichki yuzasining harorati $t_1 = 1600^\circ\text{C}$ deb olib, tashqi $t_2 = 320^\circ\text{C}$ teng, magnezitxromit g'ishtlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti.

$$\lambda_{\text{mx}} = 4,1 - 0,0016 (1600 + 320)/2 = 2,564 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}.$$

Konveksiya orqali atrof muhitga issiqlik o'tkazish koeffitsienti.

$$\alpha_{\text{konv}} = 1,3 (10 + 0,06 \cdot 320) = 37,96 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

Svod futerovkasi qalinligi quyidagiga teng: $0,75 \cdot 0,46 = 0,345 \text{ mm}$.
tashqi yuzasi maydoni quyidagicha:

$$F_{\text{yuza}}^{\text{sv}} = \pi (H_{\text{sv}}^2 + D_{\text{sv}}^2)/2 = \pi [0,15^2 (D_k - \delta'_{\text{dev}})^2 + (D_k - \delta'_{\text{dev}})^2]/2 = 3,14 [0,15^2 (6,833 - 0,3)^2 + (6,833 - 0,3)^2]/2 = 68,5 \text{ m}^2$$

Endi

$$Q_{\text{issiqlik}}^{\text{dev.tepa}} = \frac{1600 - 30}{\frac{0,345}{2,564} + \frac{1}{37,96}} - 68,5 \cdot 9504 = 6,35 \cdot 10^9 \text{ Dj} = 6,35 \text{ GDj}$$

5-amaliy mashg'ulot

Erish davrining energetik balansi.

Pech tubi orqali issiqlik yo'qotilishini aniqlaymiz, bunda pech tubi magnezit futerovkasi va magnezit to'ldiruvchilardan tashkil topgan, zaslonka quyidagi podinasi bilan bir hil qalinlikda bo'ladi (qalinligi 0,6 m). Yengil simob qalinligi 0,26 mm, tubi ichki yuzasi harorati $t_1 = 1600^\circ\text{C}$ tashqi $t_2 = 200^\circ\text{C}$ teng.

$$\lambda_M = 6,28 - 0,0027 t_M, \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$$\lambda_{sh} = 0,465 + 0,00038 t_{sh}, \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}.$$

Qatlamlar bo'lingan chegarasi haroratini quyidagicha aniqlaymiz

$$t_{sh-m} = t_2 + (t_1 - t_2) \frac{\delta_{sh}}{\delta_{sh} + \delta_M} = 200 + (1600 - 200) \frac{0,26}{0,6 + 0,26} = 623,3^\circ\text{C}$$

Materiallarning issiqlik o'tkazish koeffitsienti:

$$\lambda_M = 6,28 - 0,0027 (1600 + 623,3)/2 = 3,28 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$$\lambda_{sh} = 0,465 + 0,00038 (623,3 + 200)/2 = 0,621 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$t_2 = 200^\circ\text{C}$ dagi pastki yuzaga qarab yo'nalgan konveksiyaning issiqlik o'zgarishi koeffitsientini hosil qilamiz va u quyidagicha teng:

$$\alpha_{konv} = 0,7 (10 + 0,06 \cdot 200) = 15,4 \text{ Vt/(m}^2\cdot\text{K)};$$

$$q_{tub} = \frac{1600 - 30}{\frac{0,6}{3,38} + \frac{0,26}{0,621} + \frac{1}{1,54}} = 2355,44 \text{ Vt/m}^2.$$

Futerovka qatlamlari orasidagi haroratini qiymatini va yuzaki haroratni quyidagicha aniqlaymiz.

$$t_{m-sh} = 1600 - 2355,44 \cdot \frac{0,6}{3,28} = 1169^\circ\text{C}.$$

$$t_2 = 30 + 2355,44/15,4 = 182,9^\circ\text{C}.$$

U holda

$$\lambda_M = 6,28 - 0,0027(1600 + 1169)/2 = 2,54 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$$\lambda_{sh} = 0,465 + 0,00038(1169 + 182,9)/2 = 0,72 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$$\alpha_{konv} = 0,7(10 + 0,06 \cdot 182,9) = 14,68 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)};$$

$$q'_{tub} = \frac{1600 - 30}{\frac{0,6}{2,54} + \frac{0,26}{0,72} + \frac{1}{14,68}} = 2359,3 \text{ Vt} / \text{m}^2.$$

Podinaning tashqi qatlami yuzasini topishda uni yuzasi sferik sigmentini topgan deb qabul qilamiz. Svodning tashqi qatlami yuzasi $F_{yuzal}^{sv} = 154,1 \text{ m}^2$ va silindrik qavatini

$$F_{yuzal}^{pod} = \pi D_k (H_{tub} - \delta_{yuzal})$$

Yuqoridagi ma'lumotlar asosida quyidagiga egamiz.

$$H_{tub} = \delta_{yuzal} + H + H_{shl} + 0,04 + 0,065 = 0,86 + 2,028 + 0,0658 + 0,04 + 0,065 = 3,06 \text{ m}$$

Bunda

$$F_{yuzal}^{tub} = 3,14 \cdot 6,833(3,06 - 0,86) = 47,2 \text{ m}^2$$

Natijada:

$$Q_{issiqkil}^{tub} = 2359,3(68,5 + 47,2) \cdot 9504 = 2,59 \cdot 10^9 \text{ Dj} = 2,59 \text{ GDj}.$$

Futerovkadan issiqlik o'tkazuvchanlik yordamida umumiy issiqlik sarfi :

$$Q_{issiq} = 3,46 + 2,38 + 6,35 + 2,59 = 14,78 \text{ GDj}.$$

7. Pechning ishchi darchasini sovutish uchun suv sarfi bilan issiqlik yo'qotilishi.

DSP pechining ishchi darajasi o'lchami $b \times h = 1600 \times 1600 \text{ m}$ ga teng bo'lib suv sovutuvchi tasma qopqoq bilan yopilgan va futerovkaning ichki tarafidan eni $S = 0,15 \text{ m}$ teng bo'lgan Π ko'rinishi suv sovutuvchi quti bilan o'ralgan. Quyi yuzasidagi haroratni $t_{quti} = 80^\circ\text{C}$ da olamiz, bunda qorayish darajasi $\varepsilon_k = 1$ ga teng bo'lib suv bilan issiqlik yo'qotilishi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q_{sov}^{qut} = C_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right] (2h + b) S \tau_p = 5,7 \left[\left(\frac{1600 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{80 + 273}{100} \right)^4 \right] (2 \cdot 16 + 1,6) \cdot 0,15 \cdot 9504 = 4,79 \cdot 10^9 \text{ Dj} = 4,79 \text{ GDj}$$

Tasma qopqoqni sovutish uchun suv bilan birga issiqlik sarfi aniqlaymiz Darcha tuynukcha formulasi.

$$Q_{sov}^{qopqoq} = 5,7 \cdot 0,78 \left[\left(\frac{1600 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{80 + 273}{100} \right)^4 \right] (1,6 \cdot 1,6 \cdot 9504) = 133 \cdot 10^9 \text{ Dj} = 133 \text{ GDj}$$

Bu yyerda $\varepsilon = 0,78$ yuzasi kvadrat holdagi $l/a = \delta_{st} / h = 0,5 / 1,6 =$

0,31 uchun qoraish darajasi. Ja'mi ishchi darcha orqali issiqlik yo'qolishi.

$$Q_{\text{sov}} = 4,79 + 13,3 = 18,09 \text{ GDj.}$$

8. Ikkita eritish davri orasidagi issiqlik yo'qotilishi pechkaga shixta tashlash davomida u ochiladi va bu davr mobaynida umumiy issiqlik yo'qolishi ochiq svod orqali issiqlik ko'rsatkichini miqdoriga teng, u esa gaz bilan issiqlik yo'qotilishiga suv bilan sovituvchi agregat issiqlik o'tkazuvchanligi orqali issiqlik yo'qotishlarga bog'liqdir. Bu kattaliklarni pechni ochiq paytida hisoblash qiyin, chunki futerovkaning ichki qatlami harorati tez tushib ketadi. Shuning uchun 2 ta eritish davri o'rtasidagi issiqlik yo'qotilishi taxminan quyidagiga teng deb olamiz.

$$Q = (Q_{\text{issiqlik}} + Q_{\text{sov}} + 0,5 Q_{\text{ket}}) k_n \tau_n / \tau_p = \\ = (14,78 + 18,09 + 0,5 \cdot 29,625) \cdot 1,15 \cdot 2160 / 9504 = 12,447 \text{ GDj.}$$

Bu yyerda k_h – hisobga olinmagan yo'qotishlar koeffitsienti.
 $k_h = 1,1 - 1,2$ DSP pechining erish davridagi issiqlik balansi tenglamasidan elektr energiyasidagini topamiz.

$$Q_{\text{kelish}} = Q_{\text{sarflanish}} \\ 0,919 + 0,9 \cdot 10^{-6} W_{\text{el}} + 50,008 + 1,48 = 135,77 + 0,745 + 15,955 + \\ + 29,625 + 8,8 + 14,78 + 18,09 + 12,447$$

Bu yyerda $W_{\text{el}} = 204,23 \text{ GDj}$ ($56,73 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{s}$).
 DSP pechini erish davridagi issiqlik balansi tenglamasidan elektr energiyasidagini topamiz.
 DSP pechi erish davridagi issiqlik balansi hisob – kitob natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan.

$$\omega_1 = W_{\text{el}} / G_M = 204,23 / 96,5789 = 2,1 \frac{\text{GDj}}{\text{kg}} \left(587,4 \frac{\text{kVt} \cdot \text{s}}{\text{kg}} \right)$$

1 kg metallli yuklovchilar uchun elektr energiyaning solishtirma sarfi.

$$\omega_1 = W_{\text{el}} / G_j = 204,23 / 98,0 = 2,084 \text{ GDj} / \text{kg}$$

Foydali ish issiqlik koeffitsienti quyidagiga teng:

$$\eta_m = \frac{Q_{\text{po'lat}} + Q_{\text{po'l-shl}} + Q_M}{Q_{\text{kel}}} = \frac{135,77 + 0,745 + 15,955}{236,212} = 0,65$$

$\eta_{el} = 0,9$ ni hisobga olib umumiy FIK ni topamiz.

$$\eta_{umum} = \eta_{el} * \eta_T = 0,9 \cdot 0,65 = 0,585$$

Pechdan chiqayotgan gaz orqali issiqlik yo‘qotilishi miqdori kattadir. Bu esa elektr energiya sarfini bir necha martaga oshiradi.

2-jadval

Yoyli po‘lat eritish pechinig eritish davrinig issiqlik balansi

Issiqlik kelishi moddalari	GDJ (%)	Issiqlik sarf bo‘lishi moddalari	GDJ (%)
Shixta bilan issiqlik miqdori	0,919(0,39)	Fizik issiqlik: po‘latniki	135,77(57,48)
Yoy bilan issiqlik miqdori	183,805(77,81)	shlak bilan po‘latning yo‘qolishi	0,745(0,32)
Ekzotermik reaksiya orqali kechgan issiqlik miqdori	50,008(21,17)	shlakni fizik issiqlik gaz bilan issiqlik yo‘qolishi	15,965(6,76)
Shlak hosil bo‘lishining issiqlik miqdori	1,480(0,63)	Fe ₂ O ₃ zarrachalari bilan issiqlik yo‘qolishi	29,625(12,54)
		Issiqlik o‘tkazuvchanligi orqali issiqlik yo‘qotilishi	8,8(3,73)
		Suv bilan issiqlik yo‘qotilishi	14,78(6,25)
		Ikkita erish davri o‘rtasidagi issiqlik yo‘qotilishi	18,09(7,66)
			12,447(5,2)

Jami:	236,212(100)	Jami:	236,212(100)
-------	--------------	-------	--------------

1 kg suyuq metall uchun elektr energiyaning solishtirma sarfi.

Pechning transformatoridagi quvvati.

Erish davridagi o'rtacha quvvati.

$$N_{o'r} = W_{el} / \tau_{er.dav} = 204,23 \cdot 10^6 / 7344 = 27,81 \cdot 10^3 \text{ kVt.}$$

Quvvatdan foydalanish koeffitsienti $K = 0,75-0,9$ qabul qilib olib maksimal quvvatni aniqlasak bo'ladi.

$$N = N_{o'r} / K = 27,81 \cdot 10^3 / 0,825 = 33,71 \cdot 10^3 \text{ kVt.}$$

O'rtacha og'irlik koeffitsientini quvvatini $\cos \varphi = 0,707$ ko'rsatkichni qabul qilib, kerakli butun transformator quvvatini topamiz.

$$N' = N / \cos \varphi = 33,71 \cdot 10^3 / 0,707 = 47,68 \text{ kVA.}$$

Bu ko'rsatkich 3 fazali transformator quvvatini standart bo'yicha hisobga olinadi.

6-amaliy mashg'ulot

(4 soat)

1)Elektroqarshilik pechini hisobi

Elektroqarshilik pechining qizdirgichlarini hisoblash uchun boshlang'ich ma'lumotlar: pechning quvvati N_{kVt} , pechning geometric o'lchami, oziqlantiruvchi to'ring kuchlanishi $U_c B$ metallning isish haroratlari t_m bosh va t_m oxiri.

Qizdirgichlarni hisoblashda quyidagilar aniqlanadi ya'ni: geometrik o'lchamlari, yoqish sxemalari ("yulduzcha" yoki "uchburchak") va pechlarda qizdirgichlarning joylashishi aniqlanadi.

Issqlik balansidan pechning quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_{\Sigma} = Q_{umumiy} K, \text{ kVt}$$

Bu yyerda $Q_{umumiy} = Q_{foydali} + Q_{yo'tish} + Q_{q.t}$ – umumiy issiqlik sarfi, kVt,
 $Q_{foydali}$ – metallni isitish uchun issiqlik sarfi kVt,

$Q_{yo'qotish}$ – agne uporlarning issiqlik o'tkazish tufayli yoqilayotgan issiqlikning yig'indisi $\kappa B T$,

$Q_{q.t.}$ – qisqa tutashuv orqali issiqlik sarflanishi (ogneuporlarning issiqlik o'tkazishni 70% qilib olishimiz mumkin);

K- quvvat zaxirasi koeffitsenti,

$K=1.2 \div 1.3$ -uzluksiz ishlaydigan pechlar uchun.

$K=1.4 \div 1.5$ -davriy ravishda ishlovchi pechlar uchun.

Qizdirgichlar hisobi quyidagicha aniqlanadi:

1-qizdirgichlarning ishchi haroratini quyidagi formula orqali topamiz.

$$t_n = t_m^{oxiri} + 100^{\circ}C$$

2-qizdirgichlarning materialini tanlab uning solishtirma elektroqarshilik miqdorini aniqlaymiz. $\rho \text{ Om}\cdot m$

3-ideal qizdirgichlarning solishtirma yuzasining quvvati, kVt/m^2

$$\omega_{ud} = \frac{C_0 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{\varepsilon_H} + \frac{1}{\varepsilon_M} - 1} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right],$$

Bu yyerda $\varepsilon_n, \varepsilon_m$ -qizdirgichning va mahsulotning qorayish darajasi, T_n, T_m -qizdirgichning va mahsulotning harorati, K

4.Qizdirgichning turini aniqlaymiz

5. Real qizdirgichlar solishtirma yuzasining quvvatini quyidagi formula orqali topamiz:

$$\omega = \alpha \omega_{id},$$

α – to'g'irlash koeffitsenti jadvaldan olinadi.

6.Qizdirgichlar elektrosxemasi bog'lanishini qabul qilib fazadagi kuchlanishini aniqlaymiz:

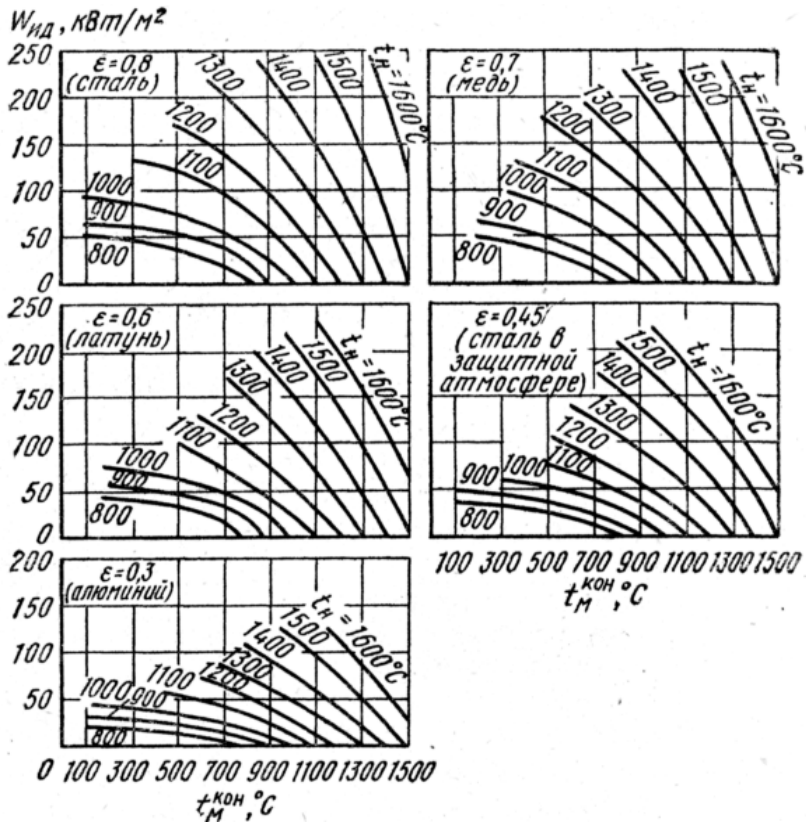
“Yulduz” sxemasi uchun $U_f = U_t / \sqrt{3}$.

“uchburchak” sxemasi uchun $U_f = U_t$

7. N, U_ϕ, ρ va ω ni aniqlab qizdirgichlar geometrik o'lchamini formula orqali aniqlaymiz metalli, SiC va MoSi₂ qotishmali qizdirgichlar uchun kerakli qizdirgichlar miqdorini aniqlaymiz.

2) Metall va qizdirgichlar hisoboti.

Rasmdagi grafik bo'yicha ideal qizdirgich solishtirma quvvat material yuzasining qorayish darajasiga va chiqayotgan mahsulotning oxirgi temperaturasi bog'liqligi ko'rsatilgan.



2-rasm. Qorayish darajasi har xil bo'lgan materiallarni qizdirish uchun ideal qizdirgichlarni solishtirma yuzaki quvvatlari miqdori.

Zamonaviy elektroqarshilik pechlarda quyidagi qizdirgichlar qo'llaniladi: simli zigzagli, simli spirali, va lentali zigzakli.

Qizdirgichlarni turini taxminan quyidagi jadvaldan tanlab olamiz.

$$N_{dev.sol} = \frac{N}{F_{dev} \cdot \omega_{id}}$$

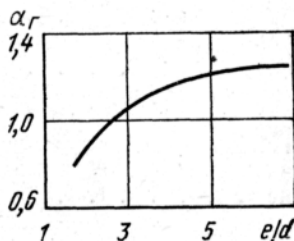
Bu formuladan devorning nisbiy quvvati qanchalik katta bo'lsa, shuncha materialning qorayish darajasi kamayadi.

Formulada N-devorga keladigan qizdirgichlarni quvvati, kVt, F_{er} qizdirgich joylashgan devorning maydoni, m²:

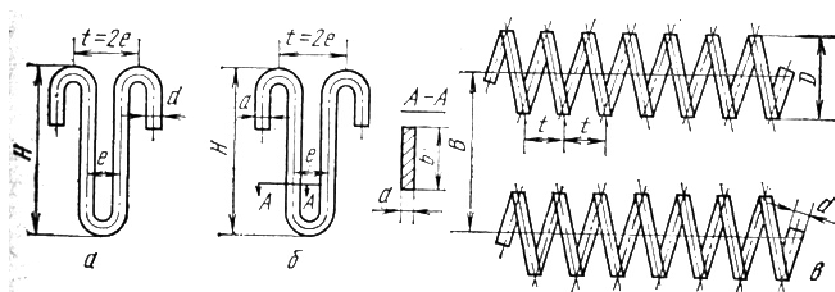
Lentali zigzagli.....	0,90-0,95
Tekkis lentali zigzagli.....	0,95-1,00
Simli speralli.....	0,90-0,95
Lentali zigzag.....	0,70-0,75
Simli spiral.....	0,75-0,80
Tokchada lentali zigzag.....	0,60-0,65
Tokchada simli spiral.....	0,65-0,70
Trubkada simli spiral.....	0,95-1,0

Agar devorning nisbiy quvvatiga bir necha qizdirgichlar to'g'ri kelsa, shunda simli zigzagli qizdirgichlarni tanlab olamiz.

Qizdirgichlarni turini va ularni qizdirish sharoitini 3 jadvaldan tanlab qizdirgichni solishtirma yuzasining quvvatini ω topish uchun α koeffitsienti topamiz.



3-rasm. Karborundli qizdirgichlar uchun α_g koeffitsienti



4-rasm. Simli zigzagli (a), lentali zigzagli (b), spiralli (c) qizdirgichlar.

3-jadval

Yuzaning qorayish darajasi turlicha bo'lgan materiallarni qizdirishdagi α koeffitsient qiymatlari

Qizdirgichlar turi	Qorayish darajasi				
	$\varepsilon=0,8$ (oksidlangan po'lat)	$\varepsilon=0,7$ (oksidlangan mis)	$\varepsilon=0,6$ (latun)	$\varepsilon=0,45$ (oksidlangan po'lat)	$\varepsilon = 0,8$ (alyuminiy)
Lentali zigzagli	0,45	0,47	0,48	0,51	0,54
Tekkis lentali zigzagli	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
Trubkali ochiq simli spirallar	0,465	0,47	0,475	0,49	0,505
Lentali zigzag	0,44	0,45	0,46	0,495	0,535
Simli spiral	0,31	0,315	0,325	0,34	0,355
Keramik tokchadan lentali	0,41	0,425	0,435	0,47	0,50

zigzag					
Keramik tokchada simli spiral	0,33	0,40	0,41	0,44	0,47

Endi pechning quvvatini N kVt, oziqlantiruvchi to'ring kuchlanishini U, V , tanlagan qizdirgichlarning solishtirma qarshiligini ρ , $\text{Om} \cdot \text{m}$ aniqlab, qizdirgichning geometrik o'lchamlarini quyidagicha topamiz:

Simli qizdirgichlar

Diametr

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^3 \rho N^2}{\pi^2 U_\phi^2 \omega}}, \text{m}$$

Uzunlik

$$l = \frac{1}{10} \sqrt[3]{\frac{2,5 N U_\phi^2}{\pi \rho \omega^2}}, \text{m}$$

$b/a = m$ tomonli lentali qizdirgich

qalinlik

$$a = \sqrt[3]{\frac{10^3 \rho N^2}{2m(m+1)U_\phi^2 \omega}}, \text{m}$$

uzunlik

$$l = \frac{1}{10} \sqrt[3]{\frac{2,5 N U_\phi^2}{(m+1)^2 \rho \omega^2}}, \text{m}$$

Uch fazali tokni ishlatilsa, shunda qizdirgichni quvvati (N_f) umumiy quvvatdan (N) bir qismini tashkil etadi.

Materiallardan tayyorlangan qizdirgichning solishma ekektroqarshiligi $\rho_{\text{taxmin}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{Om} \cdot \text{m}$,

Qizdirgichning ustida bo'lgan kuchlanish

$$U_{\text{taqxmin}} = U_{\text{aniq}} (\rho_{\text{taxmin}} / \rho_{\text{aniq}})^{0,5}$$

Qizdirgichning taxminiy solishma yuzasining quvvatini (ω_{taxmin}) o'rniga dumaloq kesmali qizdirgichlarni solishma yuzasining quvvatini qo'llasak bo'ladi, shunda

$$\omega_{tax\ min} = \frac{P}{3,54\sqrt{S}} \omega_{xaqiqiy}$$

Bu yyerda P,S- real qizdirgichning perimetri va maydoni.

Simli qizdirgichlar uchun $P/(3,54 \sqrt{S})=1$ va $\omega_{taxmin}=\omega_{xaqiqiy}$

Lentali qizdirgichlar uchun $P/(3,54 \sqrt{S})=2(1+m)/3,54 \sqrt{m}$
 $m=10$ bo'lsa $\omega_{taxmin}=1,97 \omega_{xaqiqiy}$

Optimal variant tanlangandan keyin qizdirgichlarning geometrik o'lchamlarini topamiz va ularni pechning ishchi qismida joylanishni aniqlaymiz. Buning uchun 3 rasmdan va 3,4 jadvalldan foyalanishimiz mumkin.

Lentali qizdirgichlar $e/b \geq 0,9$, optimal qiymati $(e/b)_{optimal}=1,4:2,6$.
 Tubida va shiftida joylashganda H250 oshmaydi.

Simli zigzagli qizdirgichlar $e/b \geq 2,0$, optimal qiymati $(e/b)_{opt}=2,5:4,5$ D=(4:6)d temirxromalyuminiy qotishmalar uchun
 D=(6:8)d nixrom uchun.

7-amaliy mashg'ulot

Karborundli qizdirgichlarni hisobi

Qizdirgichlar harorati 1250-1450°C gacha ko'tarilishi uchun karborundli (SiC) qizdirgichlar ishlatiladi.

Eng keng tarqalgan karborund qizdirgichlarning turi bu KNM va KNS qizdirgichlar.

4-jadval

1 m² joylashgan lentali qizdirgichni maksimal va optimal uzunliklari va yuzalari

kesim, mm ²	e/b=2,0		e/b=0,9	
	L _{opt} , m	F _{opt} , m ²	l _{max} , m	F _{max} , m ²
2x10	38	0,915	84	2,02
1,5x15	25	0,825	55,5	1,83
2,0x15	25	0,860	55,5	1,89
2,2x20	19	0,845	42	1,87
2,5x20	19	0,855	42	1,89
3,0x20	19	0,875	42	1,93

2,2x25	15	0,815	33,5	1,82
2,5x25	15	0,825	33,5	1,85
3,0x25	15	0,840	33,5	1,88
2,2x30	12,5	0,805	25*	1,61**
2,5x30	12,5	0,813	25*	1,62**
3,0x30	12,5	0,825	25*	1,68**
2,2x36	10,5	0,802	19**	1,45**
2,5x36	10,5	0,808	19**	1,46**
3,0x36	10,5	0,820	19**	1,48**
2,2x40	9,5	0,802	21	1,77
2,5x40	9,5	0,807	21	1,78
3,0x40	9,5	0,818	21	1,80
ilova *e/b=1,0; *e/b=1,1				

Pechlarda qizdirgichlar vertikal yoki gorizontal joylashishi mumkin. Karborundli qizdirgichlarni hisoboti metall qizdirgichlar kabi aniqlanadi va ularning solishtirma yuzasining quvvati grafikka qarab aniqlanadi. Qizdirgichning quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N=\omega \int_{\text{ишчи}} (10)$$

$F_{\text{ишчи}}$ - qizdirgichni ishchi qismining yuzaki maydoni, m^2 (jadvaldan)

5-jadval

1m² futerovkada joylashgan simli qizdirgichni maksimal va optimal uzunliklari va yuzalari .

Diametr, mm	Zigzagli qizdirgich								Spiralli qizdirgich			
	Notekkis plitalarda, notekkislar qadami, mm				ilgichlarda e/d,teng				tokchalarda t/d,teng			
	12,5		17		2,75		3,5		2		4	
	l_{max}	F_{max}	l_{ort}	F_{ort}	l_{max}	F_{max}	l_{ort}	F_{ort}	l_{max}	F_{max}	l_{ort}	F_{ort}
4	70	0,88	50	0,625	-	-	-	-	200	2,46	100	1,23
4,5	70	0,99	50	0,703	-	-	-	-	180	2,46	90	1,23
5	70	1,01	50	0,780	-	-	-	-	160	2,46	85	1,23
5,6	-	-	50	0,875	-	-	-	-	140	2,46	70	1,23
6,3	-	-	50	0,985	-	-	38	0,745	125	2,46	62,5	1,23
7	-	-	-	-	43	0,950	34	0,745	115	2,46	57,5	1,23
8	-	-	-	-	38	0,950	30	0,745	100	2,46	50,0	1,23
9	-	-	-	-	34	0,950	27	0,745	-	-	-	-
10	-	-	-	-	30	0,950	24	0,745	-	-	-	-

11	-	-	-	-	27	0,950	21	0,745	-	-	-	-
12	-	-	-	-	25	0,950	20	0,745	-	-	-	-
13	-	-	-	-	23	0,950	18	0,745	-	-	-	-
14	-	-	-	-	21	0,950	17	0,745	-	-	-	-
15	-	-	-	-	20	0,950	16	0,745	-	-	-	-
16	-	-	-	-	19	0,950	15	0,745	-	-	-	-
17	-	-	-	-	18	0,950	14	0,745	-	-	-	-
18	-	-	-	-	17	0,950	13,5	0,745	-	-	-	-
19	-	-	-	-	16	0,950	12,5	0,745	-	-	-	-
20	-	-	-	-	15	0,950	12	0,745	-	-	-	-

6-jadval

Karborund qizdirgichlarning tasnifi

Qizdirgichlarning qollanilishi	Qizdirgichlarning turi	O'lchamlari				Ishchi qismining yuzaki maydoni, m ² ·10 ⁴	Qizdirilgan vaqtda to'liq qarshilash miqdori, Om
		Ishchi qismining Uzunligi, m	Umumiy uzunlik, m	Ishchi qismining diametri, mm	Chiqishlar diametri, mm		
Ishlab chiqarishda	KNS– 25/406	0,30	0,406	25	-	236	0,77-1,75
	KNS – 25/440	0,30	1,12	25	25	236	1,1-1,55
	KNS – 25/540	0,40	1,22	25	25	314	1,2-1,80
	KNS – 32/711	0,56	0,711	32	-	564	1,1-2,80
	KNMV – 25/640	0,40	0,64	25	-	314	1,1-2,0
Laboratoriya	KNM – 8x100x270	0,10	0,27	8	14	25,1	1,0-2,0
	KNM – 8x150x270	0,15	0,27	8	14	37,8	1,5-3,0
	KNM – 8x150x320	0,15	0,32	8	14	37,8	1,5-3,0
	KNM – 8x150x450	0,15	0,42	8	14	37,8	1,5-3,0
	KNM – 8x150x300	0,18	0,30	8	14	45,2	1,8-3,6
	KNM – 8x150x350	0,18	0,35	8	14	45,2	1,8-3,6
	KNM – 8x150x400	0,18	0,40	8	14	45,2	1,8-3,6

KNM – 8x150x480	0,18	0,48	8	14	45,2	1,8-3,6
KNM – 8x200x500	0,20	0,50	8	14	50,2	2,0-4,0
KNM – 8x250x450	0,25	0,45	8	14	62,8	2,5-5,0
KNM – 12x250x750	0,25	0,75	12	18	94,2	1,5-3,0
KNM – 14x300x250	0,30	0,80	14	23	132,0	1,75-3,5
KNL – 12/280	0,20	0,28	12	-	75,4	4,4-9,0
KNL – 12/320	0,23	0,32	12	-	86,5	4,5-9,0
KNL – 16/320	0,23	0,32	16	-	115,0	4,5-9,0
KTN 55/40x200x75	0,2	0,35	55/40	55	327,0	1,0-2,6

Bir qizdirgich kuchlanishining tushishi, V

$$U = \sqrt{10^3 NR}$$

Bu yyerda R- qizdirgichning qarshiligi, Om.

Pechning quvvatini va bir qizdirgichning quvvatini aniqlab, qizdirgichlarni umumiy sonini aniqlashimiz mumkin. So'ngra qizdirgichlarni yoqish sxemasini tanlab (parallel yoki ketmaketlik) va bir qizdirgich uchun kerak bo'lgan quvatni inobatga olgan holda transformatorning past va baland qadamini aniqlaymiz.

Misol: kamerali elektroqarshilik pechinig qizdirgichlarini hisoblash chun quyidagi miqdorlardan foydalaniladi: mahsulotning yuzasi harorati $t_M^{oxiri} = 1300^0 C$; mahsulotni yuzasi qorayish darajasi $\varepsilon_M = 0,45$; pech quvvati $N_\Sigma = 20$ kVt; tarmoqdagi kuchlanish $U_t = 220$ V. Pechning ishchi qismining o'lchamlari $1,0 \times 0,8 \times 0,5$ m².

Qizdirgichni harorati quyidagicha aniqlanadi

$$t_q = t_m^{oxiri} + 100 = 1300 + 100 = 1400^0 C$$

Qizdirgichlarni vertikal joylashishini va ishchi qisminig balandligini 0,5 m deb qabul qilsak, KNS-25/540 turdagi karborund qizdirgichlarni tanlab olsak bo'ladi. 1-rasmda grafik bo'yicha $\varepsilon_M = 0,45$ uchun ideal qizdirgichning solishtirma quvvati $\omega_{id} = 37,5$ kVt/m² teng. Real qizdirgichning solishtirma quvvatini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$\omega = \alpha \omega_{id} = \alpha_{ef} \alpha_g \omega_{id},$$

Bu yyerda α_{ef} -berilgan qizdirgichlar sisitemasining nurlanish effektivligi koeffitsienti (karborund qizdirgichlar uchun $\alpha_{ef}=0,68$ teng), α_g – 2 rasmdagi grafikdan aniqlangan qadam koeffitsienti.

$e/d=3$ 2 rasmdan $\alpha_g=1,05$ tanlab olamiz.

Shunda $\omega=0,68 \cdot 1,05 \cdot 37,5=26,75$ $\kappa Vt/m^2$.

Jadval ma'lumoti bo'yicha tanlangan qizdirgich yuzasi maydoni $0,0314$ m^2 .

Bir qizdirgichning quvvatini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$N=26,75 \cdot 0,0314=0,84 \kappa Vt.$$

Shunda qizdirgichlar umumiy soni

$$n=N_{\Sigma}/N=20/0,84=24$$

Qizdirgichlarni yon devorlarda joylashtirsak har bir devorga 12dan qizdirgich to'g'ri keladi. KNS-25/540 qizdirgichning ishchi qismining diametri 25 mm teng bo'lib va qadamini $e=3d=3 \cdot 25=75$ mm teng qilib olsak, shunda 12 qizdirgichlarni joylashtirish uchun devorning uzunligi

$$l=(n-1)e=11 \cdot 0,075=0,825 \text{ m teng bo'lish kerak.}$$

Yangi qizdirgichlar qo'llash uchun kerak bo'lgan kuchlanish eng past kuchlanish ($R_{min}=1,2$ Om)

$$U_{min} = \sqrt{10^3 \cdot 0,84 \cdot 1,2} = 31,8 \text{ V;}$$

eng yuqori kuchlanish ($R_{max}=1,8$ Om)

$$U_{max} = \sqrt{10^3 \cdot 0,84 \cdot 1,8} = 39,05 \text{ V.}$$

Eski qizdirgichlar qo'llash uchun kerak bo'lgan kuchlanish

$$U'_{max} = (2,5 \div 3,0) \cdot 39,05 = (97,5 \div 117) \text{ V.}$$

8-amaliy mashg'ulot

Disitsilid molibdenli qizdirgichlar hisobi

Ditsitsilid molibdenli metallkeramik qizdirgichlar tayyor mahsulot $1350-1550^{\circ}C$ gacha qizish uchun ishlatiladi. Shunda qizdirgichning darajasi $1450-1680^{\circ}C$ yetadi. DM qizdirgichlarni tasnifi 6 jadvalda keltirilgan.

DM qizdirgichlar karborund qizdirgichlar hisoboti bilan bir xil. α koiffitsenti miqdori o'zgarmas bo'lgani uchun qizdirgichning standart shakli bo'yicha $\alpha=1,27$ va $\alpha = \alpha_{ef} \cdot 0,68 \cdot 1,27=0,87$

DM qizdirgichning ishchi qismining quvvatini N_{ish} 6 jadvalda olingan f_{ish} miqdori bo'yicha aniqlanadi.

7-jadval

Har xil turdagi DM qizdirgichlar uchun qabul qilingan quvvatlar N , solishtirma yuzali quvvatlar ω va kuchlanishlar U miqdorlari

Qizdirgich turi	Ishchi qismining ochilgan uzunligi, m	Ishchi qismining yuzasi, $m^2 \times 10^4$	Ikita chiqishni qarshiligi 700°C; 2Rchiq, Om	Harorat , °C					
				1400		1500		1600	
				N, kVt	U, V	N, kVt	U, V	N, kVt	U, V
DM-180/250	0,39	72,4	0,0068	1,26	8,5	1,06	7,95	0,606	6,00
DM -180/400			0,0108	1,35	9,1	1,135	8,5	0,605	6,45
DM -250/250	0,53	99,4	0,0068	1,67	11,2	1,41	10,5	0,805	8,00
DM -250/400			0,0108	1,76	11,8	1,49	11,1	0,89	8,60
DM -315/250	0,66	124,2	0,0068	2,05	13,7	1,74	12,9	0,99	9,80
DM -315/400			0,0108	2,14	14,3	1,81	13,4	1,03	10,4
DM -315/500			0,0135	2,20	14,7	1,86	13,8	1,06	10,5
DM -400/250	0,83	156,0	0,0068	2,54	17,0	2,16	16,0	1,23	12,1
DM -400/400			0,0108	2,64	17,6	2,23	16,6	1,27	12,5
DM -400/500			0,0135	2,70	18,0	2,28	16,9	1,30	12,8
DM -500/250	1,03	194,0	0,0068	3,13	20,9	2,64	19,6	1,51	15,0
DM -500/400			0,0108	3,22	21,5	2,72	20,2	1,55	15,3
DM -500/500			0,0135	3,29	22,0	2,77	20,5	1,58	16,6
DM -630/250	1,29	243,0	0,0068	3,87	26,0	3,28	24,4	1,88	18,5
DM -630/400			0,0108	3,96	26,5	3,35	24,8	1,93	19,0
DM -630/600			0,0135	4,01	27,0	3,40	25,2	1,95	19,2
DM -800/700	1,63	307,0	0,0200	5,15	34,5	4,36	33,2	2,48	24,5
Ilova : DM-315/250: ishchi qisminig uzunligi 315 mm, chiqish uzunligi 250mm.									

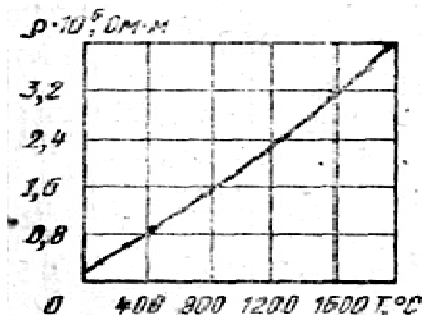
Qizdirgichni to'liq quvvatini chiqishlar quvvatini inobatga olgan holda quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$N = N_{ish} \left(1 + \frac{2R_{chiq}}{R_{ish}} \right), \text{ kVt.}$$

Standart shaklli DM qizdirgichlar uchun $d_{ish} = 6 \text{ mm}$, $d_{chiq} = 12 \text{ mm}$, chiqishlaning o'rtacha haroratini 700°C qilib olsak shunda :

$$N = N_{ish} \left(1 + \frac{0,75 \times 10^{-6}}{P_{ish}} \frac{l_{chiq}}{l_{ish}} \right), \text{ kVt,}$$

Bu yyerda $R_{chiq}-t$ °C bo'lganda bir chiqish qisminig qarshiligi, Ωm ; $R_{ish}-t$ °C bo'lganda ishchi qisminig qarshiligi, Ωm ; l_{chiq} и l_{ish} – qizdirgichning bir chiqish qisminig uzunligi va ishchi qisminig ochilgan uzunligi, m ; $\rho_{ish}-t$ °C bo'lganda qizdirgichning solishtirma elektr qarshiligi (4 rasm), $\Omega \cdot m$;



5- rasm. Ditsitsilid molibdenli qizdirgichning solishtirma elektroqarshiligi haroratga bo'g'liqligi

Qizdirgichning to'liq qarshiligi quyidagi formuladan topiladi.

$$R=3.54 \cdot 10^4 (P_{\text{ishchi}} \cdot l_{\text{ishchi}} + 0.75 \cdot l_{\text{chik}}), \Omega m \quad (13)$$

Misol: Kamerali elektroqarshilik pechning qizdirgichlarini hisoblash uchun quyidagi ma'lumotlarni olamiz: tayyor mahsulotning yuzasini oxirgi darajasi $t_m^{\text{oxiri}}=1400^\circ\text{C}$; tayyor mahsulotning yuzasini qorayish darajasi $\varepsilon_m=0,45$; pechni quvvati $N_\Sigma=20$ kVt; tarmoqning kuchlanishi $U_t=220\text{V}$; Pechning ishchi qismi o'lchamlari $1.0 \times 0.8 \times 0.5 \text{ m}^3$.

Qizdirgichning haroratini $t_q = t_m^{\text{oxiri}} + 100 = 1400 + 100 = 1500$ °C teng qilib olamiz. Qizdirgichlarning vertikal joylanishini va ishchi qismini balandligini 0.5m teng qilib olib, DM-400/400 markali qizdirgichning tanlab olamiz. Ideal qizdirgichning solishtirma yuzasini quvvatini grafik bo'yicha aniqlaymiz. $\varepsilon_m=0.45$, shunda $\omega_{id}=50$ kVt/ m^2 .

Real qizdirgichning solishma yuzasini quvvati $\omega = \alpha \cdot \omega_{id} = 0.87 \cdot 50 = 43.5$ kVt/ m^2

Jadvaldan DM-400/400 qizdirgichning ishchi qisminig yuzasini maydoni quyidagi formuladan aniqlanadi $f_{ish}=1.56 \cdot 10^{-4}$

Bir qizdirgichning ishchi qisminig quvvati quyidagicha aniqlanadi

$$N_{ish} = 43,5 \times 1,56 \times 10^{-4} = 0,678 \text{ kVt}$$

Qizdirgichning harorati 1500°C bo'lsa $\rho_{\text{ish}}=3,2 \cdot 10^{-6} \text{Om} \cdot \text{m}$

Jadvaldan qizdirgichning umumiy uzunligini va chiqishning uzunligini aniqlab

$l_{\text{ishchi}}=0,83\text{m}$ va $l_{\text{chiq}}=0,4\text{m}$, qizdirgichning to'liq quvvatini topamiz

$$N = 0,678 \left(1 + \frac{0,75 \times 10^{-6}}{3,2 \times 10^{-6}} \cdot \frac{0,4}{0,83} \right) = 0,75 \text{ kVt.}$$

Qizdirgichning to'liq qarshiligini aniqlaymiz

$$R = 3,54 \cdot 10^{-4} (3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,83 + 0,75 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4) = 0,1165 \text{ Om}$$

Qizdirgichning ishchi quvvatini aniqlaymiz

$$U = \sqrt{10^3 \times 0,75 \times 0,1165} = 9,6\text{V},$$

Pechda joylashgan bo'lgan qizdirgichlar umumiy soni

$$n = 20 / 0,75 = 26,7 = 27 \text{ dona.}$$

9-amaliy mashg'ulot

Kamerali elektroqarshilik pechining taxminiy hisobi

Tomonlari 0,1 m va balandligi 0,2m kvadrat kesimli yarim maxsulotni bosim bilan qayta ishlagandan oldin qizdirish uchun kamerali qarshilik elektropechlarni hisoblash.

Qizigan metallning yuqori harorati $t_m^{\text{oxiri}}=1150 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Metallning dastlabki harorati $t_m^{\text{das}}=20^{\circ}\text{C}$, pechning ishlab chiqarish miqdori $P=0,111 \text{ kg/s}$.

Fizik issiqlik ko'rsatkichlari: o'rtacha issiqlik sig'imi $c=0,67 \text{ kDj (kg} \cdot \text{K)}$, zichligi $\rho=7800 \text{ kg/m}^3$, issiqlik o'tkazuvchan koeffitsienti $\lambda=31,4 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$. Pech kuchlanishi 380 V li uch fazali tokdan oziqlanadi.

Pechning issiqlik hisoboti.

Pechning o'lchamlari

Shunday turdagi pechlarning aktiv tubining kuchlanishi 0.140-0.195kg/(m²·s), (500-700kg/(m²·s) teng. $p=0,66 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s)}$ qabul qilib,

metall bilan band bo'lgan pechning tubi maydoni quyidagi formuladan topamiz.

$$F'_m = P/p = 0.111/0.166 = 0.667 \text{ m}^2$$

Tub ostida mahsulot isitiladi. Tub osti enini 0.7 m qabul qilib uning uzunligini quyidagicha topamiz.

$$L'_m = F'_m/B_m = 0.667/0.7 = 0.955 \text{ m}$$

Pechning enini quyidagi formuladan topamiz

$$B = B' + 2(0.1 \div 0.25) = 0.7 + 2 \cdot 0.2 = 1.1 \text{ m}$$

Pechning uzunligi esa $L = 1.3 \text{ m}$.

Isigan metall bilan shiftning (svod) masofasini 0,35mm, tub va tub ostidagi masofa 0,15 m qilib olamiz. Shunda pechning ishchi qismining umumiy balandligi $H = 0,6 \text{ m}$ teng. Ikki taraflama isitilayotgan metallning yuzasi maydoni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$F_m = 2 \cdot 0.667 \text{ m}^2 = 1.334 \text{ m}^2$$

Va issiqlik uzatuvchi yuzaning maydoni

$$F_{yu} = 1.3 \cdot 0.6 \cdot 2 + 1.3 \cdot 1.1 \cdot 2 + 1.1 \cdot 0.6 \cdot 2 = 5.74 \text{ m}^2$$

Futrovkani qorayish darajasini $\varepsilon_p = 0.8$ va po'latni qorayish darajasini $\varepsilon_m = 0.45$ inobatga olgan olganda

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{0.45} + \left(\frac{1}{0.8} - 1\right)} = 0.44$$

Shunda nurlanish orqali issiqlik uzatish o'rtacha ko'effitsientini topamiz.

$$\alpha_{nurl} = \frac{5.7 \times 0.44 \sqrt{\left[\left(\frac{1200 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{1150 + 273}{100}\right)^4\right] \times \left[\left(\frac{1200 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100}\right)^4\right]}}{\sqrt{(1200 - 1150)(1200 - 20)}} = 174.5 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \times K).$$

Konveksiya orqali issiqlik uzatuvchi ko'effitsienti $\alpha_{konv} = 11.63 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot K)$ teng bo'lib metallga issiqlik uzatuvchanlik umumiy ko'effitsient miqdorini aniqlaymiz

$$\alpha = 174.5 + 11.63 = 186.13 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot K)$$

Bio kriteriysi quyidagiga teng

$$Bi = \frac{196,13 \times 0,05}{31,4} = 0,297$$

Tayyorlovchi yuzasini darajasi kriteriyasi quyidagicha:

$$\theta_{yuz} = \frac{1200 - 1150}{1200 - 20} = 0,0425$$

Furye kriteriyasi $F_0=11.6$ ga teng, bu koeffitsienti kiradigan harorat o'tkazuvchanlik koeffitsienti

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\rho} = \frac{31,4}{7800 \times 0,67 \times 10^3} = 6,05 \times 10^{-6} m^2/s$$

Pechda tayyorlov isitish davomi quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$\tau = F_0 \frac{s^2}{\alpha} = 11,6 \frac{0,05^2}{6,05 \times 10^{-6}} = 4,800 s (1,333 soat)$$

Isitilayotgan tayyorlov markazi uchun harorat kriteriyasini aniqlaymiz, $Bi=0,297$ va $F_0=11,6$ $\theta_{markaz}=0,05$

$$T_{markaz}^{kon}=1200-0.05(1200-20)=1141^0C \text{ teng bo'ladi.}$$

Tayyorlovchi kesmasida harorat o'zgarishi quyidagicha:

$$\Delta t = 1150 - 1141 = 9^0$$

Pechning asosiy o'lchamlarini aniqlaymiz. Pechning ishlab chiqarish miqdorini ta'minlash uchun pechda $G' = P\tau = 0,111 \cdot 4800 = 534,0$ kg metall bo'lishi kerak.

Bir tayyor bo'lgan mahsulotning og'irligi $g=31.2$ kg bo'lganda, shunda pechda tayyorlov umumiy sonini topamiz

$$n = G'/g = 534.0/31.2 = 17.2 = 18$$

18. Tayyorlov tubni ostida joylashganda, ular egallagan maydoni quyidagicha aniqlanadi

$$F'_m = 18.0 \cdot 0.04 = 0.72 m^2$$

$$\text{Podning quvvati } p = P/F'_m = 0.111/0.72 = 0.153 \text{ kg}/(m^2 \cdot s)$$

Tub ostiga tayyorlov 6 qator qilib va har bir qatorda 3 tadan tayyorlov joylashgan.

$$\text{Shunda tubning eni } B'_m = 0.2 \cdot 3 = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Tubning uzunligi } L'_m = 0.2 \cdot 6 = 1.2 \text{ m}$$

Pechning harorati $1000-1200^{\circ}\text{C}$ bo'lganda ikki qavatli futerovkani qo'llash tavsiya etiladi, buni inobatga olgan holda o'tga chidamli g'isht terimi shamotdan bo'lib 0.115 m teng va issiqlik izolyatsiyasi diatomit g'ishtidan terilgan, qalinligi 0.3 m teng.

Pechning quvvati

Pechning quvvati quyidagi formuladan topamiz:

$$N = Q_{\text{umumiy}} K$$

Pechda issiqlik sarfi quyidagicha

$$Q_{\text{umumiy}} = Q_{\text{foydali}} + Q_{\text{yo'qotish}} + Q_{\text{q.t.}}$$

Q_{foydali} - metallni isitish uchun foydali issiqlik sarfi,

$Q_{\text{yo'qotish}}$ - agne uporlardan issiqlik uzatishi tufayli issiqlik sarfi,

$Q_{\text{q.t.}}$ - qisqa tutashuv orqali issiqlik sarfi.

Pechda metallni qizdirish uchun issiqlik sarfi

$$Q_{\text{foydali}} = 0.111 \cdot 10^3 (770.5 - 13.4) = 84000\text{ Vt}$$

G'isht terimi issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik sarfini, futerovkani ichki yuzasini harorati 1200°C , ustki yuzasini 170°C inobatga olgan holda, quyidagi formuladan aniqlanadi

$$\alpha_{\text{konv}} = 10 + 0.06 \cdot 170 \cdot 20.2 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\lambda_{\text{sh}} = 0.7 + 0.64 \cdot 10^{-3} t_{\text{sh}} \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\lambda_{\text{d}} = 0.145 + 0.314 \cdot 10^{-3} t_{\text{d}} \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Qatlamlar chegarasi haroratini quyidagicha aniqlaymiz

$$t_{\text{sh-d}} = t_2 + (t_1 - t_2) \frac{\delta_{\text{d}}}{\delta_{\text{d}} + \delta_{\text{sh}}} = 170 + (1200 - 170) \frac{0.3}{0.015 + 0.3} = 914.6^{\circ}\text{C}$$

Materiallarning issiqlik o'tqazuvchanlik koeffitsienti

$$\lambda_{\text{sh}} = 0.7 + 0.64 \cdot 10^{-3} (1200 + 914.6)/2 = 1.37 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K});$$

$$\lambda_{\text{d}} = 0.145 + 0.314 \cdot 10^{-3} (914.6 + 170)/2 = 0.31 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K});$$

Endi

$$q = \frac{1200 - 20}{\frac{0.115}{1.37} + \frac{0.3}{0.31} + \frac{1}{20.2}} = 1071.6 \text{ Vt}/\text{m}^2$$

Bu yyerda atrofdagi harorat $t_{\text{atrof}} = 20^{\circ}\text{C}$

Futerovka qatlamlar chegarasidagi haroratni aniq topamiz

Shunda

$$\lambda_{\text{sh}} = 0.7 + 0.64 \cdot 10^{-3} (1200 + 1110)/2 = 1.43 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K});$$

$$\lambda_{\text{d}} = 0.145 + 0.314 \cdot 10^{-3} (1110 + 73)/2 = 0.33 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K});$$

$$\alpha_{\text{konv}} = 10 + 0.06 \cdot 73 = 14.38 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

va

$$q' = \frac{1200 - 20}{\frac{0.115}{1.43} + \frac{0.3}{0.33} + \frac{1}{14.38}} = 1114.2 \text{ Vt/m}^2$$

Devorlarning qalinligini inobatga olgan holda futerovka yuzasi maydonini aniqlaymiz.

$$F_{\text{yuza}} = 2,13 \cdot 1,43 \cdot 2 + 2,13 \cdot 1,93 \cdot 2 + 1,43 \cdot 1,93 \cdot 2 = 19,84 \text{ m}^2.$$

Pechdagi g'isht terimi issiqlik o'tqazuvchanligi orqali issiqlik sarfi

$$Q_{\text{is}} = \frac{1200 - 20}{\frac{0.115}{1.43} + \frac{0.3}{0.33} + \frac{1}{14.38}} \cdot 19,84 = 21400 \text{ Vt}$$

Issiq qisqa tutashuvlarga issiqlik sarfini g'isht terimi issiqlik o'tkazuvchanligi orqali issiqlik sarfidan 70% ni qabul qilamiz

$$Q_{\text{q.t.}} = 0,7 \cdot 21400 = 15000 \text{ Vt.}$$

Pechda umumiy issiqlik sarfi

$$Q_{\text{umum}} = 84000 + 21400 + 15000 = 120400 \text{ Vt.}$$

Shunda pech quvvati

$$N_{\Sigma} = 1,2 \cdot 120400 = 144500 \text{ Vt} (144,5 \text{ kVt}).$$

10-amaliy mashg'ulot **Pechning elektrik hisobi**

Qizdirish elementlari

Qizdirish elementlarning ishchi harorati

$$t_q = t_m^{\text{ohiri}} + 100 = 1150 + 100 = 1250^{\circ}\text{C} \text{ teng qilib olamiz.}$$

X27YU5A qotishmasini tanlab, unga tavsiya etilayotgan ishchi harorat 1250°C teng. Ishchi haroratdagi qotishmaning solishtirma qarshiligi quyidagicha

$$\rho = 1.4 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-11} \cdot 1250 = 1.4625 \cdot 10^{-6} \text{ Om} \cdot \text{m}$$

Grafik bo'yicha ideal qizdirgichning solishtirma quvvatini aniqlaymiz. Tayyor mahsulotning haroratini 1150°C qilib olganda

$$\omega_{\text{ideal}} = 34,5 \text{ kVt/m}^2$$

Qizdirish elementlar pechning devorida, shiftida va tubida joylashishi mumkinligini aniqlagan edik. Devorda joylashgan qizdirgichlarning nisbiy quvvati quyidagicha.

$$N_{\text{dev.nisb}} = 144,5 / (5,08 \cdot 34,5) = 0,825$$

shunda

$$F_{\text{yuza}} = 2 \cdot 1,3 \cdot 0,6 + 2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 + 1,1 \cdot 0,6 = 5,08 \text{ m}^2$$

Devorlarning nisbiy quvvatini aniqlab, qizdirgichni turini topamiz. Pechlarda simli spiralli yoki lentali zigzagli qizdirgichlar ishlatilishi mumkin. Har bir turi bilan “yulduz” yoki “uchburchak” sxemasi bo‘yicha ishlash mumkin

Lentali zigzagli qizdirgichlar

Lentali qizdirgichlarni geometrik o‘lchamlarini aniqlash uchun real qizdirgichni solishtirma yuzasining quvvatini aniqlashimiz kerak.

Shunda

$$\omega_{\text{xqiqiy}} = 0,51 \cdot 34,5 = 17,6 \text{ kVt/m}^2.$$

Pech oziqlanishi chiziqli kuchlanish $U_t = 380 \text{ V}$ bilan uch fazali tok yordamida olib borilsa, shunda 1 fazaga to‘g‘ri keladigan quvvat

$N_f = N/3 = 144,5/3 = 48,16 \text{ kVt}$ teng bo‘ladi. Pech uch fazali tok bilan oziqlansa, biz fazaga keladigan quvvat quyidagichani tashkil qiladi.

Qizdirgichlar “uchburchak” sxemasi bo‘yicha ulansa

$$N_f = 48,16 \text{ kVt}; \quad U_f = U_t = 380 \text{ V};$$

$$\omega_{\text{xqiqiy}} = 17,6 \text{ kVt/m}^2.$$

Shunda

$$U_{\text{shartli}} = 380(1,0 \cdot 10^{-6} / 1,4625 \cdot 10^{-6})^{0,5} = 314,2 \text{ B},$$

$$\omega_{\text{shartli}} = 1,97 \cdot 17,6 = 34,672 \text{ kVt/m}^2.$$

Qizdirgichlar “uchburchak” sxemasi bo‘yicha ulansa pechning ichki yuzalariga qadami $e/b = 0,9$ va $2,0 \times 15 \text{ mm}^2$ kesimli lentali qizdirgichlarni joylashtirish mumkin.

$$N_f = 48,16 \text{ kVt}; \quad U_f = U_t = 380 \text{ V};$$

$$\omega_{\text{xqiqiy}} = 17,6 \text{ kVt/m}^2.$$

Shunda

$$U_{\text{shartli}} = 380(1,0 \cdot 10^{-6} / 1,4625 \cdot 10^{-6})^{0,5} = 314,2 \text{ V},$$

$$\omega_{\text{shartli}} = 1,97 \cdot 17,6 = 34,672 \text{ kVt/m}^2.$$

Lentali qizdirgichlar “yulduz” sxemasi bo‘yicha ulansa

$$N_f = 48,16 \text{ kVt}; \quad U_{\text{xaqiqiy}} = U_f = U_t / \sqrt{3} = 220 \text{ V};$$

$$U_{\text{shartli}} = 220 (1,0 \cdot 10^{-6} / 1,4625 \cdot 10^{-6})^{0,5} = 181,9 \text{ V};$$

$$\omega_{\text{shartli}} = 34,672 \text{ kVt/m}^2.$$

Bu miqdorlarga asoslanib $S=72 \text{ mm}^2$; $a=2,68 \text{ mm}$; $b=26,8 \text{ mm}$ va $l=48 \text{ mm}$ teng bo'lgan qizdirgichlardan foydalanishimiz mumkin. Shu o'lchamlarga yaqinroq kesma maydoni $3,0 \times 25 \text{ mm}^2$ teng. Bu qizdirgichni bo'lgan qizdirgich to'g'ri keladi. Kesim maydoniga eng yaqinroq bo'lgan qizdirgichning kesim miqdori $e/b = 2,0$ bo'lganda $48,3/15=9,6 \text{ m}^2$ teng, $e/b=0,9$ bo'lganda $48,3/33,5=4,29 \text{ m}^2$ teng.

Qizdirgich yirikroq bo'lsa u bilan foydalanish muddati katta bo'ladi, shunda "yulduz" sxemasi bo'yicha ulangan $3,0 \times 25 \text{ mm}^2$ kesimli va bir faza uzunligi $l_f = 48 \text{ m}$ teng bo'lgan lentali qizdirgichdan foydalanish mumkin bo'ladi. Katta qizdirgichni ishlash muddati uzoq bo'lishini inobatga olgan holda bir fazaga uzunlikga teng lentali qizdirgichni tanlab olamiz, "yulduz" sxemasi bo'yicha ulangan bo'lib

Simli spiraliy qizdirgich

Po'latni qizdirish uchun simli spiralli qizdirgichni qo'llasak shunda $\alpha = 0,49$ teng bo'ladi.

$$\omega = 0,49 \cdot 34,5 = 16,9 \text{ kVt/m}^2.$$

"uchburchak" sxema bo'yicha ulansa:

$$N_f = 48,16 \text{ kVt}; \quad U_f = 380 \text{ V}; \quad \omega_{\text{xaqiqiy}} = 16,9 \text{ kVt/m}^2;$$

$$U_{\text{shart}} = 314,2 \text{ V}; \quad \omega_{\text{shart}} = \omega_{\text{xaqiqiy}} = 16,9 \text{ kVt/m}^2.$$

Bu miqdorlarga asoslanib sim diametri $8,5 \text{ mm}$ va uzunligi 108 m bo'lgan simli qizdirgich to'g'ri keladi

Qizdirgichlar "yulduz" sxemasi bo'yicha ulansa

$$N_f = 43,16 \text{ kVt}; \quad U_f = 220 \text{ V}; \quad \omega_{\text{xaqiqiy}} = 16,9 \text{ kVt/m}^2;$$

$$U_{\text{shart}} = 181,9 \text{ V}; \quad \omega_{\text{shart}} = \omega_{\text{xaqiqiy}} = 16,9 \text{ kVt/m}^2.$$

Qizdirgichlar turlarini va ulanish sxemasi bo'yicha solishtirib kesmasi $3,0 \times 25 \text{ mm}^2$ va bir fazaga keladigan uzunligi 48 m bo'lgan lentali qizdirgichni qollash kerak (ulanish "yulduz" sxema bo'yicha).

11-amaliy mashg'ulot

Lentali zigzagli qizdirgichni aniq hisobi

X27YU5 markali qotishmaning ishchi harorati 1250°C va solishtirma elektroqarshiligi $\rho=1.4625 \text{ Om}\cdot\text{m}$ teng qilib olamiz. Bir faza qarshiligi

$$R_f = \frac{U_f^2}{10^3 N_f} = \frac{220^2}{10^3 \times 48,16} = 1,0 \text{ Om}$$

Bir fazaga keladigan qizdirgichning uzunligi

$$L_f = \frac{R_f S}{\rho} = \frac{1,0 \times 3,0 \times 25 \times 10^{-6}}{1,4625 \times 10^{-6}} = 51,28 \text{ m}$$

Solishtirma yuzasining quvvati

$$\omega = \frac{N_f}{2(a+b)L_f} = \frac{48,16}{2(3,0+25)51,28 \times 10^{-6}} = 16,77 \text{ kVt/m}^2$$

Loyihalashtirilgan pechning shiftida, tubida va devorlarida joylashgan qizdirgichning soni bir xil. Shunda tubining yuzasini maydoni $1,1 \cdot 1,3 = 1,43 \text{ m}^2$ teng.

Yon devorlarning yuzasi maydoni

$$1,3 \cdot 0,6 = 0,78 \text{ m}^2 \text{ va burchak devorning yuzasi maydoni } 1,1 \cdot 0,6 = 0,66 \text{ m}^2$$

Lentali qizdirgichlarni umumiy uzunligi

$$51,28 \cdot 3 = 153,84 \text{ m bo'lganda, shunda pechning tubi va shiftida}$$

$153,84 \cdot 1,43 / 5,08 = 43,3 \text{ m}$ qizdirgichlar joylashishi kerak, yon devorlarida uzunligi $23,62 \text{ m}$ va burchak devorda uzunligi 20 m bo'lgan qizdirgichlar joylashishi kerak.

Devorlarda zigzagning balandligini $H_{\text{dev}}=0,2 \text{ m}$, tubi va shiftida $H_{\text{tub}}=0,25 \text{ m}$ qilib olsak, shunda devorlarda qizdirgichlar 2 ta qator, shifti va tubida esa 3 qator bo'lib joylashgan bo'ladi. Yon devorlarda joylashgan har bir qizdirgichlarning qatori uzunligi $23,62/2=11,81 \text{ m}$ va $20/0,2=10 \text{ m}$ bo'ladi, tubida va shiftida esa $43,3/3=14,43 \text{ m}$ uzunlik bo'ladi.

Endi lentali qizdirgichlarning zigzagning qadamini topamiz:

$$\text{shiftida(tubida): } e=1,3/(14,43:0,25)=0,022 \text{ m}$$

$$\text{Ya'ni zigzag qadami } e/b=0,022/0,025=0,9.$$

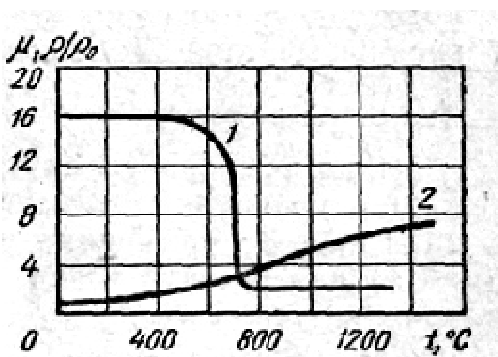
Shunday qilib loyihalashtirilgan pechning yon devorlarida, burchak devorda va shiftida(tubida)qadami $e/b=0,9$ bo'lgan lentali qizdirgichlar

12-amaliy mashg'ulot

Induksion qurilmalarning hisobi

Qurilmalarning induksion qizdirilishi hisobotiga issiqlik hisoboti va elektrik hisobotlari kiradi va ularning natijasida qizdirish vaqti va solishtirma quvvati aniqlanadi, induktorning geometrik o'lchamlari, induktorga keladigan quvvat, tok kuchi va kuchlanishlar aniqlanadi. a aniqlanadi .

Isitilayotgan metallning harorati, maydonining quvvati, o'zgarganda elektrik tokni tayyor mahsulotda paydo bo'lish tufayli induksion qurilmalarni hisoboti og'irlashadi. Chizmadan po'lat isishi yuqori nuqtasidan oshsa, uning magnit sifatleri yo'qoladi. ($\mu=1$) Magnit maydonga joylashgan o'tkazuvchining yuzaki effektiga ko'ra, kesmada tokning zichligi (A/m^2) eksponenta bo'yicha o'zgaradi.



6-rasm. Solishtirma magnit o'tkazuvchanlik (1) va solishtirma elektr qarshilik (2) haroratga bo'g'liqligi.

Po'lat qizdirilish natijasida solishtirma qarshiligini ρ va solishtirma magnit o'tkazuvchanligini μ rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan po'lat qizdirilishi Kyuri nuqtasidan oshsa uning magnit xususiyatlari oshadi($\mu=1$).

$$j_x = j_0 \exp(-x/\Delta),$$

Bu yyerda J_x va J_0 -x ning chuqurligida va yuzasidagi tokning zichligini miqdori A/m^2 , exp-logarifm asosi, Δ -tokning o'tkazuvchanlik chuqurligi, m va quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ m,}$$

f-chastota Gts, ρ - solishtirma qarshilik, $\text{Om}\cdot\text{m}$.

$x=\Delta$ bo'lganda tok zichligi qizdirilayotgan jismning yuzasining tok zichligidan "e" marta kamroq bo'ladi, isigan jismning yuzasidagi tokning zichligidan tok zichligi "e" marta kamroq bo'ladi. Shunda Δ qalinligidan chiqayotgan quvvatining miqdori jismdan chiqayotgan to'liq quvvatdan 86.5 % tashkil etadi.

Tokning chuqurroq kirishi ρ va μ dan bog'liq va harorat bilan o'zgarish kerak.

Po'latga tokning chuqurlanishi Δ_K qilib belgilaymiz ($\mu=1$; $\rho=\rho_K 10^{-6}\text{Om}\cdot\text{m}$).

Po'lat qizdoirilgan sari o'z magnit xususiyatini yo'qotadi. Ya'ni metalll ikki qavatli bo'lib qoladi. Bir qavati magnit xususiyatsiz bo'lib (yuqori nuqtasidan baland joylashgan) va bir qavati magnit xususiyatga ega bo'lgan.

Agar "tokning issiq chuqurlikka kirishi" Δ_K isigan qavatni chuqurligidan kattaroq bo'lsa, ya'ni $\Delta_K > X_K$ bo'lsa, shunda *chuqur* issiqlik deb nomlanadi.

$\Delta_K < X_K$ bo'lsa, issiqlik *yuzaki* deb nomlanadi.

13-amaliy mashg'ulot Induksion qurilmalarning issiqlik hisobi

Qizdirilgan metalll harorati maydoni issiqlik o'tkazuvchanligi tenglama orqali aniqlanadi. Qizdirilish usuliga qarab turli tenglama aniqlanadi:

a) yuzaki qizdirish uchun

$$\frac{dt}{d\tau} = \alpha \frac{d^2t}{dx^2}$$

b) ichki qizdirish uchun

$$\frac{dt}{d\tau} = \alpha \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{\omega}{c\rho}$$

Bu yyerda $\alpha = \lambda / c\rho$ -harorat o'tkazuvchanlik koeffitsienti, m^2/s ; λ -issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti, $\text{Vt}/\text{m}\cdot\text{K}$; c -solishtirma issiqlik sig'imi, $\text{Dj}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; ρ -metalll zichligi, kg/m^3 ; $\omega = p_0/\xi$ - ichki quvvat Vt/m^3 ; p_0 -solishtirma quvvat, Vt/m^2 ; $\xi = \Delta_K M$ - faol qavatning chuqurligi, m ; M - μ va x_K/Δ_K bog'liq bo'lgan ko'rsatgich.

Doimiy solishtirma quvvat bo'lganda tekis yuzali jismni qizdirilishi.
Ichki qizdirish. Bu holda tenglamani ko'rishni quyidagicha

$$t = \frac{p_0 h}{\lambda} [F_0 + S(\alpha, \beta, F_0)]$$

h-qavatning qalinligi, m; $F_0 = a = \tau/h^2$ – Fur'e kriteriyasi, $\alpha = \xi/h$ – faol qavatning solishtirma qalinligi; $\beta = x/h$ – ko'rilgan qavatning solishtirma koordinatasi. τ_k qizdirish vaqtini va p_0 solishtirma quvvatni quyidagi formulalar yordamida topamiz:

$$\frac{t_0}{\tau_k} = \frac{F_0 + S(\alpha, F_0)}{F_0 + S(\alpha, \beta_k, F_0)} = f(\tau_k)$$

$$p_0 = \frac{\lambda t_0 \times 10^{-3}}{2R_2 [F_0 + S(\alpha, 1, F_0)]}, \text{ kVt/m}^2$$

$S(\alpha, \beta_k, F_0)$ – S ko'rsatgichi $x = x_k$ ($\beta = \beta_k$) bo'lganda $F_0 > 0,2$

$$\tau_k = \frac{R_2^2}{\alpha} \frac{S(\alpha, 1) - \frac{t_0}{\tau_k} S(\alpha, \beta_k)}{t_0/\tau_k - 1}$$

Yuzaki qizdirish. Agar $\xi < 0,3x_k$ bo'lsa $\xi \approx 0$ va $\alpha = 1$ bo'ladi. Silindr uchun $S(\alpha, \beta, F_0)$ funksiya ko'rsatkichlari jadvalda keltirilgan.

14-amaliy mashg'ulot Induksion qurilmalarning elektrik hisobi

1. *Sovuq holat.* Bu holda $\rho = \text{const}$ va μ kichik ko'rsatkichdan maksimal ko'rsatkichigacha o'zgaradi.

2. *Oraliq holat.* Jismning yuzasi harorati Kyuri nuqtasiga yaqin bo'ladi, μ va ρ -ozgaruvchan ko'rsatkichlar.

3. *Issiq holat.* Yuzaning harorati Kyuri nuqtasidan oshadi. Kesmning qolgan qismlarda harorat pasayadi. μ va ρ -ozgaruvchan ko'rsatkichlar.

Ba'zi bir hollarda kesimning umumiy harorati Kyuri nuqtasidan baland bo'lsa, shunda ρ va μ -o'zgarmas ko'rsatkichlar.

Issiq holatda quyidagilar qabul qilinadi:

- 1) ikkita ajralgan qavat bo'lib ularning chegarasida magnit o'tqazuvchanlik miqdori yuzaki qismida $\mu=1$ va ichki qismida $\mu=\mu_2$.
- 2) qavatlarining solishtirma qarshiligi o'zgarmas va bir biriga teng.
- 3) ikkinchi qavatning magnitli o'tkazuvchanligi μ_2 o'zgarmas va magnit maydoni kuchlanishiga bog'liq.

Qizdirilyayotgan jismda ikkita qavat mavjudligi kesim bo'yicha tok zichligini taqsimlanishiga ta'sir qiladi. Odatda hisobotda effektiv tok chuqurlanishi ko'rsatkichi kiritiladi, shunda tok zichligini quyidagiga teng qilib olamiz:

$$\xi = \Delta_K M,$$

bu yerda Δ_K – tokni chuqurlanishi, m;

$$M = 1/(\sqrt{2K \cos \varphi});$$

K – ikkinchi qizdirilmagan qavatga ta'sirlarni inobatga olgan kompleks;

φ – magnit maydoni kuchlanishi elektr kuchlanishidan qolib ketish burchagi;

$$\cos \varphi = f(x_K/\Delta_K; m);$$

$$m = \frac{1 - \sqrt{\rho_2 \mu_2 / \rho_1 \mu_1}}{1 + \sqrt{\rho_2 \mu_2 / \rho_1 \mu_1}}$$

K , M , $\cos \varphi$ va $\sin \varphi$ ko'rsatkichlari 12-15 jadvallarda keltirilgan.

Ikkinchi qavatni solishtirma magnit o'tkazuvchanligi qavatlarining chegarasidagi magnit maydoniga bog'liq. Yuzadagi magnit maydoni H_{me} qavatlarining chegarasi kuchlanishi maydoniga H_{mk} nisbati x_K/Δ_K ko'rsatkichlarga bog'liq.

$$N = \frac{H_{me}}{H_{mk}} = f\left(\frac{x_K}{\Delta_K}, m\right)$$

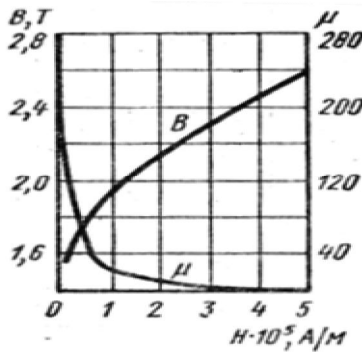
N ko'rsatkichlar 13 jadvalda keltirilgan.

Yuzadagi magnit maydoni kuchlanishi ko'rsatkichi jism bilan yutiladigan solishtirma quvvatga bo'g'liq, ya'ni:

$$H_{maz} = \sqrt{\frac{p_0 \times 10^9}{1,405K\sqrt{f\cos\varphi}}} A/m.$$

Bu formulalardan qavatlarining bo'linishi chegarasida maydonning kuchlanishini topamiz.

μ_2 aniqlash uchun po'latlarning magnitlarini chizig'i $B=f(H)$ bilan foydalanish. B va μ H_{mk} bog'liqligi 6-rasmda ko'rsatilgan.



7- rasm. Magnitli induksiya B va solishtirma magnit o'tqazuvchanlik μ magnit maydoni H kuchlanishiga bog'liqligi.

Silindirning har hil turdagi F_0 kriteriysi bo'yicha $S(\alpha, \beta, F_0)$ funktsiya ko'rsatkichlari

F_0	α	$S(\alpha, \beta, F_0)$ funktsiya ko'rsatkichlari, β teng bo'lganda								
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
0,0025	1,0	0,0712	0,0289	0,0018	-0,0133	-0,0205	-0,0247	-0,0249	-0,0250	-0,0250
	0,9	0,0490	0,0317	0,0037	-0,0120	-0,0201	-0,0247	-0,0249	-0,0250	-0,0250
	0,8	0,0326	0,0278	0,0115	-0,0068	-0,0169	-0,0236	-0,0244	-0,0247	-0,0246
	0,7	0,0211	0,0196	0,0138	-0,0016	-0,0117	-0,0224	-0,0238	-0,0246	-0,0244
	0,6	0,0132	0,0129	0,0110	-0,0063	-0,0036	-0,0199	-0,0277	-0,0245	-0,0240
0,05	1,0	0,0906	0,0458	0,0120	-0,0122	-0,0283	-0,0439	-0,0470	-0,0895	-0,0495
	0,9	0,0677	0,0480	0,0137	-0,0110	-0,0272	-0,0435	-0,0469	-0,0485	-0,0494
	0,8	0,0491	0,0426	0,0209	-0,0049	-0,0227	-0,0412	-0,0453	-0,0474	-0,0485
	0,7	0,0345	0,0317	0,0221	-0,0043	-0,0155	-0,0376	-0,0428	-0,0456	-0,0472
	0,6	0,0233	0,0220	0,0179	-0,0094	-0,0054	-0,0322	-0,0391	-0,0433	-0,0454
0,1	1,0	0,1093	0,0630	0,0241	-0,0077	-0,0328	-0,0658	-0,0754	-0,0816	-0,0850
	0,9	0,0860	0,0646	0,0310	-0,0063	-0,0316	-0,0649	-0,0748	-0,0811	-0,0849
	0,8	0,0658	0,0576	0,0318	-0,0006	-0,0263	-0,0609	-0,0712	-0,0779	-0,0817
	0,7	0,0488	0,0448	0,0314	-0,0083	-0,0183	-0,0547	-0,0659	-0,0734	-0,0776
	0,6	0,0347	0,0329	0,0260	-0,0131	-0,0073	-0,0461	-0,0584	-0,0667	-0,0715
0,15	1,0	0,1175	0,0705	0,0297	-0,0050	-0,0339	-0,0758	-0,0895	-0,0990	-0,1045
	0,9	0,0939	0,0720	0,0312	-0,0037	-0,0336	-0,0747	-0,0885	-0,0980	-0,1036
	0,8	0,0732	0,0645	0,0369	-0,019	-0,0273	-0,0699	-0,0840	-0,0937	-0,0995
	0,7	0,0553	0,0508	0,0362	-0,0105	-0,0192	-0,0626	-0,0771	-0,0872	-0,0932
	0,6	0,0400	0,0375	0,0294	-0,0147	-0,0080	-0,0526	-0,0677	-0,0782	-0,0845
0,2	1,0	0,125	0,0775	0,0350	-0,0025	-0,0350	-0,0850	-0,1025	-0,1150	-0,1225
	0,9	0,1013	0,0788	0,0363	-0,0012	-0,0037	-0,0837	-0,1012	-0,1137	-0,1212
	0,8	0,0800	0,0708	0,0417	-0,0042	-0,0283	-0,0783	-0,0958	-0,1083	-0,1158
	0,7	0,0613	0,0563	0,0404	-0,0125	-0,0200	-0,0700	-0,0875	-0,1000	-0,1075
	0,6	0,0450	0,0421	0,0329	-0,0164	-0,0087	-0,0587	-0,0762	-0,0887	-0,0962

$K=f(x_k/\Delta_k)$ при $m=\text{const}$ amallari

F_0	α	β teng bo'lganda, $S(\alpha, \beta, F_0)$ ko'rsatgichlari									
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,0025	1,0	0,0712	0,0289	0,0018	-0,0133	-0,0205	-0,0234	-0,0247	-0,0249	-0,0250	-0,0250
	0,9	0,0490	0,0317	0,0037	-0,0120	-0,0201	-0,0233	-0,0247	-0,0249	-0,0250	-0,0250
	0,8	0,0326	0,0278	0,0115	-0,0068	-0,0169	-0,0217	-0,0236	-0,0244	-0,0246	-0,2470
	0,7	0,0211	0,0196	0,0138	-0,0016	-0,0117	-0,0191	-0,0224	-0,0238	-0,0244	-0,0246
	0,6	0,0132	0,0129	0,0110	-0,0063	-0,0036	-0,0141	-0,0199	-0,0277	-0,0240	-0,0245
0,05	1,0	0,0906	0,0458	0,0120	-0,0122	-0,0283	-0,0382	-0,0439	-0,0470	-0,0485	-0,0495
	0,9	0,0677	0,0480	0,0137	-0,0110	-0,0272	-0,0373	-0,0435	-0,0469	-0,0485	-0,0494
	0,8	0,0491	0,0426	0,0209	-0,0049	-0,0227	-0,0342	-0,0412	-0,0453	-0,0474	-0,0485
	0,7	0,0345	0,0317	0,0221	-0,0043	-0,0155	-0,0289	-0,0376	-0,0428	-0,0456	-0,0472
	0,6	0,0233	0,0220	0,0179	-0,0094	-0,0054	-0,0214	-0,0322	-0,0391	-0,0433	-0,0454
0,1	1,0	0,1093	0,0630	0,0241	-0,0077	-0,0328	-0,0519	-0,0658	-0,0754	-0,0816	-0,0850
	0,9	0,0860	0,0646	0,0310	-0,0063	-0,0316	-0,0508	-0,0649	-0,0748	-0,0811	-0,0849
	0,8	0,0658	0,0576	0,0318	-0,0006	-0,0263	-0,0462	-0,0609	-0,0712	-0,0779	-0,0817
	0,7	0,0488	0,0448	0,0314	-0,0083	-0,0183	-0,0391	-0,0547	-0,0659	-0,0734	-0,0776
	0,6	0,0347	0,0329	0,0260	-0,0131	-0,0073	-0,0295	-0,0461	-0,0584	-0,0667	-0,0715
0,15	1,0	0,1175	0,0705	0,0297	-0,0050	-0,0339	-0,0574	-0,0758	-0,0895	-0,0990	-0,1045
	0,9	0,0939	0,0720	0,0312	-0,0037	-0,0336	-0,0562	-0,0747	-0,0885	-0,0980	-0,1036
	0,8	0,0732	0,0645	0,0369	-0,019	-0,0273	-0,0512	-0,0699	-0,0840	-0,0937	-0,0995
	0,7	0,0553	0,0508	0,0362	-0,0105	-0,0192	-0,0434	-0,0626	-0,0771	-0,0872	-0,0932
	0,6	0,0400	0,0375	0,0294	-0,0147	-0,0080	-0,0329	-0,0526	-0,0677	-0,0782	-0,0845
0,2	1,0	0,1250	0,0775	0,0350	-0,0025	-0,0350	-0,0625	-0,0850	-0,1025	-0,1150	-0,1225
	0,9	0,1013	0,0788	0,0363	-0,0012	-0,0037	-0,0612	-0,0837	-0,1012	-0,1137	-0,1212
	0,8	0,0800	0,0708	0,0417	-0,0042	-0,0283	-0,0558	-0,0783	-0,0958	-0,1083	-0,1158
	0,7	0,0613	0,0563	0,0404	-0,0125	-0,0200	-0,0475	-0,0700	-0,0875	-0,1000	-0,1075
	0,6	0,0450	0,0421	0,0329	-0,0164	-0,0087	-0,0362	-0,0587	-0,0762	-0,0887	-0,0962

 $m=\text{const}$ bo'lganda $K=f(X_k/\Delta_k)$ ko'rsatgichlari

x_k/Δ_k	K ko'rsatgichlar m , teng bo'lganda						
	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1,0
0,0	1,856	2,334	3,000	4,0000	5,600	9,000	
0,1	1,636	1,939	2,320	2,810	3,661	4,660	7,080
0,2	1,446	1,644	1,858	2,123	2,148	2,750	3,540
0,3	1,312	1,443	1,575	1,709	1,855	2,026	2,360
0,4	1,204	1,281	1,361	1,441	1,525	1,611	1,778
0,5	1,121	1,168	1,215	1,258	1,304	1,345	1,405
0,6	1,061	1,086	1,111	1,132	1,172	1,182	1,227
0,7	1,022	1,031	1,041	1,050	1,057	1,067	1,082
0,8	0,994	0,993	0,992	0,992	0,991	0,991	0,992
0,9	0,976	0,970	0,963	0,957	0,952	0,944	0,930

1,0	0,967	0,955	0,946	0,936	0,925	0,916	0,892
1,1	0,962	0,948	0,945	0,925	0,912	0,902	0,877
1,2	0,961	0,946	0,937	0,922	0,911	0,901	0,877
1,3	0,962	0,950	0,939	0,928	0,916	0,908	0,882
1,4	0,968	0,956	0,945	0,934	0,924	0,915	0,892
1,5	0,972	0,962	0,953	0,943	0,934	0,926	0,908
1,57	0,975	0,967	0,958	0,949	0,942	0,934	0,919

11-jadval

$m = \text{const}$ bo'lganda $M = f(x_k/\Delta_k)$ ko'rsatkichlari

10	k	d/a	k	d/a	k	d/a	k
0,00	1,0000	1,40	0,6115	3,60	0,3882	8,00	0,2366
0,05	0,9791	1,45	0,6031	3,70	0,3822	8,50	0,2272
0,10	0,9598	1,50	0,5950	3,80	0,3764	9,00	0,2185
0,15	0,9391	1,55	0,5871	3,90	0,3708	9,50	0,2106
0,20	0,9201	1,60	0,5795	4,00	0,3654	10,00	0,2033
0,25	0,9016	1,65	0,5721	4,10	0,3602	11,00	0,1903
0,30	0,8838	1,70	0,5649	4,20	0,3551	12,00	0,1790
0,35	0,8665	1,75	0,5579	4,30	0,3502	13,00	0,1695
0,40	0,8499	1,80	0,5511	4,40	0,3455	14,00	0,1605
0,45	0,8337	1,85	0,5444	4,50	0,3409	15,00	0,1527
0,50	0,8181	1,90	0,5379	4,60	0,3364	16,00	0,1457
0,55	0,8031	1,95	0,5316	4,70	0,3321	17,00	0,1394
0,60	0,7885	2,00	0,5255	4,80	0,3279	18,00	0,1336
0,65	0,7745	2,10	0,5137	4,90	0,3238	19,00	0,1284
0,70	0,7609	2,20	0,5025	5,00	0,3198	20,00	0,1236
0,75	0,7478	2,30	0,4918	5,20	0,3122	22,00	0,1151
0,80	0,7351	2,40	0,4816	5,40	0,3050	24,00	0,1079
0,85	0,9228	2,50	0,4719	5,60	0,2971	26,00	0,1015
0,90	0,7110	2,60	0,4626	5,80	0,2916	28,00	0,0959
0,95	0,6995	2,70	0,4537	6,00	0,2854	30,00	0,0910
1,00	0,6884	2,80	0,4452	6,20	0,2695	35,00	0,0808
1,05	0,6677	2,90	0,4370	6,40	0,2639	40,00	0,0722
1,10	0,6673	3,00	0,4292	6,60	0,2685	45,00	0,0664
1,15	0,6573	3,10	0,4210	6,80	0,2633	50,00	0,0611
1,20	0,6475	3,20	0,4145	7,00	0,2584	60,00	0,0528

1,25	0,6381	3,30	0,4075	7,20	0,2537	70,00	0,0467
1,30	0,6290	3,40	0,4008	7,40	0,2491	80,00	0,0419

12-jadval

$m = \text{const}$ bo'lganda $\cos\varphi = f(x_k/\Delta_k)$ ko'rsatkichlari

x_k/Δ_k	$\cos\varphi = f(x_k/\Delta_k)$ ko'rsatkichlar m , teng bo'lganda						
	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1,0
0,0	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	1,000
0,1	0,776	0,800	0,830	0,861	0,897	0,937	1,000
0,2	0,812	0,845	0,877	0,909	0,841	0,967	1,000
0,3	0,827	0,860	0,895	0,925	0,951	0,973	0,998
0,4	0,4	0,831	0,897	0,925	0,949	0,969	0,994
0,5	0,5	0,825	0,889	0,916	0,938	0,959	0,9688
0,6	0,6	0,816	0,875	0,900	0,923	0,943	0,974
0,7	0,7	0,802	0,857	0,880	0,901	0,921	0,954
0,8	0,8	0,787	0,834	0,856	0,876	0,894	0,927
0,9	0,9	0,772	0,811	0,829	0,847	0,863	0,893
1,0	1,0	0,758	0,788	0,804	0,817	0,832	0,858
1,1	1,1	0,744	0,768	0,779	0,790	0,803	0,822
1,2	1,2	0,732	0,749	0,758	0,765	0,773	0,788
1,3	1,3	0,724	0,733	0,739	0,744	0,749	0,760
1,4	1,4	0,715	0,721	0,724	0,727	0,730	0,755
1,5	1,5	0,710	0,712	0,713	0,714	0,715	0,717
1,57	1,57	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707

13-jadval

$m = \text{const}$ bo'lganda $\sin\varphi = f(x_k/\Delta_k)$ ko'rsatkichlar

x_k/Δ_k	$\sin\varphi$ ko'rsatkichlar m , bo'lganda						
	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1,0
0,0	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,000
0,1	0,630	0,597	0,558	0,509	0,442	0,350	0,006
0,2	0,584	0,535	0,480	0,416	0,341	0,255	0,029
0,3	0,562	0,511	0,446	0,381	0,309	0,231	0,059
0,4	0,556	0,502	0,443	0,381	0,315	0,248	0,107
0,5	0,565	0,512	0,458	0,401	0,347	0,285	0,155
0,6	0,578	0,532	0,485	0,436	0,384	0,334	0,227
0,7	0,597	0,557	0,516	0,475	0,433	0,390	0,302

0,8	0,617	0,584	0,552	0,518	0,484	0,448	0,374
0,9	0,636	0,611	0,585	0,559	0,532	0,505	0,450
1,0	0,653	0,635	0,615	0,596	0,576	0,556	0,514
1,1	0,667	0,655	0,641	0,627	0,613	0,596	0,569
1,2	0,681	0,671	0,661	0,653	0,644	0,634	0,615
1,3	0,689	0,685	0,680	0,674	0,668	0,663	0,651
1,4	0,699	0,696	0,693	0,689	0,686	0,683	0,678
1,5	0,704	0,703	0,702	0,701	0,700	0,699	0,697
1,57	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707

14-jadval

$m = \text{const}$ bo'lganda $N = H_{mc}/H_{mk} = f(x_k/\Delta_k)$ ko'rsatkichlar

x_k/Δ_k	N ko'rsatkichlari m, teng bo'lganda						
	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
0,0	1,00	1,00	1,00	1,0000	1,000	1,000	-
0,1	1,204	1,262	1,336	1,486	1,683	2,090	∞
0,2	0,426	1,546	1,715	1,983	2,414	3,340	∞
0,3	1,676	1,866	2,130	2,540	3,230	4,620	∞
0,4	1,943	2,134	2,565	3,110	4,040	5,930	∞
0,5	2,230	2,555	3,020	3,720	4,900	7,230	∞
0,6	2,530	2,920	3,480	4,320	5,720	8,580	∞
0,7	2,845	3,320	3,975	4,960	6,620	9,920	∞
0,8	3,190	3,730	4,480	5,620	7,520	11,320	∞
0,9	3,545	4,170	5,030	6,320	8,470	12,800	∞
1,0	3,960	4,650	5,600	7,040	9,460	14,260	∞
1,1	4,370	5,130	6,190	7,800	10,460	15,770	∞
1,2	4,840	5,690	6,680	8,630	11,600	17,500	∞
1,3	5,320	6,260	7,550	9,510	12,750	19,300	∞
1,4	5,880	6,900	8,320	10,460	14,050	21,200	∞
1,5	6,500	7,620	9,170	11,500	15,440	23,300	∞
1,57	7,070	8,260	9,970	12,500	16,760	25,200	∞

15-amaliy mashg'ulot

Yuzaki qizdirish uchun induktorning hisobi

Hisobot uchun qizdiridagan qavatning chuqurligi x_k , jismning diametri d_2 va issiqlik balansi hisobotidan aniqlangan qizdirish vaqti τ va detalga uzatiladigan solishtirma quvvat p_0 dastlab ma'lumotlar inobatga olinadi.

Yuzaki qizdirish uchun optimal chastotasi

$$f_{opt} = \frac{6,0 \times 10^{-2}}{x_k^2} \text{ Gts}$$

Hisobot maqsadining asosiy vazifalari induktor diametrini d_1 va

α_3 - qizdirilayotgan qavatning qalinligi, m;

α_2 - detal uzunligi, m.

Agar qurilmaning ishlab chiqarilishi aniq bo'lsa, shunda

$$\alpha = v\tau_k, \text{ m,}$$

bu yerda v - inuktordan beriladigan tezlik (detali), m/s;

τ_k - elementning induktor tagida joylashgan vaqti, s.

$\Delta_1 > 1,3\Delta_1$ sharti bilan inductor tayyorlash uchun naycha qalinligini aniqlaymiz,

Bu yerda Δ_1 – misga tok kirishi chuqurligi, m.

1. μ_2 miqdorlaridan, ikkinchi qavatning solishtirma magnit o'tkazuvchanligini aniqlaymiz. 9, 11 va 13 jadvallardan K , $\cos\varphi$, N ko'rsatkichlarni aniqlaymiz va H_{me} , H_{mk} formula orqali aniqlaymiz

6-rasmda μ ko'rsatkichlarini aniqlab, ularning eg'indisi quyidagicha:

m	μ_2	K	N	$\cos\varphi_2$	H_{me}	H_{mk}	μ'_2
m_1	μ_{21}	K_1	N_1	$\cos\varphi_{21}$	H_{me1}	H_{mk1}	μ'_{21}
m_2	μ_{22}	K_2	N_2	$\cos\varphi_{22}$	H_{me2}	H_{mk2}	μ'_{22}
m_3	μ_{23}	K_3	N_3	$\cos\varphi_{23}$	H_{me3}	H_{mk3}	μ'_{23}

$\mu_2=f(m)$ teng bo'lib m miqdorini va 12,14 jadvallardan K va $\cos\varphi_2$ aniqlaymiz.

3.Detal diametri quyidagicha

$$d'_2 \approx d_2 - \xi, \text{ m.}$$

Tokning effektiv chuqurlanishini quyidagicha aniqlaymiz

$$\xi = M\Delta_K; \quad \Delta_K = 0,503/\sqrt{f}$$

M aniqlash uchun aniqlangan μ_2 va m miqdorlardan foydalanamiz.

4. Induksiya koeffitsientini va ekvivalent silindrning reaktiv qarshiligi quyidagi formulalardan foydalaniladi:

$$L_{20} = \frac{\pi^2 d^2}{a^2} 10^{-7} \text{ G};$$

$$L_2 = \frac{\pi^2 d^2}{a^2} k^2 - 7 \text{ G};$$

$$x_{20} = \omega L_{20}, \text{ Om};$$

$$x_2 = \omega L_2, \text{ Om},$$

bu yerda L_{20} va L_2 – cheksiz uzun bo‘lgan silindirli detal induksiyasi va uzunligi chegaralangan silindrli detal induksiyasi koeffitsientlari.

x_{20} va x_2 -cheksiz uzun bo‘lgan silindrli detal, d_2 diametrli yupqa devorli ko‘rinishda va uzunligi chegaralangan silindrli detallarning reaktiv qarshiligi.

$$\omega = 2\pi f - \text{doirali chastota.}$$

$$k_2 = f(d_2/a_2) \text{ ko'rsatgichlar jadvaldan aniqlaymiz.}$$

5. Detalning qizdiriladigan qavatning qarshiligi quyidagi formulalardan aniqlaymiz:

aktiv

$$r_2 = 2,81 \times 10^{-6} \frac{\pi d^2}{a^2} K \sqrt{f} \cos \varphi_2, \text{ Om};$$

reaktiv

$$x_{2m0} = 2,81 \cdot 10^{-6} \frac{\pi d^2}{a^2} K \sqrt{f} \sin \varphi_2, \text{ Om};$$

$$x_{2m} = k_2 x_{2m0}$$

6. Induktor-detal sistemasining ko‘rsatichlari koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi

$$p^2 = \alpha \omega^2,$$

α -to‘g‘irlash koeffitsienti

ω – induktorning bir qismi.

Bizning hisobotimiz induktorning bir qismiga mo‘ljallangan bo‘lib, ya’ni $\omega=1$, shunda $p^2 = \alpha$

$d_1/a_1 < 1$ nisbatli induktorlar uchun

$$\alpha = \frac{k_{m1}^2}{k_2^2 + \left(\frac{r^2}{x_{20}}\right)^2}$$

Bu yerda $k_m = f\left(\frac{d_1}{a_1}, \frac{a_1}{a_2}\right)$ 15 jadvaldan aniqlaymiz.

15-jadval

L induksiya koeffitsientini aniqlash uchun k to'g'irlash koeffitsienti ko'rsatkichlari

d/a	k	d/a	k	d/a	k	d/a	k
0,00	1,0000	1,40	0,6115	3,60	0,3882	8,00	0,2366
0,05	0,9791	1,45	0,6031	3,70	0,3822	8,50	0,2272
0,10	0,9598	1,50	0,5950	3,80	0,3764	9,00	0,2185
0,15	0,9391	1,55	0,5871	3,90	0,3708	9,50	0,2106
0,20	0,9201	1,60	0,5795	4,00	0,3654	10,00	0,2033
0,25	0,9016	1,65	0,5721	4,10	0,3602	11,00	0,1903
0,30	0,8838	1,70	0,5649	4,20	0,3551	12,00	0,1790
0,35	0,8665	1,75	0,5579	4,30	0,3502	13,00	0,1695
0,40	0,8499	1,80	0,5511	4,40	0,3455	14,00	0,1605
0,45	0,8337	1,85	0,5444	4,50	0,3409	15,00	0,1527
0,50	0,8181	1,90	0,5379	4,60	0,3364	16,00	0,1457
0,55	0,8031	1,95	0,5316	4,70	0,3321	17,00	0,1394
0,60	0,7885	2,00	0,5255	4,80	0,3279	18,00	0,1336
0,65	0,7745	2,10	0,5137	4,90	0,3238	19,00	0,1284
0,70	0,7609	2,20	0,5025	5,00	0,3198	20,00	0,1236
0,75	0,7478	2,30	0,4918	5,20	0,3122	22,00	0,1151
0,80	0,7351	2,40	0,4816	5,40	0,3050	24,00	0,1079
0,85	0,9228	2,50	0,4719	5,60	0,2971	26,00	0,1015
0,90	0,7110	2,60	0,4626	5,80	0,2916	28,00	0,0959
0,95	0,6995	2,70	0,4537	6,00	0,2854	30,00	0,0910
1,00	0,6884	2,80	0,4452	6,20	0,2695	35,00	0,0808
1,05	0,6677	2,90	0,4370	6,40	0,2639	40,00	0,0722
1,10	0,6673	3,00	0,4292	6,60	0,2685	45,00	0,0664
1,15	0,6573	3,10	0,4210	6,80	0,2633	50,00	0,0611
1,20	0,6475	3,20	0,4145	7,00	0,2584	60,00	0,0528
1,25	0,6381	3,30	0,4075	7,20	0,2537	70,00	0,0467
1,30	0,6290	3,40	0,4008	7,40	0,2491	80,00	0,0419

1,35	0,6201	3,50	0,3944	7,60	0,2448	90,00	0,0381
				7,80	0,2406	100,00	0,0350

7. Detallarning qizdirilgan qavatlarning o'lchamlari ko'rsatilgan:

$$r_2^1 = \alpha r_2 \quad x_{2m}^1 = \alpha x_{2m} \quad x_2^1 = \alpha x_2$$

8. Induktor qarshiligi, Om:

faol

$$r_1 = r_{1n} k_r,$$

bu yerda $k_r = \frac{\delta_1}{\Delta_1} \sqrt{2} K \cos \varphi_2$

reaktiv

$$x_1 = k_1 \left(\omega \frac{\pi d_1^2}{\alpha_1} 10^{-7} + r_1 k_x \right)$$

bu yerda $k_1 = f(d_1/a_1)$ – 14-jadvaldan tanlab olamiz

$r_{1n} = \rho_1 \frac{\pi d_1}{\alpha_1 \delta_1}$ qalinligi δ_1 o'tkazuvchining qarshiligi

$$k_x = \frac{\delta_1}{\Delta_1} \sqrt{2} K \sin \varphi_2;$$

δ_1 -induktor nayi devorining qalinligi, m;

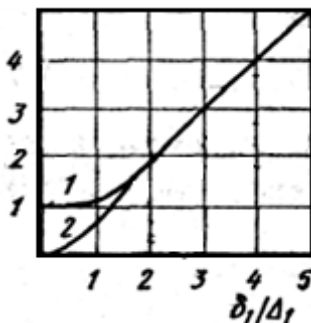
Δ_1 -tokni misga singigan chuqurligi, m;

$d_1 = d_1 + \Delta_1$ $\delta_1 > 1,5 \Delta_1$ bo'lganda

$d_1 = d_1 + \delta_1$ $\delta_1 < 1,5 \Delta_1$ bo'lganda

Induksiya koeffitsientini aniqlash uchun k_m to'g'rlash koeffitsienti ko'rsatkichlari

dl al	dl/al nisbati bo'yicha, k_m koeffitsienti									
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,75	2,0	2,5
0,00	0,000	0,910	0,834	0,770	0,715	0,667	0,625	0,572	0,500	0,400
0,05	0,975	0,904	0,829	0,768	0,713	0,667	0,624	0,570	0,499	0,399
0,10	0,950	0,890	0,821	0,761	0,707	0,661	0,620	0,568	0,496	0,397
0,20	0,895	0,850	0,793	0,737	0,690	0,646	0,607	0,557	0,487	0,391
0,30	0,840	0,811	0,767	0,709	0,664	0,622	0,585	0,539	0,474	0,381
0,40	0,820	0,770	0,721	0,675	0,632	0,598	0,564	0,517	0,455	0,368
0,50	0,782	0,733	0,687	0,644	0,604	0,570	0,548	0,494	0,436	0,354
0,60	0,745	0,696	0,654	0,615	0,577	0,543	0,512	0,470	0,418	0,335
0,70	0,712	0,665	0,621	0,584	0,548	0,517	0,487	0,441	0,397	0,320
0,80	0,686	0,633	0,582	0,560	0,519	0,492	0,463	0,424	0,378	0,304
0,90	0,646	0,604	0,560	0,528	0,495	0,469	0,442	0,403	0,361	0,292
1,00	0,620	0,578	0,537	0,500	0,472	0,445	0,421	0,384	0,343	0,279



8-rasm. Tok o'zgaruvchan bo'lib aktiv va reaktiv qarshiligini aniqlash uchun to'g'rlash koeffitsientlarning o'tkazuvchining solishtirma qalinligiga nisbati : 1 - $k_r = f_1(\delta_1/\Delta_1)$; 2 - $k_x = f_2(\delta_1/\Delta_1)$.

9. Iduktorning ekvivalent qarshiligi, Ωm ;

Faol

$$r_e = r_1 + r_2$$

Reaktiv

$$x_e = x_1 - x'_2 + x'_m;$$

$$Z_e = \sqrt{x_e^2 + r_e^2}$$

10. Detal qabul qilingan quvvat, kVt.

$$P_T = \pi d_2 a_2 P_0$$

11. Qizdirilgan detallarning issiqligi nurlanish va issiqlik o'tkazuvchanlik orqali sarflanadi. Nurlanish orqali issiqlik sarfi

$$P_{\text{nur.}} = \frac{\varepsilon_0}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{nur}}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{nur}}} - 1\right) \frac{F_{\text{nur}}}{F_{\text{in}}}} \left[\left(\frac{T_{\text{nur}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{in}}}{100} \right)^4 \right] F_{\text{detal}} \times 10^{-3}, \text{ kVt}$$

Bu yerda $\varepsilon_{\text{mahsulot}}$ – mahsulotning qorayish darajasi;

ε_{in} – induktor qorayish darajasi ($\varepsilon_{\text{ind}} = 0,45$);

$F_{\text{in}}, F_{\text{mahsulot}}$ – induktorning va detalning yuzaki maydoni, m^2 ;

$T_{\text{mahsulot}} = 0,5 (T_{\text{oxiri}}^{\text{mahsulot}} + T_{\text{bosh}}^{\text{mahsulot}})$ – detal yuzasining o'rtacha harorati, K;

$T_{\text{oxiri}}^{\text{mahsulot}}, T_{\text{bosh}}^{\text{mahsulot}}$ – detal yuzasining dastlabki va oxiri harorati, K;

T_{in} – induktor harorati, K (odatda $T_{\text{in}} \leq 55^\circ\text{C}$).

Issiqlik o'tkazuvchanligi bilan issiqlik sarflanishi

$$P_{\text{iss.sarfi}} = 2\pi\lambda a_1 \cdot 10^{-3} \frac{T_{\text{maxdetal}} - T_{\text{in}}}{\ln \frac{d_1}{d_2}}, \text{ kVt}$$

Bu yerda λ – havoning issiqlik berishi koeffitsienti,

$T = 0,5 (T_{\text{mahsulot}} + T_{\text{in}})$, $\text{Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

a_1 – induktor qalinligi, m.

Umumiy quvvat:

$$P_{\Sigma} = P_T + P_{\text{nur.sarfi}} + P_{\text{issiqlik sarfi}}$$

12. Induktorda tok kuchi, A

$$I_n = \sqrt{\frac{P_{\Sigma} \times 10^3}{r^2}}$$

13. Inductor kuchlanishi, V

$$U_i = z_e I_i.$$

14. Taxminiy hisobot uchun qurilmalarning f.i.k. $\eta = 0,6$ qabul qilish kerak. Shunda induktor bilan qabul qilinadigan quvvatni quyidagicha aniqlaymiz.

$$P = P_T / \eta.$$

$$\omega = U_i / U'_i.$$

15. Induktor o'lchamlarini aniqlash uchun quyidagilar inobatga olinadi.

Olingan o'ramalar sonini induktor qalinligi a_1 bo'yicha joylashtirish kerak. O'ramalar orasida izolyatsiya uchun shunday Δ zazor qoldirish kerakki uning har bir millimetriga 10-40V kuchlanish to'g'ri kelish kerak.

$$\Delta_{iz} = \frac{U_i \cdot 10^{-3}}{(10 \div 40) \omega}, \text{ m}$$

Minimal qalinlik $\Delta_{iz, \min} = 1,5 \div 2,0 \text{ mm}$.

O'ramalar orasidagi izolyatsiya zazori Δ_{iz} tanlangan bo'lib o'ramaning balandligini h_b va induktor to'ldirilish koeffitsientini aniqlaymiz:

$$g = \frac{h_s}{h_s + \Delta_{iz}} = \frac{h_s}{\tau_s}$$

bu yerda $\tau_b = a_1/\omega$ –induktor o'ramasi qadami; odatda $g = 0,7 \div 0,9$.

Nay devorining qalinligi δ_1 aniqlanib $\delta_1 \geq 1,3 \Delta_1$ teng.

16. Bir o'ramali induktorning hisobot sxemasini ko'p o'ramali hisobot sxemaga almashtirish uchun induktor qarshiligini qayta hisoblanadi:

$$r_{1n} = \rho_1 \frac{\pi d_1'}{d_1 \delta_{1g}}$$

Xuddi shunday x_1 va x_e hisobotlarida o'zgartirishlar kiritiladi. Shunda

$$\begin{aligned} r_e &= \omega^2 (r_1 + r_2'); \\ x_e &= \omega^2 (r_1 - x_1 - x_2' + x_{2m}'); \\ z_i &= \sqrt{r_e^2 + x_e^2} \end{aligned}$$

Bir o'ramali induktorning tok kuchi, A

$$I_i = I_i'/\omega.$$

Induktor kuchlanishi, U

$$U_i = I_i z_i.$$

17. Qurilmaning aktiv quvvati, kVt

$$P_a = I_i^2 r_e = I_i^2 \omega^2 (r_1 + r_2') \cdot 10^{-3},$$

detaldan chiqqan aktiv quvvati

$$P_\Sigma = I_i^2 \omega^2 r_2' \cdot 10^{-3},$$

va induktordagi yoqotilishlardan tashkil topgan

$$P_{i,a} = I_i^2 \omega^2 r_1 \cdot 10^{-3}$$

18. Qurilmaning reaktiv quvvati, kVA

$$P_R = I_i^2 x_e = I_i^2 \omega^2 (x_1 - x_2' + x_{2m}') \cdot 10^{-3}$$

19. Qurilmaning f.i.k.

$$\eta_p = P_T/P_a.$$

20. Induksion qizdirilish qurilmalarning reaktiv quvvat katta bo'lib, $\cos\varphi = r_e / z_i$ kichkina bo'ladi. Shuning uchun elektr zanjirga kondensator batareyasini qoshish kerak.

Reaktiv quvvatni P_p to'liq kompensatsiyalash uchun kondensator batareyasi hajmini quyidagicha aniqlash mumkin

$$P_{kp} = P_p = U^2 \cdot 2\pi f C \cdot 10^{-3}, \text{ kVA},$$

Bu yerda P_{kp} – batareyaning reaktiv quvvati, kVA;

U_k – kondensator quvvati, V;

C – batareya hajmi, F.

shunda

$$C = \frac{P_p \times 10^9}{2\pi f U_k^2}, \text{ mkF}$$

Kondensator turini spavochnikdan tanlasa bo'ladi.

16-amaliy mashg'ulot Induktor sovitilishni hisoblash

Induktorning qizdirilishi undan faqat tok o'tishidan emas qizdirilgan detalning issiqlik yo'qotilishidan ham bo'ladi. Induktorni suv bilan sovitish orqali issiqlikning to'liq yo'qotilishi elektr va issiqlik yo'qotilishlar hajmiga teng:

$$P_{\text{sovitish}} = P_{\text{nurl.yoyilishi}} + P_{\text{is.yo'qotilishi}} + P_{\text{i.a.}} \text{ kVt}$$

$P_{\text{i.a.}}$ -induktorda energiyaning yo'qotilishi.

$P_{\text{is.yo'qotilishi}}$, $P_{\text{is.yo'qotilishi}}$ – nurlanish va issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik yo'qotilishi.

Kerak bo'lgan suv miqdori.

$$V_{\text{sov}} = \frac{P_{\text{sov}} \cdot 10^{-3}}{c_s (t_{\text{chiq}} - t_{\text{kir}})}, \text{ m}^3/\text{s}$$

t_{chiqish} -induktordan chiqayotgan suvning harorati, $^{\circ}\text{C}$

t_{kirish} -induktorga kirishda suvning harorati, $^{\circ}\text{C}$

C_s -suvning issiqlik sig'imi, $C_s = 4,187 \text{ kDj}/(\text{kg K})$

Induktorda suv oqimining tezligi, m/s

$$\omega_s = V_{\text{sovitish}} / S_{\text{nay}}$$

S_{nay} -induktor nayining kesmasini maydoni, m^2

Issiqlik o'tkazuvchanlik sharoiti umumiy issiqlik sarfini P_{sov} ta'minlab berishini inobatga olish kerak :

$$P_{\text{sarfi}} = \alpha_{\text{konv}} F_{\text{sovutish}} (t_{\text{in}} - t_s) \cdot 10^{-3}, \text{ Kvt}$$

α_{kon} -konveksiya orqali issiqlik uzatilishi $\text{Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 F_{sov} -induktor orqali issiqlik uzatilishi yuzasi, m^2 .
 $t_{\text{in}} = t_1$ -induktor nayining harorati, $^{\circ}\text{C}$

$$t_s = 0,5(t_{\text{kirish}} + t_{\text{chiqsh}}) - \text{suvning o'rta harorati, } ^{\circ}\text{C}$$

Sovutish yuzasi F_{sov} nayning ichki yuzasidan 40-45% tashkil qiladi, chunki tok nayning hamma qismidan emas qizdirilgan jismga yaqinroq qismdan o'tadi:

$$F_{\text{sovutish}} = (0,4/0,45) \pi d \cdot \pi D_{\text{o'rama}} \omega, \text{ m}^2$$

Bu yyerda $D_{\text{o'rama}}$ -induktor aylanasi diametri, m;
 ω -o'rama soni.

Suv oqimiga qarab konveksiya orqali issiqlik uzatilishi koeffitsienti quyidagicha:

$Re > 10000$ bo'lganda

$$Nu = 0,023 \left(1 + 3,54 \frac{d_{\text{mpe}}}{D_s + d_{\text{mpe}}} \right) Pr_s^{0,43} Re^{0,8}$$

$2300 < Re < 10000$ bo'lganda

$$Nu = K_0 Pr_s^{0,43} (Pr_s / Pr_i)^{0,25}$$

Harorat o'tkazuvchanlik va kinematik koeffitsienti jadvaldan olinadi va $K_0 = f(Re)$

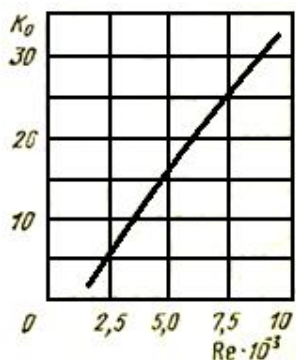
17-jadval

Suvning fizik ko'rsatkichlari

$t, ^{\circ}\text{C}$	$\lambda, \text{Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$v, \text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{-7}$	$a, \text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{-7}$	P_0
0	0,551	17,90	1,31	13,7
10	0,575	13,00	1,36	9,56
20	0,600	10,00	1,42	7,06
30	0,619	8,05	1,47	5,50
40	0,635	6,59	1,53	4,30
50	0,648	5,66	1,56	3,56
60	0,660	4,79	1,60	3,00
70	0,669	4,15	1,62	2,56
80	0,675	3,66	1,64	2,23
90	0,680	3,26	1,67	1,95

Suv bilan yo'qolgan issiqlik miqdorini P_{sarfi} aniqlasak, shunda bu miqdorni biz yo'qotishlar quvvati bilan P_{sov} solishtirsak bo'ladi.

Agarda $P < P_{\text{sovutish}}$ bo'lsa, shunda sovutish uchun suv miqdorini ko'paytiramiz, bu suvni bosimni ko'paytiradi va hisobotni qaytalashga olib keladi.



9-rasm $K_0=f(Re)$ funksiyasi grafigi

Induktorni sovutish uchun suv magistraldan o'tqaziladi. Shu holda bosim 202,6 kPa oshish kerak emas.

Nayning uzunligi bo'yicha bosimning o'zgarishi quyidagi formuladan aniqlanadi kPa:

$$\Delta p = \left(\lambda_{\text{ish}} k_{\text{notekkis}} \frac{\pi D_s}{d_{\text{ish}}} + \zeta_{\text{burilish}} \right) \omega \frac{\rho \omega_s^2}{2}$$

Bu yyerda

$\lambda_{\text{ish}} = 0,316 / \sqrt[4]{Re}$ — ishqalanish koeffitsenti,

K_{notekkis} — nayning ichki yuzasining notekkisligini hisobga oluvchi koeffitsenti ($k_{\text{notekkis}} = 1,8-2,5$),

ζ_{burilish} — o'qim burilishining mahalliy qarshilik koeffitsenti.

Kerak bo'lgan seksiyalar sonini:

$$n'_{\text{sek}} = n_{\text{sek}} \sqrt[3]{\Delta p / 202,6}$$

Seksiyalar soni o'zgarsa hisobot o'lchamlari bo'g'liq bo'lgan ω_s va Re o'zgaradi. Agar yangi miqdorlar dastlabki miqdorlardan farq qilsa, shunda hisobotni aniqlashimiz kerak ya'ni yangi miqdorlar bilan hisobotni qaytalashimiz kerak.

Jadval: oqimni burilish gradusi 360 bo'lganda mahalliy qarshilik koeffitsenti

Oqimni burilish gradusi 360 bo'lganda mahalliy qarshilik koeffitsienti

$\frac{D_v}{d_{mpe}}$	Re,teng bo'lganda ζ koeffitsienti					
	3000	10000	50000	100000	250000	500000
8	0,400	0,270	0,184	0,161	0,1393	0,1273
10	0,391	0,264	0,180	0,1573	0,1362	0,1246
12	0,344	0,218	0,1485	0,1298	0,1124	0,1030
15	0,294	0,198	0,1350	0,1180	0,1024	0,0936
20	0,254	0,1715	0,1170	0,1023	0,0885	0,0812
25	0,205	0,1385	0,0945	0,0825	0,0715	0,0654
30	0,1715	0,1158	0,0789	0,0690	0,0597	0,0546
40	0,1435	0,0968	0,0660	0,0577	0,0500	0,0457
50	0,0985	0,0661	0,0451	0,0394	0,0342	0,0319

Adabiyotlar ro'yhati

1. Мاستрюков Б.С. Теория, конструкции и расчёты металлургических печей М.: Металлургия 1996, 272 с.
2. Юсупходжаев А.А., Худоярова Ш.А. Методическое указание по предмету «Электрометаллургия стали и ферросплавов» Т.:ТГТУ 2013, 3с.
- 3.Юсупходжаев А.А., Балгабаева Г.Т. Электрометаллургия стали и ферросплавов. Т.: ТГТУ 2005, 136 с.
- 4.. А.Д. Крамаров, А.Н. Соколов. Электрометаллургия стали и ферросплавов М.: Металлургия 1998., 376 с.
5. В.И Явойский, Теория процессов производства стали. М.: Металлургия 2001,124 с.
6. А.А Юсупходжаев, Синяшина И.В. Производство стали Ташкент 2002, 95с.
- 7.Е.И. Шевцов, И.П. Манжурич Расчет шихты для плавки литейных сталей в кислых электропечах Караганда 1999,109с.
8. В.И. Коротич, С.Г. Бротчиков Металлургия чёрных металлов. М.: Металлургия 2001, 207с.
9. И.И. Борнацкий, В.Ф. Михневич Производство стали. М.: Металлургия 1997, 158с.

MUNDARIJA

1-amaliy mashgʻulot	Yoyli poʻlat eritish pechining tahminiy hisobi..	3
2-amaliy mashgʻulot	Yoyli poʻlat eritish pechiga yuklangan material balansi.....	4
3-amaliy mashgʻulot	Pechning asosiy oʻlchamlarini aniqlash	8
4-amaliy mashgʻulot	Erish davrining energetik balansi.....	10
5-amaliy mashgʻulot	Erish davrining energetik balansi.....	13
6-amaliy mashgʻulot	Elektroqarshilik pechini hisobi.....	18
7-amaliy mashgʻulot	Karborundli qizdirgichlarni hisobi.....	24
8-amaliy mashgʻulot	Disitsilid molibdenli qizdirgichlar hisobi....	28
9-amaliy mashgʻulot	Kamerali elektroqarshilik pechining taxminiy hisobi.....	31
10-amaliy mashgʻulot	Pechning elektrik hisobi	35
11-amaliy mashgʻulot	Lentali zigzagli qizdirgichni aniq hisoboti....	38
12-amaliy mashgʻulot	Induksion qurilmalarning hisobi.....	39
13-amaliy mashgʻulot	Induksion qurilmalarning issiqlik hisobi.....	40
14-amaliy mashgʻulot	Induksion qurilmalarning elektrik hisobi.....	42
15-amaliy mashgʻulot	Yuzaki qizdirish uchun induktorning hisobi..	49
16-amaliy mashgʻulot	Induktor sovitilishni hisoblash.....	56
	Foydalangan adabiyotlar roʻyxati.....	60

Muharrir: Siddiqova K.A.