

Практичне заняття

РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФЕРОСПЛАВНОЇ ПЕЧІ

1 Вибір і розрахунки параметрів феросплавної печі

Параметри ванни печі, в тому числі внутрішній діаметр d_v вибирають виходячи із діаметру електрода d_e , діаметру розпаду електродів d_p , що залежить від роду сплаву та допустимого зазору між електродом і футеруванням печі.

Враховуючи, що в наш час відсутня науково обґрунтована методика розрахунку параметрів печі, вибір параметрів проводять, виходячи з умов подібності розмірів добре діючих печей. Розроблено розмірний ряд феросплавних печей. Враховують наступні визначення.

Діаметр електроду вибирають виходячи із допустимої щільності току на 1 см^2 поперечного перерізу електроду, величину якої знижують з зростанням d_e . Для самоспікаємих електродів приймають 6...8, вугільних 7...12 і графітированих 14...28 А/см².

При виборі параметрів печі важливо правильно визначити діаметр розпаду електродів. Дуже малий діаметр розпаду приводить до накладення реакційних зон і дуже значної концентрації потужності. Підвищується температура в цій зоні і знижується корисний опір шихти. Це приводить до високої посадки електродів і додатковим втратам тепла в наслідок значних розмірів ванни. Підвищується втрати Mn, Ca, Si. Вибір завищеного d_p приводить до додаткових втрат тепла і до холодного ходу печі, створенню під електродами окремих реакційних тиглей і до забруднення випуску сплаву. Пропонують приймати $d_p=2,5 d_e$.

Для печей з обертальною ванною d_p може бути зменшено до 0,9 d_p стаціонарної печі однакової продуктивності. Це припустимо поскільки глибока посадка забезпечується охолодженням реакційної зони рухомою шихтою,

порушенням електропровідного карборунду, зменшенням розмірів тигля, зміною його форми, а також в наслідок зменшення в'язкого і добре електропроводимого шару навколо газової порожнини тигля.

Переміщення очагів високої температури відносно поду і стінок печі, полегшують службу футеровки печей з обертальною ванною і дозволяє знизити відстань від електроду до футеровки печі на 30% порівняно з стаціонарними установками. В зв'язку з цим пропонують наступні співвідношення:

1. Для стаціонарних печей:

- при безшлаковому процесі $d_v = d_p + 2,7d_e$;

- при шлакових процесах зростає розмір ванни $d_v = d_p + 3,3d_e$.

2. Для печей з обертальною ванною:

- при безшлаковому процесі $d_v \geq 0,9d_p + 2,5d_e$;

- для шлакових процесів $d_v = 0,9d_p + 3,04d_e$.

Вітчизняна практика і закордонний досвід показує, що діаметр ванни для закритих феросплавних печей звичайно підвищують приблизно на величину до $1,0d_e$, порівняно з відкритими печами. Глибину ванни визначають в залежності від d_e і потужності печі. Для відкритих печей потужністю $N > 7500$ кВА величина $h = 2,2d_e$, для закритих печей h визначається за умовами забезпечення відповідного простору під склепінням, що приводить до збільшення висоти до $2,5 \dots 2,7 d_e$.

Товщина подини на потужних печах складає біля 2м і загальна висота печі $H = h + 2$.

2 Методика розрахунку геометричних параметрів рудовідновлювальної печі

Основними елементами відновної електропечі безперервної дії є: ванна, футеровка, кожух, електроди, електротримачі, пічний трансформатор, коротка мережа, пристрій для перепуску електродів, склепіння, механізм обертання

ванни та ін. У печах, що працюють безшлаковим процесом, ~ 70% активної потужності виділяється у ванні, тому й розрахунок слід починати з визначення геометричних і електричних параметрів ванни. Відправним моментом розрахунку є продуктивність печі при виплавці даного сплаву.

У табл. 1 наведено розмірний ряд виробництва рафінувальних та відновлювальних електропечей для виробництва феросплавів.

Основні параметри феросплавних електропечей приведені в табл.2.

Рафінувальні печі зазвичай працюють періодичним процесом, а відновні - безперервним з періодичним випуском продуктів плавки (металу і шлаку).

Початкові дані:

- тип феросплавної печі - РКЗ-16,5;
- номінальна потужність трансформатора (S) – 16500 кВ·А;
- сплав, що виплавляється - ФС45 (приймаємо згідно табл. 1).

Розрахунок геометричних параметрів рудовідновлювальної печі проводимо наступним чином:

1. Визначення потужності трансформатора і електричних параметрів відновної печі.

Потужність трансформатора пічної установки визначається за формулою:

$$S = \frac{G \cdot W_{num}}{24 \cdot \cos \varphi \cdot k^1}, \quad (1)$$

де S – номінальна потужність трансформатора, кВтА;

G - добова продуктивність, т / добу;

W_{num} - питома витрата електроенергії, кВт·год. /т;

24 – кількість годин на добу;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності;

k^1 – коефіцієнт, який враховує перестої печі та коливання електричного режиму.

Таблиця 1 - Розмірний ряд рафінувальних та відновлювальних електропечей для виробництва феросплавів

Піч	Номинальна потужність, МВА	Ванна	Механізм нахилу	Механізм обертання	Сплав
Рафінувальні печі					
РКО-2,5	2,5	відк.	+	+	Fe-Cr, Fe-Mn, Fe-W, Si-Ca, Fe-Si-Ca
РКО-3,5	3,5	відк.	+	+	
Відновлювальні печі					
РКО-10,5	10,5	відк.	-	+	Fe-Si, Fe-Mn,
РКЗ-10,5 (базова)	10,5	закр.	-	+	Fe-Cr, Si-Mn
РКО-16,5	16,5	відк.	+	+	Fe-Si, Si-Cr, Si-Ca,
РКЗ-16,5	16,5	закр.	-	+	те саме
РКЗ-24	24,0	закр.	-	+	Fe-Si, Fe-Mn Fe-Cr
РКЗ-33 (базова)	33,0	закр.	-	+	Si-Mn, Si-Cr
РПЗ-48 (базова)	48,0	закр.	-	-	Fe-Si, Fe-Mn
РПЗ-72	72,0	закр.	-	-	Si-Mn

Примітка: Перша буква (Р) означає принцип нагрівання - руднотермічних (дугового, змішаний); друга літера-форма ванни: К-кругла, П-прямокутна, а третина буква: О-відкрита, З – закрита. Цифра після позначення печі відповідає потужності в МВА.

Для печей безперервної дії k' знаходиться в межах 0,95...0,97 для печей потужністю до 14000 кВА та 0,93...0,95 – для печей потужністю 14000...24000кВА, для періодичних процесів $k'=0,87$.

Інколи замість k' береться добуток $k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$,

де k_1 - коефіцієнт завантаження трансформатора за час фактичної роботи, рівний 0,95...0,98 для печей, що працюють безперервним процесом. Для періодичних процесів $k_1 = 0,85...0,90$;

k_2 - коефіцієнт використання робочого часу, рівний 0,97...0,98. Для безперервних процесів 0,97...0,98;

k_3 - коефіцієнт, що враховує умови, які ускладнюють роботу печі (наприклад, падіння напруги в мережі). Зазвичай $k_3 = 0,96...0,98$.

Таблиця 2 - Основні параметри феросплавних електропечей

Тип печі	Технологічні данні печі										
	Потужність, кВА	Вторинна напруга, В	Максимальна сила струму в електродах, кА	Діаметр електрода, мм	Діаметр розпаду електродів, мм	Максимальний хід електрода, мм	Діаметр ванни, мм	Глибина ванни, мм	Діаметр кожуха, мм	Швидкість обертання ванни, * об./год.	Кут нахилу ванни в бік зливу, град.
РКО-2,5	2500	178...89	13,0	300...450	1200...1400	2350	2700	1200	4300	5,4	30
РКО-3,5	3500	371...260	13,0	300...450	1200...1400	2350	2700	1300	5000	5,4	30
РКО-10,5	10500	250...100	38,4	800	-	-	4000	1700	6200	1...2	30
РКО-16,5	16500	210...132	59,0	1200	2900	1200	6200/6700	2300	7800/8300	1/33:1/132	Не має
РКЗ-16,5											
РКЗ-24	24000	245...155	71,0	1200	3400	1500	7200	2600	8900	1/48:1/194	Не має
РКЗ-33	33000	250...130	87,0	1500	4000	1600	8700	3000	10500	1/60:1/200	Не має
РПЗ-48	48000	238,5...137	111,8	2800x650	3300	1200	20340x6000	2850	24140x7800	-	-

Примітка: * - в чисельнику дані значення для безшлакового процесу, в знаменнику – для шлакового.

Коефіцієнт потужності установки $\cos \varphi$ приймається рівним 0,70...0,95, він залежить від індуктивного опору короткої мережі та відношення струму і напруги, що визначається типом технологічного процесу.

2. Визначаємо згідно табл.3 значення добутку електричного коефіцієнта корисної дії (ККД) на коефіцієнт потужності в залежності від типу сплаву, що виплавляється, та потужності - $\eta_{ел} \cdot \cos \varphi$.

Приймаємо $\eta_{ел} \cdot \cos \varphi = 0,72$.

3. Корисна потужність печі:

$$P_{кор} = \eta_{ел} \cos \varphi \cdot S, \quad (2)$$

$$P_{кор} = 0,72 \cdot 16500 = 11800 \text{ кВт.}$$

4. Робоча корисна фазова напруга печі:

$$U_{кор} = c \cdot P_{кор}^n, \quad (3)$$

$$U_{кор} = 3,3 \cdot 11800^{1/3} = 75,129 \text{ В,}$$

де c , n – коефіцієнти (табл. 4).

Коефіцієнт c – величина, яка визначає зв'язок між корисною напругою та корисною потужністю для даного процесу; n – показник степені. Причому для визначення значення c , n треба враховувати вид сплаву, що виплавляється, корисну потужність печі, характеристику процесу (шлаковий та безшлаковий).

Приймаємо для розрахунку $n=1/3$, $c = 3,3$.

4. Лінійна напруга на виводах низької напруги пічного трансформатора розраховується за формулою:

$$U_{лін} = \frac{U_{кор} \cdot \sqrt{3}}{\eta_{ел} \cdot \cos \varphi}, \quad (4)$$

$$U_{лін} = \frac{75,129 \cdot \sqrt{3}}{0,72} = 180,732 \text{ В.}$$

Таблиця 3 - Розрахункове значення добутку $\eta_{el} \cdot \cos\varphi$ для рудовідновлювальних електропечей безперервної дії

Сплав, що виплавляється	Значення $l_{el} \cdot \cos\varphi$ при потужності печі, кВ·А						
	3500...5000	8500...9500	10000...11000	11500...13500	14000...17000	24000	50000
Вуглецевий, мало- та безвуглецевий ферохром	0,90	0,80	0,74	0,70	0,67	0,64	-
Передільний ферохром	0,86	0,80	0,79	0,78	0,75	0,73	-
Силікохром 50 %-й	-	0,83	0,75	0,74	0,73	0,71	-
Металевий марганець	0,86	0,84	-	-	-	-	-
Марганцевий шлак	0,69	0,67	0,65	-	-	-	-
Силікомарганець 82 %-й	-	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	-
Феромарганець	0,80	0,76	0,74	0,72	0,68	0,65	-
Феросиліцій 45 %-й	-	-	0,76	0,73	0,72	0,70	-
Феросиліцій 75 %-й	-	0,84	0,78	0,76	0,74	0,72	-
Феросиліцій 90 %-й	-	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	-
Силікокальцій	-	-	0,71	0,70	0,68	0,66	-
Карбід кальцію	-	-	0,76	0,73	0,72	0,70	-

Таблиця 4 - Значення c при різних сплавах і коефіцієнтах n

Сплав	$W_{пол} < 13500$ кВт		$W_{пол} > 13500$ кВт	
	$n=1/2, c^*$	$n=1/3, c^{**}$	$n=1/2, c^*$	$n=1/3, c^{**}$
Феросиліцій (45% Si)	-	3,2	-	3,3
Феросиліцій (75% Si)	-	3,4	-	3,4
Феромарганець вуглецевий	5,3	.	5,4	-
Силікомарганець	5,7	-	6,0	-
Силікохром (50% Si)	6,8	-	7,0	-
Ферохром передільний	7,6	-	7,9	-
Силікокальцій	5,7	.	6,0	-
Рафінований ферохром	17,0	-	-	-

Примітка: * - коефіцієнт для шлакового процесу;
 ** - коефіцієнт для безшлакового процесу.

Для вибору ступенів напруги пічного трансформатора слід взяти інтервал вторинних напруг при постійній потужності від $0,8$ до $1,2 U_{лін}$ з перепадом напруги від ступіні до ступіні $4 \dots 6$ В.

$$U_{min} = 0,8 \cdot U_{лін}, \quad (5)$$

$$U_{min} = 0,8 \cdot 180,732 = 144,586 \text{ В},$$

$$U_{max} = 1,2 \cdot U_{лін}, \quad (6)$$

$$U_{max} = 1,2 \cdot 180,732 = 216,878 \text{ В}.$$

Інтервал корисних напруг пічного трансформатора буде дорівнювати $145 \dots 217$ В.

5. Струм в електроді:

$$I_{лін. max} = \frac{P_{кор}}{3U_{кор} \cdot 0,85}, \quad (7)$$

$$I_{лін. max} = \frac{11800 \cdot 10^3}{3 \cdot 75,129 \cdot 0,85} = 61593 \text{ А}.$$

6. Робочий струм в електроді:

$$I_{лін. роб} = \frac{P_{кор}}{3U_{кор}}, \quad (8)$$

$$I_{\text{лін.роб}} = \frac{11800 \cdot 10^3}{3 \cdot 75,129} = 52354 \text{ A}$$

7. Активний опір ванни:

$$R_{\text{е}} = \frac{U_{\text{кор}}}{I_{\text{лін.роб}}}, \quad (9)$$

$$R_{\text{е}} = \frac{75,129}{52354} = 0,00144 \text{ Ом} = 1,44 \text{ мОм},$$

8. Діаметр електрода:

$$d_{\text{ел}} = \frac{E\Pi_1}{R_{\text{е}}}, \quad (10)$$

$$d_{\text{ел}} = \frac{1,7}{0,00144} = 1181 \text{ мм},$$

де $E\Pi_1$ – коефіцієнт, який визначається з табл. 5.

Приймаємо для розрахунку $E\Pi_1 = 1,7$.

Приймаємо найближче за ГОСТ $d_{\text{ел}} = 1200 \text{ мм}$.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта $E\Pi_1$ для феросплавних електропечей

Сплав, що виплавляється	$E\Pi_1^*$
Феросиліцій 45%-вий	1,50...2,00
Феросиліцій 75%-вий	1,60...2,03
Силікохром 50%-вий	1,50...1,72
Силікомарганень	1,34...1,41
Феромарганець	1,54

Примітка: * - менше значення $E\Pi_1$ відповідає печам меншої потужності.

8. Перевіряється величина щільності струму в електроді, що самоспекається, вона не повинна бути вище допустимих щільностей струму для даного процесу (табл. 6):

$$j = \frac{4I_{\text{лін.мак}}}{\pi d_{\text{ел}}^2} \leq j_{\text{дон}}, \quad (11)$$

$$j = \frac{4 \cdot 61593}{3,14 \cdot 120^2} = 5,449 \text{ Ас/м}^2 \leq 7,0 \text{ А/см}^2,$$

де згідно табл. 6 приймаємо $j_{\text{доп}} = 7,0 \text{ А/см}^2$.

Зазвичай допустиме значення щільності струму в електродах, що самоспекаються складає 4...7 А/см².

На сьогоднішній день прийнятий наступний ряд електродів, що самоспекаються, (мм): 750, 850, 1000, 1200, 1400, 1700 і 2000, 2400 мм.

Таблиця 6 - Допустимі значення щільності струму в електроді, що самоспекається

Продукт, що виробляється	$j_{\text{доп}}$, А/см ² (не більше)
Феросиліцій 45%-вий	до 7,0
Феросиліцій 75%-вий	7,0
Силікохром 50%-вий	7,0
Силікомарганець	6,2
Феромарганець	7,6
Електрокорунд	4,0
Карбид кальцію	6,8
Силікокальцій	12,0

9. Проводиться перевірочний розрахунок:

$$\eta_{\text{ел}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{в}} + r_{\text{кс}}}, \quad (12)$$

$$\eta_{\text{ел}} = \frac{1,44}{1,44 + 0,2} = 0,878,$$

$$\cos \varphi = \frac{r_{\text{еі}} + R_{\text{а}}}{\sqrt{(r_{\text{еі}} + R_{\text{а}})^2 + x_{\text{ес}}^2}}, \quad (13)$$

$$\cos \varphi = \frac{0,2 + 1,44}{\sqrt{(0,2 + 1,44)^2 + 1^2}} = 0,854,$$

де $r_{\text{кс}}$ - активний опір короткої мережі, мОм;

$x_{\text{кс}}$ - індуктивний опір пічного контура, мОм (табл. 7).

Таблиця 7 - Електричні параметри вторинного струмопідводу феросплавних електропечей

Потужність печі, кВА	$x_{кс}, мОм$	$r_{кс}, мОм$
2000...25000	1,70...1,80	0,40
3500...4000	1,50...1,65	0,35
4500...8000	1,35...1,45	0,28
8500...10000	1,25...1,30	0,22
11000...13500	1,10...1,22	0,21
14000...17000	0,96...1,02	0,20
24000	0,90...0,94	0,17
60000	0,83	0,14

Згідно табл. 7 приймаємо $x_{кс} = 1,0 мОм$, $r_{кс} = 0,2 мОм$.

Відповідно $\eta_{ел} \cdot \cos \varphi = 0,878 \cdot 0,854 = 0,75$. Значення $\eta_{ел} \cdot \cos \varphi$ відрізняється від прийнятого на 3,94% (допустима межа до 5%), тобто електричний розрахунок закінчений.

Коли величина відрізняється від прийнятого більше ніж на 5%, треба задатися іншою величиною добутку $\eta_{ел} \cdot \cos \varphi$ в інтервалі між прийнятим та отриманим значеннями і повторити розрахунок, тобто:

$$(\eta_{ел} \cdot \cos \varphi)^1 = \frac{\eta_{ел} \cdot \cos \varphi_{прийн} + \eta_{ел} \cdot \cos \varphi_{отрим}}{2}. \quad (14)$$

Розрахунок повторити з новими значеннями $(\eta_{ел} \cdot \cos \varphi)^1$ по пунктам 2...9.

Вибираємо круглу трьохелектродну піч (рис.4.5) та безшлаковий режим плавки (табл. 7).

10. Геометричні параметри печі знаходять по відношенню параметра, що розраховують, та діаметра електрода (табл.8):

$$B^1 = \frac{B}{d_{ел}}, \quad (15)$$

де B^1 – безрозмірний коефіцієнт, який визначається за параметрами “зразкової печі”;

B - параметр, що розраховується.

11. Діаметр ванни на рівні вугільних блоків:

$$D_6 = 5,15 \cdot 1200 = 6180 \text{ мм.}$$

Таблиця 8 – Значення геометричного критерія B^I для феросплавних печей

Параметр	Тип процесу	B^I	
		Кругла піч	Прямокутна трьохелектродна піч (довжина)
Відстань між електродами	Безшлаковий	2,15...2,85	2,25...2,85
	Шлаковий	2,24...3,02	2,70...4,00
Діаметр ванни на рівні вугільних блоків	Безшлаковий	5,10...5,20	6,80...7,30
	Шлаковий	5,60...5,80	8,24...8,80
Діаметр ванни вище вугільних блоків	Безшлаковий	5,40...5,80	7,10...7,60
	Шлаковий	5,80...6,00	8,50...9,10
Висота ванни	Безшлаковий	1,80...2,00	1,80...2,00
	Шлаковий	2,00...2,50	2,00...2,50
Висота вугільної обстановки	Безшлаковий	0,65...0,70	0,65...0,70
	Шлаковий	0,95...1,10	0,95...1,10
Занурення електрода в шихту	Безшлаковий	1,10...1,20	1,10...1,20
	Шлаковий	0,85...1,25	0,85...1,25

Кількість електродів і форма ванни печі вибирається з урахуванням специфіки, властивостей виробництва сплаву та в залежності від потужності печі.

12. Діаметр ванни на рівні колошника (вище вугільних блоків):

$$d_6 = 5,6 \cdot 1200 = 6720 \text{ мм.}$$

12. Відстань між осями електродів:

$$K = 2,5 \cdot 1200 = 3000 \text{ мм.}$$

13. Величину діаметру розпаду електродів вибирають з урахуванням потужності печі в межах площі, яка обмежена окружністю розпаду електродів (табл. 9).

Або оскільки вісі електродів знаходяться на вершинах рівностороннього трикутника, то діаметр розпаду електродів знаходимо через діаметр кола, описаного навколо рівностороннього трикутника:

$$D_p = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3} \cdot K, \quad (16)$$

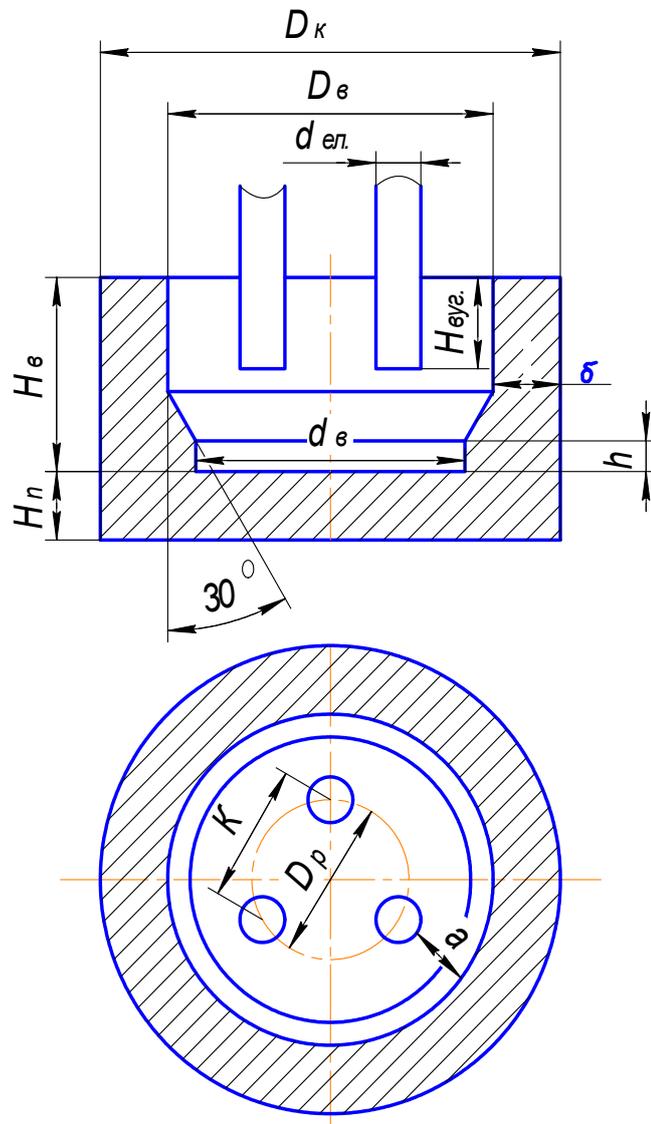


Рисунок 5 - Ескіз ванни круглої трьохелектродної феросплавної печі

14. Висота ванни:

$$H_в = 1,9 \cdot 1200 = 2280 \text{ мм.}$$

15. Висота вугільної обстановки:

$$H_{вз} = 0,675 \cdot 1200 = 810 \text{ мм.}$$

Таблиця 9 - Питомі поверхневі потужності, які виділяються у ванні печі періодичної дії

Тип процесу	Питома потужність, кВА/м ² *	
	На площу розпаду	На площу ванну
Безвуглецевий ферохром	4400...4500	2000...2400
Рафінованих ферохром	4400...4500	580...620
Рудновапнаяний розплав	4300...4500	2000...2200
Маловуглецевий феромарганець	1350...1750	420...450
Металевий марганець	1350...1750	420...450

Примітка: * - коли в таблиці відсутні значення питомої потужності, то їх знаходять за “зразковими” печами, що діють.

16. Діаметр кожуха:

$$D_k = d_g + 2\delta_{стін}, \quad (17)$$

$$D_k = 6720 + 2 \cdot 750 = 8820 \text{ мм},$$

де $\delta_{стін}$ - товщина футеровки стін, мм..

Товщина футеровки стін вибирається по тепловому розрахунку з забезпеченням на кожуху температури не вище 1500 °С. Ці умови реалізуються при $\delta_{стін} = 750 \text{ мм}$. При вибраних параметрах занурення електродів в шихту буде дорівнювати 1300...1500мм.

17. Відстань між електродами і футеровкою:

безшлакові процеси:

$$a_{стац} = 0,8...1,0 \cdot d_{ел}, \quad (18)$$

шлакові процеси:

$$a_{стац} = 0,95...1,2 \cdot d_{ел}, \quad (19)$$

для печей, що обертаються:

$$a_{оберт} = 0,7 \cdot a_{стац}, \quad (20)$$

Для розрахунку при безшлаковому процесі відстань між електродами і футеровкою дорівнює:

$$a_{стац} = 0,9 \cdot 1200 = 1080 \text{ мм}.$$

Завдання для самостійної роботи

Завдання. Розрахувати геометричні параметри феросплавної електропечі заданого типу, якщо відомі номінальна потужність трансформатора, тип процесу та сплав, що виплавляється. Індивідуальні завдання для розрахунку геометричних параметрів феросплавної печі надано в таблиці 10.

Таблиця 10 – Індивідуальні завдання для розрахунку феросплавної печі

Варіант	Тип феросплавної печі	Номінальна потужність трансформатора (S), кВ·А	Тип процесу	Сплав, що виплавляється
1	РКО-2,5	2500	Безшлаковий	Fe-Cr
2	РКО-2,5	2500	Безшлаковий	Fe-Mn
3	РКО-2,5	2500	Шлаковий	Fe-Mn
4	РКО-2,5	2500	Безшлаковий	Si-Ca
5	РКО-3,5	3500	Безшлаковий	Fe-Cr
6	РКО-3,5	3500	Безшлаковий	Fe-Mn
7	РКО-3,5	3500	Безшлаковий	Si-Ca
8	РКО-10,5	10500	Безшлаковий	Fe-Si (45%-вий)
9	РКО-10,5	10500	Шлаковий	Fe-Si (45%-вий)
10	РКО-10,5	10500	Безшлаковий	Fe-Si (75%-вий)
11	РКО-16,5	16500	Безшлаковий	Fe-Si (45%-вий)
12	РКО-16,5	16500	Безшлаковий	Fe-Si (75%-вий)
13	РКО-16,5	16500	Шлаковий	Fe-Si (75%-вий)
14	РКО-16,5	16500	Безшлаковий	Si-Ca
15	РКЗ-16,5	16500	Безшлаковий	Fe-Si (75%-вий)
16	РКЗ-16,5	16500	Безшлаковий	Si-Ca
17	РКЗ-16,5	16500	Шлаковий	Si-Ca
18	РКО-24,0	24000	Безшлаковий	Fe-Si (45%-вий)
19	РКО-24,0	24000	Шлаковий	Fe-Si (45%-вий)
20	РКО-24,0	24000	Безшлаковий	Fe-Si (75%-вий)
21	РКЗ-24,0	24000	Безшлаковий	Fe-Mn
22	РКЗ-24,0	24000	Безшлаковий	Fe-Cr
23	РКЗ-24,0	24000	Шлаковий	Fe-Cr
24	РКЗ-33,0	33000	Безшлаковий	Si-Mn
25	РКЗ-33,0	33000	Шлаковий	Si-Mn
26	РКЗ-33,0	33000	Безшлаковий	Si-Cr
27	РПЗ-48,0	48000	Безшлаковий	Fe-Si (45%-вий)
28	РПЗ-48,0	48000	Безшлаковий	Fe-Si (75%-вий)
29	РПЗ-48,0	48000	Шлаковий	Fe-Si (75%-вий)
30	РПЗ-48,0	48000	Безшлаковий	Fe-Mn