

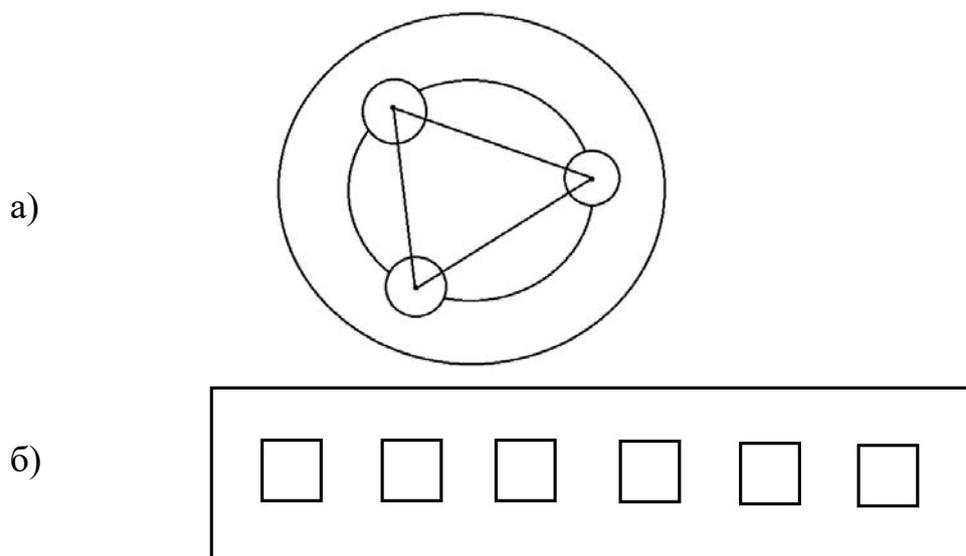
ФЕРОСПЛАВНІ ПЕЧІ

Феросплави одержують відновленням оксидів різних металів. Для отримання будь якого сплаву необхідно вибрати відповідний відновник і створити належні умови для високого рівня видобутку цінного елементу із сировини. Існує два типи печей: рудно відновлювальні (руднотермічні) і рафінувальні, які практично не відрізняються конструктивно.

Печі використовують змішаний електронагрів, тобто електроди занурені в тверду шихту і дуга горить у шарі шихти.

За формою печі поділяють на:

- круглі,
- прямокутні,
- закриті,
- відкриті,
- стаціонарні,
- з обертанням навколо вертикальної вісі (рис. 1).



а) кругла, б) прямокутна

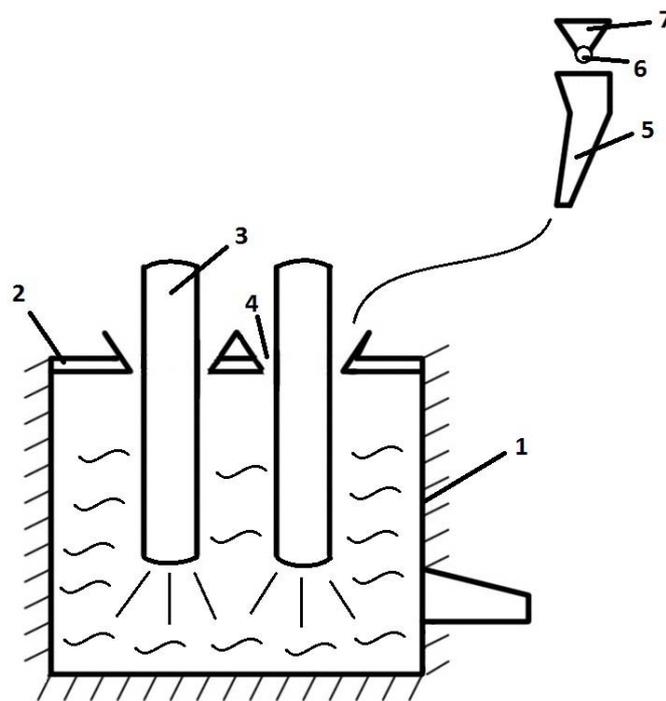
Рисунок 1 - Варіанти форми печей

Сучасні феросплавні печі виконують закритими, тобто робочий простір

печі закритий зверху пласким водоохолоджуємим склепінням.

1 КОНСТРУКЦІЯ ТИПОВОЇ ФЕРОСПЛАВНОЇ ПЕЧІ

Схема феросплавної печі наведена на рис. 2.



1 - корпус; 2-склепіння; 3-електрод; 4-зводовий отвір;
5-труботічка; 6-барабанний затвір; 7-бункер

Рисунок 2 - Схема феросплавної печі

Печі мають безперервну дію з періодичним випуском шлаків і сплаву. Завантаження проводять з бункера через труботічку у отвір склепіння електроду. Потужність печі визначається трансформатором $N=10\dots115$ МВА (табл. 1).

Таблиця 1 - Залежність параметрів печі від потужності

Параметри	РКО – 16,5	РКЗ - 33	РКЗ - 34	РПЗ - 63
1. Потужність, МВА	16,5	33,0	24,0	63
2. Глибина ванни, м	2,3	3,0	2,6	3,19
3. Діаметр ванни, м	6,2	8,7	7,2	20,4x6,2
4. Діаметр кожуха, м	8,3	10,5	8,9	-

2 ОСНОВНЕ І ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ

Основні елементи печі: кожух, склепіння, електродотримач, несучий циліндр, механізм переміщення електроду, гальмовий пристрій для перепуску електроду, водоохолодження печі, завантажувальний пристрій, механізм обертання ванни та інші.

Кожух печі виконують зварним із котельного заліза товщиною 15...30мм в вигляді циліндру. Із-за складності механізації процесу завантаження шихти в циліндричні шестиелектродні печі кожуху надають прямокутну форму. Днище кожуху виконують пласким з опорами на двотаврові балки, що встановлені паралельно. Деякі кожухи безперервних печей мають механізми обертання навколо вертикальної вісі. Один оборот печі виконується за 36...96 годин.

Склепіння закритої печі виготовляють із сталі або чавуну з водяним охолодженням і жаростійким бетоном. Склепіння складається із декілька секцій, що ізолювані одна від іншої. Для печі, що обертається, склепіння виконується нерухомим і має діаметр більший ніж кожух та спирається на пісчаний затвір. Під склепінням підтримується позитивний тиск біля 5Па, отвори для електродів мають спеціальні ущільнювачі. На закритих печах електродні отвори ущільнюються шихтою, що подається через спеціальні воронки по периметру електродів. На виробництві найбільше поширення знайшов металеве секціоне водоохолоджуєме склепіння, що футеровано знизу вогнестійким бетоном, а зверху шамотною цеглою. Секції складають в кільце і

підвішують до кронштейнів, що спираються на робочий майданчик цеху. В склепіння встановлено отвори для відводу створюємих в печі газів та для запобіжних клапанів. Склепіння і секції виконують електроізолюваними. Газ відсмоктують із підзводного простору через водоохолоджуємий стакан, що встановлено в одному із отворів.

Електродотримач складається із кільця нажимних стаканів з пружинами та струмоведучих контактних щік. Кільце виготовлено із двох половинок, з'єднаних через бронзові втулки і шайби (для розривання магнітного контуру) болтами. Полукільця виготовлені в вигляді полих водоохолоджуємих відливок з приливами для пружних затискачів. Кількість таких пристроїв і контактних щік коливається від 2 до 8 для печей різної ємності. Контактну щіку притискають до електроду нажимним стаканом силою потужних пружин стискання яких виконують болтом регулювання. Пружини кільця витримують тільки $\frac{3}{4}$ навантаження від електроду, іншу частину навантаження витримують гальмові колодки пристрою для перепуску електроду. Кільця водоохолоджуємими трубами закріплюють до спеціального відлитого із сталі кільця, що приєднується до несучого циліндру. Контактна щока виготовлена з внутрішньою порожниною для охолодження водою та двома приливами із сплаву міді (88...91%) і цинку (12...9%). До верхнього приливу щоки підводять струм водоохолоджуєму мідну трубу. Для великих печей використовують контактні щоки із катаної червоної міді з висвердленими каналами для водяного охолодження. Задовільна робота контактних щік забезпечується, якщо в їх зоні маса електродів знаходиться в пластичному стані. Щоки підвішені до несучого циліндру пластинами із сталі.

Несучий циліндр призначено для навішування електроду і електродотримача та для переміщення електроду під час роботи печі. Циліндр довжиною 6...7м виготовлено із котельної сталі товщиною 10...16мм. Між циліндром і електродом встановлено щілину 100...200мм, до якої зверху вдувають повітря. Нижню частину циліндру охолоджують з'ємними щитками

.Охолодження електроду захищає електродну масу від перегріву і загоряння вище рівня щік електродотримача. Потік повітря між несучим циліндром і електродом перешкоджає витіку газів із робочого простору печі. Верхня частина щілини ущільнюється гумовою прокладкою або азбестовою набивкою, яка ізолює електрод від несучого циліндру . В деяких випадках використовують двохшаровий ущільнювач, що складається із шамотного кільця, який притискується до електроду пружинами та верхньої азбестової чи гумової прокладки.

Механізм переміщення електроду складається із рами із швелерів, що приварена до несучого циліндру, вертикальних стійок та обойми з блоками. Через блоки пропускають сталеві канати, або ланцюги і намотують на барабан приводу несучого циліндру. Кожний електрод має індивідуальний привод, що складається із електродвигуна черв'ячного редуктора, циліндричних шестерен і двох барабанів. До кінця тросу, який сходить з барабану приєднують противагу, що зменшує необхідну потужність приводу. Швидкість підйому електродів діаметром 600...900мм дорівнює 0,9...0,6м/хв., швидкість опускання - менше підйому на 20...25%.

На сучасних печах замість механічних механізмів підйому електродів встановлені гідравлічні. Вони мають плунжери,що виконують переміщення електродів під час подачі до них мастил від напірних установок. Плунжери спираються на стакани закріплені на рамі і з'єднані між собою траверсою,до якої закріплені несучий циліндр і пристрій перепуску електродів. Механізм переміщення електродів оснащено обмежувачами підйому та спуску.

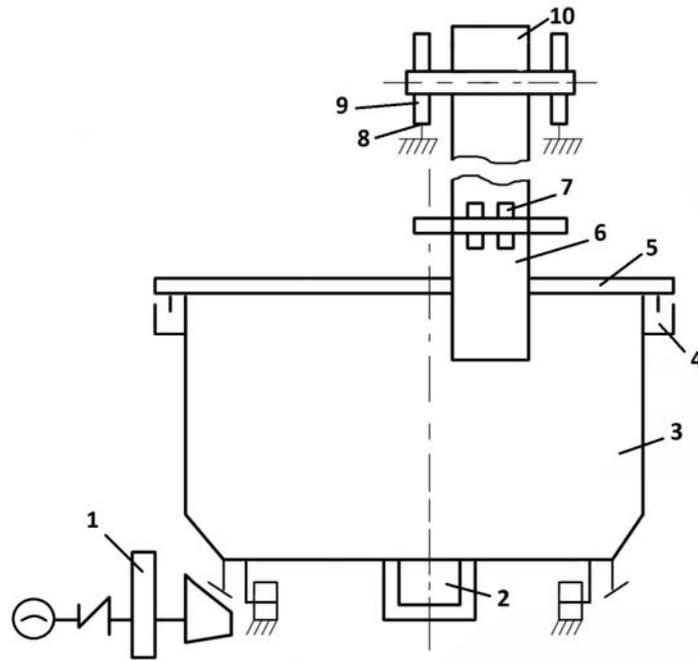
Пристрій для перепуску електродів призначено для регулювання довжини електроду від самої дуги до електродотримача. Перепуск електродів виконують без відключення печі і з використанням гальмового пристрою. Тормозні пристрої бувають ручні і механічні. На сучасних печах встановлено пружинно-гідравлічні пристрої для перепуску електродів кліщового типу. Вони закріплюються на траверсі гідропідйомника, або на рамі верхнього кінця

несучого циліндру. Пристрій має верхнє і нижнє кільця, що притискаються до електроду пружинами. До перепуску електрод затиснут одночасно верхнім та нижнім кільцем. Під час перепуску віджимають нижнє кільце і електрод разом з верхнім кільцем опускають донизу. Потім знову затискають електрод в нижньому кільці і розкривають верхнє кільце, яке гідравлічними домкратами повертають в вихідне положення і затискають. Ця система дозволяє дистанційно керувати перепуском електродів і забезпечує більш гладку поверхню електроду та кращий контакт його з струмопідводимою щічкою.

Устрій для обслуговування льотки забезпечує випуск із печі рідкого феросплаву та закриття отвору вогнестійкими матеріалами. Інколи виникають труднощі при відкриванні випускного отвору льотки в наслідок створення настилів. Для полегшення цієї операції і підтримки льотки в нормальному стані використовують пристрій для прожигу випускного отвору електричною дугою, або киснем.

Механізм обертання ванни запобігає зависанню шихти й настилів, поліпшує прогрів шихти. Обертання реверсивне на кут 130° . При цьому пісковий затвор забезпечує герметичність печі.

Устрій основних механізмів феросплавної печі представлено на рис. 3.



1 - механізм обертання ванни; 2-опорна система; 3-корпус печі;
 4-пісковий затвор;5-склепіння; 6-електрод; 7- контактні щоки;
 8-несучий циліндр; 9-механізм переміщення електрода;
 10-механізм перепуску електродів.

Рисунок 3 - Конструкція типової феросплавної печі:

3 РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ ФЕРОСПЛАВНОЇ ПЕЧІ

Параметри ванни печі, в тому числі внутрішній діаметр d_v вибирають виходячи із діаметру електрода d_e , діаметру распаду 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 $6 \dots 8$, вугільних $7 \dots 12$ і графітированих $14 \dots 28 \text{ А/см}^2$.

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 електропровідного 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 $d_v = d_p + 2,7 d_e$;
- при шлакових процесах зростає розмір ванни $d_v = d_p + 3,3 d_e$.

2. Для печей з обертальною ванною:

- при безшлаковому процесі $d_v \geq 0,9 d_p + 2,5 d_e$;
- для шлакових процесів $d_v = 0,9 d_p + 3,04 d_e$.

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 $N > 7500 \text{кВА}$ 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 $H = h + 2$.

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, $\sim 70\%$ 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).

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

Піч	Номінальна 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.

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' – коефіцієнт, який враховує перестой печі та коливання електричного режиму.

Для печей безперервної дії коефіцієнт 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 - $\eta_{ел} \cdot \cos \varphi$. Наприклад, приймаємо $\eta_{ел} \cdot \cos \varphi = 0,72$.

3. Корисна потужність печі:

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

4. Робоча корисна фазова напруга печі:

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

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:

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

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%-вий	-	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%-вий	-	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%-вий	-	-	0,76	0,73	0,72	0,70	-
Феросиліцій 75%-вий	-	0,84	0,78	0,76	0,74	0,72	-
Феросиліцій 90%-вий	-	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...6 В.

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

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

Інтервал корисних напруг пічного трансформатора буде дорівнювати 145...217 В.

5. Струм в електроді:

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

6. Робочий струм в електроді:

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

7. Активний опір ванни:

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

8. Діаметр електрода:

$$d_{el} = \frac{EP_1}{R_6}, \quad (10)$$

де EP_1 – коефіцієнт, який визначається з табл. 5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта EP_1 для феросплавних електропечей

Сплав, що виплавляється	EP_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 EP_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):

$$j = \frac{4I_{\text{лін. max}}}{\pi d_{el}^2} \leq j_{\text{доп}}, \quad (11)$$

де згідно табл. 6 приймаємо найближче.

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	$j_{\text{доп}}, \text{ А/см}^2$ (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:

$$\eta_{ел} = \frac{R_6}{R_6 + r_{кк}}, \quad (12)$$

$$\cos \varphi = \frac{r_{\dot{e}n} + R_a}{\sqrt{(r_{\dot{e}n} + R_a)^2 + x_{\dot{e}c}^2}}, \quad (13)$$

де $r_{кк}$ - активний опір короткої мережі, мОм;

$x_{кк}$ – індуктивний опір пічного контура, мОм (табл. 7).

Таблиця 7 - Електричні параметри вторинного струмопідводу феросплавних електропечей

Потужність печі, кВА	$x_{кк}$, мОм	$r_{кк}$, 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

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

Якщо 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).

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

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

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

B - параметр, що розраховується.

Таблиця 8 - Значення геометричного критерія B^1 для феросплавних печей

Параметр	Тип процесу	B^1	
		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.

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

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

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

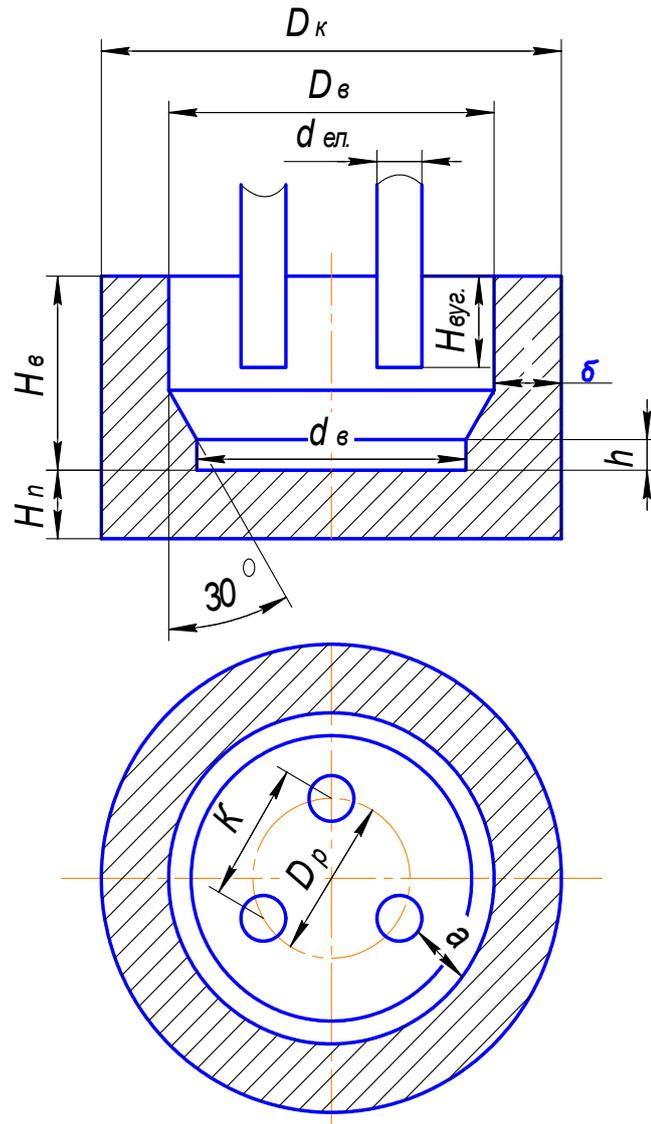


Рисунок 5 - Ескіз ванни круглої трьохелектродної феросплавної печі

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
Рудновапняний 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.

10. Діаметр кожуха:

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

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 $\delta_{стін} = 750$ мм. При вибраних параметрах занурення електродів в шихту буде дорівнювати 1300...1500 мм.

11. 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:

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