**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

**РОБОЧА ПРОГРАМА,**

**методичні вказівки та індивідуальні завдання**

**до вивчення дисципліни**

**«Конструкції електрометалургійних агрегатів»**

**для студентів заочної форми навчання**

**за освітньо-професійною програмою**

**«Технології та обладнання виробництва металів і сплавів»**

**підготовки здобувачів вищої освіти**

**на першому (бакалаврському) рівні**

**спеціальності 136 «Металургія»**

**(**Профіль: МЕ04 «Електрометалургія стелі та феросплавів»**)**

**Дніпро НМетАУ 2016**

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Конструкції електрометалургійних агрегатів» для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні спеціальності 136 «Металургія» (Профіль: МЕ04 «Електрометалургія стелі та феросплавів») / Укл. Гасик М.І., Гладких В.А, Гріншпунт О.Г., Цибуля Є.І.– Дніпро: НМетАУ, 2016. – 21 с.

Наведені робоча програма дисципліни з методичними вказівками, рекомендованою літературою і питаннями для самоперевірки за окремими темами, а також індивідуальне домашнє завдання.

Призначена для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні спеціальності 136 «Металургія» (Профіль: МЕ04 «Електрометалургія стелі та феросплавів»).

Укладачі: Гасик М.І., доктор техн. наук, проф.

Гладких В.А., доктор. техн. наук, проф.

 Гріншпунт О.Г., доктор техн. наук, проф.

 Цибупя Є.І., канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

|  |  |
| --- | --- |
| ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ…………………………….………….... | 4 |
| 1 РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНИХ ГОДИН ДИСЦИПЛІНИ .………....………….. | 5 |
| 2 ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ…………………………………………...……………. | 5 |
| 2.1 Лекційний курс…………………………………………..…………….. | 5 |
| 2.2 Практичні роботи……………………………………………...……….. | 6 |
| 2.3 Курсове проектування…………………………………………………. | 7 |
| 2.4 Опрацювання розділів програми, які не викладаються на лекціях … | 7 |
| 3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ………. | 7 |
| 3.1 Методика расчета……………………………………………………… | 8 |
| 3.2Расчет электрических параметров электропечной установки..…….. | 9 |
| 3.3 Расчет геометрических параметров печи…………………………….. | 12 |
| 3.4. Расчет электрических параметров для построения электрических характеристик электропечной ферросплавной установки ……………… | 16 |
| РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .…..……………………………………..... | 20 |

Характеристика дисципліни

Навчальна дисципліна  «Конструкції технологічних агрегатів» входить до циклу дисциплін вільного вибору навчального закладу.

**Мета вивчення дисципліни** – засвоєння знань та придбання навичок  необхідних для вибору сучасних агрегатів для виробництва електрометалургійної продукції.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен

**знати:**

-          конструкцію і принцип побудови сучасних електричних печей;

-          послідовність визначення основних  електричних і геометричних параметрів;

-          перспективні напрями удосконалення електросталеплавильних і феросплавних печей;

**вміти:**

-          провести пошук і аналіз розробок типових елементів конструкції електричних печей;підготувати вихідні дані для розрахунку і конструювання основних вузлів і агрегатів;

-          вибрати доцільні матеріали для конструкцій позапічного обладнання і пристроїв.

Критерії успішності – отримання позитивних оцінок при захисті курсової роботи та складанні передбачених залікових модулів.

**Засоби діагностики успішності навчання –** комплект тестових завдань (модуль 1-4) та комплект методичних вказівок для виконання курсової роботи.

**Зв’язок з іншими дисциплінами** – дисципліна пов’язана з попереднім вивченням нормативних дисциплін («Нарисна геометрія та інженерна графіка», «Механіка») і дисциплін професійної і практичної підготовки: «Загальна металургія», «Автоматизація виробничих процесів», «Обладнання металургійних цехів».

Набуті знання і вміння використовуються при вивченні дисциплін з циклу вільного вибору студента «Технологічне проектування за фахом», «Спеціальна електрометалургія».

1. **Розподіл навчальних годин (Заочна форма навчання)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|   | Усього | Чверті |
| 7 | 8 |
| Усього годин за навчальним планом, у тому числі: | 288 | 144 | 144 |
| Аудиторні заняття, з них: | 40 | 20 | 20 |
| Лекції | 24 | 12 | 12 |
| Лабораторні роботи | 0 | 0 | 0 |
| Практичні заняття | 16 | 8 | 8 |
| Семінарські заняття | 0 | 0 | 0 |
| Самостійна робота, у тому числі при: | 248 | 124 | 124 |
|  Кількість контрольних робіт |  |  1 |  |
| Виконання курсової роботи | 1 | – | К/Р |
| Підсумковий контроль (екзамен) |  | залік. | К/Р, екзамен |

1. **Зміст дисципліни**

**2.1 Лекційний курс**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№з/п | Назва розділу/теми та ії зміст | Тривалість(годин) |
| 1 | **Тенденції та перспективи розвитку електропечебудівництва**Історія, сучасний стан, тенденції та перспективи розвитку електропечебудівництва. Класифікація електроплавильних печей. Принцип дії та області використання руднотермічних, дугових і індукційних електропечей. | 2 |
| 2 | **Електротехнологічні основи роботи електропечей**Електрична дуга постійного та перемінного струму, стабілізація та регулювання її потужності. Енергетичний баланс електропічної установки. Вибір раціональних режимів роботи феросплавних та дугових сталеплавильних електропечей. | 4 |
| 3 | **Загальна характеристика феросплавних електропечей. Рафінувальні електропечі**Класифікація феросплавних печей та їх маркіровка. Основні геометричні параметри феросплавних печей. Основні конструктивні вузли та елементи рафінувальних печей їх футеровка. Система очистки газів та завантаження печей шихтою. Раціональний електричний режим і його регулювання. Схема електропостачання електропечі. Особливості конструкції та роботи електропечей для металотермічних процесів. Вакуумні печі опору. | 4 |
| 4 | **Рудовідновні електропечі**Призначення, устрій, конструкції та механічне обладнання рудовідновних електропечей. Кожух та футеровка печей для виробництва кремністих, марганцевих та хромових феросплавів. Особливості конструкції своду закритих та герметичних електропечей. Механізм обертання ванни печі. Неперервні самоспікаючі електроди. Устрій, електродна маса, вимоги та її фізико-хімічні властивості. Особливості формування та експлуатації самообпалювальних електродів. Електроконтактний вузол та механічне обладнання самообпалювальних електродів. Контактні щоки. Вузол герметізації печі. Устрій для переміщення електроду. Конструкція механізму утримання та перепуску електроду.Електропостачання рудовідновних електропечей. Схема електропостачання. Установка продольноємкістної компенсації, АСУ управління електротехнічним процесом. Допоміжне обладнання. Система очистки газів та подачі шихтових матеріалів. Механізми та обладнання для випуску, розливки та транспортування продуктів плав-ки. Нові проектні рішення потужних рудовідновних печей. Охорона навколишнього середовища в процесі експлуатації феросплавних печей. Пуск та ремонт рудовідновних електропечей. | 6 |
| 5 | **Дугові сталеплавильні електропечі**Устрій, класифікація та основні технічні дані дугових сталеплавильних печей. Конструкції та механічне обладнання. Допоміжне обладнання та механізми. Уловлення та очистка пічних газів. Особливості конструкції печей для плавки сталі на металізованих обкотишах. Схема електропостачання та обладнання підстанції дугових сталеплавильних печей. Вугільні та графітовані електроди. Потужність трансформаторів. Теплообмін в робочому просторі дугової сталеплавильної печі. Раціональний електричний, тепловий та технологічний режим плавки. Футеровка дугових електропечей. Конструкція основної та кислої футеровки. Умови експлуатації та ремонту. Механізми та обладнання для випуску, розливки та транспортування електросталі та шлаку. | 6 |
| 6 | **Індукційні печі та печі спеціальної металургії**Типи індукційних печей. Електротехнологічні основи роботи індукційних тигель них печей. Устрій та основні конструктивні вузли тигельних печей. Геометричні параметри, футеровка та конструкція тигельних печей для плавки сталі. Схема включення, електротермічне обладнання, характеристика джерел живлення.Використання, принцип дії, устрій печей спеціальної електрометалургії для виплавки сталі. Порівняльна оцінка техніко-економічних показників роботи дугових, індукційних та печей спеціальної електрометалургії. | 2 |

**2.2 Практичні заняття**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№з/п | Тема заняття та ії зміст | Тривалість(годин) |
| 1 | **Розрахунок електричних параметрів феросплавних печей** | 4 |
| 2 | **Розрахунок геометричних параметрів феросплавних печей** | 4 |
| 3 | **Розрахунок електричних параметрів дугової сталеплавильної печі** | 4 |
| 4 | **Розрахунок електричних та геометричних характеристик індукційної печі** | 4 |

* 1. **Курсове проектування**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№з/п | Тема курсової роботи та ії зміст | Тривалість(годин) |
| 1 | **Розрахунок електричних і геометричних параметрів електропечі** | 36 |

**2.4 Опрацювання розділів програми, які не викладаються на лекціях**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№з/п | Назва теми та ії зміст | Тривалість(годин) |
| 1 | **Експлуатація рафінувальних печей та їх допоміжне технологіч-не обладнання** | 12 |
| 2 | **Експлуатація потужних рудновідновних електропечей** | 24 |
| 3 | **Дугові електропечі нового покоління та їх допоміжне технологічне обладнання** | 24 |
| 4 | **Елементи конструкції феросплавних і дугових печей постійного струму** | 24 |
| 5 | **Вогнетривні матеріали для футеровки електропечей** | 18 |

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ ТА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Студенти, які навчаються за напрямом 6.050401 – металургія, виконують курсову роботу, мета якої – закріпити знання, отримані при вивченні дисципліни «Конструкція технологічних агрегатів» та ряду загальнотехнічних й спеціальних дисциплін, та навчитися застосовувати їх при розрахунках конструкцій технологічних агрегатів, які забезпечують високий технічний рівень та ефективність виробництва електрометалургійної продукції; отримати та розвивати досвід самостійної роботи зі спеціальною та довідковою літературою, складання розрахунково-пояснювальної записки, а також вміння захищати прийняті в роботі конструктивні та технічні рішення.

Рішення, які приймаються при виконанні курсової роботи, повинні бути обґрунтовані необхідними розрахунками та довідковими матеріалами.

Студент виконує контрольну та курсову роботу відповідно варіанту індивідуальних завдань (табл. 3.1), який визначає викладач.

Контрольна робота, яка виконується у першому семестрі викладання дисципліни, включає опис конструкції печі та технології виробництва феросплава у відповідності до завдання.

Курсова робота, яка виконується у другому семестрі викладання дисципліни, включає

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОСПЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ**

**3.1. Методика расчета**

Расчет обычно включает определение энергетических характеристик и геометрических размеров печи. Для вновь проектируемого процесса с применением ранее неизвестных материалов необходимо обязательное составление материального и теплового балансов. При проектировании новой печи под установившийся, традиционный процесс эти показатели принимают по производственным данным. В расчет электрических параметров печной установки входит много неизвестных. Обычно, исходя из практических данных, задают производительность печи и по удельному расходу электроэнергии (кВт⋅ч/т сплава) определяют мощность печной установки, а затем все остальные электрические параметры. Наряду с мощностью при получении ферросплавов большое значение имеет электрическое сопротивление шихтовых материалов, которое зависит от их химического и гранулометрического состава шихты, вида и марки выплавляемого сплава. Эти два важнейших параметра (мощность печи и электрическое сопротивление шихты) обеспечивают концентрацию тепла в заданном объеме и температурные условия, необходимые для реализации реакций восстановительного процесса. Величина электрического сопротивления шихтовых материалов также используется в качестве исходной для расчета и задается видом и маркой выплавляемого сплава. В основу маркировки ферросплавных печей положена их мощность.

За последние десятилетия под руководством И.Т. Жердева, Т.А. Сисояна, А.С. Микулинского. Б.Б. Данциса и др. выполнен ряд исследований, позволивших разработать полуэмпирический метод расчета, при котором за основу принимают некоторую эталонную печь и считают электрическое поле в этой и проектируемой печах подобными. При этом вводится критерий электрического подобия (ЭП):

, (3.1)

где:  – полезное фазовое напряжение, В;

  – диаметр электрода, мм;

 – удельное электрическое сопротивление, Ом⋅мм;

I – ток на фазе, А.

Этот критерий связывает определяющий геометрический размер – диаметр электрода с электрическими параметрами , I и характеристикой данного процесса – усредненным удельным сопротивлением слоя шихтовых материалов , которое определяется видом и маркой выплавляемого сплава. Если принять, что в проектируемой и эталонной печах используется одинаковая по химическому и гранулометрическому составам шихта, то можно допустить равенство значений для обеих печей, т.е. для одинаковых процессов можно пользоваться упрощенным критерием электрического подобия (ЭП1):

, (3.2)

По этому критерию и вычисленным электрическим параметрам можно определить диаметр электрода в проектируемой печи. А по диаметру электрода, имея параметр геометрического подобия, рассчитать основные размеры печи. Таким образом, принятая схема расчета позволяет связать электрические характеристики и геометрические параметры печи, что является одним из важнейших обстоятельств для ферросплавных электропечей.

**3.2. Расчет электрических параметров электропечной установки.**

Расчет ведется в следующей последовательности.

Установленная мощность трансформатора:

, кВА, (3.3)

где: G – заданная производительность печи, т/сут;

 24 – количество часов в сутках, ч;

 cosϕ - коэффициент мощности электропечной установки;

 K – коэффициент, учитывающий простои печи (капитальный, средний, планово-предупредительный ремонт) и колебания электрического режима. Принимается в пределах 0,93-0,95;

 А – удельный расход электроэнергии, кВт⋅ч/т (принимается из практики, табл. 3.1).

Для предварительного расчета мощности трансформатора значение cosϕ принимается в пределах 0,82÷0,85. Затем из табл. 3.1, в зависимости от марки выплавляемого сплава, выбирается значение произведения cosϕ⋅ηэл. При этом в зависимости от величины W, полученной из 3.3 в пределах от 10 до 75 мВА, для большей мощности трансформатора берется меньшее значение произведения cosϕ⋅ηэл. После этого, опять-таки, исходя из предварительного значения W, выбирается величина ηэл, которая обычно находится в пределах 0,84-0,90 (чем больше W, тем меньше ηэл).

Выбрав величину произведения cosϕ⋅ηэл и значение ηэл, определяем cosϕ установки из соотношения:

, (3.4)

а затем по полученному значению cosϕ - окончательную искомую (номинальную) мощность трансформатора по формуле (3.3).

**Таблица 3.1.** Варианты индивидуальных заданий для выполнения контрольной и курсовой работ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Марка сплава | cosϕ⋅ηэл | А, кВт⋅ч/т | С | ЭП1 | j, A/см2 | G,т/сут |
| n=0,25 | n=0,33 |
| 1 | ФС45 | 0,72 | 4700 | - | 3,20 | 1,50 | 7,0 | 100 |
| 2 | ФС45 | 0,71 | 4800 | - | 3,20 | 1,75 | 7,0 | 150 |
| 3 | ФС45 | 0,70 | 4900 | - | 3,20 | 2,00 | 7,0 | 200 |
| 4 | ФС65 | 0,73 | 7400 | - | 3,35 | 1,57 | 7,0 | 80 |
| 5 | ФС65 | 0,72 | 7550 | - | 3,35 | 1,75 | 7,0 | 100 |
| 6 | ФС65 | 0,71 | 7700 | - | 3,35 | 2,02 | 7,0 | 120 |
| 7 | ФС75 | 0,74 | 8800 | - | 3,40 | 1,60 | 7,0 | 80 |
| 8 | ФС75 | 0,73 | 9200 | - | 3,40 | 2,03 | 7,0 | 100 |
| 9 | ФС90 | 0,76 | 12500 | - | 3,50 | 1,65 | 8,4 | 60 |
| 10 | ФС90 | 0,75 | 13500 | - | 3,50 | 2,04 | 8,4 | 70 |
| 11 | СК30 | 0,68 | 12000 | 7,7 | - | 1,34 | 12,0 | 10 |
| 12 | СК30 | 0,66 | 13000 | 7,7 | - | 1,41 | 12,0 | 20 |
| 13 | ФМн78 | 0,68 | 3800 | 8,3 | - | 1,54 | 7,6 | 300 |
| 14 | ФМн78 | 0,67 | 3900 | 8,3 | - | 1,52 | 7,6 | 330 |
| 15 | ФМн78 | 0,65 | 4100 | 8,3 | - | 1,49 | 7,6 | 360 |
| 16 | ФХ400 | 0,75 | 3450 | 8,6 | - | 1,44 | 7,6 | 80 |
| 17 | ФХ800 | 0,73 | 3600 | 8,6 | - | 1,50 | 7,6 | 120 |
| 18 | СМн17Р | 0,69 | 4100 | 6,7 | - | 1,34 | 7,7 | 250 |
| 19 | СМн17Р | 0,68 | 4400 | 6,7 | - | 1,37 | 7,7 | 300 |
| 20 | СМн17Р | 0,67 | 4700 | 6,7 | - | 1,41 | 7,7 | 350 |

Примечание. Величины, имеющие разбег, следует выбирать от меньшей мощности к большей в том порядке, как они приведены в таблице.

Полезная мощность, выделяемая в ванне печи:

Рпол = W⋅cosϕ⋅ηэл, кВт, (3.5)

где: W – полученная окончательно номинальная мощность трансформатора, кВА;

 cosϕ⋅ηэл – произведение, выбранное из табл. 3.1.

Рабочее полезное фазовое напряжение печи:

Uпол = С, В, (3.6)

где С и n – коэффициенты, зависящие от вида процесса (шлаковый или бесшлаковый – n) и от марки сплава (электрических характеристик шихты и электрического режима – С). Вид процесса определяет характер распределения мощности. При бесшлаковом (малошлаковом) процессе мощность предпочтительно распределяется по поверхности расплава и n = 0,33. При шлаковом процессе превалирует объемное распределение мощности и n = 0,25. Значение коэффициента С для шлаковых и бесшлаковых процессов приведено в табл. 3.1 в зависимости от марки выплавляемого сплава.

 Вторичное линейное напряжение печного трансформатора:

. (3.7)

По значению Uл рассчитываются ступени вторичного напряжения трансформатора, при этом принимается интервал (0,75÷1,2)Uл с перепадом между ступенями напряжения 4÷6 В.

 Число ступеней напряжения определяется из соотношения:

. (3.8)

Составляется таблица ступеней напряжения, считая первой ступенью n1 = 0,75Uл, второй ступенью n2 = 0,75Uл +(4÷6) и т.д. до конечной ступени nк = 1,2Uл.

Сила тока в электроде:

, кА. (3.9)

По найденной величине силы тока в электроде определяется его диаметр:

, мм (3.10)

и округляется до ближайшего большего размера, кратного 50. Значения критерия ЭП1 приведены в табл. 3.1. После этого необходимо выбрать тип электрода (графитированный, угольный, самообжигающийся), состав электродной массы, если необходимо.

 Проверка правильности определения диаметра электрода производится по допустимой плотности тока (j, А/см2). Для этого определяется фактическое значение j:

, А/см2. (3.11)

Фактическая величина плотности тока должна быть меньше допустимой величины jдоп., значение которой приведено в табл. 3.1.

Если jрасч. превышает jдоп., расчет необходимо повторить, приняв новое большее значение произведения cosϕ⋅ηэл:

Производится проверочный расчет ηэл:

, (3.12)

где RB – активное сопротивление ванны печи:

, Ом, (3.13)

r – активное сопротивление короткой сети; принимается из табл. 3.2.

 Производится проверочный расчет cosϕ:

, (3.14)

где: Х – реактивное сопротивление печной установки (принимается из табл. 3.2.

**Таблица 3.2.** Значения r и Х печей различной мощности

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| W, мВа | 14-17 | 21-24 | 33-63 |
| r, Ом⋅10-3 | 0,20 | 0,17 | 0,14 |
| Х, Ом⋅10-3 | 1,02÷0,96 | 0,94÷0,90 | 0,88÷0,83 |

 Проверочный расчет величины произведения cosϕ⋅ηэл.

Если произведение не более чем на 5% отличается от принятого для расчета, то электрический расчет окончен. Если отклонение больше 5%, то расчет необходимо повторить, приняв в качестве исходного среднее значение произведения cosϕ⋅ηэл между ранее принятым и полученным в результате расчета. При повторении расчета необходимо закрепить ηэл, а из вновь принятого произведения cosϕ⋅ηэл определить cosϕ и повторить расчет в той же последовательности.

**3.3. Расчет геометрических параметров печи**

Определение геометрических параметров печи производится после окончания расчета электрических характеристик. Связующим параметром между электрическими характеристиками и геометрическими параметрами является диаметр электрода. К геометрическим параметрам относятся (рис. 3.1 а, б):

δ – толщина футеровки стен на уровне подины, мм;

D – диаметр шахты, мм;

dэ – диаметр электрода, мм;

L – глубина шахты, мм;

L1 – расстояние от поверхности колошника до подины, мм;

h – расстояние от поверхности колошника до верхней кромки кожуха, мм;

Н – глубина погружения электрода в шихту, мм;

Нб – высота угольной обстановки (для углеродотермических процессов), мм;

*l* – расстояние от рабочего конца электрода до подины, мм;

f – расстояние между электродом и футеровкой стен печи, мм;

В – расстояние между электродами, мм;

Dр – диаметр распада электродов.



**Рис. 13.1.** Рабочий эскиз для расчета геометрических параметров

рудовосстановительных ферросплавных печей непрерывного действия:

а) – с круглой ванной; б) – с прямоугольной ванной

Для шлакового процесса величина *l* разбивается на две составляющие:

*l*1 – глубина расплава, мм; при этом глубиной металла пренебрегают;

*l*2 – расстояние от поверхности расплава до рабочего конца электрода, мм.

Из практики известно, что при всем многообразии технологических процессов и конструкций печей величины *l* и h изменяются в сравнительно нешироких пределах:

h = 100 : 200 мм;

*l* = 600 : 900 мм.

Расчет геометрических параметров ведется в соответствии с принципом геометрического подобия. При этом принимается, что в круглой трехэлектродной печи электроды расположены по вершинам равностороннего треугольника.

В табл. 3.3 приведены значения критериев геометрического подобия для основных геометрических параметров ферросплавных печей.

**Таблица 3.3.** Значения критериев геометрического подобия

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Геометрический параметр | Тип процесса | Обозначениекритерия | Величинакритерия |
| Расстояние между электродами, (В) | б/шл.\*шл. | В/ | 2,15÷2,852,24÷3,02 |
| Диаметр ванны на уровне колошника, (D) | б/шл.шл. | D/ | 5,40÷5,805,80÷6,00 |
| Диаметр ванны на уровне угольных обстановочных блоков, (Dб) | б/шл. | Dб/ | 5,10÷5,205,60÷5,80 |
| Расстояние от поверхности колошника до подины, (L) | б/шл.шл. | L/ | 1,8-2,02,0-2,5 |
| Высота угольной обстановки, (Нб) | б/шл.шл. | Нб/ | 0,65-0,700,95-1,10 |
| Глубина погружения электродов в шихту, (Н) | б/шл.шл. | Н/ | 1,10-1,200,65-1,25 |
| Диаметр распада электродов | б/шл.шл. | Dр | 2,0-2,82,2-3,0 |

\*б/шл. – для бесшлаковых процессов;

 шл. – для шлаковых процессов.

Любой геометрический параметр (П) определяется из соотношения

П = П/⋅dэ, (3.15)

например, расстояние между электродами

В = В/⋅dэ,

Таким образом, определяются все геометрические параметры. Диаметр распада электродов определяют из геометрического соотношения, исходя из расположения электродов по углам равностороннего треугольника.

Диаметр распада электродов зависит от особенностей процесса и для непрерывных процессов для рудовосстановительных печей берется ближе к трем, а для периодических процессов, т.е. для рафинировочных печей, берется параметр ближе к двум; для вращающихся печей этот параметр составляет 0,9 от стационарных печей:

Dрвр = 0,9Dрст. (3.10)

Соответственно расстояние между электродом и футеровкой печи для стационарных печей:

* бесшлаковый процесс fстац = 0,80 – 1,0dэл; (3.17)
* шлаковый процесс fстац = 0,95 – 1,2dэл. (3.18)

Для вращающихся печей бесшлакового процесса:

fвращ = 0,7fстац.. (3.19)

Диаметр ванны на уровне угольных блоков также зависит от вида процесса и типа печи:

– стационарные печи:

* бесшлаковый процесс: Dбст = Dр + 2,7dэ (3.20)
* шлаковый процесс: Dбст = Dр + 3,3dэ (3.21)

– вращающиеся печи:

* бесшлаковый процесс: Dбвр = 0,9Dр + 2,5dэ (3.22)
* шлаковый процесс: Dбвр = 0,9Dр + 3,0dэ (3.23)

Диаметр кожуха ванны печи определяется из уравнения:

Dк = Dб + 2δ, (3.24)

где: δ - толщина футеровки стен ванны печи на уровне подины, которая определяется мощностью печи и технологическими особенностями. Для существующих процессов принимается из практики.

Для рудовосстановительных ферросплавных печей типа РПЗ с прямоугольной ванной применяют самообжигающиеся электроды прямоугольного сечения с соотношением сторон (рис. 13.1) n = a/b ≈ 3,5-4,5. Для таких электродов в качестве расчетного линейного параметра применяют условный (приведенный) диаметр который определяют из выражения:

при n < 4 dэлп = 2(a + b)/π, мм; (3.25)

при n = 4 dэлп = 2,25b, мм; (3.26)

при n > 4 dэлп = ,мм; (3.27)

Для печей РПЗ-63, выплавляющих ферромарганец и ферросиликомарганец, применяются самообжигающиеся электроды прямоугольного сечения a x b = 3000 х 750 мм. Учитывая соотношение сторон (n = 4) в дальнейшем применяем приведенный диаметр dэлп = 2,25b, мм.

Учитывая возможное увеличение линейных размеров ванны печи типа РПЗ на 0,25 dэлп длину ванны рабочего пространства определяем из соотношения:

*l*в = 2(1,2 +0,25)⋅dэлп + 5В, мм; (3.28)

где: В – расстояние между электродами.

Ширина рабочего пространства определяется из соотношения:

bв = 2(1,2+0,25)⋅dэлп + *а*, мм. (3.29)

Принимая толщину футеровки стен *l*ф = 1050 мм, определяем внутренние размеры кожуха печи согласно выражению:

длина – *l*к = *l*в + 2⋅1050, мм (3.30)

ширина – bк = bв + 2⋅1050, мм. (3.31)

Для проверки правильности толщины угольных обстановочных блоков и соотношения между основными геометрическими параметрами по расчетным размерам на миллиметровке (формат А4), выполняется эскиз ферросплавной печи. При этом следует учесть, что минимальная толщина угольной обстановки должна составлять не менее 250 мм.

**3.4. Расчет электрических параметров для построения электрических характеристик электропечной ферросплавной установки**

Электрические характеристики электропечной ферросплавной установки подобные характеристикам дуговых сталеплавильных печей, которые должны быть рассчитаны количественно для всех ступеней напряжения печного трансформатора, на практике распространения не получили.

Известно, что ферросплавные печи при нормальной работе длительное время потребляют ток, близкий к номинальному значению тока трансформатора для выбранной ступени рабочего напряжения. По этой причине нет необходимости рассчитывать кривые, характеризующие электрические режимы печной установки в широком диапазоне изменения тока нагрузки при неизменном напряжении трансформатора, интерес представляют только те небольшие участки кривых, которые отвечают значениям тока, близким к номинальным для каждой ступени напряжения трансформатора. Таким образом, трудоемкий расчет электрических характеристик рудовосстановительных печных установок не оправдывается степенью использования расчетного материала.

Предложен другой метод расчета электрических характеристик ферросплавных печей, более удобный для практического использования.

Независимой переменной для этих характеристик выбрано активное сопротивление электрической цепи печной установки применительно к преобразованной схеме замещения – звезда без нулевого провода.

Характеристики рассчитываются на основе учета паспортных данных печного трансформатора, при обычном допущении постоянства индуктивных сопротивлений короткой сети (Хк) и ванны печи (Хв), а также постоянства активного сопротивления короткой сети (Rк). Таким образом, переменным регулируемым сопротивлением в энергетической цепи печной установки остается только активное сопротивление ванны печи (Rв). При построении характеристик по оси горизонталей в выбранном масштабе откладывается полное активное сопротивление печной установки, равное R = Rк + Rв.

Ниже приведен расчет всех величин, характеризующих режим электрической цепи, для первой ступени рабочего напряжения печного трансформатора с номинальной мощностью Sн, кВА.

Исходными данными для расчета является паспорт электропечного трансформатора и результаты расчета короткой сети электропечной установки.

(U2л; I2л; X = Xк + Xв; Rк);

где: U2л – линейное напряжение, кВ;

 I2л – линейный ток, кА;

 Хк – индуктивное сопротивление короткой сети, Ом;

 Rк – активное сопротивление короткой сети, Ом;

 Хв – индуктивное сопротивление ванны печи, Ом.

Значения сопротивлений участков электропечного контура ферросплавных печей приведены в табл. 3.4 и 3.5.

**Таблица 3.4.** Значение сопротивлений участков электропечного контура ферросплавных трехэлектродных печей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименованиепечной установки | Реактивное сопротивление, mОм | Активное сопротивление, mОм |
| трансфор-матор | короткаясеть (Хк) | ванна и электроды (Хв) | короткаясеть (Rк) | электрод |
| РКЗ-16,5 | 0,190,19 | 0,4500,450 | 0,4700,520 | 0,0350,035 | 0,0760,058 |
| РКЗ-24 | 0,150,15 | 0,3500,350 | 0,5800,580 | 0,0350,035 | 0,0390,039 |
| РКЗ-33 | 0,130,13 | 0,3500,350 | 0,5800,640 | 0,0350,035 | 0,0390,030 |
| РКЗ-50 | 0,120,12 | 0,3500,350 | 0,6600,740 | 0,0350,035 | 0,0260,021 |
| РКЗ-63 | 0,110,11 | 0,3500,350 | 0,7000,740 | 0,0350,035 | 0,0240,021 |
| РКЗ-80 | 0,09 | 0,350 | 0,740 | 0,035 | 0,021 |

Примечание. В числителе приведены данные для печей, предназначенных для плавки, с относительно малыми токами и в знаменателе – для печей с относительно большими токами

Принимаем, что реактивное сопротивление печной установки РПЗ-48, работающей без УПК (установка продольно-емкостной компенсации), составляет Хпу = 2,0 mОм, а активное сопротивление печной установки R = = 0,2 mОм. Для печей сверхвысокой мощности типа РПЗ63, РКГ-81, работающих с УПК реактивное сопротивление печной установки Хпу = 1,0 mОм при том же значении активного сопротивления.

**Таблица 3.5.** Расчетные значения реактивных и активных сопротивлений электропечной установки РПЗ-48 без УПК

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование участка | Реактивное сопротивление, Х, mОм | Активное сопротивление печной установки, R, mОм |
| фаза А | фаза В | фаза С | ср. знач. | фаза А | фаза В | фаза С | ср. знач. |
| Трансформатор | 0,320 | 0,320 | 0,320 |  | 0,032 | 0,032 | 0,032 |  |
| Короткая сеть | 0,594 | 0,594 | 0,594 |  | 0,062 | 0,062 | 0,062 |  |
| а) трубчатый пакет | 0,178 | 0,178 | 0,178 |  | 0,056 | 0,056 | 0,056 |  |
| б) гибкие кабели | 0,081 | 0,081 | 0,081 |  | 0,001 | 0,001 | 0,001 |  |
| в) трубки гибкой части | 0,335 | 0,335 | 0,335 |  | 0,005 | 0,005 | 0,005 |  |
| Переходное сопротивление контактных плит | - | - | - |  | 0,060 | 0,060 | 0,060 |  |
| Итого по пунктам 1, 2, 3 | 0,914 | 0,914 | 0,914 |  | 0,154 | 0,154 | 0,154 |  |
| Сопротивление электродов | - | - | - |  | 0,050 | 0,050 | 0,050 |  |
| Ванна с электродами | 0,974 | 0,996 | 0,974 |  | - | - | - |  |
| Итого: | 1,888 | 1,910 | 1,888 | 1,90 | 0,204 | 0,204 | 0,204 | 0,204 |

Примечание: Принимаем, что реактивное сопротивление печной установки Хпу = 2,0 mОм, а активное сопротивление печи составляет Rп = 0,2 mОм

По номинальным значениям U2л и I2л рассчитывается фазное сопротивление печной установки

, Ом. (3.32)

 Активное сопротивление печной установки

 , Ом. (3.33)

 Активное сопротивление ванны печи

 Rв = R – Rк, Ом (3.34)

 Полное сопротивление ванны печи

, Ом (3.35)

Напряжение, подведенное к ванне печи,

, кВ (3.36)

Активная мощность, потребляемая из сети

Рс = 3I, МВт (3.37)

Полезная активная мощность

Рв = 3Iв, МВт (3.38)

 Ток в электроде

, кА (3.39)

Мощность потерь

Рэп = 3Iк, МВт (3.40)

 Номинальная мощность

3Sн = , МВА (3.41)

 Коэффициент мощности

. (3.42)

Электрический коэффициент полезного действия

. (3.43)

Аналогичным образом расчеты проводятся для всех ступеней напряжения печного трансформатора.

Результаты расчетов более удобно использовать в случае, когда они представлены в виде электрических характеристик, построенных в функции активного сопротивления печной установки. Образец таких характеристик, рассчитанных для рудовосстановительной печи с трансформатором 16,5 МВА, показан на рис. 3.2.



**Рис. 3.2.** Электрические характеристики рудовосстановительной печи

Характеристики убедительно доказывают целесообразность увеличения активного сопротивления ванны печи, так как при этом возрастает активная мощность ванны, увеличивающаяся за счет повышения коэффициентов мощности и полезного действия.

Следует отметить, что принятые для расчета постоянные значения сопротивлений короткой сети и ванны (Хк, Rк и Хв) в действительности изменяются в зависимости от величины тока нагрузки, от распределения плотности тока в ванне и от других факторов, однако отсутствие надежных и точных методов расчета этих сопротивлений позволяет уточнить теоретические характеристики только после опытной проверки на действующей печи.

**Рекомендованная литература**

1. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов: Учебник /В.А. Гладких, М.И. Гасик, А.Н. Овчарук, Ю.С. Пройдак. – Днепропетровск: Системные технологии, 2004. – 736с.
2. Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов /М.И. Гасик, Н.П. Лякишев. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 448с.
3. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов: Учебник для вузов /М.И. Гасик, Н.П. Лякишев. – М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 764с.
4. Струнский Б.М. Руднотермические плавильные печи. – М.: Металлургия, 1972. – 368с.
5. Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева: Учебник для вузов /А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердев, А.М. Кручинин и др. Под ред. А.Д. Свенчанского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296с.
6. Расчет мощности и параметров электропечей черной металлургии: Учебное пособие /А.В. Егоров. – М.: Металлургия, 1990. – 280с.
7. Устройство и эксплуатация оборудования ферросплавных заводов: Справочник /В.Ф. Шевченко. – М.: Металлургия, 1982. – 208с.
8. Шевченко В.Ф. Совершенствование цехов и оборудования ферросплавного производства. М. – Х.: Металлургия, 1997. – 470с.
9. Проектирование электрометаллургических цехов: Учебное пособие /М.И. Гасик, В.А. Гладких, В.С. Игнатьев, В.М. Шифрин. – Киев-Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1987. – 144с.
10. Рысс М.А. Производство ферросплавов. – М.: Металлургия, 1985. – 344с.
11. Поволоцкий Д.Я., Рощин В.Е., Мальков Н.В. Электрометаллургия стали и ферросплавов. – М. Металлургия, 1995. – 592с.
12. Гасик М.И. Марганец. – М. Металлургия, 1992. – 608с.
13. Лякишев Н.П., Гасик М.И. Металлургия хрома. – М.: ЭЛИЗ, 1999. – 582с.
14. Зубов В.А., Гасик М.И. Электрометаллургия ферросилиция. Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704с.
15. Гасик М.И. Электроды рудовосстановительных печей. – М.: Металлургия, 1985. – 284с.
16. Никопольские ферросплавы /К 75-летию акад. НАН Украины М.И. Гасика //М.И. Гасик, В.С. Куцин, Е.В. Лапин и др. Под ред. В.С. Куцина. – Днепропетровск: Системные технологии, 2004. – 272с.
17. Гаврилов В.А., Поляков И.И., Поляков О.И. Оптимизиция режимов работы ферросплавных печей. – М.: Металлургия, 1996. – 176с.
18. Энергетические параметры и конструкции рудовосстановительных электропечей /В.И. Жучков, В.Л. Розенберг, К.С. Елкин, Б.И. Зельберг. – Челябинск: Металл, 1994. – 192с.
19. Фотиев М.М. Электрооборудование предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия, 1980. – 312с.