

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



Косенко В.М.

Теоретичні основи пірометалургійних процесів

**Методичні вказівки
до самостійної роботи**

*для студентів ЗДІА за напрямом:
6.050401 «Металургія»*

**Запоріжжя
2014**

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

Теоретичні основи пірометалургійних процесів
Методичні вказівки
до самостійної роботи

для студентів ЗДІА за напрямом:
6.050401 «Металургія»

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МКМ,
протокол №16 від 30.04. 2014 р.

Теоретичні основи пірометалургійних процесів. Методичні вказівки до самостійної роботи для студентів ЗДІА за напрямом: 6.050401 «Металургія» / Укл.: В.М. Косенко, - Запоріжжя, 2014. – 36 с.

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт та самостійної роботи складаються з прикладів технологічних розрахунків, завданням до контрольної роботи та питань для самостійної перевірки знань з основних технологічних питань у пірометалургії.

Укладачі: ***В.М. Косенко, к.т.н, доцент***

Відповідальний за випуск: ***зав. кафедрою МКМ
професор І.Ф. Червоний***

ВСТУП

Металургійні розрахунки проводяться в основному за правилом стехіометрії аналогічно підрахунку кількості одержуваних продуктів по хімічним реакціям в неорганічній хімії.

Є багато методів ведення металургійних розрахунків. Кожне металургійне завдання можна розв'язувати різними методами і всі вони будуть вірні, якщо логічно правильно побудовані. Однак результати розрахунків можуть бути визнані правильними тільки в тому випадку, якщо вони збігаються з даними практики.

При виконанні металургійних розрахунків необхідний цілий ряд припущень і коефіцієнтів, які слід узгоджувати з практичними даними металургійних процесів.

Це змушує студента займатися металургійними розрахунками, стежити за літературою з металургії первинних та вторинних металів, більш глибоко вникати у сутність процесів, що протікають в металургійному апараті при проходженні виробничих практик, знаходити і записувати дані, які його цікавлять за особистими спостереженнями, за повідомленнями заводського технічного персоналу і з технічних звітів заводів, цехів, виробничо-заготівельних баз і майданчиків.

Пристаюючи до виконання будь-якого металургійного розрахунку, потрібно, насамперед, встановити, які матеріали переробляються, які процеси повинні протікати і які напівпродукти та продукти будуть отримані в результаті операції.

Для цього потрібно накреслити схему переробки сировини, по черзі записати проведені операції (спікання, плавка, рафінування і т.п.), показати, які матеріали і напівпродукти вводять в кожну операцію і які отримують, а також їх склад, якщо така умова поставлена в даній задачі.

Потім вибирають метод розрахунку, виявляють, як зазначено раніше, практичні коефіцієнти, виписують необхідні для розрахунку реакції і проводять розрахунок.

Металургійні характеристики окремих видів брухту і відходів міді і її сплавів, а також схеми їх переробки, реакції та інші дані докладно розглядаються в курсі: Теоретичні основи пірометалургійних процесів

При виконанні металургійних розрахунків з переробки брухту та відходів міді слід пам'ятати, що спеціальних посібників з цих розрахунків не існує.

2. РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ОБКАТУВАННЯ ПИЛУ, ЯКИЙ МІСТИТЬ МІДЬ

Обкатуванню підлягає суміш пилу, який містить мідь, одержаного від виплавки чорної міді і чорної бронзи, хімічний склад якої показаний в табл.1.

Таблиця 1.1 Хімічний склад пилу, що містить мідь

| Вміст компонентів, % | | | | | | | | | |
|----------------------|------|-----|------|-------|------------------|-----|------|--------------------------------|------|
| Cu | Zn | Pb | Sn | Ni | SiO ₂ | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | Інші |
| 14,0 | 37,0 | 4,0 | 0,60 | 11,00 | 6,0 | 2,0 | 1,50 | 2,50 | 21,1 |

За даними хімічних і рентгеноструктурних аналізів компоненти і пил знаходяться у вигляді наступних елементів і сполук:

цинк.....у вигляді ZnO ;

свинець.....у вигляді PbO;

олово.....у вигляді SnO₂;

нікель.....у вигляді NiO;

залізо.....30% заліза присутні у вигляді ZnO * Fe₂O₃

30% - у вигляді CuO * Fe₂O₃

40%- у вигляді Fe₂O₃

2.1. Розрахунок раціонального складу пилу

Розрахунок ведемо на 100 кг пилу, який містить мідь

Кількість ZnO:

65,4 Zn потребує 16 O₂

37,0 Zn - X O₂ x = 9,05кг

ZnO = 37,0+9,05=46,05кг

Кількість PbO:

207,2 Pb потребує 16 O₂

4,0 Pb - X O₂ x = 0,31кг.

PbO = 4,0+0,31=4,31кг.

Кількість SnO₂

118,7 Sn потребує 2x16 O₂

0,6 Sn - X O₂ x = 0,16кг.

SnO₂ = 0,6+0,16=0,76 кг.

Кількість NiO:

58,7 Ni потребує 16 O₂

0,3 Ni - x O₂ x = 0,08кг.

NiO = 0,3+0,08=0,38кг

Кількість ZnO · Fe₂O₃

з ZnO пов'язано заліза: 11,0x0,3=3,3 кг.

з цим залізом пов'язано кисню:

2x55,8 Fe зв'язують 3x16 O₂

3,3 Fe - x O₂ x = 1,42кг.

оксиду цинку:

2x55,8 Fe зв'язують 81,4 ZnO

3,3 Fe - x ZnO (1,94 кг Zn і 0,47 кг O₂) x = 2,41кг

ZnO · Fe₂O₃ = 3,3+1,42+2,41=7,13кг

Кількість не зв'язаного ZnO: 46,05-2,41=43,64 кг (35,06 кг Zn і 8,58 кг O₂)

Кількість CuO:

63,4 Cu потребує 16 O₂

14,0 Cu - x O₂ x = 3,52 кг,

CuO = 14,0+3,52=17,52кг

Кількість CuO · Fe₂O₃:

3 CuO зв'язано заліза: 11,0x0,3=3,3кг

з цим залізом зв'язано:

Кисню: 2x55,8 Fe потребує 3x16 O₂

3,3 Fe - x O₂ x = 1,42 кг.

оксиду міді: 2x55,8 Fe зв'язує 79,6 CuO

3,3 Fe - x O₂ x = 2,35 кг.

CuO · Fe₂O₃ = 3,3+1,42+2,35=7,07 кг.

Кількість не зв'язаного оксиду міді: 17,52-2,35=15,17 кг.

Кількість Fe₂O₃:

у вигляду зв'язаного заліза 11,0x0,4=4,4 кг

$2 \times 55,8 \text{ Fe зв'язує } 3 \times 16 \text{ O}_2$

$4,4 \text{ Fe} - x \text{ O}_2, \quad x = 1,89 \text{ кг.}$

$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,4 + 1,89 = 6,29 \text{ кг.}$

$\text{SiO}_2, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ знаходяться у пилу в незв'язному стані.

За результатами розрахунків складаємо таблицю раціонального складу суміші.

Таблиця 2.2 Раціональний склад сумішей пилу, що містить мідь

| Елементи та з'єднання | Вміст компонентів | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------|-------|-----|-----|------|-----|----------------|------------------|-----|-----|--------------------------------|------|---------------|
| | Cu | Zn | Pb | Sn | Fe | Ni | O ₂ | SiO ₂ | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | Інші | Всього, кг |
| CuO | 12,12 | | | | | | 3,05 | | | | | | 15,17 |
| CuO·Fe ₂ O ₃ | 1,88 | | | | 3,3 | | 1,89 | | | | | | 7,07 |
| ZnO | | 35,06 | | | | | 8,58 | | | | | | 43,64 |
| ZnO·Fe ₂ O ₃ | | 1,94 | | | 3,3 | | 1,89 | | | | | | 7,13 |
| PbO | | | 4,0 | | | | 0,31 | | | | | | 4,31 |
| SnO ₂ | | | | 0,6 | | | 1,16 | | | | | | 0,76 |
| Fe ₂ O ₃ | | | | | 4,4 | | 1,89 | | | | | | 6,29 |
| NiO | | | | | | 0,3 | 0,08 | | | | | | 0,28 |
| SiO ₂ | | | | | | | | 6,0 | | | | | 6,0 |
| CaO | | | | | | | | | 2,0 | | | | 2,0 |
| MgO | | | | | | | | | | 1,5 | | | 1,5 |
| Al ₂ O ₃ | | | | | | | | | | | 2,5 | | 2,5 |
| Інші | | | | | | | | | | | | 3,25 | 3,25 |
| Всього | 14,0 | 37,0 | 4,0 | 0,6 | 11,0 | 0,3 | 17,86 | 6,0 | 2,0 | 1,5 | 2,5 | 3,25 | 100,0 |

2.2. Розрахунок шихти обкатування

Шихти обкатування включають пил, який містить мідь, вапняк і дрібний коксик. Вапняк, що додається в процес у кількості 15 кг, підвищує тугоплавкість шихти при нагріванні її до температури 1100 - 1200 °С.

Хімічний склад вапняку, %: 54,3 CaO, 3,0 SiO₂ і 42,7 CO₂. З вапняком до

процесу надійде $15 * 0,543 = 8,15$ кг CaO, $15 * 0,03 = 0,45$ кг SiO₂ та $15 * 0,427 = 6,4$ кг CO₂.

У шихту високотемпературного обкатування як відновлювач для оксидів металів і палива застосовують дрібний кокс - коксик, крупністю не більше 5-6 мм.

Витрата відновника в процесі обкатування визначають за кількістю кисню, пов'язаного з металами і який необхідно перевести при термічній обробці шихти в CO₂. У суміші пилу міститься 17,86 кг кисню (Табл. 2). Звідси витрата вуглецю коксу складе $12 * 17,85 : 16 = 13,39$ кг.

З урахуванням практики процес високотемпературного обкатування, випробуваного на ЗАО "Укрцинк", витрату коксового дріб'язку приймаємо рівним 40 % від ваги пилу або 400 кг на 1 т пилу з вмістом, % :

85,5 C^p, 1,95 S^p, 1,5 N₂^p, 0,6 O₂^p, 0,5 H₂^p і зольність 10%.

З коксиком до процесу надійде золи: $40 \times 0,1 = 4,0$ кг. Склад золи дрібного коксику, %: 50 SiO₂, 4,5 CaO, 8,5 FeO, 32 Al₂O₃, 0,8 MgO, 4,2 – решта.

З золою надійде в процес:

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| SiO ₂ | $4,0 \times 0,5 = 2,0$ кг, |
| FeO..... | $4,0 \times 0,085 = 0,34$ кг, |
| CaO..... | $4,0 \times 0,045 = 1,18$ кг, |
| Al ₂ O ₃ | $4,0 \times 0,32 = 1,28$ кг, |
| MgO..... | $4,0 \times 0,008 = 0,03$ кг |
| Решта | $4,0 \times 0,042 = 0,17$ кг. |

2.3. Розрахунок кількості і складів вельц-оксидів

За даними практики приймаємо, що в вельц-оксиди переходить 90% цинку, 85% свинцю і 40% олова.

Визначаємо кількість цих елементів в вельц-оксидах.

У вельц-оксиди перейде:

цинку..... $37,0 \times 0,9 = 33,3$ кг,

свинцю..... $4,0 \times 0,85 = 3,4$ кг,

олова..... $0,6 \times 0,4 = 0,24$ кг.

В перерахунку на оксиди це становитиме

ZnO..... $33,3 : 65,4 \times 81,4 = 41,45$ кг,

PbO..... $3,4 : 207,2 \times 223,2 = 3,66$ кг,

SnO₂..... $0,24 : 118,7 \times 150,7 = 0,30$ кг.

В процесі високотемпературного обкатування мають місце безповоротні втрати, які складають: для цинку - 2,5 % або $37,0 * 0,025 = 0,93$ кг; для свинцю - 4,7 % або $4,0 * 0,047 = 0,19$ кг і для олова - 3 % або $0,6 * 0,03 = 0,02$ кг.

Всі легколеткі сполуки металів переходять у газову фазу і разом з газами видаляються з печі.

Одночасно газовим потоком з трубчастої печі механічно виноситься основних оксидів металів : $41,45 + 3,66 + 0,3 = 45,41$ кг.

Приймаємо, що ця сума становить у Вельца - оксидах 75 %. Звідси вихід вельц - оксидів складає : $45,41 : 75 * 100 = 60,55$ кг.

Разом з оксидами цинку, свинцю і олова в вельц - оксиди, шляхом механічного виносу, перейдуть також і інші компоненти шихти в кількості $60,55 - 45,41 = 15,14$ кг. Ці 15,14 кг шихти складають 25 % кількості вельц-оксидів.

З практики обкатування відомо, що в вельц-оксидах, крім оксидів цинку, свинцю і олова, міститься ще 0,4 - 0,9% міді, 1,8 - 4,5% заліза, до 6% вуглецю, до 2% SiO₂, до 6% CaO, до 3% оксиду магнію, до 5% оксиду алюмінію і до 6% - інші.

Для розрахунків приймемо вміст у вельц-оксидах, %: Cu - 0,6, Fe - 3,1, C - 4,0, SiO₂ - 1,25, CaO - 4,5, MgO - 2,25, Al₂O₃ - 3,8, інші - 5,5.

Тоді у вельц-оксидах переходять, кг:

мідь.....13,14x0,6:25 = 0,36
 залізо.....13,14x3,1:25 = 0,36
 вуглець.....13,14x4,0:25 = 0,36
 кремнезем.....13,14x1,25:25 = 0,36
 CaO.....13,14x4,5:25 = 0,36
 MgO.....13,14x2,25:25 = 0,36
 Al₂O₃.....13,14x3,80:25 = 0,36
 решта.....13,14x5,5:25 = 0,36

Метали в вельц-оксидах знаходяться в оксидній формі. Знаходимо кількість кисню, що потрібне для утворення оксидів металів в вельц-оксидах:

цинк33,3x16:65,4 = 8,15 (ZnO=41,45 кг)
 свинець.....3,4x16:207,2 = 0,26 (PbO = 3,66 кг)
 олово.....0,24x2x16:118,7 = 0,06 (SnO₂ = 0,3 кг)
 мідь.....0,36x16:63,6 = 0,09 (CuO = 0,45 кг)
 залізо.....1,88x3x16:111,6 = 0,81 (Fe₂O₃ = 2,69 кг)

Потрібна кількість кисню - 9,37 кг. З цим киснем у процесі надійде азоту: 3,37 * 77: 23 = 31,37 кг. Кількість повітря: 9,37 + 31,37 = 40,74 кг. Звідси кількість інших: 3,33 - (0,09 + 0,81) = 2,43 кг. Кількість і склад вельц-оксидів представлено в табл. 3

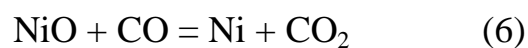
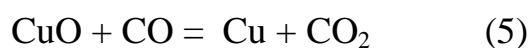
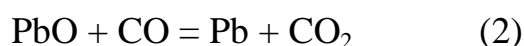
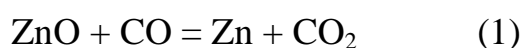
Таблиця 2.3 Кількість і склад вельц-оксидів

| Компоненти | кг | % |
|-------------------------------------|--------------|-------|
| ZnO (Zn) | 41,45 (33,3) | 68,46 |
| PbO (Pb) | 3,66 (3,4) | 6,05 |
| SnO ₂ (Sn) | 0,30 (0,24) | 0,50 |
| CuO (Cu) | 0,45 (0,36) | 0,74 |
| Fe ₂ O ₃ (Fe) | 2,69(1,88) | 4,44 |
| Вуглець | 2,42 | 4,0 |
| SiO ₂ | 0,76 | 1,25 |
| CaO | 2,73 | 4,50 |
| MgO | 1,36 | 2,25 |
| Al ₂ O ₃ | 2,30 | 3,80 |
| Інші | 2,43 | 4,01 |
| Всього | 60,55 | 100,0 |

Склад вельц-оксидів близький до промислового, отже, розрахунок виконано правильно.

2.4. Розрахунок потрібної кількості коксика

При високотемпературному обкатуванні шихти, що містить мідь, в печі протікають такі реакції:



За реакцією (1) відновленню підлягає 41,45 ZnO. Для цього потрібно витратити $41,45 \times 28 : 81,4 = 14,26$ кг CO, і при цьому отримаємо $41,45 \times 44 : 81,4 = 22,41$ кг CO₂.

По реакції (2) у відновленні бере участь 3,66 кг PbO. Для його відновлення потрібно $3,66 \times 28 : 223,2 = 0,46$ кг CO і отримуємо $3,66 \times 44 : 223,2 = 0,72$ CO₂

В газову фазу за реакцією (3) переходить CO₂, отримане від відновлення 0,3 кг SnO₂. На його відновлення витрачається $0,3 \times 28 : 150,7 = 0,11$ кг CO з отриманням $0,3 \times 44 : 150,7 = 0,18$ кг CO₂.

Прийmemo, що 6,29 кг Fe₂O₃ пилу відновлюється по FeO. Для цього по реакції (4) треба розглянути $6,29 \times 28 : 159,6 = 1,10$ кг CO і отримати $6,29 \times 44 : 159,6 = 1,73$ кг CO₂.

В шихті обкатування міститься $15,17 + 2,35 = 17,52$ кг CO₂. Прийmemo, що 70% міді з оксиду міді відновлюється до металічного стану. Для отримання такої кількості міді по реакції (5) треба витратити $17,52 \times 0,7 \times 28 : 79,6 = 4,31$ кг CO і отримати при цьому $17,52 \times 0,7 \times 44 : 79,4 = 6,78$ кг CO₂.

Приймаємо, що нікель у шихті обкатування міститься в металічній формі. Для відновлення нікеля із 0,38 кг NiO по реакції (6) треба витратити $0,38 \times 28 : 74,7 = 0,14$ кг CO з отриманням $0,38 \times 44 : 74,7 = 0,22$ кг CO₂.

Всього потрібно CO для відновлення оксидів металів:
 $14,26 + 0,46 + 0,11 + 1,1 + 1,1 + 4,31 + 0,14 = 20,38$ кг або в перерахунку на вуглець коксу це становитиме $20,38 \times 12 : 28 = 8,73$ кг. Застосуємо для процесу дрібний коксик наступного хімічного складу, %: 85,5 C, 1,9 S, 1,5 N, 0,6 O₂, 0,5 H₂, зольність 10.

Підрахуємо по реакціях відновлення оксидів металів і при розкладі вапняку витрати CO і кількість отриманого CO₂.

| | Витрати CO | Отримано CO ₂ |
|---------------------|--------------|--------------------------|
| по реакції (1)..... | 14,26..... | 22,41 |
| по реакції (2)..... | 0,46..... | 0,72 |
| по реакції (3)..... | 0,11..... | 0,18 |
| по реакції (4)..... | 1,10..... | 1,73 |
| по реакції (5)..... | 4,31..... | 6,78 |
| по реакції (6)..... | 0,14..... | 6,22 |
| по реакції (7)..... | – | 6,60 |
| всього..... | 20,38кг..... | 38,64кг |

2.5. Розрахунок горіння природного газу

В якості палива при високотемпературному обкатуванні пилу, який містить мідь застосовуємо газ наступного хімічного складу, % об'ємні:

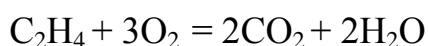
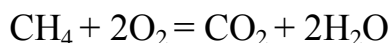
1,5 CO₂, 96,5 CH₄, 1,2 C₂H₄, 0,8 N₂.

Для зручності розрахунків переведемо склад природного газу з об'ємних відсотків у вагові одиниці.

Таблиця 2 4. Перерахунок об'ємного складу природного газу у вагові одиниці

| Компоненти | нм ³ | кг | Ваговий склад, % | Маса 1м ³ газу, кг |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------------------|
| CO ₂ | 1,5 | 1,5:22,4x44=2,95 | 3,96 | |
| CH ₄ | 96,5 | 96,5:22,4x16=68,93 | 92,67 | |
| C ₂ H ₄ | 1,2 | 1,2:22,4x28=1,5 | 2,07 | |
| N ₂ | 0,8 | 0,8:22,4x28=1,0 | 1,30 | |
| Всього | 100,0 | 74,38 | 100,0 | 0,744 |

Розрахунок ведемо на 100 м³ або 74, 4 кг природного газу. Горіння горючих складових природного газу протікає по реакціям:



Кількість потрібного для спалювання газу кисню:

$\text{CH}_4 \dots\dots\dots 68,93:16 \times 64 = 275,72 \text{ кг}$

$\text{C}_2\text{H}_4 \dots\dots\dots 1,5:28 \times 96 = 5,14 \text{ кг.}$

Всього.....280,86кг.

З киснем буде введено азоту: $280,86:23 \times 77 = 940,27 \text{ кг}$. Всього потрібно повітря: $280,86+940,27 = 1221,13 \text{ кг}$

При згоранні CH_4 отримуємо $68,93:16 \times 44 = 199,56 \text{ кг CO}_2$.

В результаті спалювання CH_4 отримуємо $68,93:16 \times 36 = 155,1 \text{ кг H}_2\text{O}$

При згоранні C_2H_4 отримуємо $1,5:28 \times 88 = 4,71 \text{ кг CO}_2$.

В результаті згорання C_2H_4 отримуємо $1,5:28 \times 36 = 1,93 \text{ кг H}_2\text{O}$.

Переходить в продукти горіння:

$\text{CO}_2 \dots\dots\dots 199,56+4,71 = 194,27 \text{ кг}$

$\text{N}_2 \dots\dots\dots 940,27+1,0 = 941,27 \text{ кг}$

$\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots 155,1+1,93 = 157,03 \text{ кг.}$

Всього.....1292,57 кг

Кількість і склад продуктів горіння 100 м^3 природного газу представлені а табл. 5.

Таблица 2. 5 Кількість і склад продуктів горіння природного газу

| Компоненти | кг | %, кг |
|-----------------------------------|---------|-------|
| $\text{CO}_2 (189,56+4,71)$ | 194,27 | 15,03 |
| $\text{N}_2 (940,27+1,0)$ | 941,27 | 72,82 |
| $\text{H}_2\text{O} (155,1+1,93)$ | 157,03 | 12,15 |
| Всього | 1292,57 | 100,0 |

За даними практики, що на переробку $0,1 \text{ т}$ сировини, яка містить мідь в обертовій трубчастій печі витрачається 10 м^3 , або $7,44 \text{ кг}$ природного газу.

Для спалювання 10 м^3 природного газу потрібно повітря:

$1221,13:1000 * 10 = 122,11 \text{ кг.}$

Кількість і склад продуктів спалювання $10 \text{ м}^3 (7,44 \text{ кг})$ природного газу представлено в табл. 2.6.

Табл. 2.6. Кількість і склад продуктів горіння природного газу

| Компоненти | кг | %, кг |
|------------------|---------------------|-------|
| CO ₂ | 194,27:100x10=19,43 | 15,03 |
| N ₂ | 941,27:100x10=94,10 | 72,82 |
| H ₂ O | 197,03:100x10=15,70 | 12,15 |
| Всього | 129,26 | 100,0 |

При спалюванні 10м³ або 7,44 кг природного газу в газову фазу переходять також:

$$\text{CO}_2 \dots\dots\dots 7,44 \times 0,0396 = 0,29 \text{ кг}$$

$$\text{N}_2 \dots\dots\dots 7,44 \times 0,013 = 0,10 \text{ кг.}$$

2.6. Розрахунок горіння коксового дріб'язку

В шихту високотемпературного обкатування сировини, яка містить мідь вводиться $40 \times 0,855 = 34,2$ кг вуглецю, з якого 2,42 кг переходить в вельц-оксиди, 8,78 кг витрачається на відновлювальні процеси, 17,83 кг спалюється для підтримки теплового балансу печі та 5,22 кг переходить в окатиші, як непрореагувавший.

Розраховуємо кількість складових, що надійшли з коксу:

$$\text{вуглець} \dots\dots\dots 40 \times 0,855 = 34,20 \text{ кг}$$

$$\text{сірка} \dots\dots\dots 40 \times 0,019 = 0,76 \text{ кг}$$

$$\text{азот} \dots\dots\dots 40 \times 0,015 = 0,6 \text{ кг}$$

$$\text{кисень} \dots\dots\dots 40 \times 0,006 = 0,24 \text{ кг}$$

$$\text{водень} \dots\dots\dots 40 \times 0,005 = 0,20 \text{ кг}$$

$$\text{зола} \dots\dots\dots 40 \times 0,1 = 4,0 \text{ кг.}$$

Приймаємо, що 40% (7,13 кг) вуглецю коксу, витрачається на опалення печі, згорає до CO₂ і 60% (10,70 кг) - до CO.

Для окислення вуглецю коксу, що згорає за реакцією $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$, потрібно $7,13 \times 32: 12 = 19,01$ кг кисню, а по реакції $\text{C} + 0,5\text{O}_2 = \text{CO}$ потрібно $10,70 * 16: 12 = 14,27$ кг кисню. Всього буде потрібно кисню на спалювання вуглецю коксу: $19,01 + 14,27 = 33,28$ кг.

На горіння водню коксу по реакції $\text{H}_2 + 0,5 \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$ витрачається $0,2 \times 16: 2 = 1,6$ кг кисню і при цьому виходить $0,2 \times 18: 2 = 1,8$ кг H₂O.

На окислення 0,76 кг сірки кокса за реакцією $S+O_2 = SO_2$ витрачається $0,76 \times 32 : 32 = 0,76$ кг кисню з отриманням $0,76 \times 64 : 32 = 1,52$ кг SO_2 .

Всього буде потрібно кисню на окислення компонентів коксу:

$33,28 + 1,6 + 0,76 = 35,64$ кг, а за вирахуванням кисню, що міститься в коксі (0,24 кг), в процес потрібно ввести кисню $35,64 - 0,24 = 35,40$ кг. З цим киснем у процес буде введено азоту: $35,40 \times 77 : 23 = 118,51$ кг. Всього на окислення компонентів коксика витрачається $35,4 + 118,51 = 153,91$ кг повітря.

При спалюванні коксика в газову фазу перейде:

$7,13 \times 44 : 12 = 26,14$ кг CO_2 .

$10,70 \times 28 : 12 = 24,97$ кг CO ,

1,52 кг SO_2 ,

1,8 кг H_2O ,

$118,51 + 0,6 = 119,11$ кг N_2 .

З урахуванням складу газів, одержуваних при протіканні відновних реакцій, в газову фазу перейде: $24,97 - 20,38 = 4,59$ кг CO і $38,64 + 26,14 = 64,75$ кг CO_2 .

При 5%-м вмісті вологи у вапняку і коксика (пил вологи не містить), в процес надійде: $(15,0 + 40,0) \times 0,05 = 2,75$ кг H_2O .

Для переробки 100 кг пилу, що містить мідь буде потрібно повітря, кг:

на окислення металів вельц-оксидів 40,47 кг (9,37кг O_2 і 31,37 кг N_2)

на спалювання коксика..... 153,91кг (35,4 O_2 і 118,51 кг N_2)

на горіння природного газу 122,11 кг (28,09 кг O_2 і 94,02 кг N_2)

всього: 316,76 кг (72,86 кг O_2 і 243,9 кг N_2)

Результати підрахунку складу відхідних газів процесу високотемпературного обдавання представлені в табл. 7

Таблиця 2.7 Кількість та склад відхідних газів

| Компоненти | кг | нм ³ | %, об'ємн. |
|---------------------------------------|--------|-----------------------------------|------------|
| CO_2 (26,14+38,64+19,43+0,29) | 84,50 | $84,5 : 44 \times 22,4 = 43,02$ | 16,05 |
| CO | 4,59 | $4,49 : 28 \times 22,4 = 3,67$ | 1,37 |
| SO_2 | 1,52 | $1,52 : 64 \times 22,4 = 0,53$ | 0,19 |
| N_2 (31,37+118,51+94,02+0,6+0,1) | 244,6 | $244,6 : 26 \times 22,4 = 195,68$ | 72,99 |
| H_2O (15,7+1,8+2,75) | 20,25 | $220,25 : 18 \times 22,4 = 25,2$ | 9,40 |
| всього | 365,46 | 268,09 | 100,0 |

2.7. Розрахунок виходу і складу окатишів

У окатиші переходить все те, що не було винесене газами, а саме, кг:

| | |
|--------------------------------------|--|
| цинк..... | $37,0 - (33,3 + 0,93) = 2,77$ кг, |
| свинець..... | $4,0 - (3,4 + 0,19) = 0,41$ кг |
| олово..... | $0,6 - (0,24 + 0,02) = 0,34$ кг |
| мідь..... | $14,0 - 0,36 = 13,64$ кг |
| залізо | $(11,0 + 0,26) - 1,88 = 9,38$ кг, |
| нікель..... | 0,30 кг, |
| SiO ₂ | $(6,0 + 2,0 + 0,45) - 0,76 = 7,69$ кг |
| CaO..... | $(2,0 + 0,18 + 8,15) - 2,73 = 7,6$ кг. |
| MgO..... | $(1,5 + 0,03) - 1,36 = 0,17$ кг |
| Al ₂ O ₃ | $(2,5 + 1,28) - 2,3 = 1,48$ кг, |
| вуглець..... | 5,22 кг |
| інші | $(3,25 + 0,17) - 3,33 = 0,09$ кг. |
| Всього: | 49,09 кг. |

За даними фазових аналізів товарних окатишів було встановлено, що компоненти в них знаходяться у вигляді наступних елементів і сполук:

| | |
|--------------|--|
| цинк | 100% у вигляді ZnO |
| свинець..... | 100% у вигляді PbO |
| олово..... | 100% у вигляді SnO ₂ |
| мідь..... | 50% у вигляді металічному, остання – у вигляді Cu ₂ O |
| залізо..... | 30% - в металічній формі, решта – у вигляді FeO•SiO ₂ |
| нікель..... | 100% у металічній формі. |

Виконуємо перерахунок металів окатишів в оксиди:

Кількість ZnO:

$65,4 \text{ Zn}$ потребує 16 O_2

$2,77 \text{ Zn} - X \text{ O}_2$ $X = 0,68$ кг.

$\text{ZnO} = 2,77 + 0,68 = 3,45$ кг.

Кількість PbO:

$207,2 \text{ Pb}$ потребує 16 O_2

$$0,41 \text{ Pb} - X \text{ O}_2 \quad X = 0,03 \text{ кг.}$$

$$\text{PbO} = 0,41 + 0,03 = 0,44 \text{ кг.}$$

Кількість SnO_2 :

$$118,7 \text{ Sn потребує } 2 \times 16 \text{ O}_2$$

$$0,34 \text{ Sn} - X \text{ O}_2 \quad X = 0,09 \text{ кг.}$$

$$\text{SnO}_2 = 0,34 + 0,09 = 0,43 \text{ кг.}$$

$$\text{Кількість металевої міді: } 13,64 \times 0,5 = 6,82 \text{ кг.}$$

Кількість Cu_2O :

$$127,1 \text{ Cu потребує } 16 \text{ O}_2$$

$$13,62 \times 0,5 \text{ Cu} - X \text{ O}_2 \quad X = 0,86 \text{ кг.}$$

$$\text{Cu}_2\text{O} = 6,82 + 0,86 = 7,68 \text{ кг.}$$

$$\text{Кількість металевого заліза: } 9,68 \times 0,3 = 2,81 \text{ кг.}$$

Кількість FeOSiO_2 :

$$55,8 \text{ Fe потребує } 16 \text{ O}_2$$

$$9,38 \times 0,7 \text{ Fe} - X \text{ O}_2 \quad X = 1,88 \text{ кг.}$$

$$55,8 \text{ Fe потребує } 60,1 \text{ SiO}_2$$

$$9,38 \times 0,7 - X \text{ SiO}_2 \quad X = 7,07 \text{ кг.}$$

$$\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 = 6,57 + 1,88 + 7,07 = 15,52 \text{ кг.}$$

За результатами підрахунків складаємо таблицю кількості і складу окатишів

Таблиця 2.8 Кількість та склад окатишів

| Компоненти | кг | % |
|----------------|------|-------|
| CuO_2 | 7,68 | 14,59 |
| ZnO | 3,45 | 6,56 |
| PbO | 0,44 | 0,84 |
| SnO_2 | 0,43 | 0,82 |
| Фемет | 2,81 | 5,34 |

| | | |
|--------------------------------|-------|-------|
| FeOSiO ₂ | 15,52 | 29,49 |
| Ni _{мет} | 0,30 | 0,57 |
| Вуглець | 5,22 | 9,92 |
| SiO ₂ | 0,62 | 1,17 |
| CaO | 7,60 | 14,44 |
| MgO | 0,17 | 0,32 |
| Al ₃ O ₂ | 1,48 | 2,81 |
| Інші | 0,09 | 0,17 |
| Всього | 52,63 | 100,0 |

Отримані мідні окатиші за своїм складом близькі до промислових, що говорить про правильність розрахунку.

Результати всіх підрахунків зводимо в загальну таблицю матеріального балансу (табл.2.9).

2.8. Розрахунок теплового балансу.

Прихід теплоти

1. Теплота від горіння вуглецю коксу, Дж:

По реакції $C + O_2 = CO_2 + 393514$

$$Q_1 = 7,13 \times 393514 : 12 = 233813;$$

по реакції $C + 0,5 O_2 = CO + 110524$

$$Q_2 = 10,7 \times 110524 : 12 = 98551$$

Разом: 332364 Дж

2. Теплота від горіння природного газу, Дж:

$$Q_3 = m_1 \times q; q = 39302 \text{ Дж/кг}$$

$$Q_3 = 4,44 \times 39302 = 292497.$$

3. Фізична теплота шихти, Дж:

$$Q_4 = C_{ш} \times m_{ш} \times t_{ш}; C_{ш} = 0,92 \text{ Дж/(кг } ^\circ\text{C)}; t_{ш} = 20$$

$$Q_4 = 0,92 \times 157,75 \times 20 = 2903.$$

4. Фізична теплота повітря, Дж:

По реакції $PbO + CO = Pb + CO_2 + 21918$

$$Q_5 = C_{\text{п}} \times m_{\text{п}} \times t_{\text{п}}; C_{\text{п}} = 1,0 \text{ Дж/ (кг } ^\circ\text{C)}; t_{\text{п}} = 20.$$

$$Q_5 = 1,0 \times 316,76 \times 20 = 6335.$$

5. Теплота екзотермічної реакції, Дж:

по реакції $\text{PbO} + \text{CO} = \text{Pb} + \text{CO}_2 + 21918$

$$Q_6 = 3,66 \times 21918 : 223; 2 = 359;$$

по реакції $\text{Zn} + 0,5 \text{ O}_2 = \text{ZnO} + 348150$

$$Q_7 = 33,3 \times 348150 : 65,4 = 177269;$$

по реакції $\text{Pb} + 0,5 \text{ O}_2 = \text{PbO} + 219346$

$$Q_8 = 3,4 \times 219346 : 207,2 = 3599;$$

по реакції $\text{Fe} + 0,5 \text{ O}_2 = \text{FeO} + 822549$

$$Q_9 = 1,88 \times 822549 : 111,6 = 13857;$$

по реакції $\text{CuO} + \text{CO} = \text{Cu} + \text{CO}_2 + 127824$

$$Q_{10} = 6,82 \times 127824 : 79,6 = 10952.$$

Прихід теплоти: 840045 Дж.

Витрата теплоти.

1. Теплота, що забирається окатишами при $1000 \text{ } ^\circ\text{C}$, Дж:

$$Q_1 = C_{\text{ок}} \times M_{\text{ок}} \times 1000; C_{\text{ок}} = 0,93 \text{ Дж/ (кг } ^\circ\text{C)};$$

$$Q_1 = 0,93 \times 52,63 \times 1000 = 48946.$$

2. Теплота, що забирається вельц-оксидами при $600 \text{ } ^\circ\text{C}$, Дж:

$$Q_2 = C_{\text{в-о}} \times m_{\text{в-о}} \times 600; C_{\text{в-о}} = 1,05 \text{ Дж/ (кг } ^\circ\text{C)};$$

$$Q_2 = 1,05 \times 60,55 \times 600 = 38147.$$

3. Теплота, що забирається газами, що відходять при $600 \text{ } ^\circ\text{C}$, Дж:

$$\text{CO}_2 : Q_3 = C_1 \times m_1 \times 600 = 1,04 \times 84,5 \times 600 = 52728.$$

$$\text{CO} : Q_4 = C_2 \times m_2 \times 600 = 1,09 \times 4,59 \times 600 = 3002.$$

$$\text{SO}_2 : Q_5 = c_3 \times m_3 \times 600 = 0,74 \times 1,52 \times 600 = 675.$$

$$N_2 : Q_6 = C_4 \times m_4 \times 600 = 1,08 \times 244,60 \times 600 = 158501.$$

$$H_2O : Q_7 = C_5 \times m_5 \times 600 = 2,01 \times 20,25 \times 600 = 24426.$$

Разом: 239332 Дж,

Де $C_4 \dots C_5$ – теплоємкості газів при 600 °С, Дж/(кг °С);

1...5 – маса відходів, що складають газу, кг.

4. Теплота на випаровуванні вологи шихти. На випаровування 1 кг води витрачається $q = 2260$ Дж теплоти.

$$Q_8 = M_{H_2O} \cdot q = 2,75 \times 2260 = 6215 \text{ Дж.}$$

5. Теплота ендотермічних реакцій, Дж:

по реакції $ZnO + CO = Zn + CO_2 - 65025$

$$Q_9 = 41,45 : 81,4 \times 65025 = 33112;$$

По реакції $Fe_2O_3 + CO = 2Fe + CO_2 - 272777$

$$Q_{10} = 6,29 : 159,6 \times 272777 = 10750;$$

По реакції $CaCO_3 = CaO + CO_2 - 177897$

$$Q_{11} = 15,0 : 100 \times 177897 = 26685.$$

Разом: 70547 Дж.

6. Втрата теплоти на випромінювання та інші витрати (за різністю):

$$840045 - 403187 = 436858 \text{ Дж.}$$

Результати підрахунків теплового балансу процесу високотемпературного обкатування представлені в табл.10.

Тепловий баланс показує, що процес обкатування протікає з великим надлишком тепла. Розподіл теплоти за статтями витрат показує, що процес високотемпературного обкатування можна вести автогенно, тобто за рахунок тепла, одержуваного від горіння вуглецю коксу і тепла, одержуваного при протіканні екзотермічних реакцій. Практика вельцювання цинкових кеків спільно з обкатуванням одержуваного клінкеру підтверджує це. Природний газ можна застосовувати тільки для короткочасної підтопки печі з метою стабілізації її теплового балансу.

Табл. 10. Тепловий баланс високотемпературного обкатування

| № п.п. | Статті приходу | жд | % | №п.п. | Статті витрат | Дж | % |
|--------|--|--------|-------|--------|---|--------|-------|
| 1 | Теплота на горіння коксу | 332364 | 39,57 | 1 | Теплота, що забирається окатишами | 49036 | 5,83 |
| 2 | Теплота на горіння природного | 292407 | 34,81 | 2 | Теплота, що забирається велич-оксидами | 38147 | 4,54 |
| 3 | Теплота, що вноситься повітрям та шихтою | 9238 | 1,10 | 3 | Теплота ендотермічних реакцій | 70547 | 8,40 |
| 4 | Теплота екзотермічних реакцій | 206036 | 24,52 | 4 | Теплота, що забирається газами | 239332 | 28,49 |
| | | | | 5 | Теплота на випаровування вологи | 6215 | 0,74 |
| | | | | 6 | Теплота на випромінювання та інші витрати | 436858 | 52,0 |
| Всього | | 840045 | 100,0 | Всього | | 840045 | 100,0 |

3. РОЗРАХУНОК ШИХТИ ШАХТНОЇ ПЛАВКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ, ЩО МІСТИТЬ МІДЬ НА МІДНИЙ ШТЕЙН

Переробці підлягає клінкер вельц - печей цинкового виробництва, мідно-свинцевий штейн свинцевого виробництва і мідно-хлорний кек, хімічний склад яких показаний в табл. I.

Табл.3.1 Хімічний склад вторинної сировини, що містить мідь

| Найменування сировини | Вміст компонентів | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|------|------|-------|------|-----|------|------------------|--------------------------------|------|-------|
| | Cu | Zn | Pb | Fe | S | Cl | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | C | Решта |
| Клінкер вельц-печей | 2,0 | 1,50 | 0,35 | 32,90 | 6,77 | - | 6,92 | 20,0 | 9,5 | 14,0 | 6,06 |
| Мідно-свинцевий штейн | 5,5 | 2,50 | 15,0 | 48,0 | 21,0 | - | - | - | - | - | 8,0 |
| Мідно-хлорний кек | 15,0 | 15,0 | 10,0 | - | 9,0 | 2,0 | - | - | - | - | 48,85 |

3.1 Розрахунок раціонального складу клінкеру

За даними хімічного та мікроструктурного аналізів компоненти в клінкері знаходяться у вигляді наступних елементів і сполук:

мідь.....100% у вигляді Cu₂S

цинк.....100% у вигляді ZnS

свинець.....100% у вигляді PbS

залізо.....у металічній формі, у вигляді FeS і у вигляді 2FeO·SiO₂

оксид кальцію.....100% у вигляді CaO

оксид кремнію.....у вигляді SiO₂ та 2FeO·SiO₂

оксид алюмініюу вигляді Al₂O₃

Розрахунок ведемо на 100 кг клінкера.

Кількість ZnS:

65,4 Zn потребує 32S

1,5Zn - x S x=0,73кг.

ZnS=1,5+0,73=2,23 кг

Кількість PbS:

207, 2 Pb потребує 32 S

0,35 - x S x=0,05кг

PbS – 0,35+0,05=0,40 кг

Кількість Cu₂S:

2x63,6Cu потребує 32S

2,0Cu - x S, x=0,5 кг

Cu₂S=2,0+0,5=2,5кг.

З цинком, свинцем та міддю пов'язується сірки: 0,73+0,05+0,5=1,28 кг.

Решта сірки в кількості 6,77-1,28=5,49 кг зв'язана у вигляді FeS.

Кількість FeS:

55,8 Fe потребує 32S

xFe - 5,49S, x=9,57 кг.

FeS=9,57+5,49=15,06 кг.

За даними практики, приймаємо, що 20% заліза клінкера знаходиться у металічній формі.

Кількість металічного заліза: 32,9x0,2 = 6,58 кг

Решта заліза в кількості 32,9-(9,57+6,58) = 16,25 кг знаходиться в клінкері у вигляді 2FeOSiO₂.

кількість 2FeO·SiO₂:

2x55,8кг Fe потребує 2x16 O₂

16,75 кг Fe - x кг O₂, x=4,8кг

FeO = 16,75+4,8 = 21,55 кг

2x71,8кг FeO вимагає 60,1 кг SiO₂

21,55 кг FeO - x кг SiO₂, x=9,02 кг.

2FeOSiO₂=21,55+9,02=30,57кг

Кількість не зв'язаного SiO₂: 20,0 - 9,02 = 10,98 кг.

У вигляді вільних з'єднань у клінкері міститься 6,92 кг CaO, 9,5 кг Al₂O₃ та 14 кг вуглецю. Результати розрахунків раціонального складу клінкеру вельц-печей і приведені в табл.3. 2.

Табл. 3.2 Раціональний склад клінкера вельц-печей

| Елементи, з'єднання | Вміст компонентів, кг | | | | | | | | | | | Всього, кг |
|--------------------------------|-----------------------|------|-----|-------|------|------|----------------|------|------------------|--------------------------------|------|---------------|
| | Zn | Pb | Cu | Fe | S | C | O ₂ | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Інші | |
| ZnS | 1,50 | | | | 0,73 | | | | | | | 2,23 |
| PbS | | 0,35 | | | 0,05 | | | | | | | 0,40 |
| Cu ₂ S | | | 2,0 | | 0,50 | | | | | | | 2,50 |
| Fe | | | | 6,58 | | | | | | | | 6,58 |
| FeS | | | | 9,57 | 5,49 | | | | | | | 15,06 |
| 2FeO SiO ₂ | | | | 16,75 | | | 4,80 | | 9,02 | | | 30,57 |
| Вуглець | | | | | | 14,0 | | | | | | 14,0 |
| CaO | | | | | | | | 6,92 | | | | 6,92 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | 10,98 | | | 10,98 |
| Al ₂ O ₃ | | | | | | | | | | 9,50 | | 9,50 |
| Інші | | | | | | | | | | | 1,26 | 1,26 |
| Всього, кг | 1,50 | 0,35 | 2,0 | 32,90 | 6,77 | 14,0 | 4,80 | 6,92 | 20,0 | 9,50 | 1,26 | 100,0 |

3.2. Розрахунок раціонального складу мідно-свинцевого штейну

За даними хімічного та рентгеноструктурного аналізів компоненти в штейні присутні у вигляді наступних елементів і сполук:

цинк..... 100% у вигляді ZnS,

мідь..... 100% у вигляді Cu₂S,

свинець..... 30% у металевому вигляді, решта – у вигляді PbS,

залізо..... у вигляді FeS та Fe₃O₄.

Розрахунок ведемо на 100 кг штейну.

Кількість ZnS:

65,4 кг Zn потребує 32 кг S

2,5кг Zn - X кг S X = 1,22 кг

ZnS = 2,5 + 1,22 = 3,72 кг.

Кількість Cu₂S:

2 x 63,5кг Cu потребує 32кг S

5,5кг Cu - Xкг S X = 1,39 кг.

Cu₂S = 5,5 + 1,39 = 6,89 кг.

Кількість металевого свинцю: 15,0 x 0,3 = 4,5 кг. Решта свинцю у кількості 15,0 – 4,5 = 10,5 кг знаходиться у штейні у вигляді PbS.

Кількість PbS:

207,2 Pb потребує 32 S

10,5 Pb - Xкг S X = 1,62 кг.

PbS = 10,5 + 1,62 = 12,12 кг.

Кількість сірки, що пов'язана з залізом у вигляді FeS:

$21,0 - (1,22 + 1,39 + 1,62) = 16,77$ кг.

Кількість FeS:

55,8кг Fe потребує 32 S

Xкг Fe - 16,77кг S X = 29,24 Кг.

FeS = 29,24 + 16,77 = 46,01 кг.

Кількість заліза, присутня у штейні у вигляді Fe₃O₄:

$$48,0 - 29,24 = 18,76 \text{ кг.}$$

Кількість Fe_3O_4 :

$$3 \times 55,8 \text{ кг Fe потребує } 4 \times 16 \text{ O}_2$$

$$18,76 \text{ кг Fe} - X \text{ кг O}_2 \quad X = 7,17 \text{ кг.}$$

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 = 18,76 + 7,17 = 25,93 \text{ кг.}$$

Результати розрахунку раціонального складу мідно-свинцевого штейну показані табл. 3.3

Табл.3.3 Раціональний склад мідно-свинцевого штейну

| Елементи, з'єднання | Вміст компонентів | | | | | | | Всього, |
|--------------------------------|-------------------|-----|------|-------|-------|----------------|------|---------|
| | Zn | Cu | Pb | Fe | S | O ₂ | Інші | |
| ZnS | 2,5 | | | | 1,22 | | | 3,72 |
| Cu ₂ S | | 5,5 | | | 1,39 | | | 6,99 |
| Pb | | | 4,5 | | | | | 4,5 |
| PbS | | | 10,5 | | 1,62 | | | 12,12 |
| FeS | | | | 29,24 | 16,77 | | | 46,01 |
| Fe ₃ O ₄ | | | | 18,76 | | 7,17 | | 25,93 |
| Інші | | | | | | | 0,83 | 0,83 |
| Всього, кг | 2,5 | 2,5 | 15,0 | 48,0 | 21,0 | 7,17 | 0,83 | 100,0 |

3.3. Розрахунок раціонального складу мідно-хлорного кеку

За даними хімічного та рентгеноструктурного аналізу компоненти в мідно-хлорному кеку присутні у вигляді наступних сполук:

свинець.....100% у вигляді PbSO_4

цинк.....100% у вигляді ZnSO_4

мідь.....100% у вигляді CuCl , CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$

Розрахунок ведемо на 100 кг кека:

Кількість CuCl :

$$63,6 \text{ кг Cu потребує } 35,4 \text{ кг Cl}$$

$$X \text{ кг Cu} - 2,0 \text{ кг Cl} \quad X = 3,59 \text{ кг.}$$

$$\text{CuCl} = 3,59 + 2,0 = 5,59 \text{ кг.}$$

Кількість ZnSO_4 :

$$65,4 \text{ кг Zn потребує } 32 \text{ кг S}$$

$$15,0 \text{ кг Zn} - X \text{ кг S} \quad X = 7,34 \text{ кг}$$

65,4 кг Zn потребує 4 x 16 кг O₂

$$15,0 \text{ кг Zn} - X \text{ кг O}_2 \quad X = 14,76 \text{ кг.}$$

$$\text{ZnSO}_4 = 15,0 + 7,34 + 14,67 = 37,01 \text{ кг.}$$

Кількість PbSO₄:

207,2 кг Pb потребує 32 кг S

$$10,0 \text{ кг Pb} - X \text{ кг S} \quad x = 1,54 \text{ кг.}$$

$$\text{PbSO}_4 = 10,0 + 1,54 + 3,09 = 14,63 \text{ кг.}$$

Кількість міді, присутньої в кеку у вигляді Cu(OH)₂:

$$15,0 - (3,58 + 0,24) = 11,18 \text{ кг.}$$

Кількість Cu(OH)₂:

63,6 кг Cu потребує 2 x 16 кг O₂

$$11,18 \text{ кг Cu} - X \text{ кг O}_2 \quad X = 5,63 \text{ кг.}$$

63,6 кг Cu потребує 2 x 1 кг H₂

$$11,18 \text{ Cu} - Y \text{ H}_2 \quad Y = 0,35 \text{ кг.}$$

$$\text{Cu(OH)}_2 = 11,18 + 5,63 + 0,35 = 17,16 \text{ кг.}$$

Результати розрахунку раціонального складу мідно-хлорного кека представлені в табл. 3.4.

Табл.3.4. Раціональний склад мідно-хлорного кека

| З'єднання | Вміст компонентів, кг | | | | | | | | Всього, кг |
|---------------------|-----------------------|------|------|-----|------|----------------|----------------|-------|------------|
| | Cu | Zn | Pb | Cl | S | O ₂ | H ₂ | Інші | |
| CuCl | 3,58 | | | 2,0 | | | | | 5,58 |
| CuSO ₄ | 0,24 | | | | 0,12 | 0,24 | | | 0,60 |
| Cu(OH) ₂ | 11,18 | | | | | 5,63 | 0,35 | | 17,16 |
| ZnSO ₄ | | 15,0 | | | 7,34 | 14,67 | | | 37,01 |
| PbSO ₄ | | | 10,0 | | 1,54 | 3,09 | | | 14,63 |
| Інші | | | | | | | | 25,02 | 25,02 |
| Всього, | 15,0 | 15,0 | 10,0 | 2,0 | 9,0 | 23,63 | 0,35 | 25,02 | 100,0 |

3.4. Розрахунок раціонального складу шихти шахтної плавки

Шахтній плавці піддають шихту наступного складу, %:

клінкер вельц-печі 77,0,

мідно-свинцевий штейн 20,0,

мідно-хлорний кек 3,0.

На підставі даних раціонального складу вихідної сировини і процентного співвідношення компонентів в шихті розраховуємо раціональний склад суміші металургійної сировини для шахтної плавки (табл.3.5).

Табл.3.5. Раціональний склад суміші вторинної сировини, що містить мідь

| Елементи, з'єднання | Вміст компонентів, кг | | | | | | | | | | | | | Всього, кг |
|--------------------------------|-----------------------|------|------|-------|------|------|----------------|----------------|-------|------|------------------|--------------------------------|------|------------|
| | Zn | Pb | Cu | Fe | S | Cl | O ₂ | H ₂ | C | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Інші | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Zn S | 1,66 | | | | 0,8 | | | | | | | | | 2,46 |
| Zn SO ₄ | 0,45 | | | | 0,22 | | 0,44 | | | | | | | 1,11 |
| Pb _{мет} | | 0,9 | | | | | | | | | | | | 0,90 |
| Pb S | | 2,37 | | | 0,36 | | | | | | | | | 2,73 |
| Pb SO ₄ | | 0,30 | | | 0,05 | | 0,09 | | | | | | | 0,44 |
| Cu ₂ S | | | 2,64 | | 0,67 | | | | | | | | | 3,31 |
| Cu Cl | | | 0,11 | | | 0,06 | | | | | | | | 0,17 |
| Cu SO ₄ | | | 0,01 | | 0,01 | | 0,01 | | | | | | | 0,03 |
| Cu (OH) ₂ | | | 0,34 | | | | 0,17 | 0,01 | | | | | | 0,52 |
| Fe _{мет} | | | | 5,07 | | | | | | | | | | 5,07 |
| Fe S | | | | 13,22 | 7,58 | | | | | | | | | 20,80 |
| Fe ₃ O ₄ | | | | 3,75 | | | 1,43 | | | | | | | 5,18 |
| 2FeO·SiO ₂ | | | | 12,90 | | | 3,70 | | | | 1,80 | | | 18,40 |
| Углерод | | | | | | | | | 10,78 | | | | | 10,78 |
| CaO | | | | | | | | | | 5,33 | | | | 5,33 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | 8,46 | | | 8,46 |
| Al ₂ O ₃ | | | | | | | | | | | | 4,82 | | 4,82 |
| Інші | | | | | | | | | | | | | 9,49 | 9,49 |
| Всього, кг | 2,11 | 3,57 | 3,10 | 34,94 | 9,69 | 0,06 | 5,84 | 0,01 | 10,78 | 5,33 | 10,26 | 4,82 | 9,49 | 100 |

3.5 Розрахунок кількості і складу мідного штейну

Приймаємо за даними практики, десульфурізацію при шахтній плавці клінкеру 40 %. У початковій металургійній сировині міститься 9,69 кг сірки. Переходить в мідний штейн при плавці $9,69 * 0,6 = 5,81$ кг. Ця сірка становить 25 % від ваги всього штейну. Звідси кількість мідного штейну буде $5,81 : 25 * 100 = 2324$ кг.

Далі необхідно знайти вилучення міді та сировини в мідний штейн. Його знаходять наступним чином: приймають, за даними практики вихід шлаку при шахтній плавці 80 % , вмісту в ньому міді 0,25 % і угар - 0,5 %. Представляючи ці дані в формулу, запропоновану В.І. Смирновим, знаходимо витяг міді в штейн. При вмісті в шихті 3,1 % міді , вилучення складе :

$$И = \frac{3,1 - 0,8 \times 0,25}{3,1} \times 100 - 0,5 = 93,048$$

Зі 100 кг суміші сировини у штейн перейде міді

$$3,1 \times 93,05 : 100 = 2,88 \text{ кг.}$$

Зміст міді в штейні складе $2,88 : 23,24 \times 100 = 12,4\%$, штейн такого складу містить $6,26\%$ кисню (у вигляді розчиненого Fe_3O_4 , або $23,24 * 6,26 : 100 = 1,46$ кг. Приймаємо, за даними практики, що в такий штейн переходить 25% цинку або

$$2,11 \times 25 : 100 = 0,53 \text{ кг.}$$

При шахтній плавці клінкеру вельц - печей отримують мідний штейн з вмістом $7 - 8\%$ свинцю. Це важко переробляємий напівпродукт і не охоче купується мідеплавильними заводами. У мідних штейнах первинної мідної плавки вміст свинцю рідко перевищує 3% . У розрахунковому штейні приймаємо вміст свинцю 2% . Експериментально встановлено, і в промисловому масштабі підтверджено, що знизити вміст свинцю в штейн можна шляхом додавання в шихту марганцевої руди (MnO_2). Зниження вмісту свинцю в штейн виходить на рахунок протікання реакції $\text{PbS} + \text{MnO}_2 + \text{C} = \text{Pb} + \text{MnS} + \text{CO}_2$.

Тому при плавці клінкеру вельц-печей, в шахтній печі, в шихту потрібно додати марганцеву руду або марганцевий концентрат. Розраховуємо потрібну кількість марганцевої руди. Приймаємо вміст свинцю в штейн 8% (без добавки MnO_2), а в розрахунковому штейні його повинно міститися 2% . У процесі плавки за рахунок MnO_2 відновиться $23,24 \times 0,08 - 23,24 \times 0,02 = 1,39$ кг свинцю. Для цього буде потрібно витратити піролюзита (MnO_2):

$$\begin{array}{rcl} 207,2 \text{ Pb} & \text{потребує} & 87 \text{ MnO}_2 \\ 1,39 \text{ Pb} & - & X \text{ MnO}_2 \end{array} \quad X=0,58 \text{ кг.}$$

Приймаються 2-кратна витрата MnO_2 , або $0,58 \times 2 = 1,16$ кг. При вмісті в концентрату $80\% \text{ MnO}_2$ і 20% інших його буде потрібно додати в шихту плавки $1,16 : 80 \times 100 = 1,45$ кг.

Кількість марганцю, яка перейшла в штейн:

$$\begin{array}{rcl} 207,2 \text{ Pb} & \text{потребує} & 54,9 \text{ Mn} \\ 1,39 \text{ Pb} & - & X \text{ Mn} \end{array} \quad X=0,37 \text{ кг}$$

Кількість свинцю, яка перейшла в штейн:

$$23,24 \times 2 : 100 = 0,47 \text{ кг.}$$

Вміст заліза в штейн знаходимо за різницею. За цими даними складаємо табл. 6 складу і кількості мідного штейну.

Таблиця 3.6. Кількість і склад мідного штейну

| Компоненти | Кг | % |
|----------------|-------|-------|
| Cu | 2,88 | 12,40 |
| Fe | 11,73 | 50,47 |
| S | 5,81 | 25,0 |
| O ₂ | 1,45 | 6,26 |
| Zn | 0,53 | 2,28 |
| Pb | 0,47 | 2,0 |
| Mg | 0,37 | 1,59 |
| Всього | 23,24 | 100,0 |

3.6. Розрахунок кількості і складу возгонів

За даними практики, при переробці вторинних матеріалів, що містять мідь в шахтній печі в одержувані возгони переходить:цинку-42,65%,свинцю-11,48%, міді - 0,96%,сірки-1,0%, хлору-100,0 %.

У возгони переходить, кг:

цинк $2,11 * 42,65:100 = 0,9$

свинець $3,57 * 11,48:100 = 0,41$

мідь $3,1 * 0,96:100 = 0,03$

сіра $9,69 * 1,0:100 = 0,09$

хлор = 0,06.

За даними хімічних і фазових аналізів компоненти в возгонах знаходяться у вигляді наступних сполук:

цинк.....у вигляді ZnCl₂, ZnS, ZnO,

свинець.....у вигляді PbS,

мідь.....у вигляді Cu_2S .

Кількість ZnCl :

65,4кг потребує 71кг Cl

XкгZn - 0,06кг Cl X = 0,07 кг.

$\text{ZnCl}_2 = 0,07 + 0,06 = 0,13$ кг.

Кількість PbS :

207,2кг Pb потребує 32кг PbS

0,41кг Pb - X кг PbS X = 0,06 кг.

$\text{PbS} = 0,41 + 0,06 = 0,47$ Кг.

Решта сірки у кількості $0,09 - 0,06 = 0,03$ кг пов'язана у возгонках з міддю у вигляді Cu_2S та цинком у вигляді ZnS :

Кількість Cu_2S :

2 x 63,6кг Cu потребує 32кг S

0,03кг Cu - Xкг S X = 0,01 кг.

$\text{Cu}_2\text{S} = 0,03 + 0,01 = 0,04$ кг.

Кількість ZnS :

65,4кг Zn потребує 32кг S

Xкг Zn - 0,02кг S X = 0,04 кг.

$\text{ZnS} = 0,04 + 0,02 = 0,06$ кг.

Решта цинку у кількості $0,9 - (0,07 + 0,04) = 0,79$ кг знаходиться у возгонках у вигляді ZnO .

Кількість ZnO :

65,4кг Zn потребує 16кг O₂

0,79кг Zn - XкгO₂ X = 0,19 кг.

ZnO = 0,79 + 0,19 = 0,98 кг.

Кількість і склад возгонів представлені в табл.3.7:

Таблиця 3.7. Кількість і склад возгонів

| Компоненти | Кг | % |
|-------------------|------|-------|
| PbS | 0,47 | 27,98 |
| ZnCl ₂ | 0,13 | 7,74 |
| Cu ₂ S | 0,04 | 2,38 |
| ZnS | 0,06 | 3,57 |
| ZnO | 0,98 | 58,33 |
| Всього | 1,68 | 100,0 |

3.7 . Розрахунок кількості і складу чорного свинцю

За даними практики, під час шахтної плавки суміші клінкера вельц - печей і мідно- свинцевого штейна свинцевого виробництва з добавкою в шихту плавки марганцевої руди, крім мідного штейну, возгонів і шлаку, отримують ще чорновий свинець. У чорновий свинець переходить з шихти 52,04 % свинцю і 0,96 % міді. У чорновий свинець переходять :

свинець 3,57 x 52.04 : 100 = 1,86 кг ,

мідь 3,10 x 0.96 : 100 = 0,03 кг.

Кількість чорного свинцю: 1,86 + 0,03 = 1,89 кг. У чорновому свинці мідь знаходиться в металевій формі. Кількість і склад чорного свинцю показані в табл. 3.8 .

Таблиця 3.8. Кількість та склад чорного свиню

| Компоненти | Кг | % |
|------------|------|-------|
| Свинець | 1,86 | 98,41 |
| Мідь | 0,03 | 1,59 |
| Всього | 1,89 | 100,0 |

3.8. Розрахунок кількості і складу шлаку

Для з'ясування складу шлаку при плавці вторинної сировини, що містить мідь складаємо попередній розрахунковий баланс процесу без добавки флюсів.

За даними практики в шихту плавки додають 2% коксу від ваги рудної частини. склад коксу, %: 85 C, 0,95S, 0,48O₂, 3,57 H₂O, 10 зольність. Склад золи кокса, %: 48 SiO₂, 37Al₂O₃, 12,0 (8,4% Fe), Fe₂O₃ и 3 CaO. Попередній склад шихти плавки, для виявлення складу шлаку, представлений в табл. 9. Попередній розрахунковий склад шлаку знаходимо шляхом перерахунку всього заліза шихти в FeO, нехтуючи змістом в шлаку Fe₃O₄, Fe та іншими можливими сполуками. Кількість FeO вшлаку $23,23:55,8 * 71,8 = 29,89$ кг. За попереднім балансом (табл. 9) знаходимо попередній розрахунковий склад шлаку при плавці мідьвмістуючої сировини без добавки флюсів:

| Компоненти | Кг | % |
|--------------------------------|-------|-------|
| FeO | 29,89 | 49,05 |
| SiO ₂ | 10,36 | 17,00 |
| CaO | 5,34 | 8,76 |
| Al ₂ O ₃ | 4,89 | 8,02 |
| Інші | 10,45 | 17,17 |
| Всього | 60,95 | 100,0 |

Таблиця 3.9. Попередній розрахунковий склад шлаку

| Елементи, з'єднання | Загружено, кг | | | Разом, кг | Получено, кг | | | | |
|--------------------------------|----------------|------|-------|-----------|--------------|--------|------------------|---------|-------------|
| | Суміш сировини | руда | Кокс | | штейн | шлак | чорновий свинець | возгони | гази, згар. |
| Zn | 2,11 | | | 2,11 | 0,53 | 0,68 | | 0,90 | |
| Pb | 3,57 | | | 3,57 | 0,47 | 0,83 | 1,86 | 0,41 | |
| Cu | 3,10 | | | 3,10 | 2,88 | 0,14 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| Fe | 34,94 | | 0,017 | 34,957 | 11,73 | 23,227 | | | |
| Mn | | 0,73 | | 0,73 | 0,37 | 0,36 | | | |
| S | 9,69 | | 0,019 | 9,709 | 5,81 | 0,70 | | 0,09 | 3,109 |
| O ₂ | 5,84 | 0,43 | 0,017 | 6,28 | 1,43 | 4,64 | | 0,19 | |
| C | 10,78 | | 1,70 | 12,48 | | | | | 12,48 |
| H ₂ | 0,01 | | | 0,01 | | | | | 0,01 |
| Cl | 0,06 | | | 0,06 | | | | 0,06 | |
| H ₂ O | | | 0,071 | 0,071 | | | | | 0,071 |
| CaO | 5,33 | | 0,006 | 5,34 | | 5,34 | | | |
| SiO ₂ | 10,26 | | 0,096 | 10,36 | | 10,36 | | | |
| Al ₂ O ₃ | 4,82 | | 0,074 | 4,894 | | 4,89 | | | |
| Інші | 9,49 | 0,29 | | 9,78 | | 9,78 | | | |
| Разом, кг | 100,0 | 1,45 | 2,0 | 100,45 | 23,24 | 60,96 | 1,89 | 1,68 | 15,69 |

Якщо зіставити цей склад шлаку з промисловими шлаками, одержуваними при полупіритній плавці клінкера вельц - печей, зрозуміло, що в даному шлаку мало SiO_2 і CaO при невеликому надлишку FeO .

Для подальшого розрахунку слід задатися складом шлаку або співвідношенням $\text{FeO} : \text{SiO}_2 : \text{CaO}$ в шлаку, який ми бажаємо отримати.

Вибираємо кінцевий розрахунковий шлак із співвідношенням.



Знаючи кількість FeO , яке переходить в шлак (29,89 кг) і бажаний його вміст у шлаку (40%), знаходимо орієнтовну вагу відвального шлаку:

$$29,89 : 40 * 100 = 74,73 \text{ кг.}$$

Приймаємо такі склади кварцу і вапняку, %:

| | |
|-------------------------------|---------------|
| SiO_2 | 91,5(кварц) |
| CaO | 53,80(вапняк) |
| Fe_2O_3 | 5,5 (кварц) |
| SiO_2 | 3,39(вапняк) |
| Al_2O_3 | 1,5 (кварц |
| CO_2 | 42,27(вапняк) |
| інші..... | 1,5 |

Розраховуємо потрібну кількість вапняку. Починаємо розрахунок підрахунку необхідної кількості вапняку, враховуючи сполучення вільного CaO в орієнтовній вазі відвального шлаку.

При 3,93 кг SiO_2 в 100 кг вапняку буде пов'язано $3,93 : 36 * 12 = 1,31$ кг CaO . Вільного CaO в 100 кг вапняку (флюсуюча здатність) $53,8 - 1,31 = 52,49$ кг.

Шлак повинен містити $74,73 * 12 : 100 = 8,97$ кг CaO . У шихті міститься 5,34 кг CaO . Буде потрібно ввести в процес з флюсами $8,97 - 5,34 = 3,63$ кг CaO або в шихту потрібно додати вапняку: $3,63 : 0,5249 = 6,92$ кг. З цим вапняком в процес надійде, кг:

$$\text{CaO}.....6,92 * 0,538 = 3,72$$

$$\text{SiO}_2.....6,92 * 0,0393 = 0,27$$

$$\text{CO}_2.....6,92 * 0,4227 = 2,93.$$

Розраховуємо потрібну кількість кварцу. Кварц містить 5,5% Fe_2O_3 , які в результаті плавки переходять в Fe_3O_4 або FeO і розчиняються в шлаку.

Перерахуємо Fe_3O_4 на FeO , так як змістом Fe_3O_4 в відвальний для орієнтованого розрахунку нехтуємо.

$$\begin{array}{l} 195,6 \text{ кг } Fe_2O_3 \text{ утворює } 2 \times 71,8 \text{ кг } FeO \\ 5,5 \text{ кг } Fe_2O_3 \quad - \quad \quad \quad x \text{ кг } FeO \quad \quad \quad x=4,95 \text{ кг.} \end{array}$$

При співвідношенні у шлаку $FeO:SiO_2=40:36$, ці 4,95 кг FeO зв'яжуть при розплавленні кварцу $4,95:40 \times 36=4,46$ кг SiO_2 в 100 кг кварцу (його флюсуюча здатність) буде $91,5-4,46=87,04$ кг.

Орієнтовна маса шлаку 74,73 кг. В ньому має міститися $74,73 \times 0,36=26,90$ кг SiO_2 . В шихті міститься 10,36 кг SiO_2 . Крім того, 0,28 кг SiO_2 вноситься вапняком. Потрібно ввести з кварцом $26,90-(10,36+0,28)=16,26$ кг SiO_2 . Для цього потрібно буде ввести в шихту плавки $16,26:0,8704=18,68$ кг кварцу.

З цим кварцом в процес надійде, кг:

| | |
|-----------------|------------------------------|
| SiO_2 | $18,68 \times 0,915 = 17,09$ |
| Fe_2O_3 | $18,68 \times 0,055 = 1,03$ |
| Al_2O_3 | $18,68 \times 0,015 = 0,28$ |
| Інші..... | $18,68 \times 0,015 = 0,28$ |
| всього..... | 18,68 кг |

У результаті підрахунку отримуємо наступний склад шихти шахтної плавки матеріалів, що містять мідь, кг:

суміш сировини, що містить

| | |
|----------------------|-----------|
| мідь..... | 100,0 |
| марганцева руда..... | 1,45 |
| вапняк..... | 6,92 |
| кварц..... | 18,86 |
| всього – | 127,05 кг |

Для перевірки отриманої за розрахунком шихти складаємо баланс плавки без урахування повітря (Табл. 10).

| Компоненти | Кг | % |
|------------|-------|-------|
| FeO | 30,83 | 36,87 |

Для перевірки складу шлаку виробляємо перерахунок заліза на FeO :

$$23,957 : 55,8 * 71,8 = 30,83 \text{ кг.}$$

Склад шлаку при плавці розрахованої шихти повинен вийти наступним:

Таблиця 10. Розрахунковий баланс плавки шихти, не враховуючи витрати повітря

| Елементи, з'єднання | Загружено, кг | | | | | Разом, кг | Отримано, кг | | | | |
|------------------------|-------------------|-------------|-------|--------|-------|--------------|--------------|--------|---------------------|---------|---------------|
| | Суміш сировини | Мп- руда | Кокс | Вапняк | кварц | | Штейн | шлак | Чорновий свинець | возгони | Гази, згар |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Zn | 2,11 | | | | | 2,11 | 0,63 | 0,68 | | 0,90 | |
| Pb | 3,57 | | | | | 3,57 | 0,47 | 0,83 | 1,86 | 0,41 | |
| Cu | 3,10 | | | | | 3,10 | 2,88 | 0,14 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| Fe | 34,94 | | 0,017 | | 0,73 | 36,687 | 11,73 | 23,967 | | | |
| Mn | | 0,73 | | | | 0,73 | 0,37 | 0,36 | | | |
| S | 9,69 | | 0,019 | | | 9,709 | 5,81 | 0,70 | | 0,09 | 3,109 |
| O2 | 5,84 | 0,43 | 0,017 | | 0,3 | 6,587 | 1,40 | 4,947 | | 0,19 | |
| C | 10,78 | | 1,70 | | | 12,48 | | | | | 12,40 |
| CO2 | | | | 2,93 | | 2,93 | | | | | 2,93 |
| H2 | 0,01 | | | | | 0,01 | | | | | 0,01 |
| Cl | 0,06 | | | | | 0,06 | | | | 0,06 | |
| H2O | | | 0,071 | | | 0,071 | | | | | 0,071 |
| CaO | 5,33 | | 0,006 | 3,72 | | 9,066 | | 9,066 | | | |
| SiO2 | 10,21 | | 0,096 | 0,27 | 17,09 | 27,716 | | 27,716 | | | |
| Al2O3 | 4,82 | | 0,074 | | 0,28 | 5,174 | | 5,174 | | | |
| Інші | 9,49 | 0,29 | | | 0,28 | 10,06 | | 10,06 | | | |
| Разом, кг | 100,0 | 1,45 | 2,0 | 6,92 | 18,68 | 129,06 | 23,24 | 83,62 | 1,89 | 1,68 | 10,62 |

Питання для самоконтроля

1. Відбиваюча плавка мідної сировини.
2. Вторинна плавка мідь місткої сировини у шахтних печах.
3. Хімічний склад мідь місткого пилу.
4. Що таке чорна бронза.
5. Характеристика пірометалургійних процесів отримання чорної міді.
6. Які види рафінування міді можна віднести до пірометалургійних.
7. Що таке тепловий ефект хімічної реакції.
8. Технологічні особливості процесу обкатування.
9. Як визначають кількість відновлювача для шихти обкатування.
10. За якими показниками визначають правильність розрахованого складу вельц-оксидів.
11. Технологія пірометалургійної переробки мідь місткої сировини у обертовій трубчастій печі.
12. Які висновки можна зробити за розрахунком теплового балансу процесу обкатування.
13. Характеристика клінкеру вельц-печей.
14. Уразі якого пірометалургійного процесу отримують мідно-свинцевий штейн.
15. Уразі якого пірометалургійного процесу отримують мідно-хлорний кек.