

Міністерство освіти і науки України

**Запорізька державна інженерна академія**

---



**В.П.Грицай  
В.І.Іванов  
І.Є.Лукошніков  
Т.М.Нестеренко**

## **МЕТАЛУРГІЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ**

**Методичні вказівки  
до проведення практичних занять**

*для студентів ЗДІА  
спеціальностей 7.090401 “Металургія чорних металів”,  
7.090402 “Металургія кольорових металів”,  
7.090401 “Охорони праці”,  
7.090404 “Обробка металів тиском”  
заочного відділення*

**Запоріжжя  
2005**

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

# **МЕТАЛУРГІЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ**

## **Методичні вказівки до проведення практичних занять**

*для студентів ЗДІА заочного відділення  
спеціальностей 7.090401 “Металургія чорних металів”,  
7.090402 “Металургія кольорових металів”,  
7.090401 “Охорони праці”,  
7.090404 “Обробка металів тиском”*

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри МКМ,  
протокол № 2 від 14.09.2005 р.*

**Металургія кольорових металів.** Методичні вказівки до проведення практичних занять для студентів ЗДІА заочного відділення спеціальності 7.090401 “Металургія чорних металів”, 7.90402 “Металургія кольорових металів”, 7.090401 “Охорона праці”, 7.090404 “Обробка металів тиском” /Укл.: В.П.Грицай, В.І.Іванов, І.Є.Лукошніков, Т.М.Нестеренко. - Запоріжжя, 2005. – 99 с.

Методичні вказівки призначено для студентів металургійних спеціальностей, що виконують контрольні завдання з дисципліни “Металургія кольорових металів”. Вказівки містять головні відомості та термінологію, які використовуються під час металургійних розрахунків, приклади проведення розрахунків різних видів металургійної сировини, завдання щодо виконання контрольної роботи, необхідний додатковий матеріал, а також перелік рекомендованої літератури.

Укладачі: ***В.П. Грицай, професор***  
***В.І. Іванов, асистент***  
***І.Є. Лукошніков, доцент***  
***Т.М. Нестеренко, доцент***

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

## ВМІСТ

<b>ВСТУП</b>	5
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1</b>	
РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ СИРОВИНИ	6
<b>Приклад 1.1</b> РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНОЇ РУДИ	7
<b>Приклад 1.2</b> РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНО-НІКЕЛСВОЇ РУДИ	12
<b>Приклад 1.3</b> РОЗРУХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ ЗА ВІДОМИМ ВІДНОШЕННЯМ МАС МІНЕРАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ МІДЬ	17
<b>Приклад 1.4</b> РОЗРУХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНОГО КОНЦЕНТРАТУ ЗА ВІДОМИМ ВМІСТОМ МІДИ В МІНЕРАЛАХ	25
<b>Приклад 1.5</b> РОЗРУХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНО-НІКЕЛСОВОГО КОНЦЕНТРАТУ	30
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2</b>	
РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ МІДНОГО ШТЕЙНУ	37
<b>Приклад 2.1</b> РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ МІДНО-ЦИНКОВОГО ШТЕЙНУ ЗА СТУПЕНЕМ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ	38
<b>Приклад 2.2</b> РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ МІДНО-ЦИНКОВОГО ШТЕЙНУ ЗА ЗАДАНИМ ВМІСТОМ МІДИ	42
<b>Приклад 2.3</b> РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ШТЕЙНУ ПІД ЧАС ПЕРЕРОБКИ В ПЕЧІ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКУ	45
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3</b>	
РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ФЛЮСІВ ПІД ЧАС ПЛАВЛЕННЯ МІДНО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ ТА СКЛАДУ ВІДВАЛЬНОГО ШЛАКУ	47
<b>Приклад 3.1</b> РОЗРАХУНОК СКЛАДУ САМОПЛАВКОГО ШЛАКУ	47
<b>Приклад 3.2</b> РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ФЛЮСІВ, КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ ВІДВАЛЬНОГО ШЛАКУ	49

#### **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4**

РОЗРАХУНОК ДУТТЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ 52

**Приклад 4.1** РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ДУТТЯ ТА СКЛАДУ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ, ПІД ЧАС ВІДБИВНОГО ПЛАВЛЕННЯ МІДНО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ 57

**Приклад 4.2** РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ, ПІД ЧАС АВТОГЕННОГО ПЛАВЛЕННЯ НА ПОВІТРЯНОМУ ДУТТІ 59

**Приклад 4.3** РОЗРАХУНОК ГАЗІВ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ, ПІД ЧАС АВТОГЕННОГО ПЛАВЛЕННЯ НА ДУТТЕ, ЗБАГАЧЕНОМУ КИСНЕМ 59

#### **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5**

МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС МЕТАЛУРГІЙНОГО ПРОЦЕСУ 61

**ДОДАТОК А** АТОМНІ ТА МОЛЕКУЛЯРНІ МАСИ ДЕЯКИХ ЕЛЕМЕНТІВ І МІНЕРАЛІВ (ХІМІЧНИХ СПОЛУК) 66

**ДОДАТОК Б** ХІМІЧНИХ СКЛАД РУДНОЇ СИРОВИНИ 67

**ДОДАТОК В** НАЯВНІСТЬ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ 73

**ДОДАТОК Г** ДОДАТКОВІ УМОВИ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ СИРОВИНИ 77

**ДОДАТОК Д** РОЗРАХУНКОВИЙ СКЛАД МІДНИХ ШТЕЙНІВ 81

**ДОДАТОК Ж** ВИХІДНІ ДАННІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ ШТЕЙНУ 82

**ДОДАТОК К** ЗАДАНИЙ ВМІСТ ОКСИДІВ КРЕМНІЮ І КАЛЬЦІЮ В ШЛАКУ ТА ХІМІЧНИЙ СКЛАД ФЛЮСІВ 86

**ДОДАТОК М** ВИХІДНІ ДАННІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ, ПІД ЧАС ВІДБИВНОГО ПЛАВЛЕННЯ 90

**ДОДАТОК Н** КОЕФІЦІЄНТИ ВИКОРИСТАННЯ ТА ВМІСТУ КИСНЮ В ДУТТІ АВТОГЕННОГО ПЛАВЛЕННЯ 97

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ 99

## **ВСТУП**

У металургії вирішення значної частини питань практики здійснюють з використанням розрахункових методів. За допомогою розрахунків на виробництві визначають оптимальний склад шихти, витрату палива та електроенергії, режим роботи металургійних агрегатів, кількість головного та допоміжного обладнання, обґрунтовують необхідність змінювання технології та модернізації технологічного обладнання, а також вирішують множину інших завдань щодо технології. Більшістю випадків складання повного матеріального балансу процесу є кінцевим завданням металургійних розрахунків.

Повний матеріальний баланс процесу плавлення є інформацією, що характеризує якісні та кількісні співвідношення як між всіма матеріалами, що надходять на переробку (прихід), так і всіма продуктами (витрата), одержаними по завершенні процесу плавлення.

Матеріальний баланс є основою для організації технологічного процесу плавлення. Точність результатів розрахунків матеріального балансу процесу плавлення визначає міру відповідності його початкових даних дійсному складу та кількості продуктів, що одержують.

Слід зазначити, що результати складання матеріального балансу певного процесу безпосередньо використовують під час розрахунків теплового балансу даного процесу. Матеріальний баланс також використовують під час техніко-економічної оцінки технологічного процесу, що діє, та нового технологічного процесу, якого створено.

Дані методичні вказівки призначені для розвитку у студентів практичних навичок самостійного та творчого виконання різних розрахункових завдань металургійного характеру (розрахунків раціонального складу рудної та іншої сировини, кількості та складу продуктів плавлення, витрати флюсів і газів, складання матеріального балансу пірометалургійного процесу).

## РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ СИРОВИНИ

Сировина (руди та концентрати кольорових металів), а також флюси, що використовують під час їхньої переробки, складаються з мінералів (природних хімічних сполук). Продукти та напівпродукти металургійного виробництва (штейни, шлаки та інші) також характеризуються наявністю різних хімічних сполук.

Для правильного виконання металургійних розрахунків необхідно мати інформацію, як про хімічний, так і мінералогічний склад сировини. Розрахунок розподілу елементів вихідного матеріалу за присутніми в ньому мінералами або хімічними сполуками дозволяє визначити його раціональний склад.

Знання раціонального (або фазового) складу вихідних матеріалів дозволяє передбачити поведінку компонентів сировини під час металургійної переробки та вибрати оптимальну технологію процесу.

Розрахований раціональний склад вихідного матеріалу є також основою для складання теплового балансу, що дозволяє здійснювати зв'язок технологічного процесу з тепловою роботою плавильного агрегату. Знаючи раціональний склад вихідного матеріалу, розраховують теплові ефекти екзотермічних та ендотермічних реакцій.

Для виконання розрахунків раціонального складу матеріалу необхідно знати його вихідний хімічний склад, вид мінералів, що є присутніми, а також приблизно розподіл між ними елементів, які входять до складу декількох мінералів.

Вихідні дані для розрахунку раціонального складу можуть бути задані різним чином, проте розрахунок слід починати з мінералів, де відома кількість присутнього металу.

## Приклад 1.1 РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНОЇ РУДИ

*Вихідні дані:*

1. *Хімічний склад* (додаток Б) % (за масою): 9,0 *Cu*; 3,50 *Zn*; 35,0 *Fe*; 42,40 *S*; 4,60 *SiO<sub>2</sub>*; 3,80 *CaCO<sub>3</sub>*; 2,70 - інші.

2. *Мінералогічний склад*: халькопірит *CuFeS<sub>2</sub>*, ковелін *CuS*, сфалерит *ZnS*, пірит *FeS<sub>2</sub>* (додаток В), а також кварц *SiO<sub>2</sub>* і карбонат кальцію *CaCO<sub>3</sub>*.

3. *Додаткові умови*:

- відомо, що пірит *FeS<sub>2</sub>* складає 60 % загальної кількості руди.

Розрахунки раціонального складу сировини, як і інші металургійні розрахунки, виконують на 100 кг вихідного матеріалу. Всі обчислення проводять з використанням законів стехіометрії, тобто хімічних формул і рівнянь хімічних реакцій.

В даному випадку розрахунок не можна починати з мінералів, що містять мідь (халькопіриту та ковеліну), оскільки мідь входить до складу двох мінералів, а її розподіл між ними є невідомим.

У зв'язку з цим обчислення мінералів ведуть у такій послідовності: пірит, халькопірит, ковелін, сфалерит і карбонат кальцію.

Кількість піриту *FeS<sub>2</sub>* визначають відповідно до вищенаведеної додаткової інформації, тобто

$$X_{FeS_2} = 60,0 \text{ кг.}$$

Кількість заліза в піриті обчислюють за атомною масою заліза, що входить до його складу, та молекулярною масою даного мінералу (додаток А):

55,85 кг заліза входять до 119,97 кг піриту

$X$  кг заліза в руді входять до 60,0 кг піриту.

$$X_{Fe(FeS_2)} = 27,92 \text{ кг.}$$

Кількість сірки в піриті визначають за атомною масою сірки, що входить до його складу, та молекулярною масою даного мінералу (додаток А):

2 · 32,06 кг сірки входять до 119,97 кг піриту



$X$  кг сірки в руді входять до 60,0 кг піриту.

$$X_{S(FeS_2)} = 32,08 \text{ кг.}$$

Далі розраховують вміст заліза в халькопіриті  $CuFeS_2$ : Його обчислюють як різницю між загальною кількістю заліза в руді та його вмістом у піриті:

$$35,0 - 27,92 = 7,08 \text{ кг.}$$

Кількість  $CuFeS_2$  обчислюють за атомною масою заліза, що входить до його складу, та молекулярною масою даного мінералу (додаток А):

55,85 кг заліза входять до 183,52 кг халькопіриту

7,07 кг заліза в руді входять до  $X$  кг халькопіриту.

$$X_{CuFeS_2} = 23,24 \text{ кг.}$$

За відомою кількістю халькопіриту в руді розраховують вміст міді та сірки в даному мінералі, використовуючи нижченаведені співвідношення:

63,55 кг міді входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг міді входять в 23,24 кг халькопіриту.

$$X_{Cu} = 8,04 \text{ кг;}$$

2 · 32,06 кг сірки входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг сірки входять до 23,24 кг халькопіриту.

$$X_S = 8,12 \text{ кг.}$$

Далі визначають кількість міді, що є зв'язаною в ковеліні  $CuS$ : як різницю між загальною кількістю міді у руді та вмістою міді у халькопіриті

$$X_{Cu(CuS)} = 9,0 - 8,04 = 0,96 \text{ кг.}$$

Знаючи вміст міді в ковеліні  $CuS$ , розраховують кількість вказаного мінералу:

63,55 кг міді входять до 95,61 кг ковеліну

0,96 кг міді входять до  $X$  кг ковеліну.

$$X_{CuS} = 1,44 \text{ кг.}$$

Тоді обчислюють вміст сірки в даному мінералі

32,06 кг сірки входять до 95,61 кг ковеліну

$X$  кг сірки входять до 1,44 кг ковеліну.

$$X_{S(CuS)} = 0,48 \text{ кг.}$$

Кількість сфалериту  $ZnS$  в руді розраховують за відомим вмістом цинку в даному мінералі:

65,37 кг цинку входять до 97,43 кг сфалериту

3,50 кг цинку входять до  $X$  кг сфалериту.

$$X_{ZnS} = 5,22 \text{ кг.}$$

Далі визначають вміст сірки в даному мінералі

32,06 кг сірки входять до 97,43 кг сфалериту

$X$  кг сірки входять до 5,22 кг сфалериту.

$$X_{S(ZnS)} = 1,72 \text{ кг.}$$

Для перевірки вихідних даних розраховують кількість сірки, що теоретично необхідно для зв'язування заліза в піриті, з такого співвідношення:

$2 \cdot 32,06$  кг сірки в піриті пов'язані з 55,85 кг заліза

$X$  кг сірки в піриті пов'язані з 27,93 кг заліза.

$$X_{S(FeS_2)} = 32,06 \text{ кг.}$$

Теоретичний вміст сірки в піриті відрізняється від розрахованого значення (32,07 кг) на 0,01 кг, що складає всього 0,01 % від 100,0 кг вихідної руди та цілком припустимо. Відхилення можна пояснити неточністю хімічного аналізу або округленнями в розрахунках. Коли значення відхилення складає більше ніж 2 % необхідно перевірити правильність виконаних розрахунків і, якщо помилок немає, уточнити хімічний і мінералогічний склад сировини у викладача.

Під час розрахунків раціонального складу оксид кремнію  $SiO_2$ , а також, якщо присутнім є двооксид алюмінію  $Al_2O_3$ , на елементи не розділяють.

Тоді кількість кремнезему  $SiO_2$  у 100,0 кг руди буде чисельно дорівнювати його вмісту (%) та складе 4,60 кг.

На завершення розрахунків визначають кількість двооксиду вуглецю  $CO_2$  і оксиду кальцію  $CaO$  в карбонаті кальцію  $CaCO_3$ .

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 3,80 кг  $CaCO_3$

$$X_{CO_2} = 1,67 \text{ кг.}$$

Кількість оксиду кальцію  $CaO$  також розраховують за загальної кількості карбонату кальцію  $CaCO_3$

56,08 кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 3,80 кг  $CaCO_3$ .

$$X_{CaO} = 2,13 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків подані у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – РАЦІОНАЛЬНИЙ СКЛАД МІДНОЇ РУДИ, кг (%)

Мінерали	Вміст компонентів, % (за масою)								Разом
	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CaCO<sub>3</sub></i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	Інші	
<i>CuFeS<sub>2</sub></i>	8,04		7,08	8,12	-	-	-	-	23,24
<i>CuS</i>	0,96		-	0,48	-	-	-	-	1,44
<i>ZnS</i>	-	3,50	-	1,72	-	-	-	-	5,22
<i>FeS<sub>2</sub></i>	-		27,92	32,08	-	-	-	-	60,00
<i>CaCO<sub>3</sub></i>	-		-	-	-	2,13	1,67	-	3,80
<i>SiO<sub>2</sub></i>	-		-	-	4,60	-	-	-	4,60
Інші	-		-	-	-	-	-	2,70	2,70
<b>Разом</b>	9,00	3,50	35,0	42,40	4,60	2,13	1,67	2,70	100,00

## Приклад 1.2 РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНО-НІКЕЛЄВОЇ РУДИ

Вихідні дані:

1. Хімічний склад % (за масою): 8,55 *Cu*; 4,80 *Ni*; 25,30 *Fe*; 21,60 *S*; 23,45 *SiO*<sub>2</sub>; 2,80 *CaCO*<sub>3</sub>; 3,60 *MgCO*<sub>3</sub>.

2. Мінералогічний склад: пентландит (*Ni,Fe*)*S*, халькопірит *CuFeS*<sub>2</sub>, халькозин *Cu*<sub>2</sub>*S*, піротин *Fe*<sub>7</sub>*S*<sub>8</sub>, карбонати кальцію *CaCO*<sub>3</sub> та магнію *MgCO*<sub>3</sub>.

Вищенаведених початкових даних для виконання розрахунку раціонального складу недостатньо, оскільки невідомим є склад пентландиту, що є сумішшю сульфідів нікелю та заліза, а також розподіл міді та заліза між мінералами, що їх вміщують.

У зв'язку з цим приймають (додаток Г) додаткові умови:

- склад пентландиту (відношення *Ni* : *Fe* = 2:1) відповідає хімічній формулі 2 *NiS* · *FeS* (*Ni*<sub>2</sub>*FeS*<sub>2</sub>), його молекулярна маса складає:

$$2 \cdot 58,71 + 55,85 + 2 \cdot 32,06 = 237,39 \text{ кг};$$

- 75 % міді знаходиться у халькопіриті, а 25 % - у халькозині.

Розрахунки ведуть в послідовності, що відповідає поданню додаткової інформації про мінеральний склад.

Спочатку визначають кількість інших компонентів, які не виявлено в руді під час хімічного аналізу. Її обчислюють як різницю між загальною кількістю (100 кг) руди та сумою всіх відомих в ній компонентів (*Cu*, *Ni*, *Fe*, *S*, *SiO*<sub>2</sub>, *CaCO*<sub>3</sub>, *MgCO*<sub>3</sub>).

$$100 - (8,55 + 4,80 + 25,30 + 21,60 + 23,45 + 2,80 + 3,60) = 9,90 \text{ кг}$$

Далі визначають кількість пентландиту *NiFeS*<sub>2</sub> за відомим його складом.

Кількість даного мінералу розраховують за атомною масою нікелю, що входить до його складу, та молекулярною масою мінералу:

$$2 \cdot 58,71 \text{ кг нікелю в руді входять до } 237,39 \text{ кг пентландиту}$$

$$4,80 \text{ кг нікелю входять до } X \text{ кг пентландиту.}$$

$$X_{Ni_2FeS_2} = 9,70 \text{ кг.}$$

За відомою кількістю пентландиту визначають вміст в ньому заліза та сірки:

55,85 кг заліза входять до 237,39 кг пентландиту

$X$  кг заліза входять до 9,70 кг пентландиту.

$$X_{Fe} = 2,28 \text{ кг.}$$

2 · 32,06 кг сірки входять до 237,39 кг пентландиту

$X$  кг сірки входять до 9,70 кг пентландиту.

$$X_S = 2,62 \text{ кг.}$$

Далі обчислюють кількість міді в халькопіриті  $CuFeS_2$  та халькозині  $Cu_2S$ :

$$X_{Cu(CuFeS_2)} = 8,55 \cdot 0,75 = 6,41 \text{ кг.}$$

$$X_{Cu(Cu_2S)} = 8,55 \cdot 0,25 = 2,14 \text{ кг.}$$

Кількість халькопіриту  $CuFeS_2$  розраховують за відомим вмістом в ньому міді:

63,55 кг міді входять до 183,52 кг халькопіриту

6,41 кг міді входять до  $X$  кг халькопіриту.

$$X_{CuFeS_2} = 18,51 \text{ кг.}$$

За відомою кількістю халькопіриту визначають вміст в даному мінералі заліза та сірки:

55,85 кг заліза входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг заліза входять до 18,51 кг халькопіриту.

$$X_{Fe} = 5,63 \text{ кг.}$$

2 · 32,06 кг сірки входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг сірки входять до 18,51 кг халькопіриту.

$$X_S = 6,47 \text{ кг.}$$

Кількість халькозину  $Cu_2S$  визначають аналогічним чином з використанням відомих співвідношень:

2 · 63,55 кг міді входять до 159,16 кг халькозину

2,14 кг міді входять до  $X$  кг халькозину.

$$X_{Cu_2S} = 2,68 \text{ кг.}$$

Далі розраховують кількість сірки, що є пов'язаною в халькозині:

32,06 кг сірки входять до 159,16 кг халькозину

$X$  кг сірки входять до 2,68 кг халькозину.

$$X_{S(Cu_2S)} = 0,54 \text{ кг.}$$

По завершенні розрахунків кількості пентландиту, халькопіриту, халькозину та хімічних елементів, що містяться в них, визначають кількість піротину  $Fe_7S_8$ . При цьому із загального вмісту заліза в концентраті відраховують його сумарну кількість в двох вказаних вище мінералах ( $Ni_2FeS_2$ ,  $CuFeS_2$ ), що містять залізо, та відносять залишок заліза до піротину.

$$X_{Fe(Fe_7S_8)} = 25,30 - (2,28 + 5,63) = 17,39 \text{ кг.}$$

Кількість сірки в піротині також визначають за різницею між вихідним вмістом сірки в руді та сумарним її вмістом в пентландиті, халькопіриті та халькозині:

$$X_{S(Fe_7S_8)} = 21,60 - (2,62 + 6,47 + 0,54) = 11,97 \text{ кг.}$$

Тоді загальна кількість піротину складає

$$X_{(Fe_7S_8)} = 17,39 + 11,97 = 29,36 \text{ кг.}$$

Для перевірки вихідних даних розраховують кількість сірки, що теоретично необхідна для зв'язування заліза в піротині з наступного співвідношення:

8 32,06 кг сірки в піротині пов'язані з 7 55,85 кг заліза

X кг сірки в піротині пов'язані з 17,39 кг заліза.

$$X_{S(Fe_7S_8)} = 12,41 \text{ кг.}$$

Розрахункова величина відрізняється від теоретичного вмісту сірки на 0,44 кг або на 0,44 % від 100 кг вихідної руди, що є цілком припустимим.

Надалі розраховують кількість двооксиду вуглецю  $CO_2$  в карбонаті кальцію  $CaCO_3$  та кількість оксиду кальцію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

X кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 2,80 кг  $CaCO_3$

$$X_{CO_2} = 1,23 \text{ кг.}$$

Кількість оксиду кальцію  $CaO$  також розраховують за загальної кількості карбонату кальцію  $CaCO_3$

56,08 кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

X кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 2,80 кг  $CaCO_3$ .

$$X_{CaO} = 1,57 \text{ кг.}$$

Розраховують кількість двооксиду вуглецю  $CO_2$  в карбонаті магнію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

X кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 3,60 кг  $MgCO_3$



Таблиця 1.2 – РАЦІОНАЛЬНИЙ СКЛАД МІДНО-НІКЕЛІЄВОЇ РУДИ, кг (%)

Мінерали	Вміст компонентів, % (за масою)									Разом
	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	Інші	
<i>CuFeS<sub>2</sub></i>	6,41	-	5,63	6,47	-	-		-	-	18,51
<i>Cu<sub>2</sub>S</i>	2,14	-	-	0,54	-	-		-	-	2,68
<i>NiFeS<sub>2</sub></i>	-	4,80	2,28	2,62	-	-		-	-	9,70
<i>Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub></i>	-	-	17,39	11,97	-	-		-	-	29,36
<i>CaCO<sub>3</sub></i>	-	-	-	-	-	1,57		1,23	-	2,80
<i>MgCO<sub>3</sub></i>	-	-	-	-	-	-	1,72	1,88	-	3,60
<i>SiO<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	23,45	-		-	-	23,45
<i>Інші</i>									9,90	9,90
Разом	8,55	4,80	25,30	21,60	23,45	1,57	1,72	3,11	9,90	100,00

$$X_{CO_2} = 1,88 \text{ кг.}$$

Розраховують кількість оксиду магнію  $MgO$  за загальною кількістю карбонату магнію:

40,31 кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

$X$  кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 3,60 кг  $MgCO_3$

$$X_{MgO} = 1,72 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків подають у табл.1.2.

### Приклад 1.3 РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ ЗА ВІДОМИМ ВІДНОШЕННЯМ МАС МІНЕРАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ МІДЬ

*Вихідні дані:*

1. Хімічний склад % (за масою): 28,0  $Cu$ ; 5,40  $Zn$ ; 0,80  $Co$ ; 20,30  $Fe$ ; 27,70  $S$ ; 1,0  $SiO_2$ ; 3,10  $CaCO_3$ ; 2,90  $MgCO_3$ .

2. Мінеральний склад: халькопірит  $CuFeS_2$ , борнит  $Cu_5FeS_4$ , кубаніт  $CuFe_2S_3$ , халькозин  $Cu_2S$ , сфалерит  $ZnS$ , лінеїт  $Co_3S_4$ , пірит  $FeS_2$ , карбонати кальцію  $CaCO_3$  та магнію  $MgCO_3$ , а також інші компоненти пустої породи.

3. Додаткові умови: відношення мас мінералів  $CuFeS_2 : Cu_5FeS_4 : CuFe_2S_3 : Cu_2S = 8 : 6 : 4 : 2$ .

Розрахунок починають з визначення вмісту інших компонентів, які не виявлено в концентраті під час хімічного аналізу. Його обчислюють як різницю

між загальною кількістю концентрату (100,0 кг) та сумою всіх відомих компонентів ( $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Co$ ,  $Fe$ ,  $S$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ).

$$100,0 - (28,0 + 5,40 + 0,80 + 20,30 + 27,70 + 1,0 + 3,10 + 2,90) = 10,80 \text{ кг.}$$

Далі розраховують вміст міді в мінералах, що її містять, знаючи співвідношення мас зазначених мінералів у сировині.

Припускають в концентраті наявність 8,0 кг халькопіриту  $CuFeS_2$ , 6,0 кг борниту  $Cu_5FeS_4$ , 4,0 кг кубаніту  $CuFe_2S_3$  і 2,0 кг халькозину  $Cu_2S$ .

Тоді кількість міді в даних мінералах визначають таким чином:

63,55 кг міді входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг міді входять до 8,0 кг халькопіриту.

$$X_{Cu(CuFeS_2)} = 2,77 \text{ кг.}$$

5 63,55 кг міді входять до 501,84 кг борниту

$X$  кг міді входять до 6,0 кг борниту.

$$X_{Cu(Cu_5FeS_4)} = 3,80 \text{ кг.}$$

63,55 кг міді входять до 271,40 кг кубаніту

$X$  кг міді входять до 4,0 кг кубаніту.

$$X_{Cu(CuFe_2S_3)} = 0,94 \text{ кг.}$$

2 63,55 кг міді входять до 159,16 кг халькозину

$X$  кг міді входять до 2,0 кг халькозину.

$$X_{Cu(Cu_2S)} = 1,60 \text{ кг.}$$

Отже, в 20,0 кг суміші мінералів, що розглядають, загальна кількість міді складає:

$$\sum Cu = 2,77 + 3,80 + 0,94 + 1,60 = 9,11 \text{ кг.}$$

Розподіл міді в вихідному концентраті має такий вигляд:

- у формі халькопіриту

$$X_{Cu(CuFeS_2)} = 2,77 \cdot 100 / 9,11 = 30,41 \%$$

- у формі борниту

$$X_{Cu(Cu_5FeS_4)} = 3,80 \cdot 100 / 9,11 = 41,71 \%$$

- у формі кубаніту

$$X_{Cu(CuFe_2S_3)} = 0,94 \cdot 100 / 9,11 = 10,32 \%$$

- у формі калькозину

$$X_{Cu(Cu_2S)} = 1,60 \cdot 100 / 9,11 = 17,56 \%$$

У 100 кг вихідного концентрату міститься міді:

- у формі халькопіриту

$$X_{Cu(CuFeS_2)} = 28,0 \cdot 0,3041 = 8,51 \text{ кг};$$

- у формі борниту

$$X_{Cu(Cu_5FeS_4)} = 28,0 \cdot 0,4171 = 11,68 \text{ кг};$$

- у формі кубаніту

$$X_{Cu(CuFe_2S_3)} = 28,0 \cdot 0,1032 = 2,89 \text{ кг};$$

- у формі халькозину

$$X_{Cu(Cu_2S)} = 28,0 \cdot 0,1756 = 4,92 \text{ кг}.$$

Розраховують кількість халькопіриту  $CuFeS_2$  у концентраті за відомим вмістом в ньому міді:

63,55 кг міді входять до 183,52 кг халькопіриту

8,51 кг міді входять до  $X$  кг халькопіриту.

$$X_{CuFeS_2} = 24,58 \text{ кг}.$$

Визначають вміст заліза та сірки в халькопіриті:

55,85 кг заліза входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг заліза входять до 24,58 кг халькопіриту.

$$X_{Fe(CuFeS_2)} = 7,48 \text{ кг.}$$

2 32,06 кг сірки входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг сірки входять до 24,58 кг халькопіриту.

$$X_{S(CuFeS_2)} = 8,59 \text{ кг.}$$

Кількість борниту  $Cu_5FeS_4$  у концентраті розраховують за відомим вмістом в ньому міді

5 63,55 кг міді входять до 501,84 кг борниту

11,68 кг міді входять до  $X$  кг борниту.

$$X_{Cu_5FeS_4} = 18,45 \text{ кг.}$$

Визначають вміст заліза та сірки в борніті:

55,85 кг заліза входять до 501,84 кг борниту

$X$  кг заліза входять до 18,45 кг борниту.

$$X_{Fe(Cu_5FeS_4)} = 2,06 \text{ кг.}$$

4 32,06 кг сірки входять до 501,84 кг борниту

$X$  кг сірки входять до 18,45 кг борниту.

$$X_{S(Cu_5FeS_4)} = 4,71 \text{ кг.}$$

Кількість кубаніту  $CuFe_2S_3$  в концентраті також розраховують за відомим вмістом у ньому міді:

63,55 кг міді входять до 271,43 кг кубаніту

2,89 кг міді входять до  $X$  кг кубаніту.

$$X_{CuFe_2S_3} = 12,34 \text{ кг.}$$

Визначають вміст заліза та сірки в кубаніті:

2 55,85 кг заліза входять до 271,43 кг кубаніту

$X$  кг заліза входять до 12,34 кг кубаніту.

$$X_{Fe(CuFe_2S_3)} = 5,08 \text{ кг.}$$

3 32,06 кг сірки входять до 271,43 кг кубаніту

$X$  кг сірки входять до 12,34 кг кубаніту.

$$X_{S(CuFe_2S_3)} = 4,37 \text{ кг.}$$

Кількість халькозину  $Cu_2S$  в концентраті обчислюють за відомим вмістом міді в даному мінералі:

2 63,55 кг міді входять до 159,16 кг халькозину

4,92 кг міді входять до  $X$  кг халькозину.

$$X_{Cu_2S} = 6,14 \text{ кг.}$$

Вміст сірки в халькозині визначають за загальною кількістю даного мінералу:

32,06 кг сірки входять до 159,16 кг халькозину

$X$  кг сірки входять до 6,14 кг халькозину.

$$X_{S(Cu_2S)} = 1,22 \text{ кг.}$$

Кількість сфалериту  $ZnS$  в концентраті визначають за відомим вмістом в ньому цинку:

65,37 кг цинку входять до 97,43 кг сфалериту

5,40 кг цинку входять до  $X$  кг сфалериту.

$$X_{ZnS} = 8,05 \text{ кг.}$$

Вміст сірки в сфалериті розраховують за загальною кількістю даного мінералу:

32,06 кг сірки входять до 97,43 кг сфалериту

$X$  кг сірки входять до 8,05 кг сфалериту.

$$X_{S(ZnS)} = 2,65 \text{ кг.}$$

Кількість лінеїту  $Co_3S_4$  в концентраті визначають за відомим вмістом у ньому кобальту:

3 58,93 кг кобальту входять до 305,03 кг лінеїту

0,80 кг кобальту входять до  $X$  кг лінеїту.

$$X_{Co_3S_4} = 1,38 \text{ кг.}$$

Вміст сірки в лінеїті також обчислюють за загальною кількістю даного мінералу:

4 32,06 кг сірки входять до 305,03 кг лінеїту

$X$  кг сірки входять до 1,38 кг лінеїту.

$$X_{S(Co_3S_4)} = 0,58 \text{ кг.}$$

Кількість заліза в піриті  $FeS_2$  розраховують за різницею між вихідним вмістом заліза в концентраті та сумарним його вмістом у халькопіриті, борніті та кубаніті:

$$X_{Fe(FeS_2)} = 20,30 - (7,48 + 2,06 + 5,08) = 5,68 \text{ кг.}$$

Кількість сірки в піриті також визначають за різницею між вихідним вмістом сірки в концентраті та сумарним її вмістом в халькопіриті, борніті, кубаніті, халькозині, сфалериті та лінеїті:

$$X_{S(FeS_2)} = 27,70 - (8,59 + 4,71 + 4,37 + 1,22 + 2,65 + 0,58) = 5,58 \text{ кг.}$$

Кількість піриту в концентраті:

$$X_{FeS_2} = 5,69 + 5,58 = 11,27 \text{ кг.}$$

Перевірку вихідних даних за кількістю сірки, теоретично необхідної для зв'язування заліза в піриті, здійснюють за методикою, що є аналогічною до наведеної в прикладі 1.1.

Обчислюють кількість двооксиду вуглецю ( $CO_2$ ) в карбонаті кальцію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 3,10 кг  $CaCO_3$

$$X_{CO_2} = 1,36 \text{ кг.}$$

Кількість оксиду кальцію  $CaO$  також розраховують за загальною кількістю карбонату кальцію  $CaCO_3$

56,08 кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 3,10 кг  $CaCO_3$ .

$$X_{CaO} = 1,74 \text{ кг.}$$

Розраховують кількість двооксиду вуглецю  $CO_2$  в карбонаті магнію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

$X$  кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 2,90 кг  $MgCO_3$

$$X_{CO_2} = 1,51 \text{ кг.}$$

Розраховують кількість оксиду магнію  $MgO$  за загальною кількістю карбонату магнію:

40,31 кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

$X$  кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 2,90 кг  $MgCO_3$

$$X_{MgO} = 1,39 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків подають у табл.1.3.



Таблиця 1.3 – РАЦІОНАЛЬНИЙ СКЛАД МІДНО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ, кг (%)

Мінерали	Вміст компонентів, % (за масою)										
	<i>Cu</i>	Zn	<i>Co</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	Інші	Разом
<i>CuFeS<sub>2</sub></i>	8,51			7,48	8,59						24,58
<i>Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub></i>	11,68			2,06	4,71						18,45
<i>CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i>	2,89			5,08	4,37						12,34
<i>Cu<sub>2</sub>S</i>	4,92				1,22						6,14
<i>ZnS</i>		5,40			2,65						8,05
<i>Co<sub>3</sub>S<sub>4</sub></i>			0,80		0,58						1,38
<i>FeS<sub>2</sub></i>				5,68	5,58						11,27
<i>CaCO<sub>3</sub></i>							1,74		1,36		3,10
<i>MgCO<sub>3</sub></i>								1,39	1,51		2,90
<i>SiO<sub>2</sub></i>						1,0					1,0
Інші										10,80	10,80
Разом	28,00	5,40	0,80	20,30	27,70	1,0	1,74	1,39	2,87	10,80	100,0

## Приклад 1.4 РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНОГО КОНЦЕНТРАТУ ЗА ВІДОМИМ ВМІСТОМ МІДІ В МІНЕРАЛАХ

*Вихідні дані:*

1. *Хімічний склад*, % (за масою): 17,0 *Cu*; 1,50 *Zn*; 0,50 *Pb*; 27,50 *Fe*; 35,50 *S*; 3,0 *SiO*<sub>2</sub>; 3,50 *CaCO*<sub>3</sub>; 4,0 *MgCO*<sub>3</sub>.

2. *Мінеральний склад*: халькопірит *CuFeS*<sub>2</sub>, халькозин *Cu*<sub>2</sub>*S*, ковелін *CuS*, сфалерит *ZnS*, галеніт *PbS*, піротин *Fe*<sub>7</sub>*S*<sub>8</sub> і компоненти пустої породи.

3. *Додаткові умови*: 45 % міді міститься в халькопіриті, 30 % - в халькозині та 25 % - у ковеліні.

Розрахунок починають з визначення вмісту інших компонентів, що не виявлено в концентраті під час хімічного аналізу. Його обчислюють як різницю між загальною кількістю концентрату (100,0 кг) та сумою всіх відомих компонентів (*Cu*, *Zn*, *Co*, *Fe*, *S*, *SiO*<sub>2</sub>, *CaCO*<sub>3</sub>, *MgCO*<sub>3</sub>).

$$100,0 - (17,0 + 1,50 + 0,50 + 27,50 + 35,50 + 3,0 + 3,50 + 4,0) = 7,50 \text{ кг.}$$

Далі здійснюють розрахунок вмісту міді в мінералах, що її містять:

- у халькопіриті:

$$Cu_{CuFeS_2} = 17,0 \cdot 0,45 = 7,65 \text{ кг;}$$

- у халькозині:

$$Cu_{Cu_2S} = 17,0 \cdot 0,30 = 5,10 \text{ кг;}$$

- у ковеліні:

$$Cu_{CuS} = 17,0 \cdot 0,25 = 4,25 \text{ кг.}$$

Кількість халькопіриту *CuFeS*<sub>2</sub> обчислюють за атомною масою міді, що входить до його складу, та молекулярною масою даного мінералу:

63,55 кг міді входять до 183,52 кг халькопіриту

7,65 кг міді входять до *X* кг халькопіриту.

$$X_{CuFeS_2} = 22,09 \text{ кг.}$$

За відомою кількістю халькопіриту в концентраті розраховують вміст в ньому заліза та сірки:

55,85 кг заліза входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг заліза входять до 22,09 кг халькопіриту.

$$X_{Fe(CuFeS_2)} = 6,72 \text{ кг.}$$

32,06 кг сірки входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг сірки входять до 22,09 кг халькопіриту.

$$X_{S(CuFeS_2)} = 7,72 \text{ кг.}$$

Аналогічним чином за відомим вмістом міді в халькозині  $Cu_2S$  та ковеліні  $CuS$  розраховують кількість вказаних мінералів:

а) 2 · 63,55 кг міді входять до 159,16 кг халькозину

5,10 кг міді входять до  $X$  кг халькозину.

$$X_{Cu_2S} = 6,39 \text{ кг.}$$

б) 63,55 кг міді входять до 95,61 кг ковеліну

4,25 кг міді входять до  $X$  кг ковеліну.

$$X_{CuS} = 6,39 \text{ кг.}$$

Кількість сірки в халькозині  $Cu_2S$  та ковеліні  $CuS$  розраховують за загальною кількістю даних мінералів

а) 32,06 кг сірки входять до 159,16 кг халькозину

$X$  кг сірки входять до 6,39 кг халькозину.

$$X_{S(Cu_2S)} = 1,29 \text{ кг.}$$

б) 32,06 кг сірки входять до 95,61 кг ковеліну

$X$  кг сірки входять до 6,39 кг ковеліну.

$$X_{S(CuS)} = 2,14 \text{ кг.}$$

Кількість сфалериту  $ZnS$  в концентраті визначають за відомим вмістом в ньому цинку:

65,37 кг цинку входять до 97,43 кг сфалериту

2,5 кг цинку входять до  $X$  кг сфалериту.

$$X_{ZnS} = 3,73 \text{ кг.}$$

Вміст сірки в сфалериті розраховують за загальною кількістю даного мінералу:

32,06 кг сірки входять до 97,43 кг сфалериту

$X$  кг сірки входять до 3,73 кг сфалериту.

$$X_{S(ZnS)} = 1,23 \text{ кг.}$$

Кількість галеніту  $PbS$  в концентраті визначають аналогічним чином

207,19 кг свинцю входять до 239,25 кг галеніту

0,5 кг свинцю входять до  $X$  кг галеніту.

$$X_{PbS} = 0,57 \text{ кг.}$$

Вміст сірки в галеніті обчислюють за загальною кількістю даного мінералу

32,06 кг сірки входять до 239,25 кг галеніту

$X$  кг сірки входять до 0,58 кг галеніту.

$$X_{S(PbS)} = 0,07 \text{ кг.}$$

Кількість заліза в піротині  $Fe_7S_8$  розраховують за різницею між вихідним вмістом заліза в концентраті та його вмістом в халькопіриті

$$X_{Fe(Fe_7S_8)} = 27,50 - 6,72 = 20,78 \text{ кг.}$$

Кількість сірки в піротині визначають як різницю між вихідним вмістом сірки в концентраті та сумарним її вмістом в халькопіриті, халькозині, ковеліні, сфалериті та галеніті:

$$X_{S(Fe_7S_8)} = 35,50 - (7,72 + 1,29 + 2,14 + 1,23 + 0,08) = 23,05 \text{ кг.}$$

Кількість піротину в концентраті

$$X_{Fe_7S_8} = 20,78 + 23,05 = 43,83 \text{ кг.}$$

Перевірку вихідних даних за кількістю сірки, що є теоретично необхідною для зв'язування заліза в піротині, здійснюють за методикою, яка є аналогічною до наведеної в прикладі 1.2.

Обчислюють кількість двооксиду вуглецю ( $CO_2$ ) в карбонаті кальцію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 3,50 кг  $CaCO_3$

$$X_{CO_2} = 1,54 \text{ кг.}$$

Кількість оксиду кальцію  $CaO$  також розраховують за загальною кількістю карбонату кальцію  $CaCO_3$

56,08 кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 3,50 кг  $CaCO_3$ .

$$X_{CaO} = 1,96 \text{ кг.}$$

Розраховують кількість двооксиду вуглецю  $CO_2$  в карбонаті магнію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

$X$  кг двооксиду вуглецю виділяється

**Таблиця 1.4 – РАЦІОНАЛЬНИЙ СКЛАД МІДНОГО КОНЦЕНТРАТУ, кг (%)**

Мінерали	Вміст компонентів, % (за масою)										
	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	Інші	Разом
<b><i>CuFeS<sub>2</sub></i></b>	7,65			6,72	7,72						22,09
<b><i>Cu<sub>2</sub>S</i></b>	5,10				1,29						6,39
<b><i>CuS</i></b>	4,25				2,14						6,39
<b><i>ZnS</i></b>		1,50			1,23						3,73
<b><i>PbS</i></b>			0,50		0,07						0,57
<b><i>Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub></i></b>				20,78	23,05						43,83
<b><i>CaCO<sub>3</sub></i></b>						1,96			1,54		3,50
<b><i>MgCO<sub>3</sub></i></b>							1,91		2,09		4,00
<b><i>SiO<sub>2</sub></i></b>								3,0			3,00
<b>Інші</b>										7,50	7,50
<b>Разом</b>	17,00	1,50	0,50	27,50	35,50	1,96	1,91	3,0	3,63	7,50	100,00

під час термічного розкладання 4,0 кг  $MgCO_3$

$$X_{CO_2} = 2,09 \text{ кг.}$$

Кількість оксиду магнію  $MgO$  розраховують за загальною кількістю карбонату магнію:

40,31 кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

$X$  кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 4,0 кг  $MgCO_3$ .

$$X_{MgO} = 1,91 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків подають у табл.1.4.

#### **ПРИКЛАД 1.5. РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МІДНО-НІКЕЛЄВОГО КОНЦЕНТРАТУ**

Вихідні дані:

1. Хімічний склад, % (за масою): 24,60  $Cu$ ; 6,50  $Ni$ ; 2,5  $Zn$ ; 25,50  $Fe$ ; 32,20  $S$ ; 1,40  $SiO_2$ ; 1,70  $CaO$ ; 1,70  $MgO$ .

2. Мінералогічний склад: халькопірит  $CuFeS_2$ , борнит  $Cu_5FeS_4$ , ковелін  $CuS$ , пентландит  $(Ni,Fe)S$ , сфалерит  $ZnS$ , пірит  $FeS_2$ , карбонати кальцію  $CaCO_3$  та магнію  $MgCO_3$ .

3. Додаткові умови:

- нікель складає 45 % від загальної кількості пентландиту;

- 40 % міді перебуває у формі халькопіриту, 35 % - у формі борниту.

Розрахунки ведуть в послідовності, що відповідає поданню додаткової інформації про мінеральний склад.

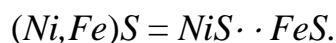
Спочатку визначають кількість інших компонентів, які не виявлено в концентраті під час хімічного аналізу. Його обчислюють як різницю між загальною кількістю (100 кг) руди та сумою всіх відомих в ній компонентів (*Cu, Ni, Zn, Fe, S, SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO*).

$$100 - (24,60 + 6,50 + 2,50 + 25,50 + 32,20 + 1,40 + 1,70 + 1,70) = 3,90 \text{ кг.}$$

Кількість пентландиту (*Ni,Fe*)*S* визначають згідно до вищенаведеної додаткової інформації, тобто

$$X_{(Ni,Fe)S} = 6,50 \cdot 100 / 45 = 14,44 \text{ кг.}$$

Хімічна формула даного мінералу [(*Ni,Fe*)*S*] невідома. У зв'язку з цим під час розрахунків компонентів пентландиту даний мінерал подають як суму двох компонентів:



Визначення кількості компоненту *NiS* виконують за атомною масою нікелю, що входить до його складу, та молекулярною масою даного компоненту:

58,71 кг нікелю входять до 90,77 кг *NiS*

6,50 кг нікелю в пентландиті входять до *X* кг *NiS*.

$$X_{NiS} = 10,05 \text{ кг.}$$

За відомою кількістю *NiS* визначають вміст в ньому сірки:

32,06 кг сірки входять до 90,77 кг *NiS*

*X* кг сірки входять до 10,05 кг *NiS*.

$$X_{S(NiS)} = 3,55 \text{ кг.}$$

Кількість мінералу *FeS* розраховують за різницею між загальною кількістю пентландиту (*Ni,Fe*)*S* та кількістю *NiS* в ньому:

$$FeS = 14,44 - 10,05 = 4,39 \text{ кг.}$$

За відомою кількістю *FeS* визначають вміст в ньому заліза та сірки:

55,85 кг заліза входять до 87,91 кг *FeS*



$X$  кг заліза входять до 4,39 кг  $FeS$ .

$$X_{Fe(FeS)} = 2,79 \text{ кг.}$$

32,06 кг сірки входять до 87,91 кг  $FeS$

$X$  кг сірки входять до 4,39 кг  $FeS$ .

$$X_{S(FeS)} = 1,60 \text{ кг.}$$

Далі здійснюють розрахунок вмісту міді в мінералах, що її містять:  
 $CuFeS_2$ ,  $Cu_5FeS_4$  і  $CuS$ .

- у халькопіриті:

$$Cu_{CuFeS_2} = 24,60 \cdot 0,40 = 7,65 \text{ кг;}$$

- у борниті:

$$Cu_{Cu_2S} = 24,60 \cdot 0,35 = 5,10 \text{ кг;}$$

- у ковеліні:

$$Cu_{CuS} = 24,60 \cdot 0,25 = 4,25 \text{ кг.}$$

Кількість халькопіриту  $CuFeS_2$  розраховують за відомим вмістом у ньому міді:

63,55 кг  $Cu$  входять до 183,52 кг халькопіриту

7,65 кг  $Cu$  входять до  $X$  кг халькопіриту.

$$X_{CuFeS_2} = 22,09 \text{ кг.}$$

За відомою кількістю халькопіриту визначають вміст в даному мінералі заліза та сірки:

55,85 кг  $Fe$  входять до 183,52 кг халькопіриту

$X$  кг  $Fe$  входять до 22,09 кг халькопіриту.

$$X_{Fe(CuFeS_2)} = 6,72 \text{ кг.}$$

2 · 32,06 кг S входять до 183,52 кг халькопіриту

X кг S входять до 22,09 кг халькопіриту.

$$X_{S(CuFeS_2)} = 7,72 \text{ кг.}$$

Кількість борниту  $Cu_5FeS_4$  у концентраті розраховують за відомим вмістом в ньому міді

5 63,55 кг міді входять до 501,84 кг борниту

5,10 кг міді входять до X кг борниту.

$$X_{Cu_5FeS_4} = 8,05 \text{ кг.}$$

Визначають вміст заліза та сірки в борниті:

55,85 кг заліза входять до 501,84 кг борниту

X кг заліза входять до 8,05 кг борниту.

$$X_{Fe(Cu_5FeS_4)} = 0,90 \text{ кг.}$$

4 32,06 кг сірки входять до 501,84 кг борниту

X кг сірки входять до 8,05 кг борниту.

$$X_{S(Cu_5FeS_4)} = 2,05 \text{ кг.}$$

Знаючи вміст міді в ковеліні  $CuS$ , розраховують кількість вказаного мінералу:

63,55 кг міді входять до 95,61 кг ковеліну

4,25 кг міді входять до X кг ковеліну.

$$X_{CuS} = 6,39 \text{ кг.}$$

Тоді обчислюють вміст сірки в даному мінералі

32,06 кг сірки входять до 95,61 кг ковеліну

X кг сірки входять до 6,39 кг ковеліну.

$$X_{S(CuS)} = 2,14 \text{ кг.}$$

Кількість сфалериту  $ZnS$  в концентраті визначають за відомим вмістом в ньому цинку:

65,37 кг цинку входять до 97,43 кг сфалериту

2,50 кг цинку входять до  $X$  кг сфалериту.

$$X_{ZnS} = 3,72 \text{ кг.}$$

Вміст сірки в сфалериті розраховують за загальною кількістю даного мінералу:

32,06 кг сірки входять до 97,43 кг сфалериту

$X$  кг сірки входять до 3,72 кг сфалериту.

$$X_{S(ZnS)} = 1,22 \text{ кг.}$$

По завершенні розрахунку кількості пентландиту, халькопіриту, борниту, ковеліну, сфалериту та хімічних елементів, що в них містяться, визначають кількість піриту  $FeS_2$ .

При цьому із загального вмісту заліза в концентраті відраховують його сумарну кількість в трьох вказаних вище мінералах, що містять залізо:  $(Ni,Fe)S$ ,  $CuFeS_2$ ,  $Cu_5FeS_4$ , - а залишок заліза відносять до піриту.

$$X_{Fe(FeS_2)} = 25,50 - (2,79 + 6,72 + 0,90) = 15,09 \text{ кг.}$$

Кількість сірки в піриті визначають за різницею між вихідним вмістом сірки в концентраті та сумарним її вмістом в пентландиті, халькопіриті, борніті, ковеліні та сфалериті:

$$X_{S(FeS_2)} = 32,20 - (5,15 + 7,72 + 2,05 + 2,14 + 1,22) = 15,14 \text{ кг.}$$

Тоді загальна кількість піриту складає

$$X_{FeS_2} = 15,09 + 15,14 = 30,23 \text{ кг.}$$

Обчислюють кількість двооксиду вуглецю ( $CO_2$ ) в карбонаті кальцію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 1,70 кг  $CaCO_3$

$$X_{CO_2} = 0,75 \text{ кг.}$$

Кількість оксиду кальцію  $CaO$  також розраховують за загальною кількістю карбонату кальцію  $CaCO_3$

56,08 кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 100,08 кг  $CaCO_3$

$X$  кг  $CaO$  утворюється

під час термічного розкладання 1,70 кг  $CaCO_3$ .

$$X_{CaO} = 0,95 \text{ кг.}$$

Розраховують кількість двооксиду вуглецю  $CO_2$  в карбонаті магнію:

44,01 кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

$X$  кг двооксиду вуглецю виділяється

під час термічного розкладання 1,70 кг  $MgCO_3$

$$X_{CO_2} = 0,89 \text{ кг.}$$

Розраховують кількість оксиду магнію  $MgO$  за загальною кількістю карбонату магнію:

40,31 кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 84,32 кг  $MgCO_3$

$X$  кг  $MgO$  утворюється

під час термічного розкладання 1,70 кг  $MgCO_3$

$$X_{MgO} = 0,81 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків подано у табл.1.5.

**Таблиця 1.5– РАЦІОНАЛЬНИЙ СКЛАД МІДНО-НІКЕЛЄВОГО КОНЦЕНТРАТУ, кг (%)**

<i>Мінерали</i>	Вміст компонентів, % (за масою)										
	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	Інші	Разом
<i>CuFeS<sub>2</sub></i>	7,65			6,72	7,72						22,09
<i>Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub></i>	5,10			0,90	2,05						8,05
<i>CuS</i>	4,25				2,14						6,39
<i>(Ni,Fe)S</i>		6,50		2,79	5,15						14,44
<i>ZnS</i>			2,50		1,22						3,72
<i>FeS<sub>2</sub></i>				15,09	15,14						30,23
<i>CaCO<sub>3</sub></i>							0,95		0,75		1,70
<i>MgCO<sub>3</sub></i>								0,81	0,89		1,70
<i>SiO<sub>2</sub></i>						1,40					1,40
Інші										3,90	3,90
Разом	24,60	6,50	2,50	25,50	32,20	1,40	0,95	0,81	2,64	3,90	100,0

**РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ МІДНОГО ШТЕЙНУ**

Одним з головних переділів під час пірометалургійних процесів важких кольорових металів (міді, нікелю та свинцю) є плавлення на штейн. На зазначеному переділі відбувається основне збагачення матеріалу цінними металами шляхом відділення мінералів пустої породи та флюсів до сплаву оксидів (шлаку). У сплаві сульфідів (штейні) концентруються переважно важкі кольорові та благородні метали. До процесу плавлення на штейн пред'являються жорсткі вимоги щодо комплексності використання мінеральної сировини, видобування цінних елементів, зниження витрат енергії та палива. Успішне вирішення цих найважливіших завдань нерозривно пов'язане з металургійними розрахунками, спрямованими на визначення головних продуктів плавлення - штейну, шлаку та технологічних газів.

Розрахунки кількості та складу продуктів плавлення є основою для організації процесу та визначення його технологічних параметрів. Такі розрахунки ґрунтуються на знанні теорії пірометалургійних процесів, технології конкретного металургійного процесу, його особливостей, а також устрою та принципу дії металургійного агрегату.

Для виконання розрахунків кількості та складу мідних і мідно-нікелевих штейнів необхідно мати інформацію про ступінь видобування кольорових металів до штейну, ступінь десульфурзації або заданий вміст міді в штейні.

Ступінь десульфурзації розраховують як відношення сумарної кількості сірки, вилученої із термічно нестійких сульфідів, ( $S_{вил}$ ) до маси вихідної сірки ( $S_{вих}$ ) в концентраті:

$$D_S = \frac{S_{вил}}{S_{вих}} \cdot 100 \% . \quad (2.1)$$

У інтервалі температур, характерних для плавильних агрегатів, сульфідни  $Cu_2S$ ,  $FeS$ ,  $Ni_3S_2$ ,  $CoS$ ,  $ZnS$  і  $PbS$  є термічно стійкими. Решта сульфідів дисоціює із вилученням надлишкової сірки до газової фази.

Визначення кількості штейну за заданим вмістом в ньому металу проводять для розрахунку ступеню десульфурації під час випалення, передуючого плавлення у відбивних або електричних печах, і під час плавлення сирих концентратів за окислювальних умов (наприклад, в зваженому стані або в рідкій ванні).

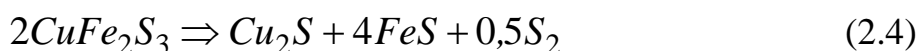
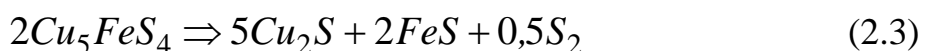
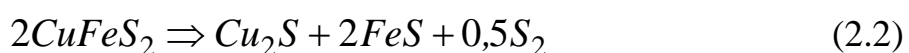
#### ПРИКЛАД 2.1 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ МІДНО-ЦИНКОВОГО ШТЕЙНУ ЗА СТУПЕНЕМ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ

Хімічний склад концентрату, % (за масою): 28,0  $Cu$ ; 5,40  $Zn$ ; 0,80  $Co$ ; 20,30  $Fe$ ; 27,70  $S$ ; 1,0  $SiO_2$ ; 1,74  $CaO$ ; 1,39  $MgO$ ; 10,80 - інші.

Мінеральний склад: халькопірит  $CuFeS_2$ , борнит  $Cu_5FeS_4$ , кубаніт  $CuFe_2S_3$ , халькозин  $Cu_2S$ , сфалерит  $ZnS$ , лінеїт  $Co_3S_4$ , пірит  $FeS_2$  і компоненти пустої породи.

Видобування цінних металів до штейну (додаток К), %: 98 міді, 55 цинку, 75 кобальту. Вміст в штейні інших компонентів (окрім міді, цинку, кобальту, заліза, сірки та кисню) - 2,0 %. Плавлення ведуть без переробки конвертерного шлаку.

Як відомо, халькозин  $Cu_2S$  і сфалерит  $ZnS$  є термічно стійкими сульфідами. Реакції дисоціації решти сульфідів даного концентрату мають вигляд:





Кількість сірки, що вилучається із вищенаведених мінералів, розраховують за відомою кількістю кожного мінералу, його молекулярною масою та атомною масою надлишкової сірки:

- для халькопіриту  $CuFeS_2$ :

із  $2 \cdot 183,52$  кг халькопіриту вилучають 32,06 кг сірки

із 24,58 кг халькопіриту вилучають  $X$  кг сірки.

$$X_{CuFeS_2}^S = 2,15 \text{ кг};$$

- для борниту  $Cu_5FeS_4$ :

із  $2 \cdot 501,84$  кг борниту вилучають 32,06 кг сірки

із 18,45 кг борниту вилучають  $X$  кг сірки.

$$X_{Cu_5FeS_4}^S = 0,59 \text{ кг};$$

- для кубаніту  $CuFe_2S_3$ :

із  $2 \cdot 271,43$  кг кубаніту вилучають 32,06 кг сірки

із 12,34 кг кубаніту вилучають  $X$  кг сірки.

$$X_{CuFe_2S_3}^S = 0,73 \text{ кг};$$

- для лінеїту  $Co_3S_4$ :

із 305,03 кг лінеїту вилучають 32,06 кг сірки

із 1,38 кг лінеїту вилучають  $X$  кг сірки.

$$X_{Co_3S_4}^S = 0,15 \text{ кг};$$

- для піриту  $FeS_2$ :

із 119,97 кг піриту вилучають 32,06 кг сірки

із 11,27 кг піриту вилучають  $X$  кг сірки.



$$X_{FeS_2}^S = 3,01 \text{ кг.}$$

Сумарна кількість сірки, що вилучають із концентрату:

$$\sum S = 2,15 + 0,59 + 0,73 + 0,15 + 3,01 \text{ кг} = 6,63 \text{ кг.}$$

Ступінь десульфурації:

$$D_S = 23,94 \text{ \%}.$$

За відомим ступенем десульфурації до штейну перейде сірки:

$$100,0 - 23,94 = 76,06 \text{ \%}$$

$$\text{або } 27,7 \cdot 0,7606 = 21,07 \text{ кг.}$$

За правилом В.Я.Мостовича вміст сірки в мідних і мідно-нікелевих штейнах змінюється незначно та його значення є близьким до 25 %.

Приймають, що вміст сірки в штейні дорівнює 25 % і визначають кількість штейну:  $21,07 : 0,25 = 84,28 \text{ кг.}$

Розраховують кількість міді в штейні:

$$Cu_{(шт)} = 28,0 \cdot 0,98 = 27,44 \text{ кг.}$$

що складає  $27,44 \cdot 100 / 84,28 = 32,56 \text{ \%}.$

Кількість цинку в штейні:

$$Zn_{(шт)} = 5,40 \cdot 0,55 = 2,97 \text{ кг або } 3,52 \text{ \%}.$$

Кількість кобальту в штейні:

$$Co_{(шт)} = 0,8 \cdot 0,75 = 0,60 \text{ кг або } 0,71 \text{ \%}.$$

Концентрацію кисню в штейні, що містить 32,56 % міді, визначають методом інтерполяції за додатком Д:

$$4,21 - \frac{(4,21 - 3,02)}{(40 - 30)} \cdot (32,56 - 30) = 3,85 \text{ \%},$$

де: 4,21 і 3,02 – концентрація кисню в штейні, що містить відповідно

30 і 40% мідь

$$\text{або } O_{2(\text{шл})} = 84,28 \cdot 0,0385 = 3,24 \text{ кг.}$$

Кількість інших компонентів в штейні:

$$84,28 \cdot 0,02 = 1,68 \text{ кг.}$$

Вміст заліза в штейні (%) визначають як різницю між загальною його кількістю (%) та сумою вмісту в ньому міді, цинку, кобальту, сірки, кисню та інших компонентів (%):

$$100 - (Cu + Zn + Co + S + O_2 + \text{інші}) = 100 - (32,56 + 3,52 + 0,71 + 25,0 + 3,85 + 2,0) = 32,36 \text{ \%}.$$

Кількість заліза в штейні:

$$Fe_{(\text{шт})} = 84,28 \cdot 0,3236 = 27,28 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків подано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Кількість і склад мідного штейну за ступенем десульфурації

<i>Елементи</i>	<i>Кількість, кг</i>	<i>Вміст, %</i>
Мідь	27,44	32,56
Цинк	2,97	3,52
Кобальт	0,60	0,71
Залізо	27,28	32,36
Сірка	21,07	25,0
Кисень	3,24	3,85
Інші	1,68	2,0
<i>Разом</i>	84,28	100,0

## ПРИКЛАД 2.2 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ МІДНО-ЦИНКОВОГО ШТЕЙНУ ЗА ЗАДАНИМ ВМІСТОМ МІДІ

Під час розрахунків використовують мідний концентрат того ж складу, що і в прикладі 2.1.

Приймають, що концентрація міді в штейні повинна складати 56 %. Видобування цінних металів до штейну %: 98 міді, 55 цинку, 75 кобальту. (додаток К). Вміст в штейні інших компонентів (окрім міді, цинку, кобальту, заліза, сірки та кисню) - 2,5 %.

Плавлення ведуть без переробки конвертерного шлаку.

Кількість міді, що перейшла до штейну, складає

$$Cu_{(шт)} = 28,0 \cdot 0,98 = 27,44 \text{ кг.}$$

тоді кількість штейну буде дорівнювати

$$27,44 : 0,56 = 49,0 \text{ кг.}$$

Згідно до правила В.Я.Мостовича, в цьому штейні повинне вміщуватися 25 % сірки:

$$S_{(шт)} = 49,0 \cdot 0,25 = 12,25 \text{ кг.}$$

Ступінь десульфурації концентрату під час його плавлення складає

$$D_S = (27,70 - 12,25) \cdot 100 / 27,70 = 55,78 \text{ \%}.$$

Кількість цинку в штейні:

$$Zn_{(шт)} = 5,4 \cdot 0,55 = 2,97 \text{ кг або } 6,06 \text{ \%}.$$

Кількість кобальту в штейні:

$$Co_{(шт)} = 0,8 \cdot 0,75 = 0,60 \text{ кг або } 1,22 \text{ \%}.$$

Концентрацію кисню в штейні, що містить 56,0 % міді, визначають методом інтерполяції за додатком Д:

$$1,90 - \frac{1,90 - 0,70}{(60 - 50)} \cdot (56,0 - 50,0) = 1,18 \%$$

або

$$O_{2(шл)} = 49,0 \cdot 0,0118 = 0,58 \text{ кг.}$$

Кількість інших компонентів в штейні:

$$49,0 \cdot 0,025 = 1,22 \text{ кг.}$$

Вміст заліза в штейні (%) визначають аналогічно до приклада 2.1:

$$100 - (Cu + Zn + Co + S + O_2 + \text{інші}) = 100 - (56,0 + 6,06 + 1,22 + 25,0 + 1,18 + 2,50) = 8,04 \%$$

Кількість заліза в штейні:

$$Fe_{(шл)} = 49,0 \cdot 0,0804 = 3,94 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків подано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Кількість і склад мідного штейну

<i>Компоненти</i>	<i>Кількість, кг</i>	<i>Вміст, %</i>
Мідь	27,44	56,00
Цинк	2,97	6,06
Кобальт	0,60	1,22
Залізо	3,94	8,04
Сірка	12,25	25,00
Кисень	0,58	1,18
Інші	1,22	2,50
<i>Разом</i>	49,00	100,00

Із зіставлення даних, поданих у табл.2.1.и 2.2, видно, що коли вміст міді в штейні збільшується, то кількість штейну зменшується. Це відбувається, головним

чином, за рахунок зниження кількості заліза та сірки, що перейшли до штейну, тобто за рахунок окислення під час плавлення сульфїду заліза.

Таке збагачення штейну щодо міді можливо під час плавлення за методом окислювального плавлення: піритового плавлення, киснево-зваженого плавлення (КЗП), киснево-зваженого циклонного електротермічного плавлення (КЗЦЕП) та плавлення в рідкій ванні (ПРВ).

Відомо, що під час плавлення у відбивній печі окислення сульфїду заліза є незначним, а під час рудно-термічного плавлення є практично неможливим. У цих випадках підвищення вмісту міді в штейні сягається шляхом попереднього випалення концентрату.

У даному розрахунку приймають, що концентрат перед плавленням у відбивній печі піддають окислювальному випаленню та визначають ступінь десульфурзації під час випалення.

Під час розрахунків враховують, що під час плавлення випаленого концентрату десульфуризація складає 10...20 % та відбувається за рахунок взаємодії магнетиту із сірчистим залізом за реакцією:



Приймають ступінь десульфурзації під час плавлення  $D_S = 15$  %. Тоді в концентрат, що надходить на плавлення, для одержання в штейні 12,25 кг сірки повинно вміщуватися сірки в кількості:

$$12,25 \cdot 100 / (100 - 15) = 14,41 \text{ кг.}$$

Отже, під час випалення із 27,70 кг сірки, що міститься у вихідному концентраті, необхідно вилучити

$$27,70 - 14,41 = 13,29 \text{ кг.}$$

що відповідає ступеню десульфурзації під час випалювання

$$100 \cdot 13,29 / 27,7 = 47,98 \text{ \%}.$$

### ПРИКЛАД 2.3 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ШТЕЙНУ ПІД ЧАС ПЕРЕРОБКИ В ПЕЧІ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКУ

Кількість штейну, розрахованого в прикладі 2.2 (табл.2.2), одержано з 100,0 кг концентрату. У розрахунках не враховували мідь, що може перейти до штейну із зворотних матеріалів, наприклад, із конвертерного шлаку. Цей шлак часто переробляють в плавильних печах для вилучення з нього цінних металів.

Маса штейну за рахунок додаткового видобування міді із зворотних матеріалів збільшується, а його склад практично не змінюється.

Під час розрахунків розглядають конвертерний шлак складу % (за масою): 2,5 *Cu*; 46,0 *Fe*; 29,0 *SiO<sub>2</sub>*; 19,5 *O<sub>2</sub>*; 3,0 - інші (додаток К).

Визначають приблизно кількість конвертерного шлаку для здійснення повного окислення всього заліза штейну. Під час конвертування 49,0 кг штейну, що вміщує 3,94 кг заліза, одержують конвертерний шлак у кількості:

$$3,94 \cdot 100 / 46,0 = 8,56 \text{ кг.}$$

Знаючи кількість і склад конвертерного шлаку, розраховують кількість його компонентів і наводять в табл.2.3.

Таблиця 2.3 - Кількість і склад конвертерного шлаку

<i>Компоненти</i>	<i>Кількість, кг</i>	<i>Вміст, %</i>
Мідь	0,21	2,5
Залізо	3,94	46,0
Двооксид кремнію	2,48	29,0
Кисень	1,67	19,5
Інші	0,26	3,0
<i>Разом</i>	8,56	100,0

За умов завдання (додаток К), ступінь видобування міді з конвертерного шлаку сягає 85 %, тоді кількість міді, що перейде з нього до штейну складає:

$$\Delta C_{i_{шт}} = 0,21 \cdot 0,85 = 0,18 \text{ кг.}$$

Загальна кількість міді в штейні

$$\sum C_{i_{шт}} = 27,44 + 0,18 = 27,62 \text{ кг.}$$

Під час плавлення концентрату з переробкою в печі конвертерного шлаку склад штейну (табл.2.2) залишається незмінним, що дозволяє розрахувати загальну кількість штейну та кількість його компонентів. Результати розрахунків подають в табл.2.4.

**Таблиця 2.4 - Кількість і склад мідного штейну, одержаного з врахуванням переробки конвертерного шлаку з концентратом**

<i>Компоненти</i>	<i>Кількість, кг</i>	<i>Вміст, %</i>
Мідь	27,62	56,00
Цинк	2,99	6,06
Кобальт	0,60	1,22
Залізо	3,96	8,04
Сірка	12,33	25,00
Кисень	0,58	1,18
Інші	1,23	2,50
<i>Разом</i>	49,32	100,00

## РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ФЛЮСІВ ПІД ЧАС ПЛАВЛЕННЯ МІДНО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ ТА СКЛАДУ ВІДВАЛЬНОГО ШЛАКУ

### Приклад 3.1 РОЗРАХУНОК СКЛАДУ САМОПЛАВКОГО ШЛАКУ

Вихідний концентрат має склад, що наведено в прикладі 1.3. Кількість і склад штейну, одержаного під час плавлення цього концентрату, подані в табл.2.2 та 2.4.

Кількість заліза, що перейшло до шлаку під час плавлення, обчислюють за різницею його маси у вихідному концентраті та в штейні

$$Fe_{шл} = 20,30 - 3,94 = 16,36 \text{ кг.}$$

Приймають, що все залізо в шлаку пов'язане з киснем як вюстит ( $FeO$ ). Тоді кількість вюститу складає

$$FeO_{шл} = 16,36 \cdot 71,85 / 55,85 = 21,05 \text{ кг.}$$

Аналогічно розраховують кількість цинку

$$Zn_{шл} = 5,40 - 2,97 = 2,43 \text{ кг}$$

або у вигляді  $ZnO_{шл} = 2,43 \cdot 81,37 / 65,37 = 3,02 \text{ кг.}$

а також кількість кобальту

$$Co_{шл} = 0,80 - 0,60 = 0,20 \text{ кг}$$

або у вигляді  $CoO_{шл} = 0,20 \cdot 74,93 / 58,93 = 0,25 \text{ кг.}$

Кількість інших компонентів шихти, що перейшли до шлаку

$$8,43 - 1,22 = 7,21 \text{ кг.}$$

Оксиди пустої породи ( $SiO_2$ ,  $CaO$  та  $MgO$ ) переходять до шлаку в кількості, що чисельно дорівнює їхньому вмісту в концентраті.



Під час розрахунків кількості та складу самоплавкого шлаку (одержаного без добавки флюсів) необхідно враховувати мідь, що втрачається з даним шлаком. Її кількість визначають як різницю між вихідною масою міді в концентраті та масою міді, що перейшла до штейну

$$Cu_{\text{шл}} = 28,00 - 27,44 = 0,56 \text{ кг.}$$

Окрім того, під час розрахунків складу самоплавкого шлаку враховують повернення до печі конвертерного шлаку. Кількість його компонентів (табл.2.3) додають до відповідних компонентів самоплавкого шлаку та розраховують вихід самоплавкого шлаку та його склад. При цьому приймають, що все залізо в конвертерному шлаку пов'язане з його киснем у вигляді вюститу  $FeO$ . Кількість міді, що втрачається із конвертерним шлаком, визначають як різницю між вихідною масою міді в конвертерному шлаку та масою міді, що перейшла до штейну:

$$Cu_{\text{конв.шл}} = 0,21 - 0,18 = 0,03 \text{ кг.}$$

Результати проведених розрахунків подано в табл.3.1.

Таблиця 3.1 Кількість і склад самоплавкого шлаку

Компоненти	Кількість, кг	Вміст, %
<b><i>Cu</i></b>	$0,56 + 0,03^{\circ) = 0,59$	1,36
<b><i>ZnO</i></b>	3,02	3,31
<b><i>CoO</i></b>	0,25	0,57
<b><i>FeO</i></b>	$21,05 + (3,94 + 1,67)^{\circ) = 26,66$	61,24
<b><i>SiO<sub>2</sub></i></b>	$1,0 + 2,48^{\circ) = 3,48$	7,99
<b><i>CaO</i></b>	1,74	4,00
<b><i>MgO</i></b>	1,90	4,36
Інші	$7,21 + 0,26^{\circ) = 7,47$	17,17
<b><i>Разом</i></b>	46,12	100,00

°) із конвертерного шлаку

Як свідчать дані, наведені в табл.3.1, самоплавкий шлак, що одержано під час плавлення, характеризується значним вмістом заліза. Як наслідок, це супроводжується значними втратами міді, не задовольняє вимогам плавлення та спричиняє необхідність введення до шихти кварцового та вапнякового флюсів.

### ПРИКЛАД 3.2 РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ФЛЮСІВ, КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ ВІДВАЛЬНОГО ШЛАКУ

Під час плавлення мідних концентратів у відбивній печі необхідно використовувати шлак з таким співвідношенням головних компонентів:  $FeO : SiO_2 : CaO = (45...50) : (32...38) : (4...6)$ .

Відповідно до умов (додаток Л), шлак, що розраховують, повинний вміщувати, %: 30,0  $SiO_2$  і 9,0  $CaO$ . Для збільшення вмісту вказаних компонентів в даному шлаку до складу шихти додатково вводять кварцовий і вапняний флюси.

Склад кварцового флюсу, % (за масою): 80,0  $SiO_2$ ; 4,0  $FeO$ ; 10,0  $CaO$ ; 6,0 – інші (додаток Л).

Склад вапняного флюсу, % (за масою): 52,0  $CaO$ ; 2,5  $SiO_2$ , 45,5 інші (у тому числі  $CO_2$ ).

Розраховують кількість карбонату кальцію  $CaCO_3$  у вапняному флюсі та кількість двооксиду вуглецю  $CO_2$  в ньому.

Кількість карбонату кальцію  $CaCO_3$ :

56,08 кг  $CaO$  у вапняному флюсі входять до 100,08 кг карбонату кальцію  
52,0 кг  $CaO$  в карбонаті кальцію входять до  $X$  кг карбонату кальцію.

$$X_{CaCO_3} = 92,80 \text{ кг.}$$

Кількість двооксиду вуглецю в карбонаті кальцію:

$$X_{CO_2} = 92,80 - 52,0 = 40,80 \text{ кг.}$$

Необхідну кількість флюсів розраховують з використанням балансових рівнянь, що складають за компонентами, вміст яких повинен бути збільшеним шляхом додавання відповідного флюсу.

Вводять позначення:

$X$  - необхідна кількість кварцового флюсу;

$Y$  - необхідна кількість вапняного флюсу.

Кількість шлаку після додавання флюсів визначають згідно із співвідношенням:

$$45,12 + X + 0,592 Y,$$

де 46,12 - маса самоплавкого шлаку;

1,00 - сумарна масова частка компонентів, що створюють шлак, в кварцовому флюсі (флюс повністю переходить до шлаку);

0,592 - сумарна масова частка компонентів, що створюють шлак, ( $SiO_2$ ,  $CaO$ , інші) у вапняному флюсі.

Для визначення значень  $X$  і  $Y$  складають два балансові рівняння:

- за двооксидом кремнію:

$$3,48 + 0,80 X + 0,025 Y = 0,30 \cdot (46,12 + X + 0,592 Y),$$

де 3,48 - кількість двооксиду кремнію, що надійшов із самоплавкого шлаку, кг;

0,80 - масова частка двооксиду кремнію в кварцовому флюсі;

0,025 - масова частка двооксиду кремнію у вапняному флюсі.

- за оксидом кальцію:

$$1,74 + 0,10 X + 0,52 Y = 0,09 \cdot (46,12 + X + 0,592 Y),$$

де 1,74 - кількість оксиду кальцію, що надійшов із самоплавкого шлаку, кг;

0,10 - масова частка оксиду кальцію в кварцовому флюсі;

0,52 - масова частка оксиду кальцію у вапняному флюсі.

Розв'язують наведену систему рівнянь відносно  $X$  і  $Y$ :

$$X = 20,34 \text{ кг}; Y = 4,21 \text{ кг}.$$

Кількість інших компонентів у відвальному шлаку розраховують за різницею між його загальною кількістю та сумою всіх відомих компонентів:

$$\sum Ш_{омв} = Ш_{омв} - (Cu + SiO_2 + CaO + FeO + ZnO + CoO + MgO).$$

Кількість і склад відвального шлаку подають в табл.3.2.

Таблиця 3.2 **Кількість і склад відвального шлаку**

Компоненти	Кількість, кг	Вміст, %
<i>Cu</i>	0,59	0,89
<i>SiO<sub>2</sub></i>	$3,48 + 0,80 \cdot 20,34 + 0,025 \cdot 4,21 = 19,85$	29,91
<i>CaO</i>	$1,74 + 0,10 \cdot 20,34 + 0,52 \cdot 4,21 = 5,96$	8,98
<i>FeO</i>	$26,66 + 20,34 \cdot 0,04 = 27,47$	41,40
<i>ZnO</i>	3,02	2,17
<i>CoO</i>	0,25	0,38
<i>MgO</i>	1,39	2,09
Інші	10,05	14,18
<i>Разом</i>	$\sum Ш_{омв} = 46,12 + 20,34 + 0,592 \cdot 4,21 = 68,59$	100,00

**РОЗРАХУНОК ДУТТЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ****ПРИКЛАД 4.1 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ДУТТЯ ТА СКЛАДУ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ, ПІД ЧАС ВІДБИВНОГО ПЛАВЛЕННЯ МІДНО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ**

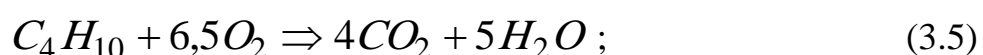
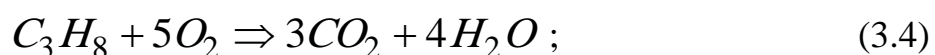
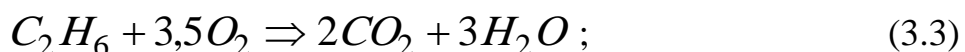
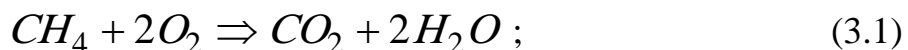
Для проведення розрахунків необхідно мати інформацію про вид палива та його склад, вміст кисню в дутті, коефіцієнт надлишку повітря в дутті, а також величину підсосів повітря в печі та газоході.

Вихідні дані:

- паливо – природний газ такого складу, % (за об'ємом): 86  $CH_4$ ; 5  $C_2H_4$ ; 4  $C_2H_6$ ; 3  $C_3H_8$ ; 2  $C_4H_{10}$ ; 1  $N_2$ ;
- вміст кисню в дутті – 25 % (за об'ємом);
- коефіцієнт надлишку повітря в дутті  $\alpha = 1,02$ ;
- вміст кисню в технічному кисні – 95 %;
- підсоси повітря – 25 % від теоретично необхідної кількості дуття.

Розрахунок виконують на 100 м<sup>3</sup> природного газу, що спалюють у печі.

Теоретичний об'єм кисню, необхідного для горіння природного газу, визначають за реакціями:



Кількість кисню, що необхідно для горіння палива:

- метану  $CH_4$              $86 \cdot 2,0 = 172,0 \text{ м}^3$ ;

- етилену  $C_2H_4$              $5 \cdot 3,0 = 15,0 \text{ м}^3$ ;

- етану  $C_2H_6$   $4 \cdot 3,5 = 14,0 \text{ м}^3$ ,
- пропану  $C_3H_8$   $3 \cdot 5,0 = 15,0 \text{ м}^3$ ;
- бутану  $C_4H_{10}$   $2 \cdot 6,5 = 13,0 \text{ м}^3$ .

Разом:  $229,0 \text{ м}^3$ .

Із дуттям, збагаченим до 25 % кисню, до печі надходить азоту

$$229,0 \cdot 0,75 / 0,25 = 687,0 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм дуття складає

$$229,0 + 687,0 = 916,0 \text{ м}^3.$$

До технологічних газів надходить:

- двооксид вуглецю  $CO_2$

під час згоряння  $CH_4$   $86 \cdot 1,0 = 86,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_2H_4$   $5 \cdot 2,0 = 10,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_2H_6$   $4 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_3H_8$   $3 \cdot 3,0 = 9,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_4H_{10}$   $2 \cdot 4,0 = 8,0 \text{ м}^3$ .

Разом  $121,0 \text{ м}^3$ .

- пари вологи  $H_2O$ :

під час згоряння  $CH_4$   $86 \cdot 2,0 = 172,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_2H_4$   $5 \cdot 2,0 = 10,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_2H_6$   $4 \cdot 3,0 = 12,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_3H_8$   $3 \cdot 4,0 = 12,0 \text{ м}^3$ ;

під час згоряння  $C_4H_{10}$   $2 \cdot 5,0 = 10,0 \text{ м}^3$ .

Разом  $216,0 \text{ м}^3$ .

Обчислюють об'єм добавки технічного кисню (95 %  $O_2$  і 5 %  $N_2$ ) до  $100 \text{ м}^3$  повітря для одержання заданого складу дуття. Кількість технічного кисню позначають як  $Z$  і визначають шляхом розв'язання рівняння:

$$\frac{25}{75} = \frac{21 + 0,95 \cdot Z}{79 + 0,05 \cdot Z}. \quad (3.6)$$

Одержують:  $Z = 5,7$ .

Виконують перевірку:

$$\frac{(21 + 0,95 \cdot 5,7) \cdot 100}{105,7} = 25 \% O_2;$$

$$\frac{(79 + 0,05 \cdot 5,7) \cdot 100}{105,7} = 75 \% N_2.$$

Для спалювання  $100 \text{ м}^3$  природного газу необхідно:

- технічного кисню  $910 \cdot 5,7 / 105,7 = 49,10 \text{ м}^3$ ;

- повітря  $910 \cdot 100,0 / 105,7 = 860,90 \text{ м}^3$ .

З врахуванням коефіцієнта надлишку кількість повітря, що потрібне на горіння:

- технічного кисню  $49,1 \cdot 1,02 = 50,10 \text{ м}^3$ ;

- повітря  $860,9 \cdot 1,02 = 878,10 \text{ м}^3$ .

Всього дуття  $928,20 \text{ м}^3$ .

Через підсоси до печі додатково надходить повітря кількістю:

$$928,2 \cdot 0,25 = 232,0 \text{ м}^3.$$

Азот надходить до печі:

- із технічним киснем  $50,10 \cdot 0,05 = 2,50 \text{ м}^3$ ;

- із повітрям дуття  $878,10 \cdot 0,79 = 693,70 \text{ м}^3$ ;

- із повітрям підсосів  $232,0 \cdot 0,79 = 183,30 \text{ м}^3$ ;

- із природним газом  $100,0 \cdot 0,01 = 1,0 \text{ м}^3$ .

Всього  $880,50 \text{ м}^3$ .

Кисень надходить до печі:

- із технічним киснем  $50,10 \cdot 0,95 = 47,60 \text{ м}^3$ ;

- із повітрям дуття  $878,10 \cdot 0,21 = 184,40 \text{ м}^3$ ;  
 - із повітрям підсосів  $232,0 \cdot 0,21 = 48,70 \text{ м}^3$ .  
 Всього  $280,70 \text{ м}^3$ .

Кількість кисню, що не витрачається на горіння природного газу:

$$280,7 - 229,0 = 51,70 \text{ м}^3.$$

Результати розрахунків кількості газоподібних продуктів плавлення подають в табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Об'єм і склад технологічних газів

Компоненти	Об'єм, м <sup>3</sup>	Вміст (за об'ємом)
<i>CO<sub>2</sub></i>	121,0	9,53
<i>H<sub>2</sub>O</i>	216,0	17,02
<i>N<sub>2</sub></i>	880,5	69,37
<i>O<sub>2</sub></i>	51,7	4,08
<i>Разом</i>	1269,2	100,00

Для подальшого складання матеріального балансу плавлення необхідно кількість компонентів природного газу, дуття та газів, що відходять, подати в масових одиницях і відсотках.

Результати перерахунку кількості природного газу наведено в табл.4.2.

Таблиця 4.2 - Об'єм, кількість і склад природного газу

Компоненти	Об'єм (V <sub>i</sub> ), м <sup>3</sup>	Кількість (G <sub>i</sub> ), кг	Вміст, % (за масою)
<i>CH<sub>4</sub></i>	86	$86 \cdot 16 / 22,4 = 61,43$	71,97
<i>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></i>	5	$5,0 \cdot 28 / 22,4 = 6,25$	7,32
<i>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></i>	4	$4,0 \cdot 30 / 22,4 = 5,36$	6,28
<i>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></i>	3	$3,0 \cdot 44 / 22,4 = 5,89$	6,90
<i>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></i>	2	$2,0 \cdot 58 / 22,4 = 5,18$	6,07
<i>N<sub>2</sub></i>	1	1,25	1,46
<i>Разом</i>	100	85,36	100,0



Результати перерахунку кількості дуття подано в табл.4.3.

Таблиця 4.3 - Об'єм, кількість і склад дуття

Компоненти	Кисень			Азот			Разом, кг
	м <sup>3</sup>	кг	%, мас	м <sup>3</sup>	кг	%, мас	
Технічний кисень	47,60	68,00	16,96	2,50	3,12	0,28	71,12
Дуття	184,40	263,40	68,09	69,69	867,12	78,87	1130,52
Підсоси	48,70	69,57	17,35	183,30	229,12	20,85	398,69
Разом	270,80	400,97	100,00	889,50	1099,36	100,00	1500,33

Сірка, що міститься в концентраті, під час плавлення у відбивній печі частково переходить до штейну, а частково - до газової фази.

Кількість сірки, що переходить до технологічних газів, визначають як різницю між її вихідним вмістом в концентраті та її вмістом в штейні:

$$S_{2(t.g.)} = 27,70 - 12,25 = 15,45 \text{ кг.}$$

Результати перерахунку кількості технологічних газів подано в табл.4.4.

Таблиця 4.4 - Об'єм, кількість і склад технологічних газів

Компоненти	Об'єм, м <sup>3</sup>	Кількість, кг	Вміст, % (за масою)
<i>CO</i> <sub>2</sub>	121,00	237,73	14,85
<i>H</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	216,00	173,57	10,84
<i>N</i> <sub>2</sub>	880,50	1100,62	68,72
<i>S</i> <sub>2</sub>	10,49	15,45	0,96
<i>O</i> <sub>2</sub>	51,70	73,86	4,63
Разом	1279,99	1601,23	100,00

## ПРИКЛАД 4.2 - РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ, ПІД ЧАС АВТОГЕННОГО ПЛАВЛЕННЯ НА ПОВІТРЯНОМУ ДУТТІ

Приймають, що на плавлення надходить мідний концентрат склад, якого подано в прикладі 1.3.

Під час плавлення цього концентрату одержано штейн, склад якого подано в табл.2.4. У цьому штейні вміщуються 12,33 кг сірки та 0,58 кг кисню. Склад відвального шлаку, одержаного під час плавлення зазначеного концентрату наведено в табл.3.2.

Приймають, що у вихідному концентраті все залізо є присутнім лише в сульфідній формі. Підсоси повітря під час плавлення є відсутніми, а коефіцієнт використання кисню складає 0,95.

Розрахунки починають з визначення потреби в кисні на плавлення 100 кг сухого концентрату. Кисень під час плавлення розподіляється між штейном, шлаком та газовою фазою.

У шлаку кисень здійснює

зв'язування 55,85 кг заліза до 71,85 кг оксиду заліза (II)

зв'язування  $X$  кг заліза до 27,47 кг оксиду заліза (II).

$$X = 21,35 \text{ кг.}$$

Тоді кількість кисню в даному оксиді обчислюють за різницею:

$$O_{2,шл} = 27,47 - 21,35 = 6,12 \text{ кг.}$$

Кількість сірки, що треба окислювати під час плавлення, складає

$$27,70 - 12,25 = 15,45 \text{ кг.}$$

Кількість кисню, потрібного для зв'язування вказаної сірки до двооксиду  $SO_2$  складає:

$$15,45 \cdot 32,0 / 32,06 = 15,42 \text{ кг.}$$

Тоді загальна кількість кисню, що є необхідним для плавлення вихідного концентрату:

$$\sum O_2 = (0,58 + 6,12 + 15,42) / 0,95 = 23,28 \text{ кг.}$$

або в перерахунку на об'єм

$$23,28 \cdot 22,4 / 32,0 = 16,30 \text{ м}^3.$$

З цим киснем до печі надходить азоту:

$$\sum N_2 = 16,30 \cdot 79 / 21 = 61,32 \text{ м}^3$$

$$\text{або } 61,32 \cdot 28,0 / 22,4 = 76,65 \text{ кг.}$$

Вільний кисень у газах складає:

$$23,28 \cdot 0,05 = 1,16 \text{ кг}$$

$$\text{або } 16,30 \cdot 0,05 = 0,82 \text{ м}^3.$$

Кількість двооксиду сірки  $SO_2$  у технологічних газах розраховують як суму сірки, що має окислитися під час плавлення та кисню, що витрачається на її окислення:

$$15,45 + 15,42 = 30,87 \text{ кг}$$

$$\text{або } 30,87 \cdot 22,4 / 64,12 = 10,78 \text{ м}^3.$$

Двооксид вуглецю надходить до пічної атмосфери під час дисоціації вапняку  $CaCO_3$ . Кількість  $CO_2$  в газах визначають за масою оксиду кальцію у відвальному шлаку (табл.3.2):

$$5,96 \cdot 44,01 / 56,08 = 4,68 \text{ кг}$$

$$\text{або } 4,68 \cdot 22,4 / 44,01 = 2,38 \text{ м}^3.$$

За кількістю компонентів газу, що відходить, обчислюють його склад і результати розрахунків подають у табл.4.5.

Таблиця 4.5 - Об'єм, кількість і склад газів, що утворюються під час повітряного дуття

Компоненти	Кількість		Вміст	
	м <sup>3</sup>	кг	% (за об'ємом)	% (за масою)
<i>SO<sub>2</sub></i>	10,78	30,86	13,92	27,22
<i>CO<sub>2</sub></i>	2,38	4,68	2,58	4,13
<i>O<sub>2</sub></i>	0,82	1,16	1,09	1,02
<i>N<sub>2</sub></i>	61,32	75,65	81,81	67,63
<i>Разом</i>	75,30	113,35	100,00	100,00

**Приклад 4.3 РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ГАЗІВ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ, ПІД ЧАС АВТОГЕННОГО ПЛАВЛЕННЯ НА ДУТТІ, ЗБАГАЧЕНОМУ КИСНЕМ**

Відповідно до завдання (додаток Н), вміст кисню в дутті складає 75 % (за об'ємом). Решта вихідних даних така ж як і в прикладі 4.2.

Порядок розрахунків залишається таким же. Необхідно перерахувати лише кількість азоту, що надходить із дуттям:

$$16,30 \cdot 25 / 75 = 5,43 \text{ м}^3$$

$$\text{або } 5,43 \cdot 28,0 / 22,4 = 6,79 \text{ кг.}$$

За кількістю компонентів газів, що відходять, розраховують їхній склад. Результати розрахунків наводять у табл.4.6.

Таблиця 4.6 - Об'єм, кількість і склад газів, що утворюються, під час збагачення дуття киснем

Компоненти	Кількість		Вміст	
	м <sup>3</sup>	кг	% (за об'ємом)	% (за масою)
<i>SO<sub>2</sub></i>	10,78	30,86	55,54	70,96
<i>CO<sub>2</sub></i>	2,38	4,68	12,26	10,76
<i>O<sub>2</sub></i>	0,82	1,16	4,23	2,67
<i>N<sub>2</sub></i>	5,43	6,79	27,97	15,61
<i>Разом</i>	19,41	43,49	100,00	100,00

Зіставлення даних, поданих у табл.4.5 і 4.6, свідчить, що під час плавлення на повітряному дутті об'єм технологічних газів, що утворюються, приблизно у 4,0 рази більший, а вміст двооксиду сірки в них у стільки ж разів нижчий, ніж під час плавлення на дутті, збагаченому (до 75 %) киснем. Це пояснюється змінюванням кількості азоту, що подається до печі з дуттям.

Технологічна робота на дутті, збагаченому киснем, забезпечує одержання меншого об'єму технологічних газів, що відходять, більш концентрованих за двооксидом сірки. Це дозволяє вилучати сірку з газів і тим самим виключати шкідливі викиди до навколишнього середовища. В той же час скорочуються капітальні та експлуатаційні витрати на систему видалення топкових газів і пиловловлювання.

Збагачення дуття киснем позитивно впливає на технологічний процес і в енергетичному відношенні, оскільки супроводжується зниженням втрат теплоти з технологічними газами, що утворюються та відходять.

## МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС МЕТАЛУРГІЙНОГО ПРОЦЕСУ

Складання повного матеріального балансу є кінцевою метою металургійних розрахунків. Для більшої наочності та точності матеріальний баланс складають не лише за матеріалами, але й за головними компонентами. Компоненти, які розподіляються за багатьма продуктами процесу або входять до складу різних сполук, під час складання балансу наводять у вигляді хімічних елементів. Компоненти, що переходять в один з продуктів металургійної переробки, подають у формі хімічних сполук (наприклад, двооксид кремнію, оксиди кальцію, магнію та інші сполуки, що утворюють шлаки).

Баланс подають у вигляді таблиць, приклад складання яких наведено в табл.5.1 та 5.2.

На автогенне плавлення мідного концентрату на повітряному дутті надходять (табл.5.1, частина «Поступило»):

- мідний концентрат, раціональний склад якого наведено в табл.1.3;
- конвертерний шлак (табл.2.3);
- кварцовий флюс (додаток К);
- вапняний флюс (додаток К);
- повітряне дуття.

За відомим складом кварцового та вапняного флюсів розраховують масову кількість кожного їхнього компоненту.

У балансі оксид заліза (II), що входить до складу кварцового флюсу, подають як окремі хімічні елементи (залізо та кисень).

Кількість заліза у зазначеному оксиді обчислюють за атомною масою заліза та молекулярною масою оксиду:

55,85 кг заліза входять до складу 71,85 кг оксиду заліза (II)

$X$  кг заліза входять до складу 0,81 кг оксиду заліза (II)

$$X_{Fe} = 0,63 \text{ кг.}$$

**Таблиця 5.1 - МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ АВТОГЕННОГО ПЛАВЛЕННЯ СУХОГО КОНЦЕНТРАТУ НА ДУТТЯ, ЩО ВМІЩУЄ 75 % КИСНЮ**

Статті балансу	Разом, кг	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Co</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>O<sub>2</sub></i>	<i>N<sub>2</sub></i>	Інші
Поступило												
<b>Концентрат</b>	100,00	28,00	5,40	0,80	20,30	27,70	1,00	1,74	1,39	2,00		11,68
<b>Конвертерний шлак</b>	8,56	0,21			3,94		2,48			1,67		0,26
<b>Кварцовий флюс</b>	20,34				0,30		16,27	2,03		0,18		1,23
<b>Вяпняк</b>	4,21						0,10	2,19		1,15		0,76
<b>Дуття</b>	30,07									23,28	6,79	
<b>Разом</b>	163,18	28,21	5,40	0,80	24,87	27,70	19,85	5,96	1,39	27,28	6,79	13,98
Одержано												
<b>Штейн</b>	49,32	27,62	2,99	0,60	3,96	12,33				0,58		1,23
<b>Шлак</b>	68,59	0,59	1,16	0,20	20,91		19,85	5,96	1,39	6,89		10,05
<b>Гази</b>	43,49					15,37				20,05	6,79	1,28
<b>Разом</b>	162,40	28,21	2,10	0,80	24,87	27,70	19,85	5,96	1,39	27,52	6,79	12,56

**Таблиця 5.2 – МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ВИТБИВНОГО ПЛАВЛЕННЯ МІДНОГО ОГАРКУ  
(КОНЦЕНТРАТУ)**

Ком- по- ненти	Поступило (прихід)					Одержано (витрата)							
	Огарок с флю- сами, кг	При- родний газ, кг	Повітря (з під- сосами), кг	Техніч- ний ки- сень, кг	Всього, кг	Штейн		Шлак		Гази		Втрати кг	Всього кг
						кг	%	кг	%	кг	%		
<b>Cu</b>	28,00				28,00	27,44	56,00	0,56	1,06				28,00
<b>Zn</b>	5,40				5,40	2,97	6,06	2,41	4,56				5,40
<b>Co</b>	0,80				0,80	0,60	1,22	0,20	0,38				0,80
<b>Fe</b>	20,93				20,93	3,94	8,04	16,99	32,19				20,93
<b>S</b>	27,70				27,70	12,25	25,00			15,45	0,96		27,70
<b>O<sub>2</sub></b>	3,33		332,97	68,00	404,30	0,58	1,18	7,91	14,98	396,39	24,71		404,30
<b>SiO<sub>2</sub></b>	17,37				17,37			17,37	32,90				17,37
<b>CaO</b>	5,96				5,96			5,96	11,29				5,96
<b>MgO</b>	1,39				1,39			1,39	2,64				1,39
<b>C</b>	0,78	64,83			65,61					65,20	4,06	-0,41	65,61
<b>H<sub>2</sub></b>		19,28			19,28					19,28	1,20		19,28
<b>N<sub>2</sub></b>		1,25	1096,24	3,12	1100,61					1100,61	68,57		1100,61
<b>Інші</b>	12,01				12,01	1,22		10,05				-0,74	12,01
<b>Разом</b>	123,65	85,36	1429,21	71,12	1709,34	49,00	100,00	54,91	100,00	1604,21	100,00	-1,15	1709,34

Примітка: неувязка  $(1708,19 - 1709,34) \cdot 100 \% / 1709,34 = 0,67 \%$



Вміст кисню в оксиді заліза (II) розраховують за різницею між загальною кількістю зазначеного оксиду та вмістом у йому заліза:

$$X_{O_2} = 0,18 \text{ кг.}$$

Повітряне дуття є сумішшю, що складається з кисню, загальна кількість якого потрібна для плавлення концентрату в печі (приклад 4.3), та азоту, що надходить до печі разом з цим киснем.

Після автогенного плавлення концентрату в печі одержано (табл. 5.1, частина «Одержано»):

- штейн (з урахуванням повернення до печі конвертерного шлаку), склад якого наведено в табл.2.4;

- відвальний шлак, склад якого подано в табл.3.2.;

- технологічні гази (табл.4.6).

Оксиди  $NiO$ ,  $ZnO$ ,  $PbO$ ,  $CoO$  і  $FeO$ , що входять до складу відвального шлаку, а також двооксиди сірки ( $SO_2$ ) та вуглецю ( $CO_2$ ) із складу технологічних газів, подають у балансі як окремі хімічні елементи.

На плавлення мідного концентрату у відбивній печі надходять (табл.5.2, частина «Поступило»):

- мідний концентрат разом з флюсами;

- природний газ, кількість та склад якого наведено в табл.4.2;

- технічний кисень (табл.4.3);

- повітря (з підсосами), кількість та склад якого подано в табл.4.3.

Після плавлення мідного концентрату у відбивній печі одержано (табл.5.2, частина «Одержано»):

- штейн (дивись табл.2.2);

- відвальний шлак (розрахунки його кількості та складу виконують як у наведених прикладах 3.1 та 3.2, але без врахування складу та кількості конвертерного шлаку);

- технологічні гази (табл.4.4).

Для матеріального балансу, що є правильно розрахованим, сумарна кількість матеріалів, які надходять на плавлення, та сумарна кількість одержаних продуктів плавлення дорівнюють одна одній або відрізняються не більше ніж на 2 % (неув'язка балансу). Якщо значення неув'язок перевищує зазначену кількість, то слід перевірити виконані розрахунки.

ДОДАТОК А

АТОМНІ ТА МОЛЕКУЛЯРНІ МАСИ ДЕЯКИХ ЕЛЕМЕНТІВ І  
МІНЕРАЛІВ (ХІМІЧНИХ СПОЛУК)

Хімічна формула	Молекулярна маса	Хімічна формула	Молекулярна маса
Al	26,98	FeS <sub>2</sub>	119,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	85,96	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	647,43
Ca	40,08	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	203,79
CaO	56,08	Mg	24,31
CaS	72,14	MgO	40,31
CaCO <sub>3</sub>	100,08	MgCO <sub>3</sub>	84,32
C	12,01	N <sub>2</sub>	28,00
CO <sub>2</sub>	44,01	Ni	58,71
Co	58,93	NiO	74,71
CoO	74,93	Ni <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	240,13
Co <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	305,03	NiS	90,77
Cu	63,55	Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	240,25
CuO	79,55	(Ni,Fe)S	146,62
Cu <sub>2</sub> O	143,10	O <sub>2</sub>	32,00
CuFeS <sub>2</sub>	183,52	Pb	207,19
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	501,84	PbO	223,19
CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	271,43	PbS	239,25
CuS	95,61	S <sub>2</sub>	64,12
Cu <sub>2</sub> S	159,16	SO <sub>2</sub>	96,12
Fe	55,85	SiO <sub>2</sub>	60,09
FeO	71,85	Zn	65,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159,70	ZnO	81,37
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	231,55	ZnS	97,43
FeS	87,91		

ДОДАТОК Б  
**ХІМІЧНИЙ СКЛАД РУДНОЇ СИРОВИНИ**

Номер варіанту	Скорочене найменування	Вміст, %									
		<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>Fe</b>	<b>S</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>MgCO<sub>3</sub></b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1	<b>МК</b>	17,80	1,60	0,20			29,50	34,30	2,50	3,50	2,10
2	<b>МК</b>	20,20			1,50	0,10	32,00	33,60	1,60	4,30	3,20
3	<b>МК</b>	19,10			1,70	0,10	31,60	33,80	0,40	2,60	2,30
4	<b>МК</b>	18,10			1,20	0,20	34,40	34,90	1,30	2,80	2,60
5	<b>МК</b>	21,50			0,80	0,20	32,70	33,40	0,30	3,20	2,20
6	<b>МК</b>	20,70	5,50	3,10			18,10	24,70	7,60	3,10	3,30
7	<b>МЦК</b>	9,50	8,40	0,50			29,10	35,40	3,50	4,20	2,50
8	<b>МК</b>	22,30	0,50				25,40	30,60	6,80	5,00	2,20
9	<b>МК</b>	24,40	0,40		1,30	0,20	30,20	33,30	1,30	3,20	1,30
10	<b>МК</b>	17,20	1,10	1,30			31,40	34,30	3,10	3,60	2,10
11	<b>МК</b>	18,40	1,00	0,50			27,10	30,60	5,40	4,50	2,40
12	<b>МК</b>	21,10	2,30	2,10			25,60	30,50	2,50	4,30	3,00
13	<b>МК</b>	20,40			1,70	0,20	29,20	32,70	2,50	3,20	2,30
14	<b>МК</b>	12,40	2,40	0,30			29,80	31,80	3,80	4,70	3,30
15	<b>МК</b>	22,20			0,80	0,40	28,10	32,90	4,40	3,40	2,20
16	<b>МК</b>	20,70	2,80	0,20			27,30	37,30	1,40	0,30	1,20
17	<b>МР</b>	6,60	1,40				23,40	27,10	8,80	5,60	4,70
18	<b>МЦК</b>	8,50	7,90	0,50			31,10	35,90	2,70	4,20	2,30
19	<b>МК</b>	18,40	1,60				27,50	30,20	5,30	4,80	2,00
20	<b>МК</b>	22,10	0,80				17,10	20,60	6,30	8,50	6,30
21	<b>МК</b>	27,20			1,40	0,30	26,40	28,80	2,30	3,30	1,20
22	<b>МНР</b>	5,70			4,90	0,10	20,20	23,50	17,50	4,80	4,50

### Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
23	МК	18,90	1,30	0,30			26,90	29,50	5,90	4,80	3,00
24	МНК	6,70			5,90	0,50	30,30	32,60	4,30	3,60	2,10
25	МК	20,50	1,20	0,40			26,80	29,20	4,50	3,30	2,40
26	МК	21,70	1,40	0,30			25,40	28,10	6,30	2,40	2,60
27	МНК	9,20			7,30	0,30	24,80	26,40	8,40	4,60	2,70
28	МК	19,30			1,70	0,40	32,10	34,70	0,80	2,50	2,20
29	МК	26,60			0,60	0,80	28,40	30,80	1,90	2,40	1,10
30	МК	17,80			1,30	0,60	31,40	33,50	0,80	2,20	2,20
31	МК	22,40	5,50	2,90			19,60	22,70	4,40	2,10	2,10
32	МЦК	10,10	9,30	0,80			27,60	30,30	4,50	3,40	2,50
33	МР	3,90	2,20	1,30			35,80	38,60	5,40	4,20	2,30
34	МК	25,40	1,50		1,10	0,20	30,20	32,10	0,90	2,20	1,10
35	МР	8,7					32,60	34,20	1,10	4,60	3,40
36	МК	19,50	2,10				28,10	32,20	5,50	4,30	1,70
37	МК	20,40	2,10	0,60			27,30	30,50	2,40	5,20	1,60
38	МК	21,40			1,20	1,10	34,50	35,60	0,50	2,10	0,50
39	МР	4,90	0,30				35,80	37,70	2,50	4,20	3,10
40	МК	22,00		1,0	1,60	0,80	30,40	32,90	0,70	2,30	1,10
41	МК	18,70	0,90	1,70			32,50	34,70	0,60	2,60	1,50
42	МК	17,50	0,40				24,10	27,30	13,00	4,30	4,90
43	МЦК	8,90	8,70	0,50			30,30	33,70	1,10	3,40	1,50
44	МК	15,30	2,10				25,20	27,10	12,50	6,90	2,70
45	МР	6,50	3,80				22,40	25,80	14,20	0,50	0,60
46	МК	24,20			1,30	0,40	31,70	32,30	0,40	3,10	1,20
47	МНР	8,70			5,20	0,20	27,40	29,50	10,20	3,60	2,10
48	МК	20,20	1,40	0,70			28,30	36,20	1,20	0,90	0,70

### Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
49	МНР	6,40			5,70	0,20	18,30	22,60	9,80	6,10	2,70
50	МР	4,50	1,20	0,40			35,60	38,20	6,10	3,80	1,50
51	МК	21,10	0,90	0,30			29,40	35,20	2,20	2,00	1,20
52	МК	25,40			1,60	0,30	31,30	34,10	0,20	2,10	0,90
53	МНК	7,80			5,20	0,20	38,10	40,70	0,80	2,50	2,10
54	МК	26,20			1,70	0,40	30,20	32,00	0,70	2,40	1,60
55	МНК	5,80			5,60	0,50	34,10	36,30	2,10	3,20	2,00
56	МК	22,60	2,80	1,90			26,70	29,50	2,70	2,60	2,10
57	МЦК	10,80	9,30	0,70			28,70	31,60	4,50	2,90	2,50
58	МР	3,80	1,50	0,60			37,20	40,70	3,00	3,20	3,10
59	МК	26,80	0,70				28,60	31,10	1,20	2,50	2,70
60	МК	16,70	0,90	1,50			35,20	37,40	0,60	2,20	1,40
61	МК	20,40	2,50				32,00	35,60	0,30	2,00	1,10
62	МК	23,60	2,20	1,70			30,60	31,30	0,50	2,80	1,60
63	МК	22,20				0,20	30,80	33,10	1,20	3,10	2,50
64	МК	15,20		0,90			28,90	31,30	6,50	4,00	2,90
65	МНК	7,10			7,50	0,50	22,70	28,50	2,10	3,40	2,20
66	МЦК	9,30	8,20				31,00	35,10	4,20	3,90	1,60
67	МК	19,80	1,30				28,00	31,60	2,50	4,10	3,00
68	МЦК	9,40	7,50	0,60			28,70	32,10	3,60	5,50	2,20
69	МК	17,80	2,20				28,40	30,90	8,80	2,30	1,80
70	МР	2,90	1,80				35,40	39,30	7,10	3,40	2,80
71	МК	25,00			1,30	0,60	31,20	33,60	0,30	2,50	0,70
72	МНР	4,40			1,40	0,50	31,40	33,50	9,20	4,80	3,50
73	МЦК	7,50	9,10	0,70			30,20	34,30	0,90	5,10	1,70
74	МК	25,60			1,10	0,40	25,50	29,60	1,10	2,80	2,20

### Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
75	МЦК	10,30	8,70	1,50			30,20	31,30	1,3	2,50	2,30
76	МР	8,10	2,10				22,50	26,40	21,90	4,60	3,10
77	МК	27,60			1,30	0,60	29,10	30,30	0,80	2,40	1,60
78	МК	21,50			1,70	0,40	33,60	35,10	0,50	2,10	0,70
79	МНР	6,90			6,40	0,30	27,90	35,70	4,90	3,20	3,10
80	МК	25,20			1,00	0,50	31,70	33,50	0,10	2,00	1,50
81	МК	21,40	4,20	3,30			20,30	24,50	6,70	5,50	3,80
82	МЦК	9,60	8,80	0,40			29,60	37,80	2,60	2,30	2,10
83	МК	21,20	1,40	0,60			29,30	33,20	3,10	2,70	1,90
84	МК	26,30	1,30		1,20	0,20	28,90	34,50	0,40	2,10	1,50
85	МК	20,10	1,50				29,60	38,70	0,30	2,50	2,00
86	МК	19,00	0,60				26,70	31,20	7,70	3,60	3,20
87	МК	24,20	0,40	1,30			25,50	29,10	5,00	2,80	2,10
88	МНК	7,40			5,90	0,20	27,20	29,30	8,20	4,20	3,30
89	МК	14,60		1,40			31,70	34,10	5,80	3,10	1,80
90	МНР	3,80			3,30	0,70	38,10	39,90	0,60	2,90	2,00
91	МР	4,50	0,70	0,80			36,80	39,30	2,50	3,60	3,10
92	МЦК	9,30	8,60				30,50	35,10	3,00	2,80	2,20
93	МР	5,10	1,50	1,40			32,10	34,80	8,50	4,60	2,30
94	МК	20,20	1,40	0,70			21,00	24,70	11,00	5,10	4,20
95	МК	17,60	1,80				32,80	35,20	1,10	2,30	2,10
96	МК	24,10			0,70	0,60	24,70	28,30	6,50	3,30	2,20
97	МНР	4,20			3,90	1,70	35,50	38,20	0,60	2,70	2,50
98	МЦК	5,50	6,10	1,30			26,70	35,10	7,10	4,10	2,80
99	МНК	8,20			6,30	1,30	27,80	32,30	4,10	2,60	2,10
100	МК	18,80	1,30	0,30			27,10	30,20	3,2	3,00	2,20

### Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
101	МК	21,20	1,60	0,40			30,60	38,30	0,10	2,10	0,60
102	МК	27,00			1,20	0,50	30,20	31,60	0,50	1,40	1,10
103	МК	22,40			1,50	0,40	31,00	34,20	0,40	2,40	1,00
104	МК	27,10			1,90	0,30	30,60	32,10	0,30	2,10	0,70
105	МК	25,00			1,20	0,30	31,40	34,30	1,10	1,20	0,50
106	МР	10,10	1,10			0,40	22,20	25,70	10,30	6,40	5,10
107	МЦК	8,90	7,80	0,80			32,20	37,40	2,40	2,10	1,10
108	МР	4,60	1,30	1,60			34,80	36,50	4,70	2,60	3,00
109	МР	4,80	0,80		1,30	1,40	32,80	36,20	6,50	4,90	2,60
110	МР	7,50	0,60	0,50			26,60	29,10	10,20	5,10	4,70
111	МР	6,20	0,70	0,40			21,80	24,60	21,20	6,40	3,20
112	МЦК	9,00	8,60	0,50			27,80	30,50	6,10	4,60	2,80
113	МК	19,10			1,50	0,80	30,70	32,10	1,20	3,50	2,60
114	МР	3,80					34,50	39,40	1,50	2,30	1,70
115	МК	20,10			1,70	0,60	28,80	30,60	0,90	3,00	2,10
116	МК	18,30	2,10	0,40			30,60	34,30	3,20	2,20	1,30
117	МР	5,10	0,70				27,60	29,10	12,40	4,50	2,60
118	МК	17,20	1,10	0,80			26,20	30,20	2,30	3,30	2,20
119	МЦК	8,50	9,30	2,10			28,90	32,60	6,20	2,80	2,00
120	МР	4,10	1,50				32,70	34,50	2,40	1,60	1,00
121	МК	19,10			1,60	0,70	29,60	32,40	5,00	1,90	1,60
122	МК	17,60			2,10	0,60	29,80	33,10	3,00	4,10	2,50
123	МР	4,70	1,50	0,20			36,10	38,30	7,20	2,50	2,10
124	МНР	7,30			5,50	2,70	29,60	32,80	8,00	1,900	1,70
125	МР	3,80	2,10	0,90			32,30	35,10	5,50	2,90	2,60
126	МК	18,20	1,50				27,20	31,30	5,20	2,80	1,30



### Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
127	МК	26,50			1,90	0,60	30,80	31,40	1,50	1,50	0,80
128	МК	25,10			1,70	0,40	32,00	34,60	0,30	1,30	1,10
129	МК	24,20			1,50	0,60	30,20	34,80	0,20	2,30	0,60
130	МНК	6,50			4,70	0,50	31,50	35,50	3,10	3,40	2,80
131	МК	22,30	3,10	1,80			21,00	22,90	5,60	4,90	3,70
132	МЦК	9,70	7,90	1,30			29,60	39,20	2,40	2,30	2,00
133	МР	5,20	1,70	0,60			33,40	35,30	5,50	3,80	2,50
134	МР	4,90	1,50		0,30	0,30	32,50	33,90	8,10	2,70	3,10
135	МР	4,10	2,10				23,80	27,60	9,80	6,30	4,20
136	МК	16,70	2,60				25,30	29,60	3,30	5,50	5,10
137	МР	3,30	0,90	0,50			33,90	35,00	8,20	6,60	1,50
138	МНК	7,60			5,70	0,80	34,50	37,20	1,30	2,10	1,80
139	МК	14,80		1,30			33,30	36,60	1,70	3,20	1,70
140	МК	21,10			0,50	0,60	28,10	31,20	3,20	3,70	1,40
141	МЦК	10,20	9,60	0,70			26,50	30,90	6,10	4,60	2,80
142	МК	17,80	2,20				25,50	28,60	4,60	3,60	2,30
143	МР	4,20	1,80	1,30			27,20	29,40	9,10	4,90	3,10
144	МР	5,20	1,90				30,30	31,40	14,10	3,80	2,60
145	МР	4,80	0,70				29,80	33,70	10,00	4,30	2,40

\*) Примітка: **МК** – мідний концентрат; **МЦК** – мідно-цинковий концентрат;  
**МНК** – мідно-нікелевий концентрат; **МР** – мідна руда;  
**МНР** – мідно-нікелева руда

**ДОДАТОК В**  
**НАЯВНІСТЬ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ**  
 (“ \* ” - присутній, пуста комірка - відсутній)

№№ вар.	Мінерал										
	CuFeS <sub>2</sub>	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Cu <sub>2</sub> S	CuS	ZnS	PbS	(Ni,Fe)S	Co <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	FeS <sub>2</sub>	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	*	*		*		*	*			*	
2	*		*					*	*		*
3	*	*						*	*	*	
4	*				*			*	*		*
5	*		*					*	*	*	
6	*				*	*	*				*
7	*			*		*	*			*	
8	*			*		*					*
9	*				*	*		*	*		*
10	*		*		*	*	*			*	
11	*			*	*	*	*				*
12	*			*	*	*	*			*	
13	*		*					*	*		*
14	*	*		*		*	*			*	
15	*	*	*					*	*	*	
16	*			*	*	*	*				*
17	*	*		*	*	*				*	
18	*				*	*	*				*
19	*		*	*	*	*				*	
20	*	*		*		*					*
21	*	*			*			*	*	*	
22	*		*	*				*	*		*
23	*		*		*	*	*			*	
24	*	*		*				*	*		*
25	*			*	*	*	*			*	
26	*			*	*	*	*		*	*	
27	*		*					*	*		*
28	*	*						*	*		*
29	*		*					*	*	*	
30	*		*					*	*		*
31	*			*		*	*			*	
32	*			*		*	*				*
33	*				*	*	*			*	
34	*					*		*	*		*
35	*	*		*		*				*	
36	*			*	*	*					*

### Продовження додатку В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37	*		*			*	*			*	
38	*			*				*	*	*	
39	*	*			*						*
40	*		*	*			*	*	*	*	
41	*		*	*		*	*				*
42	*	*		*	*	*				*	
43	*				*	*	*				*
44	*		*	*	*	*				*	
45	*	*		*		*					*
46	*		*		*			*	*	*	
47	*	*		*				*	*		*
48	*		*		*	*	*			*	
49	*		*	*				*	*		*
50	*			*	*	*	*			*	
51	*		*		*	*	*			*	
52	*	*						*	*		*
53	*		*					*	*	*	
54	*			*				*	*		*
55	*		*					*	*	*	
56	*			*		*	*				*
57	*					*	*			*	
58	*				*	*	*				*
59	*					*		*	*		*
60	*	*		*		*	*			*	
61	*		*		*	*				*	
62	*			*		*	*			*	
63	*			*				*	*		*
64	*	*			*		*			*	
65	*		*		*			*	*		*
66	*			*	*	*	*			*	
67	*	*		*	*	*					*
68	*			*	*	*	*			*	
69	*		*	*	*	*					*
70	*	*		*		*				*	
71	*	*			*				*		*
72	*			*	*			*	*	*	
73	*		*		*	*	*				*
74	*	*			*			*	*	*	

### Продовження додатку В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
75	*			*	*	*	*				*
76	*		*		*	*				*	
77	*		*					*	*		*
78	*	*						*	*	*	
79	*		*					*	*	*	
80	*	*						*	*	*	
81	*			*		*	*			*	
82	*					*	*				*
83	*		*		*	*	*			*	
84	*					*		*	*		*
85	*			*	*	*				*	
86	*			*	*	*					*
87	*			*		*	*				*
88	*				*			*	*	*	
89	*	*		*			*				*
90	*	*	*					*	*	*	
91	*			*	*	*	*			*	
92	*	*		*	*	*					*
93	*			-	*	*	*			*	
94	*		*	*	*	*	*				*
95	*	*		*		*				*	
96	*		*					*	*		*
97	*			*	*			*	*	*	
98	*		*		*	*	*				*
99	*	*	*					*	*	*	
100	*			*	*	*	*				*
101	*		*	*		*	*			*	
102	*	*						*	*		*
103	*			*				*	*		*
104	*		*					*	*	*	
105	*	*						*	*		*
106	*			*		*			*		*
107	*				*	*	*			*	
108	*		*			*	*				*
109	*					*		*	*	*	
110	*			*	*	*	*			*	
111	*		*		*	*	*				*
112	*			*		*	*			*	
113	*		*					*	*		*

### Продовження додатку В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
114	*	*			*					*	
115	*		*	*				*	*		*
116	*			*	*	*	*				*
117	*	*		*	*	*				*	
118	*		*	*	*	*	*			*	
119	*				*	*	*				*
120	*	*		*		*				*	
121	*	*			*			*	*	*	
122	*		*	*				*	*		*
123	*	*			*	*	*			*	
124	*		*	*				*	*		*
125	*			*	*	*	*				*
126	*	*			*	*				*	
127	*		*					*	*		*
128	*	*						*	*	*	
129	*		*		*			*	*		*
130	*		*					*	*	*	
131	*			*		*	*			*	
132	*				*	*	*				*
133	*				*	*	*			*	
134	*					*		*	*		*
135	*	*		*		*				*	
136	*			*	*	*					*
137	*		*			*	*				*
138	*			*				*	*	*	
139	*	*			*		*				*
140	*		*		*			*	*	*	
141	*			*	*	*	*				*
142	*	*	*	*		*				*	
143	*				*	*	*				*
144	*		*	*	*	*				*	
145	*	*		*		*					*

ДОДАТОК Г

**ДОДАТКОВІ УМОВИ  
ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ**

№№ п/п	Додаткові умови
<b>1</b>	<b>2</b>
1	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} = 3,0 : 1,5 : 1,2$
2	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 9,0 : 2,7$ . В $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 1,5 : 2,5$
3	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 = 12,0 : 7,7$ ; $\text{Ni} - 35\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
4	$75\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ ; в $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 3,0 : 1,5$
5	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 7,5 : 4,6$ ; $\text{Ni} - 30\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
6	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuS} = 15,0 : 3,5$
7	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині – $55\%$
8	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} = 1,5 : 1,1$
9	$55\% \text{Cu}$ в $\text{CuS}$ ; в $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 2,5 : 2,2$
10	$35\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ , $25\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuS}$
11	$25\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ , $40\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFe}_2\text{S}_3$
12	$80\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ , $15\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuS}$
13	$65\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ ; $\text{Ni} - 35\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
14	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} = 3,0 : 2,5 : 1,6$
15	$70\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ ; $20\% \text{Cu} - \text{в } \text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ; $\text{Ni} - 55\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
16	$30\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ , решта $\text{Cu} - \text{в } \text{Cu}_2\text{S}$ наполовину з $\text{CuS}$
17	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 11,0 : 9,1 : 6,5 : 3,0$
18	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині – $55\%$
19	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 9,0 : 7,2 : 4,5 : 2,5$
20	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} = 3,0 : 1,2 : 2,5$
21	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 6,0 : 5,5 : 4,5$ ; $(\text{Ni},\text{Fe})\text{S} = \text{Ni}_2\text{FeS}_3$
22	$85\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ ; $5,5\% \text{Cu} - \text{в } \text{Cu}_2\text{S}$ ; $\text{Ni} - 25\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
23	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{CuS} = 8,0 : 1,6 : 5,5$
24	$35\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ ; $45\% \text{Cu} - \text{в } \text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ; $\text{Ni} - 45\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
25	$60\% \text{Cu} - \text{в } \text{Cu}_2\text{S}$ ; остальна $\text{Cu} - \text{решта}$ в $\text{CuFeS}_2$ наполовину з $\text{CuS}$
26	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 6,5 : 4,0 : 1,9$
27	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 13,0 : 7,0$ . В $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 2,5 : 1,0$
28	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 = 7,0 : 9,0$ ; $\text{Ni} - 30\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
29	$55\% \text{Cu} - \text{в } \text{CuFeS}_2$ ; в $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 1,0 : 2,5$
30	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 3,5 : 1,0$ . $\text{Ni} - 45\% [(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
31	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} = 5,0 : 7,0$
32	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині - $65\%$

Продовження додатку Г

1	2
33	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuS} = 8,5 : 7,0$
34	В $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 2,5 : 4,4$
35	65 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ ; 15 % $\text{Cu}$ - в $\text{Cu}_2\text{S}$
36	55 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ ; 25 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuS}$
37	45 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$
38	70 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ ; $\text{Ni}$ - 33 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
39	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{CuS} = 2,0 : 3,7 : 1,5$
40	55 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ ; 45 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ . $\text{Ni}$ - 42 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
41	60 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ ; решта $\text{Cu}$ - в $\text{Cu}_2\text{S}$ наполовину з $\text{CuS}$
42	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 9,0 : 8,6 : 4,5 : 2,1$
43	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині - 55 %
44	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 4,0 : 6,6 : 3,5 : 1,5$
45	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} = 6,0 : 4,5 : 2,6$
46	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{CuS} = 3,0 : 5,5 : 4,2$ . $(\text{Ni},\text{Fe})\text{S} = \text{NiFeS}_2$
47	65 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ , 10 % $\text{Cu}$ - в $\text{Cu}_2\text{S}$ . $\text{Ni}$ - 45 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
48	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{CuS} = 11,0 : 1,0 : 6,6$ .
49	35 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ , 45 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ . $\text{Ni}$ - 52 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
50	46 % $\text{Cu}$ - в $\text{Cu}_2\text{S}$ ; решта $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ наполовину з $\text{CuS}$
51	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{CuS} = 2,5 : 6,5 : 1,2$
52	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 = 4,0 : 9,5$ . В $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 1,5 : 2,6$
53	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 6,5 : 5,4$ . $\text{Ni}$ - 35 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
54	90 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ ; в $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 2,5 : 1,6$
55	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 9,0 : 1,7$ . $\text{Ni}$ - 40 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
56	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} = 6,0 : 1,9$
57	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині - 45 %
58	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuS} = 8,0 : 3,7$
59	В $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$ : $\text{Ni} : \text{Fe} = 1,5 : 3,4$
60	35 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ , 25 % $\text{Cu}$ - в $\text{Cu}_2\text{S}$
61	25 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ , 30 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuS}$
62	85 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$
63	45 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ . $\text{Ni}$ - 55 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
64	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{CuS} = 2,0 : 5,4 : 3,5$
65	35 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ , 15 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ . $\text{Ni}$ - 45 % $[(\text{Ni},\text{Fe})\text{S}]$
66	20 % $\text{Cu}$ - в $\text{CuFeS}_2$ ; решта $\text{Cu}$ - в $\text{Cu}_2\text{S}$ наполовину з $\text{CuS}$
67	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 5,0 : 2,5 : 1,7 : 0,5$
68	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині - 55 %
69	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 4,0 : 4,4 : 3,5 : 2,2$
70	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} = 7,0 : 5,5 : 3,2$

Продовження додатку Г

1	2
71	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{CuS} = 4,0 : 6,5 : 1,3$
72	70 % Cu - в $\text{CuFeS}_2$ , 4,5 % Cu - в $\text{Cu}_2\text{S}$ . Ni - 25% [(Ni,Fe)S]
73	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{CuS} = 9,0 : 7,0 : 5,0$
74	45 % Cu - в $\text{CuFeS}_2$ , 35 % - в $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ . (Ni,Fe)S = $\text{Ni}_2\text{Fe}_2\text{S}_3$
75	55 % Cu - в $\text{Cu}_2\text{S}$ ; решта Cu - в $\text{CuFeS}_2$ наполовину з CuS
76	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{CuS} = 2,6 : 1,5 : 0,5$
77	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 11,0 : 6,0$ . В [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 1,5 : 1,2
78	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 = 9,0 : 1,0$ . Ni - 25 % [(Ni,Fe)S]
79	65 % Cu - в $\text{CuFeS}_2$ ; в [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 1,0 : 1,5
80	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 = 7,0 : 4,6$ . Ni - 33 % [(Ni,Fe)S]
81	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} = 12,0 : 1,6$
82	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині - 60 %
83	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 5,5 : 3,8$
84	В [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 2,0 : 2,3
85	25 % Cu - в $\text{CuFeS}_2$ , 35 % Cu - в $\text{Cu}_2\text{S}$
86	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 7,5 : 5,4 : 2,6$
87	80 % Cu в $\text{CuFeS}_2$
88	75 % Cu в $\text{CuFeS}_2$ . Ni - 30 % [(Ni,Fe)S]
89	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} = 4,0 : 5,5 : 1,0$
90	80 % Cu в $\text{CuFeS}_2$ , 7% Cu - в $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ Ni - 45 % [(Ni,Fe)S]
91	50 % Cu в $\text{CuFeS}_2$ , решта Cu - в $\text{Cu}_2\text{S}$ наполовину з CuS
92	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 12,0 : 7,4 : 2,5 : 1,0$
93	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині - 50 %
94	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{Cu}_2\text{S} : \text{CuS} = 9,2 : 7,5 : 3,0 : 2,5$
95	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 : \text{Cu}_2\text{S} = 10,0 : 7,2 : 1,0$
96	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 11,0 : 7,8$ . (Ni,Fe)S = $\text{NiFe}_2\text{S}_2$
97	75 % Cu в $\text{CuFeS}_2$ , 10 % Cu - в $\text{Cu}_2\text{S}$ . Ni - 25 % [(Ni,Fe)S]
98	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{CuS} = 13,0 : 6,0 : 1,5$
99	40 % Cu в $\text{CuFeS}_2$ , 35 % Cu - в $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ . Ni - 30 % [(Ni,Fe)S]
100	50 % Cu - в $\text{Cu}_2\text{S}$ ; решта Cu - в $\text{CuFeS}_2$ наполовину з CuS
101	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 : \text{Cu}_2\text{S} = 3,5 : 2,7 : 1,3$
102	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 = 17,0 : 8,0$ . В [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 2,7 : 1,8
103	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} = 11,0 : 6,0$ . Ni - 45 % [(Ni,Fe)S]
104	55 % Cu в $\text{CuFeS}_2$ ; в [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 1,7 : 2,0
105	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_5\text{FeS}_4 = 8,0 : 7,0$ . Ni - 25 % [(Ni,Fe)S]
106	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{Cu}_2\text{S} = 7,0 : 3,0$
107	Частка $\text{FeS}_2$ в сировині - 55 %
108	Відношення мас $\text{CuFeS}_2 : \text{CuFe}_2\text{S}_3 = 1,4 : 1,0$



Продовження додатку Г

1	2
109	В [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 1,0 : 1,3
110	70 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> , 25 % Cu – в Cu <sub>2</sub> S
111	30 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> , 15 % Cu – в CuS
112	85 % Cu в CuFeS <sub>2</sub>
113	60 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> . Ni – 15 % [(Ni,Fe)S]
114	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : CuS = 5,0 : 4,1 : 3,5
115	55 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> , 35 % Cu – в CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> . Ni – 25 % [(Ni,Fe)S]
116	45 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> ; решта Cu – в Cu <sub>2</sub> S наполовину з CuS
117	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : Cu <sub>2</sub> S : CuS = 7,0 : 6,3 : 1,8 : 1,5
118	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> : Cu <sub>2</sub> S : CuS = 5,5 : 3,6 : 2,6 : 1,8.
119	Частка FeS <sub>2</sub> в сировині – 55 %
120	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : Cu <sub>2</sub> S = 9,0 : 7,4 : 2,4
121	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> = 12,0 : 2,1 : 2,4. (Ni,Fe)S = Ni <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
122	45 % Cu - в CuFeS <sub>2</sub> , 15 % Cu – в Cu <sub>2</sub> S. Ni – 32 % [(Ni,Fe)S]
123	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : CuS = 8,0 : 6,5 : 2,8
124	60 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> , 35 % Cu – в CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> . Ni – 40 % [(Ni,Fe)S]
125	30 % Cu – в Cu <sub>2</sub> S. Решта Cu – в CuFeS <sub>2</sub> наполовину з CuS
126	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : CuS = 1,9 : 1,7 : 0,2
127	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> = 8,0 : 5,5. В [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 1,4 : 1,1
128	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> = 9,0 : 6,7. Ni – 20 % [(Ni,Fe)S]
129	85 % Cu – в CuFeS <sub>2</sub> ; в [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 1,2 : 2,5
130	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> = 16,0 : 9,5. Ni – 45 % [(Ni,Fe)S]
131	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>2</sub> S = 12,0 : 2,7
132	Частка FeS <sub>2</sub> в сировині – 45 %
133	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : CuS = 1,7 : 0,3
134	В [(Ni,Fe)S]: Ni : Fe = 1,5 : 2,1
135	40 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> , 15 % Cu – в Cu <sub>2</sub> S
136	65 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> , 20 % Cu – в CuS
137	70 % Cu в CuFeS <sub>2</sub>
138	80 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> ; Ni – 36 % [(Ni,Fe)S]
139	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : CuS = 6,0 : 4,3 : 1,0
140	55 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> , 40 % Cu – в CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> . Ni – 42 % [(Ni,Fe)S]
141	65 % Cu в CuFeS <sub>2</sub> ; решта Cu – в Cu <sub>2</sub> S наполовину з CuS
142	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> : Cu <sub>2</sub> S = 7,0 : 5,5 : 4,7 : 1,8
143	Частка FeS <sub>2</sub> в сировині – 50 %
144	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> : Cu <sub>2</sub> S : CuS = 6,5 : 4,0 : 3,1 : 2,0
145	Відношення мас CuFeS <sub>2</sub> : Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> : Cu <sub>2</sub> S = 7,0 : 5,0 : 1,0

ДОДАТОК Д

**РОЗРАХУНКОВИЙ СКЛАД МІДНИХ ШТЕЙНІВ**

Вміст, % (за масою):						
елементів				КОМПОНЕНТІВ		
<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>S</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>Cu<sub>2</sub>S</b>	<b>FeS</b>	<b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>
10	57,66	25,8	6,54	12,52	63,9	23,6
20	49,32	25,3	5,38	25,04	55,6	19,4
30	41,00	24,8	4,21	37,56	47,3	15,2
40	32,68	24,3	3,02	50,08	39,0	10,9
45	28,51	24,0	2,49	56,34	34,7	9,0
50	24,80	23,3	1,90	62,50	31,2	6,3
60	16,20	23,1	0,70	75,00	22,6	2,4

ДОДАТОК Ж  
ВИХІДНІ ДАННІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ КІЛЬКОСТІ  
ТА СКЛАДУ ШТЕЙНУ

№№ вар.	Видобування до штейну, %					Cu <sub>шт.</sub> %	Склад конвертерного шлаку, %					Ви- доб. Cu, %
	Cu	Zn	Ni	Co	Pb		Cu	Fe	SiO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	інші	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
1	95,0	65,0			55,0	40,0	4,8	54,0	20,0	17,0	4,2	77,0
2	97,0		94,0	85,0		55,0	4,5	56,0	16,0	21,0	2,5	85,0
3	96,0		95,0			48,0	4,2	57,0	15,0	23,0	0,8	83,5
4	94,0		85,0			45,0	4,0	58,0	16,0	21,0	1,0	84,5
5	97,0			75,0		57,0	4,4	57,0	17,0	20,0	1,6	85,0
6	98,0	65,0				54,0	4,3	55,0	18,0	19,0	3,7	84,0
7	95,0	55,0			65,0	35,0	4,1	54,0	18,0	20,0	3,9	82,5
8	93,0	70,0				55,0	4,2	54,0	19,0	19,0	2,8	86,0
9	97,5	75,0	90,0			60,0	4,8	55,0	18,0	20,0	2,2	84,5
10	94,5				85,0	42,0	4,6	52,0	19,0	19,0	5,4	83,0
11	95,0	70,0			80,0	44,0	4,5	54,0	20,0	20,0	1,5	86,0
12	96,0	65,0			85,0	57,0	4,1	50,0	23,0	19,0	3,9	82,5
13	99,0		80,0	65,0		55,0	4,7	54,0	19,0	19,0	3,3	85,5
14	97,0	80,0				32,0	4,8	53,0	18,0	19,0	5,2	82,5
15	98,0		85,0			58,0	4,2	51,0	22,0	19,0	3,8	84,0
16	94,0				75,0	56,0	4,1	51,0	24,0	18,0	2,9	82,0
17	95,0	65,0				26,0	4,3	50,0	24,0	17,0	4,7	88,5
18	94,0	75,0			85,0	29,0	4,4	53,0	23,0	17,0	2,6	81,5
19	93,0	70,0				51,0	4,5	52,0	22,0	18,0	3,5	83,0
20	96,5	80,0				59,0	4,5	53,0	21,0	19,0	2,5	91,0
21	97,0			65,0		60,0	2,7	53,0	20,0	17,0	5,3	92,0
22	98,0		80,0			35,0	4,8	53,0	20,0	20,0	2,2	81,0
23	92,5	75,0			79,0	44,0	4,9	54,0	19,0	20,0	2,1	95,5
24	93,5		70,0	85,0		31,0	4,0	53,0	20,0	20,0	3,0	80,5
25	94,0				70,0	42,0	4,2	54,0	19,0	21,0	1,8	91,5
26	95,5	60,0			75,0	46,0	4,3	55,0	20,0	18,0	2,7	80,0
27	96,0		92,0	55,0		25,0	4,3	54,0	19,0	18,0	4,7	89,5
28	97,5		80,0			56,0	4,4	56,0	17,0	20,0	2,6	79,5
29	98,0			85,0		47,0	4,5	53,0	21,0	20,0	1,5	88,5
30	92,5		75,0	55,0		52,0	4,3	57,0	19,0	17,0	2,7	79,0
31	94,0	65,0			70,0	33,0	4,6	58,0	17,0	20,0	0,4	89,0
32	98,5	80,0				25,0	4,7	57,0	17,0	21,0	0,3	78,5
33	97,0				80,0	58,0	4,0	55,0	21,0	19,0	1,0	79,0
34	96,5	55,0	90,0			43,0	4,6	52,0	20,0	21,0	2,4	78,5
35	94,0	65,0				49,0	4,1	51,0	23,0	19,0	2,9	93,0

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36	98,0	75,0				50,0	4,2	54,0	19,0	19,0	3,8	85,0
37	94,5	60,0			85,0	51,0	4,1	55,0	18,0	21,0	1,9	90,5
38	97,0		75,0	70,0		24,0	4,8	53,0	18,0	20,0	4,2	84,5
39	95,5					53,0	4,7	51,0	20,0	21,0	3,3	93,0
40	96,0		85,0			48,0	4,5	53,0	23,0	18,0	1,5	83,5
41	92,5				75,0	46,0	4,2	57,0	16,0	22,0	1,8	94,0
42	95,0	65,0				27,0	4,3	54,0	17,0	20,0	3,7	85,5
43	93,0	65,0			70,0	42,0	4,2	56,0	19,0	19,0	1,8	85,5
44	93,5	70,0				36,0	4,0	53,0	20,0	20,0	3,0	83,5
45	94,5	55,0				58,0	4,9	51,0	21,0	20,0	3,1	85,0
46	95,0		85,0	75,0		22,0	4,8	51,0	23,0	19,0	2,2	83,0
47	96,5			80,0		47,0	2,6	51,0	24,0	19,0	1,4	86,5
48	97,0	65,0			85,0	34,0	4,4	50,0	25,0	20,0	0,6	82,0
49	98,5		80,0	75,0		28,0	4,2	53,0	19,0	21,0	2,8	92,0
50	92,5				90,0	53,0	4,1	52,0	22,0	20,0	1,9	83,5
51	93,5	75,0				58,0	4,5	54,0	20,0	19,0	2,5	92,5
52	94,5			55,0		21,0	4,7	53,0	21,0	20,0	1,3	84,5
53	95,5		65,0	70,0		60,0	4,5	51,0	23,0	19,0	2,5	89,0
54	96,5		85,0			28,0	4,0	53,0	19,0	21,0	3,0	81,0
55	97,5			75,0		49,0	4,8	51,0	23,0	19,0	2,2	90,5
56	98,0	70,0			65,0	32,0	4,1	53,0	22,0	19,0	1,9	82,5
57	92,5				75,0	22,0	4,2	51,0	24,0	18,0	2,8	91,0
58	93,0	80,0				60,0	4,3	52,0	22,0	19,0	2,7	80,0
59	94,5	60,0	85,0	70,0		41,0	4,4	53,0	23,0	18,0	1,6	88,0
60	95,5				75,0	44,0	4,5	54,0	19,0	21,0	1,5	79,5
61	96,5	65,0				55,0	4,6	52,0	20,0	19,0	4,4	80,5
62	97,5				50,0	54,0	4,7	51,0	21,0	22,0	1,3	79,5
63	98,5		60,0			35,0	4,8	54,0	19,0	20,0	2,2	78,5
64	92,5				65,0	20,0	4,9	54,0	20,0	19,0	2,1	79,0
65	93,5					24,0	4,0	55,0	19,0	21,0	1,0	82,0
66	94,5	55,0			60,0	48,0	4,1	54,0	19,0	20,0	2,9	78,5
67	95,5	50,0				28,0	4,2	53,0	20,0	19,0	3,8	79,5
68	96,5				75,0	37,0	4,3	56,0	18,0	20,0	1,7	78,0
69	97,0	65,0				18,0	4,4	53,0	21,0	19,0	2,6	82,0
70	99,0	85,0				59,0	4,5	55,0	17,0	21,0	2,5	80,0
71	92,5		95,0	80,0		16,0	4,4	57,0	18,0	19,0	1,6	87,5
72	93,5			75,0		30,0	4,7	56,0	17,0	21,0	1,3	78,0
73	94,5				80,0	60,0	4,8	55,0	19,0	20,0	1,2	83,5
74	96,0		85,0			35,0	4,9	52,0	20,0	20,0	3,1	77,0

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
75	97,0	70,0			65,0	27,0	4,6	50,0	23,0	19,0	3,4	86,5
76	98,0	65,0				60,0	4,7	52,0	18,0	20,0	5,3	76,5
77	99,0		70,0	85,0		54,0	4,0	51,0	24,0	20,0	1,0	92,0
78	92,0		60,0			15,0	4,0	56,0	19,0	19,0	2,0	83,0
79	93,0			80,0		59,0	4,5	51,0	22,0	21,0	1,5	94,5
80	94,5		85,0	65,0		51,0	4,0	54,0	19,0	21,0	2,0	81,0
81	95,5	55,0			65,0	36,0	4,1	53,0	21,0	19,0	2,9	90,0
82	96,0				70,0	43,0	4,4	55,0	18,0	20,0	2,6	79,0
83	97,5	75,0			80,0	56,0	4,3	56,0	17,0	21,0	1,7	76,5
84	98,0		85,0	70,0		52,0	4,2	55,0	19,0	21,0	0,8	77,0
85	99,5	65,0				49,0	4,1	54,0	20,0	20,0	1,9	78,5
86	92,0	75,0				47,0	4,9	52,0	19,0	20,0	4,1	75,0
87	93,0				75,0	45,0	4,7	53,0	20,0	21,0	1,3	83,5
88	94,5		65,0			56,0	4,5	55,0	20,0	18,0	2,5	78,0
89	95,5	55,0				23,0	4,0	53,0	19,0	21,0	3,0	77,5
90	96,5			60,0		20,0	4,8	51,0	21,0	19,0	4,2	77,0
91	97,5	65,0			50,0	23,0	4,1	51,0	25,0	18,0	1,9	75,5
92	98,5	60,0				32,0	4,2	51,0	24,0	18,0	2,8	77,0
93	92,0	45,0			65,0	39,0	4,4	52,0	23,0	18,0	2,6	77,5
94	93,5				50,0	44,0	4,4	52,0	17,0	19,0	7,6	76,5
95	94,0	55,0				37,0	4,5	53,0	22,0	19,0	1,5	77,0
96	95,5		75,0	70,0		48,0	4,6	53,0	21,0	18,0	3,4	76,5
97	96,0		90,0			17,0	4,7	53,0	21,0	20,0	1,3	75,0
98	97,5				60,0	21,0	4,8	54,0	20,0	19,0	2,2	76,0
99	98,0		82,0	75,0		38,0	4,9	54,0	19,0	18,0	4,1	85,5
100	92,5	55,0			80,0	42,0	4,0	55,0	19,0	20,0	2,0	75,5
101	93,5	60,0				60,0	4,1	54,0	19,0	21,0	1,9	84,5
102	94,0			70,0		51,0	4,2	53,0	20,0	18,0	4,8	75,0
103	95,0		80,0			54,0	4,3	55,0	19,0	21,0	0,7	77,0
104	96,0		75,0	55,0		60,0	4,4	53,0	20,0	19,0	3,6	75,5
105	97,0			60,0		57,0	4,5	55,0	18,0	21,0	1,5	74,5
106	98,0	85,0		65,0		25,0	4,4	57,0	16,0	20,0	2,6	76,0
107	92,0				85,0	22,0	4,7	53,0	17,0	21,0	4,3	75,5
108	94,5	65,0			70,0	15,0	4,6	55,0	21,0	19,0	0,4	75,5
109	96,5	70,0	80,0			17,0	4,0	53,0	22,0	20,0	1,0	74,0
110	95,5	60,0			75,0	23,0	4,5	51,0	21,0	19,0	4,5	76,5
111	96,5	70,0			65,0	24,0	4,0	52,0	20,0	21,0	3,0	75,0
112	97,5	65,0				31,0	4,5	57,0	16,0	22,0	0,5	84,0
113	98,5		80,0	75,0		39,0	4,6	56,0	16,0	21,0	2,4	86,0
114	92,5					17,0	4,3	57,0	16,0	21,0	1,7	84,5

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
115	93,5		70,0	60,0		41,0	4,5	55,0	17,0	22,0	1,5	83,5
116	94,0	85,0			75,0	38,0	4,4	56,0	18,0	20,0	1,6	84,0
117	95,5	60,0				20,0	4,2	55,0	18,0	21,0	1,8	82,5
118	96,5	55,0			75,0	29,0	4,1	54,0	19,0	21,0	1,9	85,0
119	97,5	85,0				21,0	4,9	52,0	20,0	20,0	3,1	76,5
120	98,0	80,0				33,0	4,7	51,0	23,0	18,0	3,3	75,5
121	92,0		85,0	90,0		42,0	4,5	55,0	14,0	22,0	4,5	77,0
122	93,5		80,0			43,0	4,5	56,0	17,0	22,0	0,5	75,0
123	94,5				85,0	20,0	4,4	55,0	19,0	21,0	0,6	78,0
124	95,5			75,0		21,0	4,2	53,0	20,0	20,0	2,8	76,5
125	96,5	80,0			65,0	17,0	4,0	52,0	21,0	20,0	3,0	75,5
126	97,0	90,0				36,0	4,8	51,0	22,0	19,0	3,2	77,0
127	98,5		75,0	80,0		58,0	4,6	51,0	24,0	18,0	2,4	81,0
128	92,5		65,0			55,0	4,4	50,0	25,0	18,0	2,6	77,0
129	93,5		85,0	70,0		51,0	4,2	53,0	19,0	21,0	2,8	82,5
130	94,5			75,0		21,0	4,1	52,0	22,0	20,0	1,9	77,5
131	95,0	60,0			80,0	13,0	4,5	53,0	21,0	20,0	1,5	84,0
132	96,0				70,0	22,0	4,7	53,0	20,0	21,0	1,3	78,0
133	97,0	65,0			85,0	19,0	4,5	51,0	24,0	19,0	1,5	86,0
134	98,5	70,0	75,0			17,0	4,0	54,0	19,0	20,0	3,0	78,5
135	92,0	55,0				18,0	4,8	51,0	22,0	20,0	2,2	90,5
136	93,0				60,0	30,0	4,1	52,0	23,0	18,0	2,9	78,5
137	94,5	70,0			85,0	16,0	4,2	51,0	24,0	18,0	2,8	79,0
138	95,5		80,0	95,0		17,0	4,3	53,0	23,0	18,0	1,7	80,5
139	96,5	75,0				28,0	4,4	52,0	22,0	18,0	3,6	78,5
140	97,5			85,0		35,0	4,5	53,0	21,0	19,0	2,5	81,5
141	98,5	85,0			55,0	17,0	4,6	53,0	21,0	18,0	3,4	80,0
142	92,5	80,0				28,0	4,7	53,0	22,0	19,0	1,3	81,5
143	93,5				85,0	21,0	4,8	53,0	19,0	20,0	3,2	80,5
144	94,5	70,0				24,0	4,9	52,0	21,0	20,0	2,1	82,5
145	95,5	65,0				22,0	4,0	55,0	19,0	21,0	1,0	81,0

Примітка: **С<sub>шт</sub>**, % - заданий вміст міді в штейні, %;  
**видоб. С<sub>и</sub>**, % - видобування міді з конвертерного шлаку

## ДОДАТОК К

ЗАДАНИЙ ВМІСТ ОКСИДІВ КРЕМНІЮ І КАЛЬЦІЮ  
В ШЛАКУ ТА ХІМІЧНИЙ СКЛАД ФЛЮСІВ

Номера варіантів	Вміст, %						
	в шлаку, %		в кварці, %			у вапняку, %	
	SiO <sub>2</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO
1	2	3	4	5	6	7	8
1	38,0	8,0	95,0	3,5	1,5	3,5	52,0
2	36,0	9,0	94,0	4,0	1,0	2,0	53,0
3	34,0	6,0	93,0	3,0	1,5	1,4	49,0
4	35,0	7,0	91,0	3,5	2,0	2,5	50,0
5	30,0	5,0	92,0	3,0	2,5	1,6	48,0
6	35,0	8,0	93,0	4,0	1,5	2,9	50,0
7	33,0	7,0	90,0	3,0	2,5	2,0	49,0
8	37,0	8,0	94,0	4,0	0,5	2,6	51,0
9	34,0	6,0	93,0	2,5	1,5	1,4	47,0
10	38,0	9,0	94,0	4,0	0,5	2,8	53,0
11	36,0	7,0	93,0	3,0	2,0	1,6	49,0
12	34,0	8,0	94,0	3,5	1,5	2,5	50,0
13	35,0	6,0	93,0	5,0	2,0	2,2	48,0
14	33,0	5,0	92,0	3,5	3,0	2,1	47,0
15	36,0	7,0	93,0	3,5	3,0	2,5	50,0
16	32,0	6,0	94,0	3,0	0,5	2,4	47,0
17	38,0	8,0	94,0	3,5	1,0	2,3	51,0
18	39,0	7,0	96,0	5,0	2,0	1,7	47,0
19	36,0	9,0	95,0	4,0	1,0	2,1	53,0
20	39,0	6,0	92,0	3,0	2,5	2,0	50,0
21	34,0	5,0	90,0	2,5	2,0	2,5	47,0
22	37,0	5,0	91,0	2,5	1,5	2,4	47,0
23	35,0	8,0	94,0	4,0	1,5	3,0	52,0
24	34,0	6,0	90,0	3,0	2,0	2,8	49,0
25	32,0	5,0	89,0	2,5	3,5	2,0	47,0
26	36,0	7,0	91,0	3,0	0,5	2,6	50,0
27	32,0	6,0	92,0	3,0	2,0	2,0	48,0
28	35,0	8,0	95,0	4,0	0,5	2,2	52,0
29	30,0	5,0	92,0	2,5	2,0	2,0	48,0
30	33,0	9,0	93,0	4,0	1,5	2,5	53,0
31	37,0	5,0	92,0	2,5	2,0	2,9	48,0
32	36,0	7,0	90,0	3,0	1,0	2,8	50,0
33	35,0	5,0	92,0	2,5	2,0	2,7	47,0
34	36,0	8,0	94,0	4,0	1,0	2,3	52,0
35	34,0	5,0	86,0	2,5	3,5	2,5	48,0

Продовження додатку К

1	2	3	4	5	6	7	8
36	35,0	5,0	91,0	2,5	1,5	2,4	48,0
37	31,0	6,0	90,0	3,0	0,5	2,6	49,0
38	33,0	7,0	92,0	3,5	2,0	2,2	51,0
39	29,0	9,0	89,0	4,0	1,5	2,1	53,0
40	36,0	8,0	93,0	4,0	0,5	1,1	52,0
41	30,0	5,0	91,0	3,0	2,0	3,0	47,0
42	35,0	7,0	92,0	3,0	2,5	2,5	50,0
43	30,0	6,0	93,0	3,0	1,0	1,6	48,0
44	34,0	8,0	92,0	3,5	2,0	2,0	52,0
45	31,0	7,0	91,0	4,0	2,0	1,2	51,0
46	29,0	6,0	89,0	3,5	4,5	1,5	49,0
47	33,0	8,0	90,0	4,0	1,0	2,7	52,0
48	30,0	5,0	92,0	3,0	2,5	5,0	47,0
49	32,0	5,0	93,0	2,5	2,0	2,3	48,0
50	31,0	6,0	90,0	3,0	1,5	2,2	49,0
51	30,0	5,0	89,0	2,5	2,0	1,8	48,0
52	35,0	7,0	94,0	3,0	1,5	2,4	50,0
53	30,0	6,0	87,0	2,5	2,0	2,6	49,0
54	28,0	5,0	90,0	2,5	1,0	1,9	48,0
55	35,0	8,0	91,0	4,0	1,5	2,7	52,0
56	33,0	5,0	90,0	2,5	2,0	1,5	47,0
57	34,0	7,0	92,0	3,0	1,0	2,0	50,0
58	36,0	5,0	94,0	2,5	1,5	2,8	49,0
59	33,0	6,0	91,0	3,0	2,0	2,2	50,0
60	34,0	5,0	92,0	2,5	3,0	1,0	47,0
61	35,0	9,0	94,0	4,0	1,0	2,7	53,0
62	31,0	7,0	92,0	3,0	2,0	1,5	50,0
63	35,0	8,0	90,0	3,0	3,5	3,9	51,0
64	37,0	5,0	95,0	3,0	1,0	2,2	47,0
65	36,0	5,0	92,0	2,5	2,0	2,5	48,0
66	38,0	6,0	96,0	2,5	1,5	3,2	47,0
67	39,0	5,0	97,0	2,5	0,5	2,9	47,0
68	35,0	7,0	94,0	3,0	2,0	2,3	51,0
69	37,0	8,0	95,0	3,5	0,5	2,8	52,0
70	36,0	6,0	94,0	3,0	1,0	2,1	50,0
71	33,0	9,0	92,0	4,0	2,0	1,7	53,0
72	29,0	7,0	89,0	3,0	2,5	0,8	50,0
73	38,0	6,0	95,0	3,0	1,5	2,9	49,0
74	32,0	8,0	89,0	4,0	3,5	2,2	52,0
75	36,0	5,0	93,0	2,5	1,0	2,7	47,0



Продовження додатку К

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
76	34,0	6,0	92,0	3,0	1,5	2,5	50,0
77	37,0	7,0	95,0	3,0	1,5	2,0	51,0
78	34,0	8,0	91,0	4,0	1,0	2,0	52,0
79	35,0	9,0	94,0	4,0	2,0	4,0	53,0
80	36,0	5,0	94,0	2,5	2,0	2,5	47,0
81	32,0	6,0	89,0	3,0	5,0	2,1	48,0
82	35,0	5,0	92,0	2,5	3,0	2,0	47,0
83	36,0	7,0	92,0	3,0	2,0	2,2	50,0
84	39,0	5,0	91,0	2,5	1,5	3,5	49,0
85	31,0	5,0	88,0	2,5	2,0	2,1	47,0
86	37,0	6,0	90,0	3,0	5,0	2,8	50,0
87	35,0	6,0	92,0	3,0	3,0	2,3	51,0
88	34,0	8,0	94,0	3,0	1,0	2,0	52,0
89	38,0	7,0	95,0	3,0	1,0	3,1	50,0
90	36,0	9,0	94,0	4,0	0,5	3,2	52,0
91	35,0	7,0	93,0	3,5	1,5	2,3	49,0
92	37,0	8,0	92,0	4,0	2,5	2,4	51,0
93	39,0	5,0	96,0	2,5	0,5	3,2	47,0
94	33,0	6,0	92,0	3,0	0,5	1,9	49,0
95	38,0	6,0	94,0	3,0	1,5	3,1	48,0
96	36,0	8,0	95,0	4,0	0,5	2,5	51,0
97	29,0	7,0	87,0	3,0	1,5	1,0	50,0
98	34,0	9,0	89,0	4,0	1,5	1,9	53,0
99	31,0	6,0	88,0	3,0	2,0	2,3	48,0
100	35,0	8,0	90,0	4,0	1,0	2,4	51,0
101	32,0	5,0	87,0	2,5	2,3	2,2	47,0
102	33,0	7,0	90,0	3,0	3,4	2,5	48,0
103	34,0	5,0	90,0	2,5	1,1	2,0	47,0
104	36,0	7,0	93,0	3,0	2,4	2,1	49,0
105	37,0	6,0	90,0	3,0	2,0	2,0	48,0
106	35,0	7,0	93,0	3,0	3,0	1,7	50,0
107	34,0	5,0	94,0	2,5	2,5	2,0	47,0
108	32,0	6,0	92,0	3,0	1,0	3,3	48,0
109	37,0	5,0	99,0	2,5	1,0	2,8	47,0
110	33,0	9,0	94,0	4,0	1,0	2,1	53,0
111	35,0	8,0	93,0	4,0	2,0	2,4	51,0
112	32,0	5,0	91,0	2,5	1,5	2,0	47,0
113	34,0	6,0	92,0	3,0	2,0	2,3	48,0
114	37,0	7,0	93,0	2,5	1,5	3,0	50,0
115	30,0	5,0	89,0	2,5	2,0	1,9	47,0

Продовження додатку К

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
116	29,0	8,0	90,0	40	1,0	1,5	51,0
117	36,0	7,0	92,0	3,0	2,0	2,9	50,0
118	39,0	9,0	94,0	4,0	1,0	3,2	52,0
119	28,0	5,0	93,0	2,5	1,5	1,4	47,0
120	35,0	5,0	93,0	2,5	1,0	2,0	47,0
121	34,0	6,0	92,0	3,0	2,0	1,8	48,0
122	36,0	8,0	94,0	4,0	1,0	2,6	52,0
123	35,0	7,0	93,0	3,5	1,0	1,3	51,0
124	37,0	5,0	90,0	2,5	2,0	2,8	47,0
125	36,0	8,0	92,0	4,0	1,5	2,5	51,0
126	39,0	5,0	95,0	2,5	0,5	3,1	48,0
127	37,0	6,0	91,0	3,0	2,0	2,4	50,0
128	34,0	5,0	92,0	2,5	1,5	2,2	47,0
129	29,0	7,0	89,0	3,0	2,5	2,0	50,0
130	35,0	6,0	92,0	2,5	1,0	2,3	49,0
131	31,0	9,0	91,0	4,0	3,0	2,6	53,0
132	37,0	5,0	90,0	2,5	4,0	3,2	48,0
133	32,0	6,0	91,0	3,0	3,0	2,3	49,0
134	35,0	7,0	90,0	3,0	5,0	2,6	50,0
135	29,0	5,0	89,0	2,5	3,5	1,5	47,0
136	32,0	6,0	90,0	3,0	2,5	2,5	49,0
137	35,0	5,0	91,0	2,5	2,0	1,7	48,0
138	31,0	7,0	94,0	3,0	2,0	2,8	50,0
139	29,0	5,0	91,0	3,0	4,0	4,9	47,0
140	38,0	8,0	95,0	4,0	0,5	2,7	52,0
141	33,0	7,0	92,0	3,0	1,5	1,5	50,0
142	37,0	6,0	93,0	2,5	1,5	2,8	49,0
143	32,0	5,0	90,0	2,5	2,0	1,9	47,0
144	34,0	5,0	94,0	2,5	1,0	2,8	47,0
145	36,0	6,0	91,0	3,0	3,0	2,4	50,0

*ДОДАТОК М*

**ВИХІДНІ ДАННІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ КІЛЬКОСТІ ТА СКЛАДУ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ,  
ПІД ЧАС ВІДБИВНОГО ПЛАВЛЕННЯ**

№№ вар.	Вміст компонентів у природному газі, % об.						Вміст кисню % об.		α дутьтя	Підсос по- вітря, %
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	N <sub>2</sub>	в дутті	в технічному кисні		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1	86	2	4	5		3	27	93	1,06	38
2	85	1	7		2	5	35	96	1,08	37
3	93		2	1	1	3	24	98	1,10	36
4	94	1		2		3	23	95	1,03	35
5	90	1		3	2	4	29	96	1,05	34
6	91	3		3		3	28	98	1,07	33
7	92	2	1		2	3	29	96	1,09	35
8	93		2	2	2	1	30	95	1,04	35
9	90		5	3	1	1	25	95	1,06	39
10	89	2	4	2		3	26	94	1,08	41
11	88		6		1	5	27	97	1,10	43
12	90		2	3		5	28	90	1,03	45
13	92		3		2	3	29	91	1,05	47
14	92	1	6			1	35	96	1,07	49
15	86	2	7	2		3	29	97	1,09	51
16	94				2	4	26	95	1,08	29
17	90	2	1	2	1	4	27	97	1,07	28

**Продовження додатку М**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
18	90	2	4	1		3	28	93	1,09	60
19	92	2		3		3	29	91	1,04	32
20	93		1		2	4	24	93	1,03	26
21	93		1	3		3	25	91	1,05	40
22	92		3	1		4	29	98	1,07	37
23	85		8	3	1	3	26	94	1,09	34
24	87	2	4		3	4	28	93	1,04	33
25	88		4	2	2	4	24	92	1,06	41
26	90	1	5	1		3	25	94	1,08	43
27	85	2	8		2	3	26	93	1,10	35
28	92	1	4			3	27	97	1,03	24
29	90	3	3			4	28	92	1,05	25
30	91		4	2		3	24	91	1,07	26
31	92		3		1	3	25	97	1,09	27
32	90	4	2			4	26	93	1,02	35
33	94	2	1			3	27	94	1,04	41
34	95		2		1	2	28	92	1,06	34
35	96			1	1	2	27	95	1,04	40
36	94	2		2		2	29	95	1,06	32
37	90	2	4			4	25	97	1,08	28
38	90		3	3		4	28	91	1,10	51
39	95	1	1			3	27	90	1,07	47
40	92	3	2			3	25	96	1,05	43

**Продовження додатку М**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
41	93	3			2	2	24	97	1,03	39
42	94		2	1		3	25	95	1,10	35
43	95		1	1		3	26	97	1,08	34
44	96		1	2		1	29	93	1,06	36
45	96	2			1	2	25	91	1,04	38
46	89	4	5			2	26	93	1,09	26
47	90	3	3	1		3	23	91	1,07	24
48	91	3	3			3	27	98	1,05	25
49	92	3	2		1	2	28	94	1,03	27
50	93	2	2			3	23	94	1,10	37
51	90	4	1	2		3	26	95	1,08	35
52	95		1		2	2	27	92	1,06	33
53	96	1		1		2	21	95	1,04	35
54	90	5			2	3	25	92	1,09	41
55	91		5	2		2	21	93	1,07	45
56	92		2		3	3	23	90	1,08	49
57	93		3	1		3	28	91	1,09	29
58	92		3	2	1	2	24	92	1,06	60
59	90	2	3		2	3	25	94	1,08	26
60	92	4	1			3	24	93	1,10	37
61	90	5		1	1	3	26	92	1,03	33
62	90		4		3	3	28	95	1,05	43
63	93	3		2		2	29	98	1,07	21

**Продовження додатку М**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
64	88	4	3		2	3	27	97	1,09	66
65	91	2	4			3	25	98	1,04	15
66	96		2	1		1	26	96	1,06	63
67	88	4	5			3	26	95	1,08	16
68	89	5			3	3	27	96	1,10	65
69	92	2	2			4	30	95	1,03	44
70	87	4	4	2		3	25	99	1,05	25
71	91	1	5			3	29	98	1,07	29
72	90	2	4		2	2	31	91	1,09	33
73	95		1	1		3	27	96	1,04	37
74	92	1		3	1	3	25	91	1,06	41
75	90	1	4			5	30	92	1,08	43
76	92		2	2		4	33	96	1,10	45
77	94		2	1		3	25	91	1,03	47
78	88	5	5			2	28	92	1,05	49
79	88	4	4			4	29	96	1,03	23
80	85	4	6		1	4	28	97	1,05	27
81	92	2	3			3	29	93	1,04	31
82	86	4	5	2		3	30	94	1,06	35
83	88		5	3		4	25	98	1,08	39
84	90		4		3	3	26	91	1,08	46
85	85	5	3	3		4	27	93	1,05	50
86	90		5	2	1	2	28	91	1,06	54

**Продовження додатку М**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
87	88	4	4	1		3	29	93	1,06	58
88	89		4	3		4	30	97	1,05	62
89	92		2		2	4	25	95	1,04	24
90	87	6	4			3	26	97	1,06	26
91	87	4	3			6	27	96	1,03	28
92	85	5	5	1		4	28	90	1,05	30
93	87		7			6	29	91	1,04	32
94	90	3	3		2	2	30	97	1,06	34
95	86	8	2			4	25	95	1,03	36
96	85	2	6	3		4	25	95	1,04	38
97	90		5	3		2	26	92	1,09	51
98	89	4	3		1	3	27	96	1,05	53
99	89	2	4			5	28	98	1,07	55
100	92	2			3	3	24	96	1,05	57
101	93	4		1		2	26	95	1,08	50
102	93	1	2			4	28	98	1,03	61
103	94	2		2		2	25	96	1,08	40
104	90	3	2		2	3	27	96	1,05	42
105	94	1	1			4	24	93	1,06	44
106	92	1	2			5	26	94	1,04	46
107	90	4		3		3	28	93	1,08	23
108	91					9	25	95	1,03	27
109	89	5	2			4	27	97	1,07	62

**Продовження додатку М**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
110	90	2	3		1	4	24	99	1,04	29
111	90		1	2	2	5	25	96	1,08	64
112	95		2	1		2	26	98	1,03	62
113	92	2		3		3	28	95	1,07	64
114	94		2		1	3	27	94	1,04	66
115	96			2	1	1	26	96	1,08	63
116	94	1	1			4	25	98	1,03	65
117	94	1		1		4	24	95	1,03	25
118	89	2	5			4	28	97	1,04	33
119	88		5	3		4	27	98	1,08	41
120	93	1	3			3	26	95	1,05	45
121	90	2	2		1	5	25	99	1,06	49
122	92	2	2			4	24	97	1,04	27
123	94		1	2			28	96	1,03	35
124	96		1	1		3	27	98	1,04	46
125	91	3			2	2	26	97	1,03	54
126	93		2	2		4	25	95	1,09	62
127	90	2	5			3	24	94	1,07	26
128	89		6	3		2	29	93	1,08	30
129	92	1	3		1	3	28	94	1,03	34
130	91	2	3			4	27	93	1,05	38
131	89	1	3	3		4	26	92	1,03	51
132	93	3	1			3	26	91	1,04	53



**Продовження додатку М**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
133	95	1		2		2	25	98	1,06	57
134	91		4	1	1	3	24	97	1,05	61
135	90	4		2		4	28	96	1,06	42
136	88	2	5		2	3	27	95	1,05	46
137	92		4	2		2	26	97	1,06	23
138	90	4		3	1	2	25	96	1,08	44
139	90	3	5			2	24	95	1,06	40
140	90	3	1	2		4	28	94	1,05	50
141	95	2	2			1	27	93	1,05	55
142	93	1	4		1	1	26	98	1,10	51
143	89	1	5	1		4	25	97	1,06	36
144	88	3	4		1	4	24	95	1,09	32
145	96		2		1	1	28	98	1,05	28

*ДОДАТОК Н*

**КОЕФІЦІЄНТИ ВИКОРИСТАННЯ ТА ВМІСТУ КИСНЮ В ДУТТІ АВТОГЕННОГО ПЛАВЛЕННЯ**

Номер варіанту	Коефіцієнт використання кисню дуття	Вміст кисню в дутті, %	Номер варіанту	Коефіцієнт використання кисню дуття	Вміст кисню в дутті, %
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	0,95	93	37	0,96	78
2	0,94	73	38	0,96	75
3	0,96	92	39	0,93	85
4	0,95	87	40	0,91	76
5	0,97	91	41	0,95	72
6	0,93	76	42	0,97	78
7	0,94	81	43	0,95	76
8	0,91	73	44	0,96	93
9	0,92	78	45	0,94	92
10	0,93	82	46	0,93	91
11	0,98	75	47	0,92	81
12	0,94	78	48	0,93	78
13	0,96	70	49	0,98	85
14	0,98	75	50	0,94	80
15	0,96	82	51	0,97	82
16	0,95	85	52	0,95	87
17	0,91	87	53	0,94	69
18	0,98	96	54	0,96	84
19	0,94	89	55	0,93	90
20	0,92	72	56	0,96	82
21	0,88	84	57	0,95	75
22	0,90	78	58	0,96	77
23	0,93	80	59	0,96	79
24	0,96	76	60	0,94	91
25	0,95	82	61	0,92	85
26	0,96	71	62	0,94	80
27	0,92	73	63	0,96	75
28	0,98	87	64	0,94	85
29	0,95	76	65	0,96	72
30	0,98	83	66	0,97	85
31	0,94	82	67	0,92	83
32	0,93	68	68	0,93	81
33	0,91	75	69	0,94	84

Продовження додатку Н

1	2	3	4	5	6
34	0,93	85	70	0,97	83
35	0,95	76	71	0,93	81
36	0,94	82	72	0,95	77
73	0,94	83	115	0,97	72
74	0,96	81	116	0,96	86
75	0,95	74	117	0,92	75
76	0,92	83	118	0,93	82
77	0,98	77	119	0,94	81
78	0,93	77	120	0,95	77
79	0,97	84	121	0,98	74
80	0,94	80	122	0,95	84
81	0,96	80	123	0,93	85
82	0,95	70	124	0,99	73
83	0,92	75	125	0,95	78
84	0,98	78	126	0,98	86
85	0,93	92	127	0,94	81
86	0,97	71	128	0,96	83
87	0,94	93	129	0,93	74
88	0,96	73	130	0,95	77
89	0,95	92	131	0,97	80
90	0,92	87	132	0,99	92
91	0,98	91	133	0,92	91
92	0,96	76	134	0,93	90
93	0,95	81	135	0,94	93
94	0,94	73	136	0,95	84
95	0,93	78	137	0,96	79
96	0,92	82	138	0,98	83
97	0,99	85	139	0,92	76
98	0,97	68	140	0,95	83
99	0,95	85	141	0,96	82
100	0,93	75	142	0,94	94
101	0,98	82	143	0,97	87
102	0,96	85	144	0,93	83
103	0,94	87	145	0,98	95
112	0,95	91			
113	0,98	78			
114	0,97	80			

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лоскутов Ф.М., Цейдлер А.А. Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов. - М.: Металлургия, 1963. - 591 с.
2. Худяков И.Ф. Металлургия меди, никеля и кобальта. - М.: Металлургия, 1977. - Ч.1. - 296 с.; Ч.2. - 264 с.
3. Гудима Н.В., Шейн Я.П. Краткий справочник по металлургии цветных металлов. - М.: Металлургия, 1975. - 536 с.
4. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. - М.: Металлургия, 1973. - 504 с.
5. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Штейны и шлаки цветной металлургии. - М.: Металлургия, 1969. - 406 с.
6. Купряков Ю.П. Шлаки медеплавильного производства и их переработка. - М.: Металлургия, 1987. - 200 с.