

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Игнатенко Виталий Иванович

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 24.06.2025 19:54:45

Уникальный программный ключ:

a49ae343af5448d45d7e3e1e499659da8109ba78

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования**

**«Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»  
ЗГУ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ<sup>1</sup>  
по дисциплине**

***«Комплексная переработка минерального сырья»***

**Факультет:** Горно-технологический (ГТФ)

**Направление подготовки:** 22.04.02 «Металлургия»

**Направленность (профиль):** Металлургия цветных металлов

**Уровень образования:** магистратура

**Кафедра** металлургии, машин и оборудования

наименование кафедры

**Разработчик ФОС:**

К.Г.Н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

А.А. Черемисин

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры, протокол № 2 от «07» 05 2025 г.

Заведующий кафедрой к.т.н., доц. Крупнов Л.В.

<sup>1</sup> В данном документе представлены типовые оценочные средства. Полный комплект оценочных средств, включающий все варианты заданий (тестов, контрольных работ и др.), предлагаемых обучающемуся, хранится на кафедре в бумажном и электронном виде.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),  
соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы**

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Код и наименование компетенции                                                                                                 | Индикаторы достижения                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Универсальные компетенции</b>                                                                                               |                                                                                                                                                                        |
| УК-3<br>Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели | УК-3.1<br>Выбирает правила командной работы и способы мотивации членов команды, а также стиль управления работой команды в соответствии с производственными ситуациями |

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

| Контролируемые разделы (темы) дисциплины                                            | Формируемая компетенция | Наименование оценочного средства | Показатели оценки      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Классификация техногенного сырья. Источники образования техногенного сырья          | УК-3                    | Эссе                             | Полнота раскрытия темы |
| Первичная обработка. Подготовка сырья к последующей переработке                     | УК-3                    | Собеседование                    | Полнота раскрытия темы |
| Пирометаллургические методы переработки техногенного сырья                          | УК-3                    | Практическое задание             | Решение задач          |
| Гидрометаллургические методы переработки техногенного сырья                         | УК-3                    | Практическое задание             | Решение задач          |
| Способы переработки техногенного сырья, содержащего благородные металлы             | УК-3                    | Эссе                             | Полнота раскрытия темы |
| Оборотное водоснабжение. Очистка сточных вод                                        | УК-3                    | Эссе                             | Полнота раскрытия темы |
| Технико-экономическое обоснование рациональной схемы переработки техногенного сырья | УК-3                    | Эссе                             | Полнота раскрытия темы |

|                 |      |                        |                                         |
|-----------------|------|------------------------|-----------------------------------------|
| Зачет с оценкой | УК-3 | Итоговое собеседование | Полнота раскрытия темы, зачет с оценкой |
|-----------------|------|------------------------|-----------------------------------------|

## 1 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 3).

Таблица 3 – Технологическая карта

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Наименование оценочного средства | Сроки выполнения                    | Шкала оценивания | Критерии оценивания     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------|
| <b>Промежуточная аттестация в форме «Зачета с оценкой»</b>                                                                                                                                                                                                                                        |                                  |                                     |                  |                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Итоговое собеседование           | По окончании обучения по дисциплине | от 0 до 5 баллов | Зачет/Незачет с оценкой |
| ИТОГО:                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                  | -                                   | ___ баллов       | -                       |
| <b>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине:</b><br>Пороговый (минимальный) уровень для аттестации в форме зачета – 75 % от максимально возможной суммы баллов<br>Зачет с оценкой выставляется при сдаче студентом всех итоговых заданий по темам и прохождению итогового собеседования |                                  |                                     |                  |                         |

## 2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы

### 2.1 Задания для текущего контроля успеваемости

#### Пирометаллургической методы переработки техногенного сырья

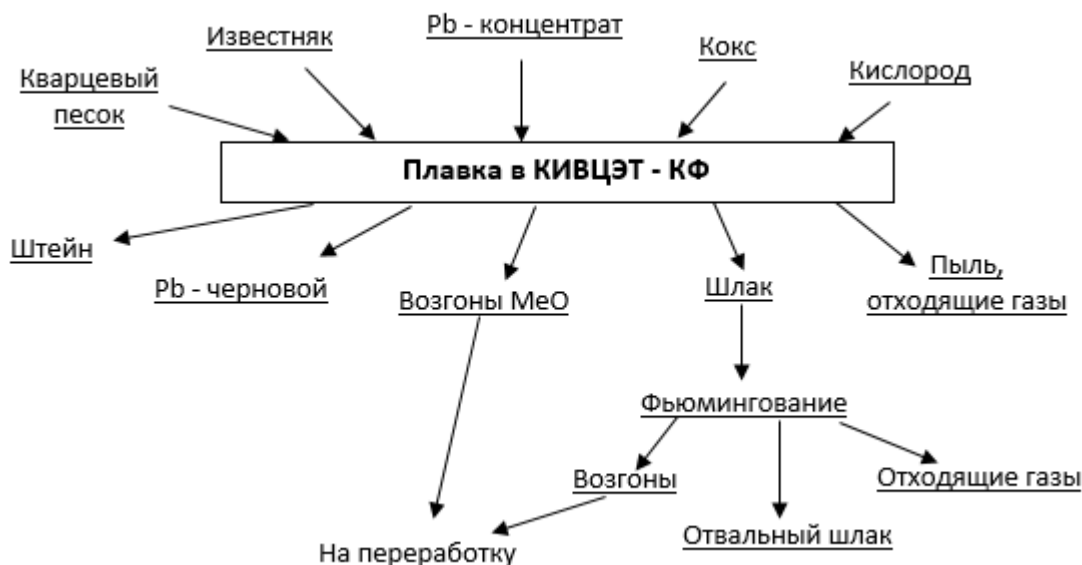
##### Задание для практической работы

Плавка в агрегате КИВЦЭТ-КФ относится к автогенным процессам. Тепло, выделяющееся в результате экзотермических реакций окисления сульфидов, обеспечивает автогенность протекающих процессов. В агрегате КИВЦЭТ-КФ используют факельный способ сжигания сульфидов в потоке технического кислорода. Для ошлакования пустой породы применяют флюсы - кварцевый песок и известняк.

В обжигово-плавильной камере агрегата (ОПК) протекают процессы окисления сульфидов, восстановления свинца и магнетита в коксовом фильтре (КФ), штейно- и шлакообразование. В электротермической камере печи (ЭТК) происходит окончательное разделение продуктов плавки по плотностям, частичное восстановление свинца, цинка и меди из оксидных соединений, возгонка цинка и редких металлов. Восстановителем

оксидов металлов является кокс. Доработка шлака с полным извлечением цинка и свинца осуществляется с использованием метода фьюмингования как более производительного.

Продуктами плавки Рb-концентратов в агломерате КИВЦЭТ-КФ являются черновой свинец, шлак, штейн, отходящие газы и возгоны (рис. 3.1).



**Рис. 3.1. Схема материальных потоков плавки свинцовых концентратов**

Для расчета процесса плавки свинцового сульфидного концентрата в агрегате КИВЦЭТ-КФ потребуется определить состав шихты плавки, рассчитать количество и состав штейна, шлака, чернового свинца, возгонов и отходящих газов, определить расход кислорода и кокса, составить материальный баланс процесса плавки.

Пример расчета.

Исходные данные.

Химический состав свинцового концентрата приведен по вариантам (см. табл. 1.1). Для примера расчета выбран следующий состав концентрата, %: 52 Рb; 8,2 Zn; 2,3 Cu; 9,4 Fe; 22,029 S; 2,0 SiO<sub>2</sub>; 0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,8 CaO; 1,414 CO<sub>2</sub>; 0,657 - прочих.

На плавку поступают кварцевый песок и известняк, выполняющие роль флюсующих компонентов. Кварцевый песок содержит, %: 92 SiO<sub>2</sub>; 6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1 - прочих. В примере расчета принят следующий состав известняка, %: 52 CaO; 4 SiO<sub>2</sub>; 3 FeO; 40,86 CO<sub>2</sub>; 0,14 - прочих.

Для расчета количества штейна из данных практики принимаем, что извлечение меди в штейн равно 80 %, а состав штейна следующий, %: 26 Cu; 5 Zn, 24 S; 30 Fe; 2 - прочих; свинец - по расчету.

В ОПК в черновой свинец переходит 90 % свинца, из них 35 % - за счет взаимодействия сульфида свинца с оксидом свинца, остальное количество свинца восстанавливается в коксовом фильтре. Магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> переходит в КФ в оксид железа (II) на 95 %.

Сквозное извлечение свинца в черновой металл с учетом работы ЭТК составляет 94,5 %.

В ОПК 20 % железа от общего количества окисляется до магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Технический кислород содержит 96 %  $\text{O}_2$  и 4 %  $\text{N}_2$ , избыток кислорода для работы ОПК равен 5 %. Для работы КФ и ЭТК агрегата используют кокс следующего состава, %: 90 С; 10 золы. Зола кокса имеет состав, %: 50  $\text{SiO}_2$ , 25  $\text{FeO}$  и 25  $\text{CaO}$ .

Расход кокса для работы коксового фильтра составляет 150 % к теоретически необходимому.

Оптимальный состав шлака при плавке свинцово-цинкового концентрата и для последующего фьюмингования содержит, %: 19,8  $\text{ZnO}$ ; 25  $\text{SiO}_2$ ; 20  $\text{FeO}$ ; 32  $\text{CaO}$ .

Основной формой нахождения меди в шлаке является  $\text{Cu}_2\text{S}$ .

Избыток кокса для работы ЭТК составляет 10 %. В ЭТК 30 % оксида цинка, содержащегося в шлаке ОПК, восстанавливается до металла и переходит в возгоны, а восстановившийся в ЭТК свинец на 80% переходит в черновой металл, а на 20 % - в возгоны.

Количество возгонов в ЭТК небольшое, поэтому их окисляют в газоходе воздухом до оксидов и улавливают в рукавных фильтрах.

### ***Расчёт количества и состава штейна***

При переработке свинцовых концентратов, содержащих более 2 % меди, процесс плавки ведут с образованием штейна. Штейны свинцовых плавок состоят из сульфидов меди, железа, свинца, цинка и металлического свинца, растворяющегося в сульфидном расплаве.

Количество меди, железа и цинка в штейне рассчитываем по их извлечению в данный продукт (Е), а количество свинца - по разности между массой штейна и массой предыдущих компонентов.

Расчёт ведём на 100 кг свинцового концентрата.

Из концентрата в штейн перейдёт меди, кг,

$$(m_{\text{Cu}})_{\text{шт}} = (m_{\text{Cu}})_{\text{к-т}} \cdot (E_{\text{Cu}})_{\text{шт}} = 2,3 \cdot 0,8 = 1,84.$$

Определяем массу  $\text{Cu}_2\text{S}$  в штейне, кг:

$$m_{\text{Cu}_2\text{S}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{2A_{\text{Cu}}} \cdot M_{\text{Cu}_2\text{S}} = \frac{1,84}{2 \cdot 63,54} \cdot 159,1 = 2,303.$$

В этом количестве сульфида меди содержится серы, кг:

$$(m_{\text{S}})_{\text{Cu}_2\text{S}} = \frac{m_{\text{Cu}_2\text{S}}}{M_{\text{Cu}_2\text{S}}} \cdot A_{\text{S}} = \frac{2,303}{159,1} \cdot 32 = 0,463.$$

Массу штейна определяем по содержанию меди в нём, кг:

$$m_{\text{шт}} = \frac{(m_{\text{Cu}})_{\text{шт}}}{(C_{\text{Cu}})_{\text{шт}}} = 7,08.$$

Рассчитываем количество серы в штейне, кг:

$$(m_{\text{S}})_{\text{шт}} = m_{\text{шт}} \cdot (C_{\text{S}})_{\text{шт}} = 7,08 \cdot 0,24 = 1,699.$$

При плавке свинцового сульфидного сырья в агрегате КИВЦЭТ-КФ получают медные штейны, содержащие от 1 до 3 % кислорода. В расчётах содержание кислорода в штейне принимаем равным 2 %. Тогда количество магнетита в штейне составит, кг,

$$m_{Fe_3O_4} = m_{шт} \cdot \frac{(C_{O_2})_{шт}}{4A_O} \cdot M_{Fe_3O_4} = 7,08 \cdot \frac{0,02}{64} \cdot 231,54 = 0,512.$$

В этом количестве магнетита содержится  $\frac{0,512}{231,54} \cdot 3 \cdot 55,85 = 0,37$  кг железа и

$0,512 - 0,37 = 0,142$  кг кислорода.

Рассчитываем общее количество железа в штейне, кг:

$$(m_{Fe})_{шт} = m_{шт} \cdot (C_{Fe})_{шт} = 7,08 \cdot 0,3 = 2,124.$$

Масса железа в виде FeS в штейне составит, кг,

$$(m_{Fe})_{FeS} = (m_{Fe})_{шт} - (m_{Fe})_{Fe_3O_4} = 2,124 - 0,37 = 1,754.$$

С этим количеством железа связано серы, кг:

$$(m_S)_{FeS} = \frac{m_{Fe}}{A_{Fe}} \cdot A_S = \frac{1,754}{55,85} \cdot 32 = 1,006.$$

Общее количество сульфида железа в штейне составляет, кг,

$$m_{FeS} = 1,754 + 1,006 = 2,76.$$

Определяем количество цинка в штейне, кг:

$$(m_{Zn})_{шт} = m_{шт} \cdot (C_{Zn})_{шт} = 7,08 \cdot 0,05 = 0,354.$$

Количество серы, связанной с цинком, составит

$$(m_S)_{ZnS} = \frac{m_{Zn}}{A_{Zn}} \cdot A_S = \frac{0,354}{65,38} \cdot 32 = 0,173 \text{ кг}.$$

Рассчитываем массу ZnS в штейне, кг:

$$m_{ZnS} = (m_{Zn})_{шт} + (m_S)_{ZnS} = 0,354 + 0,173 = 0,527.$$

Масса прочих компонентов в штейне составит, кг:

$$(m_{пр})_{шт} = m_{шт} \cdot (C_{пр})_{шт} = 7,08 \cdot 0,02 = 0,142.$$

Масса штейна, приходящаяся на свинец и сульфид свинца, составит, кг:

$$\begin{aligned} m_{(Pb+PbS)} &= m_{шт} - m_{Cu_2S} - m_{Fe_3O_4} - m_{FeS} - m_{ZnS} - m_{пр} \\ &= 7,08 - 2,303 - 0,512 - 2,76 - 0,527 - 0,142 = 0,836. \end{aligned}$$

Рассчитываем количество серы, связанное со свинцом, кг:

$$(m_S)_{PbS} = (m_S)_{шт} - (m_S)_{Cu_2S} - (m_S)_{FeS} - (m_S)_{ZnS} = 1,699 - 0,463 - 1,006 - 0,173 = 0,057.$$

Определяем массу PbS в штейне, кг:

$$m_{PbS} = \frac{(m_S)_{PbS}}{A_S} \cdot M_{PbS} = \frac{0,057}{32} \cdot 239,2 = 0,426.$$

В этом количестве PbS содержится свинца, кг:

$$(m_{Pb})_{PbS} = m_{PbS} - (m_S)_{PbS} = 0,426 - 0,057 = 0,369.$$

Рассчитываем количество «свободного» свинца в штейне, кг:

$$m_{Pb} = m_{(Pb+PbS)} - m_{PbS} = 0,836 - 0,426 = 0,41.$$

Все данные расчёта сведены в табл. 1.

Таблица 1. **Количество и состав штейна**

| Соединения                     | Содержание элементов, кг |       |       |       |       |                |        |       |
|--------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|--------|-------|
|                                | Си                       | Fe    | Pb    | Zn    | S     | o <sub>2</sub> | Прочие | Всего |
| Cu <sub>2</sub> S              | 1,84                     |       |       |       | 0,463 |                |        | 2,303 |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> |                          | 0,37  |       |       |       | 0,142          | 0,142  | 0,512 |
| FeS                            |                          | 1,754 |       |       | 1,006 |                |        | 2,760 |
| PbS                            |                          |       | 0,369 |       | 0,057 |                |        | 0,426 |
| ZnS                            |                          |       |       | 0,354 | 0,173 |                |        | 0,527 |
| Pb                             |                          |       | 0,410 |       |       |                |        | 0,410 |
| Прочие                         |                          |       |       |       |       |                | 0,142  | 0,142 |
| Итого:                         |                          |       |       |       |       |                |        |       |
| кг                             | 1,84                     | 2,124 | 0,779 | 0,354 | 1,699 | 0,142          | 0,142  | 7,08  |
| %                              | 26                       | 30    | 11    | 5     | 24    | 2              | 2      | 100   |

### ***Расчет количества и состава «самоплавкого» шлака***

Расчет состава шлака ведем с учетом его частичной доработки в электротермической камере. При этом практически весь магнетит восстановится до FeO, а извлечение свинца в черновой металл составит 94,5 %. Для ориентировочных расчетов расход кокса для работы коксового фильтра в ОПК и для восстановления оксидов металлов из шлака в ЭТК примем равным 4 % от массы свинцового концентрата.

Определяем количество железа в шлаке, кг:

$$(m_{Fe})_{шл} = (m_{Fe})_{кон} - (m_{Fe})_{шт} = 9,4 - 2,124 = 7,276.$$

Из этой массы железа будет образовано при плавлении следующее количество оксида железа (II), кг:

$$m_{FeO} = \frac{(m_{Fe})_{шт}}{A_{Fe}} \cdot M_{FeO} = \frac{7,276}{55,85} \cdot 71,85 = 9,360.$$

С золой кокса в шлак перейдет оксида железа в количестве, кг:

$$(m_{FeO})_{з.к.} = m_{к.} \cdot C_{з.к.} \cdot (C_{FeO})_{з.к.} = 4 \cdot 0,1 \cdot 0,25 = 0,1.$$

Всего в шлак перейдет следующее количество FeO, кг:

$$9,360 + 0,1 = 9,460.$$

При плавке в агрегате КИВЦЭТ в черновой свинец и в возгоны по данным практики работы Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината переходит от 3 до 5 % цинка от его содержания в концентрате. В расчетах принимаем 4 %-й переход цинка в свинец и возгоны. Тогда масса оксида цинка в шлаке составит, кг:

$$(m_{ZnO})_{\text{шл}} = \frac{(m_{Zn})_{\text{кон}} - (m_{Zn})_{\text{шт}} - (m_{Zn})_{\text{ч.Рб,воз}}}{A_{Zn}} \cdot M_{ZnO} = \frac{8,2 - 0,354 - 8,2 - 0,04}{65,38} \cdot 81,38 = 9,358.$$

В шлак переходит медь в виде Cu<sub>2</sub>S в количестве 12 % от ее массы в свинцовом концентрате.

Рассчитываем массу Cu<sub>2</sub>S в шлаке, кг:

$$(m_{Cu_2S})_{\text{шл}} = \frac{0,12 \cdot (m_{Cu})_{\text{кон}}}{2A_{Cu}} \cdot M_{Cu_2S} = \frac{0,12 \cdot 2,3}{127,1} \cdot 159,1 = 0,345.$$

С учетом 94,5 %-го извлечения свинца в черновой металл, рассчитываем ориентировочное количество оксида свинца в шлаке (без учета его перехода в возгоны в электротермической камере), кг:

$$(m_{PbO})_{\text{шл}} = \frac{(m_{Pb})_{\text{кон}} - (m_{Pb})_{\text{шт}} - (m_{Pb})_{\text{ч.Рб}}}{A_{Pb}} \cdot M_{PbO} = \frac{52 - 0,779 - 52 \cdot 0,945}{207,2} = 2,242.$$

Кремнезем перейдет в шлак полностью из свинцового концентрата и золы кокса в количестве, кг:

$$(m_{SiO_2})_{\text{шл}} = (m_{SiO_2})_{\text{кон}} + (m_{SiO_2})_{\text{з.к.}} = 2 + 4 \cdot 0,1 \cdot 0,5 = 2,2.$$

Оксид кальция также полностью перейдет в шлак из концентрата и золы кокса в количестве, кг:

$$(m_{CaO})_{\text{шл}} = (m_{CaO})_{\text{кон}} + (m_{CaO})_{\text{з.к.}} = 1,8 + 4 \cdot 0,1 \cdot 0,25 = 1,9.$$

Ориентировочная масса прочих компонентов (без учета их количества в черновом свинце и возгонах) составит, кг:

$$(m_{\text{пр}})_{\text{шл}} = (m_{\text{пр}})_{\text{кон}} - (m_{\text{пр}})_{\text{штейн}} = 0,657 - 0,142 = 0,515.$$

Глинозем перейдет в шлак из концентрата в количестве 0,2 кг. Предварительный состав шлака, получаемого при плавке свинцового концентрата без флюсов, представлен в табл. 2.

**Т а б л и ц а 2. Количество и состав «самоплавкого» шлака**

| Компонент                      | Содержание компонента |       |
|--------------------------------|-----------------------|-------|
|                                | кг                    | %     |
| FeO                            | 9,460                 | 36,08 |
| ZnO                            | 9,358                 | 35,69 |
| Cu <sub>2</sub> S              | 0,345                 | 1,32  |
| PbO                            | 2,242                 | 8,55  |
| SiO <sub>2</sub>               | 2,2                   | 8,39  |
| CaO                            | 1,9                   | 7,25  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,2                   | 0,76  |
| Прочие                         | 0,515                 | 1,96  |
| Итого                          | 26,220                | 100   |

«Самоплавкий» шлак содержит большое количество оксида цинка (35,69 %) и незначительное количество оксидов кремния и кальция (8,39 % и 7,25 %). Такой шлак будет тяжёлым и вязким, что приведёт к плохому отделению его от штейна и большим потерям свинца при плавке. Поэтому в шихту плавки необходимо добавить флюсующие компоненты.

### ***Расчёт количества флюсов, добавляемых в шихту***

В шихту при плавке свинцового концентрата обычно добавляют кварцевый песок и известняк. Кварц необходим для снижения плотности шлака и образования фаялита  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  - основного соединения шлаков цветной металлургии, а известь нужна для вытеснения оксида свинца и цинка из силикатных форм для лучшего их восстановления при доработке шлаков методом фьюмингования.

Для фьюмингования рекомендуются шлаки следующего состава, %: 15-20 ZnO; 20-30  $\text{SiO}_2$ ; 20-30 FeO; 30-35 CaO. Сумма ZnO и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  должна быть менее 21 %.

В расчётах принимаем следующий оптимальный состав шлака, %: 19,8 ZnO; 25  $\text{SiO}_2$ ; 20 FeO; 32 CaO.

По ошлакованному оксиду цинка ZnO рассчитываем массу шлака, кг:

$$m_{\text{шл}} = \frac{m_{\text{ZnO}}}{(C_{\text{ZnO}})_{\text{шл}}} = \frac{9,358}{0,198} = 47,26.$$

В этом случае в шлаке должно содержаться, кг: оксида кальция:

$$(m_{\text{CaO}})_{\text{шл}} = m_{\text{шл}} \cdot (C_{\text{CaO}})_{\text{шл}} = 47,26 \cdot 0,32 = 15,123.$$

При этом в шлак необходимо добавить оксид кальция и кремнезем, кг:

$$m_{\text{CaO}} = (m_{\text{CaO}})_{\text{шл}} - (m_{\text{CaO}})_{\text{сам.шл}} = 15,123 - 1,9 = 13,223.$$

$$m_{\text{SiO}_2} = (m_{\text{SiO}_2})_{\text{шл}} - (m_{\text{SiO}_2})_{\text{сам.шл.}} = 11,815 - 2,2 = 9,615.$$

Обозначим через X количество добавляемого в шихту известняка, а через Y - кварцевого песка. Для определения двух неизвестных величин составляем систему двух уравнений:

$$\text{уравнение баланса по CaO: } 0,52 \cdot X = 13,223,$$

$$\text{уравнение баланса по SiO}_2: 0,92 \cdot Y + 0,04 \cdot X = 9,615.$$

Решая эту систему, находим, что  $X = 25,429$  кг,  $Y = 9,346$  кг.

В 25,429 кг известняка  $\text{CaCO}_3$  содержится, кг: 13,223 CaO;  $13,223 \cdot 44 : 56 = 10,389 \text{ CO}_2$ ;  $25,429 \cdot 0,04 = 1,017 \text{ SiO}_2$ ;  $25,429 \cdot 0,0014 = 0,036$  прочих компонентов и  $25,429 \cdot 0,03 = 0,763 \text{ FeO}$ .

С кварцевым песком поступает, кг:  $9,346 \cdot 0,92 = 8,598 \text{ SiO}_2$ ;  $9,346 \cdot 0,06 = 0,56 \text{ Fe}_2\text{O}_3$  и по  $9,346 \cdot 0,01 = 0,093 \text{ Al}_2\text{O}_3$  и прочих компонентов.

Состав шихты, поступающей на плавку, приведён в табл. 3.

**Таблица 3 Состав шихты плавки в агрегате КИВЦЭТ-КФ**

| Компонент шихты | Количество компонентов |   |
|-----------------|------------------------|---|
|                 | кг                     | % |

|                      |         |       |
|----------------------|---------|-------|
| Свинцовый концентрат | 100     | 74,20 |
| Кварцевый песок      | 9,346   | 6,93  |
| Известняк            | 25,429  | 18,87 |
| Итого                | 134,775 | 100   |

Шихту перед плавкой в агрегате КИВЦЭТ-КФ измельчают с получением материала, диаметр частиц у которого менее 1 мм, а затем сушат до остаточной влажности 0,1-0,2 %.

***Расчёт количества чернового свинца, кокса для работы коксового фильтра и восстановления шлака обжигово-плавильной камеры***

При взаимодействии сульфидов металлов с кислородом в ОПК протекают следующие реакции:



В коксовом фильтре происходит восстановление оксидов свинца, меди, частично цинка и магнетита по реакциям



Сквозное извлечение свинца в черновой металл в агрегате КИВЦЭТ-КФ равно 94,5 %, что составляет  $52 \cdot 0,945 = 49,14$  кг.

В ОПК 90 % свинца переходит в черновой металл, что равно  $52 \cdot 0,90 = 46,8$  кг, а остальные 10 % свинца распределяются между штейном и шлаком ОПК.

Из 46,8 кг свинца 35 % образуются по реакции (3.6) в количестве  $46,8 \cdot 0,35 = 16,38$  кг. Для получения такой массы свинца потребуется сульфида свинца  $\text{PbS} \frac{16,38}{3 \cdot 207,2} \cdot 239,2 = 6,303$  кг.

В нём содержится  $6,303 : 239,2 \cdot 207,2 = 5,46$  кг Pb; оксида свинца  $-\frac{16,38}{3 \cdot 207,2} \cdot 2 \cdot 223,2 = 11,763$  кг. В результате реакции в газовую фазу выделится оксида серы

$\text{SO}_2 \frac{16,38}{3 \cdot 207,2} \cdot 64 = 1,686$  кг (0,843 S и 0,843 O<sub>2</sub>).

Остальной свинец восстанавливается в коксовом фильтре ОПК по реакции (7) в количестве, кг,

$$(m_{Pb})_{\text{вос}} = 46,8 \cdot 0,65 + (m_{Pb\text{мет}})_{\text{шт}} = 30,42 + 0,41 = 30,83.$$

Для получения такого количества свинца необходимо  $\frac{30,83}{207,2} \cdot 223,2 = 33,211$  кг PbO и  $\frac{30,83}{207,2} \cdot 12 = 1,786$  кг углерода, при этом в газовую фазу выделится  $\frac{1,786}{12} \cdot 28 = 4,166$  кг оксида углерода CO.

В черновой свинец перейдет 8% меди, что составит  $2,3 \cdot 0,08 = 0,184$  кг. Для восстановления меди в КФ по уравнению (3.8) потребуется, кг:

$$\text{углерода } \frac{0,184}{127,1} \cdot 12 = 0,017 \text{ кг.}$$

$$\text{оксида меди } Cu_2O \frac{0,184}{127,1} \cdot 143,08 = 0,207 \text{ кг.}$$

При этом оксида углерода получится  $\frac{0,017}{12} \cdot 28 = 0,041$  кг.

При плавке свинцового концентрата до 3% цинка восстанавливается по реакции (9) и переходит в черновой свинец. Масса цинка в свинце составит, кг:

$$(m_{Zn})_{Pb \text{ ч}} = (m_{Zn})_{K-T} \cdot (E_{Zn})_{Pb \text{ ч}} = 8,2 \cdot 0,03 = 0,246.$$

Для его восстановления необходимо  $\frac{0,246}{65,38} \cdot 12 = 0,045$  кг углерода C. В процессе реакции выделится в атмосферу ОПК  $\frac{0,246}{65,38} \cdot 28 = 0,105$  кг оксида углерода CO.

В ОПК до 20 % железа окисляется до Fe3O4 при этом масса железа в магнетите составляет, кг:

$$(m_{Fe})_{Fe3O4} = (m_{Fe})_K \cdot (E_{Fe})_{Fe3O4} = 9,4 \cdot 0,2 = 1,88.$$

Отсюда масса магнетита равна  $\frac{1,88}{3 \cdot 55,8} \cdot 231,55 = 2,598$  кг. В коксовом фильтре ОПК магнетит на 95 % восстанавливается углеродом до FeO по реакции (10). Количество восстановленного магнетита составляет  $2,598 \cdot 0,95 = 2,468$  кг.

Для восстановления такой массы магнетита потребуется  $\frac{2,468}{231,55} \cdot 12 = 0,128$  кг углерода C, при этом образуется  $\frac{2,468}{231,55} \cdot 3 \cdot 71,85 = 2,298$  кг FeO.

Со шлаком перейдет в ЭТК магнетита  $2,598 - 2,468 = 0,13$  кг Fe3O4.

С кварцевым песком поступает 0,56 кг Fe2O3. Это соединение в КФ восстанавливается до FeO. Для этого потребуется  $\frac{0,56}{159,7} \cdot 12 = 0,042$  кг углерода, в результате образуется  $\frac{0,56}{159,7} \cdot 28 = 0,098$  кг оксида углерода и  $\frac{0,56}{159,7} \cdot 71,85 = 0,504$  кг FeO.

Содержание прочих компонентов в черновом свинце принимаем равным 0,5 % от массы чернового металла. Тогда масса металла составит, кг:

$$m_{Pb \text{ ч}} = m_{Pb} + m_{Cu} + m_{Zn} + m_{\text{пр}} = 49,14 + 0,184 + 0,246 + m_{Pb \text{ ч}} \cdot 0,005.$$

Решая это уравнение, получим  $m_{Pb \text{ ч}} = 49,819$  кг. В нём содержится  $49,819 \cdot 0,005 = 0,249$  кг прочих компонентов.

Состав чернового свинца приведён в табл. 4.

Теоретический расход углерода для работы коксового фильтра ОПК будет равен, кг:

$$(m_C)_{\text{теор}} = (m_C)_{PbO} + (m_C)_{Cu_2O} + (m_C)_{ZnO} + (m_C)_{Fe_3O_4} + (m_C)_{Fe_2O_3} = \\ = 1,786 + 0,017 + 0,045 + 0,128 + 0,042 = 2,018.$$

Таблица 4 **Количество и состав черного свинца агрегата КИВЦЭТ-КФ**

| Компонент | Содержание компонента |       |
|-----------|-----------------------|-------|
|           | кг                    | %     |
| РЪ        | 49,14                 | 98,64 |
| Си        | 0,184                 | 0,37  |
| Зп        | 0,246                 | 0,49  |
| Прочие    | 0,249                 | 0,50  |
| Итого     | 49,819                | 100   |

Содержание углерода в коксе равно 90 %, тогда теоретический расход кокса составит  $2,018 : 0,9 = 2,242$  кг.

На практике берут избыток кокса для КФ 50 %, тогда практический расход кокса будет равен  $2,242 \cdot 1,5 = 3,363$  кг (3,027 С; 0,168 SiO<sub>2</sub>; 0,084 CaO; 0,084 FeO).

Масса избытка углерода составит, кг:

$$3,027 - 2,018 = 1,009.$$

Этот углерод будет реагировать с SO<sub>2</sub> по реакции



При этом потребуется  $\frac{1,009}{12} \cdot 64 = 5,381$  кг SO<sub>2</sub>, образуется  $\frac{1,009}{12} \cdot 32 = 2,691$  кг S и  $\frac{1,009}{12} \cdot 44 = 3,70$  кг CO<sub>2</sub>.

Рассчитываем массу шлака, образующегося в ОПК после коксового фильтра.

Известно, что масса магнетита в шлаке равна 0,13 кг Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Определяем количество оксида железа (II) в шлаке, кг:

$$(m_{FeO}) = \frac{(m_{Fe})_{\text{кон}} + (m_{Fe})_{\text{фл}} - (m_{Fe})_{\text{шт}} - (m_{Fe})_{Fe_3O_4}}{A_{Fe}} \cdot M_{FeO} + (m_{FeO})_{\text{з.к.}} = \\ = \frac{9,4 + 0,985 - 2,124 - 0,094}{55,85} \cdot 71,85 + 0,084 = 10,591,$$

$$\text{где } (m_{Fe})_{\text{фл}} = (m_{Fe})_{\text{КВ}} + (m_{Fe})_{\text{изв}} = \frac{m_{Fe_2O_3\text{КВ}}}{M_{Fe_2O_3}} \cdot 2A_{Fe} + \frac{(m_{FeO})_{\text{изв}}}{M_{FeO}} \cdot A_{Fe} = \frac{0,56}{159,7} \cdot 2 \cdot 55,85 + \\ \frac{0,763}{71,85} \cdot 55,85 = 0,985.$$

Рассчитываем массу оксида цинка в шлаке, кг:

$$(m_{ZnO})_{\text{шл}} = \frac{(m_{Zn})_{\text{кон}} - (m_{Zn})_{\text{шт}} - (m_{Zn})_{\text{Pb ч}}}{A_{Zn}} \cdot M_{ZnO} =$$

$$= \frac{8,2 - 0,354 - 0,246}{65,38} \cdot 81,38 = 9,46.$$

Масса оксида свинца в шлаке составит, кг:

$$(m_{PbO})_{\text{шл}} = \frac{(m_{Pb})_{\text{кон}} - (m_{Pb})_{\text{шт}} - (m_{Pb})_{\text{Pb ч}}}{A_{Pb}} \cdot M_{PbO} =$$

$$= \frac{52 - 46,8 - 0,779}{207,2} \cdot 223,2 = 4,762.$$

Количество халькозина Cu<sub>2</sub>S в шлаке равно, кг:

$$(m_{Cu_2S})_{\text{шл}} = \frac{(m_{Cu})_{\text{кон}} - (m_{Cu})_{\text{шт}} - (m_{Cu})_{\text{Pb ч}}}{A_{Cu}} \cdot M_{Cu_2S} =$$

$$= \frac{2,3 - 1,84 - 0,184}{127,1} \cdot 159,1 = 0,345.$$

Определяем количество SiO<sub>2</sub> в шлаке, кг:

$$(m_{SiO_2})_{\text{шл}} = (m_{SiO_2})_{\text{кон}} + (m_{SiO_2})_{\text{кв}} + (m_{SiO_2})_{\text{изв}} + (m_{SiO_2})_{\text{з.к.}} =$$

$$= 2 + 8,598 + 1,017 + 0,168 = 11,783.$$

Вычисляем массу CaO в шлаке, кг:

$$(m_{CaO})_{\text{шл}} = (m_{CaO})_{\text{кон}} + (m_{CaO})_{\text{изв}} + (m_{CaO})_{\text{з.к.}} =$$

$$= 1,8 + 13,223 + 0,084 = 15,107.$$

Масса глинозёма в шлаке будет равна, кг:

$$(m_{Al_2O_3})_{\text{шл}} = (m_{Al_2O_3})_{\text{кон}} + (m_{Al_2O_3})_{\text{кв}} = 0,2 + 0,093 = 0,293.$$

Определяем массу «прочих» компонентов в шлаке, кг:

$$(m_{\text{пр}})_{\text{шл}} = (m_{\text{пр}})_{\text{кон}} + (m_{\text{пр}})_{\text{фл}} - (m_{\text{пр}})_{\text{шт}} - (m_{\text{пр}})_{\text{Pb ч}} =$$

$$= 0,657 + 0,093 + 0,036 - 0,142 - 0,249 = 0,395,$$

где  $(m_{\text{пр}})_{\text{фл}} = (m_{\text{пр}})_{\text{кв}} + (m_{\text{пр}})_{\text{изв}} = 0,093 + 0,036.$

Все рассчитанные данные сводим в табл. 5.

**Таблица 5 Количество и состав шлака обжигово-плавильной камеры агрегата КИВЦЭТ-КФ**

| Компонент                      | Содержание компонента |       |
|--------------------------------|-----------------------|-------|
|                                | кг                    | %     |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | 0,13                  | 0,25  |
| FeO                            | 10,591                | 20,03 |
| ZnO                            | 9,46                  | 17,90 |
| PbO                            | 4,762                 | 9,01  |
| Cu <sub>2</sub> S              | 0,345                 | 0,65  |

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 11,78  | 22,29 |
| CaO                            | 15,105 | 28,58 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,293  | 0,55  |
| Прочие                         | 0,395  | 0,74  |
| Итого                          | 52,861 | 100   |

Этот шлак по содержанию основных компонентов FeO, SiO<sub>2</sub>, CaO и ZnO соответствует оптимальному составу. Повышенное количество CaO (28,58 %) необходимо для более полного восстановления свинца из силикатных форм.

### ***Расчёт количества кислорода для окисления сульфидов концентрата в ОПК***

Кислород в обжигово-плавильной камере расходуется на окисление сульфидов металлов. При этом сера, соединяясь с кислородом, переходит в газовую фазу в виде SO<sub>2</sub>, а металлы переходят в оксиды. Поэтому расчет количества кислорода проводят по стехиометрии химических реакций взаимодействия серы и металлов с O<sub>2</sub>.

Определяем массу серы, перешедшей из свинцового концентрата в газовую фазу ОПК, кг:

$$(m_S)_{г.ф.} = (m_S)_{кон} - (m_S)_{шт} - (m_S)_{шл} = 22,029 - 1,669 - \frac{0,345}{159,1} \cdot 32 = 20,261.$$

При этом степень десульфуризации составляет:

$$\frac{20,261}{22,029} \cdot 100 = 91,97 \text{ \%}.$$

Из 20,261 кг серы по уравнению (3.6) в газовую фазу уйдёт 0,843 кг серы. Окислится кислородом следующее количество S, кг:  $20,261 - 0,843 = 19,418$ . Для этого потребуется кислорода  $19,418 \text{ кг O}_2$  и образуется  $19,418 \cdot 2 = 38,836 \text{ кг SO}_2$ .

Всего в газовую фазу ОПК выделится SO<sub>2</sub> в количестве

$$38,836 + 1,686 = 40,522 \text{ кг}.$$

Железо в количестве 1,754 кг в виде FeS перешло в штейн.

Остальное железо концентрата взаимодействует с O<sub>2</sub> в количестве

$$9,4 - 1,754 = 7,646 \text{ кг}.$$

Из них 0,37 кг железа окисляется до Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и уходит в штейн (табл. 3.1), для этого потребуется 0,142 кг O<sub>2</sub>.

Остальные 7,276 кг железа переходят в шлак в виде FeO и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. В магнетите содержится 1,88 кг железа, а в оксиде FeO  $7,276 - 1,88 = 5,396 \text{ кг Fe}$ . В результате окисления получено 2,598 кг Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и  $\frac{5,396}{55,85} \cdot 71,85 = 6,942 \text{ кг FeO}$ .

Для окисления железа до Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> потребуется кислорода в количестве  $2,598 - 1,88 = 0,718 \text{ кг}$ , для окисления железа до FeO необходимо кислорода  $6,942 - 5,396 = 1,546 \text{ кг}$ .

В ОПК окислится следующее количество цинка, кг:

$$(m_{Zn})_{ZnO} = (m_{Zn})_{кон} - (m_{Zn})_{шт} = 8,2 - 0,354 = 7,846.$$

Для окисления этой массы цинка необходимо кислорода:

$$\frac{7,846}{65,38} \cdot 16 = 1,92 \text{ кг.}$$

В ОПК окислится следующее количество свинца, кг:

$$(m_{Pb})_{PbO} = (m_{Pb})_{\text{кон}} - (m_{Pb})_{PbS \text{ шт}} - (m_{Pb})_{PbS (5.6)} = 52 - 0,369 - 5,46 = 46,171.$$

Для этого потребуется кислорода  $\frac{46,171}{207,2} \cdot 16 = 3,565 \text{ кг.}$

Определяем количество кислорода для окисления меди, перешедшей по реакциям (3.5) и (3.8) в черновой свинец, кг:

$$(m_O)_{Cu_2O} = \frac{0,184}{127,1} \cdot 16 = 0,023.$$

Всего потребуется кислорода для окисления серы и металлов, кг:

$$19,418 + 0,142 + 0,718 + 1,546 + 1,92 + 3,565 + 0,023 = 27,332.$$

Учитывая, что технический кислород содержит 96 % O<sub>2</sub> и 4 % N<sub>2</sub>, получим количество технического кислорода, которое составит  $27,332 : 0,96 = 28,471 \text{ кг.}$

На практике расход кислорода берётся с избытком 5 %. Практический расход технического кислорода составит  $28,471 \cdot 1,05 = 29,894 \text{ кг.}$  В этом количестве технического кислорода чистого кислорода содержится 28,699 кг, избыточного кислорода поступает в ОПК  $29,894 - 28,699 = 1,195 \text{ кг,}$  азота поступает в ОПК  $29,894 \cdot 0,04 = 1,196 \text{ кг.}$

### ***Расчёт количества и состава отходящих газов из обжигово-плавильной камеры***

Отходящие газы ОПК содержат SO<sub>2</sub>, S, кислород, азот, оксиды углерода, которые образуются при работе коксового фильтра и поступают с твёрдой шихтой в виде летучих компонентов.

В газовую фазу переходит следующее количество компонентов, кг:  $40,522 - 5,381 = 35,141 \text{ SO}_2;$   $2,691 \text{ S};$   $1,367$  избыточного кислорода и  $1,196$  азота.

Из шихты при нагревании выделяется в газовую фазу следующее количество CO<sub>2</sub>, кг:

$$(m_{CO_2})_{\text{ш}} = \frac{m_{CaO}}{M_{CaO}} \cdot M_{CO_2} = \frac{13,223 + 1,8}{56} \cdot 44 = 11,804.$$

При сгорании избыточного углерода КФ образуется  $3,70 \text{ кг CO}_2.$

Всего в отходящие газы выделится  $11,804 + 3,70 = 15,504 \text{ кг CO}_2.$

В процессе восстановления оксидов металлов в КФ образуется следующее количество CO, кг:

$$\begin{aligned} (m_{CO})_{\text{г.ф.}} &= (m_{CO})_{PbO} + (m_{CO})_{Cu_2O} + (m_{CO})_{ZnO} + (m_{CO})_{Fe_3O_4} + (m_{CO})_{Fe_2O_3} = \\ &= 4,166 + 0,041 + 0,105 + 0,298 + 0,0985 = 4,708. \end{aligned}$$

$$(m_{CO})_{Fe_3O_4} = 2,468 \cdot \frac{28}{232} = 0,298 \text{ кг.}$$

Все данные по расчёту количества отходящих газов сведены в табл. 6.

Таблица 6 **Количество и состав технологических газов обжигово-плавильной камеры агрегата КИВЦЭТ-КФ**

| Компоненты      | Содержание компонентов |                       |             |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-------------|
|                 | Масса, кг              | Объем, м <sup>3</sup> | % от объема |
| SO <sub>2</sub> | 35,141                 | 12,30                 | 44,31       |
| S               | 2,691                  | 1,88                  | 6,77        |
| CO <sub>2</sub> | 15,504                 | 7,89                  | 28,42       |
| CO              | 4,708                  | 3,77                  | 13,58       |
| O <sub>2</sub>  | 1,367                  | 0,96                  | 3,46        |
| N <sub>2</sub>  | 1,196                  | 0,96                  | 3,46        |
| Итого           | 60,607                 | 27,76                 | 100         |

В отходящих газах ОПК не учтена вода, так как ее содержание в исходной шихте менее 0,1 %.

### ***Расчет процесса частичной доработки шлака в электротермической камере (ЭТК)***

Электротермическая камера представляет собой электропечь сопротивления с тремя графитовыми электродами. Эта печь имеет общую подину и основание с обжигово-плавильной камерой. Для восстановления оксидов металлов в ЭТК добавляют мелкий кокс в количестве 1,5-2 % от массы шлака.

Расчет процесса доработки шлаков в ЭТК включает определение количества кокса для частичного восстановления оксидов цинка и свинца, воздуха для окисления возгонов Zn и Pb, масс и составов возгонов и отработанного шлака.

### ***Расчет количества кокса для ЭТК***

В электротермической камере происходит дальнейшее разделение продуктов плавки по плотностям и частичное восстановление оксидов цинка, свинца и железа по реакциям (7), (9) и (10).

Определяем количество углерода для восстановления оксидов металлов.

Со шлаком в ЭТК поступает 9,46 кг ZnO. Оксид цинка в процессе доработки шлака восстанавливается по реакции (9) на 30 %, что составляет  $9,46 \cdot 0,3 = 2,838$  кг. При этом в возгоны переходит следующая масса цинка:  $\frac{2,838}{81,38} \cdot 65,38 = 2,28$  кг.

Для восстановления такого количества цинка потребуется углерода  $\frac{2,28}{65,38} \cdot 12 = 0,418$  кг и выделится в газовую фазу оксида углерода  $\frac{2,28}{65,38} \cdot 28 = 0,976$  кг.

В ЭТК восстановится и перейдет в черновой свинец следующее количество свинца, кг:

$$(m_{Pb})_{Pb \text{ ч ЭТК}} = (m_{Pb})_{Pb \text{ ч}} + (m_{Pb})_{Pb \text{ ч ОПК}} = 49,14 - 46,8 = 2,34.$$

Так как в ОПК в черновой свинец переходит 90% Pb, то в ЭТК в возгоны и шлак перейдет 10%.

В возгоны и шлак ЭТК перейдет  $5,2 - 2,34 - 0,779 = 2,081$  кг свинца.

Учитывая, что в ЭТК в черновой свинец переходит до 80 % восстановившегося свинца, можно определить общее количество свинца, которое восстановится в ЭТК:

$$m_{\text{вос}Pb} = \frac{(m_{Pb})_{Pb \text{ ч ЭТК}}}{(E_{Pb})_{Pb \text{ ч ЭТК}}} = \frac{2,34}{0,80} = 2,925.$$

Масса свинца в возгонах составит  $(m_{Pb})_{\text{воз}} = 2,925 - 2,34 = 0,585$  кг.

В отработанный шлак ЭТК перейдет свинца  $2,081 - 0,585 = 1,496$  кг.

Для получения 2,925 кг Рb из его оксида потребуется углерода  $\frac{2,925}{207,2} \cdot 12 = 0,169$  кг С, при этом образуется оксида углерода  $\frac{2,925}{207,2} \cdot 28 = 0,395$  кг СО.

Магнетит шлака в ЭТК восстанавливается полностью до FeO в количестве 0,13 кг по реакции (10). Для этого требуется углерода  $\frac{0,13}{231,55} \cdot 12 = 0,007$  кг С. В результате в газовую фазу выделится оксида углерода  $\frac{0,13}{231,55} \cdot 28 = 0,016$  кг СО и образуется оксида железа (II)

СО и образуется оксида железа (II)  $\frac{0,13}{231,55} \cdot 3 \cdot 71,85 = 0,121$  кг FeO.

Для работы электротермической камеры потребуется углерода, кг:

$$(m_C)_T = (m_C)_{PbO} + (m_C)_{ZnO} + (m_C)_{Fe_3O_4} = 0,418 + 0,169 + 0,007 = 0,594.$$

Теоретический расход кокса составит  $0,594 : 0,9 = 0,66$  кг.

На практике для работы ЭТК берут избыток кокса 10 %. Тогда практический расход кокса составит  $0,66 \cdot 1,1 = 0,726$  кг.

В этом количестве кокса содержится, кг: 0,653 С; 0,036 SiO<sub>2</sub>; 0,019 CaO и 0,018 FeO.

Избыток кокса в процессе работы ЭТК распределяется поровну между возгонами и отработанным шлаком в количестве  $0,726 - 0,66 = 0,066$  кг. Следовательно, в возгоны и шлак перейдет по 0,033 кг кокса (0,0297 С; 0,00165 SiO<sub>2</sub>; 0,0008 CaO и 0,0008 FeO).

### ***Расчет количества воздуха для окисления возгонов в ЭТК***

Возгоны цинка и свинца окисляются в газоходе воздухом до оксидов и после охлаждения улавливаются в рукавных фильтрах.

В ЭТК в возгоны переходит 2,28 кг цинка. Для его окисления потребуется  $\frac{2,28}{65,38} \cdot 16 = 0,558$  кг кислорода. При этом образуется  $\frac{2,28}{65,38} \cdot 81,38 = 2,838$  кг оксида цинка. Масса свинца в возгонах составляет 0,585 кг. Для перевода свинца в РbО необходимо затратить  $\frac{0,585}{207,2} \cdot 16 = 0,045$  кг кислорода. Масса оксида свинца в возгонках будет равна  $0,585 + 0,045 = 0,630$  кг.

Всего на окисление возгонов требуется  $0,558 + 0,045 = 0,603$  кг кислорода.

Масса воздуха для подачи такого количества кислорода составит  $m_{\text{воз}} = m_{\text{O}_2} : (C_{\text{O}_2})_{\text{воз}} = 0,603 : 0,23 = 2,662$  кг. В этом количестве воздуха содержится  $2,662 \cdot 0,77 = 2,019$  кг азота.

### ***Расчёт количества возгонов и отходящих газов ЭТК***

В возгоны ЭТК переходит 2,838 кг ZnO; 0,63 кг PbO; 0,033 кг кокса и прочих компонентов в количестве 1 % от массы возгонов. Определяем общую массу возгонов, кг:

$$m_{\text{воз}} = m_{\text{PbO}} + m_{\text{ZnO}} + m_{\text{к}} + m_{\text{пр}} = 2,838 + 0,63 + 0,033 + 0,01 \cdot m_{\text{воз}}.$$

Решая это уравнение, находим, что  $m_{\text{воз}} = 3,536$  и  $m_{\text{пр}} = 0,035$ .

В отходящих газах ЭТК присутствуют CO и N<sub>2</sub>.

Количество азота составляет 2,019 кг N<sub>2</sub>, масса оксида углерода равна, кг:

$$(m_{\text{CO}})_{\text{газ}} = (m_{\text{CO}})_{\text{ZnO}} + (m_{\text{CO}})_{\text{PbO}} + (m_{\text{CO}})_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 0,976 + 0,395 + 0,016 = 1,387.$$

Масса отходящих газов ЭТК составляет  $2,019 + 1,387 = 3,406$  кг.

### ***Расчёт количества отработанного шлака ЭТК***

В отработанном шлаке за счёт частичного восстановления оксидов металлов происходит снижение концентрации PbO, ZnO и O<sub>2</sub> (из Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), но увеличение содержания SiO<sub>2</sub>, CaO, FeO и C за счёт работы восстановителя - кокса.

В отработанном шлаке содержится оксида железа (II), кг:

$$m_{\text{FeO}} = (m_{\text{FeO}})_{\text{шЛОПК}} + (m_{\text{FeO}})_{\text{вос}} + (m_{\text{FeO}})_{\text{з.к.ЭТК}} = 10,591 + 0,121 + \frac{0,66 \cdot 0,1 \cdot 0,25}{71,85} \cdot 55,85 + 0,0008 = 10,726$$

Масса оксида цинка в шлаке составляет, кг:

$$m_{\text{ZnO}} = (m_{\text{ZnO}})_{\text{шЛОПК}} - (m_{\text{ZnO}})_{\text{воз}} = 9,46 - 2,838 = 6,622.$$

В отработанный шлак переходит 1,496 кг свинца в виде PbO. Масса PbO будет равна  $\frac{1,496}{207,2} \cdot 223,2 = 1,612$  кг.

Массы Cu<sub>2</sub>S и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> останутся неизменными и составят, соответственно, 0,345 кг Cu<sub>2</sub>S и 0,293 кг Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Рассчитываем количество SiO<sub>2</sub> в отработанном шлаке, кг:

$$m_{\text{SiO}_2} = (m_{\text{SiO}_2})_{\text{шЛОПК}} - (m_{\text{SiO}_2})_{\text{з.к.ЭТК}} = 11,783 + (0,66 \cdot 0,1 \cdot 0,5 + 0,033 \cdot 0,1 \cdot 0,5) = 11,818.$$

Определяем количество CaO в шлаке ЭТК:

$$m_{\text{CaO}} = (m_{\text{CaO}})_{\text{шЛОПК}} - (m_{\text{CaO}})_{\text{з.к.}} = 15,107 + (0,66 \cdot 0,1 \cdot 0,25 + 0,033 \cdot 0,1 \cdot 0,25) = 15,124.$$

Масса прочих в шлаке составляет, кг:

$$m_{\text{пр}} = (m_{\text{пр}})_{\text{шЛОПК}} - (m_{\text{пр}})_{\text{воз}} = 0,395 - 0,035 = 0,36 \text{ кг.}$$

Все данные расчёта сведены в табл. 7.

**Т а б л и ц а 7 Количество и состав отработанного шлака электротермической камеры агрегата КИВЦЭТ-КФ**

| Компонент                      | Содержание компонента |       |
|--------------------------------|-----------------------|-------|
|                                | кг                    | %     |
| FeO                            | 10,726                | 22,85 |
| ZnO                            | 6,622                 | 14,11 |
| PbO                            | 1,612                 | 3,44  |
| Cu <sub>2</sub> S              | 0,345                 | 0,74  |
| SiO <sub>2</sub>               | 11,818                | 25,18 |
| CaO                            | 15,124                | 32,23 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,293                 | 0,62  |
| C                              | 0,031                 | 0,06  |
| Прочие                         | 0,360                 | 0,77  |
| Итого                          | 46,93                 | 100   |

По результатам расчетов составляем материальный баланс кислородно-факельной плавки свинцового концентрата в агрегате КИВЦЭТ-КФ.

Анализ данных материального баланса процесса плавки показывает, что отработанный шлак содержит большое количество цветных металлов (11,34 % Zn, 3,19 % Pb и 0,59 % Си) и не является отвальным продуктом. Такой шлак необходимо дорабатывать методом фьюмингования с извлечением в возгоны цинка, свинца и редких металлов. В газах обжигово-плавильной камеры содержится 33,43 % S. Такие газы могут быть переработаны на элементарную серу или сжиженный сернистый ангидрид.

| Материальный баланс процесса плавки Рb - концентрата в агрегате КИВЦЭТ-КФ |                            |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |       |        |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Материалы и продукты                                                      | Содержание коомонентов, кг |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |       |        |
|                                                                           | Всего                      | Pb     | Zn    | Cu    | Fe     | S      | SiO2   | CaO    | Al2O3 | C     | O2     | N2    | Прочие |
| Поступил                                                                  |                            |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |       |        |
| Рb - концентрат                                                           | 100,000                    | 52,000 | 8,200 | 2,300 | 9,400  | 22,029 | 2,000  | 1,800  | 0,200 | 0,386 | 1,028  |       | 0,657  |
| Кварцевый песок                                                           | 9,345                      |        |       |       | 0,393  |        | 8,598  |        | 0,093 |       | 0,168  |       | 0,093  |
| Известняк                                                                 | 25,430                     |        |       |       | 0,593  |        | 1,017  | 13,224 |       | 2,834 | 7,726  |       | 0,036  |
| Кокс КФ                                                                   | 3,363                      |        |       |       | 0,065  |        | 0,168  | 0,084  |       | 3,027 | 0,019  |       |        |
| Технический O2                                                            | 29,897                     |        |       |       |        |        |        |        |       |       | 28,701 | 1,196 |        |
| Кокс ЭТК                                                                  | 0,727                      |        |       |       | 0,014  |        | 0,036  | 0,018  |       | 0,654 | 0,004  |       |        |
| Воздух ЭТК                                                                | 2,622                      |        |       |       |        |        |        |        |       |       | 0,603  | 2,019 |        |
| Итого                                                                     | 171,385                    | 52,000 | 8,200 | 2,300 | 10,465 | 22,029 | 11,819 | 15,126 | 0,293 | 6,900 | 38,249 | 3,215 | 0,786  |
| Получено                                                                  |                            |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |       |        |
| Рb - черновой                                                             | 49,819                     | 49,140 | 0,246 | 0,184 |        |        |        |        |       |       |        |       | 0,249  |
| Штейн                                                                     | 7,077                      | 0,778  | 0,354 | 1,840 | 2,123  | 1,698  |        |        |       |       | 0,142  |       | 0,142  |
| Шлак отработанный                                                         | 46,933                     | 1,497  | 5,314 | 0,276 | 8,343  | 0,069  | 11,818 | 15,125 | 0,293 | 0,030 | 3,807  |       | 0,360  |
| Газы ОПК                                                                  | 60,606                     |        |       |       |        | 20,261 |        |        |       | 6,246 | 32,903 | 1,196 |        |
| Газы ЭТК                                                                  | 3,407                      |        |       |       |        |        |        |        |       | 0,595 | 0,793  | 2,019 |        |
| Возгоны                                                                   | 3,536                      | 0,585  | 2,280 |       | 0,001  |        | 0,002  | 0,001  |       | 0,030 | 0,603  |       | 0,035  |
| Итого                                                                     | 171,378                    | 52,000 | 8,194 | 2,300 | 10,466 | 22,029 | 11,819 | 15,126 | 0,293 | 6,900 | 38,248 | 3,215 | 0,786  |

## Индивидуальные задания

### Вариант- 0

#### 1. Концентрат

| Pb | Zn  | Cu  | Fe  | S      | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|-----|-----|-----|--------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 52 | 8,2 | 2,3 | 9,4 | 22,029 | 1,8 | 2                | 0,2                            | 1,414           | 0,657  |

#### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 92               | 6                              | 1                              | 1      |

#### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 4                | 3   | 40,86           | 52  | 0,14   |

#### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

#### 5. Штейн

| Cu | Zn | Fe | S  | Pb | Прочие |
|----|----|----|----|----|--------|
| 26 | 5  | 30 | 24 | 13 | 2      |

#### 6. Шлак

| ZnO  | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------|------------------|-----|-----|
| 19,8 | 25               | 20  | 32  |

## Вариант- 1

### 1. Концентрат

| Pb | Zn  | Cu  | Fe | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|-----|-----|----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 48 | 8,5 | 2,8 | 9  | 21,2 | 3,5 | 2                | 1,57                           | 2               | 1,43   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 72               | 12,2                           | 2,9                            | 12,9   |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,9              | 5,0 | 38,5            | 49  | 0,6    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn  | Fe    | S     | Прочие |
|-------|-----|-------|-------|--------|
| 26,35 | 4,5 | 29,33 | 24,18 | 2      |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 15  | 20               | 27  | 34,8 |

## Вариант- 2

### 1. Концентрат

| Pb | Zn | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 42 | 7  | 2,5 | 9,5 | 20,1 | 3   | 2,5              | 1,96                           | 3               | 8,44   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 79               | 14,8                           | 3,5                            | 2,7    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,8              | 3,2 | 39,3            | 50  | 0,7    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn  | Fe    | S     | Прочие |
|-------|-----|-------|-------|--------|
| 23,53 | 3,7 | 30,96 | 28,47 | 3      |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 16  | 21               | 28  | 31,8 |

## Вариант- 3

### 1. Концентрат

| Pb | Zn | Cu | Fe | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|----|----|----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 44 | 8  | 2  | 10 | 21,2 | 3,5 | 3                | 2,36                           | 3,5             | 2,44   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 74               | 10,8                           | 3,5                            | 11,7   |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 7                | 1,1 | 40,1            | 51  | 0,8    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 18,82 | 4,24 | 32,59 | 30,37 | 1,5    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 17  | 22               | 29  | 28,8 |

## Вариант- 4

### 1. Концентрат

| Pb | Zn  | Cu  | Fe | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|-----|-----|----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 43 | 8,5 | 2,6 | 9  | 20,5 | 2,8 | 2,8              | 2,20                           | 3,2             | 5,40   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 77               | 14                             | 3,7                            | 5,3    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,6              | 3,2 | 39,3            | 50  | 0,9    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn  | Fe    | S     | Прочие |
|-------|-----|-------|-------|--------|
| 24,47 | 4,5 | 29,33 | 28,04 | 2,4    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 18  | 20               | 24  | 34,8 |

## Вариант- 5

### 1. Концентрат

| Pb | Zn | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 41 | 9  | 2,5 | 9,5 | 20,9 | 3,2 | 2,8              | 2,20                           | 3,2             | 5,70   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 78               | 14,8                           | 3,3                            | 3,9    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,7              | 5,0 | 38,5            | 49  | 0,8    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 23,53 | 4,77 | 30,96 | 27,72 | 3,1    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 19  | 21               | 25  | 31,8 |

## Вариант- 6

### 1. Концентрат

| Pb | Zn  | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|-----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 40 | 8,4 | 2,7 | 8,8 | 19,8 | 3,6 | 3,2              | 2,51                           | 2,8             | 8,19   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 77               | 12,5                           | 4                              | 6,5    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,8              | 6,8 | 37,7            | 48  | 0,7    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu   | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|------|------|-------|-------|--------|
| 25,4 | 4,45 | 28,68 | 28,77 | 1,9    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 20  | 22               | 26  | 28,8 |

## Вариант- 7

### 1. Концентрат

| Pb | Zn  | Cu | Fe   | S  | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|-----|----|------|----|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 39 | 7,5 | 3  | 10,5 | 21 | 4   | 3,5              | 2,75                           | 2,7             | 6,05   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 78               | 14,2                           | 3,6                            | 4,6    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,9              | 8,6 | 36,9            | 47  | 0,6    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 28,24 | 3,98 | 34,22 | 21,08 | 2,7    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 12  | 23               | 27  | 34,8 |

## Вариант- 8

### 1. Концентрат

| Pb | Zn | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|----|----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 45 | 8  | 2,9 | 8,6 | 20,2 | 2,8 | 3,2              | 2,51                           | 3,1             | 3,69   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 80               | 12,8                           | 3,8                            | 3,4    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 7                | 6,8 | 37,7            | 48  | 0,5    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 27,29 | 4,24 | 28,02 | 26,05 | 1,6    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 13  | 18               | 28  | 37,8 |

## Вариант- 9

### 1. Концентрат

| Pb   | Zn  | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 41,6 | 8,6 | 3,2 | 9,2 | 20,7 | 3,1 | 3,6              | 2,83                           | 3,8             | 3,37   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 78               | 13                             | 4,2                            | 4,8    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,7              | 5,4 | 38,5            | 49  | 0,4    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 30,12 | 4,56 | 29,98 | 22,04 | 2,9    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 14  | 19               | 24  | 39,8 |

## Вариант- 10

### 1. Концентрат

| Pb   | Zn  | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 40,5 | 7,2 | 3,2 | 7,8 | 18,5 | 3,2 | 3,5              | 2,75                           | 2,9             | 10,45  |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 77               | 15                             | 3,8                            | 4,2    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,8              | 3,4 | 39,3            | 50  | 0,5    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 30,12 | 3,82 | 25,42 | 27,68 | 1,6    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 15  | 20               | 25  | 36,8 |

## Вариант- 11

### 1. Концентрат

| Pb   | Zn  | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 40,2 | 8,4 | 2,6 | 8,8 | 19,8 | 3,6 | 2,8              | 2,20                           | 3,2             | 8,40   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 80               | 13,8                           | 2,9                            | 3,3    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,9              | 1,4 | 40,1            | 51  | 0,6    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S  | Прочие |
|-------|------|-------|----|--------|
| 24,47 | 4,45 | 34,22 | 24 | 1,5    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 12  | 19               | 26  | 39,8 |

## Вариант- 12

### 1. Концентрат

| Pb   | Zn  | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 41,6 | 8,6 | 3,5 | 9,2 | 20,8 | 3,8 | 2,9              | 2,28                           | 3,5             | 3,82   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 79               | 13,9                           | 2,9                            | 4,2    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,3              | 0,1 | 40,9            | 52  | 0,7    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe | S     | Прочие |
|-------|------|----|-------|--------|
| 32,94 | 4,56 | 29 | 21,69 | 2,4    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 16  | 20               | 27  | 33,8 |

## Вариант- 13

### 1. Концентрат

| Pb   | Zn  | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 43,5 | 8,1 | 2,9 | 8,8 | 20,3 | 3,5 | 4,1              | 3,22                           | 3,6             | 1,98   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 78               | 14                             | 3,8                            | 4,1    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 7                | 1,1 | 40,1            | 51  | 0,8    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 27,29 | 4,29 | 34,22 | 20,28 | 3,1    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 17  | 21               | 28  | 30,8 |

## Вариант- 14

### 1. Концентрат

| Pb   | Zn  | Cu  | Fe  | S    | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO <sub>2</sub> | Прочие |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------------------|--------------------------------|-----------------|--------|
| 40,3 | 7,2 | 3,6 | 9,2 | 19,9 | 3,1 | 2,8              | 2,20                           | 2,4             | 9,30   |

### 2. Песок

| SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Прочие |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| 81               | 12,7                           | 3                              | 3,3    |

### 3. Известняк

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CO <sub>2</sub> | CaO | Прочие |
|------------------|-----|-----------------|-----|--------|
| 6,7              | 4,9 | 38,5            | 49  | 0,9    |

### 4. Зола

| SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO |
|------------------|-----|-----|
| 50               | 25  | 25  |

### 5. Штейн

| Cu    | Zn   | Fe    | S     | Прочие |
|-------|------|-------|-------|--------|
| 33,88 | 3,82 | 29,98 | 19,42 | 1,9    |

### 6. Шлак

| ZnO | SiO <sub>2</sub> | FeO | CaO  |
|-----|------------------|-----|------|
| 19  | 22               | 29  | 26,8 |

## Гидрометаллургические методы переработки техногенного сырья

### Задания для практической работы

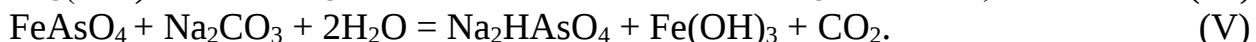
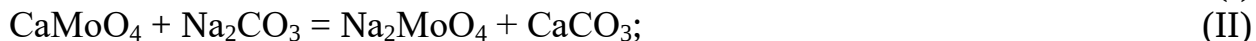
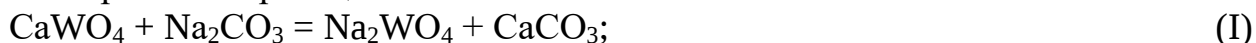
*Пример расчета расхода соды и состава продуктов выщелачивания.*

По исходным данным рассчитать рациональный состав шеелитового концентрата, % и занести в таблицу 1:

Таблица 1. Рациональный состав шеелитового концентрата

|                                                 | WO <sub>3</sub> | Mo   | CaO   | SiO <sub>2</sub> | Cu   | P    | As   | Sn   | Fe   | S    | O     | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | проч | всего |
|-------------------------------------------------|-----------------|------|-------|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-----------------|------------------|------|-------|
| CaWO <sub>4</sub>                               | 57,0            |      | 13,78 |                  |      |      |      |      |      |      |       |                 |                  |      | 70,78 |
| CaMoO <sub>4</sub>                              |                 | 0,15 | 0,08  |                  |      |      |      |      |      |      | 0,075 |                 |                  |      | 0,31  |
| Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> |                 |      | 0,41  |                  |      | 0,15 |      |      |      |      | 0,19  |                 |                  |      | 0,75  |
| FeAsO <sub>4</sub>                              |                 |      |       |                  |      |      | 0,15 |      | 0,11 |      | 0,12  |                 |                  |      | 0,38  |
| CuFeS <sub>2</sub>                              |                 |      |       |                  | 0,15 |      |      |      | 0,13 | 0,17 |       |                 |                  |      | 0,45  |
| SnO <sub>2</sub>                                |                 |      |       |                  |      |      |      | 0,15 |      |      | 0,04  |                 |                  |      | 0,19  |
| FeS <sub>2</sub>                                |                 |      |       |                  |      |      |      |      | 0,55 | 0,63 |       |                 |                  |      | 1,18  |
| CaCO <sub>3</sub>                               |                 |      | 10,73 |                  |      |      |      |      |      |      |       | 8,42            |                  |      | 19,16 |
| SiO <sub>2</sub>                                |                 |      |       | 3,5              |      |      |      |      |      |      |       |                 |                  |      | 3,5   |
| H <sub>2</sub> O                                |                 |      |       |                  |      |      |      |      |      |      |       |                 | 2,0              |      | 2,0   |
| прочие                                          |                 |      |       |                  |      |      |      |      |      |      |       |                 |                  | 1,32 | 1,32  |
| всего                                           | 57,0            | 0,15 | 25,00 | 3,5              | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,79 | 0,8  | 0,425 | 8,42            | 2,0              | 1,32 | 100   |

При автоклавно-содовом выщелачивании шеелитового концентрата протекают реакции:



Соединения SnO<sub>2</sub>, CuFeS<sub>2</sub>, FeS<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> и прочие с содовым раствором не реагируют и полностью переходят в кек.

По данным практики, принимаем следующие степени разложения соединений содовым раствором, %:

|                   |                    |                  |                                                 |                    |
|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------------------------------|--------------------|
| CaWO <sub>4</sub> | CaMoO <sub>4</sub> | SiO <sub>2</sub> | Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | FeAsO <sub>4</sub> |
| <b>99</b>         | <b>100</b>         | <b>65</b>        | <b>78</b>                                       | <b>100</b>         |

### Расчет по реакциям

*Расчет массы и состава раствора выщелачивания*

По реакции I:  $\text{CaWO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCO}_3$ ;

1.1. Масса CaWO<sub>4</sub>, не разлагающегося и переходящего в осадок, равно  $70,78 \cdot 0,01 = 0,7$  кг

В том числе:

$$m(\text{WO}_3) = m(\text{CaWO}_4) \cdot M(\text{WO}_3) / M(\text{CaWO}_4) = 0,7 \cdot 231,8 / 287,8 = 0,56 \text{ кг}$$

$$m(\text{CaO}) = m(\text{CaWO}_4) - m(\text{WO}_3) = 0,7 - 0,56 = 0,14 \text{ кг.}$$

1.2. Масса  $\text{CaWO}_4$ , разлагающегося содой,  $70,78 \cdot 0,99 = 70,07 \text{ кг}$

В том числе:

$\text{WO}_3$

$$m(\text{WO}_3) = m(\text{CaWO}_4) \cdot M(\text{WO}_3) / M(\text{CaWO}_4) = 70,07 \cdot 231,8 / 287,8 = 56,42 \text{ кг}$$

Масса соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  для данной реакции:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m(\text{CaWO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) / M(\text{CaWO}_4) = 70,07 \cdot 105,97 / 287,92 = 25,79 \text{ кг}$$

В результате реакции образуется:

$\text{Na}_2\text{WO}_4$ :

$$m(\text{Na}_2\text{WO}_4) = m(\text{CaWO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{WO}_4) / M(\text{CaWO}_4) = 70,07 \cdot 293,81 / 287,92 = 71,53 \text{ кг}$$

в том числе:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{CaWO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{CaWO}_4) = 70,07 \cdot 62 / 287,92 = 15,09 \text{ кг}$$

$$m(\text{WO}_3) = m(\text{Na}_2\text{WO}_4) - m(\text{Na}_2\text{O}) = 71,53 - 15,09 = 56,44 \text{ кг}$$

$\text{CaCO}_3$  (осадок, перейдет в кек):

$$m(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaWO}_4) \cdot M(\text{CaCO}_3) / M(\text{CaWO}_4) = 70,07 \cdot 100,08 / 287,92 = 24,36 \text{ кг}$$

в том числе:

$$m(\text{CaO}) = m(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaO}) / M(\text{CaCO}_3) = 24,36 \cdot 56 / 100,08 = 13,63 \text{ кг}$$

$$m(\text{CO}_2) = m(\text{CaCO}_3) - m(\text{CaO}) = 24,36 - 13,63 = 10,73 \text{ кг}$$

| Вещество                 | $\text{CaWO}_4$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3$    | $\text{Na}_2\text{WO}_4$     | $\text{CaCO}_3$    |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Молярная масса, кг/кмоль | 288             | 106                         | 294                          | 100                |
| Масса, кг                | 70,76           | $m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ | $m(\text{Na}_2\text{MoO}_4)$ | $m(\text{CaCO}_3)$ |
| По расчетам              | 70,05 (99%)     | 25,78                       | 71,51                        | 24,32              |

Аналогичными расчетами определяем массы расходуемых и образующихся соединений для последующих реакций.

2. По реакции (II)  $\text{CaMoO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{MoO}_4 + \text{CaCO}_3$ ;

Масса  $\text{CaMoO}_4$ , разлагающегося содой, 0,31 кг (0,15 кг Мо, 0,08 кг СаО, 0,075 кг О). Тогда:

| Вещество                 | $\text{CaMoO}_4$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ | $\text{CaCO}_3$ |
|--------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------|
| Молярная масса, кг/кмоль | 200              | 106                      | 206                       | 100             |

|             |            |                  |                   |                |
|-------------|------------|------------------|-------------------|----------------|
| Масса, кг   | 0,31       | $m_{(Na_2CO_3)}$ | $m_{(Na_2MoO_4)}$ | $m_{(CaCO_3)}$ |
| По расчетам | 0,31(100%) | 0,16             | 0,31              | 0,15           |

Отсюда:

Масса соды  $Na_2CO_3$ , необходимая для реакции II

$$m_{(Na_2CO_3)} = m_{(CaMoO_4)} \cdot M_{(Na_2CO_3)} / M_{(CaMoO_4)} = 0,31 \cdot 105,97 / 200,01 = 0,16 \text{ кг}$$

В результате реакции образуется  $Na_2MoO_4$

$$m_{(Na_2MoO_4)} = m_{(CaMoO_4)} \cdot M_{(Na_2MoO_4)} / M_{(CaMoO_4)} = 0,31 \cdot 205,9 / 200,01 = 0,32 \text{ кг}$$

В том числе:

$$m_{(Mo)} = m_{(Na_2MoO_4)} \cdot M_{(Mo)} / M_{(Na_2MoO_4)} = 0,32 \cdot 95,9 / 205,9 = 0,15$$

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2MoO_4)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2MoO_4)} = 0,32 \cdot 62 / 205,9 = 0,096$$

$$m_{(O)} = m_{(Na_2MoO_4)} - m_{(Na_2O)} - m_{(Mo)} = 0,32 - 0,15 - 0,096 = 0,074$$

$CaCO_3$  (осадок)

$$m_{(CaCO_3)} = m_{(CaMoO_4)} \cdot M_{(CaCO_3)} / M_{(CaMoO_4)} = 0,31 \cdot 100,08 / 200,01 = 0,155 \text{ кг}$$

в том числе

$$m_{(CaO)} = m_{(CaCO_3)} \cdot M_{(CaO)} / M_{(CaCO_3)} = 0,155 \cdot 56 / 100,08 = 0,09 \text{ кг},$$

$$m_{(CO_2)} = m_{(CaCO_3)} - m_{(CaO)} = 0,155 - 0,09 = 0,065 \text{ кг};$$

По реакции (III)  $SiO_2 + Na_2CO_3 = Na_2SiO_3 + CO_2$

Масса  $SiO_2$ , не разлагающегося и переходящего в осадок (в кек),

$$m_{(SiO_2)} = 3,5 \cdot 0,35 = 1,22 \text{ кг}.$$

Масса  $SiO_2$ , разлагающегося содой,  $m_{(SiO_2)} = 3,5 \cdot 0,65 = 2,28 \text{ кг}.$

Тогда:

| Вещество                  | $SiO_2$    | $Na_2CO_3$       | $Na_2SiO_3$       | $CO_2$       |
|---------------------------|------------|------------------|-------------------|--------------|
| Моллярная масса, кг/кмоль | 60         | 106              | 122               | 44           |
| Масса, кг                 | 3,5        | $m_{(Na_2CO_3)}$ | $m_{(Na_2SiO_3)}$ | $m_{(CO_2)}$ |
| По расчетам               | 2,275(65%) | 4,01             | 4,62              | 1,66         |

Масса соды  $Na_2CO_3$  для реакции III

$$m_{(Na_2CO_3)} = m_{(SiO_2)} \cdot M_{(Na_2CO_3)} / M_{(SiO_2)} = 2,28 \cdot 105,97 / 60,08 = 4,02 \text{ кг}$$

В результате реакции образуется –

$Na_2SiO_3$

$$m_{(Na_2SiO_3)} = m_{(SiO_2)} \cdot M_{(Na_2SiO_3)} / M_{(SiO_2)} = 2,28 \cdot 122,04 / 60,08 = 4,63 \text{ кг}$$

в том числе:

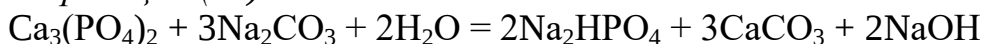
$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2SiO_3)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2SiO_3)} = 4,63 \cdot 62 / 122,04 = 2,35 \text{ кг}$$

$$m_{(SiO_2)} = m_{(Na_2SiO_3)} - m_{(Na_2O)} = 4,63 - 2,35 = 2,28 \text{ кг}$$

$CO_2$

$$m_{(CO_2)} = m_{(Na_2CO_3)} \cdot M_{(CO_2)} / M_{(Na_2CO_3)} = 4,02 \cdot 44 / 105,97 = 1,67 \text{ кг}$$

По реакции (IV).



Масса  $Ca_3(PO_4)_2$ , не разлагающегося и переходящего в осадок

$m_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = 0,75 \cdot 0,22 = 0,16 \text{ кг}$   
(в том числе: 0,04 кг -Р, 0,08 кг - СаО, 0,04 кг - О).

Масса  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , разлагающегося содой,  
 $m_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = 0,75 \cdot 0,78 = 0,59 \text{ кг}$   
(в том числе: 0,32 кг СаО, 0,11 кг Р, 0,15 кг О).

Тогда:

| Вещество                 | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | $3\text{Na}_2\text{CO}_3$      | $2\text{H}_2\text{O}$      | $2\text{Na}_2\text{HPO}_4$      | $3\text{CaCO}_3$      | $2\text{NaOH}$      |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Молярная масса, кг/кмоль | 310                          | 318                            | 36                         | 284                             | 300                   | 80                  |
| Масса, кг                | 0,75                         | $m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}$ | $m_{(\text{H}_2\text{O})}$ | $m_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}$ | $m_{(\text{CaCO}_3)}$ | $m_{(\text{NaOH})}$ |
| По расчетам              | 0,58(78%)                    | 0,60                           | 0,06                       | 0,53                            | 0,56                  | 0,14                |

Для данной реакции необходимо соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

$$m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = m_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} \cdot 3M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} / M_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = 0,59 \cdot 317,91 / 310,06 = 0,6 \text{ кг}$$

В реакции участвует  $m_{(\text{H}_2\text{O})}$

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} \cdot 2M_{(\text{H}_2\text{O})} / M_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = 0,59 \cdot 36 / 310,06 = 0,07 \text{ кг} ;$$

В результате образуется  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

$$m_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = m_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} \cdot 2M_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} / M_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = 0,59 \cdot 283,86 / 310,06 = 0,54 \text{ кг}$$

в том числе:

$\text{Na}_2\text{O}$

$$m_{(\text{Na}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{O})} / M_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = 0,54 \cdot 62 / 142 = 0,24 \text{ кг}$$

$\text{H}_2\text{O}$ ,

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} \cdot 0,5M_{(\text{H}_2\text{O})} / M_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = 0,54 \cdot 0,5 \cdot 18 / 142 = 0,034 \text{ кг}$$

Р

$$m_{(\text{P})} = m_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} \cdot M_{(\text{P})} / M_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = 0,54 \cdot 31 / 142 = 0,118 \text{ кг}$$

О

$$m_{(\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} - m_{(\text{Na}_2\text{O})} - m_{(\text{H}_2\text{O})} - m_{(\text{P})} = 0,54 - 0,24 - 0,034 - 0,118 = 0,148$$

$\text{CaCO}_3$  (осадок)

$$m_{(\text{CaCO}_3)} = m_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} \cdot 3M_{(\text{CaCO}_3)} / M_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = 0,59 \cdot 300,24 / 310,06 = 0,57 \text{ кг}$$

в том числе

$$m_{(\text{CaO})} = m_{(\text{CaCO}_3)} \cdot M_{(\text{CaO})} / M_{(\text{CaCO}_3)} = 0,57 \cdot 56 / 100 = 0,32 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{CO}_2)} = m_{(\text{CaCO}_3)} \cdot M_{(\text{CO}_2)} / M_{(\text{CaCO}_3)} = 0,57 \cdot 44 / 100 = 0,25 \text{ кг}$$

$\text{NaOH}$

$$m_{(\text{NaOH})} = m_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} \cdot 2M_{(\text{NaOH})} / M_{(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)} = 0,59 \cdot 2 \cdot 40 / 310,06 = 0,15 \text{ кг}$$

в том числе

$\text{Na}_2\text{O}$

$$m_{(\text{Na}_2\text{O})} = m_{(\text{NaOH})} \cdot 0,5M_{(\text{Na}_2\text{O})} / M_{(\text{NaOH})} = 0,15 \cdot 0,5 \cdot 62 / 40 = 0,105$$

$\text{H}_2\text{O}$

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{NaOH})} - m_{(\text{Na}_2\text{O})} = 0,15 - 0,105 = 0,045$$

По реакции (V).  $\text{FeAsO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{HAsO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{CO}_2$ .

Масса  $\text{FeAsO}_4$ , переходящего в раствор, 0,38 кг

В том числе:

As

$$m_{(\text{As})} = m_{(\text{FeAsO}_4)} \cdot M_{(\text{As})} / M_{(\text{FeAsO}_4)} = 0,38 \cdot 74,92 / 194,76 = 0,15$$

Fe

$$m_{(\text{Fe})} = m_{(\text{FeAsO}_4)} \cdot M_{(\text{Fe})} / M_{(\text{FeAsO}_4)} = 0,38 \cdot 56 / 194,76 = 0,11$$

$$m_{(\text{O})} = m_{(\text{FeAsO}_4)} - m_{(\text{As})} - m_{(\text{Fe})} = 0,38 - 0,15 - 0,11 = 0,12$$

Тогда:

| Вещество                 | $\text{FeAsO}_4$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3$       | $2\text{H}_2\text{O}$      | $\text{Na}_2\text{HAsO}_4$       | $\text{Fe}(\text{OH})_3$       | $\text{CO}_2$       |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Молярная масса, кг/кмоль | 195              | 106                            | 36                         | 186                              | 108                            | 44                  |
| Масса, кг                | 0,38             | $m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}$ | $m_{(\text{H}_2\text{O})}$ | $m_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)}$ | $m_{(\text{Fe}(\text{OH})_3)}$ | $m_{(\text{CO}_2)}$ |
| По расчетам              | 0,38(100%)       | 0,20                           | 0,07                       | 0,36                             | 0,21                           | 0,08                |

На реакцию V требуется соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

$$m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = m_{(\text{FeAsO}_4)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} / M_{(\text{FeAsO}_4)} = 0,38 \cdot 105,97 / 194,76 = 0,206$$

В реакции участвует вода  $\text{H}_2\text{O}$

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{FeAsO}_4)} \cdot 2M_{(\text{H}_2\text{O})} / M_{(\text{FeAsO}_4)} = 0,38 \cdot 36 / 194,76 = 0,07 \text{ кг};$$

В результате образуется

$\text{Na}_2\text{HAsO}_4$

$$m_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} = m_{(\text{FeAsO}_4)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} / M_{(\text{FeAsO}_4)} = 0,38 \cdot 185,88 / 194,76 = 0,36 \text{ кг}$$

в том числе

$$m_{(\text{Na}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{O})} / M_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} = 0,36 \cdot 62 / 185,88 = 0,124 = 0,12 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} \cdot 0,5 \cdot M_{(\text{H}_2\text{O})} / M_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} = 0,36 \cdot 0,5 \cdot 18 / 185,88 = 0,017 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{As})} = m_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} \cdot M_{(\text{As})} / M_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} = 0,36 \cdot 75 / 185,88 = 0,149 = 0,15 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} - m_{(\text{Na}_2\text{O})} - m_{(\text{H}_2\text{O})} - m_{(\text{As})} = 0,36 - 0,12 - 0,017 - 0,15 = 0,073 = 0,07 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{Na}_2\text{O})} = m_{(\text{NaOH})} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{O})} / M_{(\text{NaOH})} = 0,15 \cdot 62 / 39,98 = 0,23 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} \cdot M_{(\text{H}_2\text{O})} / M_{(\text{Na}_2\text{HAsO}_4)} = 0,36 \cdot 0,5 \cdot 18 / 185,88 = 0,017 \text{ кг}$$

$\text{Fe}(\text{OH})_3$  (осадок)

$$m_{(\text{Fe}(\text{OH})_3)} = m_{(\text{FeAsO}_4)} \cdot M_{(\text{Fe}(\text{OH})_3)} / M_{(\text{FeAsO}_4)} = 0,38 \cdot 107 / 194,76 = 0,21 \text{ кг}$$

В том числе

Fe

$$m_{(\text{Fe})} = m_{(\text{Fe}(\text{OH})_3)} \cdot M_{(\text{Fe})} / M_{(\text{Fe}(\text{OH})_3)} = 0,21 \cdot 56 / 107 = 0,11 \text{ кг}$$

$\text{H}_2\text{O}$

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{Fe}(\text{OH})_3)} \cdot 3M_{(\text{H}_2\text{O})} / M_{(\text{Fe}(\text{OH})_3)} = 0,21 \cdot 3 \cdot 18 / 2 \cdot 107 = 0,05$$

O

$$m_{(O)} = m_{(Fe(OH)_3)} - m_{(Fe)} - m_{(H_2O)} = 0,21 - 0,11 - 0,05 = 0,05 \text{ кг}$$

$$m_{(CO_2)} = m_{(Na_2CO_3)} \cdot M_{(CO_2)} / M_{(Na_2CO_3)} = 0,21 \cdot 44 / 105,97 = 0,09 \text{ кг}$$

Для разложения 100 кг шеелитового концентрата теоретический расход соды составит [реакции (I) – (V)]:  $25,79 + 0,16 + 4,02 + 0,6 + 0,206 = 30,78 \text{ кг}$

По данным практики, принимаем содовый эквивалент 2,5. В этом случае практический расход соды  $30,78 \cdot 2,5 = 76,94 \text{ кг}$ .

Принимаем состав технической соды: 97 %  $Na_2CO_3$ ; 3 % прочие.

Тогда потребуется технической соды  $76,94 / 0,97 = 79,32 \text{ кг}$ ,

где

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2CO_3)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2CO_3)} = 79,32 \cdot 62 / 105,97 = 46,4 \text{ кг}$$

$$m_{(CO_2)} = m_{(Na_2CO_3)} \cdot M_{(CO_2)} / M_{(Na_2CO_3)} = 79,32 \cdot 44 / 105,97 = 32,9 \text{ кг}$$

$$m_{\text{прочие}} = 76,94 \cdot 0,03 = 2,31.$$

По данным практики, пульпа, поступающая на выщелачивание, имеет отношение  $T : Ж = 1 : 4$ . Следовательно, масса содового раствора на 100 кг концентрата должно быть  $100 \cdot 4 = 400 \text{ кг}$ .

Масса воды, необходимая для выщелачивания 100 кг концентрата, с учетом его влажности составит  $400 - 79,32 - 2 = 318,68 \text{ кг}$ .

В раствор в соответствии с реакциями (I) – (V) перейдут  $Na_2WO_4$ ,  $Na_2HAsO_4$ ,  $NaOH$ ,  $Na_2MoO_4$ ,  $Na_2SiO_3$ ,  $Na_2HPO_4$ , избыточная  $Na_2CO_3$  ( $79,33 - 30,78 = 48,55 \text{ кг}$ ), вода содового раствора, конденсата и концентрата.

Масса воды содового раствора представляет разность от массы воды, необходимой для выщелачивания, и массы воды, содержащейся в  $Fe(OH)_3$  по реакции (V):  $318,68 - 0,05 = 318,63 \text{ кг}$ .

Масса воды концентрата 2 кг.

*По данным практики, в автоклаве на 100 кг концентрата конденсируется 40 кг воды.*

Таблица 2. Масса и состав раствора после выщелачивания по реакциям, кг,

| реакция          | $Na_2O$ | $WO_3$ | Mo   | O    | $SiO_2$ | $H_2O$ | P    | As   | $CO_2$ | Всего |
|------------------|---------|--------|------|------|---------|--------|------|------|--------|-------|
| I $Na_2WO_4$ ;   | 15,07   | 56,42  |      |      |         |        |      |      |        | 71,51 |
| II $Na_2MoO_4$   | 0,09    |        | 0,15 | 0,07 |         |        |      |      |        | 0,31  |
| III $Na_2SiO_3$  | 2,35    |        |      |      | 2,28    |        |      |      |        | 4,62  |
| IV $Na_2HPO_4$   | 0,24    |        |      | 0,15 |         | 0,04   | 0,11 |      |        | 0,53  |
| IV $NaOH$ ;      | 0,12    |        |      |      |         | 0,03   |      |      |        | 0,14  |
| V $Na_2CO_3$     | 26,78   |        |      |      |         |        |      |      | 19,02  | 45,8  |
| V $Na_2HAsO_4$ ; | 0,12    |        |      | 0,07 |         | 0,017  |      | 0,15 |        | 0,357 |

|                                         |       |       |      |      |      |         |      |      |       |         |
|-----------------------------------------|-------|-------|------|------|------|---------|------|------|-------|---------|
| <i>H<sub>2</sub>O содового раствора</i> |       |       |      |      |      | 318,63  |      |      |       | 318,62  |
| <i>H<sub>2</sub>O конденсата</i>        |       |       |      |      |      | 40,0    |      |      |       | 40      |
| <i>H<sub>2</sub>O концентрата</i>       |       |       |      |      |      | 2,0     |      |      |       | 2       |
| Итого                                   | 44,77 | 56,42 | 0,15 | 0,29 | 2,28 | 360,707 | 0,11 | 0,15 | 19,02 | 483,897 |

Для расчета ВСЕГО в реакции V Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:

$$\frac{(25,78+0,16+4,02+0,6+0,206) \cdot 2,45}{0,97} - (25,78+0,16+4,02+0,6+0,206) = 45,8$$

Для расчета CO<sub>2</sub> в реакции V Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:

$$(44 \cdot 45,8) / 105,97 = 19,02$$

Для расчета Na<sub>2</sub>O в реакции V Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:

$$45,8 - 19,02 = 26,78$$

(I) – 71,53 Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>; (II) - 0,32 Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>; (III) - 4,63 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>; (IV) - 0,54 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; (V) - 0,36 Na<sub>2</sub>HAsO<sub>4</sub>; (IV) - 0,15 NaOH; (V) 48,55 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 318,62 H<sub>2</sub>O содового раствора; 40,0 H<sub>2</sub>O конденсата; 2,0 H<sub>2</sub>O концентрата. **Всего 483,90 кг**

По данным практики, плотность растворов после разложения шеелитового концентрата **1,15 кг/дм<sup>3</sup>**.

В этом случае объем растворов на 100 кг концентрата составит: 484,52/1,15 = 421 дм<sup>3</sup> (421 л).

Массы составляющих раствора следующее, г/л: 56420/421 ≈ 134 WO<sub>3</sub> (из Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>); 45830/421 ≈ 109 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 150/421 ≈ 0,356 NaOH; 150/421 ≈ 0,356 Mo (из Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>); 2280/421 ≈ 5,41 SiO<sub>2</sub> (из Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>); 110/421 ≈ 0,261 P (из Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>); 150/421 ≈ 0,356 As (из Na<sub>2</sub>HAsO<sub>4</sub>).

В **кек** переходят не разложившиеся соединения концентрата: CaCO<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, CuFeS<sub>2</sub>, FeS<sub>2</sub>; прочие, частично не разложившиеся соединения CaWO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>; прочие соды и образовавшиеся нерастворимые соединения по реакциям (I), (II), (IV) и (V) CaCO<sub>3</sub> и Fe(OH)<sub>3</sub>.

Таблица 3. Состав и масса образующегося по реакциям сухого кека, кг

| Реакция           | CaO   | CO <sub>2</sub> | Fe | H <sub>2</sub> O | O | WO <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P | Sn | Cu | S | Прочие | Всего |
|-------------------|-------|-----------------|----|------------------|---|-----------------|------------------|---|----|----|---|--------|-------|
| CaCO <sub>3</sub> | 10,74 | 8,42            |    |                  |   |                 |                  |   |    |    |   |        | 19,16 |

|                                                    |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|----------------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| I                                                  | 13,64 | 10,7  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 24,35 |
| II                                                 | 0,08  | 0,07  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,15  |
| V Fe(OH) <sub>3</sub>                              |       |       | 0,13 | 0,06 | 0,06 |      |      |      |      |      |      |      | 0,25  |
| CaWO <sub>4</sub>                                  | 0,14  |       |      |      |      | 0,56 |      |      |      |      |      |      | 0,7   |
| III SiO <sub>2</sub>                               |       |       |      |      |      |      | 1,22 |      |      |      |      |      | 1,22  |
| IV Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 0,08  |       |      |      | 0,04 |      |      | 0,04 |      |      |      |      | 0,16  |
| SnO <sub>2</sub>                                   |       |       |      |      | 0,04 |      |      |      | 0,15 |      |      |      | 0,19  |
| CuFeS <sub>2</sub>                                 |       |       | 0,13 |      |      |      |      |      |      | 0,15 | 0,15 |      | 0,43  |
| FeS <sub>2</sub>                                   |       |       | 0,55 |      |      |      |      |      |      |      | 0,63 |      | 1,18  |
| концентрат                                         |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1,32 | 1,32  |
| сода                                               |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 2,36 | 2,36  |
| Итого                                              | 24,68 | 19,44 | 0,81 | 0,06 | 0,14 | 0,56 | 1,22 | 0,04 | 0,15 | 0,15 | 0,78 | 3,68 | 51,47 |

19,16 CaCO<sub>3</sub>; – 24,35 CaCO<sub>3</sub>; (II) – 0,15 CaCO<sub>3</sub>; (IV) -0,57 CaCO<sub>3</sub> ;  
(V) – 0,25 Fe(OH)<sub>3</sub>; 0,7 CaWO<sub>4</sub> ; (I) 1,22 SiO<sub>2</sub>; ( IV) 0,16 Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ; 0,19  
SnO<sub>2</sub> ;  
0,43 CuFeS<sub>2</sub> ; 1,18 FeS<sub>2</sub> (Fe, S); 1,32 прочие концентрата; 2,36 прочие соды.  
**Всего: 52,03 кг**

*По данным практики, влажность кека составляет 20 %.*

Тогда масса влаги в кеке:

$$\begin{array}{rcl} (52,03 + x) & - & x \\ 100 & & - 20 \end{array}$$

$$x = \frac{(52,03 + x) \cdot 20}{100}$$

$$100x = 52,03 \cdot 20 + 20x$$

$$80x = 1040,6$$

$$x = 13,01$$

Масса влажного кека 52,03 + 13,01 = 65,04 кг.

Масса влаги, содержащейся в кеке, рассчитана ранее.

Доля раствора, переходящего в кек, от общей массы кека будет  
 $m(\text{кека}) = 13,01 \cdot 100 / 483,9 = 2,688 \% = 2,69\%$

*Состав и масса раствора, оставшегося в кеке, кг:*

$$m_{(Na_2WO_4)} = 71,5 \cdot 0,0269 = 1,91;$$

в том числе:

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2WO_4)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2WO_4)} = 1,91 \cdot 62 / 293,1 = 0,4$$

$$m_{(WO_3)} = m_{(Na_2WO_4)} - m_{(Na_2O)} = 1,91 - 0,4 = 1,51$$

$$m_{(Na_2MoO_4)} = 0,32 \cdot 0,0268 = 0,008;$$

**В ТОМ ЧИСЛЕ:**

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2 MoO_4)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2 MoO_4)} = 0,008 \cdot 62 / 205,9 = 0,0024$$

$$m_{(Mo)} = m_{(Na_2 MoO_4)} \cdot M_{(Mo)} / M_{(Na_2 MoO_4)} = 0,008 \cdot 95,4 / 205,9 = 0,0037$$

$$m_{(O)} = m_{(Na_2 MoO_4)} - m_{(Na_2O)} - m_{(Mo)} = 0,008 - 0,0024 - 0,0037 = 0,0019$$

$$m_{(Na_2SiO_3)} = 4,63 \cdot 0,0268 = 0,124;$$

**В ТОМ ЧИСЛЕ:**

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2 SiO_3)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2 SiO_3)} = 0,124 \cdot 62 / 122,04 = 0,063$$

$$m_{(SiO_2)} = m_{(Na_2SiO_3)} - m_{(Na_2O)} = 0,124 - 0,063 = 0,061$$

$$m_{(Na_2HPO_4)} = 0,54 \cdot 0,0268 = 0,014 ;$$

**В ТОМ ЧИСЛЕ:**

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2HPO_4)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2HPO_4)} = 0,014 \cdot 62 / 141,93 = 0,006$$

$$m_{(H_2O)} = m_{(Na_2HPO_4)} \cdot 0,5 M_{(H_2O)} / M_{(Na_2HPO_4)} = 0,014 \cdot 0,5 \cdot 18 / 141,93 = 0,001$$

$$m_{(P)} = m_{(Na_2HPO_4)} - m_{(Na_2O)} - m_{(H_2O)} = 0,014 - 0,006 - 0,001 = 0,007$$

$$m_{(Na_2HASO_4)} = 0,36 \cdot 0,0268 = 0,0096;$$

**В ТОМ ЧИСЛЕ:**

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2HASO_4)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2HASO_4)} = 0,0096 \cdot 62 / 185,88 = 0,0032$$

$$m_{(As)} = m_{(Na_2HASO_4)} \cdot M_{(As)} / M_{(Na_2HASO_4)} = 0,0032 \cdot 74,92 / 185,88 = 0,0013$$

$$m_{(H_2O)} = m_{(Na_2HASO_4)} \cdot 0,5 M_{(H_2O)} / M_{(Na_2HASO_4)} = 0,0032 \cdot 0,5 \cdot 18 / 185,88 = 0,0002$$

$$m_{(O)} = m_{(Na_2HASO_4)} - m_{(Na_2O)} - m_{(H_2O)} - m_{(As)} = 0,0096 - 0,0032 - 0,0013 - 0,0002 = 0,0005$$

$$m_{(NaOH)} = 0,15 \cdot 0,0268 = 0,004 ;$$

**В ТОМ ЧИСЛЕ:**

$$m_{(Na_2O)} = m_{(NaOH)} \cdot 0,5 M_{(Na_2O)} / M_{(NaOH)} = 0,004 \cdot 0,5 \cdot 62 / 40 = 0,003$$

$$m_{(H_2O)} = m_{(NaOH)} - m_{(Na_2O)} = 0,004 - 0,003 = 0,001$$

$$m_{(Na_2CO_3)} = 45,83 \cdot 0,0268 = 1,23;$$

**В ТОМ ЧИСЛЕ:**

$$m_{(Na_2O)} = m_{(Na_2 CO_3)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(Na_2 CO_3)} = 1,23 \cdot 62 / 105,97 = 0,72$$

$$m_{(H_2O)} = m_{(Na_2 CO_3)} - m_{(Na_2O)} = 1,23 - 0,72 = 0,51$$

$$m_{(CO_2)} = (318,63 + 40 + 2) \cdot 0,0268 = 9,66 H_2O.$$

**Всего 12,96.**

*Таблица 4. Состав и масса раствора, оставшегося в кеке, кг:*

|                                  | Na <sub>2</sub> O | WO <sub>3</sub> | Mo    | O      | SiO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | P     | As | CO <sub>2</sub> | Всего |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|-------|--------|------------------|------------------|-------|----|-----------------|-------|
| Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>  | 0,4               | 1,51            |       |        |                  |                  |       |    |                 | 1,91  |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> | 0,0024            |                 | 0,004 | 0,0018 |                  |                  |       |    |                 | 0,008 |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | 0,063             |                 |       |        | 0,061            |                  |       |    |                 | 0,124 |
| Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> | 0,006             |                 |       | 0,004  |                  | 0,001            | 0,003 |    |                 | 0,014 |

|                                   |        |      |       |        |       |        |       |        |      |        |
|-----------------------------------|--------|------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|------|--------|
| Na <sub>2</sub> HAsO <sub>4</sub> | 0,0032 |      |       | 0,005  |       | 0,0002 |       | 0,0013 |      | 0,0096 |
| NaOH                              | 0,003  |      |       |        |       | 0,001  |       |        |      | 0,004  |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 0,72   |      |       |        |       |        |       |        | 0,51 | 1,23   |
| H <sub>2</sub> O                  |        |      |       |        |       | 9,66   |       |        |      | 9,66   |
| Итого                             | 1,1976 | 1,51 | 0,004 | 0,0108 | 0,061 | 9,6622 | 0,003 | 0,004  | 0,51 | 12,960 |

44,23 CaCO<sub>3</sub> ; 0,25 Fe(OH)<sub>3</sub>; 0,7 CaWO<sub>4</sub> (,CaO); 1,22 SiO<sub>2</sub>; 0,16 Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ; 0,19 SnO<sub>2</sub> ; 0,43 CuFeS<sub>2</sub> ; 1,18 FeS<sub>2</sub> ; 1,91 Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> ;  
0,008 Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>; 0,124 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ; 0,0096 Na<sub>2</sub>HAsO<sub>4</sub> ; 0,014 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> ;  
0,004 NaOH ; 1,23 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 9,68 H<sub>2</sub>O; 3,68 прочие.  
**Всего 65,02 кг.**

Таблица Состав и масса влажного кека, кг:

|                                                 | Mo    | CaO   | CO <sub>2</sub> | Fe   | H <sub>2</sub> O | O      | WO <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P     | Sn   | Cu   | S    | Na <sub>2</sub> O | As    | Прочие | Всего  |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-----------------|------|------------------|--------|-----------------|------------------|-------|------|------|------|-------------------|-------|--------|--------|
| CaCO <sub>3</sub>                               |       | 24,79 | 19,44           |      |                  |        |                 |                  |       |      |      |      |                   |       |        | 44,23  |
| Fe(OH) <sub>3</sub>                             |       |       |                 | 0,13 | 0,06             | 0,06   |                 |                  |       |      |      |      |                   |       |        | 0,25   |
| CaWO <sub>4</sub>                               |       | 0,14  |                 |      |                  |        | 0,56            |                  |       |      |      |      |                   |       |        | 0,7    |
| SiO <sub>2</sub>                                |       |       |                 |      |                  |        |                 | 1,22             |       |      |      |      |                   |       |        | 1,22   |
| Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> |       | 0,08  |                 |      |                  | 0,04   |                 |                  | 0,04  |      |      |      |                   |       |        | 0,16   |
| SnO <sub>2</sub>                                |       |       |                 |      |                  | 0,04   |                 |                  |       | 0,15 |      |      |                   |       |        | 0,19   |
| CuFeS <sub>2</sub>                              |       |       |                 | 0,13 |                  |        |                 |                  |       |      | 0,15 | 0,15 |                   |       |        | 0,43   |
| FeS <sub>2</sub>                                |       |       |                 | 0,55 |                  |        |                 |                  |       |      |      | 0,63 |                   |       |        | 1,18   |
| Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>                 |       |       |                 |      |                  |        | 1,51            |                  |       |      |      |      | 0,4               |       |        | 1,91   |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>                | 0,004 |       |                 |      |                  | 0,0018 |                 |                  |       |      |      |      | 0,0022            |       |        | 0,008  |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                |       |       |                 |      |                  |        |                 | 0,061            |       |      |      |      | 0,063             |       |        | 0,124  |
| Na <sub>2</sub> HAsO <sub>4</sub>               |       |       |                 |      | 0,0004           | 0,002  |                 |                  |       |      |      |      | 0,0032            | 0,004 |        | 0,0096 |
| Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>                |       |       |                 |      | 0,001            | 0,004  |                 |                  | 0,003 |      |      |      | 0,006             |       |        | 0,014  |
| NaOH                                            |       |       |                 |      | 0,0008           |        |                 |                  |       |      |      |      | 0,0032            |       |        | 0,004  |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                 |       |       | 0,51            |      |                  |        |                 |                  |       |      |      |      | 0,72              |       |        | 1,23   |
| H <sub>2</sub> O                                |       |       |                 |      | 9,66             |        |                 |                  |       |      |      |      |                   |       |        | 9,66   |
| Прочие                                          |       |       |                 |      |                  |        |                 |                  |       |      |      |      |                   |       | 3,68   | 3,68   |
| Итого                                           | 0,004 | 25,01 | 19,95           | 0,81 | 9,7222           | 0,1478 | 2,07            | 1,281            | 0,043 | 0,15 | 0,15 | 0,78 | 1,1976            | 0,004 | 3,68   | 65,0   |

Содержание составляющих влажного кека следующие, %:

$m_{(WO_3)} = (0,56 + 1,51) \cdot 100/65,02 = 3,184$  (в том числе в составе  $1,51 \cdot 100/65,02 = 2,32 Na_2WO_4$ );

$m_{(Mo)} = 0,004 \cdot 100/65,02 = 0,006$ ;

$m_{(P)} = 0,043 \cdot 100/65,02 = 0,066$ ;

$m_{(As)} = 0,004 \cdot 100/65,02 = 0,006$ ;

$m_{(Cu)} = 0,15 \cdot 100/65,02 = 0,23$ ;

$m_{(Fe)} = 0,81 \cdot 100/65,02 = 1,24$ ;

$m_{(S)} = 0,78 \cdot 100/65,02 = 1,20$ ;

$m_{(SiO_2)} = 1,281 \cdot 100/65,02 = 1,97$ ;

$m_{(CO_2)} = 19,95 \cdot 100/65,02 = 30,68$ ;

$m_{(Na_2O)} = 1,197 \cdot 100/65,02 = 1,84$ ;

$m_{(H_2O)} = 0,147 \cdot 100/65,02 = 0,22$  О;  $9,74 \cdot 100/65,05 = 14,97$ ;

$m_{(прочие)} = 3,68 \cdot 100/65,02 = 5,65$ .

| WO <sub>3</sub> | Mo    | P     | As    | Cu   | Fe   | S    | SiO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O | проч | Всего  |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------|------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|------|--------|
| 3,184           | 0,006 | 0,066 | 0,006 | 0,23 | 1,24 | 1,20 | 1,97             | 30,68           | 1,84              | 14,97            | 5,65 | 61,042 |

Определив массу и состав раствора, получающегося при выщелачивании, за вычетом раствора, переходящего во влажный кек, составляем материальный баланс выщелачивания (таблица 3).

Извлечение WO<sub>3</sub> в раствор без отмывки кека  $54,92/55,5 \cdot 100 = 98,93$  %.  
Извлечение WO<sub>3</sub> в раствор с учетом полного доизвлечения водорастворимого из кека  $56,42/55,5 \cdot 100 = 99$  %.

Таблица Материальный баланс выщелачивания 100 кг шеелитового концентрата

|                                 | WO <sub>3</sub> | Mo    | CaO   | SiO <sub>2</sub> | Cu   | P     | As    | Sn    | Fe   | S    | CO <sub>2</sub> | O     | H <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | прочие | Всего   |
|---------------------------------|-----------------|-------|-------|------------------|------|-------|-------|-------|------|------|-----------------|-------|------------------|-------------------|--------|---------|
| <b>Поступило</b>                |                 |       |       |                  |      |       |       |       |      |      |                 |       |                  |                   |        |         |
| Концентрат                      | 57              | 0,15  | 25    | 3,5              | 0,15 | 0,15  | 0,15  | 0,15  | 0,79 | 0,8  | 8,42            | 0,43  | 2                |                   | 1,32   | 100     |
| Сода                            |                 |       |       |                  |      |       |       |       |      |      | 32,9            |       |                  | 46,4              | 2,31   | 81,61   |
| Вода                            |                 |       |       |                  |      |       |       |       |      |      |                 |       | 319,26           |                   |        | 319,26  |
| Конденсат<br>(H <sub>2</sub> O) |                 |       |       |                  |      |       |       |       |      |      |                 |       | 40               |                   |        | 40      |
| Итого                           | 57              | 0,15  | 25    | 3,5              | 0,15 | 0,15  | 0,15  | 0,15  | 0,79 | 0,8  | 42,3            | 0,43  | 361,26           | 46,4              | 2,64   | 540,87  |
| <b>Получено</b>                 |                 |       |       |                  |      |       |       |       |      |      |                 |       |                  |                   |        |         |
| Раствор                         | 56,42           | 0,146 |       | 2,28             |      | 0,11  | 0,15  |       |      |      | 19,02           | 0,29  | 36,707           | 44,77             |        | 474,776 |
| Кек<br>влажный                  | 2,07            | 0,004 | 25,01 | 1,281            | 0,15 | 0,043 | 0,004 | 0,1 5 | 0,81 | 0,78 | 19,95           | 0,148 | 9,742            | 1,198             | 3,68   | 64,87   |
| Газ (CO <sub>2</sub> )          |                 |       |       |                  |      |       |       |       |      |      | 1,3             |       |                  |                   |        | 1,3     |
| <b>Всего</b>                    | 58,49           | 0,15  | 25,01 | 3,561            | 0,15 | 0,153 | 0,154 | 0,15  | 0,81 | 0,78 | 40,27           | 0,438 | 361,332          | 45,968            | 3,68   | 540,946 |
| Невязка                         |                 |       |       |                  |      |       |       |       |      |      |                 |       |                  |                   |        | 0,076   |

### Задание

Таблица Химический состав шеелитового концентрата

| №<br>варианта | WO <sub>3</sub> | Mo   | CaO  | SiO <sub>2</sub> | Cu   | P    | As   | Sn   | Fe   | S    | H <sub>2</sub> O | Проч. |
|---------------|-----------------|------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|------------------|-------|
| 0             | 57              | 0,15 | 25   | 3,5              | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,79 | 0,8  | 2                | 10,16 |
| 1             | 56,7            | 0,1  | 24,5 | 3,8              | 0,16 | 0,1  | 0,16 | 0,1  | 0,75 | 0,72 | 1,9              | 11,01 |
| 2             | 56,8            | 0,11 | 25   | 3,9              | 0,15 | 0,11 | 0,15 | 0,11 | 0,76 | 0,8  | 2                | 10,11 |
| 3             | 55,5            | 0,12 | 25,5 | 3,7              | 0,14 | 0,12 | 0,14 | 0,12 | 0,77 | 0,81 | 2,1              | 10,98 |
| 4             | 55,7            | 0,13 | 26   | 3,4              | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,78 | 0,82 | 2                | 10,65 |
| 5             | 55,9            | 0,14 | 24,5 | 3,3              | 0,12 | 0,14 | 0,12 | 0,14 | 0,79 | 0,83 | 1,9              | 12,12 |
| 6             | 56              | 0,15 | 24   | 3,1              | 0,11 | 0,13 | 0,11 | 0,15 | 0,8  | 0,84 | 2                | 12,61 |
| 7             | 56,2            | 0,16 | 24,3 | 3,2              | 0,1  | 0,12 | 0,1  | 0,16 | 0,79 | 0,83 | 2,1              | 11,94 |
| 8             | 56,4            | 0,1  | 24,6 | 3,3              | 0,11 | 0,11 | 0,16 | 0,1  | 0,78 | 0,82 | 2                | 11,52 |
| 9             | 56,6            | 0,11 | 24,9 | 3,4              | 0,12 | 0,1  | 0,15 | 0,11 | 0,77 | 0,75 | 1,9              | 11,09 |
| 10            | 56,8            | 0,12 | 25,2 | 3,5              | 0,13 | 0,11 | 0,14 | 0,12 | 0,76 | 0,8  | 2                | 10,32 |
| 11            | 57              | 0,13 | 25,4 | 3,6              | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,75 | 0,79 | 2,1              | 9,71  |
| 12            | 57,1            | 0,14 | 25,6 | 3,7              | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,14 | 0,76 | 0,78 | 2                | 9,38  |
| 13            | 55,72           | 0,15 | 25,8 | 3,8              | 0,11 | 0,14 | 0,11 | 0,15 | 0,77 | 0,8  | 1,9              | 10,55 |
| 14            | 55,5            | 0,16 | 26   | 3,9              | 0,12 | 0,15 | 0,1  | 0,16 | 0,78 | 0,81 | 2                | 10,32 |
| 15            | 54,7            | 0,17 | 26,3 | 4                | 0,14 | 0,16 | 0,09 | 0,17 | 0,79 | 0,83 | 2,1              | 10,55 |

По данным минералогических исследований, в исходном концентрате: триоксид вольфрама находится в шеелите CaWO<sub>4</sub>,

- молибден в повелите CaMoO<sub>4</sub>,
- медь в халькопирите CuFeS<sub>2</sub>,
- фосфор в апатите Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>,
- мышьяк в скородите FeAsO<sub>4</sub>,
- олово в касситерите SnO<sub>2</sub>,
- железо не связанное в халькопирите и скородите, находится в пирите FeS<sub>2</sub>,
- оксид кальция, не связанный в шеелите, повелите и апатите, находится в кальците CaCO<sub>3</sub>