

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Игнатенко Виталий Иванович

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 23.12.2024 11:40:56

Уникальный программный ключ:

a49ae343af5448d45d7e3e1e499659da8109ba78

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Запорожский государственный университет им. Н. М. Федоровского»
ЗГУ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ¹
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 цветных металлов»

наименование кафедры

Разработчик ФОС:

Доцент, к.с-х.н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

О.В. Носова

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры, протокол № 9 от «20» 05 2024 г.

Заведующий кафедрой

Н.Д. Ванюкова

¹ 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
Универсальные компетенции	
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1 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
<i>Промежуточная аттестация в форме «Зачета с оценкой»</i>				
	Итоговое собеседование	По окончании обучения по дисциплине	от 0 до 5 баллов	Зачет/Незачет с оценкой
	ИТОГО:	-	___ баллов	-
Критерии оценки результатов обучения по дисциплине: Пороговый (минимальный) уровень для аттестации в форме зачета – 75 % от максимально возможной суммы баллов 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).

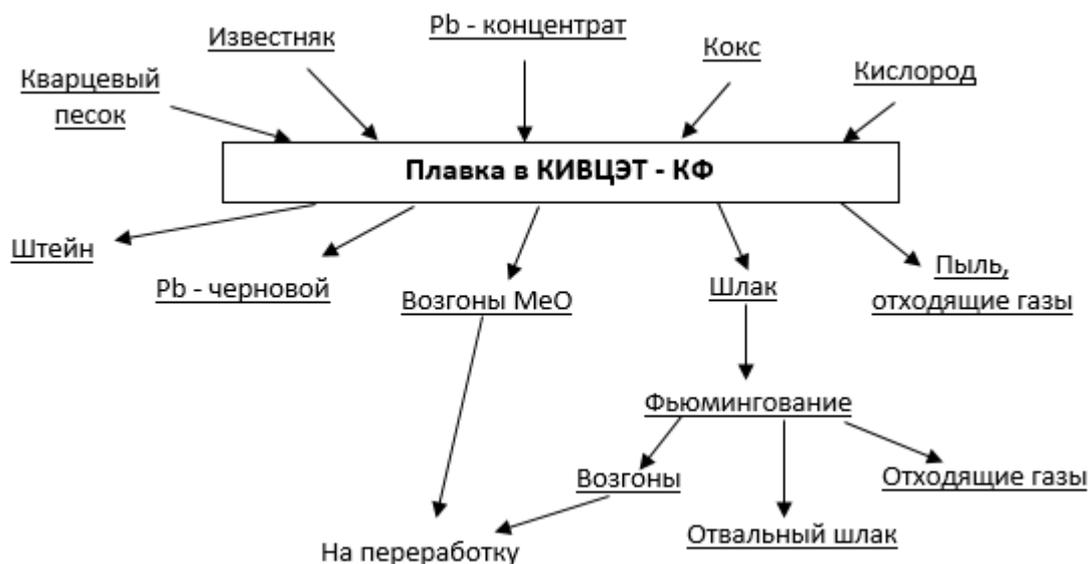


Рис. 3.1. Схема материальных потоков плавки свинцовых концентратов

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 Pb; 8,2 Zn; 2,3 Cu; 9,4 Fe; 22,029 S; 2,0 SiO₂; 0,2 Al₂O₃; 1,8 CaO; 1,414 CO₂; 0,657 - прочих.

На плавку поступают кварцевый песок и известняк, выполняющие роль флюсующих компонентов. Кварцевый песок содержит, %: 92 SiO₂; 6 Fe₂O₃; 1 Al₂O₃; 1 - прочих. В примере расчета принят следующий состав известняка, %: 52 CaO; 4 SiO₂; 3 FeO; 40,86 CO₂; 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 Fe₃O₄ 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 Fe₃O₄.

Технический кислород содержит 96 % O₂ и 4 % N₂, избыток кислорода для работы ОПК равен 5 %. Для работы КФ и ЭТК агрегата используют кокс следующего состава, %: 90 C; 10 золы. Зола кокса имеет состав, %: 50 SiO₂, 25 FeO и 25 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 ZnO; 25 SiO₂; 20 FeO; 32 CaO.

Основной формой нахождения меди в шлаке является Cu₂S.

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 плавков 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 (E), 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,

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

Определяем массу Cu₂S в штейне, кг:

$$m_{Cu_2S} = \frac{m_{Cu}}{2A_{Cu}} \cdot M_{Cu_2S} = \frac{1,84}{2 \cdot 63,54} \cdot 159,1 = 2,303.$$

В этом количестве сульфида меди содержится серы, кг:

$$(m_S)_{Cu_2S} = \frac{m_{Cu_2S}}{M_{Cu_2S}} \cdot A_S = \frac{2,303}{159,1} \cdot 32 = 0,463.$$

Массу штейна определяем по содержанию меди в нём, кг:

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

Рассчитываем количество серы в штейне, кг:

$$(m_S)_{шт} = m_{шт} \cdot (C_S)_{шт} = 7,08 \cdot 0,24 = 1,699.$$

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 ₂	Прочие	Всего
Cu ₂ S	1,84				0,463			2,303
Fe ₃ O ₄		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» шлага

Расчет состава шлага 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 шлага 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:

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

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:

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

В шлак переходит медь в виде Cu_2S в количестве 12 % от ее массы в свинцовом концентрате.

Рассчитываем массу Cu_2S в шлаке, кг:

$$(m_{\text{Cu}_2\text{S}})_{\text{шл}} = \frac{0,12 \cdot (m_{\text{Cu}})_{\text{кон}}}{2A_{\text{Cu}}} \cdot M_{\text{Cu}_2\text{S}} = \frac{0,12 \cdot 2,3}{127,1} \cdot 159,1 = 0,345.$$

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:

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

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

$$(m_{\text{SiO}_2})_{\text{шл}} = (m_{\text{SiO}_2})_{\text{кон}} + (m_{\text{SiO}_2})_{\text{з.к.}} = 2 + 4 \cdot 0,1 \cdot 0,5 = 2,2.$$

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

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

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_2S	0,345	1,32
PbO	2,242	8,55
SiO_2	2,2	8,39
CaO	1,9	7,25
Al_2O_3	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 SiO_2 ; 20-30 FeO; 30-35 CaO. Сумма ZnO и Al_2O_3 должна быть менее 21 %.

В расчётах принимаем следующий оптимальный состав шлака, %: 19,8 ZnO; 25 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 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 черного 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



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

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

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:

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

$$\text{оксида меди } \text{Cu}_2\text{O} \frac{0,184}{127,1} \cdot 143,08 = 0,207 \text{ кг.}$$

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

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 С. В процессе реакции выделится в атмосферу ОПК $\frac{0,246}{65,38} \cdot 28 = 0,105$ кг оксида углерода СО.

В ОПК до 20 % железа окисляется до Fe_3O_4 при этом масса железа в магнетите составляет, кг:

$$(m_{Fe})_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = (m_{Fe})_K \cdot (E_{Fe})_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 9,4 \cdot 0,2 = 1,88.$$

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 С, при этом образуется $\frac{2,468}{231,55} \cdot 3 \cdot 71,85 = 2,298$ кг FeO.

Со шлаком перейдёт в ЭТК магнетита $2,598 - 2,468 = 0,13$ кг Fe_3O_4 .

С кварцевым песком поступает 0,56 кг Fe_2O_3 . 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 черногового металла. Тогда масса металла составит, кг:

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

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 черногового свинца приведён в табл. 4.

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

$$\begin{aligned} (m_C)_{\text{теор}} &= (m_C)_{PbO} + (m_C)_{Cu_2O} + (m_C)_{ZnO} + (m_C)_{\text{Fe}_3\text{O}_4} + (m_C)_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \\ &= 1,786 + 0,017 + 0,045 + 0,128 + 0,042 = 2,018. \end{aligned}$$

Таблица 4 Количество и состав черного свинца агрегата КИВЦЭТ-КФ

Компонент	Содержание компонента	
	кг	%
РЪ	49,14	98,64
Си	0,184	0,37
Zn	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 SiO₂; 0,084 CaO; 0,084 FeO).

Масса избытка углерода составит, кг:

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

Этот углерод будет реагировать с SO₂ по реакции



При этом потребуется $\frac{1,009}{12} \cdot 64 = 5,381$ кг SO₂, образуется $\frac{1,009}{12} \cdot 32 = 2,691$ кг S и $\frac{1,009}{12} \cdot 44 = 3,70$ кг CO₂.

Рассчитываем массу шлака, образующегося в ОПК после коксового фильтра.

Известно, что масса магнетита в шлаке равна 0,13 кг Fe₃O₄. Определяем количество оксида железа (II) в шлаке, кг:

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

$$\text{где } (m_{Fe})_{\text{фл}} = (m_{Fe})_{\text{кв}} + (m_{Fe})_{\text{изв}} = \frac{m_{Fe_2O_3_{\text{кв}}}}{M_{Fe_2O_3}} \cdot 2A_{Fe} + \frac{(m_{FeO})_{\text{изв}}}{M_{FeO}} \cdot A_{Fe} = \frac{0,56}{159,7} \cdot 2 \cdot 55,85 + \frac{0,763}{71,85} \cdot 55,85 = 0,985.$$

Рассчитываем массу оксида цинка в шлаке, кг:

$$\begin{aligned} (m_{ZnO})_{\text{шл}} &= \frac{(m_{Zn})_{\text{кон}} - (m_{Zn})_{\text{шт}} - (m_{Zn})_{Pb \text{ ч}}}{A_{Zn}} \cdot M_{ZnO} = \\ &= \frac{8,2 - 0,354 - 0,246}{65,38} \cdot 81,38 = 9,46. \end{aligned}$$

Масса оксида свинца в шлаке составит, кг:

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

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

Количество халькозина Cu_2S в шлаке равно, кг:

$$\begin{aligned} (m_{\text{Cu}_2\text{S}})_{\text{шл}} &= \frac{(m_{\text{Cu}})_{\text{кон}} - (m_{\text{Cu}})_{\text{шт}} - (m_{\text{Cu}})_{\text{Pb ч}}}{A_{\text{Cu}}} \cdot M_{\text{Cu}_2\text{S}} = \\ &= \frac{2,3 - 1,84 - 0,184}{127,1} \cdot 159,1 = 0,345. \end{aligned}$$

Определяем количество SiO_2 в шлаке, кг:

$$\begin{aligned} (m_{\text{SiO}_2})_{\text{шл}} &= (m_{\text{SiO}_2})_{\text{кон}} + (m_{\text{SiO}_2})_{\text{кв}} + (m_{\text{SiO}_2})_{\text{изв}} + (m_{\text{SiO}_2})_{\text{з.к.}} = \\ &= 2 + 8,598 + 1,017 + 0,168 = 11,783. \end{aligned}$$

Вычисляем массу CaO в шлаке, кг:

$$\begin{aligned} (m_{\text{CaO}})_{\text{шл}} &= (m_{\text{CaO}})_{\text{кон}} + (m_{\text{CaO}})_{\text{изв}} + (m_{\text{CaO}})_{\text{з.к.}} = \\ &= 1,8 + 13,223 + 0,084 = 15,107. \end{aligned}$$

Масса глинозёма в шлаке будет равна, кг:

$$(m_{\text{Al}_2\text{O}_3})_{\text{шл}} = (m_{\text{Al}_2\text{O}_3})_{\text{кон}} + (m_{\text{Al}_2\text{O}_3})_{\text{кв}} = 0,2 + 0,093 = 0,293.$$

Определяем массу «прочих» компонентов в шлаке, кг:

$$\begin{aligned} (m_{\text{пр}})_{\text{шл}} &= (m_{\text{пр}})_{\text{кон}} + (m_{\text{пр}})_{\text{фл}} - (m_{\text{пр}})_{\text{шт}} - (m_{\text{пр}})_{\text{Pb ч}} = \\ &= 0,657 + 0,093 + 0,036 - 0,142 - 0,249 = 0,395, \end{aligned}$$

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_3O_4	0,13	0,25
FeO	10,591	20,03
ZnO	9,46	17,90
PbO	4,762	9,01
Cu_2S	0,345	0,65
SiO_2	11,78	22,29
CaO	15,105	28,58
Al_2O_3	0,293	0,55
Прочие	0,395	0,74
Итого	52,861	100

Этот шлак по содержанию основных компонентов FeO , SiO_2 , 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_2 , а металлы переходят в оксиды. Поэтому расчет количества кислорода проводят по стехиометрии химических реакций взаимодействия серы и металлов с O_2 .

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

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

При этом степень десульфуризации составляет:

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

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 $19,418 \text{ кг } \text{O}_2$ и образуется $19,418 \cdot 2 = 38,836 \text{ кг } \text{SO}_2$.

Всего в газовую фазу ОПК выделится SO_2 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_2 в количестве

$$9,4 - 1,754 = 7,646 \text{ кг.}$$

Из них 0,37 кг железа окисляется до Fe_3O_4 и уходит в штейн (табл. 3.1), для этого потребуется 0,142 кг O_2 .

Остальные 7,276 кг железа переходят в шлак в виде FeO и Fe_3O_4 . В магнетите содержится 1,88 кг железа, а в оксиде FeO $7,276 - 1,88 = 5,396 \text{ кг Fe}$. В результате окисления получено $2,598 \text{ кг } \text{Fe}_3\text{O}_4$ и $\frac{5,396}{55,85} \cdot 71,85 = 6,942 \text{ кг FeO}$.

Для окисления железа до Fe_3O_4 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:

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

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 % O₂ и 4 % N₂, получим количество технического кислорода, которое составит $27,332 : 0,96 = 28,471$ кг.

На практике расход кислорода берётся с избытком 5 %. Практический расход технического кислорода составит $28,471 \cdot 1,05 = 29,894$ кг. В этом количестве технического кислорода чистого кислорода содержится 28,699 кг, избыточного кислорода поступает в ОПК $28,699 - 27,332 = 1,367$ кг, азота поступает в ОПК $29,894 \cdot 0,04 = 1,196$ кг.

Расчёт количества и состава отходящих газов из обжигово-плавильной камеры

Отходящие газы ОПК содержат SO₂, 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: $40,522 - 5,381 = 35,141$ SO₂; 2,691 S; 1,367 избыточного кислорода и 1,196 азота.

Из шихты при нагревании выделяется в газовую фазу следующее количество CO₂, кг:

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

При сгорании избыточного углерода КФ образуется 3,70 кг CO₂.

Всего в отходящие газы выделится $11,804 + 3,70 = 15,504$ кг CO₂.

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

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

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

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 ³	% от объема
SO ₂	35,141	12,30	44,31
S	2,691	1,88	6,77
CO ₂	15,504	7,89	28,42
CO	4,708	3,77	13,58
O ₂	1,367	0,96	3,46
N ₂	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:

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

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

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

Для получения 2,925 кг РЬ 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:

$$(m_{\text{C}})_{\text{T}} = (m_{\text{C}})_{\text{PbO}} + (m_{\text{C}})_{\text{ZnO}} + (m_{\text{C}})_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 0,418 + 0,169 + 0,007 = 0,594.$$

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 SiO₂; 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 SiO₂; 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 РЬО 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 потребуется $0,558 + 0,045 = 0,603$ 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 РЬО; 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 СО и N₂.

Количество азота составляет 2,019 кг N₂, 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 РbО, ZnО и O₂ (из Fe₃O₄), но увеличение содержания SiO₂, CaO, FeO и С 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 РbО. Масса РbО будет равна $\frac{1,496}{207,2} \cdot 223,2 = 1,612$ кг.

Массы Cu₂S и Al₂O₃ останутся неизменными и составят, соответственно, 0,345 кг Cu₂S и 0,293 кг Al₂O₃.

Рассчитываем количество SiO₂ 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 ₂ S	0,345	0,74
SiO ₂	11,818	25,18
CaO	15,124	32,23
Al ₂ O ₃	0,293	0,62
С	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 % Cu) 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 компонентов, кг												Прочие
	Всего	Pb	Zn	Cu	Fe	S	SiO2	CaO	Al2O3	C	O2	N2	
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 ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
52	8,2	2,3	9,4	22,029	1,8	2	0,2	1,414	0,657

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
92	6	1	1

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
4	3	40,86	52	0,14

4. Зола

SiO ₂	FeO	CaO
50	25	25

5. Штейн

Cu	Zn	Fe	S	Pb	Прочие
26	5	30	24	13	2

6. Шлак

ZnO	SiO ₂	FeO	CaO
19,8	25	20	32

Вариант- 1

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
48	8,5	2,8	9	21,2	3,5	2	1,57	2	1,43

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
72	12,2	2,9	12,9

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,9	5,0	38,5	49	0,6

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
15	20	27	34,8

Вариант- 2

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
42	7	2,5	9,5	20,1	3	2,5	1,96	3	8,44

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
79	14,8	3,5	2,7

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,8	3,2	39,3	50	0,7

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
16	21	28	31,8

Вариант- 3

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
44	8	2	10	21,2	3,5	3	2,36	3,5	2,44

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
74	10,8	3,5	11,7

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
7	1,1	40,1	51	0,8

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
17	22	29	28,8

Вариант- 4

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
43	8,5	2,6	9	20,5	2,8	2,8	2,20	3,2	5,40

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
77	14	3,7	5,3

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,6	3,2	39,3	50	0,9

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
18	20	24	34,8

Вариант- 5

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
41	9	2,5	9,5	20,9	3,2	2,8	2,20	3,2	5,70

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
78	14,8	3,3	3,9

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,7	5,0	38,5	49	0,8

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
19	21	25	31,8

Вариант- 6

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
40	8,4	2,7	8,8	19,8	3,6	3,2	2,51	2,8	8,19

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
77	12,5	4	6,5

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,8	6,8	37,7	48	0,7

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
20	22	26	28,8

Вариант- 7

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
39	7,5	3	10,5	21	4	3,5	2,75	2,7	6,05

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
78	14,2	3,6	4,6

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,9	8,6	36,9	47	0,6

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
12	23	27	34,8

Вариант- 8

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
45	8	2,9	8,6	20,2	2,8	3,2	2,51	3,1	3,69

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
80	12,8	3,8	3,4

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
7	6,8	37,7	48	0,5

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
13	18	28	37,8

Вариант- 9

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
41,6	8,6	3,2	9,2	20,7	3,1	3,6	2,83	3,8	3,37

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
78	13	4,2	4,8

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,7	5,4	38,5	49	0,4

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
14	19	24	39,8

Вариант- 10

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
40,5	7,2	3,2	7,8	18,5	3,2	3,5	2,75	2,9	10,45

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
77	15	3,8	4,2

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,8	3,4	39,3	50	0,5

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
15	20	25	36,8

Вариант- 11

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
40,2	8,4	2,6	8,8	19,8	3,6	2,8	2,20	3,2	8,40

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
80	13,8	2,9	3,3

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,9	1,4	40,1	51	0,6

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
12	19	26	39,8

Вариант- 12

1. Концентрат

Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CO ₂	Прочие
41,6	8,6	3,5	9,2	20,8	3,8	2,9	2,28	3,5	3,82

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
79	13,9	2,9	4,2

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,3	0,1	40,9	52	0,7

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
16	20	27	33,8

Вариант- 13

1. Концентрат

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

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
78	14	3,8	4,1

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
7	1,1	40,1	51	0,8

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
17	21	28	30,8

Вариант- 14

1. Концентрат

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

2. Песок

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Прочие
81	12,7	3	3,3

3. Известняк

SiO ₂	FeO	CO ₂	CaO	Прочие
6,7	4,9	38,5	49	0,9

4. Зола

SiO ₂	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 ₂	FeO	CaO
19	22	29	26,8

Гидрометаллургические методы переработки техногенного сырья

Задания для практической работы

Пример расчета расхода соды и состава продуктов выщелачивания.

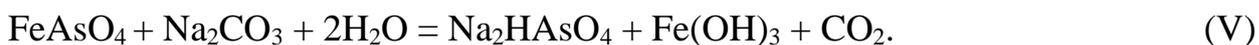
По исходным данным рассчитать рациональный состав шеелитового концентрата, % и занести в таблицу 1:

Таблица 1. Рациональный состав шеелитового концентрата

	WO ₃	Mo	CaO	SiO ₂	Cu	P	As	Sn	Fe	S	O	CO ₂	H ₂ O	проч	всего
CaWO ₄	57,0		13,78												70,78
CaMoO ₄		0,15	0,08								0,075				0,31
Ca ₃ (PO ₄) ₂			0,41			0,15					0,19				0,75
FeAsO ₄							0,15		0,11		0,12				0,38
CuFeS ₂					0,15				0,13	0,17					0,45
SnO ₂								0,15			0,04				0,19
FeS ₂									0,55	0,63					1,18
CaCO ₃			10,73									8,42			19,16
SiO ₂				3,5											3,5
H ₂ 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_2 , CuFeS_2 , FeS_2 , CaCO_3 и прочие с содовым раствором не реагируют и полностью переходят в кек.

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

CaWO_4	CaMoO_4	SiO_2	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	FeAsO_4
99	100	65	78	100

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_4 , 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 CaWO_4 , разлагающегося содой, $70,78 \cdot 0,99 = 70,07$ кг

В том числе:

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 Na_2CO_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:

Na_2WO_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:

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

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

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	CaWO_4	Na_2CO_3	Na_2WO_4	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 CaMoO_4 , разлагающегося содой, 0,31 кг (0,15 кг Мо, 0,08 кг СаО, 0,075 кг О). Тогда:

Вещество	CaMoO_4	Na_2CO_3	Na_2MoO_4	CaCO_3
Молярная масса, кг/кмоль	200	106	206	100
Масса, кг	0,31	$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$	$m(\text{Na}_2\text{MoO}_4)$	$m(\text{CaCO}_3)$
По расчетам	0,31(100%)	0,16	0,31	0,15

Отсюда:

Масса соды Na_2CO_3 , необходимая для реакции II

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m(\text{CaMoO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) / M(\text{CaMoO}_4) = 0,31 \cdot 105,97 / 200,01 = 0,16 \text{ кг}$$

В результате реакции образуется Na_2MoO_4

$$m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) = m(\text{CaMoO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{MoO}_4) / M(\text{CaMoO}_4) = 0,31 \cdot 205,9 / 200,01 = 0,32 \text{ кг}$$

В том числе:

$$m(\text{Mo}) = m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) \cdot M(\text{Mo}) / M(\text{Na}_2\text{MoO}_4) = 0,32 \cdot 95,9 / 205,9 = 0,15$$

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{MoO}_4) = 0,32 \cdot 62 / 205,9 = 0,096$$

$$m(\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) - m(\text{Na}_2\text{O}) - m(\text{Mo}) = 0,32 - 0,15 - 0,096 = 0,074$$

CaCO_3 (осадок)

$$m(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaMoO}_4) \cdot M(\text{CaCO}_3) / M(\text{CaMoO}_4) = 0,31 \cdot 100,08 / 200,01 = 0,155 \text{ кг}$$

в том числе

$$m(\text{CaO}) = m(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaO}) / M(\text{CaCO}_3) = 0,155 \cdot 56 / 105,9 = 0,09 \text{ кг},$$

$$m(\text{CO}_2) = m(\text{CaCO}_3) - m(\text{CaO}) = 0,155 - 0,09 = 0,085 \text{ кг};$$

По реакции (III) $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2$

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

$$m(\text{SiO}_2) = 3,5 \cdot 0,35 = 1,22 \text{ кг}.$$

Масса SiO_2 , разлагающегося содой, $m(\text{SiO}_2) = 3,5 \cdot 0,65 = 2,28 \text{ кг}.$

Тогда:

Вещество	SiO_2	Na_2CO_3	Na_2SiO_3	CO_2
Молярная масса, кг/кмоль	60	106	122	44
Масса, кг	3,5	$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$	$m(\text{Na}_2\text{SiO}_3)$	$m(\text{CO}_2)$
По расчетам	2,275(65%)	4,01	4,62	1,66

Масса соды Na_2CO_3 для реакции III

$$m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = m_{(\text{SiO}_2)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} / M_{(\text{SiO}_2)} = 2,28 \cdot 105,97 / 60,08 = 4,02 \text{ кг}$$

В результате реакции образуется –



$$m_{(\text{Na}_2\text{SiO}_3)} = m_{(\text{SiO}_2)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{SiO}_3)} / M_{(\text{SiO}_2)} = 2,28 \cdot 122,04 / 60,08 = 4,63 \text{ кг}$$

в том числе:

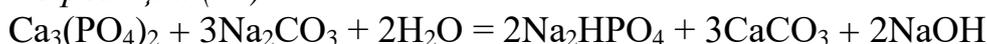
$$m_{(\text{Na}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{SiO}_3)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{O})} / M_{(\text{Na}_2\text{SiO}_3)} = 4,63 \cdot 62 / 122,04 = 2,35 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{SiO}_2)} = m_{(\text{Na}_2\text{SiO}_3)} - m_{(\text{Na}_2\text{O})} = 4,63 - 2,35 = 2,28 \text{ кг}$$



$$m_{(\text{CO}_2)} = m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} \cdot M_{(\text{CO}_2)} / M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = 4,02 \cdot 44 / 105,97 = 1,67 \text{ кг}$$

По реакции (IV).



Масса $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 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 - P, 0,08 кг - CaO, 0,04 кг - O).

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 CaO, 0,11 кг P, 0,15 кг O).

Тогда:

Вещество	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$3\text{Na}_2\text{CO}_3$	$2\text{H}_2\text{O}$	$2\text{Na}_2\text{HPO}_4$	3CaCO_3	2NaOH
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 Na_2CO_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 Na_2HPO_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:



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



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



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



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

CaCO₃ (осадок)

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

В том числе

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

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

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

Na₂O

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

H₂O

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

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 FeAsO₄, 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

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

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

Тогда:

Вещество	FeAsO ₄	Na ₂ CO ₃	2H ₂ O	Na ₂ HAsO ₄	Fe(OH) ₃	CO ₂
Молярная масса, кг/кмоль	195	106	36	186	108	44
Масса, кг	0,38	m(Na ₂ CO ₃)	m(H ₂ O)	m(Na ₂ HAsO ₄)	m(Fe(OH) ₃)	m(CO ₂)
По расчетам	0,38(100%)	0,20	0,07	0,36	0,21	0,08

На реакцию V требуется соды Na₂CO₃

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

В реакции участвует вода H₂O

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

В результате образуется

Na₂HAsO₄

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

в том числе

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

$$m_{(H_2O)} = m_{(Na_2HASO_4)} \cdot 0,5 \cdot M_{(H_2O)} / M_{(Na_2HASO_4)} = 0,36 \cdot 0,5 \cdot 18 / 185,88 = 0,017 \text{ кг}$$

$$m_{(As)} = m_{(Na_2HASO_4)} \cdot M_{(As)} / M_{(Na_2HASO_4)} = 0,36 \cdot 75 / 185,88 = 0,149 = 0,15 \text{ кг}$$

$$m_{(O)} = m_{(Na_2HASO_4)} - m_{(Na_2O)} - m_{(H_2O)} - m_{(As)} = 0,36 - 0,12 - 0,017 - 0,15 = 0,073 = 0,07 \text{ кг}$$

$$m_{(Na_2O)} = m_{(NaOH)} \cdot M_{(Na_2O)} / M_{(NaOH)} = 0,15 \cdot 62 / 39,98 = 0,23 \text{ кг}$$

$$m_{(H_2O)} = m_{(Na_2HASO_4)} \cdot M_{(H_2O)} / M_{(Na_2HASO_4)} = 0,36 \cdot 0,5 \cdot 18 / 185,88 = 0,017 \text{ кг}$$

Fe(OH)₃ (осадок)

$$m_{(Fe(OH)_3)} = m_{(FeAsO_4)} \cdot M_{(Fe(OH)_3)} / M_{(FeAsO_4)} = 0,38 \cdot 107 / 194,76 = 0,21 \text{ кг}$$

В том числе

Fe

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

H₂O

$$m_{(H_2O)} = m_{(Fe(OH)_3)} \cdot 3M_{(H_2O)} / M_{(Fe(OH)_3)} = 0,21 \cdot 3 \cdot 18 / 107 = 0,05$$

O

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

CO₂

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

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 кг

По данным практики, принимаем содовый эквивалент 2,5. В этом случае практический расход соды 30,78 · 2,5 = 76,94 кг.

Принимаем состав технической соды: 97 % Na₂CO₃; 3 % прочие.

Тогда потребуется технической соды 76,95 / 0,97 = 79,32 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 Т ÷ Ж = 1 ÷ 4. Следовательно, масса содового раствора на 100 кг концентрата должно быть 100 · 4 = 400 кг.

Масса воды, необходимая для выщелачивания 100 кг концентрата, с учетом его влажности составит 400 – 79,32 – 2 = 318,68 кг.

В раствор в соответствии с реакциями (I) – (V) перейдут Na₂WO₄, Na₂HAsO₄, NaOH, Na₂MoO₄, Na₂SiO₃, Na₂HPO₄, избыточная Na₂CO₃ (79,33 – 30,78 = 48,55 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 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 ₂ O	WO ₃	Mo	O	SiO ₂	H ₂ O	P	As	CO ₂	Всего
I Na ₂ WO ₄ ;	15,07	56,42								71,51
II Na ₂ MoO ₄	0,09		0,15	0,07						0,31
III Na ₂ SiO ₃	2,35				2,28					4,62
IV Na ₂ HPO ₄	0,24			0,15		0,04	0,11			0,53
IV NaOH;	0,12					0,03				0,14
V Na ₂ CO ₃	26,78								19,02	45,8
V Na ₂ HAsO ₄ ;	0,12			0,07		0,017		0,15		0,357
H ₂ O содового раствора						318,63				318,62
H ₂ O конденсата						40,0				40
H ₂ O концентрата						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 Na₂CO₃:

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

Для расчета CO₂ в реакции V Na₂CO₃:

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

Для расчета Na₂O в реакции V Na₂CO₃:

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

(I) – 71,53 Na₂WO₄; (II) - 0,32 Na₂MoO₄; (III) - 4,63 Na₂SiO₃; (IV) - 0,54 Na₂HPO₄; (V) - 0,36 Na₂HAsO₄; (IV) - 0,15 NaOH; (V) 48,55 Na₂CO₃; 318,62 H₂O содового раствора; 40,0 H₂O конденсата; 2,0 H₂O концентрата. Всего **483,90 кг**

По данным практики, плотность растворов после разложения шеелитового концентрата **1,15 кг/дм³**.

В этом случае объём растворов на 100 кг концентрата составит: 484,52/1,15 = 421 дм³ (421 л).

Массы составляющих раствора следующее, г/л: $56420/421 \approx 134 \text{ WO}_3$ (из Na_2WO_4); $45830/421 \approx 109 \text{ Na}_2\text{CO}_3$; $150/421 \approx 0,356 \text{ NaOH}$; $150/421 \approx 0,356 \text{ Mo}$ (из Na_2MoO_4); $2280/421 \approx 5,41 \text{ SiO}_2$ (из Na_2SiO_3); $110/421 \approx 0,261 \text{ P}$ (из Na_2HPO_4); $150/421 \approx 0,356 \text{ As}$ (из Na_2HASO_4).

В кеке переходят не разложившиеся соединения концентрата: CaCO_3 , SnO_2 , CuFeS_2 , FeS_2 ; прочие, частично не разложившиеся соединения CaWO_4 , SiO_2 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; прочие соды и образовавшиеся нерастворимые соединения по реакциям (I), (II), (IV) и (V) CaCO_3 и $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

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

Реакция	CaO	CO ₂	Fe	H ₂ O	O	WO ₃	SiO ₂	P	Sn	Cu	S	Прочие	Всего
CaCO ₃	10,74	8,42											19,16
I	13,64	10,7											24,35
II	0,08	0,07											0,15
V Fe(OH) ₃			0,13	0,06	0,06								0,25
CaWO ₄	0,14					0,56							0,7
III SiO ₂							1,22						1,22
IV Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,08				0,04			0,04					0,16
SnO ₂					0,04				0,15				0,19
CuFeS ₂			0,13							0,15	0,15		0,43
FeS ₂			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 CaCO₃; – 24,35 CaCO₃; (II) – 0,15 CaCO₃; (IV) -0,57 CaCO₃ ;
 (V) – 0,25 Fe(OH)₃; 0,7 CaWO₄ ; (I) 1,22 SiO₂; (IV) 0,16 Ca₃(PO₄)₂ ; 0,19
 SnO₂ ;
 0,43 CuFeS₂ ; 1,18 FeS₂ (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:

$$(52,03 + x) - x$$

$$100 \quad - 20$$

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

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

$$80x=1040,6$$

$$x=13,01$$

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:

$$m(\text{Na}_2\text{WO}_4) = 71,5 \cdot 0,0269 = 1,91;$$

В ТОМ ЧИСЛЕ:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{WO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{WO}_4) = 1,91 \cdot 62 / 293,1 = 0,4$$

$$m(\text{WO}_3) = m(\text{Na}_2\text{WO}_4) - m(\text{Na}_2\text{O}) = 1,91 - 0,4 = 1,51$$

$$m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) = 0,32 \cdot 0,0268 = 0,008;$$

В ТОМ ЧИСЛЕ:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{MoO}_4) = 0,008 \cdot 62 / 205,9 = 0,0024$$

$$m(\text{Mo}) = m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) \cdot M(\text{Mo}) / M(\text{Na}_2\text{MoO}_4) = 0,008 \cdot 95,4 / 205,9 = 0,0037$$

$$m(\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{MoO}_4) - m(\text{Na}_2\text{O}) - m(\text{Mo}) = 0,008 - 0,0024 - 0,0037 = 0,0019$$

$$m(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 4,63 \cdot 0,0268 = 0,124;$$

В ТОМ ЧИСЛЕ:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{SiO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 0,124 \cdot 62 / 122,04 = 0,063$$

$$m(\text{SiO}_2) = m(\text{Na}_2\text{SiO}_3) - m(\text{Na}_2\text{O}) = 0,124 - 0,063 = 0,061$$

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,54 \cdot 0,0268 = 0,014 ;$$

В ТОМ ЧИСЛЕ:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,014 \cdot 62 / 141,93 = 0,006$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot 0,5M(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,014 \cdot 0,5 \cdot 18 / 141,93 = 0,001$$

$$m(\text{P}) = m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) - m(\text{Na}_2\text{O}) - m(\text{H}_2\text{O}) = 0,014 - 0,006 - 0,001 = 0,007$$

$$m(\text{Na}_2\text{HASO}_4) = 0,36 \cdot 0,0268 = 0,0096;$$

В ТОМ ЧИСЛЕ:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{HASO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{HASO}_4) = 0,0096 \cdot 62 / 185,88 = 0,0032$$

$$m(\text{As}) = m(\text{Na}_2\text{HASO}_4) \cdot M(\text{As}) / M(\text{Na}_2\text{HASO}_4) = 0,0032 \cdot 74,92 / 185,88 = 0,0013$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{HASO}_4) \cdot 0,5M(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{HASO}_4) = 0,0032 \cdot 0,5 \cdot 18 / 185,88 = 0,0002$$

$$m(\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{HASO}_4) - m(\text{Na}_2\text{O}) - m(\text{H}_2\text{O}) - m(\text{As}) = 0,0096 - 0,0032 - 0,0013 - 0,0002 = 0,005$$

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

В ТОМ ЧИСЛЕ:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = m(\text{NaOH}) \cdot 0,5M(\text{Na}_2\text{O}) / M(\text{NaOH}) = 0,004 \cdot 0,5 \cdot 62 / 40 = 0,003$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{NaOH}) - m(\text{Na}_2\text{O}) = 0,004 - 0,003 = 0,001$$

$$m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = 45,83 \cdot 0,0268 = 1,23;$$

В ТОМ ЧИСЛЕ:

$$m_{(\text{Na}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} \cdot M_{(\text{Na}_2\text{O})} / M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = 1,23 \cdot 62 / 105,97 = 0,72$$

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} - m_{(\text{Na}_2\text{O})} = 1,23 - 0,72 = 0,51$$

$$m_{(\text{CO}_2)} = (318,63 + 40 + 2) \cdot 0,0268 = 9,66 \text{ H}_2\text{O}.$$

Всего 12,96.

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

	Na ₂ O	WO ₃	Mo	O	SiO ₂	H ₂ O	P	As	CO ₂	Всего
Na ₂ WO ₄	0,4	1,51								1,91
Na ₂ MoO ₄	0,0024		0,004	0,0018						0,008
Na ₂ SiO ₃	0,063				0,061					0,124
Na ₂ HPO ₄	0,006			0,004		0,001	0,003			0,014
Na ₂ HAsO ₄	0,0032			0,005		0,0002		0,0013		0,0096
NaOH	0,003					0,001				0,004
Na ₂ CO ₃	0,72								0,51	1,23
H ₂ 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 CaCO₃ ; 0,25 Fe(OH)₃; 0,7 CaWO₄ (,CaO); 1,22 SiO₂; 0,16 Ca₃(PO₄)₂ ; 0,19 SnO₂ ; 0,43 CuFeS₂ ; 1,18 FeS₂ ; 1,91 Na₂WO₄ ;
 0,008 Na₂MoO₄; 0,124 Na₂SiO₃ ; 0,0096 Na₂HAsO₄ ; 0,014 Na₂HPO₄ ;
 0,004 NaOH ; 1,23 Na₂CO₃; 9,68 H₂O; 3,68 прочие.

Всего 65,02 кг.

Таблица Состав и масса влажного кека, кг:

	Mo	CaO	CO ₂	Fe	H ₂ O	O	WO ₃	SiO ₂	P	Sn	Cu	S	Na ₂ O	As	Прочие	Всего
CaCO ₃		24,79	19,44													44,23
Fe(OH) ₃				0,13	0,06	0,06										0,25
CaWO ₄		0,14					0,56									0,7
SiO ₂								1,22								1,22
Ca ₃ (PO ₄) ₂		0,08				0,04			0,04							0,16
SnO ₂						0,04				0,15						0,19
CuFeS ₂				0,13							0,15	0,15				0,43
FeS ₂				0,55								0,63				1,18
Na ₂ WO ₄							1,51						0,4			1,91
Na ₂ MoO ₄	0,004					0,0018							0,0022			0,008
Na ₂ SiO ₃								0,061					0,063			0,124
Na ₂ HAsO ₄					0,0004	0,002							0,0032	0,004		0,0096
Na ₂ HPO ₄					0,001	0,004			0,003				0,006			0,014
NaOH					0,0008								0,0032			0,004
Na ₂ CO ₃			0,51										0,72			1,23
H ₂ 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, %:

$$m_{(WO_3)} = (0,56 + 1,51) \cdot 100/65,02 = 3,184 \text{ (в том числе в составе } 1,51 \cdot 100/65,02 = 2,32 \text{ Na}_2\text{WO}_4\text{);}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

WO ₃	Mo	P	As	Cu	Fe	S	SiO ₂	CO ₂	Na ₂ O	H ₂ 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 WO₃ в раствор без отмывки кека $54,92/55,5 \cdot 100 = 98,93 \%$.
Извлечение WO₃ 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 ₃	Mo	CaO	SiO ₂	Cu	P	As	Sn	Fe	S	CO ₂	O	H ₂ O	Na ₂ O	прочие	Всего
Поступило																
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 (H ₂ 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
Получено																
Раствор	56,42	0,146		2,28		0,11	0,15				19,02	0,29	36,707	44,77		474,776
Кек влажный	2,07	0,004	25,01	1,281	0,15	0,043	0,004	0,15	0,81	0,78	19,95	0,148	9,742	1,198	3,68	64,87
Газ (CO ₂)											1,3					1,3
Всего	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

№ варианта	WO ₃	Mo	CaO	SiO ₂	Cu	P	As	Sn	Fe	S	H ₂ 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 CaWO₄,
- молибден в повелите CaMoO₄,
 - медь в халькопирите CuFeS₂,
 - фосфор в апатите Ca₃(PO₄)₂,
 - мышьяк в скородите FeAsO₄,
 - олово в касситерите SnO₂,
 - железо не связанное в халькопирите и скородите, находится в пирите FeS₂,
 - оксид кальция, не связанный в шеелите, повелите и апатите, находится в кальците CaCO₃