

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
ИСЛАМА КАРИМОВА**

**«ТЕОРИЯ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

**Методические указания к практическим занятиям**

УДК 669.1.669.2/8.54

Теория пирометаллургических процессов: Методические указания к практическим занятиям. Хожиев Ш.Т.– Ташкент: ТашГТУ, 2023. 56 с.

Методические указания к практическим занятиям подготовлены на основе рабочей программы курса и утверждены на заседании кафедры.

В методических указаниях значительное место уделено основам металлургических расчетов, широко применяемым при описании металлургических процессов. Рассмотрены теория и практика металлургии и гидрометаллургических процессов, описаны физико-химические основы. Отражающие основные процессы в современной металлургии. Также рассмотрены физико-химические процессы сорбционных материалов.

Печатаются по решению научно-методического совета ТашГТУ  
Протокол №7 от 26 апреля 2023г

Рецензенты:

доц. PhD. Маткаримов З.Т., (ТашХТИ.)

доц. PhD. Носирхужаев С.К., (ТашГТУ)

## Практическое занятие №1

### Понятие о растворах изучение законов в гетерогенных растворах

**Растворами** называют однородные системы переменного состава. Химический состав и физические свойства одного раствора во всех частях его объёма одинаковы.

В отличие от простого смешивания веществ, **при растворении происходит взаимодействие между частицами**, образующими раствор.

Часто для определения раствора используют понятия гомогенной и системы.

В этом случае, раствором называется **гомогенная система**, состоящая из двух или более компонентов.

#### Гомогенные и гетерогенные системы

**Гомогенная система** (от греч. ὁμός — равный, одинаковый; γένω — рождать) — однородная система, химический состав и физические свойства которой во всех частях одинаковы или меняются непрерывно, без скачков (между частями системы нет поверхностей раздела).

В гомогенной системе из двух и более химических компонентов каждый компонент распределен в массе другого в виде молекул, атомов, ионов. Составные части гомогенной системы нельзя отделить друг от друга механическим путем.

**Гетерогенная система** (от греч. ἕτερος — разный; γένω — рождать) — неоднородная система, состоящая из однородных частей (фаз), разделённых поверхностью раздела.

**Растворы** могут существовать в трёх агрегатных состояниях — твёрдом, жидком и газообразном (парообразном). Примерами твёрдых растворов могут служить некоторые сплавы металлов, например сплав золота и меди, газообразных — воздух.

Наиболее важный вид растворов — жидкие растворы.

**Растворы** имеют чрезвычайно важное значение в жизни человека. Так, процессы усвоения пищи человеком и животными связаны с переводом питательных веществ в раствор. Растворами являются все важнейшие физиологические жидкости (кровь, лимфа и т.д.).

#### Растворители

Всякий раствор состоит из растворённых веществ и растворителя, т.е. среды, в которой эти вещества равномерно распределены в виде молекул и ионов.

Обычно **растворителем** считают тот компонент, который в чистом виде существует в том же агрегатном состоянии, что и полученный раствор. Например, в случае водного раствора соли растворителем является вода.

Если же оба компонента до растворения находились в одинаковом агрегатном состоянии (например, спирт и вода), то растворителем считается компонент, находящийся в большем количестве.

### **Истинные и коллоидные растворы**

В растворах вещества могут находиться в различных степенях **дисперсности** (т.е. раздробленности). Величина частиц служит важным признаком, обуславливающим многие физикохимические свойства растворов.

По величине частиц растворы делятся на:

1. **Истинные растворы** (размер частиц меньше 1 мкм) и
2. **Коллоидные растворы** (размер частиц от 1 до 100 мкм).

Смеси с частицами размером более 100 мкм образуют взвеси: **суспензии** и **эмульсии**. **Истинные растворы** могут быть **ионными** или **молекулярными** в зависимости от того, диссоциирует ли растворённое вещество на ионы или остаётся в недиссоциированном состоянии в виде молекул.

**Коллоидные растворы** резко отличаются по свойствам от истинных растворов. Они **гетерогенны**, так как имеют поверхность раздела между фазами – растворённым веществом (**дисперсной фазой**) и растворителем (**дисперсионной средой**).

Растворы высокомолекулярных соединений: белков, полисахаридов, каучука обладают свойствами как истинных, так и коллоидных растворов и выделяются в особую группу.

### **Растворы, механические смеси и химические соединения**

Однородность растворов делает их очень сходными с химическими соединениями.

**Химическое соединение** — сложное вещество, состоящее из химически связанных атомов двух или нескольких элементов.

**Раствор** это не одно химическое соединение, а как минимум два смешанных соединения. В отличие от простого смешивания

веществ, при растворении происходит взаимодействие между частицами, образующими раствор.

Выделение теплоты при растворении некоторых веществ тоже указывает на химическое взаимодействие между растворителем и растворяемым веществом.

Отличие растворов от химических соединений состоит в том, что состав раствора может изменяться в широких пределах. Кроме того, в свойствах раствора можно обнаружить многие свойства его отдельных компонентов, чего не наблюдается в случае химического соединения.

Непостоянство состава растворов приближает их к механическим смесям.

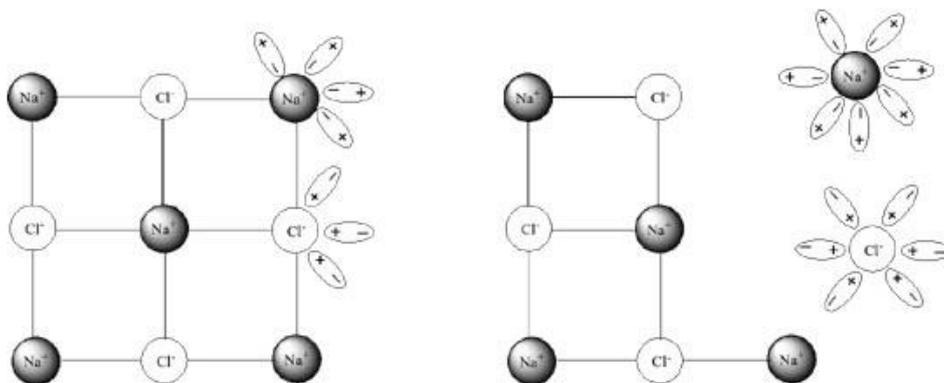
**Механическая смесь** — физико-химическая система, в состав которой входят два или несколько химических соединений (компонентов). В смеси исходные вещества включены неизменными. При смешивании не возникает никакого нового вещества.

От механических смесей растворы резко отличаются своей однородностью. Таким образом, растворы занимают промежуточное положение между механическими смесями и химическими соединениями.

### Процесс растворения

Растворение кристалла в жидкости протекает следующим образом.

Когда вносят кристалл в жидкость, в которой он может растворяться, от поверхности его отрываются отдельные молекулы. Последние благодаря диффузии равномерно распределяются по всему объёму растворителя.



*Растворение кристалла NaCl*

Отделение молекул от поверхности твёрдого тела вызывается, с одной стороны, их собственным колебательным движением, а с другой – притяжением со стороны молекул растворителя.

Этот процесс должен был бы продолжаться до полного растворения любого количества кристаллов, если бы не происходил обратный процесс – **кристаллизация**. Перешедшие в раствор молекулы, ударяясь о поверхность ещё не растворившегося вещества, снова притягиваются к нему и входят в состав его кристаллов.

Понятно, что выделение молекул из раствора будет идти тем быстрее, чем больше **концентрация раствора**. А так как последняя по мере растворения вещества увеличивается, то, наконец наступает такой момент, когда **скорость растворения становится равной скорости кристаллизации**. Тогда устанавливается **динамическое равновесие**, при котором в единицу времени растворяется и кристаллизуется одинаковое число молекул.

*Нерастворённое вещество*  $\rightleftharpoons$  *Вещество в растворе*

Раствор, находящийся в равновесии с растворяющимся веществом, называется **насыщенным раствором**.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2**

### **СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ КОНЦЕНТРАЦИЯ РАСТВОРОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ И СПОСОБЫ РАСЧЕТОВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕТОДОМ ПРЯМОЙ ЛИНИИ И МЕТОДОМ КРЕСТА**

Насыщенными растворами приходится пользоваться сравнительно редко. В большинстве случаев употребляются растворы ненасыщенные, т.е. с меньшей концентрацией растворённого вещества, чем в насыщенном растворе.

**Концентрацией раствора называется количество растворённого вещества, содержащееся в определённом количестве раствора или растворителя.**

Растворы с большой концентрацией растворённого вещества называются **концентрированными**, с малой – **разбавленными**.

Концентрацию раствора можно выражать по-разному:

1. В процентах растворённого вещества по отношению ко всему количеству раствора.

2. Числом грам-молекул растворённого вещества, содержащегося в 1 литре раствора.

3. Числом грамм-молекул растворённого вещества, содержащегося в 1000 г растворителя и т.д.

Количественное содержание компонента раствора, отнесенное к определенной массе или к растворенному объему раствора, или растворителя – называется **концентрацией** этого компонента. Содержание растворенного вещества, обычно, выражают в единицах массы, в молях или в эквивалентах.

**Процентная концентрация (по массе)** – это число единиц масс растворенного вещества, содержащегося в 100 единицах массы раствора – обозначается С %. Например, 20 % водный раствор КОН содержит 20 единиц массы КОН и 80 единиц массы воды.

**Молярная концентрация (молярность)** – число молей растворенного вещества в 1л раствора. Обозначается буквой М или  $C_m$ .

**Моль** – единица количества вещества. Моль это количество вещества системы, содержащая столько молекул, атомов, ионов, электронов или других структурных единиц, сколько содержится атомов в 0,012 кг изотопа углерода  $^{12}\text{C}$  ( $6,022 \cdot 10^{23}$ ).

Масса вещества, содержащаяся в 1 моле данного простого или сложного вещества называется **мольной массой**. Мольная масса вещества, выраженная в гр/моль, имеет то же численное значение, что и его относительная молекулярная масса.

Число молей простого или сложного вещества «n» находят из отношения массы «m» этого вещества в рассматриваемой системе к его мольной массе «М»

$$n = m/M$$

Произведение объема раствора, выраженного в миллилитре на его молярность равно числу миллимолей растворенного вещества.

**Эквивалентная концентрация (нормальность)**. Число эквивалентов растворенного вещества в 1л раствора – обозначается буквой N, n или  $C_n$ .

**Эквивалентом вещества** называют такое его количество, которое в данной реакции равноценно (эквивалентно) 1 молю атома водорода (1,0079 гр). Масса 1 эквивалента называется **эквивалентной массой**.

Выражение концентрации растворов в единицах нормальности значительно упрощает вычисление объемов растворов количественно

реагирующих друг с другом веществ. Эти объемы обратно пропорциональны их концентрациям, выраженным в единицах нормальности.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}; V_1 N_1 = V_2 N_2$$

Произведение объема раствора, выраженного в миллилитрах, на его нормальность равно числу эквивалентов растворенного вещества.

Концентрацию растворов выражают через **титр**, т.е. массой (в г или мг) вещества, содержащегося в 1 мл раствора и обозначают «Т». Найденную величину называют **титром по растворённому (рабочему) веществу**. Пользуются также **титром по анализируемому веществу**, т.е. массой (в г или мг) анализируемого вещества, эквивалентному количеству реагента, которое содержится в мл раствора.

Например, титр 0,1  $H_2SO_4$  (эквивалентная масса  $H_2SO_4 = 49,04$  г/моль) равен:

$$\frac{49,04 \cdot 0,4}{1000} = 0,004904 \text{ г / мл}$$

При титровании этим раствором NaOH титр  $H_2SO_4$ , выдержанный по анализируемому веществу NaOH (эквивалентная масса NaOH = 40,01 г/Моль) равен.

$$\frac{40,01 \cdot 0,4}{1000} = 0,004001 \text{ г / м}$$

Концентрацию растворов часто выражают в единицах **Моляльности** – числом молей вещества, растворённого в 1 кг растворителя. **Моляльность** – обозначается буквой «*m*»

Формулы перехода от одних выражений к концентрации растворов к другим.

$$C\% = \frac{100A}{100 + A} = \frac{C_n \mathcal{E}}{10d} = \frac{C_m M}{10}$$

$$A = \frac{100 C\%}{100 - C\%} = \frac{100B}{(1000d) - B} = \frac{mM}{10}$$

$$B = C\% 10d = \frac{100Ad}{1000 + A} = C_n \mathcal{E} = C_m M$$

$$C_n = \frac{B}{\mathcal{E}} = \frac{C\% 10d}{M} = \frac{C_m}{M}$$

$$m = \frac{10A}{M} = \frac{C_M 1000}{(1000d - B)}$$

где:  $C_{\%}$  – процентная концентрация по массе.

$A$  – число единиц массы растворённого вещества на 100 единиц масса растворителя.

$B$  – масса растворимого вещества в 1 л. раствора.

$C_n$  – число эквивалентов растворённого вещества в 1 л. раствора (нормальность).

$C_m$  – число молей растворённого вещества в 1 л. раствора (молярность).

$m$  – число молей растворённого вещества на 1000 г растворителя (молярность).

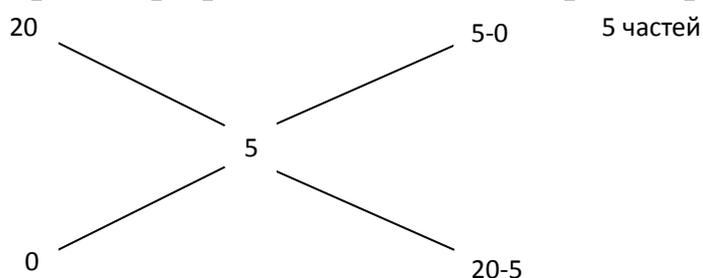
$\mathcal{E}$  – эквивалентная масса растворённого вещества, г/моль.

$M$  – молярная масса растворённого вещества г/моль.

$d$  – относительная плотность.

При гидрометаллургических процессах используются растворы различных кислот, щелочей и солей. Водные растворы растворителей обычно готовят соответствующим разбавлением исходных химически чистых растворителей. Разбавление проводят из расчета на объем, так как жидкость всегда легче отмерить, чем взвесить. Например, чтобы получить разбавленную кислоту в соотношении 1:5, к 5 объемом воды добавляют 1 объем кислоты.

При приготовлении разбавленных растворов из более концентрированных или путем смешения растворов разных концентраций, для расчета в отношении объемов удобно пользоваться **правилами креста или прямой линии** (смешения). Эти правила могут быть иллюстрированы схемой получения 5 % (по массе) раствора разбавлением 20 % раствора:



Правило креста распространяемое и на случай когда концентрация смешиваемых водных растворов выражена через плотность.



$$y = 250 \cdot 10 / 100 = 25 \text{ г.}$$

Следовательно, 400 г нового раствора содержит  $45 + 25 = 70$  г растворенного вещества.

Теперь можно определить концентрацию нового раствора:

400 г р-ра – 70 г в-ва,

100 г р-ра –  $z$  г в-ва,

$$z = 100 \cdot 70 / 400 = 17,5 \text{ г, или } 17,5\%.$$

♦ **2-й способ (алгебраический).**

$$m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2 = \omega_3 (m_1 + m_2).$$

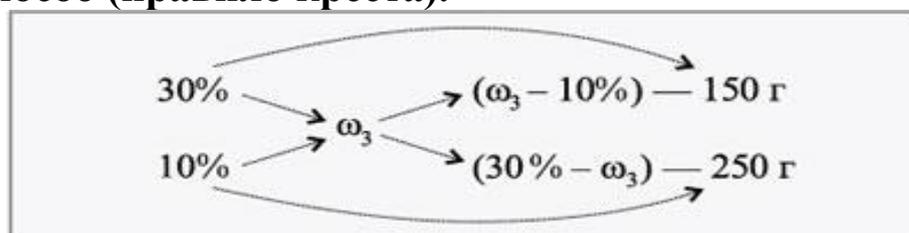
Отсюда

$$\omega_3 = (m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2) / (m_1 + m_2).$$

В результате находим:

$$\omega_3 = (150 \cdot 30 + 250 \cdot 10) / (150 + 250) = 17,5\%.$$

♦ **3-й способ (правило креста).**



$$(\omega_3 - 10) / (30 - \omega_3) = 150 / 250.$$

Тогда

$$(30 - \omega_3) \cdot 150 = (\omega_3 - 10) \cdot 250,$$

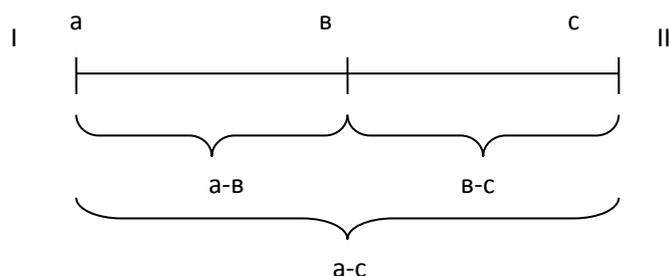
$$4500 - 150 \omega_3 = 250 \omega_3 - 2500,$$

$$4500 - 2500 = 250 \omega_3 - 150 \omega_3,$$

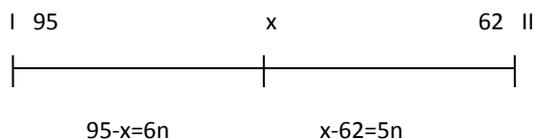
$$7000 = 400 \omega_3, \quad \omega_3 = 7000 / 400 = 17,5\%.$$

**Ответ.** При слиянии взятых растворов получится новый раствор с концентрацией  $\omega_3 = 17,5\%$ .

Смешано 5 частей (масс) 95 % - ной серной кислоты (I) с 6 частями (масс) 62 % ной (II). Рассчитать концентрацию смеси, если изменения объема после смешения нет. Решения по правилу прямой линии:



$$\text{Необходимое условие: } (a - b) + (b - c) = a - c \quad (1)$$



В соответствии с условиям (1):

$$6n+5n=95-62$$

$$11n=33$$

$$n=3$$

Следовательно:  $x = 62 + 5 \cdot n = 77$  или  $x = 95 - 6 \cdot 3=77$ .

Таким образом, получается 77%-ая кислота.

**Пример 2.**

**ЗАДАЧА 2**

Определите, сколько нужно взять 10%-го раствора соли и 30%-го раствора этой же соли для приготовления 500 г 20%-го раствора.

**Дано:**

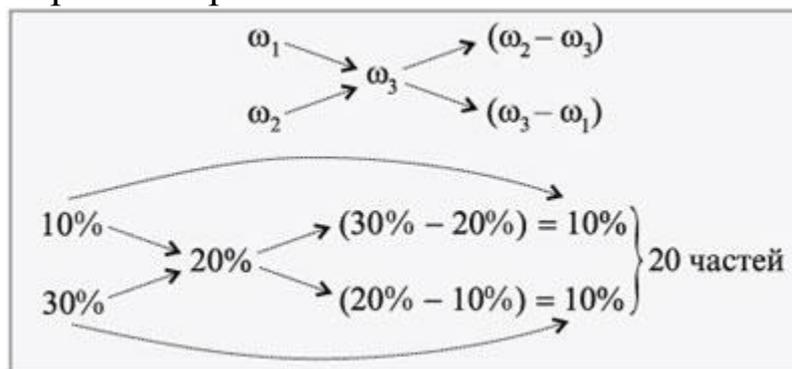
- $\omega_1 =$  10%,
- $\omega_2 =$  30%,
- $\omega_3 =$  20%,
- $m_3 = 500$  г.

**Найти:**

$$m_1=?, m_2 = ?$$

**Решение**

Используем правило креста.



Для приготовления 500 г 20%-го раствора соли нужно взять по 10 частей растворов исходных концентраций. Проверим правильность нашего решения, учитывая, что 1 часть равна  $500/(10 + 10) = 25$  г.

250 г 10%-го р-ра –  $x$  г соли,

100 г 30%-го р-ра – 10 г соли,

$$x = 250 \cdot 10/100 = 25 \text{ г.}$$

250 г 30%-го р-ра – у г соли,  
 100 г 30%-го р-ра – 30 г соли,  
 $y = 250 \cdot 30 / 100 = 75$  г.

$$m(\text{р-ра}) = 250 + 250 = 500 \text{ г.}$$

$$m(\text{соли}) = 25 + 75 = 100 \text{ г.}$$

Отсюда находим  $\omega_3$ :

500 г р-ра – 100 г соли,

100 г р-ра –  $\omega_3$  г соли,

$$\omega_3 = 100 \cdot 100 / 500 = 20 \text{ г, или } 20\%.$$

**Ответ.** Для приготовления 500 г 20%-го раствора нужно взять исходные растворы по 250 г ( $m_1 = 250$  г,  $m_2 = 250$  г).

### ЗАДАЧА 3

Определите, сколько нужно взять растворов соли 60%-й и 10%-й концентраций для приготовления 300 г раствора 25%-й концентрации.

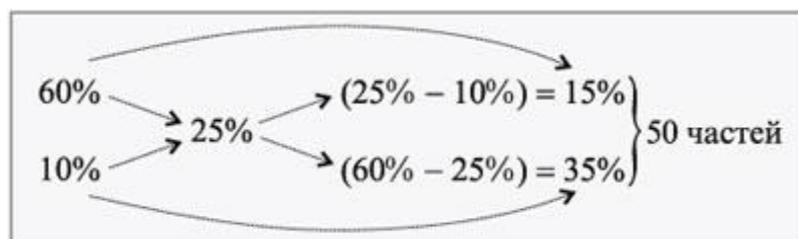
**Дано:**

$$\begin{array}{ll} \omega_1 = & 60\%, \\ \omega_2 = & 10\%, \\ \omega_3 = & 25\%, \\ m_3 = 300 \text{ г.} & \end{array}$$

**Найти:**

$m_1, m_2.$

**Решение**



Масса одной части:  $300 / 50 = 6$  г.

Тогда

$$m_1 = 6 \cdot 15 = 90 \text{ г, } m_2 = 6 \cdot 35 = 210 \text{ г.}$$

Проверим правильность решения.

100 г 60%-го р-ра – 60 г соли,

90 г 60%-го р-ра – х г соли,

$$x = 54 \text{ г.}$$

100 г 10%-го р-ра – 10 г соли,

210 г 30%-го р-ра – у г соли,

$$y = 21 \text{ г.}$$

$$m(\text{соли}) = 54 + 21 = 75 \text{ г.}$$

Находим концентрацию нового раствора:

300 г р-ра – 75 г соли,

100 г р-ра –  $z$  г соли,

$$z = 100 \cdot 75 / 300 = 25 \text{ г, или } 25\%.$$

**Ответ.**  $m_1 = 90 \text{ г, } m_2 = 210 \text{ г.}$

Недаром было сказано великим французским математиком Карлом Фридрихом Гаусом, что «Математика — это царица всех наук». Она проникла во все сферы нашей жизни. В овладении любой профессии необходимы математические знания. Люди часто используют математические знания в решении химических задач, в математических расчётах при приготовлении химических растворов, при расчёте состава сплава металлов.

**Актуальность:** Чтобы научиться химии, систематическое изучение известных истин химической науки должно сочетаться с самостоятельным поиском решения сначала малых, а затем и больших проблем. Химические задачи требуют не только хорошую базу отработанных математических навыков решения уравнений и систем уравнений, но и практические знания по химии. Существуют различные методы решения химических задач.

**Задачи:**

- Обзор литературы для определения математических методов решения задач на проценты;
- Поиск информации об оптимальных способах решения химических задач с помощью математического моделирования;
- Создать модели решения задач на растворы, смеси и сплавы;

**Гипотеза:** Если научиться находить доступные пути решения химических задач, то легче будет ориентироваться в способах решения задач с помощью математического моделирования.

**Объект исследования:** задачи на концентрации растворов, смесей и сплавов.

**Методы и пути решения:**

- Подбор литературных источников для определения математических методов решения задач на проценты;
- Поиск информации о химических задачах на проценты;
- Определение оптимальных способов решения путем математического моделирования;
- Оформление полученных результатов.

В теоретической части работы мы ознакомились с литературными источниками и узнали, что такое математическое моделирование и что его можно применить при решении химических задач. При решении задач использовали различные модели, искали свои новые способы, используя компьютерный язык.

Математика для химиков — это, в первую очередь, полезный инструмент решения многих химических задач. Выражение «математическая химия» прочно вошло в лексикон химиков. Математическая химия — раздел теоретической химии, область исследований, посвящённая новым применениям математики к химическим задачам.

Моделирование — главный способ познания окружающего мира. В школе практически все обучение построено на использовании моделей в той или иной форме: от структурных схем, таблиц и т.п. до различных макетов. Построение модели объекта или явления, т. е. перевод

конкретной задачи с естественного языка на математический язык формул, уравнений, неравенств, систем [4].

В большинстве случаев задачи на смеси и сплавы становятся нагляднее, если при их решении использовать схемы, иллюстративные рисунки или вспомогательные таблицы.

Химические задачи на растворы мы решили химическим и математическим способами.

Задача 1. Смешали 150 г. 10 % и 250 г. 5 % растворов сахара. Вычислить массовую долю полученного раствора.

Математический способ (пропорция):

1. Определим массу сахара в первом растворе:

150г раствора-----100 %

$x_1$ г.сахара-----10 %  $x_1=150*10:100=15$  г

2. Определим массу сахара во втором растворе:

250г раствора-----100 %

$x_2$ г.сахара-----5 %  $x_1=250*5:100=12,5$  г

3. Находим общую массу раствора после сливания:  $150+250=400$  г

4. Находим общую массу сахара:  $15+12,5=27,5$  г

5. Вычислим массовую долю растворенного вещества:

400-----100 %

27,5----- $x$ %  $x=27,5*100:400=6,875\%$  Ответ: 6,875 %

Химический способ (формула):

1. Определим массу сахара в первом растворе:  $m_1 = w_1 * m_{p1} = 150 * 0,1 = 15\text{г}$

2. Определим массу сахара во втором растворе:  $m_2 = w_2 * m_{p2} = 250 * 0,05 = 12,5\text{г}$

3. Находим общую массу раствора после сливания:

$$m_{p0} = m_{p1} + m_{p2} = 150 + 250 = 400 \text{ г}$$

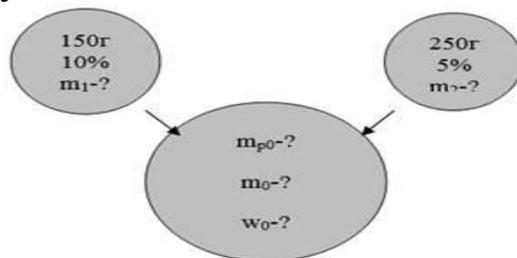
4. Находим общую массу сахара:  $m_0 = m_1 + m_2 = 15 + 12,5 = 27,5 \text{ г}$

5. Вычислим массовую долю растворенного вещества:

$w_0 = m_0 / m_{p0} = 27,5 : 400 = 0,06875$  или 6,875% Ответ: 0,06875 или 6,875 %

Данную задачу можно решить, используя математические модели, что мы и сделали.

Представим задачу в виде схемы:



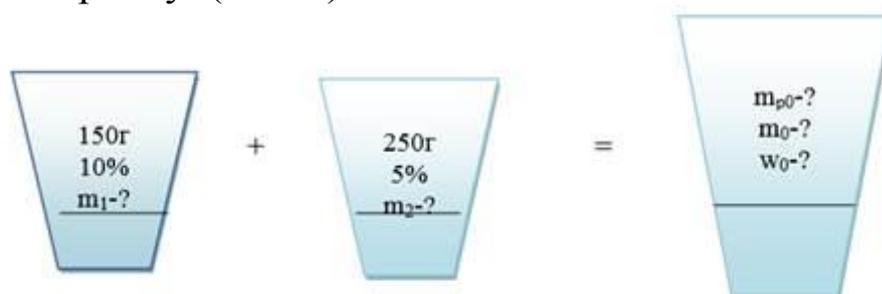
2. Можно использовать таблицу для решения:

**Таблица 2.1.**

### Смешивание растворов

Масса раств ора	Масса вещес тва	Концентрация раст вора
$m_{p1} = 150\text{г}$	$m_1 = 15\text{г}$	$w_1 = 0,10$
$m_{p2} = 250\text{г}$	$m_2 = 12,5\text{г}$	$w_2 = 0,05$
$m_{p0} = ?$	$m_0 = ?$	$w_0 = ?$

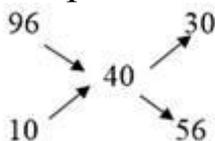
3. Рисуем картину (макет):



**Рисунок 2.2. Модель в виде макета**

4. Этот рисунок с помощью программы Microsoft Office Power Point можно оживить».

5. Наиболее простым способом для решения задач является правило креста (конверт Пирсона). Например: Какие массы 96 % и 10 % серной кислоты необходимо взять для получения 400 г. 40 % серной кислоты?



30:56 или 15:28 (на 15 массовых частей 96 % серной кислоты нужно взять 28 частей 10 % кислоты). Т. е.  $15x+28x=400$ ,  $x=9,3$ . Масса 96 % серной кислоты равна  $15*9,3=139,5$ г.; масса 10 % серной кислоты равна:  $28*9,3=260,5$  г. [6].

Рассмотрим способ решения этой задачи через введение двух неизвестных.

Решение: масса серной кислоты в полученном растворе  $m_k=400*0,4=160$  г.

$$x+y=400$$

$$0,96x+0,1y=160$$

где:  $x$  — масса первого раствора,

$y$  — масса второго раствора,  $m_{k1}=0,96x$ ,  $m_{k2}=0,1y$

$$x=400-y; 0,96(400-y)+0,1y=160 \quad y=260,53\text{г.}, \quad x=139,53\text{г.}$$

Математическую модель и алгоритм можно с помощью программ перевести на доступный компьютеру язык. Например, для решения химических задач на смешивание, сплавы с одним неизвестным используем программу Microsoft Office Excel. Решим следующие задачи химическим способом и сверим ответы с ответами полученными программой Microsoft Office Exce

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ИОННОЙ СИЛЫ РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРОВ

Понятие об ионной силе раствора введено Льюисом. Эта величина характеризует интенсивность электрического поля, действующего на ионы в растворе.

Ионная сила « $\mu$ » раствора содержащего ионы К и А определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{2}([K]Z_K^2 + [A]Z_A^2 + \dots)$$

где, [K],[A] – концентрация ионов К и А, г·ион/л;  $Z_K, Z_A$  – заряд ионов.

$$\mu = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2$$

В качестве примера рассмотрим вычисление ионной силы раствора содержащего в 1 л 0,01 моль  $BaCl_2$  и 0,1 моль  $NaNO_3$ .

$$\mu = \frac{1}{2}([Ba^{2+}] \cdot 2^2 + [Cl^-] \cdot 1^2 + [Na^+] \cdot 1^2 + [NO_3^-] \cdot 1^2)$$

$$[Cl^-] = 2[Ba^{2+}] = 2 \cdot 0,01 \text{ г·ион / л}$$

$$\mu = \frac{1}{2}(0,01 \cdot 2^2 + 2 \cdot 0,01 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2) = 0,13$$

С увеличением ионной силы раствора коэффициент активности уменьшается.

Зависимость коэффициента активности  $f$  от  $\mu$  очень разбавленного водного раствора электролита выражается формулой Дебая и Хюккеля:

$$\lg f = -0,5Z^2 \sqrt{\mu}$$

Зависимость ионной силы раствора от концентрации:

1) Для сильно разбавленных растворов электролита типа  $K^+A^-$  ( $NaCl, KCl, NaNO_3, KNO_3$ , и т.п.)  $\mu$  равна:

$$\mu = \frac{1}{2}([K^+] \cdot 1^2 + [A^-] \cdot 1^2) = \frac{1}{2}([K^+] + [A^-])$$

$$[K^+] = [A^-] = C_{\text{мол}} - \text{молярная концентрация}$$

$$C_{\text{мол}} = C$$

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot 2C_{\text{мол}} = C = \lg f = -0,5\sqrt{C_{\text{мол}}} \approx -0,5\sqrt{C}$$

2) Для электролитов типа  $KA_2$  ( $BaCl_2$ ) и  $K_2A$  ( $Na_2CO_3$ )

$$\mu = \frac{1}{2}([K^+] \cdot 2^2 + [A^-] \cdot 1^2)$$

$$2[K^+] = [A^-]$$

$$\mu = 3C$$

$$\lg f = -0,5Z^2 \sqrt{3C}$$

3) Для электролитов типа:  $K^{2+}A^{2-}$  ( $ZnSO_4$ )

$$\mu = 4C \quad \lg f = -0,5Z^2 \sqrt{4C}$$

4) Электролит типа:  $K^{3+}A_3^-$  ( $AlCl_3$ ) и  $K_3^+A^{3-}$  ( $Na_3PO_4$ )  
 $\mu = 6C \quad \lg f = -0,5Z^2\sqrt{6C}$

В общем виде для электролита  $K_a^{+l}A_b^{-m}$  ионную силу раствора можно вычислить по формуле:

$$\mu = \frac{aCl^2 + bCm^2}{2}$$

где  $C$  – молярная концентрация.

Например: для 0,01 М раствора  $Al_2(SO_4)_3$

$$\mu = \frac{2C3^2 + 3C2^2}{2} = 15C$$

$$\mu = 15 \cdot 0,01 = 0,15$$

### Задание

1) Вычислить ионную силу раствора содержащего в 1000 г воды 0,01 моль  $CaCl_2$  и 0,1 моль  $Na_2SO_4$ ? (Принять, что молярная концентрация равна молярной).

2) Вычислить ионную силу раствора содержащего в 1л 0,001 моль  $(NH_4)_2SO_4 \cdot Fe_2(SO_4)_3$

3) Вычислить ионную силу раствора содержащего в 1 л 0,8 моль  $CuSO_4$ .

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4** **ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ПОТЕНЦИАЛ – pH (ПУРБЕ).**

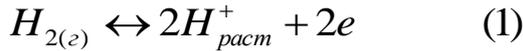
Диаграммы Eh-pH удобны для графического изображения равновесий в системах, содержащих твёрдые фазы и водные растворы. Они позволяют в наглядной форме представить термодинамически стабильные состояния в зависимости от величины потенциала (Eh) и pH.

### Диаграмма Eh-pH для воды

Вода не только растворитель, но и среда, в которой протекают все гидрометаллургические процессы. Вода может разлагаться сильными восстановителями с выделением водорода или сильными окислителями с выделением кислорода.



Равновесие восстановления водк можно вкразить полуреакцией:



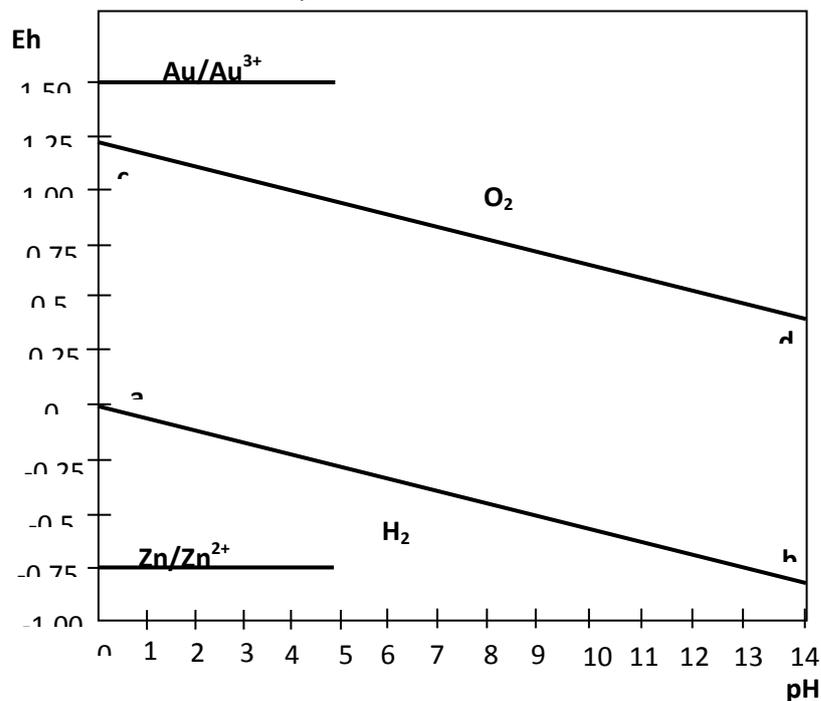
При нормальных условиях (298 °К) потенциал реакции будет:

$$Eh = E_{H^+/H_2}^0 + \frac{0,059}{2} \lg \left( \frac{a_{H^+}^2}{P_{H_2}} \right)$$

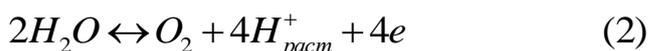
$$Eh = E_{H^+/H_2}^0 + 0,059 \lg a_{H^+} - 0,0295 \lg P_{H_2}$$

При нормальных условиях  $E_{H^+/H_2}^0 = 0$  и  $P_{H_2} = 1 \text{ атм}$ , и обозначив  $\lg a_{H^+} = pH$ , получим  $Eh = -0,059 pH$ .

Таким образом, для реакции (1) зависимость Eh-pH можно графически представить на диаграмме прямой линией **ab** с тангенсом угла наклона  $-0,059$  (рис 3.1.). При изменении pH от 0 до 14 потенциал меняется от 0 до  $-0,826$  В.



Вода, как и все химические соединения окисляется:



$$Eh = E_{H^+/H_2}^0 + \left( \frac{0,059}{4} \right) \lg a_{H^+}^4 \quad (\text{при } P_{O_2} = 1 \text{ атм})$$

Поскольку стандартная величина Э.Д.С. элемента, состоящего из стандартного водородного электрода, в котором происходит реакция восстановления и электрода, в котором протекает реакция окисления (2), равна

$$E^0 = E_{H^+/H_2}^0 - E_{O_2/H_2O}^0, \text{ а } E_{H^+/H_2}^0 = 0, \text{ то } E^0 = -E_{O_2/H_2O}^0 \text{ и в соответствии с}$$

уравнением

$$\Delta G = -nFE^0 \Rightarrow E^0 = \frac{\Delta G}{(nF)}$$

$$\Delta G_{\text{реак}}^0 = \Delta G_{O_2}^0 + 4\Delta G_{H^+}^0 - 2\Delta G_{H_2O}^0 = 0 + 4 \cdot 0 - 2(-237,2)$$

$$\Delta G_{\text{реак}}^0 = 474,4 \text{ ккД / моль} \text{ и } E^0 = \frac{474,4}{(4 \cdot 96,49)} = 1,23 \text{ В,}$$

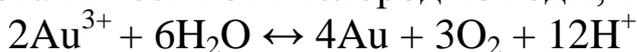
отсюда

$$Eh = 1,23 + \left( \frac{0,059}{4} \right) \lg a_{H^+}^4 \text{ или}$$

$$Eh = 1,23 - 0,059 \text{ рН.}$$

Эта зависимость представлена на диаграмме прямой **cd** в пределах рН = 0 – 14 потенциал изменяется от 1,23 до 0,404 В.

Все восстановители с потенциалом ниже линии  $H_2/H^+$  (ab) и окислители с потенциалом выше линии  $H_2O/O_2$  (cd) будут разлагать воду. Например, цинк в широком интервале рН разлагает воду. Ионы золота вытесняют кислород из воды, так как для реакции



Стандартный потенциал равен +1,5 В.

#### **Диаграмма ф – рН для системы алюминий – вода**

В системе алюминий — вода (рис. 3.4) в твердой фазе могут присутствовать элементарный алюминий и гидроксид (оксид) алюминия, а в жидкой — ионы  $Al^{3+}$  и  $AlO_2^-$  (более точно  $Al(OH)_4^-$ ). Следовательно, необходимо рассмотреть условия равновесия между ионами в растворе, твердыми фазами в присутствии воды, ионами и твердыми фазами.

При расчетах приняты следующие значения стандартных величин энергии Гиббса соединений и ионов:

Соединения или ионы . . . . .	$Al(OH)_3$ (гидрар- гиллит)	$Al_{\text{води}}^{3+}$	$AlO_2^-(\text{води})$	$H_2O$
$\Delta G^\circ$ , кДж/моль . . . . .	-1160,2	-481,4	-839,7	-237,2

**Равновесие между ионами  $Al^{3+}$  и  $AlO_2^-$  в растворе.** Соотношение между активностями ионов  $Al^{3+}$  и  $AlO_2^-$  определяется равновесием реакции

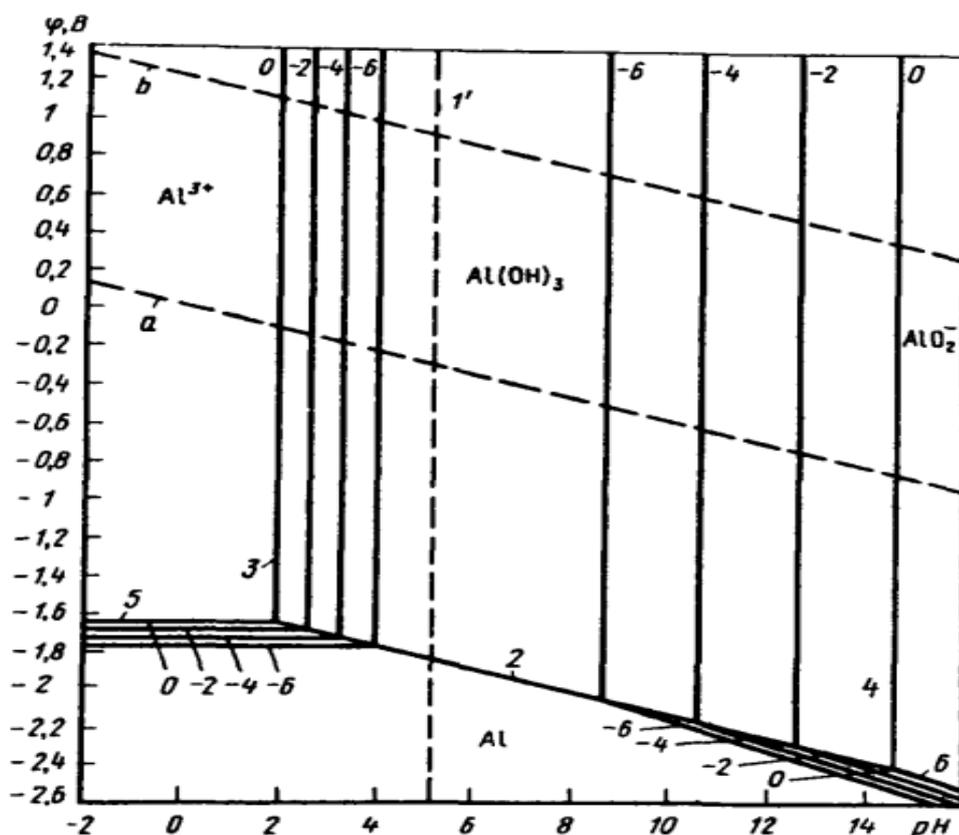


$$\Delta G^\circ = -839,7 - (-481,4) - 2(-237,2) = 116,1 \text{ кДж/моль};$$

$$\lg K_a = \lg \frac{a_{AlO_2^-} a_{H^+}^4}{a_{Al^{3+}}} = -\frac{116100}{2,303 \cdot 8,314 \cdot 298} = -20,3;$$

$$\lg(a_{AlO_2^-} / a_{Al^{3+}}) = -20,3 + 4pH. \quad (3.27)$$

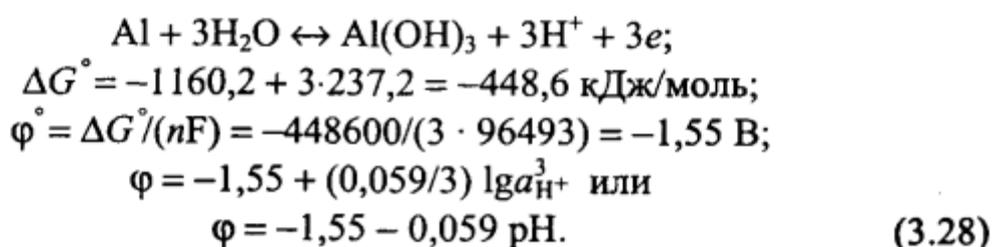
Поскольку в рассматриваемой реакции нет окислительно-восстановительных процессов, равновесные соотношения между ионами не зависят от потенциала и являются лишь функцией pH. При постро-



нии диаграмм для систем, содержащих различные ионы в водной фазе, уравнение решают для частного случая, когда активности ионов, находящихся в равновесии, равны между собой ( $a_{Al^{3+}} = a_{AlO_2^-}$ ). Тогда  $\lg(a_{AlO_2^-} / a_{Al^{3+}}) = 0$  и  $pH = 20,3/4 = 5,07$ .

На диаграмме (см. рис. 3.4) это соотношение изображается линией, параллельной оси ординат, при  $pH = 5,07$  (пунктирная линия  $1'$ , разделяющая диаграмму на поля, называемые полями преобладания). Слева от линии  $1'$  ( $pH < 5,07$ ) в растворе в основном присутствуют ионы  $Al^{3+}$ , справа (при  $pH > 5,07$ ) — анионы  $AlO_2^-$ .

**Равновесие  $Al - Al(OH)_3$ .** Взаимодействие между  $Al$  и  $H_2O$  с образованием гидраргиллита описывается уравнением реакции



В соответствии с уравнением (3.28) равновесие между алюминием и его гидроксидом на диаграмме  $\varphi - \text{рН}$  изображают прямой линией, наклон которой совпадает с наклоном линий, ограничивающих область стабильности воды (см. рис. 3,4, линия 2).

Поскольку линия равновесия  $Al - Al(OH)_3$  расположена под нижней границей устойчивости воды, алюминий термодинамически неустойчив в присутствии воды во всем интервале рН. Однако коррозия протекает при обычной температуре медленно вследствие образования защитной оболочки оксида алюминия.

**Равновесие между  $Al^{3+}$  и  $Al(OH)_3$ .** Равновесие описывается реакцией  $Al^{3+} + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3H^+$ :

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ &= -1160,2 - 3(-237,2) - (-481,4) = 32,8 \text{ кДж/моль}; \\
 \lg K_a &= \lg(a_{H^+}^3 / a_{Al^{3+}}) = -32800 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -5,75; \\
 \lg a_{Al^{3+}} &= 5,75 - 3\text{рН.} \tag{3.29}
 \end{aligned}$$

Из уравнения (3.29) следует, что логарифм активности ионов  $Al^{3+}$ , находящихся в равновесии с гидраргиллитом, является линейной функцией рН. Каждому значению  $\lg a_{Al^{3+}}$  соответствует определенное значение рН образования гидроксида (при любых значениях потенциала). Так, если  $\lg a_{Al^{3+}} = 0$ , то рН = 1,92; значению  $\lg a_{Al^{3+}} = -4$  соответствует рН = 3,25 и т.д. Поскольку в уравнение (3.29) не входит потенциал  $\varphi$ , линии на диаграмме, изображающие равновесие  $Al^{3+} - Al(OH)_3$ , параллельны оси ординат. На диаграмму нанесено семейство прямых линий (линии 3), соответствующих определенной активности иона (для каждой прямой указано значение логарифма активности). Как можно видеть на диаграмме, с повышением активности  $Al^{3+}$  рН образования гидроксида уменьшается.

**Равновесие между  $Al(OH)_3$  и анионами  $AlO_2^-$ :**



$$\Delta G^\circ = -237,2 - 839,7 - (-1160,2) = 83,3 \text{ кДж/моль};$$

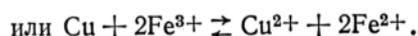
$$\lg K_a = \lg(a_{AlO_2^-} a_{H^+}) = -83300 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -14,6;$$

$$\lg a_{AlO_2^-} = -14,6 + \text{pH}. \quad (3.30)$$

Как и в случае равновесия  $Al^{3+} \text{ — } Al(OH)_3$ , каждому значению  $\lg a_{AlO_2^-}$  соответствует определенная величина pH образования гидроксида. Соответственно этому на диаграмму нанесены линии, параллельные оси ординат, для значений  $\lg a_{AlO_2^-}$ , равных 0; -2; -4; -6 (линии 4).

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕЛЕКТИВНОГО РАСТВОРЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И ИХ ОКСИДОВ В КИСЛОТЕ.

*Пример 1.* Растворение меди с использованием в качестве окислителя сульфата трехвалентного железа:



Эту реакцию можно представить как сумму двух электродных процессов:



Стандартные потенциалы электродов, В:  $\phi_1 = +0,345$ ;  $\phi_2 = +0,771$ . В соответствии с суммарным уравнением реакции в электроде II протекает восстановительная, а в электроде I — окислительная реакция, поэтому стандартная электродвижущая сила гальванического элемента, образованного этими электродами, равна:  $E^\circ = \phi_2 - \phi_1 = 0,771 - 0,345 = 0,426 \text{ В}$ .

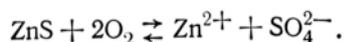
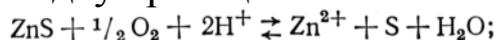
Для расчета константы равновесия воспользуемся уравнением (3.12):  $\lg K_p = \frac{nE^\circ}{2,303 RT}$ .

Подставив значения  $n = 2$ ;  $E^\circ = 0,426 \text{ В}$ ;  $R = 8,314 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$ ;  $T = 298 \text{ К}$ , получаем  $\lg K_p = 14,43$ ;  $K_p = 2,7 \cdot 10^{14}$ .

*Пример.* Автоклавное выщелачивание сульфидов тяжелых металлов с использованием кислорода в качестве окислителя.

Сульфиды Си, 2п, N1, Mo окисляются в кислых и щелочных средах кислородом при повышенных температурах и давлениях.

В качестве примера рассмотрим реакции окисления 2п5. Можно предположить протекание двух реакций:



Соединения или ионы	ZnS	H <sub>aq</sub> <sup>+</sup>	O <sub>2</sub>	Zn <sub>aq</sub> <sup>2+</sup>	S <sub>ромб</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>4aq</sub> <sup>2-</sup>
—ΔH <sub>298</sub> <sup>0</sup> , кДж/моль	192,0	0,0	0,0	152,4	0,29	285,76	907,5
S <sub>298</sub> <sup>0</sup> , Дж/(моль·К)	57,7	0,0	205,0	—106,5	31,8	69,9	17,15

Использованные для расчета термодинамические величины при

$$\begin{aligned} \text{Получаем: } \Delta G_{\text{I}}^{\circ} &= -246450 + 165 T; \quad \Delta G_{\text{II}}^{\circ} = -867900 + 557,1 T; \\ \Delta G_{298}^{\circ} \text{ (I)} &= -197,28 \text{ кДж}; \quad \Delta G_{298}^{\circ} \text{ (II)} = -701,88 \text{ кДж}; \quad \lg K_p \text{ (I)} = \\ &= 34,58; \quad \lg K_p \text{ (II)} = 123,0. \end{aligned}$$

ведены ниже:

На основании результатов термодинамического расчета можно предположить, что будет протекать преимущественно реакция (II). Однако оказывается, что скорость реакции (I) в кислой среде значительно выше, чем реакции (II), поэтому окисление сульфида цинка происходит с образованием элементарной серы, а не сульфат-ионов.

Таким образом, рассмотренный пример может служить иллюстрацией положения о том, что  $\Delta S^{\circ} < 0$  — недостаточное условие протекания реакции. Если вычисленное значение  $\Delta S^{\circ}$  реакции — большая положительная величина, константа равновесия близка к нулю, и термодинамический расчет однозначно показывает, что реакция не идет в нужном направлении. Но в тех случаях, когда  $\Delta G^{\circ} < 0$ , окончательный вывод о возможности протекания реакции в тех или иных условиях можно сделать только после изучения кинетики реакции.

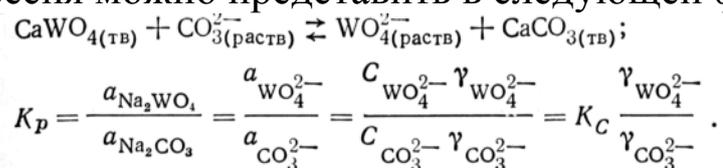
## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

### ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА КОНСТАНТА РАВНОВЕСИЯ

#### Пример

Разложение шеелита растворами соды в автоклаве. Этот процесс — типичный случай обменной реакции выщелачивания с

образованием новой твердой фазы. Уравнение реакции и выражение константы равновесия можно представить в следующей форме:



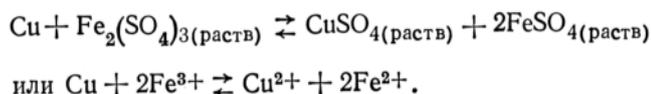
Определим константу равновесия реакции, воспользовавшись данными об энтальпии и энтропии реагирующих веществ и продуктов реакции :

	$\text{CaWO}_4$	$\text{CO}_3^{2-}(\text{РАСТВ})$	$\text{WO}_4^{2-}(\text{РАСТВ})$	$\text{CaCO}_3$
$-\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	1683,6	677,1	1115,4	1206,9
$S_{298}^\circ$ , Дж/(моль·К)	151,04	-56,9	62,76	92,46

Получаем:  $\Delta H_{298}^\circ = -1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1683,6 = +38,4$  кДж/моль;  
 $\Delta S_{298}^\circ = 92,46 + 62,76 + 56,9 - 151,04 = 61,08$  Дж/(моль·К);  
 $\Delta G^\circ = 38400 - 61,08 T$  Дж/моль;  $\Delta G_{298}^\circ = 20198$  Дж/моль;  $\lg K_{p_{298}} =$   
 $= -20198 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -3,54$ ;  $K_{p_{298}} = 2,9 \cdot 10^{-4}$ .

### Пример

Растворение меди с использованием в качестве окислителя сульфата трехвалентного железа:



Эту реакцию можно представить как сумму двух электродных процессов:



Стандартные потенциалы электродов, В:  $\varphi_I^0 = +0,345$ ;  $\varphi_{II}^0 = +0,771$ .

В соответствии с суммарным уравнением реакции в электроде II протекает восстановительная, а в электроде I — окислительная реакция, поэтому стандартная электродвижущая сила гальванического элемента, образованного этими электродами, равна:

$$E^0 = \varphi_{II}^0 - \varphi_I^0 = 0,771 - 0,345 = 0,426 \text{ В}$$

Для расчета константы равновесия воспользуемся уравнением:  $\lg K_p = nFE^0 / (2,303RT)$ .

Подставив значения  $n = 2$ ;  $F = 96493$  Дж/(В·г·экв);  $R = 8,314$  Дж/(моль·К);  $T = 298$  К, получаем:  $\lg K_p = 14,43$ ;

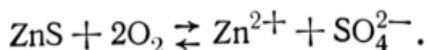
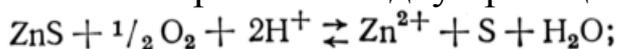
$$K_{p_{298}} = 2,7 \cdot 10^{14}$$

### Пример

Автоклавное выщелачивание сульфидов тяжелых металлов с использованием кислорода в качестве окислителя.

Сульфиды Cu, Zn, Ni, Mo окисляются в кислых и щелочных средах кислородом при повышенных температурах и давлениях.

В качестве примера рассмотрим реакции окисления ZnS. Можно предположить протекание двух реакций:



Использованные для расчета термодинамические величины приведены ниже:

Соединения или ионы	ZnS	$\text{H}_{aq}^+$	$\text{O}_2$	$\text{Zn}_{aq}^{2+}$	$\text{S}_{\text{ромб}}$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{SO}_4^{2-}$
$-\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	192,0	0,0	0,0	152,4	0,29	285,76	907,5
$S_{298}^\circ$ , Дж/(моль·К)	57,7	0,0	205,0	-106,5	31,8	69,9	17,15

Получаем:  $\Delta G_I^\circ = -246450 + 165 T$ ;  $\Delta G_{II}^\circ = -867900 + 557,1 T$ ;  
 $\Delta G_{298}^\circ (I) = -197,28$  кДж;  $\Delta G_{298}^\circ (II) = -701,88$  кДж;  $\lg K_p (I) = 34,58$ ;  $\lg K_p (II) = 123,0$ .

На основании результатов термодинамического расчета можно предположить, что будет протекать преимущественно реакция (II). Однако оказывается, что скорость реакции (I) в кислой среде значительно выше, чем реакции (II), поэтому окисление сульфида цинка происходит с образованием элементарной серы, а не сульфат-ионов.

Таким образом, рассмотренный пример может служить иллюстрацией положения о том, что  $\Delta G^0 < 0$  — недостаточное условие протекания реакции. Если вычисленное значение  $\Delta G^0$  реакции — большая положительная величина, константа равновесия близка к нулю, и термодинамический расчет однозначно показывает, что реакция не идет в нужном направлении. Но в тех случаях, когда  $\Delta G^0 < 0$ , окончательный вывод о возможности протекания реакции в тех или иных условиях можно сделать только после изучения кинетики реакции.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОЙ ПЛАВКИ И ЕЕ МЕХАНИЗМА.

**Задача** Дайте определение понятию скорость химической реакции. Опишите количественно (где это можно), как влияют на скорость реакции внешние условия (концентрация, температура, давление). Рассчитайте, во сколько раз изменится скорость реакции  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$  при увеличении давления в 2 раза;

**Решение.**

Скоростью химической реакции и называют число элементарных актов взаимодействия, в единицу времени, в единице объема для гомогенных реакций или на единице поверхности раздела фаз для гетерогенных реакций. Среднюю **скорость химической реакции** выражают изменением количества вещества  $n$  израсходованного или полученного вещества в единице объема  $V$  за единицу времени  $t$ . Концентрацию выражают в моль/л, а время в минутах, секундах или часах.

$$v = \pm dC/dt,$$

где  $C$  – концентрация, моль/л

Единица измерения скорости реакции моль/л·с

Если в некоторые моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  концентрации одного из исходных веществ равны  $c_1$  и  $c_2$ , то за промежуток времени  $\Delta t = t_2 - t_1$ ,  $\Delta c = c_2 - c_1$

$$\bar{v} = \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

[моль/л·с]

Если вещество расходуется, то ставим знак «-», если накапливается – «+»

Скорость химической реакции зависит от природы реагирующих веществ, концентрации, температуры, присутствия катализаторов, давления (с участием газов), среды (в растворах), интенсивности света (фотохимические реакции).

**Зависимость скорости реакции от природы реагирующих веществ.** Каждому химическому процессу присуще определенное значение энергии активации  $E_a$ . Причем, скорость реакции тем больше, чем меньше энергия активации.

Скорость зависит от прочности химических связей в исходных веществах. Если эти связи прочные, то  $E_a$  велика, например  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ , то скорость взаимодействия мала. Если  $E_a$  равна нулю, то реакция протекает практически мгновенно, например:



**Закон действующих масс.** Скорость элементарной гомогенной химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагентов, взятых в степенях, равных их стехиометрическим коэффициентам.

Для реакции  $aA + bB = cC$   
+ dD

$$v = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b,$$

где  $[A]$  и  $[B]$  – концентрации веществ А и В в моль/л,  
 $k$  – константа скорости реакции.

Концентрации твердых веществ, в случае гетерогенной реакции в кинетическое уравнение не включают.

**Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ** определяется законом действующих масс:

$$v = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b$$

Очевидно, что с увеличением концентраций реагирующих веществ, скорость реакции увеличивается, т.к. увеличивается число соударений между участвующими в реакции веществами. Причем, важно учитывать порядок реакции: если реакция имеет первый порядок по некоторому реагенту, то ее скорость прямо пропорциональна концентрации этого вещества. Если реакция имеет второй порядок по какому-либо реагенту, то удвоение его концентрации приведет к росту скорости реакции в  $2^2 = 4$  раза, а увеличение концентрации в 3 раза ускорит реакцию в  $3^2 = 9$  раз.

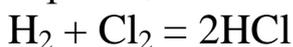
**Зависимость скорости от температуры.** Правило Вант-Гоффа: Скорость большинства химических реакций при повышении температуры на  $10^\circ$  увеличивается от 2 до 4 раз.

$v_{T_2}$  – скорость реакции при температуре  $t_2$ ,  $v_{T_1}$  – скорость реакции при температуре  $t_1$ ,  $\gamma$  — температурный коэффициент ( $\gamma = 2, 4$ ).

**Влияние катализаторов.** Катализаторы увеличивают скорость реакции (положительный катализ). Скорость реакции растет, так как уменьшается энергия активации реакции в присутствии катализатора. Уменьшение энергии активации обусловлено тем, что в присутствии катализатора реакция протекает в несколько стадий с образованием промежуточных продуктов, и эти стадии характеризуются малыми значениями энергии активации.

Ингибиторы замедляют скорость реакции (отрицательный катализ).

В реакции:



$$v_{\text{прям}} = k \times [H_2] \times [Cl_2];$$

$$v_{\text{обр}} = k \times [HCl]^2$$

При увеличении давления в 2 раза концентрация веществ увеличится тоже в 2 раза и скорость реакции станет равна:

$$v_{\text{прям}2} = k \times [2H_2] \times [2Cl_2]$$

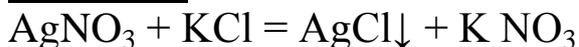
$$v_{\text{прям}2} / v_{\text{прям}1} = k \times [2H_2] \times [2Cl_2] / k \times [H_2] \times [Cl_2] = 4,$$

$v_{\text{прям}}$  возрастает в 4 раза.

**Задача** Рассчитайте скорость реакции между растворами хлорида калия и нитрата серебра, концентрации которых составляют соответственно 0,2 и 0,3 моль/л, а  $k=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$

Скрыть решение «

**Решение.**



Скорость прямой реакции равна:

$$v = k \cdot [\text{AgNO}_3] \cdot [\text{KCl}]$$

$$v = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 0,3 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л} \cdot \text{с}$$

Таким образом скорость реакции равна  $v = 9 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л} \cdot \text{с}$

**Задача** При увеличении температуры с 30 до 45°C скорость гомогенной реакции повысилась в 20 раз. Чему равна энергия активации реакции?

Скрыть решение «

**Решение.**

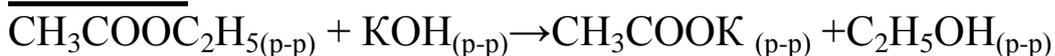
Применяя уравнение Аррениуса, получим:

$$\ln 20 = E_a / 8,31 \cdot (1/303 - 1/318),$$

$$\text{отсюда } E_a = 160250 \text{ Дж} = 160,25 \text{ кДж}$$

**Задача** Константа скорости реакции омыления уксусноэтилового эфира:  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5_{(p-p)} + \text{KOH}_{(p-p)} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOK}_{(p-p)} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(p-p)}$  равна 0,1 л/моль·мин. Начальная концентрация уксусноэтилового эфира была равна 0,01 моль/л, а щелочи – 0,05 моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и в тот момент, когда концентрация эфира станет равной 0,008 моль/л.

**Решение.**



Скорость прямой реакции равна:

$$v_{\text{нач}} = k \cdot [\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] \cdot [\text{KOH}]$$

$$v_{\text{нач}} = 0,1 \cdot 0,01 \cdot 0,05 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л} \cdot \text{мин}$$

В тот момент, когда концентрация эфира станет равной 0,008 моль/л, его расход составит

$$[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5]_{\text{расход}} = 0,01 - 0,008 = 0,002 \text{ моль/л}$$

Значит, в этот момент израсходовалось щелочи  $[\text{KOH}]_{\text{расход}} = 0,002 \text{ моль/л}$  и ее концентрация станет равной

$$[\text{KOH}]_{\text{кон}} = 0,05 - 0,002 = 0,048 \text{ моль/л}$$

Вычислим скорость реакции в тот момент, когда концентрация эфира станет равной 0,008 моль/л, а щелочи 0,048 моль/л

$$v_{\text{кон}} = 0,1 \cdot 0,008 \cdot 0,048 = 3,84 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л} \cdot \text{мин}$$

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8**  
**ИЗУЧИТЬ ТЕРМОДИНАМИКУ НЕКОТОРЫХ ПРОЦЕССОВ**  
**ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕЛЕКТИВНОЙ ПЛАВКИ.**

*Пример* Растворение гидраргиллита — одного из распространенных минералов алюминия в растворе едкого натра [11]. Реакция растворения минерала гидраргиллита -

Экспериментально в равновесном растворе определяли концентрации  $\text{CaOH}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_7$ , а также  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (небольшие количества образовывались вследствие поглощения  $\text{CO}_2$  из воздуха). Опытные данные использовали для вычисления отношения концентраций а не активностей:  $\frac{[\text{Al}(\text{OH})_7]}{[\text{OH}^-]}$ , где  $[\text{Al}(\text{OH})_7]$  и  $[\text{OH}^-]$  — молярные концентрации, г-ион/1000 г  $\text{H}_2\text{O}$ .

Величина  $K_c$  увеличивается с повышением концентрации  $\text{CaOH}$  и  $\text{Al}(\text{OH})_4$ . Чтобы перейти к истинной константе  $K_p$ , нужно ввести коэффициенты активности:  $K_p = K_c (V_{\text{H}_2\text{O}})^{-1} \cdot \frac{a_{\text{Al}(\text{OH})_7}}{a_{\text{OH}^-}}$

Однако данных о значениях  $\gamma$  нет. Поэтому использо-

$\text{Al}(\text{OH})_4$  ионной силы пропорциональна концентрации раствора:  $\gamma = 1$  поэтому  $\gamma = 1$  при  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n = 0$ .

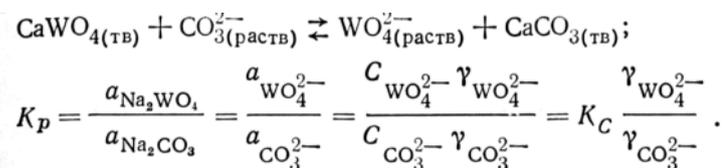
Соотношения между концентрациями различных ионов в растворе и их вклад в ионную силу определяются стехиометрией следующих реакций:

вали зависимость  $K_c$  от ионной силы раствора, экстраполируя кривую к значениям  $K_c$  при ионной силе  $\mu = 0$  (рис. 3.7). Величина

По температурной зависимости  $K_p = f(T)$  можно определить  $\Delta S^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  и  $\Delta G^\circ$  изучаемой реакции, поскольку между ними существуют соотношения

При обработке экспериментальных данных получено:  $\ln K_p = - \frac{30700}{(2,303-8,314T)} + 4,11$ ;

*Пример.* Разложение шеелита растворами соды в автоклаве. Этот процесс — типичный случай обменной реакции выщелачивания с образованием новой твердой фазы. Уравнение реакции (3.1) и выражение константы равновесия можно представить в следующей форме:



Определим константу равновесия реакции, воспользовавшись данными об энтальпии и энтропии реагирующих веществ и продуктов реакции [4]:

	CaWO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (раств)	WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (раств)	CaCO <sub>3</sub>
$-\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	1683,6	677,1	1115,4	1206,9
$S_{298}^\circ$ , Дж/(моль·К)	151,04	-56,9	62,76	92,46
Получаем: $\Delta H_{298}^\circ = -1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1683,6 = +38,4$ кДж/моль;				
$\Delta S_{298}^\circ = 92,46 + 62,76 + 56,9 - 151,04 = 61,08$ Дж/(моль·К);				
$\Delta G^\circ = 38400 - 61,08 T$ Дж/моль; $\Delta G_{298}^\circ = 20198$ Дж/моль; $\lg K_{p_{298}} =$				
$= -20198 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -3,54$ ; $K_{p_{298}} = 2,9 \cdot 10^{-4}$ .				

Величина Ар слишком мала по сравнению с экспериментально определенными значениями. Если же использовать в расчете величину энтальпии CaЖ)<sub>4</sub>, найденную в работе [12] и равную — 1641,4 кДж/моль, то получим следующие значения:  $\Delta \overset{\circ}{\text{Я}}^{\text{эв}} = -1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1641,4 = -3,8$  кДж/моль;  $\Delta O^\circ = -3800 - 61,08 T$  Дж/моль;  $\Delta O_m^\circ = -22002$  Дж/моль;  $K_{p_{298}} = 7,4 \cdot 10^3$ . Эта величина на несколько порядков выше реальных значений.

Таким образом, оценка константы равновесия реакции взаимодействия шеелита с раствором соды по известным значениям и  $5,298 \cdot 10^3$  позволяет получить достоверный результат.

Более надежно можно в этом случае рассчитать  $K_p$  по значениям произведений растворимости Ca\Ю<sub>4</sub> и CaCO<sub>3</sub>:

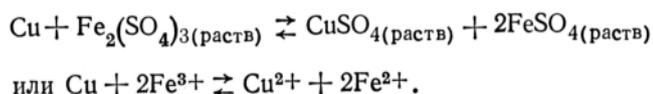
Расчетные данные были сопоставлены с экспериментальными определениями  $K_c \sim K_p$  для разбавленных растворов. Получены довольно близкие результаты:

Экспериментальные определения  $K_c$  для концентрированных растворов дают значения, более низкие, чем значения  $1/C_p$ , причем  $K_c$  сильно уменьшается с увеличением концентрации соды (содового эквивалента). Например, при 200°C получены следующие значения  $K$

Следует учитывать, что при изучении гетерогенных реакций рассматриваемого типа может не достигаться истинное равновесие вследствие торможения реакции пленками образующейся твердой фазы — это зависит от структуры пленки

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9**  
**ТЕРМОДИНАМИКА СЕЛЕКТИВНОГО ПЛАВЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ**  
**И НИЗШИХ ОКСИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИСЛОРОДА И СУЛЬФАТА ТРЕХВАЛЕНТНОГО**  
**ЖЕЛЕЗА В КАЧЕСТВЕ ОКИСЛИТЕЛЯ.**

*Пример* Растворение меди с использованием в качестве окислителя сульфата трехвалентного железа:



Эту реакцию можно представить как сумму двух электродных процессов:



Стандартные потенциалы электродов, В:  $\phi_1 = +0,345$ ;  $\phi_2 = +0,771$ . В соответствии с суммарным уравнением реакции в электроде II протекает восстановительная, а в электроде I — окислительная реакция, поэтому стандартная электродвижущая сила гальванического элемента, образованного этими электродами, равна:  $E^\circ = \phi_2 - \phi_1 = 0,771 - 0,345 = 0,426$  В.

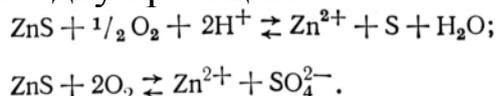
Для расчета константы равновесия воспользуемся уравнением (3.12):  $\lg K_p = \frac{n}{RT} (2,303 KT)$ .

Подставив значения  $n = 2$ ;  $P = 96493$  Дж/(В-г-эquiv);  $L = 8,314$  Дж/(моль-К);  $T = 298$  К, получаем  $\lg K_p = 14,43$ ;  $K_0 = 2,7 \cdot 10^{14}$ .

*Пример* Автоклавное выщелачивание сульфидов тяжелых металлов с использованием кислорода в качестве окислителя.

Сульфиды Си, 2п, Ni, Mo окисляются в кислых и щелочных средах кислородом при повышенных температурах и давлениях.

В качестве примера рассмотрим реакции окисления 2п5. Можно предположить протекание двух реакций:



Соединения или ионы . . . . .	ZnS	H <sub>aq</sub> <sup>+</sup>	O <sub>2</sub>	Zn <sub>aq</sub> <sup>2+</sup>	S <sub>ромб</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>4aq</sub> <sup>2-</sup>
$-\Delta H_{298}^{\circ}$ , кДж/моль . . . . .	192,0	0,0	0,0	152,4	0,29	285,76	907,5
$S_{298}^{\circ}$ , Дж/(моль·К) . . . . .	57,7	0,0	205,0	-106,5	31,8	69,9	17,15

Использованные для расчета термодинамические величины при

$$\begin{aligned} \text{Получаем: } \Delta G_{\text{I}}^{\circ} &= -246450 + 165 T; \quad \Delta G_{\text{II}}^{\circ} = -867900 + 557,1 T; \\ \Delta G_{298}^{\circ} (\text{I}) &= -197,28 \text{ кДж}; \quad \Delta G_{298}^{\circ} (\text{II}) = -701,88 \text{ кДж}; \quad \lg K_p (\text{I}) = \\ &= 34,58; \quad \lg K_p (\text{II}) = 123,0. \end{aligned}$$

ведены ниже:

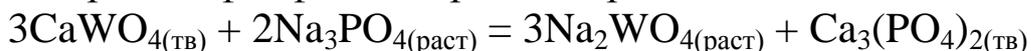
На основании результатов термодинамического расчета можно предположить, что будет протекать преимущественно реакция (II). Однако оказывается, что скорость реакции (I) в кислой среде значительно выше, чем реакции (II), поэтому окисление сульфида цинка происходит с образованием элементарной серы, а не сульфат-ионов.

Таким образом, рассмотренный пример может служить иллюстрацией положения о том, что  $\Delta S^{\circ} < 0$  — недостаточное условие протекания реакции. Если вычисленное значение  $\Delta S^{\circ}$  реакции — большая положительная величина, константа равновесия близка к нулю, и термодинамический расчет однозначно показывает, что реакция не идет в нужном направлении. Но в тех случаях, когда  $\Delta G^{\circ} < 0$ , окончательный вывод о возможности протекания реакции в тех или иных условиях можно сделать только после изучения кинетики реакции.

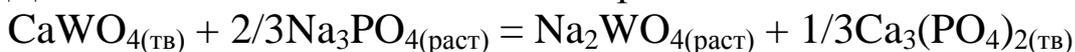
## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ НЕОБХОДИМОГО ИЗБЫТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ФТОРИДА НАТРИЯ И ФОСФАТА НАТРИЯ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ШЕЕЛИТА В АВТОКЛАВАХ.

**Пример** Определение термодинамической избыточной концентрации фосфата натрия для разложения шеелита.



Для 1 моль шеелита необходимо реакция:



$$K^{\sim} = \frac{[\text{Na}_2\text{WO}_4]}{[\text{Na}_3\text{PO}_4]^3}$$

При количестве разложенного шеелита 1 моль объеме раствора V литров получаем

$$K^{\sim} = \frac{1/V}{[(r_{Na_3PO_4} - \frac{2}{3})/V]^{\frac{2}{3}}} = \frac{V^{-\frac{1}{3}}}{(r_{Na_3PO_4} - \frac{2}{3})^{\frac{2}{3}}}; \quad \text{и} \quad K_{\Sigma} = K^{\sim}/V^{-1/3}; \quad K_{\Sigma} = K^{\sim} \cdot V^{1/3};$$

Термодинамический необходимый расход фосфата натрия, молей на 1 моль шеелита

$$\begin{aligned} r_{Na_3PO_4}^o &= \frac{2}{3} + \left(\frac{1}{K_{\Sigma}}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} + \left[\frac{1}{K^{\sim} \cdot V^{\frac{1}{3}}}\right]^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} + \frac{1}{K^{\sim \frac{3}{2}} \cdot V^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{2}{3} + \frac{1}{\sqrt{K^{\sim 3} \cdot V}} \end{aligned}$$

В том числе минимальный избыток  $\frac{1}{\sqrt{K^{\sim 3} \cdot V}}$  молей.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11 РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТО СОДЕРЖАЩИХ РУД

Составление баланса производится на основе экспериментальных результатов по переработке данного сырья, которые позволяют установить изотерму сорбции золота, содержание золота в насыщенном сорбенте, степень извлечения золота, серебра и других компонентов раствора сорбцией, количество сорбента в потоке и в единовременной загрузке, состав насыщенного сорбента, продолжительность процесса сорбционного выщелачивания.

**Пример.** Расчет материального баланса сорбционного выщелачивания руды в условиях предыдущей задачи при производительности 100 т руды в сутки и Ж:Т=1,5 :1. В данном случае цианирование руды протекает в две стадии:

а) предварительное цианирование пульпы (без загрузки сорбента) в течение 2-6 ч, при котором переходит в раствор до золота, извлекаемого цитированием;

б) сорбционное выщелачивание с загрузкой в пульпу сорбента в течение 8-12ч, в течение которых протекает дорастворение золота из руды с одновременной сорбцией ионитом растворенного золота, серебра и других компонентов. В качестве сорбента используется анионит макропористой структуры АМ-2Б-10П, применяемый в промышленной практике.

$$a_{Au}, \text{мг/г}$$

ступеней сорбции по изотерме равновесных концентраций в фазах и рабочей линии;

$$\eta = V_1 a / C_1 a$$

Изотерма сорбции золота для данного примера приведена на рис. 15. Экспериментальная изотерма представлена кривой *OA*. Принимая степень использования анионита 0,9 получим реальную изотерму в виде кривой *OB*. При степени приближения к равновесию 0,85 получим на ординате сначала точку «*a*», через которую проводим рабочую линию *O'D*, где *O'* - остаточное содержание золота в растворе после сорбции:  $C_{\text{кон}} = 0,02 \text{ г/м}^3$ . Точка «*a*» на рабочей линии при начальной концентрации золота в растворе  $C = 3,29 \text{ мг/л}$  соответствует равновесной концентрации золота в анионите 11,7мг/л сухого сорбента. При дальнейших расчетах принято содержание золота 12,0мг/г насыщенного сухого анионита.

Построением ступенчатой линии  $aC_1A_1C_2A_2C_3A_3C_4$  между рабочей и линией равновесия определяем число необходимых для сорбционного процесса ступеней равновесия; в данном случае  $n = 4$ .

Производительность установки составляет: по руде ( $Q = 100 \text{ т/ч}$ , по раствору  $W = 150 \text{ т/ч}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ). Количество анионита в потоке определяем по формуле:

$$q_n = \frac{W(C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}) + m_{\text{обор}}}{A_{\text{нас}} - A_{\text{рег}}} = \frac{150 \cdot (3,29 - 0,02) + 15,17}{12 - 0,15} = \frac{505,67}{11,875} = 42,67 \text{ кг/час}$$

где  $C_{\text{нач}}$  - содержание золота в растворе после предварительного и сорбционного выщелачивания - 3,29 г/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{кон}}$  - остаточное содержание золота в растворе после процесса сорбции - 0,02г/м<sup>3</sup>;

$A_{\text{нас}}$  -емкость насыщенного анионита по золоту - 12 г/кг;

$A_{\text{рег}}$  - остаточное содержание золота в анионите после регенерации - 0,15 г/кг;  $m_{\text{обор}}$  - обратное количество золота, возвращаемое в процесс выщелачивания с цианистым раствором из операции десорбции с насыщенного анионита Cu и Fe и составившее по предварительным расчетам 15,17 г/ч (принята степень десорбции Au 3,0%, Ag 15% от исходного содержания в насыщенном анионите).

При набухаемости анионита в ОН-форме 2,5 количество набухшего анионита в потоке  $V_n = q_n \cdot 2,5 = 42,67 \cdot 2,5 = 106,675 \text{ л/ч}$ .

Степень сорбции анионитом компонентов раствора составляет, %:

Au 99,0 - 99,8 (остаточное содержание в растворе при цианировании руд 0,02 - 0,03 г/м<sup>3</sup>, при цианировании концентратов 0,03-0,05 г/м<sup>3</sup>); Ag (при сорбции Au) 30-70; Cu 10-20; Zn и Ni 15-30; Fe 2-10; SCN-ионов 5-15; CN-ионов 3-10.

В расчете принято извлечение сорбцией, %:

Ag - 50; Cu - 15; Zn и Ni -20; SCN- 10; CN- 5; Fe - 3,38.

Результаты сорбции приведены в табл.11.

Состав насыщенного анионита представлен в табл.12.

Количество OH-ионов, оставшихся в насыщенном анионите, находим по разности между общей емкостью анионита 3,2 г-экв/кг и суммой сорбированных ионов 2,8132 г-экв/кг: 3,2 - 2,8132 = 0,3868 г-экв/кг. Это соответствует количеству OH<sup>-</sup> ионов в насыщенном анионите – 16,50476 г-экв/ч или 6,5756 г/кг (12,087% от исходного содержания).

Таблица 11.1.

**Количество сорбируемых анионитом компонентов раствора при сорбционном выщелачивании рудной пульпы**

Компонент	Расчет количества $W(\text{м}^3/\text{ч}) \cdot C(\text{г}/\text{м}^3) \cdot E$ (доли ед.)	Количество	
		г/ч	г/кг анионита
Au	150(3,29-0,02) + 15,17		11,851
Ag	(об.)	505,67	4,487
Cu	150 · 2,17 · 0,5 + 28,721		13,583
Zn	(об.)	191,471	16,396
Ni	150·25,76·0,15	579,60	3,691
Fe	150·23,32·0,20	699,60	2,997
SCN <sup>-</sup>	150·5,25·0,20	157,50	5,206
CN <sup>-</sup>	150 · 25,2 · 0,0338		35,154
Всего	150·14,81·0,10	127,875	93,365
	150 · 200·0,05	222,15	
		1500,00	

Единовременную загрузку анионита в аппараты сорбционного выщелачивания определяем, приняв продолжительность контакта анионита с пульпой для достижения равновесной емкости по золоту в одной ступени 60ч, а при четырех ступенях равновесия 4 · 60 = 240 ч. При потоке анионита 42,67 кг/ч единовременная загрузка его

составит ( $Q_{ед} = 42,67 \cdot 240 = 10240,8 \text{ кг}$  или  $10,24 \text{ т}$ , что соответствует  $10,24 \cdot 2,5 = 25,6 \text{ м}^3$  набухшего анионита.

Таблица 11.2.

**Количество и формы ионов в насыщенном анионите**

Ион	Количество				Распреде ление емкости, %
	г/ч	г/кг анионита	г-экв/ч	г-экв/кг анионит а	
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ;	639,167	14,9793	2,5659	0,06016	1,880
$\text{Ag}(\text{CN})_2^-$	293,760	6,6501	1,7748	0,04159	1,300
$\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$	1291,3488	30,2636	18,247	0,4276	13,363
$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$	1812,6636	42,481	1	0,50161	15,675
$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	436,59	10,2318	21,403	0,12578	3,931
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	485,0299	11,367	5	0,21462	6,707
$\text{SCN}^-$	222,15	5,2062	5,3671	0,08976	2,805
$\text{CN}^-$	1500,00	35,1535	4	0,35206	42,252
$\text{OH}^-$	280,5808	6,5756	9,1579	0,3868	12,087
Всего	6961,290	162,9081	0	2,200	100,00
			3,8301		
			7		
			57,692		
			3		
			16,504		
			76		
			136,54		
			457		

Потери анионита с хвостовой пульпой сорбционного выщелачивания составляют 10-20 г/т руды сухого анионита. Принимая величину потерь 10г/т руды, получим общие потери анионита  $100 \cdot 10 = 1000 \text{ г/ч}$ , или  $1 \text{ кг/ч}$ . Содержание золота и серебра в теряемом анионите принимаем равным их содержанию в от регенерированной смоле: Au 0,15 г/кг и Ag 0,05 г/кг. Количество благородных металлов, уходящих в хвосты выщелачивания с анионитом, будет: Au 0,15 г/кг и Ag 0,05 г/кг. Материальный баланс сорбционного выщелачивания руды приведен в табл. 11.3.

Таблица 11.3.

**Материальный баланс сорбционного выщелачивания руды**

Продукт	Количество продукта, т/ч	Au, г/ч	Ag, г/ч
<b>Поступает:</b>			
Руда	100,0	520,0	360,0
Раствор NaCN	150,0	-	-
Известковое молоко 10%	2,5	-	-
Оборотный раствор NaCN	0,43	15,17	28,72
Промвода шламовая	0,45	-	-
Нейтральные растворы регенерации	1,63 10,24	- -	- -
Анионит единовременной загрузки	0,043 0,001	6,25 -	2,08 -
Анионит отрегенерированный	265,294	541,4 2	390,8 0
Анионит свежий			
Всего	100,0 152,5	26	36
<b>Выходит:</b>	2,51	3,0	162,0
Руда	10,24	-	0
Раствор NaCN	0,043	-	-
Растворы регенерации	0,001	412,2	-
Анионит единовременной загрузки	265,294	7 0,15	192,7 5
Анионит насыщенный		541,4	0,05
Анионит с пульпой (потери)		2	390,8
Всего			0

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОИЗВЕДЕНИЯ РАСТВОРИМОСТИ

При растворении какого либо вещества в воде одновременно протекают два противоположных процесса.



Когда раствор насыщен, растворение новых количеств этого вещества преобладает над процессом осаждения. В пересыщенном растворе наблюдается обратное явление.

В насыщенном растворе, находящемся над осадком растворенного вещества устанавливается состояние **динамического равновесия**. В этом случае скорость растворения равна скорости осаждения.

При установившемся равновесии за единицу времени столько же ионов  $Ag^+$  и  $Cl^-$  переходит в осадок, сколько их переходит в раствор с поверхности осадка. При установившемся равновесии в насыщенном водном растворе  $AgCl$ .

$$K_{AgCl} = \frac{[Ag^+] \cdot [Cl^-]}{[AgCl]}$$

где –  $[Ag^+]$  и  $[Cl^-]$  - равновесные концентрации ионов  $Ag$  и  $Cl$ .

$[AgCl]$  – концентрация вещества в твердой фазе, т.е. содержание вещества в единице объема осадка.

Столкновение между элементарными частицами растворенного вещества и твердого вещества в гетерогенных системах происходит лишь на поверхности раздела фаз, и не зависимо от количества твердого вещества его концентрация остается постоянной и не влияет на скорость реакции. По этому можно написать

$$[Ag^+] \cdot [Cl^-] = K_{AgCl} [AgCl] = const$$

Произведение концентрации ионов малорастворимого электролита в его насыщенном водном растворе называют **произведением растворимости** и обозначается знаком  $L_p$ .

$$[Ag^+] \cdot [Cl^-] = L_{p_{AgCl}}$$

В общем виде для малорастворимого бинарного электролита

$$[K] \cdot [A] = L_{p_{KA}} = const$$

т.е. при установившемся равновесии в насыщенном водном растворе малорастворимого электролита при данных температуре и давлении не зависимо от изменения концентраций отдельных ионов величина  $L_{p_{KA}}$  остается постоянной.

Значения величины  $L_p$  можно найти в справочниках.

Общее уравнение произведения растворимости для малорастворимого электролита имеет вид:

$$L_{p_{KaAb}} [K]^a \cdot [A]^b = const$$

### **Произведение активности** $L_A$

Для электролита типа  $KtAn$  :

$$a_{Kt^+} a_{An^-} = L_{A_{KtAn}}$$

$L_{A_{KtAn}}$  - произведение активностей.

Для этого же электролита  $L_p$

$L_{p_{KtAn}} = [Kt^+][An^-]$  может быть представлено в следующем виде:

$$L_{p_{KtAn}} = [Kt^+][An^-] = \frac{a_{Kt^+} a_{An^-}}{f_{Kt^+} f_{An^-}} = \frac{L_{A_{KtAn}}}{f_{Kt^+} f_{An^-}} = \frac{L_{A_{KtAn}}}{f_1^2} \quad (1)$$

где  $f_1$  - обозначает  $f_{Kt^+}$  и  $f_{An^-}$  - коэффициенты активностей однозарядных ионов  $[Kt^+]$  и  $[An^-]$ .

Если  $f$  - равны единице, то  $L_{p_{KtAn}} = L_{A_{KtAn}}$

В общем виде для малорастворимого электролита  $Kt_a An_b$ ,  $L_A$  - выражают уравнением:

$$L_{A_{Kt_a An_b}} = a_{Kt}^a a_{An}^b = const$$

Обычно значение величины  $L_p$  вычисляют по данным растворимости (S), найденным экспериментальным путём. И наоборот, зная  $L_p$ , можно вычислить (S).

Для вычисления растворимости малорастворимого электролита пользуются формулой:

$$S_{Kt_a An_b} = \sqrt[a+b]{\frac{L_{p_{Kt_a An_b}}}{a^a b^b}}$$

С учётом коэффициента активности  $f$  из уравнения 1:

$$[Kt^+][An^-] = \frac{L_{A_{KtAn}}}{f_1^2}$$

$$S_{KtAn} = [Kt^+] = [An^-] = \sqrt{\frac{L_{A_{KtAn}}}{f_1^2}} = \frac{1}{f} \sqrt{L_{A_{KtAn}}}$$

**Растворимость (S)** – количество вещества, которое может быть растворено в 100 г или в 1 л растворителя. По сути это максимальная концентрация малорастворимого вещества в растворе. При расчете произведения растворимости растворимость должна иметь размерность моль/л.

Если растворимость соли  $Me_m An_n$  обозначить через S, то концентрация ионов  $[Me^{n+}]$  и  $[A^{m-}]$  равны  $mS$  и  $nS$ , соответственно. Отсюда

$$L \approx [Me^{n+}]^m [A^{m-}]^n = [mS]^m [nS]^n, \quad (4.4.)$$

тогда 
$$S = \sqrt[m+n]{\frac{L}{m^m \cdot n^n}}.$$

Растворимость в отличие от произведения растворимости зависит от ряда факторов

**Пример.** Определить растворимость ( $S$ )  $MgF_2$  в 0,05 н.  $HCl$ . Для  $HF$  константа диссоциации  $K=6 \cdot 10^{-4}$ ;  $L_{MgF_2}=7,1 \cdot 10^{-9}$  ( $18^\circ C$ ).

$$\alpha_1 = \frac{K}{K + [H^+]} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 10^{-4} + 0,05} \approx 0,012$$

$$L = [Mg] C_F^2 \alpha_1^2 = S(2S)^2 \alpha_1^2 = 7,1 \cdot 10^{-9}, \quad \text{следовательно}$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{7,1 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot (0,012)^2}} \approx 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ моль / л}$$

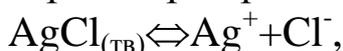
**Пример** Определить растворимость  $Fe(OH)_2$  в воде и в 0,5 н. растворе  $NaOH$ , если  $L_{Fe(OH)_2}=4,8 \cdot 10^{-16}$ .

В воде  $L=[Fe^{2+}][OH^-]^2=[S_1][2S_1]^2$ , отсюда  $S_1=4,9 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

В растворе щелочи ( $C_{NaOH}=0,5$  н.=0,5 моль/л):  $L=[S_2][C_{OH^-}+2S_2] \approx [S_2][C_{OH^-}]^2$ , отсюда  $S_2=1,92 \cdot 10^{-15}$  моль/л.

**Пример** Рассчитать растворимость  $AgCl$  в 0,01 М растворе аммиака, если произведение растворимости хлорида серебра составляет  $1,56 \cdot 10^{-10}$  ( $25^\circ C$ ), а константы устойчивости комплексов  $Ag(NH_3)^+$  и  $Ag(NH_3)_2^+$  равны  $\beta_1=10^{3,2}$ ,  $\beta_2=10^{3,8}$ , соответственно.

В растворе происходит диссоциация соли:



следовательно  $L=[Ag^+][Cl^-]=[ \alpha S ]/[S] = \alpha S^2$ .

Так как доля свободных ионов металла равна:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \beta_1 \cdot [NH_3] + \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot [NH_3]^2} = \frac{1}{1 + 10^{3,2} \cdot 0,01 + 10^{3,2} \cdot 10^{3,8} \cdot (0,01)^2} = 9,8 \cdot 10^{-4}.$$

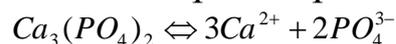
$$\text{Следовательно, } S = \sqrt{\frac{L}{\alpha}} = \sqrt{\frac{1,56 \cdot 10^{-10}}{9,8 \cdot 10^{-4}}} = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ моль / л.}$$

### Пример

Вычислить растворимость  $Ca_3(PO_4)_2$  при  $20 - 25^\circ C$ ?

### Решение.

В водном растворе  $Ca_3(PO_4)_2$  диссоциирует по уравнению



Следовательно, трем катионам  $Ca^{2+}$  соответствуют два аниона  $PO_4^{3-}$ .

$$L_{Ca_3(PO_4)_2} = [Ca^{2+}]^3 \cdot [PO_4^{3-}]^2 = 3,0 \cdot 10^{-33}$$

$$S_{Ca_3(PO_4)_2} = \sqrt[3+2]{\frac{L_{Ca_3(PO_4)_2}}{3^2 \cdot 2^2}} = \sqrt[5]{\frac{3,0 \cdot 10^{-33}}{108}} \approx 1,2 \cdot 10^{-3}$$

### Пример

С? Вычислить растворимость  $\text{BaCrO}_4$ ,  $\text{SrCrO}_4$  и  $\text{CaCrO}_4$  в г/л при  $25^\circ$

**Решение.**

Для  $\text{BaCrO}_4$  растворимость равна

$$S_{\text{BaCrO}_4} = [\text{Ba}^{2+}] = [\text{CrO}_4^{2-}] = \sqrt{2,3 \cdot 10^{-10}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л ИЛИ}$$

$$1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 253,33 \approx 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/л (253,3 = } M_{\text{BaCrO}_4})$$

Для  $\text{SrCrO}_4$  и  $\text{CaCrO}_4$

$$S_{\text{SrCrO}_4} = [\text{Sr}^{2+}] = [\text{CrO}_4^{2-}] = \sqrt{3,6 \cdot 10^{-5}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$6 \cdot 10^{-3} \cdot 203,61 \approx 1,22 \text{ г/л (203,61 = } M_{\text{SrCrO}_4})$$

$$S_{\text{CaCrO}_4} = [\text{Ca}^{2+}] = [\text{CrO}_4^{2-}] = \sqrt{2,3 \cdot 10^{-2}} = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л}$$

$$1,5 \cdot 10^{-1} \cdot 156,07 = 23,4 \text{ г/л (156,07 = } M_{\text{CaCrO}_4})$$

Ионная сила равна:

Для  $\text{BaCrO}_4$

$$\mu = \frac{1}{2}(1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2^2 + 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2^2) = 6 \cdot 10^{-5}$$

$$f_2 = 1$$

Для  $\text{SrCrO}_4$

$$\mu = \frac{1}{2}(6 \cdot 10^{-3} \cdot 2^2 + 6 \cdot 10^{-3} \cdot 2^2) = 2,4 \cdot 10^{-2}$$

$$f_2 = 0,57$$

Для  $\text{CaCrO}_4$

$$\mu = \frac{1}{2}(1,5 \cdot 10^{-1} \cdot 2^2 + 1,5 \cdot 10^{-1} \cdot 2^2) = 6 \cdot 10^{-1}$$

$$f < 0,24$$

Для очень разбавленных растворов  $f = 1$  и  $L_p = L_A$ . В этом случае растворимость с учетом коэффициента активности для  $\text{BaCrO}_4$

$$S_{\text{BaCrO}_4} \approx \sqrt{2,3 \cdot 10^{-10}} \approx 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 253,33 = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$$

Для  $\text{SrCrO}_4$

$$S_{\text{SrCrO}_4} \approx \frac{1}{0,57} \sqrt{3,6 \cdot 10^{-5}} \approx 1,05 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л ИЛИ}$$

$$1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 203,61 = 2,14 \text{ г/л}$$

Для  $\text{CaCrO}_4$

$$S_{\text{CaCrO}_4} \approx \frac{1}{0,24} \sqrt{2,3 \cdot 10^{-2}} \approx 6,3 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л}$$

$$6,3 \cdot 10^{-1} \cdot 156,07 = 98,3 \text{ г/л}$$

Формулы применяемые для вычисления растворимости малорастворимых электролитов в воде ( $f_1, f_2, f_3$  коэффициенты активностей одно, двух и трёхзарядных ионов)

Электро	$L_p$	S	$L_A$	S (с учётом)
---------	-------	---	-------	--------------

Лит		(растворимость)		коэффициента активности)
$KtAn$	$[Kt^+] \cdot [An^-]$	$\sqrt{L_{p_{KtAn}}}$	$a_{Kt^+} a_{An^-}$	$\frac{1}{f} \sqrt{L_{A_{KtAn}}}$
$Kt_2An$	$[Kt^+]^2 \cdot [An^{2-}]$	$\sqrt[3]{\frac{L_{p_{Kt_2An}}}{2^2}}$	$a_{Kt^+}^2 a_{An^{2-}}$	$\sqrt[3]{\frac{L_{A_{Kt_2An}}}{4 f_1^2 f_2}}$
$Kt_3An$	$[Kt^+]^3 \cdot [An^{3-}]$	$\sqrt[4]{\frac{L_{p_{Kt_3An}}}{3^3}}$	$a_{Kt^+}^3 a_{An^{3-}}$	$\sqrt[4]{\frac{L_{A_{Kt_3An}}}{27 f_1^3 f_3}}$
$KtAn_2$	$[Kt^{2+}] \cdot [An^-]^2$	$\sqrt[3]{\frac{L_{p_{KtAn_2}}}{2^2}}$	$a_{Kt^{2+}} a_{An^-}^2$	$\sqrt[3]{\frac{L_{A_{KtAn_2}}}{4 f_2 f_1^2}}$
$KtAn_3$	$[Kt^{3+}] \cdot [An^-]^3$	$\sqrt[4]{\frac{L_{p_{KtAn_3}}}{3^3}}$	$a_{Kt^{3+}} a_{An^-}^3$	$\sqrt[4]{\frac{L_{A_{KtAn_3}}}{27 f_3 f_1^3}}$
$Kt_3An_2$	$[Kt^{2+}]^3 \cdot [An^{3-}]^2$	$\sqrt[5]{\frac{L_{p_{Kt_3An_2}}}{3^3 \cdot 2^2}}$	$a_{Kt^{2+}}^3 a_{An^{3-}}^2$	$\sqrt[5]{\frac{L_{A_{Kt_3An_2}}}{108 f_2^3 f_3^2}}$
$Kt_2An_3$	$[Kt^{3+}]^2 \cdot [An^{2-}]^3$	$\sqrt[5]{\frac{L_{p_{Kt_2An_3}}}{2^2 \cdot 3^3}}$	$a_{Kt^{3+}}^2 a_{An^{2-}}^3$	$\sqrt[5]{\frac{L_{A_{Kt_2An_3}}}{108 f_3^2 f_2^3}}$

При растворении какого либо вещества в воде одновременно протекают два противоположных процесса.

Когда раствор насыщен, растворение новых количеств этого вещества преобладает над процессом осаждения. В пересыщенном растворе наблюдается обратное явление.

Столкновение между элементарными частицами растворенного вещества и твердого вещества в гетерогенных системах происходит лишь на поверхности раздела фаз, и не зависимо от количества твердого вещества его концентрация остается постоянной и не влияет на скорость реакции. По этому можно написать

$$[Ag^+] \cdot [Cl^-] = K_{AgCl} [AgCl] = const$$

Произведение концентрации ионов малорастворимого электролита в его насыщенном водном растворе называют **произведением растворимости** и обозначается знаком  $L_p$ .

$$[Ag^+] \cdot [Cl^-] = L_{p_{AgCl}}$$

В общем виде для малорастворимого бинарного электролита

$$[K] \cdot [A] = L_{p_{KA}} = const$$

т.е. при установившемся равновесии в насыщенном водном растворе малорастворимого электролита при данных температуре и давлении не зависимо от изменения концентраций отдельных ионов величина  $L_p$   $_{KA}$  остается постоянной.

Значения величины  $L_p$  можно найти в справочниках.

Общее уравнение произведения растворимости для малорастворимого электролита имеет вид:

$$L_{P_{K_a b}} [K]^a \cdot [A]^b = const$$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13 РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕТАЛЛОВ В РАСТВОРАХ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ.

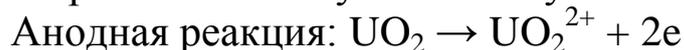
Определяем растворимости оксидов и сульфидов металлов. Например, для выщелачивание оксидов урана из урановых руд применяется серная кислота. Растворение минералов урана – уранинита  $UO_2$  и урановой смолки  $U_3O_8$  возможно лишь в присутствии окисляющих агентов. Урановые руды обычно бедные, они содержат примерно 0,1 – 0,5 %  $U_3O_8$ . В качестве окислителей используют кислород,  $MnO_2$  (пирролюзит), хлорат натрия ( $NaClO_3$ ) и др.

Сернокислотное выщелачивание урановых руд широко распространено в промышленной практике. Однако кислотное выщелачивание невыгодно применять к рудам, которые содержат большие количества карбонатов (кальцита, сидерита, родохрозита, доломита, магнезита), что сильно повышает расход кислоты. В этом случае используют выщелачивание растворами соды.

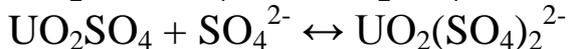
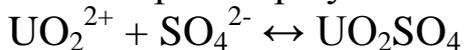
При использовании в качестве окислителя кислорода выщелачивание оксидов урана ведут в автоклавах для обеспечения более высокой концентрации растворенного кислорода. Суммарная реакция растворения:



Экспериментально установлено, что растворение  $UO_2$  протекает по электрохимическому механизму.



Затем в растворе устанавливаются равновесия:



Скорость растворения лимитируется диффузионным подводом кислоты к поверхности минерала, а при более высоких концентрациях  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (выше 0,0025 и 0,005 моль/л) – диффузионным подводом кислорода к поверхности.

***Растворение сульфидных минералов в присутствии кислоты.***

Рудное сырье многих металлов содержит сульфидные минералы. К ним относятся минералы железа – пирит  $\text{FeS}_2$  и пирротин  $\text{FeS}$ ; ряд минералов меди – ковеллин  $\text{CuS}$ , халкозин  $\text{Cu}_2\text{S}$ , халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ ; минералы свинца и цинка – галенит  $\text{PbS}$  и сфалерит  $\text{ZnS}$ ; молибдена – молибденит  $\text{MoS}_2$ ; мышьяка – арсенопирит  $\text{FeAsS}_2$ ; никеля – пентландит  $(\text{Fe,Ni})\text{S}$ ; ртути – киноварь  $\text{HgS}$ . Название выше и ряд других сульфидов цветных металлов малорастворимы в воде. Некоторые из них растворимы в разбавленных кислотах. Так,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CoS}$ ,  $\text{NiS}$  и  $\text{FeS}$  растворяются при нагревании в 10 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с выделением сероводорода. Сульфиды цинка и свинца разлагаются растворами гидроксида натрия с образованием  $\text{Na}_2\text{PbO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{ZnO}_2$ . Сульфиды меди растворяются в растворе цианистого натрия с извлечением меди в раствор в составе цианидного комплекса.

Выщелачивание сульфидов в присутствии кислорода как окислителя используют для извлечения меди, цинка, никеля и кобальта в кислые или щелочные растворы из сульфидных концентратов и штейнов.

В отсутствие кислорода все сульфиды железа и цветных металлов практически нерастворимы в воде до 300 °С, однако в присутствии кислорода металлы переходят в раствор. В зависимости от температуры и рН раствора реакция выщелачивания протекает с образованием элементарной серы или ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Если процесс ведут при температуре до 120 °С (точка плавления серы) и в кислой среде, окисление ионов  $\text{S}^{2-}$  идет только до элементарной серы, так как реакция  $\text{S} + 3/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  ниже этой температуры протекает медленно. Выше 120 °С преимущественно образуются сульфат-ионы.

***Окислительное растворение халкозина  $\text{Cu}_2\text{S}$  в присутствии кислорода.***

В рудах и рудных концентратах медь большей частью содержится в виде халькопирита  $\text{CuFeS}_2$ , реже – борнита  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ . Однако в некоторых полупродуктах пирометаллургии меди и никеля присутствует полусернистая медь  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Так,  $\text{Cu}_2\text{S}$  – основной

компонент штейнов, файнштейнов, белого штейна. В подчиненных количествах  $\text{Cu}_2\text{S}$  встречается и в концентратах.

Установлено, что  $\text{Cu}_2\text{S}$  окисляется в две стадии:



Первая стадия (1) протекает быстро, вторая (2) – медленно. Согласно приведенным выше стадиям, в ходе окислительного выщелачивания происходят структурные превращения с переходом решетки  $\text{Cu}_2\text{S}$  в решетку  $\text{CuS}$  – ковеллина. При этом в твердом теле протекают три процесса: 1) удаление ионов меди из решетки  $\text{Cu}_2\text{S}$ ; 2) передача электронов от твердого тела к акцептору электронов – кислороду; 3) перегруппировка атомов меди и серы с образованием решетки  $\text{CuS}$ .

Поскольку движение электронов происходит быстро, скорость реакции может определяться диффузией ионов меди в твердой фазе.

Установлено, что частицы халкозина размером 0,1 – 0,15 мм можно превратить в  $\text{CuS}$  за 30 мин при 90 – 100 °С. Следовательно, скорость диффузии ионов меди должна быть очень велика, что подтверждается одинаковой концентрацией меди по сечению частиц. Из этого следует, что первая стадия реакции происходит во всем объеме частицы, тогда как вторая – преимущественно на её поверхности.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14**

### **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ИХ РАСТВОРОВ: ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСТВОРА СУЛЬФАТА ЦИНКА, ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ РАФИНИРОВАНИЕ МЕДНЫХ АНОДОВ**

Электролитическое рафинирование меди производится для удаления примесей и получения металла высокой чистоты. Так как основное количество благородных металлов, имеющих в сырье, при пирометаллургической переработке концентрируется в анодной меди, процесс электролиза позволяет получать, кроме меди высокой чистоты, также шламы, в которых содержатся золото, серебро и платиноиды (см. Приложение I).

Электролиз анодной меди ведется в сернокислых растворах двухвалентной меди, содержащих свободную серную кислоту. Обычно электролит содержит 140–200 г/л  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и 150–220 г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Процесс электролиза ведется при температурах электролита

55–65<sup>0</sup>С. Для получения качественного катодного осадка в электролит вводят поверхностно активные добавки; клей, тиомочевину и другие вещества.

Анодами служат пластины с ушками, получаемые при огневом рафинировании меди. Катодами являются тонкие листы из меди, получаемые электролитическим путем на матрицах из меди, нержавеющей стали или титана. Электролиз осуществляется на постоянном токе или реверсированном постоянном токе. Преобразование тока производится с помощью кремниевых выпрямителей.

Технологическими расчетами процесса электролиза определяется материальный баланс, накопление примесей в электролите и количество электролита, выводимого на регенерацию.

В нашем примере требуется рассчитать материальный баланс электролиза меди такого состава: 99,5% Cu; 0,09% Au; 0,045% Ag; 0,06% Se; 0,02% Te; 0,06% Pb; 0,1% Ni; 0,05% As; 0,03% Sb; 0,01 % Bi; 0,015% Fe; 0,02% O<sub>2</sub>. Для расчета задаемся следующими данными, полученными на практике заводов. Выход анодного скрапа 18%. По данным института «Гинцветмет» и литературным источникам примем следующее распределение меди и примесей, за вычетом скрапа, между раствором, шламом и катодным осадком:

1. Показан выход обезмеженного шлама. Выход первичного шлама составляет 0,3–0,5%.

2. Переход меди в раствор принят максимальный. Обычно он колеблется от 0,2 до 1,97%.

С учетом указанного распределения составляем материальный баланс электролиза, кг:

	Cu	Au	Ag	Se	Te	Pb
Поступило	995	0,9	0,45	0,6	0,2	0,6
Перешло:						
в скрап	и 179,1	0,162	0,081	0,108	0,036	0,108
остатки	0,816	0,731	0,364	0,487	0,162	0,408
в шлам	15,502	–	–	–	–	0,039
в раствор	799,582	0,007	0,005	0,005	0,002	0,045
на катод						
	Ni	As	Sb	Bi	Fe	O <sub>2</sub>
Поступило	1,0	0,5	0,3	0,1	0,15	0,2
Перешло:						
в скрап	и 0,18	0,09	0,054	0,018	0,027	0,036

остатки	0,008	0,218	0,158	0,006	0,087	0,148
в шлам	0,754	0,103	0,017	0,043	0,024	–
в раствор	0,058	0,089	0,071	0,033	0,012	0,016
на катод						

*Расчет объема электролита, выводимого на регенерацию.* Объем электролита, выводимого на регенерацию, определяется исходя из предельного содержания элементов в электролите. На основе практических данных для нашего примера примем следующее предельное содержание элементов в электролите, г/л: 40 Cu, 20 Ni, 4 As, 0,7 Sb.

Объем электролита, подлежащего выводу из процесса, определяется по ведущей примеси. По данным материального баланса определим количество примесей, переходящих в электролит из 1000 кг анодов:

Элем енты	Содерж ится в анодах, кг	Перехо дит в электролит, кг	Принят ое содержание, г/л	Необходим о выводить электролита, л
Ni	1,0	0,754	20	37,7
As	0,5	0,103	4	25,75
Sb	0,3	0,017	0,7	24,3
Cu	995	15,502	40	387,6

Таким образом, для поддержания заданного состава меди необходимо выводить из циркуляции и на регенеративные ванны на каждую тонну анодов 387,6 л электролита, из которых на производство никелевого купороса следует направить 37,7 л, а на регенеративные ванны 349,9 л.

*Расчет состава отработанного электролита.* В регенеративную ванну за 1 ч поступает 0,4 м<sup>3</sup> электролита, содержащего 40 г/л Cu и 150 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Необходимо определить состав отработанного электролита.

Электролиз с нерастворимыми анодами осуществляется для выделения меди из растворов и регенерации серной кислоты по реакции



Примем, что сила тока при электролизе равна 12400А, а выход по току равен 88%. Тогда за 1 ч выделится меди: 12400•1,185•1•0,83=12196 г. В поступающем за 1 ч растворе количество меди равно 400•40=16000 г. В отработанном электролите

останется меди  $16000 - 12196 = 3804$  г, а содержание меди в электролите составит  $3804/400 = 9,5$  г/л.

По приведенной выше реакции на 63,5 г Cu выделится 98 г  $H_2SO_4$ , а на  $40 - 9,5 = 31,5$  г/л меди выделится  $31,5 \cdot 98 / 63,5 = 48,6$  г/л  $H_2SO_4$ . Количество кислоты в электролите будет составлять  $150 + 48,6 = 198,6$  г/л.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Каримова Т.П., Самадов А.У., Саидова М.С., Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т. Разработка эффективной технологии снижения потери меди со шлаками методом автоматизации процесса разлива конвертерных шлаков при сливе// Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for their Development” (December 27 – 28, 2016, Abu-Dhabi, UAE). Ajman, 2017, № 1(17), Vol. 1, с. 40 – 43.
2. А.А. Юсупходжаев, С.Б. Мирзажоннова, Ш.Т. Хожиев. Повышение комплексности использования сырья при переработке сульфидных медных концентратов// Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for their Development” (December 27 – 28, 2016, Abu-Dhabi, UAE). Ajman, 2017, № 1(17), Vol. 1, с. 45 – 48.
3. А.А. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiyev. Methods of decreasing of Copper loss with Slag in Smelting Processes// International Academy Journal Web of Scholar. Kiev, March 2017, № 2(11), Vol. 1, PP. 5 – 8.
4. А.А. Юсупходжаев, Ш.Т. Хожиев, Ж.С. Мамиркулов. Технология получения металлизированных железных концентратов из низкосортного сырья// Сборник статей победителей IX Международной научно-практической конференции “World Science: Problems and Innovations”, состоявшейся 30 апреля 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 176. С. 152 – 156.
5. А.А. Юсупходжаев, Ш.Т. Хожиев, С.Ш. Эргашев. Ресурсосберегающие технологии в металлургии меди// Сборник статей победителей IX Международной научно-практической конференции “World Science: Problems and Innovations”, состоявшейся 30 апреля 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 176. С. 157 – 160.
6. А.А. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, J.S. Mamirkulov. The analysis of physic chemical properties of metallurgical molten slags// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 12 – 15.
7. А.А. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, G.A. Kimsanboeva. The analysis of the arch of service of autogenous smelting furnaces during processing of

- copper sulfide concentrates// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 16 – 18.
8. A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, S.B. Mirzajanova. Usage of reducing-sulfidizing agents in copper-bearing slags depletion// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 19 – 21.
  9. A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, J. Usarov. Reasons of copper loss with slag// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С.22 –23.
  10. A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Khojiev, V.K. Nodirov. Modern state of technology of copper extraction// Сборник статей победителей VIII Международной научно-практической конференции “Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации”, состоявшейся 20 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 2, № 191. С.59 –61.
  11. M.M. Yakubov, A.A. Yusupkhodjayev, Sh.T. Hojiyev. Eritish jarayonida misning shlak bilan isrofini kamaytirish yo'llari // Kompozitsion materiallar. Toshkent, 2017, №1. 18 – 19 b.
  12. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Kimsanboeva G.A. Studying of the clinker coating formed on internal the laying of the oxygen-torch furnace at fusion of sulphidic copper concentrates // Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции “European research”, состоявшейся 7 декабря 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 248. С. 62 – 65.
  13. Samadov A.U., Khojiev Sh.T., Buzurkhanova F.S., Ruziev Z.N. Perspective method of smelting low-sulfur copper concentrates // Научные достижения и открытия современной молодёжи: сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 38 – 41.

14. Khojiev Sh.T., Ruziev Z.N., Ochildiev K.T. The development of non-waste technology in mining and metallurgical productions // Сборник статей II Международной научно-практической конференции “Advanced Science”, состоявшейся 17 января 2018 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2018, Часть 1, № 268. С. 68 – 71.
15. Yakubov M.M., Khojiev Sh.T., Yavkochiva D.O. Studying of laws of smelting processes of sulfide concentrates // European Scientific Conference: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 91 – 93.
16. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Исмаилов Ж.Б. Изучение свойства шлаков медеплавильных заводов // Высокие технологии, наука и образование: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 28 – 30.
17. Хожиев Ш.Т., Очилдиев К.Т., Хотамкулов В.Х. Переработка медно-алюмосиликатных руд // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 142 – 144.
18. Валиев Х.Р., Хожиев Ш.Т., Файзиева Д.К. Исследование селективного извлечения металлов из титаномагнетитовых руд // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 145 – 147.
19. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B. Recycling of slag from copper production // Инновационные процессы в науке и образовании: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 51 – 53.
20. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Valiev X.R., Saidova M.S., Omonkhonov O.X. Application of Physical and Chemical Methods for Processing Slags of Copper Production // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 1, January 2019. pp. 7957 – 7963.
21. Khojiev Sh.T., Irsaliyeva D.B., Muhammadiev Sh.A., Ergasheva M.S. Method for recycling of converter slags into the metallurgical ladle // Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей VI Международной научно-практической

конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 56 – 58.

22. А.А. Юсупходжаев, Ш.Т. Хожиев. Пирометаллургия: конспект лекций для магистров. -Ташкент: ТашГТУ, 2019 г. – 62 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Понятие о растворах изучение законов в гетерогенных растворах	3
2.	Способы выражения концентрации растворов. Концентрация растворов различной концентрацией и способы расчетов методом математической моделью методом прямой линии и методом креста	6
3.	Примеры расчета ионной силы различных растворов	17
4.	Построение диаграммы потенциал – рН (пурбе).	19
5.	Термодинамический анализ селективного растворения металлов и их оксидов в кислоте.	24
6.	Примеры расчета константа равновесия	25
7.	Определение скорости процесса селективной плавки и ее механизма.	27
8.	Изучить термодинамику некоторых процессов промышленной селективной плавки.	31
9.	Термодинамика селективного плавления сульфидов и низших оксидов тяжелых металлов с использованием кислорода и сульфата трехвалентного железа в качестве окислителя.	33
10.	Определение термодинамически необходимого избыточного количества фторида натрия и фосфата натрия при разложении шеелита в автоклавах.	34
11.	Расчет процесса сорбционного выщелачивания золото содержащих руд	35
12.	Методика расчета произведения растворимости	39
13.	Расчет потенциалов металлов в растворах различной концентрации.	45
14.	Расчет электрического осаждения металлов из их растворов: электролиз раствора сульфата цинка, электролитическое рафинирование медных анодов	47
	Литература	50

## Список литературы

1. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T. Sulfidli rux boyitmasini Qaynar Qatlam pechida quydirish jarayonida silikatlar va ferritlar hosil bo'lishining oldini olish chora-tadbirlari // "Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o'rni" nomli Respublika ilmiy anjumanining ma'ruzalar to'plami, I qism/ Toshkent: ToshDTU, aprel, 2015. 171 – 174 b.
2. Юсупходжаев А.А., Худояров С.Р., Валиев Х.Р., Хожиев Ш.Т., Матмусаев И.К. Взаимодействие компонентов шихты при их нагреве в металлургических печах // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Achievements and Their Practical Application" (October 27 – 28, 2016, Dubai, UAE). Ajman, 2016, № 11(15), Vol. 1, с. 24 – 27.
3. Каримова Т.П., Самадов А.У., Саидова М.С., Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т. Разработка эффективной технологии снижения потери меди со шлаками методом автоматизации процесса разлива конвертерных шлаков при сливе // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for their Development" (December 27 – 28, 2016, Abu-Dhabi, UAE). Ajman, 2017, № 1(17), Vol. 1, с. 40 – 43.
4. Юсупходжаев А.А., Мирзажонова С.Б., Хожиев Ш.Т. Повышение комплексности использования сырья при переработке сульфидных медных концентратов // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for their Development" (December 27 – 28, 2016, Abu-Dhabi, UAE). Ajman, 2017, № 1(17), Vol. 1, с. 45 – 48.
5. Yusupkhodjayev A.A., Khojiyev Sh.T. Methods of decreasing of Copper loss with Slag in Smelting Processes // International Academy Journal Web of Scholar. Kiev, March 2017, № 2(11), Vol. 1, P. 5 – 8.
6. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Мамиркулов Ж.С. Технология получения металлизированных железных концентратов из низкосортного сырья // Сборник статей победителей IX Международной научно-практической конференции "World Science: Problems and Innovations", состоявшейся 30 апреля 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 176. С. 152 – 156.
7. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Эргашев С.Ш. Ресурсосберегающие технологии в металлургии меди// Сборник статей победителей IX Международной научно-практической конференции "World Science: Problems and Innovations", состоявшейся 30 апреля 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 176. С. 157 – 160.
8. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Mamirkulov J.S. The analysis of physic chemical properties of metallurgical molten slags// Сборник статей Международной научно-практической конференции "Управление

- социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 12 – 15.
9. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Kimsanboeva G.A. The analysis of the arch of service of autogenous smelting furnaces during processing of copper sulfide concentrates// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 16 – 18.
  10. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Mirzajanova S.B. Usage of reducing-sulfidizing agents in copper-bearing slags depletion// Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С. 19 –21.
  11. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Usarov J. Reasons of copper loss with slag // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика”, состоявшейся 15 июня 2017 г. в г. Пенза // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 190. С.22 –23.
  12. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Nodirov V.K. Modern state of technology of copper extraction// Сборник статей победителей VIII Международной научно-практической конференции “Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации”, состоявшейся 20 июня 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 2, № 191. С.59 –61.
  13. Yakubov M.M., Yusupkhodjayev A.A., Hojiyev Sh.T. Eritish jarayonida misning shlak bilan isrofini kamaytirish yo'llari // Kompozitsion materiallar. 2017, №1. 18 – 19 b.
  14. Yusupkhodjayev A.A., Khojiev Sh.T., Kimsanboeva G.A. Studying of the clinker coating formed on internal the laying of the oxygen-torch furnace at fusion of sulphidic copper concentrates // Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции “European research”, состоявшейся 7 декабря 2017 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2017, Часть 1, № 248. С. 62 – 65.
  15. Samadov A.U., Khojiev Sh.T., Buzurkhanova F.S., Ruziev Z.N. Perspective method of smelting low-sulfur copper concentrates // Научные достижения и открытия современной молодежи: сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2018. С. 38 – 41.
  16. Khojiev Sh.T., Ruziev Z.N., Ochildiev K.T. The development of non-waste technology in mining and metallurgical productions // Сборник статей II Международной научно-практической конференции “Advanced Science”,

- состоявшейся 17 января 2018 г. в г. Пенза. // МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза, 2018, Часть 1, № 268. С. 68 – 71.
17. Yakubov M.M., Khojiev Sh.T., Yavkochiva D.O. Studying of laws of smelting processes of sulfide concentrates // European Scientific Conference: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018. С. 91 – 93.
  18. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Исмаилов Ж.Б. Изучение свойства шлаков медеплавильных заводов // Высокие технологии, наука и образование: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018. С. 28 – 30.
  19. Хожиев Ш.Т., Очилдиев К.Т., Хотамкулов В.Х. Переработка медно-алюмосиликатных руд // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018. С. 142 – 144.
  20. Валиев Х.Р., Хожиев Ш.Т., Файзиева Д.К. Исследование селективного извлечения металлов из титаномагнетитовых руд // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018. С. 145 – 147.
  21. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B. Recycling of slag from copper production // Инновационные процессы в науке и образовании: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. С. 51 – 53.
  22. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Valiev X.R., Saidova M.S., Omonkhonov O.X. Application of Physical and Chemical Methods for Processing Slags of Copper Production // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 1, January 2019. pp. 7957 – 7963.
  23. Khojiev Sh.T. Pyrometallurgical Processing of Copper Slags into the Metallurgical Ladle // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 2, February 2019. pp. 8094 – 8099.
  24. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Абдукаримова Ф.У., Толибова Х.Г. Плавка в жидкой ванне освоена на медеплавильном заводе Алмалыкского горно-металлургического комбината // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. С. 71 – 73.
  25. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Толибова Х.Г., Абдукаримова Ф.У. Комплексная переработка тонкого пыла медеплавильного производства // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. С. 74 – 76.

26. Khojiev Sh.T., Irsaliyeva D.B., Muhammadiev Sh.A., Ergasheva M.S. Method for recycling of converter slags into the metallurgical ladle // Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей VI Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 56 – 58.
27. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Abdikarimova F.O’, Tolibova X.G’. Method for pyrometallurgical processing of copper casting slags // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 62 – 64.
28. Khojiev Sh.T., Tolibova X.G’, Abdikarimova F.O’, Rakhmatalliev Sh.A. Solubility of copper and cobalt in iron-silicate slags // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 65 – 67.
29. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Suyunova M.N., Babaev B.S. Mechanical and physico-chemical copper losses in slags // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 68 – 70.
30. Khojiev Sh.T., Suyunova M.N., Babaev B.S., Yavkochiva D.O. Recycling of copper slags with local reductants // Современные технологии: Актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2019. С. 71 – 73.
31. Сафаров А.Х., Хожиев Ш.Т. Разработка безотходной технологии производства золота // “Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o’rni” nomli Respublika ilmiy-texnikaviy anjumanining ma’ruzalar to’plami / Toshkent: ToshDTU, aprel, 2019. 440 – 442 b.
32. Абдикаримова Ф.У., Хожиев Ш.Т. Способ переработки медных шлаков // “Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o’rni” nomli Respublika ilmiy-texnikaviy anjumanining ma’ruzalar to’plami / Toshkent: ToshDTU, aprel, 2019. 535 – 357 b.
33. Сафаров А.Х., Хожиев Ш.Т. Разработка безотходной технологии производства золота // Международный научный журнал “Молодой Учёный”, № 17 (255), часть I. -Казань: издательства «Молодой ученый», 2019. С. 47 – 49.
34. Khojiev Sh. T., Safarov A. X., Mashokirov A. A., Imomberdiyev S. F., Khusanov S. U., Umarov B. O. New method for recycling of copper melting slags// Международный научный журнал “Молодой Учёный”, № 18 (256), часть II. -Казань: издательства «Молодой ученый», 2019. С. 133 – 135.
35. Abjalova H.T., Hojiyev Sh.T. Metallning shlak bilan isrofi va uni kamaytirish yo’llari // akademik T.M. Mirkomilovning 80 yilligiga bag’ishlangan universitet miqyosidagi talaba va yosh olimlarning ilmiy tadqiqot ishlarida “Innovatsion

- g'oyalar va texnologiyalar" mavzusidagi ilmiy-amaliy anjumanining ma'ruzalar to'plami / Toshkent: ToshDTU, 17-18- may, 2019. 95 – 97 b.
36. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Хайруллаев П.Х., Муталибханов М.С. Исследование влияния температуры и содержания меди на плотность медеплавильных шлаков // Monografia Pokonferencyjna "Science, Research, Development": Technics and technology. – Warszawa: "Diamond trading tour". – 2019. С. 6 – 9.
  37. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Yavkochiva D.O., Ismailov J.B. Technology of Processing Slags of Copper Production using Local Secondary Technogenic Formations// International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Volume-9, Issue-1, November 2019. P. 5461 – 5472.
  38. Хожиев Ш.Т., Нусратуллаев Х.К., Акрамов У.А., Ирсалиева Д.Б., Мирсаотов С.У. Минералогический анализ шлаков медеплавильного завода Алмалыкского горно-металлургического комбината// "Студенческий вестник": научный журнал, № 43(93). Часть 5. Москва, Изд. «Интернаука», Ноябрь 2019. С. 62 – 64.
  39. Хожиев Ш.Т., Зайниддинов Н.Ш., Мирсаотов С.У., Ирсалиева Д.Б., Мамараимов С.С., Муносибов Ш. Термогравитационное обеднение шлаков медного производства // "Студенческий вестник": научный журнал, № 43(93). Часть 5. Москва, Изд. «Интернаука», Ноябрь 2019. С. 65 – 68.
  40. Хожиев Ш.Т., Эркинов А.А., Абжалова Х.Т., Мирсаотов С.У., Мамараимов С.С. Использование металлургических техногенных отходов в качестве сырья // "Студенческий вестник": научный журнал, № 43(93). Часть 5. Москва, Изд. «Интернаука», Ноябрь 2019. С. 69 – 71.
  41. Khojiev Sh.T., Yusupkhodjaev A.A., Aribjonova D.Y., Beknazarova G.B., Abdullaev D.N. Depletion of Slag from Almalyk Copper Plant with Aluminum Containing Waste // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Volume-9, Issue-2, December 2019. P. 2831 – 2837. DOI: 10.35940/ijitee.B7200.129219
  42. Hojiyev Sh.T., Norqobilov Y.F., Raxmataliyev Sh.A., Suyunova M.N. Yosh metallurg [Matn]: savol-javoblar, qiziqarli ma'lumotlar va metallar ishlab chiqarish texnologik jarayonlari. – Toshkent: "Tafakkur" nashriyoti, 2019 . - 140 b. ISBN 978-9943-24-273-9
  43. Yusupxodjayev A.A., Mirzajonova S.B., Hojiyev Sh.T. Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi [Matn]: darslik. – Toshkent: "Tafakkur" nashriyoti, 2020. – 300 b. ISBN 978-9943-24-295-1
  44. Хожиев Ш.Т., Исмаилов Ж.Б., Очилдиев К.Т., Шукуров М.С., Махмудова О.О. Анализ возможных химических реакций при обеднении медных шлаков // "Студенческий вестник": научный журнал, № 6(104). Часть 4. Москва, Изд. «Интернаука», Февраль 2020 г. С. 38 – 41.
  45. Khojiev Sh.T., Abjalova H.T., Erkinov A.A., Nurmatov M.N. Study of methods for preventing copper loss with slags // "Студенческий вестник": научный

- журнал, № 6(104). Часть 4. Москва, Изд. «Интернаука», Февраль 2020 г. С. 71 – 74.
46. Khojiev Sh.T., Erkinov A.A., Abjalova N.T., Abdikarimov M.Z. Improvement of the hydrodynamic model of the bubbling depletion of slag in the ladle // “Студенческий вестник”: научный журнал, № 6(104). Часть 4. Москва, Изд. «Интернаука», Февраль 2020 г. С. 75 – 77.
  47. Raxmataliyev Sh.A., Hojiyev Sh.T. Xo’jalik chiqindilaridan toza kumushni ajratib olish usullari // Texnika yulduzlari, № 1, Toshkent: “ToshDTU”, Mart, 2019. 104 – 107 b.
  48. Юсупходжаев А.А., Бердияров Б.Т., Хожиев Ш.Т., Исмоилов Ж.Б. Технология повышения комплексности использования стратегически важного сырья в цветной металлургии Узбекистана // Научно-практический журнал «Безопасность технических и социальных систем», № 1, Ташкент, Изд. «ТашГТУ», Декабрь, 2019. С. 12 – 21.
  49. Yusupходjayeв А.А., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashg’ulotlar uchun uslubiy ko’rsatmalar. – Toshkent: ToshDTU, 2020. -132 b.
  50. Yusupходjayeв А.А., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: laboratoriya ishlari uchun uslubiy ko’rsatmalar. – Toshkent: ToshDTU, 2020. -36 b.
  51. Abjalova Kh.T., Khojiev Sh.T. Intensification of the process of depletion the converter slag // Texnika yulduzlari, № 4, Toshkent: “ToshDTU”, Dekabr, 2019. 59 – 63 b.
  52. Абжалова Х.Т., Хожиев Ш.Т. Обеднение шлаков кислородно-факельной печи Алмалыкского медного завода // Texnika yulduzlari, № 4, Toshkent: “ToshDTU”, Dekabr, 2019. 53 – 58 b.
  53. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Сайназаров А.М., Курбанов Б.Т. Современное состояние и перспективы развития автогенных процессов переработки сульфидных медных концентратов // Инновационное развитие науки и образования: сборник статей X Международной научно-практической конференции, Состоявшейся 10 марта 2020 г. в г. Пенза. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2020. С. 20 – 24.
  54. Matkarimov S.T., Yusupходjayeв А.А., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Matkarimov Z.T. Technology for the Complex Recycling Slags of Copper Production // Journal of Critical Reviews, Volume 7, Issue 5, April 2020. P. 214 – 220. <http://dx.doi.org/10.31838/jcr.07.05.38>
  55. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Мирзажонова С.Б. Анализ состояния системы в металлургии. Монография // Beau Bassin (Mauritius): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. P. 189. ISBN 978-620-2-52763-7
  56. Khojiev Sh. Modern Scientific Researches in Metallurgy: from Theory to Practice: monograph // Shokhruxh Khojiev (Ed.). - Beau Bassin (Mauritius): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. P. 154. ISBN 978-613-9-47121-8
  57. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Oltin ishlab chiqarishda eritmani zararli unsurlardan tozalash usullari // “Ilm-fan taraqqiyotida zamonaviy metodlarning

- qo‘llanilishi” mavzusidagi ilmiy onlayn konferensiya to‘plami, Toshkent, 27-iyun, 2020. 442 – 446 b.
58. Khojiev Sh.T., Kadirov N.A., Obidov B.M. Development of Alternative Fuel Production Technology by Recycling Polyethylene Bags up to 40 Microns Thick // Proceedings of an international scientific and technical online conference on “Challenges and Prospects Innovative Technics and Technologies in the Security Sphere Environment”, Tashkent, September 17-19, 2020. P. 274 – 276.
  59. Khojiev Sh.T. Improving Environmental Protection as a Result of Non-ferrous Metallurgy Industry Waste Recycling // Proceedings of an international scientific and technical online conference on “Challenges and Prospects Innovative Technics and Technologies in the Security Sphere Environment”, Tashkent, September 17-19, 2020. P. 278 – 280.
  60. Хожиев Ш.Т. Разработка эффективной технологии извлечения меди из конверторных шлаков // Journal of Advances in Engineering Technology, Vol.1(1), Sept, 2020. P. 50 – 56.
  61. Khojiev Sh.T., Yusupkhodjaev A.A., Rakhmonaliev M., Imomnazarov O.O’. Research for Reduction of Magnetite after Converting // Kompozitsion materiallar, 2019, №4. P. 54 – 55.
  62. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Tarkibida yaroqli uglerod saqlagan maishiy chiqindilarni metallurgiya sanoatiga maqsadli yo‘naltirish// “Ishlab chiqarishga innovatsion texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi ilmiy-texnik anjumanining materiallari to‘plami, Jizzax, 18-oktabr, 2020. 21 – 27 b.
  63. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Innovatsion texnologiya orqali metallurgiya sanoati chiqindisini qayta ishlash // “Ishlab chiqarishga innovatsion texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi ilmiy-texnik anjumanining materiallari to‘plami, Jizzax, 18-oktabr, 2020. 329 – 336 b.
  64. Хожиев Ш.Т. Экономическая эффективность использования местных и альтернативных энергетических ресурсов для снижения расхода природного газа на металлургических предприятиях // Материалы республиканской научно-технической конференции «Инновационные разработки в сфере науки, образования и производства – основа инвестиционной привлекательности нефтегазовой отрасли» в г. Ташкент, 3 ноября 2020 г. С. 413 – 416.
  65. Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T., Narkulova E.T., Matkarimov Z.T., Yuldasheva N.S. The Technology for the Reduction of Metal Oxides Using Waste Polyethylene Materials // Conference proceedings of “Metal 2020 29<sup>th</sup> International Conference on Metallurgy and Materials”, May 20 – 22, 2020, Brno, Czech Republic, EU. P. 971-978. <https://doi.org/10.37904/metal.2020.3592>
  66. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Mirsaotov S.U. Mis ishlab chiqarishning chiqindisiz texnologiyasini ishlab chiqish muammolari // “Zamonaviy

- kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 26 – 28 b.
67. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Rangli metallurgiya chiqindilarini qayta ishlashning dolzarbligi // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 61 – 62 b.
  68. Obidov B.M., Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U. Polietilen paketlari chiqindisi ikkilamchi uglevodorod manbai sifatida // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 63 – 64 b.
  69. Каримжонов Б.Р., Бердияров Б.Т., Маткаримов С.Т., Хожиев Ш.Т. Анализ современного состояния переработки цинксодержащих сталеплавильных пылей // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” mavzusidagi Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Buxoro, 4-5 dekabr, 2020. 65 – 66 b.
  70. Khojiev Shokhrukh, Berdiyarov Bakhridin, Mirsaotov Suxrob. Reduction of Copper and Iron Oxide Mixture with Local Reducing Gases // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent, 2020, Vol.10, Iss.4. P. 7-17.
  71. Мирзараимов З.А., Хожиев Ш.Т., Муносибов Ш.М., Муносибов Ш.М., Ирсадиева Д.Б. Восстановление зубьев вала шестерни мельницы МШР 2700×3600 в условиях АО «АГМК» цеха ЦРМЗ // Образование и наука в XXI веке, 10 (4), 2021. С. 347 – 363.
  72. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T., Okhunova R.Kh. Current State Of Copper Smelting Slags And Their Processing: A Review // Central Asian Journal of Literature, Philosophy and Culture, 2021, 02(02). P. 49-55.
  73. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T., Okhunova R.Kh. Comparative Estimation of the Efficiency of Various Materials in the Reduction of Magnetite in Slag Melt // International Journal for Innovative Engineering and Management Research, 2021, 10(03). P. 191-196. doi:10.48047/IJEMR/V10/I03/45
  74. Хожиев Ш.Т., Эргашева М.С. Изучение гарнисажа образовавшегося на внутренней кладке кислородно-факельной печи при плавке сульфидных медных концентратов // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 67-73.
  75. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Термодинамический анализ процесса восстановления феррита меди в присутствии паров аммиака // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 317-322.
  76. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Некоторые термодинамические аспекты восстановления оксидов меди и железа парами аммиака // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 323-327.
  77. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Изучение первопричины потери меди со шлаками // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 328-332.

78. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Исследование формы нахождения цветных металлов в промышленных шлаках // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 333-340.
79. Аламова Г.Х., Хожиев Ш.Т., Охунова Р.Х. Изучение диаграммы состояния многокомпонентной шлаковой системы // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 11(2). С. 341-350.
80. Alamova G.Kh., Jo'raev Sh.Sh., Rakhimov N.S., Khojiev Sh.T. Kinetics of Carbon-Thermal Reduction of Magnetite // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 60-62.
81. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Jo'raev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Use of Waste Automobile Tires as a Reducing Agent in Metallurgy // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 63-65.
82. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Jo'raev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Reduction of Volatile Metal Oxides // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 69-71.
83. Alamova G.Kh., Nazarova Z.S., Khojiev Sh.T., Okhunova R.Kh. Advantages of the Sulfide Concentrate Smelting Process in a Liquid Bath // Студенческий вестник: электрон. научн. журн., Часть 3, 2021, 8(153). С. 66-68.
84. Rakhmataliev Sh.A., Kadirov N.A., Khojiev Sh.T. Lead Smelting Slag Processing // "Ilm-fan va ta'limda innovatsion yondashuvlar, muammolar, taklif va yechimlar" mavzusidagi 9-sonli respublika ilmiy-onlayn konferensiyasi materiallari to'plami. Farg'ona, 28-fevral, 2021-yil, 2-qism. 23-26 b.
85. Hojiyev Sh.T., Mirsaotov S.U., Ergasheva M.S. Metall oksidlarini amminotermik tiklashning ba'zi termodinamik jihatlarini // UzACADEMIA: scientific-methodical journal, Vol. 2, Issue 1(12), 2021. P. 6-16.
86. Khojiev S.T., Nuraliev O.U., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T., Akramov O.A. Some thermodynamic aspects of the reduction of magnetite in the presence of carbon // Universum: технические науки: электрон. научн. журн., Часть 3, 3(84), 2021. P. 60-64. DOI - 10.32743/UniTech.2021.84.3-4
87. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Alamova G.X., Abjalova H.T. Application of Energy-Saving Technology in The Smelting of Copper Sulfide Concentrates in Autogenous Processes // International Journal of Academic and Applied Research, 5(3), 2021. P. 30-33.
88. Khojiev Sh., Berdiyarov B., Yavkochiva D., Abduraimov J. Study of the Factors Influencing the Decoppering Process of Non-Ferrous Metallurgy Slags: A Review // International Journal of Academic and Applied Research, 5(3), 2021. P. 84-93.
89. Ergasheva M.S., Mirsaotov S.U., Khojiev Sh.T. Use of Zinc Plant Clinker as a Reducing Agent in The Processing of Copper Slags // European Scholar Journal, Vol. 2, Issue 3, 2021. P. 218-222.
90. Rakhmataliev Sh.A., Berdiyarov B.T., Kadirov N.A., Khojiev Sh.T. Recycling technology using battery waste and other lead savings of secondary raw materials // ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ, 2021, 12(3). С. 867-880.

91. Khojiev Sh., Nurmatov M. Methods of Using Secondary Energy Resources in Industry // International Journal of Academic and Applied Research, 5(4), 2021. P. 87-96.
92. Khojiev Sh., Berdiyarov B., Samadov A., Narkulova E. New Technology for Decreasing Copper Content in Dump Slags: A Review // International Journal of Academic and Applied Research, 5(4), 2021. P. 212-220.
93. Khasanov A.S., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Abdullaev D.N., Ergashev J.K. New Technological Solutions to Reduce the Copper Content in the Slags of the Oxygen-Flare Smelting of Sulfide Copper Concentrates // International Journal of Academic and Applied Research, 5(4), 2021. P. 206-211.
94. Khojiev Sh., Fayzieva D., Mirsaotov S., Narkulova E. New The Main Trends in the Integrated Processing of Waste from Mining and Metallurgical Industries // International Journal of Engineering and Information Systems, 5(4), 2021. P. 182-188.
95. Khojiev Sh., Berdiyarov B., Gulomov I., Mamatov M. The Current State and Development of the Integrated Use of Technogenic Waste // International Journal of Engineering and Information Systems, 5(4), 2021. P. 189-194.
96. Khojiev Sh., Mirsaotov S., Khamroev J., Khamroqulov Sh. Development of Promising Technologies in the Production of Non-Ferrous Metals and Improvement of Existing Technologies // International Journal of Academic Multidisciplinary Research, 5(4), 2021. P. 356-361.
97. Hojiyev Sh.T., Matkarimov S.T., Akramov O.A. Elektr yoyli po'lat eritish pechi changlarini qayta ishlash asosida qaynoq briketlangan temirli birikma olish // International scientific and scientific-technical conference on "Resource and energy-saving innovative technologies in the field of foundry" April 13-15, 2021, Tashkent. P. 77-78.
98. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т. Способ переработки медных шлаков с использованием отходов автомобильных шин // Заявка на изобретение № IAP 2017 0257, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 1(213). Ташкент, 2019. С. 24-25.
99. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Омонхонов О.Х., Хотамкулов В.Х. Способ переработки сульфидных медных концентратов // Заявка на изобретение № IAP 2018 0095, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 9(221). Ташкент, 2019. С. 22.
100. Обидов Б.М., Хожиев Ш.Т. Способ переработки цинксодержащих отходов металлургического производства // Заявка на изобретение № IAP 2019 0014, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 2(214). Ташкент, 2019. С. 27-28.
101. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Акрамов У.А. Способ получения металлизированных окатышей // Заявка на изобретение № IAP 2019 0523, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № 2(226). Ташкент, 2020. С. 29-30.
102. Abjalova H.T., Hojiyev Sh.T. Tarkibida uglerod saqlagan texnogen chiqindilarni metallurgiya sanoatiga maqsadli yo'naltirish // "Fan va Texnika

- taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika online ilmiy-amaliy anjumanining ma’ruzalar to‘plami, Toshkent, 23-aprel, 2021, ToshDTU. 318 – 319 b.
103. Alamova G.X., Hojiyev Sh.T. Mis boyitmalarining issiqlik berish xususiyatini oshirish // “Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika online ilmiy-amaliy anjumanining ma’ruzalar to‘plami, Toshkent, 23-aprel, 2021, ToshDTU. 312 – 313 b.
  104. Mirsaotov S.U., Hojiyev Sh.T. Mis ishlab chiqarishning kam chiqindili texnologiyasini ishlab chiqish // “Fan va Texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika online ilmiy-amaliy anjumanining ma’ruzalar to‘plami, Toshkent, 23-aprel, 2021, ToshDTU. 314 – 315 b.
  105. Yusupkhodjaev A.A., Khojiev Sh.T., Khayrullayev P.A. Technology for the complex processing of wastes of non-ferrous metallurgy // Proceedings of International Conference on Integrated Innovative Development of Zarafshan Region: Achievements, Challenges and Prospects, Navoi, November 28, 2019. P. 129 – 135.
  106. Юсупходжаев А.А., Хожиев Ш.Т., Акромов У.А. Использование нетрадиционных восстановителей для расширения ресурсной базы ОАО «Узметкомбинат» // Черные металлы, апрель 2021, № 4 (1072). С. 4 – 8. DOI: 10.17580/chm.2021.04.01
  107. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T. Economic efficiency of using secondary energy resources in the industry // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. P. 294 – 298.
  108. Alamova G.Kh., Khojiev Sh.T. Improving properties of molten copper slags // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. P. 301 – 305.
  109. Alamova G.X., Hojiyev Sh.T. Mis boyitmalarining issiqlik berish xususiyatini oshirish // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. 305 – 310 b.
  110. Alamova G.X., Hojiyev Sh.T. Metallurgik jarayonlarni matematik modellashtirish muammolari // Texnika yulduzlari, 2021, №1-2. 314 – 317 b.
  111. Khojiev Sh.T., Ergasheva M.S., Khamroqulov Sh.F., Khamroev J.O’. The Current State of Copper Metallurgy and Its Raw Material Base // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 7-14.
  112. Karimova T.P., Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Bakhodirova N.Q. To Prevent the Loss of Copper with Slag during the Casting of the Converter Slag // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 15-22.
  113. Berdiyarov B., Khojiev Sh., Rakhmataliev Sh., Suyunova M., Rasulova N. Modern Technologies of Aluminum Production // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 100-105.
  114. Mukhametdjanova Sh., Khojiev Sh., Rakhmataliev Sh., Avibakirov I., Mamatov M. Modern Technologies of Copper Production // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 106-120.
  115. Rakhmataliev Sh., Sulstonov Kh., Khojiev Sh., Abdukholiqov A. Modern Technologies of Gold Production // IJEAIS, 5(5), 2021. P. 121-131.

116. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Kadirov N.A., Obidov B.M. and Turan M.D. (2021) Utilization of household waste-based solid fuel // Technical science and innovation: Vol. 2021: Iss.1. P. 168-176.
117. Makhsudova L.T., Khojiev Sh.T., Shamaribkhodjaeva G.J., Annakulova N.K. The Practical Importance of the Use of Innovative Educational Technologies in the Teaching of Technical Sciences // IJAPR, 5(6), 2021. P. 55-63.
118. Khojiev Sh.T., Alamova G.X., Yavkochiva D.O. Application of energy-saving technologies in the autogenous processing of copper sulfide concentrates // International scientific and practical online-conference proceedings of “Innovative solutions to current problems in the field of highmolecular metallorganic compounds”, Part II, Tashkent, May 28, 2021. P. 183 – 185.
119. Khojiev Sh.T., Alamova G.X., Yavkochiva D.O. Application of energy-saving technologies in the autogenous processing of copper sulfide concentrates // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 122 – 123.
120. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Mirsaotov S.U. Development of low waste technology of copper production // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 126 – 127.
121. Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T., Akramov O'.A. Complex processing of zinc-containing waste from non-ferrous and ferrous metallurgy // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 130 – 131.
122. Rakhmataliev Sh.A., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Extraction pure silver from household waste // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 154 – 155.
123. Khojiev Sh.T., Khamroev J.O'., Khamroqulov Sh.F. Complex use of raw materials in the production of non-ferrous metals // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 100 – 101.
124. Khojiev Sh.T., Khamroqulov Sh.F., Khamroev J.O'. Increasing efficiency by partial changing the ore grinding process // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» в г. Алмалык, 27 мая 2021 г. С. 115.

125. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Analysis of Non-Ferrous Metallurgy Waste Processing Capacity // IJEAIS, 5(11), 2021. P. 41-50.
126. Rakhmataliyev Sh.A., Khojiev Sh.T., Kodirov N.A., Berdiyarov B.T., Rakhmonaliev M.M. Analysis of technologies for processing lead-containing minerals // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 185 – 186.
127. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Thermodynamic analysis of molybdenum dioxide acidical oxidation // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 190 – 192.
128. Khojiev Sh.T., Toshpulatov D.D., Berdiyarov B.T., Ismailov J.B. Thermodynamic analysis of aluminothermic reduction of metal oxides // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 207 – 208.
129. Хайруллаев П.Х., Маткаримов С.Т., Мухаметджанова Ш.А., Хожиев Ш.Т. Исследование возможности обогащения титаномагнетитовых руд Тебинбулакского месторождения // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 276 – 278.
130. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Karimova M.Sh. Processing of copper production dust // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 377 – 379.
131. Rakhmataliyev Sh.A., Khojiev Sh.T., Kodirov N.A., Berdiyarov B.T., Gulomov I.I. Investigation of the kinetic possibilities of processing high-zinc-containing slags from lead production // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 383 – 384.
132. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Study of the possibilities of the metallothermic reduction process of zinc ferrite // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 386 – 388.

133. Rakhmataliyev Sh.A., Khojiev Sh.T., Kodirov N.A., Berdiyarov B.T., Shoazizov F.N. Recycling of lead production dust // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 400 – 401.
134. Gulomov I.I., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Rakhmataliyev Sh.A. Mis metallurgiyasida toshqol va chiqindilarni qayta ishlashning ahamiyati // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 419 – 420.
135. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Abjalova H.T. Shlaklar bilan misning isrofini kamaytirish texnologiyasini tadqiq etish // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 420 – 422.
136. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A. Sulfidli mis boyitmalarini oksidlovchi ishtirokida tanlab eritish tadqiqoti // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 154 b.
137. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A., Toshpulatov D.D. Rux ferritini metallik rux bilan tiklanish jarayonining tadqiqoti // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 155 b.
138. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A., Mamatov M.A. Sulfidli mis boyitmalarini oksidlash yo‘li bilan ulardagi misning konsentratsiyasini oshirish // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 156 b.
139. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Muxametdjanova Sh.A., Hamroqulov Sh.F. Nanometallurgiyani rivojlantirishning muammolari // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 157 b.
140. Рахматалиев Ш.А., Хожиев Ш.Т., Кадыров Н.А., Суюнова М.Н. Переработка свинец-содержащих отходов // “Mineral xomashyolar va

- texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 77-78 b.
141. Хожиев Ш.Т., Бердияров Б.Т., Рахматалиев Ш.А., Рахмоналиев М.М., Якубов А.О. Переработка цинксодержащих отходов // “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda fundamental tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar” nomli, professor M.M. Yakubovning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan respublika ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami, Olmaliq, 10-dekabr, 2021. 79-80 b.
142. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T. Thermodynamic analysis of reduction of oxidized copper compounds in a slag phase // Kompozitsion materiallar, 2021, №4. P. 39 – 43.
143. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Oksidlangan mis birikmalarini etil spirti bilan tiklab mis olishning termodinamik tahlili // Texnika yulduzlari, 2021, №4. P. 13 – 18.
144. Berdiyarov B.T., Xasanov A.S., Hojiyev Sh.T., Mutalibxonov S.S., Karimova Sh.K. Mis ishlab chiqarishning silikatli shlaklarini mahalliy tiklovchi moddalar bilan qayta ishlash jarayonining termodinamik imkoniyatlarini o‘rganish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 432-434.
145. Бердияров Б.Т., Хасанов А.С., Исмоилов Ж.Б., Хожиев Ш.Т. Рух ишлаб чиқариш куйиндиларини қайта ишлаш технологиясини такомиллаштириш // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 434-437.
146. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Xasanov A.S., Ochildiyev Q.T. Xalkopirit mineralini oltingugurt bilan termik parchalash orqali hosil bo‘luvchi silikatli shlaklar miqdorini kamaytirish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 556-558.
147. Ochildiyev Q.T., Xasanov A.S., Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T. Metallarning shlak bilan mexanik isrof bo‘lish sabablarini o‘rganish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 564-566.
148. Xasanov A.S., Ochildiyev Q.T., Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T. Silikatli shlak tarkibidan rangli metallarni ajratib olish // Материалы II-Республиканской

- научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022 г. С. 568-571.
149. Хожиев Ш.Т., Бердияров Б.Т., Мухаметджанова Ш.А., Нематиллаев А.И. Некоторые термодинамические аспекты карботермических реакций в системе Fe-Cu-O-C // O‘zbekiston kimyo jurnali. – Toshkent, 2021, – №6. – С. 3 – 13.
150. Hojiyev Sh.T., Matkarimov S.T., To‘xtamurodov F.B., Akramov O‘.A. Po‘lat ishlab chiqarish sanoatining ikkilamchi texnogen chiqindilarini qayta ishlash asosida kukunsimon temirli birikmalar olish // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 61-63.
151. Кадиров Н.А., Туляганов М.И., Хожиев Ш.Т., Рахматалиев Ш.А. Сырьевая база металлургии индия // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 118-120.
152. Kadirov N.A., Khojiev Sh.T., Avbakirov I.F., Rakhmataliyev Sh.A. Copper electrolytic purification method // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 183-186.
153. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Abjalova Kh.T. Determination of the main technological parameters of restoration of the quality of copper in waste slag // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 183-186.
154. Hojiyev Sh.T., G‘ulomov I.I., Raxmataliyev Sh.A., Mamatov M.A. Konvertor shlaklarini sulfidlash jarayonining termodinamik jihatlarini o‘rganish // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 196-198.
155. Tulaganov M.I., Khojiev Sh.T., Rakhmataliyev Sh.A., Umirkulov X.A. Modern technology of zinc production // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. С. 225-228.
156. Хожиев Ш.Т., Тўхтамуродов Ф.Б., Акрамов Ў.А., Мама Назаров А.Х. Мониторинг процесса удаления кислорода на заключительном этапе выплавки стали // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi Xalqaro miqiyosdagi

- ilmiy va ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 23-24 mart, 2022 y. C. 381-383.
157. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Metall oksidlarini alyuminotermik tiklashning termodinamik tahlili // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 255-256.
158. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Rux ferritini metallotermik tiklanish jarayonining imkoniyatlarini o‘rganish // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 256-258.
159. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Xalkopiritni ozon yordamida kislotali muhitda oksidlanish jarayonining termodinamikasini o‘rganish // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 258-259.
160. Toshpo‘latov D.D., Hojiyev Sh.T. Molibden dioksidini kislotali oksidlashning termodinamik tahlili // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 260-261.
161. Karimova M.Sh., Hojiyev Sh.T. Konvertor changlarini gravitatsion usulda qayta ishlash // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 21-23 aprel, 2022 y. C. 307-309.
162. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T., Munosibov Sh. Study of the thermodynamic properties absorption sulfur storage gas of zinc and copper industry // Technical science and innovation, Vol. 2021, Iss.4. P. 293-301.
163. Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Tulaganov M.I., Umirkhulov H.A. Modern technologies of tungsten production // Образование и наука в XXI веке, 2022, 25(3). C. 1210-1219.
164. Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Tulaganov M.I., Rakhmonaliyev M.M. Modern technologies of zinc production // Моя профессиональная карьера, 2022, 35(8). C. 266-275.
165. Хасанов А.С., Бердияров Б.Т., Хожиев Ш.Т., Очилдиев К.Т., Курбонов Ж.М. Актуальные проблемы формирования кластера медной промышленности // Материалы международной научно-технической конференции «Риски, вызовы и проблемы XXI века в цифровой трансформации рационального и безопасного недропользования», Ташкент, 21 мая 2022. С. 301 – 305.
166. Khojiev Sh.T., Suyunova M.N., Saidova M.S., Yarashev U.Q. Thermodynamical Properties of the Process of Sintering of Iron Storage Copper Concentration Factories with Lime // International Journal of Engineering and Information Systems, 6(5), 2022. P. 11-16.
167. Khojiev Sh.T., Qo‘shboyeva D.D., Rizaqulova K.I., Tojiddinova M.K. Efficient and low-waste technology of uranium production // Образование и наука в XXI веке, 2022, 26(8). C. 276-288.

168. Khojiev Sh.T., Rakhmataliyev Sh.A., Turolov B.T., Normurodov B.T. Economic efficiency of the use of local and alternative energy resources to reduce natural gas consumption at metallurgical enterprises // Образование и наука в XXI веке, 2022, 26(8). С. 289-292.
169. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., G'ulomov I.I., Raxmataliyev Sh.A. Mis metallurgiyasida konvertor shlaklarini qayta ishlashning samaradorligini oshirish // Образование и наука в XXI веке, 2022, 26(2). С. 147-153.
170. Ҳожиёв Ш.Т. Мис ишлаб чиқариш шлаklarини яроқсиз автомобил шиналари билан қайта ишлаш орқали атроф-муҳит муҳофазасини яхшилаш // Материалы международной конференции «Современные проблемы экологии и охраны окружающей среды и биотехнологии», Ташкент, 15-16 июня 2022 г. С. 239 – 240.
171. Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Nuraliyev O.U., Mirsaotov B.U., Mirsaotov S.U., Osmanov Z.B. Quality Steel Production Research Based on the Introduction of Deoxidation Technology // International Journal of Engineering and Information Systems, 5(12), 2021. P. 91-101.
172. Berdiyarov B., Khojiev Sh., Nuraliyev O., Mirsaotov B., Mirsaotov S., Osmanov Z. Monitoring the oxygen removal process at the final stage of melting steel // Journal of Physics: Conference Series, 2131(2), 2021. P. 022071. doi:10.1088/1742-6596/2131/2/022071
173. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Kholboev N.M. Research On The Extraction Of Iron Oxide From Iron-Bearing Tailings Of Concentrating Plants // International Journal of Academic and Applied Research, 6(6), 2022. P. 83-87.
174. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Mirzajonova S.B., Ibrokhimov H.X., Ismatov Sh.O'. Development of Technology for Processing Zinc Cakes Based on the Use of Petroleum Coke // International Journal of Academic Engineering Research, 6(6), 2022. P. 23-28.
175. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., O'rinboyev M.J. Modern Methods of Coating Zinc and Chromate Shells on the Surface of Structural Materials // International Journal of Engineering and Information System, 6(6), 2022. P. 1-6.
176. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Jorayeva A.J., Kholmominova S.F. Thermodynamic Analysis Of Chalcopyrite Oxidation-Reduction Process // International Journal of Engineering and Information System, 6(6), 2022. P. 96-101.
177. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Kholmominova S.F. Technological analysis of the process of metals recovery of large dust from the converter using metallurgical methods // International Journal of Engineering and Information System, 6(7), 2022. P. 67-71.
178. Khasanov A.S., Ochildiyev Q.T., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T. Study thermodynamics of the magnetite sulfidation in copper smelting processes // Technical science and innovation, Vol. 2022, Iss.2. P. 19-27.
179. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Khotamqulov V.X., Saidqulov A.G'. Cost-Effective Technology of Selenium Extraction from Copper Production Waste

- and Intermediate Products: A Review // International Journal of Academic Engineering Research, 6(9), 2022. P. 14-16.
180. Yusupxodjayev A.A., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: darslik. – Toshkent: “Lesson press” nashriyoti, 2022. – 258 b. ISBN 978-9943-8648-8-7
181. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Gapparova M.M. Rux ferritini elementar oltingugurt bilan tiklash jarayonining termodinamik jihatlari // Kompozitsion materiallar, № 3, 2022. P. 65-69.
182. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Abjalova Kh.T. Technology of increasing complex use of raw materials in non-ferrous metallurgy of Uzbekistan // Texnika yulduzlari, № 3, 2022. P. 3-9.
183. Hojiyev Sh.T., Toshpo‘latov D.D., Xolmo‘minova S.F. Temir (II)-metasilikatini ohak bilan ta’sirlashuvining termodinamik imkoniyatlarini o‘rganish // Texnika yulduzlari, № 3, 2022. P. 22-29.
184. Hojiyev Sh.T., Akramov O‘.A., Toshpo‘latov D.D., Halimova A.A. Tarkibida temir saqlagan boyitish fabrikalari chiqindisidan temir oksidini ajratib olish tadqiqoti // Texnika yulduzlari, № 3, 2022. P. 42-49.
185. Khasanov A.S., Ochildiev Q.T., Khojiev Sh.T., Mashokirov A.A. Transfer of copper cations in iron vacancies of non-stoichiometric wustite in the magnetite phase // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – Москва, 2022. – № 10(103), часть 6. – С. 19-22.
186. Khasanov A.S., Khojiev Sh.T., Ochildiev Q.T., Abjalova Kh.T. The main factors affecting the rate of separation of the slag and matte phases by their density: a general overview // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – Москва, 2022. – № 10(103), часть 6. – С. 23-27.
187. Khasanov A.S., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ochildiev Q.T., Matkarimov S.T. Improvement of technology for processing sulfide copper concentrates in smelting furnaces // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 28.
188. Berdiyarov B.T., Ismailov J.B., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T. Reduction of zinc cake by hydrogen (H<sub>2</sub>) in a weakly reducing gas atmosphere // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 31.
189. Sultonov Kh.Sh., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T. Dependence of the size of zinc powder on the degree of precipitation of gold // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 35.
190. Kadirov N.A., Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Karimov O.M. A mechanism for extracting drilling fluid from secondary lead slag // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 37.
191. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Abjalova Kh.T., Alamova G.Kh. Use of physical properties of charge components for analysis of metallurgical processes

- // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 39.
192. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Xotamqulov V.X., Ismatov Sh.O‘. Oltinugurt dioksidining rux kekiga ta’sirini o‘rganish // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 42.
  193. Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A., Alamova G.X. Qo‘rg‘oshinli xomashyolarni kompleks qayta ishlash usullari // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 44.
  194. Khojiev Sh.T., Norboyeva G.G. Selective oxidation of iron in sulphide copper concentrates // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 46.
  195. Hojiyev Sh.T., Norboyeva G.G‘. Texnogen chiqindilardan temir birikmalarini ajratib olish usuli // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 49.
  196. Sultonov Kh.Sh., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ochildiev K.T. Improvement of the technology for obtaining activated carbon for gold sorption using angron coal // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 53.
  197. Toshpulatov D.D., Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Rakhmataliyev Sh.A. Technology of increasing the cathode surface in electrolytic refining of copper anode // Proceedings of Uzbekistan-Japan International Conference on “Energy-Earth-Environment-Engineering”, Tashkent, November 17-18, 2022. P. 104.
  198. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T., Kholmominova S.F., Rakhmataliyev Sh.A. Innovative technology of hydrometallurgical recycling of soft dust from the converter // Образование и наука в XXI веке, 2022, 31(2). С. 306-313.
  199. Ochildiev Q.T., Khasanov A.S., Khojiev Sh.T. Comparative evaluation of the efficiency of various materials in the process of reducing magnetite from slag melt // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – Москва, 2022. – № 11(104), часть 7. – С. 22-24.
  200. Samadov A.U., Khojiev Sh.T., Jalolov B.A., Muzafarova N.M. Development of the Technology for Reduction of Magnetite from Slags of Copper Smelters and Improvement of Its Sulphidation Efficiency // International Journal of Engineering and Information Systems, 6(11), 2022. P. 13-21.
  201. Hojiyev Sh.T., Alamova G.X., Esonova M.O., Suyarova M.N. Yuqori o‘tkazuvchanlikka ega temir nanozarralarini olishning biogidrometallurgik usuli // “Materialshunoslik, materiallar olishning innovatsion texnologiyalari va payvaddash ishlab chiqarishning dolzarb muammolari – 2022” mavzusidagi

- Respublika ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 19-noyabr, 2022. S. 137 – 139.
202. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Toshpo‘latov D.D., Alamova G.X. Katod matritsalarini tayyorlashda mis sarfini tejash // “Materialshunoslik, materiallar olishning innovatsion texnologiyalari va payvamlash ishlab chiqarishning dolzarb muammolari – 2022” mavzusidagi Respublika ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 19-noyabr, 2022. S. 139 – 141.
203. Hojiyev Sh.T., Zubaydullayev A.U., Muhammadov S.M., Sanaqulova S.O. Sifatli kumush nanozarralarini olishning yangi biometallurgik usuli // “Materialshunoslik, materiallar olishning innovatsion texnologiyalari va payvamlash ishlab chiqarishning dolzarb muammolari – 2022” mavzusidagi Respublika ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 19-noyabr, 2022. S. 141 – 142.
204. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Rakhmataliyev Sh.A., Rakhmatov H.X. A new method of enlarging the cathode surface to increase the current yield of copper during electrolysis // Образование и наука в XXI веке, 2022, 32(2). С. 8-19.
205. Khojiev Sh.T., Rakhmataliyev Sh.A., Sanaqulova S.O., Alamova G.X. The relevance and statistics of the last five years of lead production // Образование и наука в XXI веке, 2022, 32(2). С. 153-172.
206. Khojiev Sh.T., Rakhmataliyev Sh.A., Alamova G.X., Sanaqulova S.O. Extraction of metal nanoparticles by biometallurgical method // Образование и наука в XXI веке, 2022, 32(2). С. 173-178.
207. Khojiev Sh.T., Rakhmataliyev Sh.A., Alamova G.X., Toshpulatov D.D. Bacterial leaching technology of sulfide ores containing gold and some of its economic indicators // Образование и наука в XXI веке, 2022, 32(2). С. 179-186.
208. Хожиев Ш.Т., Рахматалиев Ш.А., Жураев Ф.У., Хасанов А.С. Использование восстановительного потенциала отходов вторичного переплавления алюминиевых материалов // Образование и наука в XXI веке, 2022, 32(2). С. 187-195.
209. Khojiev Sh., Rakhmataliyev Sh., Ismatova S., Soatov A. Efficient organization of the electrolysis process in copper production and calculation of technological processes // Образование и наука в XXI веке, 2022, 32(2). С. 227-243.
210. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Matkarimov S.T., Ismatov Sh.O. Selective reduction of trivalent iron in zinc ferrite using elemental sulphur // Technical science and innovation, Vol. 2022, Iss.3. P. 51-59.
211. Khasanov A.S., Eshonqulov U.X., Khojiev Sh.T. Technology for the Reduction of Iron Oxides in Fluidized Bed Furnaces // International Journal of Engineering and Information Systems, 6(12), 2022. P. 23-29.
212. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Alamova G.Kh. Thermodynamic aspects of the process of reducing zinc ferrite with elemental sulfur // Texnika yulduzlari, № 4, 2022. P. 75-79.

213. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Alamova G.X. Rux zavodi keklarini sulfidlash texnologiyasini ishlab chiqish // *Texnika yulduzlari*, № 4, 2022. P. 84-90.
214. Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A., Jo'rayev F.U., Xasanov A.S. Alyuminiy qotishmalarini eritishdagi hosil bo'lgan shlaklarni qayta ishlash // *Образование и наука в XXI веке*, 2022, 33(2). С. 172-177.
215. Saidova M.S., Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A., Soatov A.H., Ismatova S.T. Germaniy metalini olinishi va qo'llanilish sohalari // *Образование и наука в XXI веке*, 2022, 33(2). С. 215-223.
216. Saidova M.S., Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A., Ismatova S.T. Litiy metalini ishlab chiqarish va qo'llanilishi // *Образование и наука в XXI веке*, 2022, 33(2). С. 224-232.
217. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Sultonov H.Sh., Esonova M.O. Development of Sorption Technology Leaching of Gold-Containing Ores to Reduce Slip and Loss of Gold with Tails // *International Journal of Engineering and Information Systems*, 7(1), 2023. P. 5-14.
218. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T. *Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashg'ulotlarni bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* –Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 100.
219. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ochildiyev Q.T. *Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* – Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 40.
220. Bolibekov M.Sh., Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A. *Metallurgik zavodlarni loyihalash: amaliy mashg'ulotlarni bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* – Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 84.
221. Berdiyarov B.T., Nosirxo'jayev S.Q., Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A. *Og'ir rangli metallar metallurgiyasi: amaliy mashg'ulotlarni bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* – Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 61.
222. Berdiyarov B.T., Nosirxo'jayev S.Q., Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A. *Og'ir rangli metallar metallurgiyasi: kurs ishini bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* –Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 74.
223. Berdiyarov B.T., Nosirxo'jayev S.Q., Hojiyev Sh.T., Raxmataliyev Sh.A. *Og'ir rangli metallar metallurgiyasi: laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* –Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 20.
224. Hojiyev Sh.T., Nuraliyev O.U., Sultonov X.Sh. *Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashg'ulotlarni bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* – Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 84.
225. Hojiyev Sh.T., Nuraliyev O.U., Sultonov X.Sh. *Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi: laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy qo'llanma.* –Toshkent: ToshDTU, 2023. S. 20.
226. Khojiev Sh.T., Nosirkhujayev S.Q., Raxmataliyev Sh.A., Norboyeva G.G. Research on the production of metallized iron concentrates using local raw materials of Uzbekistan // *Образование и наука в XXI веке*, 2023, 35(2). С. 289-299.

227. Хожиев Ш.Т., Саидова М.С., Норбоева Г.Г., Суярова М.Н. Исследование технологии удаления кислорода из сталеплавильной ванны металлическим алюминием // Образование и наука в XXI веке, 2023, 35(2). С. 305-309.
228. Khasanov A.S., Ochildiev K.T., Khojiev Sh.T., Mutalibkhonov S.S. Determination of the theoretical viscosity of the converter slag and the factors affecting it // Kompozitsion materiallar, № 1, 2023. P. 48-52.
229. Hojiyev Sh.T., Muhammadov S.M., Yarashev U.K., Xolboyev N.M. Universal metallurg: metallar va ularni ishlab chiqarish texnologiyalari. –Toshkent: “Lesson press”, 2023. – 124 b. ISBN 978-9943-9364-7-8
230. Suyarova M.N., Hojiyev Sh.T. Abdulla Qodiriyning hayoti va ijodi // Образование и наука в XXI веке, 2023, 34(4). С. 35-39.
231. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Abjalova H.T. Application of technology of reduction of waste of copper with slag // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 27-28 aprel, 2023 y. С. 373-375.
232. Nosirkhujayev S.Q., Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Karimov O.M. Surface treatments on steels to enhance dissolution resistance in metal melts while maintaining good wettability // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 27-28 aprel, 2023 y. С. 397-399.
233. Khojiev Sh.T., Mirsaotov S.U. Necessity and urgency of developing non-coke technology of iron production // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 27-28 aprel, 2023 y. С. 419-421.
234. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Abdikarimov M.Z. Modern state and prospects of copper production // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 27-28 aprel, 2023 y. С. 502-504.
235. Hojiyev Sh.T., Tolibov B.I., Alamova G.X. Mis ishlab chiqarishda avtogen jarayonlarni qo‘llashning ahamiyati: Isasmelt texnologiyasi misolida // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 27-28 aprel, 2023 y. С. 505-506.
236. Khojiev Sh.T., Nosirkhujayev S.Q., Nurmatov M.N. Important aspects of zinc production industry waste processing // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 27-28 aprel, 2023 y. С. 516-518.
237. Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T., Nuraliev O.U., Odilov A.A. Relevance and importance of processing steelmaking mill scale // “Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 27-28 aprel, 2023 y. С. 518-520.
238. Khasanov A.S., Khojiev Sh.T., Munosibov Sh.M., Khatamkulov V.X. Studying the absorption of a mixture of gases containing sulfur oxides in an alkaline medium // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – Москва, 2023. – № 5(110), часть 6. – С. 56-59.

239. Khasanov A.S., Khojiev Sh.T., Munosibov Sh.M., Khatamkulov V.X. Thermodynamics, kinetics and mechanism of absorption of a mixture of gases consisting of sulfur oxides into alkaline solutions // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* – Москва, 2023. – № 5(110), часть 6. – С. 60-62.
240. Hojiyev Sh.T., Muhammadiyev Sh.A., Ismatov Sh.O‘., Formanov F.T. Temir boyitmasi va polietilen chiqindisi aralashmasidan agromerat olish jarayonining ba’zi termodinamik jihatlarini o‘rganish // *Образование и наука в XXI веке*, 2023, 38(2). С. 250-258.
241. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Muhammadiyev Sh.A., Formanov F.T. Temir boyitmasini polietilen chiqindisi bilan ko‘machlash orqali temir agromerati olish jarayonining mexanizmi va kinetikasini o‘rganish // *Образование и наука в XXI веке*, 2023, 38(2). С. 259-265.
242. Khudoykulov K., Imomov Sh., Khojiev Sh., Sultonov Kh. Study of possibilities of selective oxidation of iron in chalcopyrite // *Студенческий вестник: электрон. научн. журн.* – Москва, 2023. – № 20(259), часть 16. – С. 12-14.
243. Khudoykulov K., Imomov Sh., Javliev J., Khojiev Sh., Sultonov Kh. Importance of hydrometallurgical processing of sulphide copper concentrates // *Студенческий вестник: электрон. научн. журн.* – Москва, 2023. – № 20(259), часть 16. – С. 15-17.
244. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Rakhmatalliev Sh.A., Karimov O.M. Processing of secondary ferrous waste is a technology for processing dust generated in furnaces // *Образование и наука в XXI веке.* – Москва, 2023. – № 38(2). – С. 21.
245. Khojiev Sh.T., Nosirkhujayev S.Q., Nurmatov M.N. Important aspects of zinc production industry waste processing // “Hozirgi zamon falsafasining dolzarb masalalari” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 19-20 aprel, 2023 y. P. 261-263.
246. Hojiev Sh.T., Mirsaotov S.U. Определение технических принципов электролитического осаждения железа из раствора // “Hozirgi zamon falsafasining dolzarb masalalari” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 19-20 aprel, 2023 y. С. 335-337.
247. Hojiyev Sh.T., Tolibov B.I., Alamova G.X. Mis ishlab chiqarishda avtogen jarayonlarni qo‘llashning ahamiyati: Isasmelt texnologiyasi misolida // “Hozirgi zamon falsafasining dolzarb masalalari” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 19-20 aprel, 2023 y. S. 383-385.
248. Munosibov Sh., Hojiyev Sh., Yusupov U., Usmanqulov O. Texnogen chiqindi, gaz va changlardan reniyni ajratib olishda jarayonga ta’sir qiluvchi omillarni aniqlash // “Atrof-muhit muhofazasi va ekologik rayonlashtirish: muammo va yechimlar” nomli xalqaro ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 7-iyun, 2023 y. S. 749-755.
249. Munosibov Sh., Xasanov A., Negmatov S., Hojiyev Sh. Oltingugurt oksidlaridan iborat gazlar aralashmasini ishqoriy eritmalarga

- absorbsiyalanishining nazariyasi // “Atrof-muhit muhofazasi va ekologik rayonlashtirish: muammo va yechimlar” nomli xalqaro ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Toshkent, 7-iyun, 2023 y. S. 790-796.
250. Hasanov A., Negmatov S., Munosibov Sh., Usmankulov O., Hojiyev Sh. Texnologik oqova gazlarni ishqoriy eritmada absorbsiyalash jarayonini tadqiq qilish // Kompozitsion materiallar. – 2023. – T. 2023. – №. 2. – С. 26-30.
251. Hojiyev Sh.T., Berdiyarov B.T., Nuraliyev O.U. Temir kuyindilarini vodorodotermik qayta ishlashning ba’zi termodinamik jihatlarini o‘rganish // Kompozitsion materiallar. – 2023. – T. 2023. – №. 2. – С. 43-46.
252. Hasanov A., Negmatov S., Munosibov Sh., Hojiyev Sh. Oltingugurt dioksidini ishqoriy eritmaga absorbsiyalash jarayonlarining asosiy texnologik parametrlarini aniqlash // Kompozitsion materiallar. – 2023. – T. 2023. – №. 2. – С. 130-134.
253. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Matkarimov S.T., Nosirxo‘jayev S.Q. Metallurgiyada biotexnologik jarayonlar: darslik. – Toshkent: “Lesson press”, 2023. – 178 b. – ISBN 978-9943-0000-0-1
254. Бердияров Б.Т., Маткаримов С.Т., Носирхужаев С.К., Хожиев Ш.Т. Металлургия благородных металлов: учебник. – Ташкент: “Ziyo nashr-matbaa”, 2023. – 205 с. – ISBN 978-9943-9746-7-8
255. Hojiyev Sh.T., Akramov O‘.A., Yusupходjayeв A.A., Berdiyarov B.T., Nuraliyev O.U. Metallashtirilgan okatishlarni olish usuli // Ixtiroga patent № IAP 07414, O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining rasmiy axborotnomasi, № 6(267), Toshkent, 2023. S. 64-65.
256. Munosibov Sh., Hasanov A., Hojiyev Sh., Maxsitaliyeva L. Oltingugurt oksidlaridan iborat gazlarni ishqoriy eritmalarda absorbsiyalanishining termodinamikasi, mexanizmi va kinetikasi // Материалы Республиканской научно-технической конференции “Прогрессивные технологии получения композиционных материалов на основе местного и вторичного сырья”, Ташкент, 14-15 сентябрь, 2023 г. С. 119-120.
257. Hojiyev Sh.T. Mahalliy ikkilamchi hosil bo‘lgan texnogen chiqindilardan foydalanish asosida mis ishlab chiqarish shlaklarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish: t.f.f.d. (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati. – Toshkent: 2022. 46 b.
258. Yusupходzhaev A.A., Khozhiev Sh.T., Akramov U.A. Use of non-traditional reducing agents to expand the resource base of OJSC Uzmetkombinat // Chernye Metally, Volume 2021, Issue 4. P. 4 – 8.
259. Хожиев Ш.Т., Акрамов У.А., Юсупходжаев А.А., Бердияров Б.Т., Нуралиев О.У. Способ получения металлизированных окатышей // Патент на изобретение № IAP 07414, Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, № 6(267), Ташкент, 2023. С. 64-65.
260. Khojiev Sh.T., Akramov U.A., Yusupходjaev A.A., Berdiyarov B.T., Nuraliyev O.U. Method for producing metallized pellets // Patent for invention

- No. IAP 07414, Official Bulletin of the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan, No. 6(267), Tashkent, 2023. pp. 64-65.
261. Khojiev Sh. T., Saidova M. S., Sultonov H. Sh., Esonova M. O. Development of Sorption Technology Leaching of Gold-Containing Ores to Reduce Slip and Loss of Gold with Tails //International Journal of Engineering and Information Systems. – 2023. – Т. 7. – №. 1. – P. 5-14.
262. Khudoykulov K., Imomov Sh., Khojiev Sh., Sultonov Kh. Study of possibilities of selective oxidation of iron in chalcopyrite //Студенческий вестник. – 2023. – Т. 20. – №. 259. – P. 12-14.
263. Khudoykulov K., Imomov Sh., Javliev J., Khojiev Sh., Sultonov Kh. Importance of hydrometallurgical processing of sulphide copper concentrates //Студенческий вестник. – 2023. – Т. 20. – №. 259. – P. 15-17.
264. Rakhmataliyev Sh., Sultonov Kh., Khojiev Sh., Abdukholiqov A. Modern Technologies of Gold Production //IJEAIS. – 2021. – Т. 5. – №. 5. – P. 121-131.
265. Sultonov Kh. Sh., Berdiyarov B. T., Khojiev Sh. T. Dependence of the size of zinc powder on the degree of precipitation of gold //Energy-Earth-Environment-Engineering. – 2022. – P. 35.
266. Sultonov Kh. Sh., Berdiyarov B. T., Khojiev Sh. T., Ochildiev K.T. Improvement of the technology for obtaining activated carbon for gold sorption using angren coal //Energy-Earth-Environment-Engineering. – 2022. – P. 53.
267. Hojiyev, Sh.T., Nuraliyev, O.U., Sultonov, X.Sh. Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashg'ulotlarni bajarish uchun uslubiy qo'llanma / – Toshkent : ToshDTU, 2023. – 84 b.
268. Хожиев, Ш.Т., Нуралиев, О.У., Султонов, Х.Ш. Теория пирометаллургических процессов: Методические указания к практическим занятиям / – Ташкент : ТашГТУ, 2023. – 64 с.
269. Hojiyev, Sh.T., Nuraliyev, O.U., Sultonov, X.Sh. Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi: laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy qo'llanma / – Toshkent : ToshDTU, 2023. – 20 b.
270. Хожиев, Ш.Т., Нуралиев, О.У., Султонов, Х.Ш. Теория пирометаллургических процессов: Методические указания к лабораторным работам / – Ташкент : ТашГТУ, 2023. – 25 с.
271. Мухаметджанова, Ш.А., Нуралиев, О.У., Рахматалиев, Ш.А., Султанов, Х.Ш. Тепло- и массообмен в металлургических процессах: Методические указания к лабораторным работам / – Ташкент : ТашГТУ, 2023. – 52 с.
272. Мухаметджанова, Ш.А., Нуралиев, О.У., Рахматалиев, Ш.А., Султанов, Х.Ш. Тепло- и массообмен в металлургических процессах: Методические указания к практическим занятиям / – Ташкент : ТашГТУ, 2023. – 80 с.
273. Berdiyarov, B.T., Matkarimov, S.T., Nosirxo'jayev, S.Q., Sultonov, X.SH. Nodir metallar metallurgiyasi fanidan amaliy mashg'ulotlarni bajarish uchun uslubiy qo'llanma / – Toshkent : ToshDTU, 2023. – 76 b.
274. Бердияров, Б.Т., Маткаримов, С.Т., Носирхужаев, С.К., Султанов, Х.Ш. Металлургия благородных металлов: Методические указания к практическим занятиям / – Ташкент : ТашГТУ, 2023. – 78 с.

275. Berdiyarov, B.T., Matkarimov, S.T., Nosirxo‘jayev, S.Q., Sultonov, X.SH. Nodir metallar metallurgiyasi fanidan laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy ko‘rsatmalar / – Toshkent : ToshDTU, 2023. – 22 b.
276. Бердияров, Б.Т., Маткаримов, С.Т., Носирхужаев, С.К., Султанов, Х.Ш. Металлургия благородных металлов: Методические указания к лабораторным работам / – Ташкент : ТашГТУ, 2023. – 78 с.