

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

По дисциплине: Б1.В.02.06 Физико-химические основы металлургических процессов
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: химии и строительного материаловедения
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) С.А. Кузнецов, профессор, д.х.н., Ю.В. Стулов, доцент, к.х.н.
ФИО, должность, ученая степень, (звание)

Апатиты

2019

Пояснительная записка

1. **Методические указания** составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного 17 июля 2017 года приказом МИНОБРНАУКИ № 671, учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, по профилю неорганическая химия и химия координационных соединений, 2019 года начала подготовки.

2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля)

Целью дисциплины (модуля) является формирование компетенций в соответствии с ФГОС по направлению подготовки бакалавра и учебным планом для направления подготовки 04.03.01 Химия и ознакомление студентов с самыми современными электрохимическими производствами важнейших цветных, редких и благородных металлов.

Задачи:

- усвоение студентами теоретических основ электрохимических процессов в растворах и расплавах электролитов;
- практическое ознакомление с процессами электролиза;
- практическое ознакомление с современными электрохимическими производствами.

3. Планируемые результаты обучения в рамках данной дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, по профилю неорганическая химия и химия координационных соединений:

ПК-2-г. Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции.

Таблица 1. - Результаты обучения

№ п/п	Код и содержание компетенции	Степень реализации компетенции	Этапы формирования компетенции (Индикаторы сформированности компетенций)
1.	ПК-2-г. Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции	Компоненты реализации компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью	ИД Знает и использует основы электрохимических процессов в растворах и расплавах электролитов для решения металлургических задач знать: основные металлургические и электрохимические законы и теории; - экономические показатели производств уметь: анализировать и систематизировать общепрофессиональные знания; владеть: методами оценки эффективности металлургических производств и определения физико-химических свойств металлосодержащих систем. Индикаторы сформированности компетенций: ПК-2-г-1. Выполняет стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции химического производства ПК-2-г-2. Составляет протоколы испытаний, паспорта химической продукции, отчеты о

			выполненной работе по заданной форме
--	--	--	--------------------------------------

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Морачевский А.Г.. Физическая химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. СПб.: Лань, 2015. <https://e.lanbook.com/book/64335> .
2. Морачевский А.Г. Физическая химия. Термодинамика химических реакций. СПб.: Лань, 2015. <https://e.lanbook.com/book/64336>
3. Кузнецов С.А. Учебное пособие «Физико-химические методы исследования солевых расплавов» 138 с. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2013.
4. Морачевский А.Г., Фирсова Е.Г. Физическая химия. Гетерогенные системы. СПб.: Лань, 2015. <https://e.lanbook.com/book/60048>
5. Седнева Т.А. Учебное пособие. «Физико-химические основы металлургических процессов». Мурманск: Изд-во МГТУ, 2009.
6. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112345.html?SSr=010134171b106b0b2512518>
7. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия. Химия, Колос, 2008.

Дополнительная литература

1. Баймаков, Ю.В. Электролиз в металлургии / Ю.В. Баймаков. – Москва : Metallurgizdat, 1944. – Т. 2. – 407 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=132738&sr=1
2. Коллектив авторов. Сборник задач по электрохимии : учеб. пособие для вузов / Коллектив авторов, Н. А. Колпакова, Л. С. Анисимова; ред. Колпакова Н. А. - М. : Высшая школа, 2003. - 143 с.

РАСЧЕТНОГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

Часть №1 Расчет мольного объема бинарных солевых систем

**объектов: $KCl-K_2TaF_7$, $NaCl-K_2TaF_7$, $CaCl-K_2TaF_7$, $KCl-K_2NbF_7$, $NaCl-K_2NbF_7$
для температур 1100÷1150К**

1. Рассчитать плотность двойной системы и построить зависимость $\rho = f(\text{состав})$.
2. Рассчитать идеальный мольный объем системы. Построить график зависимости $V_M^{\text{ид}} = f(X)$.
3. Рассчитать мольный объем системы. Построить график зависимости $V_M = f(X)$.
4. Рассчитать избыточный мольный объем $V_M^E = V_M - V_M^{\text{ид}}$ и построить график $V_M^E = f(X)$.
5. Построить график зависимости $(V - V_{\text{адд}})/V \cdot 100\% = f(X)$.

Таблица 1. Плотность расплавленных бинарных смесей $MCl - K_2TaF_7$ и $MCl - K_2NbF_7$ (M – K, Na, Ca)

Вариант №1

Солевая система $CsF-CsTaF_6$ Температура 1100К

Содержание	$\rho = a + b \cdot T, \text{ г/см}^3$
------------	--

CsTaF₆, мол. %	a	-b·10³
0	4.951	1.347
10	5.033	1.361
20	5.033	1.330
30	5.046	1.310
40	5.017	1.266
50	5.468	1.677
60	5.479	1.733
70	5.377	1.771
80	5.314	1.866
90	5.227	1.940
100	5.139	2.034

Вариант №2

Солевая система CsF-CsNbF₆ Температура 1100K

Содержание CsNbF₆, мол. %	ρ=a+b·T, г/см³	
	a	-b·10³
0	4.951	1.347
10	5.305	1.820
20	5.096	1.720
30	4.904	1.630
40	5.068	1.835
50	4.953	1.800
60	5.321	2.245
70	5.498	2.523
80	5.412	2.552
90	5.667	2.905
100	5.588	2.950

Вариант №3

Солевая система KF-K₂TaF₇ Температура 1100K

Содержание K₂TaF₇, мол. %	ρ=a+b·T, г/см³	
	a	-b·10³
0	2.746	0.740
10	3.177	0.797
20	3.372	0.773
30	3.575	0.820
40	3.677	0.812
50	3.835	0.878
60	4.009	0.982
70	4.169	1.082
80	4.251	1.122
90	4.534	1.351
100	4.715	1.494

Вариант №4

Солевая система KF-K₂NbF₇ Температура 1100K

Содержание K₂NbF₇, мол. %	ρ=a+b·T, г/см³	
	a	-b·10³
0	2.746	0.740
10	2.888	0.749
20	3.096	0.870

30	3.171	0.886
40	3.277	0.933
50	3.281	0.908
60	3.327	0.935
70	3.358	0.953
80	3.386	0.970
90	3.419	0.996
100	3.500	1.069

Вариант №5

Солевая система $KCl-K_2TaF_7$ Температура 1100K

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$\rho=a+b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	2.125	0.568
10	2.545	0.658
20	2.870	0.727
30	3.146	0.799
40	3.497	0.961
50	3.700	1.012
60	3.927	1.108
70	3.909	0.993
80	3.921	0.933
90	4.340	1.224
100	4.666	1.457

Вариант №6

Солевая система $NaCl-K_2TaF_7$ Температура 1000K

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$\rho=a+b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	2.144	0.545
10	2.643	0.608
20	3.056	0.766
30	3.296	0.802
40	3.525	0.870
50	3.778	0.994
60	3.881	0.986
70	3.991	1.010
80	4.142	1.097
90	4.501	1.381
100	4.666	1.457

Вариант №7

Солевая система $CsCl-K_2TaF_7$ Температура 1100K

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$\rho=a+b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	3.773	1.067
10	3.702	0.961
20	3.863	1.045
30	3.981	1.109
40	3.920	1.006
50	3.950	0.990

60	3.937	0.941
70	4.099	1.037
80	4.297	1.186
90	4.388	1.247
100	4.666	1.457

Вариант №8

Солевая система $KCl-K_2NbF_7$ Температура 1100K

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$\rho=a+b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	2.125	0.568
10	2.473	0.732
20	2.678	0.799
30	2.793	0.814
40	2.894	0.836
50	2.983	0.861
60	3.125	0.919
70	3.214	0.932
80	3.310	0.965
90	3.408	1.017
100	3.500	1.069

Вариант №9

Солевая система $NaCl-K_2NbF_7$ Температура 1100K

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$\rho=a+b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	2.144	0.545
10	2.502	0.688
20	2.731	0.768
30	2.863	0.799
40	2.979	0.835
50	3.053	0.851
60	3.113	0.852
70	3.208	0.896
80	3.334	0.963
90	3.407	1.007
100	3.500	1.069

Вариант №10

Солевая система $CsCl-K_2NbF_7$ Температура 1000K

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$\rho=a+b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	3.773	1.067
10	3.708	1.064
20	3.657	1.058
30	3.598	1.051
40	3.555	1.047
50	3.530	1.038
60	3.504	1.022
70	3.489	1.023
80	3.473	1.020

90	3.467	1.022
100	3.500	1.069

Вариант №11

Солевая система CsF-CsTaF₆ Температура 1200K

Содержание CsTaF ₆ , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	4.951	1.347
10	5.033	1.361
20	5.033	1.330
30	5.046	1.310
40	5.017	1.266
50	5.468	1.677
60	5.479	1.733
70	5.377	1.771
80	5.314	1.866
90	5.227	1.940
100	5.139	2.034

Вариант №12

Солевая система CsF-CsNbF₆ Температура 1200K

Содержание CsNbF ₆ , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	4.951	1.347
10	5.305	1.820
20	5.096	1.720
30	4.904	1.630
40	5.068	1.835
50	4.953	1.800
60	5.321	2.245
70	5.498	2.523
80	5.412	2.552
90	5.667	2.905
100	5.588	2.950

Вариант №13

Солевая система KF-K₂TaF₇ Температура 1200K

Содержание K ₂ TaF ₇ , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	-b·10 ³
0	2.746	0.740
10	3.177	0.797
20	3.372	0.773
30	3.575	0.820
40	3.677	0.812
50	3.835	0.878
60	4.009	0.982
70	4.169	1.082
80	4.251	1.122
90	4.534	1.351
100	4.715	1.494

Вариант №14

Солевая система $\text{KF-K}_2\text{NbF}_7$ Температура 1200К

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	$-b \cdot 10^3$
0	2.746	0.740
10	2.888	0.749
20	3.096	0.870
30	3.171	0.886
40	3.277	0.933
50	3.281	0.908
60	3.327	0.935
70	3.358	0.953
80	3.386	0.970
90	3.419	0.996
100	3.500	1.069

Вариант №15

Солевая система $\text{KCl-K}_2\text{TaF}_7$ Температура 1200К

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	$-b \cdot 10^3$
0	2.125	0.568
10	2.545	0.658
20	2.870	0.727
30	3.146	0.799
40	3.497	0.961
50	3.700	1.012
60	3.927	1.108
70	3.909	0.993
80	3.921	0.933
90	4.340	1.224
100	4.666	1.457

Вариант №17

Солевая система $\text{CsCl-K}_2\text{TaF}_7$ Температура 1200К

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	$-b \cdot 10^3$
0	3.773	1.067
10	3.702	0.961
20	3.863	1.045
30	3.981	1.109
40	3.920	1.006
50	3.950	0.990
60	3.937	0.941
70	4.099	1.037
80	4.297	1.186
90	4.388	1.247
100	4.666	1.457

Вариант №18

Солевая система $\text{KCl-K}_2\text{NbF}_7$ Температура 1200К

Содержание	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
------------	--	--

K_2NbF_7 , мол. %	a	$-b \cdot 10^3$
0	2.125	0.568
10	2.473	0.732
20	2.678	0.799
30	2.793	0.814
40	2.894	0.836
50	2.983	0.861
60	3.125	0.919
70	3.214	0.932
80	3.310	0.965
90	3.408	1.017
100	3.500	1.069

Вариант №19

Солевая система $NaCl-K_2NbF_7$ Температура 1200K

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	$-b \cdot 10^3$
0	2.144	0.545
10	2.502	0.688
20	2.731	0.768
30	2.863	0.799
40	2.979	0.835
50	3.053	0.851
60	3.113	0.852
70	3.208	0.896
80	3.334	0.963
90	3.407	1.007
100	3.500	1.069

Вариант №20

Солевая система $CsCl-K_2NbF_7$ Температура 1200K

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$\rho = a + b \cdot T$, г/см ³	
	a	$-b \cdot 10^3$
0	3.773	1.067
10	3.708	1.064
20	3.657	1.058
30	3.598	1.051
40	3.555	1.047
50	3.530	1.038
60	3.504	1.022
70	3.489	1.023
80	3.473	1.020
90	3.467	1.022

РАСЧЕТНОГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

Часть № 2 Расчет вязкости бинарных солевых систем

объектов: $KCl-K_2TaF_7$, $NaCl-K_2TaF_7$, $CaCl-K_2TaF_7$, $KCl-K_2NbF_7$, $NaCl-K_2NbF_7$

для температур 1100÷1150K

1. Построить график зависимости $\eta = f(\text{состав})$.
2. Построить график зависимости $\nu = f(\text{состав})$.
3. Рассчитать молярную вязкость по правилу аддитивности и построить график зависимости $\mu_{\text{ид}} = f(\text{состав})$.
4. рассчитать экспериментальные значения и построить график зависимости $\mu_{\text{эксп}} = f(\text{состав})$.
5. Построить график зависимости $(\mu_{\text{эксп}} - \mu_{\text{адд}}) / \mu_{\text{адд}} \cdot 100\% = f(\text{состав})$.

Таблица 2. Вязкость расплавленных бинарных смесей $\text{MCl} - \text{K}_2\text{TaF}_7$ и $\text{MCl} - \text{K}_2\text{NbF}_7$ (M – K, Na, Ca)

Вариант №1
Солевая система $\text{CsF}-\text{CsTaF}_6$ Температура 1100К

Содержание CsTaF_6 , мол. %	$\lg \mu = A + B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.5835	1464
10	5.2739	1363
20	4.9937	1216
30	5.3394	1784
40	5.3759	1988
50	5.5600	2241
60	5.2548	1858
70	5.0537	1519
80	5.0157	1347
90	4.9602	1210
100	4.8153	1086

Вариант №2
Солевая система $\text{CsF}-\text{CsNbF}_6$ Температура 1100К

Содержание CsNbF_6 , мол. %	$\lg \mu = A + B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.5835	1464
10	4.9818	1007
20	4.9008	1120
30	5.4086	1816
40	5.7547	2249
50	5.7075	2236
60	6.0693	2626
70	5.7674	2242
80	5.8087	2117
90	5.3445	1555
100	4.4684	567

Вариант №3
Солевая система $\text{KF}-\text{K}_2\text{TaF}_7$ Температура 1100К

Содержание K_2TaF_7 , мол. %	$\lg \mu = A + B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.3729	1189

10	5.1879	1145
20	5.1464	1402
30	5.3090	1778
40	5.1507	1642
50	4.5836	1124
60	4.8096	1489
70	5.3045	2150
80	5.7855	2809
90	5.3092	2267
100	5.4647	2416

Вариант №4

Солевая система $KF-K_2NbF_7$ Температура 1100K

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$lg \mu = A+B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.3729	1189
10	5.2070	1245
20	5.0431	1240
30	5.1432	1483
40	5.2236	1686
50	5.2724	1850
60	5.3093	1980
70	5.4327	2190
80	5.4469	2277
90	5.4241	2271
100	5.7274	2590

Вариант №5

Солевая система $KCl-K_2TaF_7$ Температура 1100K

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$lg \mu = A+B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.2650	1061
10	5.4179	1409
20	5.3805	1533
30	5.3514	1626
40	5.5313	1921
50	5.5496	2041
60	5.4447	2028
70	5.4004	2089
80	5.4088	2175
90	5.3042	2141
100	5.4647	2416

Вариант №6

Солевая система $NaCl-K_2TaF_7$ Температура 1000K

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$lg \mu = A+B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.6624	1478
10	5.3967	1322

20	5.3068	1345
30	5.3183	1474
40	5.4748	1749
50	5.6082	2004
60	5.4557	1950
70	5.4727	2090
80	5.5283	2259
90	5.3944	2229
100	5.4647	2416

Вариант №7

Солевая система CsCl-K₂TaF₇ Температура 1100К

Содержание Cs K ₂ TaF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.1502	965
10	5.5530	1567
20	5.3464	1487
30	5.4923	1756
40	5.4953	1824
50	5.4587	1905
60	5.4466	2011
70	5.2501	1902
80	5.3388	2077
90	5.3431	2178
100	5.4647	2416

Вариант №8

Солевая система KCl-K₂NbF₇ Температура 1100К

Содержание K ₂ NbF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.2650	1061
10	5.5404	1506
20	5.2978	1418
30	5.1733	1425
40	4.8792	1270
50	4.9257	1428
60	4.9776	1556
70	5.0940	1751
80	5.2738	1998
90	5.3152	2098
100	5.7274	2590

Вариант №9

Солевая система NaCl-K₂NbF₇ Температура 1100К

Содержание K ₂ NbF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.6624	1478
10	5.2201	1156
20	4.8401	901

30	4.7294	935
40	4.6690	1004
50	4.5574	999
60	4.5103	1045
70	4.4687	1083
80	4.6351	1317
90	4.8942	1657
100	5.7274	2590

Вариант №10

Солевая система CsCl-K₂NbF₇ Температура 1000К

Содержание K ₂ NbF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.1502	965
10	5.0922	1032
20	5.2517	1327
30	5.0750	1284
40	5.1882	1532
50	5.3659	1834
60	5.2511	1805
70	5.3614	2006
80	5.4136	2119
90	5.5076	2287
100	5.7274	2590

Вариант №11

Солевая система CsF-CsTaF₆ Температура 1200К

Содержание CsTaF ₆ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.5835	1464
10	5.2739	1363
20	4.9937	1216
30	5.3394	1784
40	5.3759	1988
50	5.5600	2241
60	5.2548	1858
70	5.0537	1519
80	5.0157	1347
90	4.9602	1210
100	4.8153	1086

Вариант №12

Солевая система CsF-CsNbF₆ Температура 1200К

Содержание CsNbF ₆ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.5835	1464
10	4.9818	1007
20	4.9008	1120
30	5.4086	1816
40	5.7547	2249
50	5.7075	2236

60	6.0693	2626
70	5.7674	2242
80	5.8087	2117
90	5.3445	1555

Вариант №13

Солевая система $\text{KF-K}_2\text{TaF}_7$ Температура 1200К

Содержание K_2TaF_7 , мол. %	$\lg \mu = A + B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.3729	1189
10	5.1879	1145
20	5.1464	1402
30	5.3090	1778
40	5.1507	1642
50	4.5836	1124
60	4.8096	1489
70	5.3045	2150
80	5.7855	2809
90	5.3092	2267
100	5.3729	1189

Вариант №14

Солевая система $\text{KF-K}_2\text{NbF}_7$ Температура 1200К

Содержание K_2NbF_7 , мол. %	$\lg \mu = A + B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.3729	1189
10	5.2070	1245
20	5.0431	1240
30	5.1432	1483
40	5.2236	1686
50	5.2724	1850
60	5.3093	1980
70	5.4327	2190
80	5.4469	2277
90	5.4241	2271
100	5.7274	2590

Вариант №15

Солевая система $\text{KCl-K}_2\text{TaF}_7$ Температура 1200К

Содержание Cs K_2TaF_7 , мол. %	$\lg \mu = A + B/T$, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.2650	1061
10	5.4179	1409
20	5.3805	1533
30	5.3514	1626
40	5.5313	1921
50	5.5496	2041
60	5.4447	2028
70	5.4004	2089
80	5.4088	2175
90	5.3042	2141

100	5.4647	2416
-----	--------	------

Вариант №16

Солевая система NaCl-K₂TaF₇ Температура 1200K

Содержание Cs K ₂ TaF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.6624	1478
10	5.3967	1322
20	5.3068	1345
30	5.3183	1474
40	5.4748	1749
50	5.6082	2004
60	5.4557	1950
70	5.4727	2090
80	5.5283	2259
90	5.3944	2229
100	5.4647	2416

Вариант №17

Солевая система CsCl-K₂TaF₇ Температура 1200K

Содержание Cs K ₂ TaF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.1502	965
10	5.5530	1567
20	5.3464	1487
30	5.4923	1756
40	5.4953	1824
50	5.4587	1905
60	5.4466	2011
70	5.2501	1902
80	5.3388	2077
90	5.3431	2178
100	5.4647	2416

Вариант №18

Солевая система KCl-K₂NbF₇ Температура 1200K

Содержание K ₂ NbF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.2650	1061
10	5.5404	1506
20	5.2978	1418
30	5.1733	1425
40	4.8792	1270
50	4.9257	1428
60	4.9776	1556
70	5.0940	1751
80	5.2738	1998
90	5.3152	2098
100	5.7274	2590

Вариант №19

Солевая система NaCl-K₂NbF₇ Температура 1200К

Содержание K ₂ NbF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.6624	1478
10	5.2201	1156
20	4.8401	901
30	4.7294	935
40	4.6690	1004
50	4.5574	999
60	4.5103	1045
70	4.4687	1083
80	4.6351	1317
90	4.8942	1657
100	5.7274	2590

Вариант №20

Солевая система CsCl-K₂NbF₇ Температура 1200К

Содержание K ₂ NbF ₇ , мол. %	lg μ=A+B/T, Дж·с·кМоль ⁻¹	
	-A	B
0	5.1502	965
10	5.0922	1032
20	5.2517	1327
30	5.0750	1284
40	5.1882	1532
50	5.3659	1834
60	5.2511	1805
70	5.3614	2006
80	5.4136	2119
90	5.5076	2287
100	5.7274	2590

Вопросы для контрольной работы

1. Определения электролиза, электрорафинирования, электроэкстракции.
2. Процессы протекающие на: аноде и катоде.
3. Определения электродного, стандартного и равновесного электродных потенциалов.
4. Связь равновесного электродного потенциала со стандартным электродным потенциалом.
5. Поляризация.
6. Связь электродного потенциала с равновесным электродным потенциалом в условиях поляризации.
7. Связь электродного потенциала со стандартным электродным потенциалом при катодной поляризации.
8. Связь равновесного электродного потенциала со стандартным электродным потенциалом в условиях анодной поляризации.
9. Окислительно-восстановительные процессы при электролизе растворов.
10. Стадии электрохимического процесса.
11. Закон Фарадея. Выход по току.
12. Электрохимические эквиваленты металлов.
13. Электрохимические ряды или ряды напряжения. Последовательность катодного разряда металлов или анодного окисления.

14. Основные минералы в составе медных руд. Причина, по которой оксидные руды не перерабатываются пирометаллургическими методами.
15. Сущность, исходные и конечные продукты процессов
16. - флотационного обогащения,
17. - процесса окислительного обжига,
18. - плавки обожженного концентрата в отражательных печах,
19. - конвертирования медных штейнов,
20. - огневого рафинирования,
21. электрохимического рафинирования.
22. Перечислите продукты, в которых при пирометаллургической переработке медной руды концентрируются: Cu, Fe, S, Ni, благородные и платиновые металлы, пустая порода
23. Реакция шлакования железа.
24. Составы штейна и шлака. На каких пирометаллургических переделах они образуются?
25. Название процесса и реакции получения огарка при пирометаллургической переработке медной руды.
26. Сущность, исходные и конечные продукты процесса «дразнения» меди.
27. Реакции десульфуризация минералов меди и железа.
28. Основные процессы и продукты процесса электрорафинирования меди
29. Анодное поведение меди.
30. Причины дисбаланса анодного и катодного выходов по току меди.
31. Влияние серной кислоты на параметры электролиза.
32. Корректировка электролита.
33. Поведение электроотрицательных металлов при электрорафинировании меди.
34. Поведение электроположительных металлов при электрорафинировании меди.
35. Какие металлы и соединения входят в состав шлама.
36. Поведение никеля и платины при электрорафинировании меди.
37. Перечислить факторы, снижающие извлечение никеля в катодный осадок меди.
38. Механизм влияния никеля на пассивацию анодов и образования плавучих шламов.
39. Причина введения в медный электролит ионов хлора.
40. Поведение интерметаллических соединений.
41. Поведение свинца, железа, цинка, олова, золота, рения и палладия.
42. Анодное растворение мышьяка, сурьмы и висмута.
43. Гидролиз соединений мышьяка, сурьмы и висмута.
44. Причины образования золей в процессе электрорафинирования меди.
45. Меры снижения извлечения мышьяка, сурьмы и висмута в катодный осадок.
46. Какие металлы и почему являются причиной образования плавучего шлама.
47. Причины солевой пассивации анодов.
48. Процессы, приводящие к пассивации анодов.
49. Катодное восстановление меди.
50. Как предупредить соосаждение никеля, железа и мышьяка с катодной медью.
51. Причины, снижающие качество катодной меди.
52. Влияние температуры на катодные процессы восстановления меди и мышьяка.
53. Влияние ПАВ на катодные процессы восстановления меди и мышьяка.
54. Условия, способствующие получению гладких осадков катодной меди.
55. Меры снижения удельного расхода электроэнергии

Задачи

1. Определить электрохимические эквиваленты катионов при восстановлении из: Pb^{4+} , Ag^+ , Sn^{2+} , Ce^{4+} , Al^{3+} , Ag^+ , Zn^{2+} , Hg^{2+} , Al^{3+} , Co^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Li^+ , Au^+ , Cd^{2+} ,

Cs^+ , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Ca^{2+} , Sb^{5+} , Na^+ , Co^{2+} , Ti^{3+} , Fe^{2+} , Ti^+ , Cu^+ , Cu^{2+} , K^+ , Cd^{2+} , Au^+ , Pb^{2+} , Ir^{3+} , и т.д.

2. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Cu}} = +0.34$, $\varphi^0_{\text{Al}} = -2.35$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Ag}} = +0.80$, $\varphi^0_{\text{Zn}} = -0.76$, $\varphi^0_{\text{Bi}} = +0.23$
3. Расположить металлы в последовательности их анодного окисления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Cu}} = +0.34$, $\varphi^0_{\text{Al}} = -2.35$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Ag}} = +0.80$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$
4. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Cu}} = +0.34$, $\varphi^0_{\text{Al}} = -2.35$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Ag}} = +0.80$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$.
5. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Ag}} = +0.80$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$
6. Расположить металлы в последовательности их анодного окисления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Ag}} = +0.80$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$.
7. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Ag}} = +0.80$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$
8. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Co}} = -0.22$, $\varphi^0_{\text{Au}} = +1.42$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$
9. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Pd}} = +0.83$, $\varphi^0_{\text{Zn}} = -0.76$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Au}} = +1.42$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Bi}} = +0.23$.
10. Расположить металлы в последовательности анодного растворения в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Ag}} = +0.8$, $\varphi^0_{\text{Zn}} = -0.76$, $\varphi^0_{\text{Ni}} = -0.25$, $\varphi^0_{\text{Au}} = +1.42$, $\varphi^0_{\text{Rh}} = +0.6$, $\varphi^0_{\text{Bi}} = +0.23$.
11. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Li}} = -3.05$, $\varphi^0_{\text{Cu}} = +0.34$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$.
12. Расположить металлы в последовательности их анодного растворения в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Li}} = -3.05$, $\varphi^0_{\text{Cu}} = +0.34$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$.
13. Расположить металлы в последовательности их катодного восстановления в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Co}} = -0.22$, $\varphi^0_{\text{Au}} = +1.42$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$.
14. Расположить металлы в последовательности их анодного растворения в соответствии со стандартными потенциалами:
 $\varphi^0_{\text{Hg}} = +0.85$, $\varphi^0_{\text{Pb}} = -0.13$, $\varphi^0_{\text{Co}} = -0.22$, $\varphi^0_{\text{Au}} = +1.42$, $\varphi^0_{\text{Fe}} = -0.44$, $\varphi^0_{\text{Sb}} = +0.21$
15. Определить соотношение равновесных концентраций в электролите между U^{3+} и Un^{6+} при $[\text{U}^{3+}] = 1$ г-ион, $\varphi^0(\text{Un}^{3+}) = -1.7$ В и $\varphi^0(\text{Un}^{6+}) = -0.82$ В
16. Определить соотношение равновесных концентраций в электролите между In^{3+} и In^+ при $[\text{In}^{3+}] = 1$ г-ион, $\varphi^0(\text{In}^{3+}) = -0.34$ В и $\varphi^0(\text{In}^+) = -0.25$ В
17. Определить соотношение равновесных концентраций в электролите между Au^{3+} и Au^+ при $[\text{Au}^{3+}] = 1$ г-ион, $\varphi^0(\text{Au}^{3+}) = +1.42$ В и $\varphi^0(\text{Au}^+) = +1.7$ В
18. Определить соотношение равновесных концентраций в электролите между Cu^{2+} и Cu^+ при $[\text{Cu}^{2+}] = 1$ г-ион, $\varphi^0(\text{Cu}^{2+}) = +0.34$ В и $\varphi^0(\text{Cu}^+) = +0.52$ В
19. Определить соотношение равновесных концентраций в электролите между Te^{2+} и Te^{4+} при $[\text{Te}^{2+}] = 1$ г-ион, $\varphi^0(\text{Te}^{2+}) = -0.92$ В и $\varphi^0(\text{Te}^{4+}) = +0.56$ В

20. Определить соотношение равновесных концентраций в электролите между Ga^{2+} и Ga^{3+} при $[\text{Ga}^{3+}] = 1$ г-ион, $\varphi^0(\text{Ga}^{2+}) = -0.53$ В и $\varphi^0(\text{Ga}^{4+}) = -0.45$ В
21. Определить соотношение равновесных концентраций в электролите между Co^{2+} и Co^{3+} при $[\text{Co}^{2+}] = 1$ г-ион, $\varphi^0(\text{Co}^{2+}) = -0.27$ В и $\varphi^0(\text{Co}^{3+}) = +0.40$ В
22. Определить силу тока, необходимую для получения в течение 40 часов 40 кг катодной меди, при выходе по току 96 %.
23. Определить время электролиза, необходимое для получения 25 кг кобальта, при силе тока 1500 А и выходе по току 96 %.
24. Определить время электролиза, необходимое для получения 1.6 т катодной меди, при силе тока 400 кА и выходе по току 96 %.
25. Определить время электролиза, необходимое для получения 1600 кг катодной меди, при силе тока 800 кА и выходе по току 96 %.
26. Как изменится время электролиза при повышении выхода по току металла от 75 до 95%.
27. Определить время электролиза, необходимое для получения 24 т катодной меди, при силе тока 1200 кА при выходе по току 94 %.
28. Определить время электролиза, необходимое для получения 95 т катодной меди, при силе тока 5000 А при выходе по току 95 %.
29. Как изменится время получения катодного металла при прочих равных условиях с повышением силы тока от 500 до 1300А.
30. Определить время электролиза, необходимое для получения 25 кг катодного никеля, при силе тока 500 А и выходе по току 95%.
31. Определить время электролиза, необходимое для получения 1,5 кг золота, при силе тока 200 А и выходе по току 75%.
32. Определить время электролиза, необходимое для получения 17,2 кг платины при силе тока 1000 А и выходе по току 86 %.
33. Определить силу тока, необходимую для получения 10 кг катодной меди, в течение 2 ч с выходом по току 92 %.
34. Определить силу тока, необходимую для получения 8,8 кг цинка, в течение 5 ч при выходе по току 88%.
35. и т.п.
36. Как изменится удельный расход электроэнергии при изменении выхода меди по току от 95 до 75% и т.п.
37. Рассчитать удельный расход электроэнергии при выходе меди по току 97,2% и напряжении на ванне 2,8В и т.п.
38. Рассчитать силу тока для получения 240 т меди с удельным расходом электроэнергии 280 кВт·ч/т, падении напряжения на ванне 0,7 В и времени электролиза 1 суток.
39. Рассчитать силу тока, необходимую для получения 5 т меди с удельным расходом электроэнергии 240 кВт·ч/т, при падении напряжения на ванне 0,24 В и времени электролиза 10 ч.
40. Рассчитать время, необходимое для получения 24 т меди с удельным расходом электроэнергии 320 кВт·ч/т при силе тока 2000 А и падении напряжения на ванне 0,6 В и т.п.
41. Рассчитать время, необходимое для получения 240 т меди с удельным расходом электроэнергии 320 кВт·ч/т при силе тока 5000 А и падении напряжения на ванне 0,32 В и т.п.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

по дисциплине «Физико-химические основы металлургических процессов»

для направления 04.03.01 Химия

1. Отличительные особенности расплавленных солей от водных растворов.
2. Простейшие типы диаграмм плавкости двойных солевых систем.
3. Общая характеристика физико-химического анализа.
4. Методы определения плотности солевых расплавов.
5. Плотность двойных солевых систем.
6. Простейшие диаграммы состояния тройных систем.
7. Поверхностное натяжение солевых расплавов.
8. Явление смачивания в солевых расплавах.
9. Определение электропроводности расплавленных солевых систем.
10. Электропроводность и вязкость расплавленных солей.
11. Зависимости температуры плавления индивидуальных солей от структуры
12. Методы определения вязкости солевых расплавов.
13. Кинетические методы определения давления пара солевых расплавов.
14. Числа переноса ионов в солевых расплавах.
15. Электропроводность и вязкость расплавленных солей.
16. Статические методы определения давления пара расплавленных солей
17. Электродные потенциалы. Ряды напряжений металлов в растворах. Электролиз. Поляризация.
18. Разряд катионов металлов с различными стандартными потенциалами. Поляризация, деполяризация, суперполяризация.
19. Разряд катионов металла и водорода
20. Электроэкстракция металлов и анодные процессы в зависимости от рН электролита и анодного перенапряжения реакций образования кислорода и хлора
21. Анодное растворение сплавов: механических смесей и твердых растворов
22. Электролитическое рафинирование металлов. Анодные и катодные процессы, образование шлама.
23. Классификация примесей в медных анодах и их поведение в процессе электролитического рафинирования меди
24. Электрохимическое поведение более электроотрицательных металлов в процессе
25. электрорафинирования меди.
26. Химические процессы в основе образования «плавающих» шламов медного электролита.
27. Поведение благородных металлов в процессе электрорафинирования меди. Состав анодного шлама
28. Причины пассивации медных анодов. Меры ее преодоления.
29. Роль серной кислоты в процессе электрорафинирования меди и ее регенерация.
30. Подавление побочных процессов разряда As и Sb при катодном восстановлении меди.
31. Несбалансированность электродных процессов при рафинировании меди.
32. Основные и побочные процессы электролитического рафинирования меди
33. Влияние катионов железа на эффективность электрорафинирования меди.