

«

»

“ ”

“ ”

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теоретическая электрохимия**

: 18.03.01

, :

: 3, : 5 6

		<b>5</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	( )	5	5
<b>2</b>		180	180
<b>3</b>	, .	86	86
<b>4</b>	, .	36	36
<b>5</b>	, .	18	18
<b>6</b>	, .	18	18
<b>7</b>	, .	8	8
<b>8</b>	, .	2	2
<b>9</b>	, .	12	12
<b>10</b>	, .	94	94
<b>11</b>	( , , )		
<b>12</b>			

( ): 18.03.01

1005 11.08.2016 ., : 29.08.2016 .

: 1,

( ): 18.03.01

, 2/1 20.06.2017

- , 5 21.06.2017

:

, . . . . . . . . . .

:

. . . . . . . . . .

:

. . . . .

# 1.

1.1

**Компетенция ФГОС: ПК.18** готовность использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности; в части следующих результатов обучения:

4.	;
6.	;
6.	;

**Компетенция ФГОС: ПК.19** готовность использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления; в части следующих результатов обучения:

6.	;
----	---

# 2.

2.1

(	)
---	---

<b>.18. 4</b>	;
1. факторы, воздействующие на скорость электродных реакций, и модели, описывающие их влияние на кинетические параметры	;
2. природу неравновесных явлений в растворах электролитов и законы влияния состава раствора на движение ионов	;
3. причины образования двойного электрического слоя (ДЭС) на границе электрод-раствор и влияние природы электрода и состава раствора на строение ДЭС	;
<b>.18. 6</b>	;
4. об электрохимических системах и электрохимических процессах	;
5. о физико-химических процессах в растворах электролитов	;
6. причины устойчивости растворов электролитов и влияние различных факторов на энергетическую равновесных процессов в растворах электролитов	;
<b>.18. 6</b>	;
7. обоснованно выбирать наиболее целесообразные методы исследования электрохимических систем	;
<b>.19. 6</b>	;
8. основные методы изучения кинетики электродных реакций и способы вычисления их кинетических параметров	;
9. Проводить экспериментальное изучение и последующий анализ кинетики электрохимических реакций	;

10. Проводить экспериментальную и модельную оценку состава и свойств ДЭС и вычислять параметры электрохимической адсорбции компонентов раствора на электродах	;	;
11. определять физико-химические параметры электрохимических объектов, их состав и строение	;	;

### 3.

3.1

	,	.	
: 5			
:			
1.	0	2	4, 5, 6
2.	0	2	4, 5, 6
3.	0	2	11, 4, 5, 6
4.	0	2	11, 4, 5
5.	0	2	2, 4, 5
6.	0	2	2, 4, 5
7.	0	2	2, 4, 5
8.	0	2	2, 4, 5
9.	0	2	2, 4, 5
:			

10.		0	2	4
11.		0	2	4, 5
12.		0	2	4, 5
13.		0	2	4, 5, 6
14.		0	2	4, 5
15.		0	2	4, 5
16.		0	2	2, 4, 5, 6
17.		0	2	4, 5
18.		0	2	4, 5, 6
<b>: 6</b>				
:				
19.		0	2	4
20.		0	2	3, 4
21.		0	2	3, 4
22.		0	2	3, 4
23.		0	2	3, 4

24.	0	2	3, 4
25.	0	2	10, 3, 4
26.	0	2	10, 3, 4
:			
27.	0	2	1, 4, 5
28.	0	2	1, 4
29.	0	2	1, 4
30.	0	2	1, 4
31.	0	2	1, 4
32.	0	2	1, 4
33.	0	2	1, 4, 8
34.	0	2	1, 4, 7, 8

35.		0	2	1, 4, 9
36.		0	2	11, 4, 7, 9

3.2

: 5					
:					
1.	-	2	4,5	5	2. ; 3. ; 4. , ; - ;
2.		2	4,5	2, 5	2. - ; 3. ; 4. , ; -
:					
3.		2	4,5	5	1. . 2. . 3. ; 4. ;





8.	-	-	2	4,5	7, 8	1.	
						2.	;
						3.	;
						4.	, ;
							.

3.3

			,	.			
: 5							
:							
1.			0	2	4, 5		,
							,
2.	-	-	0	2	4, 5, 6		,
							,
3.	-	-	0	2	4, 5		,
							,
4.	-		0	2	2, 5		,
							,
5.	-		0	2	11, 2, 5		,
							,
:							
6.	.		0	2	4, 5		,
							,
7.		-	0	2	4, 5		,
							,
8.	-	-	0	2	4, 5		,
							,

9.		0	2	4, 5	,
: 6					
:					
10.		0	2	3, 4	2. ,
11.	-	0	2	3, 4	2. ,
12.	-	0	2	3, 4	1. , 2. ,
13.		0	2	3, 4	1. , 2. ,
:					
14.		0	2	2, 4	1. , 2. ,
15.	.	0	2	1, 4	1. , 2. ,
16.	-	0	2	1, 4	1. , 2. ,
17.		0	2	1, 4, 8	1. , 2. ,
18.	-	0	2	1, 4, 8	1. , 2. ,



- ;  
 - , ;  
 - , , : 3 ( :  
 250300) / . . . - ; [ . : . . , . . .  
 ]. - , 2004. - 55 . : . , . . .  
[http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000029555](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029555)  
 [ . . . - . - ] : - / . . . ; .  
 . . . - . - , [2016]. - :  
[http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000232595](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595). -

2		1, 10, 11, 3, 4, 8	64	8
---	--	--------------------	----	---

- ;  
 - , ;  
 - , , ;  
 - , , ;  
 - ;  
 - ;  
 - ;  
 - , , ;  
 :  
 ( 250300) / . . . - ; [ . : . .  
 , . . . ]. - , 2004. - 55 . : . , . . .  
[http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000029555](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029555)  
 [ . . . - . - ] : - / . . . ; .  
 . . . - . - , [2016]. - :  
[http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000232595](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595). -

3		1, 10, 11, 3, 4, 8	20	2
---	--	--------------------	----	---

- ;  
 - , ;  
 - , , ;  
 - , , ;  
 - ;  
 - ;  
 - ;  
 - , , ;  
 :  
 ( 250300) / . . . - ; [ . : . .  
 , . . . ]. - , 2004. - 55 . : . , . . .  
[http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000029555](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029555)  
 [ . . . - . - ] : - / . . . ; .  
 . . . - . - , [2016]. - :  
[http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000232595](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595). -

**5.**

- , ( . 5.1).

5.1

	-
	e-mail; ;

	;
	;
	;

5.2

1		.18;
<p><b>Формируемые умения:</b> з4. знать механизм электрохимических реакций, их термодинамику и кинетику;; з6. знать основные понятия и определения теоретической электрохимии; типы электрохимических систем, их составные части и свойства;; у6. уметь находить взаимосвязь между природой электрохимической системы и процессами, которые могут в ней протекать;</p> <p><b>Краткое описание применения:</b> 1. выполняет вычисления равновесий в растворах, 2. представляет результат на языке символов, графиков. 3. выполняет термохимические измерения для процессов по жесткой инструкции; 4. обрабатывает результаты измерений; 5. представляет результат на языке символов, графиков, рисунков в удобной форме; 6. делает выводы и обсуждает результаты работы с преподавателем.</p>		
<p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029555"</p>		

6.

( ) ,

15-

ECTS.

. 6.1.

6.1

<b>: 5</b>		
<i>Лабораторная №2:</i>	5	9
<i>Лабораторная №3:</i>	5	9
<p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595. -</p>		
<i>Лабораторная №4:</i>	5	9
<p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595. -</p>		
<i>Лабораторная №5:</i>	5	9
<p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595. -</p>		
<i>Практические занятия №3:</i>	1	2
<p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595. -</p>		
<i>Практические занятия №4:</i>	1	2
<p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595. -</p>		

<i>Практические занятия №5:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №6:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №7:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №8:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №9:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №10:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №11:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>РГЗ:</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>Экзамен:</b>	<b>20</b>	<b>40</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>: 6</b>		
<i>Лабораторная №2:</i>	<b>5</b>	<b>9</b>
<i>Лабораторная №3:</i>	<b>5</b>	<b>9</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Лабораторная №4:</i>	<b>5</b>	<b>9</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Лабораторная №5:</i>	<b>5</b>	<b>9</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №3:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №4:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №5:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №6:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<i>Практические занятия №7:</i>	<b>1</b>	<b>2</b>

....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>Практические занятия №8:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>Практические занятия №9:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>Практические занятия №10:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>Практические занятия №11:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>РГЗ:</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
....., [2016]. - [ ]: - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595</a> . -		
<b>Экзамен:</b>	<b>20</b>	<b>40</b>

6.2

6.2

		/		
<b>.18</b>	4. , ;	+	+	+
	6. ;	+	+	+
	6. ;	+	+	+
<b>.19</b>	6. ;	+	+	+

1

## 7.

1. Дамаскин Б. Б. Электрохимия : учебник по направлению 510500 "Химия" и специальности 011000 "Химия" / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. - М., 2008. - 669, [1] с. : ил., табл.

2. Физико-химические основы электрохимии: Учебник / Лукомский Ю.Я., Гамбург Ю.Д. - Долгопрудный:Интеллект, 2013. - 424 с.: 70x100 1/16 ISBN 978-5-91559-162-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=525878> - Загл. с экрана.

3. Байрамов В. М. Основы электрохимии : [учебное пособие для вузов по специальности 011000 "Химия" и направлению 510500 "Химия"] / В. М. Байрамов ; под ред. В. В. Лунина. - М., 2005. - 236, [1] с. : табл., схемы

4. Лукомский Ю. Я. Физико-химические основы электрохимии : учебник для химических и химико-технологических специальностей университетов / Ю. Я. Лукомский, Ю. Д. Гамбург. - Долгопрудный, 2008. - 423 с. : ил., табл.

1. Варенцов В. К. Электрохимические системы и процессы : учебное пособие / В. К. Варенцов, Н. А. Рогожников, Н. Ф. Уваров ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 100, [1] с. : ил., табл.

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>

2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>

3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>

4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>

5. :

## 8.

### 8.1

1. Лабораторные работы по теоретической электрохимии : для студентов 3 курса ЭМФ (специальность 250300) дневной формы обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. : Н. А. Рогожников, Т. А. Удалова]. - Новосибирск, 2004. - 55 с. : ил., табл.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000029555](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029555)

2. Рогожников Н. А. Теоретическая электрохимия [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. А. Рогожников ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2016]. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000232595](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232595). - Загл. с экрана.

### 8.2

1 MathCAD

2 Office

## 9.

-

1	pH- pH-150	5,6
2	-101	2
3		2
4	5-70	6,7,8
5	5 -30	6,7,8
6	-6100	1
7	- -8135	3,4,6,7,8



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра химии и химической технологии

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН МТФ  
к.т.н., доцент В.В. Янпольский  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ \_\_\_\_ г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Теоретическая электрохимия**

Образовательная программа: 18.03.01 Химическая технология, профиль: Химические технологии функциональных материалов

### 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Теоретическая электрохимия приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.18/НИ готовность использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности	34. знать механизм электрохимических реакций, их термодинамику и кинетику;	Изучение электроосаждения металлов из комплексных электролитов Изучение электропроводности растворов электролитов Использование данных по электропроводности растворов для определения свойств элетролитов Кинетика сложных электрохимических реакций Образование ДЭС за счет подведения зарядов от внешнего источника тока; идеально поляризуемые и неполяризуемые электроды. Образование ДЭС за счет специфической адсорбции ионов и предпочтительной ориентации полярных молекул растворителя и растворенных веществ. Общая характеристика неравновесных явлений в растворах электролитов. Сущность диффузии. Миграция ионов. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Диффузионный потенциал. Определение свойств двойного электрического слоя из диффкркнциальной емкости Определение свойств двойного электрического слоя из электрокапиллярных кривых Оценка вклада миграции в перенос ионов. Потенциал поляризованного электрода и диффузионное перенапряжение при стационарной диффузии. Падение потенциала в диффузионном слое, роль чисел переноса. Поверхностная фаза и относительные поверхностные избытки; связь поверхностных избытков ионов со свободным зарядом контактирующих фаз. Связь суммарного потока с плотностью тока; диффузионный, миграционный и конвективный потоки.	Отчет по лабораторной работе № 2	Экзамен 6 сем., вопрос58, экзамен 5 сем., вопросы 36 – 42
			Отчет по лабораторной работе №5	Экзамен 6 сем., вопросы 3,22
			Отчет по лабораторной работе №2	экзамен 5 сем., вопросы 31 – 35,
			Отчет по лабораторной работе №6, РГЗ 6 сем.	экзамен 5 сем., вопросы 42 – 50

		<p>неравновесные бестоковые потенциалы. Первый закон Фика и уравнение Нернста-Эйнштейна. Эффективная толщина диффузионного слоя, концентрация у поверхности электрода. Предельная плотность тока. Уравнение поляризационной кривой катодных и анодных реакций в обратимых окислительно-восстановительных системах и при образовании и растворении амальгам; потенциал и ток полуволны. Потенциал поляризованного электрода и диффузионное перенапряжение при стационарной диффузии. Электродная поляризация и перенапряжение. Основные стадии электрохимических процессов; стехиометрическое число стадии; классификация электродных реакций; лимитирующая стадия. Электропроводность растворов электролитов</p>	<p>Отчет по лабораторной работе №7</p> <p>Отчет по лабораторной работе №7 , РГЗ -6 сем.</p> <p>Отчет по лабораторной работе №2</p>	<p>экзамен 5 сем., вопросы 32 – 34, Экзамен 6 сем, вопросы 30-32</p> <p>Экзамен 6 сем, вопросы 33-37</p> <p>экзамен 5 сем., вопросы 47-50</p>
ПК.18/НИ	<p>зб. знать основные понятия и определения теоретической электрохимии; типы электрохимических систем, их составные части и свойства;</p>	<p>Классическая теория электролитической диссоциации Последующее развитие теории гидратации. Реальная и химическая энергии гидратации. Энтропия гидратации. Числа гидратации и методы определения чисел гидратации определенных ионов Теории электролитической диссоциации: Аррениуса и межионного взаимодействия Причины устойчивости ионных систем. Энергия кристаллической решетки. Энтальпии гидратации отдельных ионов. Экспериментально-модельные методы расчета.</p>	<p>Отчет по лабораторной работе №1 , РГЗ 5 сем..</p> <p>Отчет по лабораторной работе №1 РГЗ 5 сем..</p>	<p>Экзамен 5 сем, вопросы..1-13.</p> <p>Экзамен 5 сем, вопросы..14-22</p>
ПК.18/НИ	<p>уб. уметь находить взаимосвязь между природой электрохимической системы и процессами, которые могут в ней протекать;</p>	<p>Изучение влияния поверхностно-активных веществ на скорость электрохимических реакций Изучение влияния различных факторов на перенапряжение выделения водорода Изучение электроосаждения металлов из комплексных электролитов Основные методы исследования механизма электрохимических процессов и определения их кинетических параметров. Стационарные методы. Нестационарные методы.</p>	<p>Отчет по лабораторной работе № 7,8.</p>	<p>Экзамен 6 сем., вопросы 50-60.</p>

<p>ПК.19/НИ готовность использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления</p>	<p>уб. владеть техникой электрохимических измерений; методами анализа результатов определения термодинамических и кинетических характеристик процессов;</p>	<p>. Влияние строения ДЭС на электрохимическое перенапряжение, уравнение Фрумкина. Влияние рН раствора и поверхностно-активных ионов и молекул на перенапряжение при выделении водорода. Кинетика электровосстановления персульфат-ионов. Эффект Лошкарева - адсорбционный предельный ток. Влияние строения двойного электрического слоя на кинетику разряда ионизации Вычисление энергии межионного взаимодействия в растворах электролитов. Основные положения теории Дебая- Гюккеля. Понятие об ионной атмосфере. Теория ионной ассоциации Изучение влияния поверхностно-активных веществ на скорость электрохимических реакций Изучение влияния различных факторов на перенапряжение выделения водорода Использование данных по электропроводности растворов для определения свойств электролитов Кинетика сложных электрохимических реакций Модели ДЭС Гельмгольца, Гуи-Чэпмея. Их достоинства и недостатки. Учет диффузной природы ДЭС; природа и заряд плотного и диффузного слоев. Модель Грэма. Уравнения ДЭС. Расчет компонентов заряда Определение кинетических параметров электрохимических реакций Основные методы исследования механизма электрохимических процессов и определения их кинетических параметров. Стационарные методы. Нестационарные методы. Основные уравнения теории замедленного разряда. Электронные термы, соотношение Бренстеда; коэффициенты переноса. Влияние скачков потенциала в ДЭС и работы специфической адсорбции на стандартное изменение электрохимической энергии Гиббса и на энергию активации катодной и анодной реакции. Электродные процессы в условиях медленной химической реакции. Химическое перенапряжение. Уравнение</p>	<p>Отчет по лабораторной работе №8</p>	<p>Экзамен 6 сем, вопросы 45-49</p>
		<p>Отчет по лабораторной работе №1</p>	<p>экзамен 5 сем., вопросы 22-26</p>	
		<p>Отчет по лабораторной работе №6</p>	<p>Экзамен 6 сем, вопросы 42-46</p>	
		<p>Отчет по лабораторной работе №5</p>	<p>Экзамен 6 сем, вопросы 14-19</p>	
		<p>Отчет по лабораторной работе №6,7</p>	<p>Экзамен 6 сем, вопросы 47-48, 52-55</p>	
		<p>РГЗ -6 сем.</p>	<p>Экзамен 6 сем, вопросы 38-44, 53,54, 55-60</p>	

		катодной и анодной поляризационных кривых. Кинетический предельный ток. Перенапряжение, связанное с образованием зародышей новой фазы и с их ростом. Явления пересыщения при образовании зародышей кристаллов или газовых пузырьков.		
--	--	--	--	--

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Текущая аттестация в 5 и 6 семестрах проводится при выполнении лабораторных работ, составлении отчетов по ним и выполнении РГЗ(Р), которые проводятся с целью оценки сформированности компетенций ПК.18/НИ, ПК.19/НИ.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 5 семестре - в форме экзамена, в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.18/НИ, ПК.19/НИ. Экзамены проводятся в письменной форме по билетам. В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Общая оценка по дисциплине складывается из оценки за экзамен (минимум 20 баллов, максимум 40 баллов) и суммы текущих оценок за семестр по балльно-рейтинговой системе (минимум 30 баллов, максимум 60 баллов). Соответствие баллов с традиционной оценкой и оценкой ECTS представлено в таблице ниже.

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично			хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно		

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)). Требования к выполнению РГЗ(Р), состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р).

В 6 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)). Требования к выполнению РГЗ(Р), состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р).

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.18/НИ, ПК.19/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

### Общая характеристика уровней освоения компетенций.

**Ниже порогового.** Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

**Пороговый.** Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

**Базовый.** Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое

содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

**Продвинутый.** Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Теоретическая электрохимия», 5 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-19, второй вопрос из диапазона вопросов 20-38, третий вопрос из диапазона вопросов 39-57, четвертый вопрос из диапазона вопросов 58-76 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4). Разбиение билета на три групп вопросов соответствует разделению материала 5 семестра на три раздела по компетенциям ПК.18/НИ, ПК.19/НИ.

### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет МТФ

Билет № \_\_\_\_\_

к экзамену по дисциплине «Теоретическая электрохимия»

---

1. Модельные методы расчета энтальпий гидратации отдельных ионов. Метод Борна. Роль диэлектрической постоянной растворителя.
2. Простая гидродинамическая теория электропроводности.
3. Стекланный электрод. Теория стеклнного электрода.
4. Методы устранения диффузионного потенциала: электролитический мостик, по Нернсту, его учет.

Утверждаю: зав. кафедрой проф. Уваров Н.Ф.

(подпись)

(дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 20 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при анализе проблем допускает неприципиальные ошибки, оценка составляет 20-26 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при изложении материала, оценка составляет 27-33 балла.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен дать оценку количественным характеристикам определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения проблем, оценка составляет 34-40 баллов.

С учетом структуры билета каждый вопрос оценивается 0 – 10 балла. Если студент при ответе на вопрос не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет 0 – 4 балла. Если студент при ответе на вопрос дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при анализе проблем допускает непринципиальные ошибки, оценка составляет 5 – 6 баллов. Если студент при ответе на вопрос формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при изложении материала, оценка составляет 7 – 8 баллов. Если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен дать оценку количественным характеристикам определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения проблем, оценка составляет 9 – 10 балла.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Общая оценка по дисциплине складывается из оценки за экзамен (минимум 20 баллов, максимум 40 баллов) и суммы текущих оценок за семестр по балльно-рейтинговой системе (минимум 30 баллов, максимум 60 баллов). Соответствие баллов с традиционной оценкой и оценкой ECTS представлено в таблице ниже.

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		

### 4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Теоретическая электрохимия»

#### **РАВНОВЕСИЕ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ.**

1. Теория электролитической диссоциации Аррениуса, степень и константа диссоциации.
2. Недостатки теории электролитической диссоциации. Развитие теории растворов электролитов.
3. Деление электролитов ионофоры и ионогены, причины устойчивости ионных систем.
4. Энергия кристаллической решетки: модельный метод Борна, расчет по циклу Борна-Габер.
5. Энтальпии гидратации отдельных ионов. Экспериментальный метод расчета по Измайлову.
6. Экспериментально-модельные методы: по Берналу-Фаулеру, по Мищенко.



7. Модельные методы расчета. Метод Борна. Роль диэлектрической постоянной растворителя.
8. Структура воды.
9. Метод ван-Аракеля - де-Бура.
10. Метод Бернала – Фаулера.
11. метод Эли – Эванса.
12. Последующее развитие теории гидратации.
13. Реальная и химическая энергии гидратации.
14. Энтропия гидратации.
15. Числа гидратации и методы определения чисел гидратации определенных ионов.
16. Термодинамика растворения.
17. Ион-дипольное взаимодействие в неводных растворителях.
20. Активность и коэффициент активности, термодинамический смысл коэффициентов активности.
21. Экспериментальное определение коэффициентов активности, ионная сила раствора.
22. строение растворов по Аррениусу, Гхошу, Дебая-Гюккелю.
23. Вычисление энергии межионного взаимодействия в растворах электролитов, основные положения теории Дебая- Гюккеля.
24. Понятие об ионной атмосфере.
25. Вывод уравнения предельного закона Дебая-Гюккеля - энергии межионного взаимодействия и коэффициента активности, недостатки теории.
26. Второе и третье приближения теории Дебая-Гюккеля (в т.ч. эмпирические формулы для расчета коэффициентов активности).
27. Применение теории Дебая - Гюккеля к слабым электролитам.
28. Растворимость и теория Дебая – Гюккеля.
29. Влияние ионной силы на скорость ионных реакций.
30. Теория ионной ассоциации (теории Семченко и Бьеррума).

### **НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ.**

31. Общая характеристика неравновесных явлений в растворах электролитов: диффузия, миграция, ионные реакции, термодиффузия, конвекция.
32. Сущность диффузии. Законы Фика. Коэффициент диффузии.
33. Миграция. Диффузионный потенциал
34. Абсолютная скорость движения ионов.
35. Удельная электропроводность, влияние концентрации электролита на удельную электропроводность.
36. Молярная электропроводность, ионная электропроводность.
37. Закон независимого движения ионов. Числа переносов ионов.
38. Экспериментальное изучение электропроводности- метод Гитторфа, метод перемещающейся границы.
39. Влияние электролита и растворителя, правило Писсаржевского-Вальдена.
40. Влияние концентрации и температуры, закон Кольрауша.
41. Использование чисел переноса, практическое применение измерений электропроводности.
42. Электропроводность слабых электролитов. Кондуктометрия. Кондуктометрическое титрование.
43. Простая гидродинамическая теория электропроводности.
44. Теория Дебая-Онзагера, электрофоретический и релаксационный эффекты, первое и второе приближение теории.

45. Эффект Вина, эффект Дебая-Фалькенгагена.
46. Связь диффузионного потенциала с параметрами электропроводности.
47. Электропроводность твердых электролитов и расплавов.
48. Аномальная электропроводность, подвижности ионов водорода и гидроксида.
49. Электропроводность неводных растворов, проводимость растворов, содержащих сольватированные электроны.
50. Современные представления о структуре растворов, структура гидратного слоя, гидрофильная и гидрофобная гидратация, поляризационная гидратация, отрицательная гидратация., теория Франка-Вена.

### **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА.**

51. Электрохимический потенциал, скачки потенциала на границе фаз, внутренний, внешний и поверхностный потенциалы.
52. Условия электрохимического равновесия на границе фаз, гальвани и Вольта потенциалы.
53. Электродвижущая сила (ЭДС) в электрохимических системах (цепях), физическая и химическая теория возникновения ЭДС, гидратационная теория возникновения ЭДС.
54. Равновесный потенциал в системе металл-ионы металла.
55. Равновесный потенциал окислительно-восстановительного электрода.
56. Составляющие ЭДС электрохимической цепи.
57. Условная величина электродного потенциала, водородная шкала потенциалов, международная конвенция об ЭДС и электродных потенциалах.
58. Уравнения электродных потенциалов металлического и окислительно-восстановительного электродов.
59. Стандартный электродный потенциал.
60. Использование стандартного электродного потенциала: ряд активностей металлов, правило Лютера, устойчивость электродов в водных растворах, определение констант равновесия окислительно-восстановительных реакций.
61. Электроды I, амальгамные электроды.
62. Электроды II рода.
63. Электроды III.
64. Окислительно-восстановительные электроды – простые и сложные.
65. Газовые электроды.
66. Использование электрохимических цепей для определения термодинамических величин: определение стандартных потенциалов электродов, активностей и коэффициентов активностей, определение произведения растворимости труднорастворимых солей, определение констант нестойкости комплексных ионов.
67. Мембранное равновесие и мембранные электроды.
68. Стекланный электрод, теория стекланный электрода.
69. Ионоселективные и ферментные электроды.
70. Понятие электрохимической системы (цепи), классификация электрохимических систем - по разомкнутости и по обратимости.
71. Химические цепи: системы с различными свойствами проводников I рода, системы с различными свойствами проводников II рода, системы с различными свойствами проводников I и II рода.
72. Физические цепи: системы с различными свойствами проводников I рода – концентративные цепи I типа (амальгамные и газовые), аллотропные, гравитационные;
73. Системы с различными свойствами проводников II рода - концентративные цепи II типа, цепи с разной степенью окисленности, сдвоенные с химической реакцией (концентративные цепи без переноса); системы с различными свойствами проводников I и II рода.
74. Классификация по наличию или отсутствию границы двух растворов: цепи без

переноса, цепи с переносом, диффузионный потенциал. уравнение Планка-Гендерсона.

75. Методы устранения диффузионного потенциала: электролитический мостик, по Нернсту, его учет.

76. Использование разных типов электродов для определения электродных потенциалов. пересчет шкалы потенциалов.

При ответах на вопросы студент формулирует основные понятия и описывает свойства систем, которым посвящены вопросы, излагает основы, на которых базируется вывод уравнений, которые описывают свойства систем, приводит вывод уравнений, и определяет следствия из них.

## Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Теоретическая электрохимия», 5 семестр

### 1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны на основе численных значений заданных в таблице для своего варианта рассчитать величину стандартного электродного потенциала системы и определить средне-ионные коэффициенты активности.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны рассчитать ионную силу раствора  $J$ . Далее для области концентраций  $c$ , соответствующей первому приближению теории Дебая-Гюккеля, студенты должны вычислить значение теоретического среднего коэффициента активности  $\gamma_{\pm}$  и для этой области концентраций в координатах  $E - \frac{RT}{nF} \ln c, \ln \gamma_{\pm}$  построить график, из линейного участка которого, экстраполируя на  $\ln \gamma_{\pm} = 0$  определить величину стандартного электродного потенциала  $E^0$ . Исходя из величин  $E - \frac{RT}{nF} \ln c$  и найденного  $E^0$  студенты должны вычислить реальные величины  $\gamma_{\pm}$ .

Титульный лист РГР должен содержать названия министерства, ВУЗа, факультета и кафедры на которой выполнялась РГР. Ниже должна содержаться фраза «Расчетно-графическая работа по дисциплине «Теоретическая электрохимия» на тему «Определение стандартного электродного потенциала»». Далее содержится фраза «Выполнил: студент» с указанием группы студента, его фамилии с инициалами и номера варианта. Ниже указывается преподаватель, проверивший РГР. Внизу титульного листа указывается город и год выполнения РГР.

Обязательными структурными частями РГР являются исходная таблица данных, график зависимости потенциала  $E$  от  $\sqrt{J}$ , график зависимости  $E - \frac{RT}{nF} \ln c$  от  $\ln \gamma_{\pm}$ , и таблица с величинами  $\ln c$ ,  $\sqrt{J}$  и реальных величин  $\gamma_{\pm}$ , расчет стандартного потенциала методом экстраполяции в координатах  $E - \frac{RT}{nF} \ln c, \ln \gamma_{\pm}$ .

Оцениваемыми позициями являются наличие всех пунктов задания и правильность их выполнения.

### 2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, оценка составляет 0-2 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, оценка составляет 3 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны, но не оптимизированы, оценка составляет 4-5 баллов.

- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны и оптимизированы, оценка составляет 6 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) являются частью общей оценки и учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины. Максимальная оценка за отдельные пункты составляет:

- 1) правильность построения графика зависимости потенциала  $E$  от  $\sqrt{J}$  - 1 балл,
  - 2) точность построения графика зависимости  $E - \frac{RT}{nF} \ln c$  от  $\ln \gamma_{\pm}$  - 1 балл,
  - 3) правильность вычисления величин  $\gamma_{\pm}$  - 2 балла,
  - 4) правильность выполнения процедуры графической экстраполяции и точность вычисления величину стандартного электродного потенциала  $E^0$  - 2 балла.
- РГР считается выполненной, если студент набирает не менее 3 баллов.

### 4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

*Определение стандартного электродного потенциала*

Для реакции  $M^{n+} + ne^- = M$  задана зависимость равновесного электродного потенциала от концентрации  $z_+, z_-$ -валентного электролита (см. табл. 3.5).

№ 1 $z_+ = 1, z_- = -2$		№ 2 $z_+ = 1, z_- = -1$		№ 3 $z_+ = 2, z_- = -1$		№ 4 $z_+ = 2, z_- = -2$	
с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В
$1 \cdot 10^{-4}$	-0,337	$2 \cdot 10^{-4}$	-0,619	$3 \cdot 10^{-4}$	0,295	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,085
$8 \cdot 10^{-4}$	-0,286	$1,6 \cdot 10^{-3}$	-0,566	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,312	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,108
$2,7 \cdot 10^{-3}$	-0,257	$5,4 \cdot 10^{-3}$	-0,536	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,322	$4 \cdot 10^{-3}$	0,120
$6,4 \cdot 10^{-3}$	-0,237	0,013	-0,515	$4,8 \cdot 10^{-3}$	0,328	$9,6 \cdot 10^{-3}$	0,127
0,013	-0,222	0,025	-0,499	$7,5 \cdot 10^{-3}$	0,333	0,019	0,132
0,022	-0,211	0,043	-0,486	0,011	0,337	0,032	0,136
0,034	-0,201	0,069	-0,475	0,015	0,341	0,051	0,139
№ 5 $z_+ = 2, z_- = -1$		№ 6 $z_+ = 1, z_- = -2$		№ 7 $z_+ = 2, z_- = -2$		№ 8 $z_+ = 1, z_- = -1$	
с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В
$2 \cdot 10^{-4}$	-0,612	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,023	$2,3 \cdot 10^{-4}$	-0,660	$5,5 \cdot 10^{-4}$	-0,893
$1,6 \cdot 10^{-3}$	-0,589	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,074	$1,8 \cdot 10^{-3}$	-0,637	$2,2 \cdot 10^{-3}$	-0,858
$5,4 \cdot 10^{-3}$	-0,577	$4 \cdot 10^{-3}$	0,103	$6,2 \cdot 10^{-3}$	-0,626	$5 \cdot 10^{-3}$	-0,838
0,013	-0,570	$9,6 \cdot 10^{-3}$	0,122	0,015	-0,619	$8,8 \cdot 10^{-3}$	-0,824
0,025	-0,566	0,019	0,136	0,029	-0,615	0,014	-0,813
0,043	-0,562	0,032	0,148	0,050	-0,612	0,020	-0,804
0,069	-0,560	0,051	0,157	0,079	-0,609	0,027	-0,797
№ 9 $z_+ = 2, z_- = -2$		№ 10 $z_+ = 1, z_- = -1$		№ 11 $z_+ = 1, z_- = -2$		№ 12 $z_+ = 2, z_- = -1$	
с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В	с, моль/л	Е, В
$2,3 \cdot 10^{-4}$	0,040	$2,2 \cdot 10^{-4}$	-0,417	$5,4 \cdot 10^{-4}$	-0,795	$4 \cdot 10^{-4}$	0,249
$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,063	$1,8 \cdot 10^{-3}$	-0,364	$2,2 \cdot 10^{-3}$	-0,762	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,265
$6,2 \cdot 10^{-3}$	0,074	$5,9 \cdot 10^{-3}$	-0,334	$4,9 \cdot 10^{-3}$	-0,743	$3,6 \cdot 10^{-3}$	0,275
0,015	0,081	0,014	-0,313	$8,6 \cdot 10^{-3}$	-0,730	$6,4 \cdot 10^{-3}$	0,282

0,029	0,085	0,028	-0,296	0,014	-0,721	0,010	0,286
0,050	0,088	0,048	-0,284	0,019	-0,713	0,014	0,290
0,079	0,091	0,075	-0,273	0,026	-0,706	0,020	0,294

№ 13 $z_+ = 1, z_- = -2$		№ 14 $z_+ = 2, z_- = -1$		№ 15 $z_+ = 2, z_- = -2$		№ 16 $z_+ = 1, z_- = -1$	
$c$ , моль/л	$E$ , В	$c$ , моль/л	$E$ , В	$c$ , моль/л	$E$ , В	$c$ , моль/л	$E$ , В
$2,8 \cdot 10^{-4}$	-0,662	$1,4 \cdot 10^{-4}$	-0,114	$7,8 \cdot 10^{-4}$	-0,346	$1,5 \cdot 10^{-4}$	-0,577
$2,2 \cdot 10^{-3}$	-0,611	$1,1 \cdot 10^{-3}$	-0,089	$3,1 \cdot 10^{-3}$	-0,332	$1,2 \cdot 10^{-3}$	-0,524
$7,6 \cdot 10^{-3}$	-0,583	$3,8 \cdot 10^{-3}$	-0,074	$7 \cdot 10^{-3}$	-0,325	$4 \cdot 10^{-3}$	-0,493
0,018	-0,564	$8 \cdot 10^{-3}$	-0,065	0,012	-0,321	$9,5 \cdot 10^{-3}$	-0,472
0,035	-0,551	0,017	-0,057	0,020	-0,317	0,018	-0,456
0,060	-0,540	0,030	-0,052	0,028	-0,315	0,032	-0,443
0,096	-0,531	0,048	-0,047	0,038	-0,313	0,051	-0,432
№ 17 $z_+ = 2, z_- = -2$		№ 18 $z_+ = 2, z_- = -1$		№ 19 $z_+ = 1, z_- = -1$		№ 20 $z_+ = 1, z_- = -2$	
$c$ , моль/л	$E$ , В	$c$ , моль/л	$E$ , В	$c$ , моль/л	$E$ , В	$c$ , моль/л	$E$ , В
$3,2 \cdot 10^{-4}$	-0,756	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,202	$7,6 \cdot 10^{-4}$	-0,335	$2,5 \cdot 10^{-4}$	-0,864
$2,6 \cdot 10^{-3}$	-0,734	$2,1 \cdot 10^{-3}$	0,219	$3 \cdot 10^{-3}$	-0,300	$2,2 \cdot 10^{-3}$	-0,814
$8,6 \cdot 10^{-3}$	-0,723	$4,7 \cdot 10^{-3}$	0,228	$6,9 \cdot 10^{-3}$	-0,280	$6,8 \cdot 10^{-3}$	-0,786
0,020	-0,717	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,234	0,012	-0,266	0,016	-0,767
0,040	-0,713	0,013	0,239	0,019	-0,255	0,032	-0,753
0,069	-0,710	0,019	0,243	0,027	-0,247	0,054	-0,742
0,110	-0,707	0,025	0,246	0,037	-0,239	0,086	-0,733

1. Постройте график зависимости  $E$  от  $\sqrt{I_c}$ .
2. Определите величину стандартного электродного потенциала в координатах  $E - \frac{RT}{nF} \ln c, \ln \gamma_{\pm}$ .
3. Определите величину среднего коэффициента активности при заданных концентрациях. Приведите таблицу зависимости  $\gamma_{\pm}$  от  $\lg c$  и от  $\sqrt{I_c}$ .

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Теоретическая электрохимия», 6 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-15, второй вопрос из диапазона вопросов 16-30, третий вопрос из диапазона вопросов 31-45, четвертый вопрос из диапазона вопросов 46-60 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4). Разбиение билета на три групп вопросов соответствует разделению материала 5 семестра на три раздела по компетенциям ПК.18/НИ, ПК.19/НИ.

### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет МТФ

Билет № \_\_\_\_\_

к экзамену по дисциплине «Теоретическая электрохимия»

---

1. Влияние адсорбции органических веществ на емкость электрода.
2. Анализ скачка потенциала в плотном слое. Определение параметров изотермы адсорбции.
3. Влияние двойного электрического слоя на скорость реакции при специфической адсорбции реагентов и продуктов реакции. Эффективные порядки реакции. Эффективные коэффициенты переноса электрона.
4. Классификация осадков по Фишеру. Механизм электроосаждения металлов.

Утверждаю: зав. кафедрой проф. Уваров Н.Ф.  
(подпись)  
(дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 20 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при анализе проблем допускает неприципиальные

ошибки, оценка составляет 20-26 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при изложении материала, оценка составляет 27-33 балла.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен дать оценку количественным характеристикам определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения проблем, оценка составляет 34-40 баллов.

С учетом структуры билета каждый вопрос оценивается 0 – 10 балла. Если студент при ответе на вопрос не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет 0 – 4 балла. Если студент при ответе на вопрос дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при анализе проблем допускает непринципиальные ошибки, оценка составляет 5 – 6 баллов. Если студент при ответе на вопрос формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при изложении материала, оценка составляет 7 – 8 баллов. Если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен дать оценку количественным характеристикам определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения проблем, оценка составляет 9 – 10 балла.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Общая оценка по дисциплине складывается из оценки за экзамен (минимум 20 баллов, максимум 40 баллов) и суммы текущих оценок за семестр по балльно-рейтинговой системе (минимум 30 баллов, максимум 60 баллов). Соответствие баллов с традиционной оценкой и оценкой ECTS представлено в таблице ниже.

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		

### 4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Теоретическая электрохимия»

#### ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ НА ГРАНИЦЕ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДОМ И ЭЛЕКТРОЛИТОМ.

1. Основные понятия - адсорбция, поверхностная энергия, адсорбционное уравнение Гиббса, заряд электрода, поляризуемые и неполяризуемые электроды.

2. Электрокапиллярные явления, основное уравнение электрокапиллярности (для неполяризуемого и поляризуемого электродов) и следствия из него.

3. Механизмы образования двойного электрического слоя (ДЭС) и скачка потенциала на границе между электродом и электролитом.

4. Измерение поверхностного натяжения на жидких электродах.

5. Электрокапиллярные кривые (ЭКК) в растворах поверхностно-неактивных электролитов – влияние потенциала электрода и концентрации электролита.



6. ЭКК в растворах поверхностно-активных электролитов – влияние адсорбируемости и концентрации электролита. Смещение максимума ЭКК. ЭКК при адсорбции органических соединений.
7. Заряд электрода. Прямые методы определения заряда электрода – струйный электрод, кривые заряжения, потенциодинамический метод. Косвенные методы определения заряда электрода – из ЭКК и адсорбционный метод.
8. Емкость электрода. Прямое определение емкости. Косвенные методы определения емкости – из ЭКК, из кривых заряжения, потенциодинамический метод.
9. Дифференциальная и интегральная емкости электрода. Емкость электрода в поверхностно-неактивных и поверхностно-активных электролитах.
10. Влияние адсорбции органических веществ на емкость электрода.
11. Использование данных о емкости электрода – для прямой информации о ДЭС, для вычисления заряда и поверхностной энергии электрода.
12. Поверхностный избыток вещества. Прямое определение поверхностных избытков – адсорбционные измерения, радиометрическое изучение, импульсные методы. Косвенный метод определения поверхностных избытков.
13. Поверхностные избытки специфически неадсорбирующихся ионов, специфически адсорбирующихся ионов и органических соединений. Степень заполнения поверхности.
14. Потенциал нулевого заряда (ПНЗ). Компоненты скачка потенциала в ДЭС. ПНЗ в отсутствие специфической адсорбции ионов, при специфической адсорбции ионов и органических веществ.
15. Модельный анализ строения ДЭС. Модель Гельмгольца.
16. Теория Гуи-Чапмена – вывод основных уравнений, понятие диффузного слоя, влияние концентрации на емкость, недостатки теории.
17. Теория Штерна и ее развитие. Плотный слой и его емкость. Распределение потенциала.
18. Современные представления о плотном слое в отсутствие специфической адсорбции. Строение ДЭС и емкость плотного слоя. Влияние природы металла на заряд электрода и емкость плотного слоя.
19. Модельная интерпретация формы кривой емкости плотного слоя.
20. Природа сил специфической адсорбции – ковалентная связь, "выжимание" ионов. Силы специфической адсорбции органических соединений.
21. Описание специфической адсорбции – основные изотермы адсорбции (Генри, вириальная, Фрумкина, Темкина).
22. Критерии специфической адсорбции. Влияние природы ионов на ПНЗ и форму кривой поверхностный избыток-потенциал электрода. Влияние природы электрода на величину ПНЗ при специфической адсорбции.
23. Теория специфической адсорбции ионов Штерна. Теория Грэма – внутренняя и наружная плоскости Гельмгольца, дискретность заряда специфически адсорбированных ионов. Распределение потенциала в ДЭС.
24. Теоретическая интерпретация изотерм адсорбции. Влияние заряда электрода на энергию адсорбции.
25. Анализ скачка потенциала в плотном слое. Определение параметров изотермы адсорбции.
26. Теория Фрумкина адсорбции органических соединений на электродах – влияние потенциала электрода на энергию адсорбции и величину поверхностного избытка.
27. Соотношения получаемые из уравнения электрокапиллярности при адсорбции органических соединений. Модель параллельных конденсаторов, Кривая заряд потенциал, Интерпретация кривой емкость-потенциал.
28. Адсорбируемость органических веществ – влияние природы органических веществ и природы электрода.

29. Особенность твердых электродов. Измерения емкости на твердых электродах. Влияние неоднородности поверхности на измеряемые параметры и интерпретацию данных.

### **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА.**

30. Признаки и свойства равновесных и неравновесных систем. Основные понятия: перенапряжение, поляризация, поляризационная кривая, порядок реакции, омические потери.

31. Понятие лимитирующей стадии электрохимической реакции. Классификация поляризационных явлений.

32. Основные механизмы переноса вещества. Выражения для отдельных потоков. Изменение концентрации в приэлектродном слое. Диффузионный слой.

33. Потенциал поляризованного электрода. Поляризационная кривая при стационарной диффузии: а) для металлического электрода, б) для окислительно-восстановительного электрода (в т.ч. частные случаи).

34. Миграция ионов. Ее влияние на величину измеряемого тока.

35. Конвективная диффузия. Вращающийся дисковый электрод.

36. Нестационарная диффузия. Изменение концентрации в диффузионном слое при нестационарной диффузии. Зависимость плотности тока от времени.

37. Основы полярографии. Ток на сферическом электроде. Ток на растущей капле. Связь потенциала и тока – полярограмма.

38. Вывод уравнения по для теории замедленного разряда. Полное уравнение поляризационной кривой.

39. Коэффициенты переноса электрона. Частные уравнения поляризационных кривых. Уравнение Тафеля.

40. Преобразование Есина-Аллена. Ток обмена. Определение параметров электродных реакций.

41. Зависимость скорости электрохимической реакции от температуры. Эффективная энергия активации. Температурно-кинетический метод.

42. Поляризационная кривая при замедленном переносе электрона и заторможенной диффузии.

43. Кинетика сложных реакций с замедленным переносом электрона. Выражения для катодного и анодного токов. Порядок реакции. Реакции с последовательным переносом нескольких электронов.

44. Поляризационная кривая при двух последовательных одноэлектронных реакциях. Критерии стадийности реакции. Предельные случаи.

45. Влияние строения двойного электрического слоя и адсорбции на скорость переноса электрона. Основное уравнение связи тока с потенциалом электрода.

46. Связь между кинетикой переноса электрона и строением двойного электрического слоя при отсутствии специфической адсорбции всех компонентов раствора. Ток обмена и истинный ток обмена. Эмпирические коэффициенты переноса электрона. Восстановление аниона  $S_2O_8^{2-}$ .

47. Интерпретация формы поляризационной кривой. Учет строения двойного электрического слоя – исправленные тафелевские зависимости.

48. Два основных эффекта при специфической адсорбции постороннего электролита. Влияние специфической адсорбции на форму поляризационной кривой. Восстановление ионов водорода. Образование ионных пар в двойном электрическом слое.

49. Влияние специфической адсорбции органических веществ на форму поляризационной кривой. Эффект Лошкарева. Влияние специфической адсорбции органических веществ на величину константы скорости.

50. Влияние двойного электрического слоя на скорость реакции при специфической адсорбции реагентов и продуктов реакции. Эффективные порядки реакции. Эффективные коэффициенты переноса электрона.

51. Опытные данные по зависимости тока от потенциала электрода при

специфической адсорбции разряжающихся ионов. Разряд комплексных ионов.

52. Опытные данные по зависимости тока от потенциала электрода при разряде адсорбированных нейтральных молекул.

53. Электродные процессы в условиях медленной гетерогенной химической реакции. Уравнение поляризационной кривой. Предельный кинетический ток гетерогенной реакции.

54. Электродные процессы в условиях медленной гомогенной химической реакции. Уравнение поляризационной кривой. Предельный кинетический ток гомогенной реакции.

55. Фазовая поляризация. Зародыши. Количественная теория. Рост поверхности металла на идеальных кристаллах, монокристаллах и поликристаллах. Общие тенденции.

56. Классификация осадков по Фишеру. Механизм электроосаждения металлов.

57. Влияние различных факторов на электроосаждение – природа металла, концентрация, природа катионов и анионов постороннего электролита, рН., режим электролиза.

58. Влияние ПАВ на рост кристаллов. Механизм восстановления простых солей и комплексных ионов.

59. Анодные процессы на металлических электродах. Пассивация растворимых анодов. Побочные процессы на нерастворимых анодах.

60. Распределение тока и металла по поверхности катода, Примеси в металлах.

При ответах на вопросы студент формулирует основные понятия и описывает свойства систем, которым посвящены вопросы, излагает основы, на которых базируется вывод уравнений, которые описывают свойства систем, приводит вывод уравнений, и определяет следствия из них.

## Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Теоретическая электрохимия», 6 семестр

### 1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны на основе численных значений заданных в таблице для своего варианта параметров рассчитать величину емкости двойного электрического слоя и его составляющих для заданного интервала значений заряда электрода. Для каждого значения заряда электрода с использованием заданных в таблице параметров оцениваются составляющие скачка потенциала в двойном электрическом слое и вычисляется модельная величина электродного потенциала. Строится зависимость емкостей  $C_{02}$  и  $C$  от  $E$ .

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны провести анализ объекта диагностирования, выбрать алгоритм описания объекта и выполнить необходимые вычисления.

Титульный лист РГР должен содержать названия министерства, ВУЗа, факультета и кафедры на которой выполнялась РГР. Ниже должна содержаться фраза «Расчетно-графическая работа по дисциплине «Теоретическая электрохимия» на тему «Определение стандартного электродного потенциала»». Далее содержится фраза «Выполнил: студент» с указанием группы студента, его фамилии с инициалами и номера варианта. Ниже указывается преподаватель, проверивший РГР. Внизу титульного листа указывается город и год выполнения РГР.

Обязательными структурными частями РГР являются исходная таблица данных, таблица, содержащая значения заряда электрода, емкости ДЭС и ее составляющих, значений составляющих скачка потенциала в двойном электрическом слое и величины электродного потенциала. Должен присутствовать график зависимости емкостей  $C_{02}$  и  $C$  от  $E$ .

Оцениваемыми позициями являются наличие всех пунктов задания и правильность их выполнения.

### 2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, оценка составляет 0-2 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, оценка составляет 3 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны, но не оптимизированы, оценка составляет 4-5 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны и оптимизированы, оценка составляет 6 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) являются частью общей оценки и учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины. Максимальная оценка за отдельные пункты составляет:

- 1) правильность вычисления всех составляющих и общего скачка потенциала по параметрам табличных данных - 1 балл,
  - 2) правильность вычисления емкости диффузной части  $C_2$  - 1 балл,
  - 3) правильность модельного вычисления емкости плотного слоя – 1.5 балла,
  - 4) точность вычисления общей емкости двойного слоя – 0.5 балла,
  - 5) правильность модельного вычисления потенциала электрода  $E$  – 1 балл,
  - 6) правильность построения графика зависимости емкостей  $C_{02}$  и  $C$  от  $E$  – 1 балл.
- РГР считается выполненной, если студент набирает не менее 3 баллов.

#### 4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

*Модельное построение кривой зависимости дифференциальной емкости от потенциала электрода в растворе поверхностно-неактивного электролита*

Рассчитайте дифференциальную емкость электрода  $C$  в растворе 1-1 валентного специфически неадсорбирующегося электролита по модели, которая учитывает:

- 1) ионный скачок потенциала  $\Delta\varphi_{\text{ион}}$  в плотной части двойного электрического слое,  $\Delta\varphi_{\text{ион}} = \sigma / K_0$ ;
- 2) скачок потенциала  $\Delta\chi_{\text{dip}}$ , связанный со свободно ориентирующимися по полю диполями растворителя,  $\Delta\chi_{\text{dip}} = -\frac{\gamma_1}{K_1} \text{th}\left(\frac{\sigma}{\gamma_1}\right)$ , где  $\text{th}(x) = \frac{\exp(\text{exp}(x)) - x}{\exp(\text{exp}(x)) + x}$ ;
- 3) скачок потенциала  $\Delta\chi_{\text{ch}}$ , связанный с хемосорбированными диполями воды.  $\Delta\chi_{\text{ch}} = -\frac{\gamma_2}{K_2} \exp\left(\frac{\sigma}{\gamma_2}\right)$ , где  $K_0, K_1, K_2, \gamma_1$  и  $\gamma_2$  – константы, заданные в табл. 4.4.

Выполнение задания состоит из следующих этапов:

Вычислите значения емкости плотного слоя  $C_{02}$  в интервале зарядов электрода  $\sigma$  от -18 до 10 мкКл/см<sup>2</sup> с шагом 2 мкКл/см<sup>2</sup>:

$$C_{02} = \frac{K_2}{\frac{K_2}{K_0} - \frac{K_2}{K_1} \text{sech}^2\left(\frac{\sigma}{\gamma_1}\right) - \exp\left(\frac{\sigma}{\gamma_2}\right)},$$

где  $\text{sech}(x) = \frac{2}{\exp(\text{exp}(x)) + \exp(-x)}$ .

Необходимые для вычислений параметры даны в табл. 4.4.

Таблица 4.4

№	$K_0$ , мкФ/см <sup>2</sup>	$K_1$ , мкФ/см <sup>2</sup>	$K_2$ , мкФ/см <sup>2</sup>	$\gamma_1$ , мкКл/см <sup>2</sup>	$\gamma_2$ , мкКл/см <sup>2</sup>	$E_{\sigma=0}$ , В	$c$ , моль/л
1	16	40	200	8	8	-0.7	0,001
2	17	40	150	8	8	0.2	0,02
3	15	40	100	8	8	0.15	0,005
4	16	40	175	8	8	-0.1	0,01
5	16	40	110	8	8	-0.55	0,002
6	17	40	160	8	8	0.0	0,004
7	15	40	80	8	8	-0.4	0,003
8	16	40	120	8	8	-0.35	0,007
9	17	40	60	8	8	-0.2	0,015
10	15	40	130	8	8	0.05	0,03
11	17	40	70	8	8	-0.5	0,025
12	16	40	170	8	8	-0.6	0,008
13	15	40	90	8	8	0.1	0,012
14	15	40	80	8	8	-0.25	0,004
15	17	40	160	8	8	0.25	0,014

16	16	40	75	8	8	-0.1	0,006
17	15	40	140	8	8	-0.05	0,018
18	17	40	95	8	8	-0.3	0,009
19	15	40	130	8	8	-0.45	0,016
20	16	40	115	8	8	-0.65	0,022

2. Вычислите емкость диффузной части  $C_2$  по теории Гуи–Чапмена.
3. Вычислите дифференциальную емкость по теории Штерна.
4. Вычислите потенциал электрода  $E = \Delta\varphi_{\text{ион}} + \Delta\chi_{\text{дip}} + \Delta\chi_{\text{ch}} + \gamma_2/K_2 + E_{\sigma=0}$ .
5. Результаты вычислений занесите в табл. 4.5.

Таблица 4.5

$\sigma$ , мкКл/см <sup>2</sup>	-18	10
$C_{02}$ , мкФ/см <sup>2</sup>		
$C_2$ , мкФ/см <sup>2</sup>		
$C$ , мкФ/см <sup>2</sup>		
$E$ , В		

6. Постройте график зависимости  $C_{02}$  от  $E$  и  $C$  от  $E$  (на одном графике).