ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ДГТУ)**

## Кафедра «Химические технологии нефтегазового комплекса»

**Методические указания**

**и варианты заданий для выполнения контрольных работ**

**по дисциплине**

**«ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ»**

для обучающихся бакалавриата заочной формы обучения

по направлению 18.03.01

Ростов-на-Дону

2021

**ЭКЗАМЕН**

К сдаче экзамена допускаются только те обучающиеся, которые выполнили лабораторные работы и предъявили отчеты по ним, успешно выполнили контрольные работы. При сдаче экзамена обучающийся предъявляет преподавателю зачетную книжку и краткие формулировки ответов на вопросы по полученному билету.

**Перечень разделов и тем для подготовки к экзамену**

*Введение*

Определение теоретической электрохимии, ее разделы и связь с задачами прикладной электрохимии. Общая характеристика электрохимических процессов, их специфика. Химический и электрохимический способы осуществления окислительно­восстановительных реакций.

*Растворы электролитов*

Теория электролитической диссоциации. Осмотические свойства растворов электролитов. Термохимические эффекты в растворах электролитов. Химическое равновесие в растворах электролитов. Основные положения теории Аррениуса. Экспериментальное обоснование, недостатки теории электролитической диссоциации.

Теория межионного взаимодействия. Ион-дипольное взаимодействие как основное условие термодинамической устойчивости растворов электролитов. Цикл Борна-Габера, соотношение между энергией кристаллической решетки и энергией сольватации ионов. Термодинамическое описание ион-дипольного взаимодействия. Энтропия сольватации ионов. Состояние ионов в растворах.

Электропроводность растворов электролитов. Удельная и эквивалентная электропроводность. Подвижность ионов, зависимость от природы электролита, природы растворителя, температуры и концентрации. Уравнения Кольрауша и Онзагера. Числа переноса и методы их определения. Методы Гитторфа и движущей границы. Классическая теория. Теория электропроводности Дебая-Гюккеля. Эффект Вина и дисперсия электропроводности. Аномалии электропроводности. Особые случаи проводимости. Приложение законов Фика к растворам электролитов. Диффузионный потенциал. Теория Планка. Опытные данные о диффузионных потенциалах.

*Термодинамика электродных процессов*

Равновесие на границе электрод-раствор. Понятие поверхностного, внешнего и внутреннего потенциалов, разности потенциалов Гальвани и Вольта. Классификация электродов. Равновесные электрохимические цепи, физическая и химическая теории возникновения ЭДС. Термодинамика гальванического элемента. Обратимость электрохимических цепей. Классификация элементов: химические, концентрационные, амальгамные, физические.

Понятие электродного потенциала. Уравнение Нернста. Стандартный электродный потенциал. Классификация электродов: первого рода, второго рода, окислительно-восстановительные, газовые.

Электрокинетические и электрокапиллярные явления. Электрокинетические явления. Электрокапиллярные явления, уравнение Липпмана. Общая характеристика. Нулевые точки металлов. Потенциал незаряженной поверхности. Приведенная и рациональная шкалы потенциалов. Методы экспериментального определения и расчета нулевых точек.

Строение двойного электрического слоя. Теория конденсированного двойного слоя. Теория диффузионного двойного ионного слоя. Адсорбционная теория двойного слоя. Емкость двойного электрического слоя, зависимость от потенциала электрода.

*Кинетика электродных процессов*

Химическое действие электрического тока. Сущность законов Фарадея. Электрохимические эквиваленты. Выход вещества по току. Возможные случаи отклонения от законов Фарадея. Законы Фарадея и скорость электрохимических процессов. Электроанализ и кулонометрия.

Кинетика электродных процессов. Э.д.с. поляризации. Электродная поляризация. Общая характеристика стадий электродного процесса. Классификация поляризационных явлений.

Диффузионное перенапряжение. Механизмы массопереноса: диффузия, конвекция и миграция. Диффузионная кинетика в условиях молекулярной стационарной диффузии. Поток диффузии, уравнение Фика. Предельные диффузионные токи, зависимость от концентрации. Полярография.

Электрохимическое перенапряжение, теория замедленного разряда. Влияние строения двойного электрического слоя на электрохимическую кинетику. Физический смысл энергии активации в условиях замедленного разряда, влияние потенциала электрода, числа перехода. Частные и общие поляризационные кривые. Уравнение Тафеля

**КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ**

Выполнение контрольных работ по дисциплине – один из видов межсессионных заданий. Контрольные работы студенты заочного отделения выполняют после прослушивания установочных лекций. Выполнение заданий – важный этап в профессиональной подготовке, так как они способствуют повышению качества усвоения программного материала, углубленному пониманию наиболее важных разделов курса.

Ниже приводятся задания, входящие в состав контрольных работ, а также список литературы, помогающий выполнить данную работу. Тему задания следует выбирать по двум последним цифрам в номере зачетной книжки.

Для выполнения некоторых заданий необходимо воспользоваться справочной литературой, например,

*Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. СПб, 2003 (*[*https://www.twirpx.com/file/618380/*](https://www.twirpx.com/file/618380/)*)*

или другими аналогичными изданиями.

Графические задания выполняются с соблюдением необходимого и достаточного масштаба на миллиметровой бумаге либо с привлечением электронно-вычислительных средств (например, MS Office Excel).

**Контрольная работа № 1. Растворы электролитов**

**Задание 1.1**

Используя данные о свойствах растворов вещества А в воде:

1) постройте графики зависимости удельной и эквивалентной электрических проводимостей растворов вещества А от разведения *V*;

2) проверьте, подчиняются ли растворы вещества А в воде закону разведения Оствальда;

3) вычистите для вещества А по данным зависимостям эквивалентной электрической проводимости от концентрации эквивалентную электрическую проводимость при бесконечном разведении и сопоставьте результат со справочными данными.

|  |  |
| --- | --- |
| **№ варианта** | **Вещество А** |
| 1, 10, 19, 28, 37, 46, 55, 64, 73, 82, 91 | HCl |
| 2, 11, 20, 29, 38, 47, 56, 65, 74, 83, 92 | HNO2 |
| 3, 12, 21, 30, 39, 48, 57, 66, 75, 84, 93 | HOCl |
| 4, 13, 22, 31, 40, 49, 58, 67, 76, 85, 94 | HCOOH |
| 5, 14, 23, 32,41, 50, 59, 68, 77, 86, 95 | CH3COOH |
| 6, 15, 24, 33, 42, 51, 60, 69, 78, 87, 96 | (CH3)2AsOOH |
| 7, 16, 25, 34, 43, 52, 61, 70, 79, 88, 97 | C6H5OH |
| 8, 17, 26, 35, 44, 53, 62, 71, 80, 89, 98 | C6H5COOH |
| 9, 18, 27, 36, 45, 54, 63, 72 ,81, 90, 99 | NH4OH |

Зависимость сопротивления *r* раствора вещества А от концентрации *С* при 298 К:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***С*,**  **моль/л** | ***r*, Ом·м, для вещества А** | | | | | | | | |
| **HCl** | **HNO2** | **HOCl** | **HCOOH** | **CH3COOH** | **(CH3)2AsOOH** | **C6H5OH** | **C6H5COOH** | **NH4OH** |
| 0,1  0,05  0,03  0,01  0,005  0,003  0,001 | 3,10·103  4,37·103  5,84·103  10,1·103  14,3·103  18,3·103  31,9·103 | 4,32  5,7  7,5  13,4  20,4  26,8  52,7 | 927  1390  1810  3120  4560  5560  10000 | 6,06  8,91  10,3  18,2  25,9  35,8  68,5 | 19,6  27,6  34,8  61,0  87,0  103  185 | 131  2380  235  402  582  796  1310 | 7,46·103  10,80·103  14,50·103  23,50·103  32,70·103  41,50·103  74,60·103 | 9,75  14,1  18,5  31,4  48,8  57,9  10,4 | 2,55  10,3  14,5  25,8  100  143  251 |

**Задание 1.2**

Рассчитайте молярную электрическую проводимость λm вещества А, использую эквивалентные электрические проводимости λ0 при бесконечном разведении для следующих веществ при 298 К:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вещество** | **λ0·102,**  **Ом-1·м2·г-экв-1** | **Вещество** | **λ0·102,**  **Ом-1·м2·г-экв-1** | **Вещество** | **λ0·102,**  **Ом-1·м2·г-экв-1** |
| AgCNS  Ag2SO4  BaCl2  CaCl2  LaCl3  La(CNS)3  La(IO3)3  MgSO4 | 1,285  1,419  1,40  1,36  1,46  1,36  1,10  1,33 | PbCl2  PbC2O4  Pb(CNS)2  PbSO4  La2(SO4)3  MgBr2  Mg(BrO3)2  MgCl2 | 1,46  1,43  1,36  1,10  1,50  1,31  1,08  1,29 | Mg(CNS)2  MgF2  MgI2  SrCl2  TlNO3  Tl2SO4 | 1,19  1,08  1,30  1,36  1,51  1,55 |

|  |  |
| --- | --- |
| **№ варианта** | **Вещество А** |
| 1, 20, 39, 58, 77, 96 | SrC2O4 |
| 2, 21, 40, 59, 78, 97 | AgCl |
| 3, 22, 41, 60, 79, 98 | AgIO3 |
| 4, 23, 42, 61, 80, 99 | BaSO4 |
| 5, 24, 43, 62, 81 | TlBr |
| 6, 25, 44, 63, 82 | PbSO4 |
| 7, 26, 45, 64, 83 | CaC2O4 |
| 8, 27, 46, 65, 84 | CaF2 |
| 9, 28, 47, 66, 85 | BaC2O4 |
| 10, 29, 48, 67, 86 | TlCl |
| 11, 30, 49, 68, 87 | PbF2 |
| 12, 31, 50, 69, 88 | PB(IO3)2 |
| 13, 32, 51, 70, 89 | MgC2O4 |
| 14, 33, 52, 71, 90 | AgBr |
| 15, 34, 53, 72, 92 | AgBrO3 |
| 16, 35, 54, 73, 93 | TlCNS |
| 17, 36, 55, 74, 93 | TlBrO3 |
| 18, 37, 56, 75, 94 | TlI |
| 19, 38, 57, 76, 95 | TlIO3 |

**Задание 1.3**

Удельное сопротивление насыщенного раствора труднорастворимой соли А при 298 К равно ρ. Удельное сопротивление воды при той же температуре ρaq = 1·104 Ом·м.

Вычислите:

1) растворимость соли А в чистой воде;

2) произведение растворимости вещества А, приняв, что коэффициенты активности ионов γ± = 1 (растворы сильно разбавлены);

3) растворимость вещества А в растворе, содержащем 0,01 моль вещества В;

4) растворимость вещества А в растворе, содержащем 0,01 моль вещества С.

Вещества А, В, С полностью диссоциированы.

Удельное сопротивление растворов при 298К:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ варианта** | **ρ·10-4,**  **Ом·м** | **Вещество** | | |
| **А** | **В** | **С** |
| 1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49, 55, 61, 67, 73, 79, 85, 91, 97 | 0,0141 | SrC2O4 | H2C2O4 | Na2SO4 |
| 2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44, 50, 56, 62, 68, 74, 80, 86, 92, 98 | 0,333 | AgCl | HCl | Na2SO4 |
| 3, 9, 15, 21, 26, 33, 39, 45, 51, 57, 63, 69, 75, 81, 87, 93, 99 | 0,0550 | AgIO3 | HIO3 | Na2SO4 |
| 4, 10, 16, 22, 27, 34, 40, 46, 52, 58, 34, 70, 76, 82, 88, 94 | 0,330 | BaSO4 | Na2SO4 | KBr |
| 5, 11, 17, 23, 28, 35, 41, 47, 53, 59, 35, 71, 77, 83, 89, 95 | 0,0038 | TlBr | KBr | Na2SO4 |
| 6, 12, 18, 24, 49, 36, 42, 48, 54, 60, 36, 72, 78, 84, 90, 96 | 0,0248 | PbSO4 | Li2SO4 | KBr |

**Контрольная работа № 2. Термодинамика электродных процессов**

**Задание 2.1**

Для концентрационного элемента, составленного из металла А в растворах электролита В с концентрациями *m1* и *m2* моль/л, рассчитайте ЭДС при 298 К. Активность вычислите по среднему коэффициенту активности, взятому из справочника, или (для разбавленных растворов) по ионной силе. Для элемента, составленного из водородного электрода в растворе электролита С с концентрацией *m3* моль/л и каломельного полуэлемента с концентрацией КС1 *m4* моль/л, вычислите ЭДС и pH раствора, содержащего электролит С. Диффузионную ЭДС не учитывайте. При 298 К стандартный потенциал каломельного электрода равен 0,2812 В. а ионное произведение воды 1,008·10-14. Константы диссоциации слабых электролитов найдите в справочнике.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ варианта** | **А** | **В** | ***m1*** | ***m2*** | **С** | ***m3*** | ***m4*** | ***P*Н+,**  **атм** |
| 1, 26, 51, 76 | Co | Co(NO3)2 | 0,1 | 0,7 | NH4OH | 0,5 | 0,35 | 0,50 |
| 2, 27, 52, 77 | Co | Co(NO3)2 | 0,02 | 0,7 | NH4OH | 1,0 | 0,4 | 1,00 |
| 3, 28, 53, 78 | Ni | NiSO4 | 0,1 | 0,7 | HCOOH | 0,3 | 0,03 | 0,50 |
| 4, 29, 54, 79 | Ni | NiSO4 | 1,5 | 0,2 | NH4OH | 1, | 0,3 | 0,50 |
| 5, 30, 55, 80 | Cu | CuCl2 | 1 | 2 | HCl | 0,01 | 0,1 | 0,20 |
| 6, 31, 56, 81 | Cu | CuCl2 | 0,2 | 0,05 | HCl | 3 | 0,5 | 2,00 |
| 7, 32, 57, 82 | Cu | CuCl2 | 2 | 0,06 | NaOH | 2 | 1 | 2,00 |
| 8, 33, 58, 83 | Cu | CuCl2 | 0,02 | 0,6 | NaOH | 8 | 1,5 | 2,00 |
| 9, 34, 59, 84 | Cu | CuSO4 | 0,1 | 0,5 | HBr | 0,95 | 4 | 0,20 |
| 10, 35, 60, 85 | Cu | CuSO4 | 0,01 | 1 | HBr | 1 | 0,45 | 0,20 |
| 11, 36, 61, 86 | Zn | ZnCl2 | 0,005 | 1 | C6H5OH | 0,9 | 0,2 | 0,50 |
| 12, 37, 62, 87 | Zn | ZnCl2 | 0,5 | 0,01 | C6H5OH | 0,1 | 0,25 | 1,00 |
| 13, 38, 63, 88 | Zn | ZnCl2 | 0,5 | 0,02 | H2O | - | 3 | 1,00 |
| 14, 39, 64, 89 | Zn | ZnCl2 | 1 | 3 | H2O | - | 3,5 | 1,00 |
| 15, 40, 65, 90 | Zn | ZnSO4 | 0,01 | 0,1 | C6H5OH | 0,3 | 1 | 0,50 |
| 16, 41, 66, 91 | Zn | ZnSO4 | 3 | 0,002 | C6H5OH | 0,7 | 1,5 | 0,50 |
| 17, 42, 67, 92 | Ag | AgNO3 | 0,1 | 1 | CH3COOH | 0,1 | 4 | 0,10 |
| 18, 43, 68, 93 | Ag | AgNO3 | 0,2 | 2 | CH3COOH | 1 | 0,2 | 0,10 |
| 19, 44, 69, 94 | Ag | AgNO3 | 0,1 | 3 | CH3COOH | 0,3 | 0,3 | 2,00 |
| 20, 45, 70, 95 | Ag | AgNO3 | 1 | 0,5 | HCOOH | 0,1 | 0,7 | 2,00 |
| 21, 46, 71, 96 | Cd | Cd(NO3)2 | 0,2 | 0,6 | NaOH | 1,4 | 2 | 3,00 |
| 22, 47, 72, 97 | Cd | Cd(NO3)2 | 2 | 0,7 | NaOH | 0,1 | 2,5 | 3,00 |
| 23, 48, 73, 98 | Cd | CdSO4 | 0,005 | 2 | H2SO4 | 0,5 | 3 | 3,00 |
| 24, 49, 74, 99 | Cd | CdSO4 | 1 | 0,2 | H2SO4 | 17 | 2,5 | 0,10 |
| 25, 50, 75 | Pb | Pb(NO3)2 | 0,002 | 0,02 | HCOOH | 1 | 2,5 | 2,00 |

**Задание 2.2**

Для реакции, протекающей обратимо в гальваническом элементе, дано уравнение зависимости ЭДС от температуры. При заданной температуре *Т* вычислите ЭДС *Е*, изменение энергии Гиббса Δ*G*, изменение энтальпии Δ*Н,* изменение энтропии ΔS, изменение энергии Гельмгольца Δ*F* и теплоту *Q,* выделяющуюся или поглощающуюся в этом процессе. Расчет производите для 1 моль реагирующего вещества.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ варианта** | ***Т*, К** | **№ варианта** | ***Т*, К** | **Реакция** | **Уравнение *Е = f(Т)*** |
| 1, 26, 51, 76 | 273 | 2, 27, 52, 77 | 323 | C6H4O2 + 2H+ = C6H4(OH)2 + 2*e* | *E* = 0,6990 – 7,4·10-4(*Т*-298) |
| 3, 28, 53, 78 | 343 | 4, 29, 54, 79 | 363 | Zn + 2AgCl = ZnCl2 + 2Ag | *E* = 1,125 – 4,02·10-4*Т* |
| 5, 30, 55, 80 | 278 | 6, 31, 56, 81 | 313 | Zn + Hg2SO4 = ZnSO4 + 2Hg | *E* = 1,4328 – 1,19·10-3(*Т*-288) |
| 7, 32, 57, 82 | 273 | 8, 33, 58, 83 | 298 | Ag + Cl- = AgCl + *e* | *E* = 0,2224 – 6,4·10-4(*Т*-298) |
| 9, 34, 59, 84 | 273 | 10, 35, 60, 85 | 363 | Cd + Hg2SO4 = CdSO4 + 2Hg | *E* = 1,0183 – 4,06·10-5(*Т*-293) |
| 11, 36, 61, 86 | 303 | 12, 37, 62, 87 | 273 | Cd + 2AgCl = CdCl2 + 2Ag | *E* = 0,869 – 6,5·10-4*Т* |
| 13, 38, 63, 88 | 293 | 14, 39, 64, 89 | 323 | Cd + PbCl2 = CdCl2 + Pb | *E* = 0,331·4,8·10-4*Т* |
| 15, 40, 65, 90 | 273 | 16, 41, 66, 91 | 363 | 2Hg + ZnCl2 = Hg2Cl2 + Zn | *E* = 1 + 9,4·10-5(*Т*-288) |
| 17, 42, 67, 92 | 273 | 18, 43, 68, 93 | 353 | 2Hg + SO42- = Hg2SO4 + 2*e* | *E* = 0,6151 – 8,02·10-4(*Т*-298) |
| 19, 44, 69, 94 | 333 | 20, 45, 70, 95 | 353 | Pb +2AgI = PbI2 + 2Ag | *E* = 0,259 – 1,38·10-4*Т* |
| 21, 46, 71, 96 | 273 | 22, 47, 72, 97 | 298 | 2Hg + 2Cl- = Hg2Cl2 + 2*e* | *E* = 0,2438 – 6,5·10-4(*Т*-298) |
| 23, 48, 73, 98 | 363 |  |  | 2Ag + Hg2Cl2 = 2AgCl + 2Hg | *E* = 0,556 + 3,388·10-4*Т* |
| 24, 49, 74, 99 | 353 |  |  | Hg2Cl2 + 2KOH = Hg2O + 2KCl | *E* = -0,0947 + 8,37·10-4*Т* |
| 25, 50, 75 | 298 |  |  | Pb + Hg2Cl2 = PbCl2 + 2Hg | *E* = 0,5353 + 1,45·10-4*Т* |

**Контрольная работа № 3. Кинетика электродных процессов**

**Задание 3.1**

Определите константы *а* и *b* в уравнении Тафеля, если при измерении потенциала катода из данного металла против каломельного электрода (φ = 0,281 В) в растворе заданного состава при плотностях тока *i`* и *i*`` получены соответственно величины φ` и φ``.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ варианта** | **Материал электрода** | **Электролит** | ***i`*,**  **мА/см2** | ***i*``,**  **мА/см2** | **φ`, В** | **φ``, В** |
| 1, 9, 17, 25, 33, 41, 49, 57, 65, 73, 81, 89, 97 | Цинк | 2,0 н H2SO4 | 5 | 0,2 | 1,325 | 1,157 |
| 2, 10, 18, 26, 34, 42, 50, 58, 66, 74, 82, 90, 98 | Кадмий | 1,3 н H2SO4 | 0,4 | 8,0 | 1,372 | 1,528 |
| 3, 11, 19, 27, 35, 43, 51, 59, 67, 75, 83, 91, 99 | Свинец | 1,0 н H2SO4 | 0,2 | 0,8 | 1,360 | 1,432 |
| 4, 12, 20, 28, 36, 44, 52, 60, 68, 76, 84, 92 | Кобальт | 1,0 н HCl | 0,1 | 1,5 | 0,356 | 0,533 |
| 5, 13, 21, 29, 37, 45, 53, 61, 69, 77, 85, 93 | Никель | 1,0 н HCl | 0,05 | 2,5 | 0,476 | 0,646 |
| 6, 14, 22, 30, 38, 46, 54, 62, 70, 78, 86, 94 | Тантал | 1,0 н H2SO4 | 0,02 | 5,0 | 0,753 | 1,065 |
| 7, 15, 23, 31, 39, 47, 55, 63, 71, 79, 87, 95 | Родий | 2,0 н H2SO4 | 5,0 | 34,0 | 0,380 | 0,478 |
| 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88, 96 | Олово | 2,0 н H2SO4 | 0,1 | 5,0 | 1,097 | 1,294 |

**Задание 3.2**

Определите константы *а* и *b* в уравнении Тафеля для перенапряжения выделения водорода на металлическом электроде с площадью поверхности *S* в растворе заданного состава. При первом и втором потенциалах электрода φ относительно 1 н. каломельного электрода на катоде медного кулонометра за соответствующее время *t* выделилось *m* меди.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ варианта** | **Материал электрода** | **Электролит** | ***S,* см2** | ***t*, мин** | ***m*, мг** | **-φ, В** |
| 1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49, 55, 61, 67, 73, 79, 85, 91, 97 | Цинк | 2,0 н H2SO4 | 4 | 60  30 | 9,5  5,94 | 1,267  1,279 |
| 2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44, 50, 56, 62, 68, 74, 80, 86, 92, 98 | Кадмий | 1,3 н H2SO4 | 5 | 50  20 | 9,90  11,88 | 1,453  1,511 |
| 3, 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45, 51, 57, 63, 69, 75, 81, 87, 93, 99 | Олово | 2,0 н H2SO4 | 2 | 100  10 | 4,76  9,90 | 1,223  1,375 |
| 4, 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46, 52, 58, 64, 70, 76, 82, 88, 94 | Свинец | 1,0 н H2SO4 | 3 | 10  6 | 5,94  5,35 | 1,554  1,576 |
| 5, 11, 17, 23, 29, 35, 40, 47, 53, 59, 65, 71, 77, 83, 89, 95 | Никель | 1,0 н HCl | 5 | 50  60 | 9,50  57,01 | 0,635  0,705 |
| 6, 12, 18, 23, 30, 36, 41, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96 | Тантал | 1,0 н H2SO4 | 1,6 | 60  10 | 4,76  7,92 | 1,026  1,156 |

**РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ**

1. *Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А.* Электрохимия. – СПБ.: Лань, 2015
2. *Лукомский Ю.Я., Гамбург Ю.Д.* Физико-химические основы электрохимии. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008
3. *Кудряшов И.В., Каретников Г.С.* Сборник примеров и задач по физической химии. – М.: Высшая школа, 1991
4. *Антропов Л.И.* Теоретическая электрохимия. – М.: Высшая школа, 1984
5. *Скорчеллетти В.В.* Теоретическая электрохимия. – Л.: Химия, 1974
6. *Миомандр Ф., Садки С., Одебер П, Малле-Рено Р.* Электрохимия. – М.: Техносфера, 2008
7. *Брянский Б.Я.* Лекции по электрохимии. – Саратов: Вузовское образование, 2017