

**ИМИКОТЕХНОЛОГИЧЕН И МЕТАЛУРГИЧЕН УНИВЕРСИТЕТ
СОФИЯ**

ЛЮБОМИР ПЕТКОВ

Р Ъ К О В О Д С Т В О

ЗА

ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ

**ЕЛЕКТРОХИМИЧЕН СИНТЕЗ
ЕЛЕКТРОРАФИНАЦИЯ И ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦИЯ
ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ МЕТОДИ ЗА ПРЕЧИСТВАНЕ НА
ОТПАДЪЧНИ ВОДИ**

София, 2006 г.

В книгата са включени лабораторни упражнения от следните раздели на приложната електрохимия: електрохимичен синтез на неорганични и органични съединения, електрорафинация и електроекстракция на метали, електрохимични методи за пречистване на отпадъчните води. При описанието на работите е взето предвид, че общите теоретични въпроси от електрохимията са известни на студентите от курса “Теоретична електрохимия”. Във въведението на всяко упражнение в кратка форма е изложена свързаната с него теория: основни и странични процеси върху електродите, химични реакции, които протичат в електролизните клетки, електродни материали и др. Приведена е методиката и апаратурата за провеждането на експериментите, формулите за изчисление, начините за оформяне на получените резултати.

Книгата е предназначена за студентите бакалаври и магистри, които специализират в областта на технологията на електрохимичните производства. Тя може да бъде полезна и за студентите, които изучават дисциплините от органичния синтез, екологията, цветната металургия, както и за широк кръг от инженерно-технически специалисти, интересувачи се от проблемите на техническата електролиза.

**ЕЛЕКТРОХИМИЧЕН СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОРАФИНАЦИЯ И ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦИЯ
ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ МЕТОДИ ЗА ПРЕЧИСТВАНЕ НА ОТПАДЪЧНИ ВОДИ
(РЪКОВОДСТВО ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ)**

Автор:
Любомир Петков

Рецензент:
доц. д-р инж.

Издател: ХТМУ-София

ISBN-10:
ISBN-13:

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор.....	5
I. Електрохимичен синтез	7
Упражнение I.1. Определяне на напрежението на монополярна електролизна клетка.....	7
Упражнение I.2. Измерване на напрежението на биполярна клетка за електролиза на вода.....	13
Упражнение I.3. Изследване на газонапълването на електролита при електролизата на вода	18
Упражнение I.4. Изследване на процеса на получаване на хлор и основа в електролизна клетка с диафрагма	22
Упражнение I.5. Изследване на процеса на получаване на натриев хипохлорит	29
Упражнение I.6. Изследване на процеса на електрохимично получаване на калиев перхлорат.....	33
Упражнение I.7. Изследване на процесите на получаване на пероксодисярна киселина и амониев пероксодисулфат	36
Упражнение I.8. Изследване на процесите на електрохимично получаване на калиев перманганат.....	45
Упражнение I.9. Изследване на процеса на електрохимично получаване на манганов диоксид.....	53
Упражнение I.10. Изучаване на процеса на електроотлагане на оловен диоксид	57
Упражнение I.11. Електрохимична редукция на нитробензен.....	62
Упражнение I.12. Изучаване на процесите при получаване на йодоформ.....	67
Упражнение I.13. Изучаване влиянието на плътността на тока и концентрацията на електролита върху електрохимичната редукция на оксалова киселина.	72

II. Електрорафинация и електроекстракция на метали.....	76
Упражнение II.1. Електрорафинация на мед	76
Упражнение II.2. Електрохимично получаване на цинк	80
Упражнение II.3. Изследване на процеса на електрорафинация на сребро	84
Упражнение II.4. Електрохимично получаване на манган.....	90
Упражнение II.5. Изследване на условията за получаването на некомпактни катодни покрития от метали.....	95
III. Електрохимични методи за пречистването на отпадъчни води.....	100
Упражнение III.1. Изследване на процеса на електрохимично пречистване на отпадъчни води от хром.....	100
Упражнение III.2. Изследване на процеса на електрохимично пречистване на отработени хромсъдържащи разтвори	105
Упражнение III.3. Пречистване на отпадъчни води от мед чрез електроекстракция.....	108
Упражнение III.4. Изследване на процеса на електрохимично обеззаразяване на вода.....	114
Литература	120
Приложения 1 – 6	121

ПРЕДГОВОР

Електрохимията е стар клон на човешкото познание. Като всяка природна наука тя има приложно направление – технология на електрохимичните производства или техническа електролиза. Първите опити за промишленото използване на електрохимията датират от началото на 18 век. Следващите периоди се характеризират с постоянен прогрес и широко навлизане в различните отрасли.

В областта на цветната металургия електролизата се използва както за получаването на редица метали от техните руди (мед, цинк, кадмий), така и за рафинирането на цветните метали, които са получени по методите на пирометалургията (мед, сребро, злато, никел).

Голямо внимание заслужава приложението на електрохимията за получаването на леки метали. Съвременната промишленост за получаването на алуминий, магнезий, на редица алкални и алкалоземни метали се основава на електролизата на разтопени соли на тези метали.

Електрохимията има важно значение за производството на много химични продукти. Така например хлорът и натриевият хидроксид в съвременната промишленост се получават изключително чрез електрохимичен метод. По същия начин се произвеждат много окислителни – калиев перманганат, персулфати, перхлорати.

Чрез електролиза се получават и значителен брой органични съединения, като тя е незаменима в случаите, когато към тях се предявяват изисквания за особена чистота, например при производството на лекарства, на хранителни добавки, в козметиката.

Едновременно с усъвършенстването на електрохимичните производства чрез масовото използване на електрониката, те непрекъснато намират нови области на приложение. Много важно

значение в споменатия аспект имат електрохимичните методи в екологията. Разработени са и непрекъснато се усъвършенстват различни технологии за пречистването на отпадъчни води и газове, водоподготовка, за третирането на твърди отпадъци и др. С помощта на йонселективни електроди се осъществява ефективен мониторинг на различните компоненти на околната среда – вода, въздух, почви.

Изучаването на електрохимичните методи на производство е една от основните задачи на дисциплината “Електрохимичен синтез”. Същевременно за решаването на тези задачи е необходимо ръководство за лабораторни упражнения, което да отразява пълно основното съдържание на курса и да отговаря на съвременното състояние на науката и техниката в тази област.

Създаването на такова ръководство е целта, която е стояла пред неговия автор.

В книгата са описани 22 упражнения, както и приложения. В редица работи са предвидени различни варианти. Това дава възможност на студентите да разширят кръга от практическите си знания, а така също да се сведе до минимум възможността за провеждане на еднотипни изследвания.

Във връзка с обстоятелството, че студентите започват лабораторните занятия преди завършването на лекционния курс, към всяко упражнение е предвидено теоретично въведение.

При написването на ръководството е използван дългогодишният опит по преподаването на дисциплината в катедра “Електрохимични производства и защита от корозия”.

Всички бележки и препоръки за неговото подобряване ще бъдат приети с благодарност.

I. ЕЛЕКТРОХИМИЧЕН СИНТЕЗ

УПРАЖНЕНИЕ I.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО НА МОНОПОЛЯРНА ЕЛЕКТРОЛИЗНА КЛЕТКА

Въведение

Напрежението на една монополярна електролизна клетка може да се изрази със следното уравнение:

$$U = (\varphi_{\text{р.а.}} - \varphi_{\text{р.к.}}) + \eta_{\text{а}} + \eta_{\text{к}} + \Delta U_{\text{ан.}} + \Delta U_{\text{кат.}} + \Delta U_{\text{диафр.}} + \Delta U_{\text{ел-ди}} + \Delta U_{\text{конт.}}, \quad /1/$$

където:

$\varphi_{\text{р.а.}}$, $\varphi_{\text{р.к.}}$ са равновесни потенциали на анода и на катода, V;

$\eta_{\text{а}}$, $\eta_{\text{к}}$ – свръхнапрежение на анодния и на катодния процес, V;

$\Delta U_{\text{ан.}}$, $\Delta U_{\text{кат.}}$ - пад на напрежение в анолита и католита, V;

$\Delta U_{\text{диафр.}}$ - пад на напрежение в диафрагмата, V;

$\Delta U_{\text{ел-ди}}$ - пад на напрежението в електродите, V;

$\Delta U_{\text{конт.}}$ - пад на напрежението в контактите, V.

Неговото определяне може да стане по два начина – чрез изчисление и чрез непосредствено измерване.

Определянето на напрежението чрез изчисление се провежда по следния начин. Равновесните потенциали на електродите се определят в съответствие с уравнението на Нернст:

$$\varphi_{\text{р.а.}} = \varphi_{\text{а}}^0 + [(2,3RT)/F] \log a_{\text{H}^+} = 1,23 - [(2,3RT)/F] \text{pH} \quad /2/$$

$$\varphi_{\text{р.к.}} = \varphi_{\text{к}}^0 + [(2,3RT)/F] \log a_{\text{H}^+} = - [(2,3RT)/F] \text{pH} \quad /3/$$

$\varphi_{\text{а}}^0$, $\varphi_{\text{к}}^0$ са стандартни потенциали на анода и на катода, V;

R – газова константа, 8,31 J/mol.grad;

T – абсолютна температура, °K;

F – число на Фарадей, 96500 C/g-eqv;

a_{H^+} – активност на водородните йони.

При температури 18 – 22°C потенциалите възлизат на:

$$\varphi_{p.a} = 1,23 - 0,059pH \quad /4/$$

$$\varphi_{p.k.} = - 0,059pH \quad /5/$$

Числените стойности на свръхнапрежението на отделянето на кислород и на водород могат да се намерят за различните температури и плътности на тока от справочниците, ръководствата за упражнения, учебниците по теоретична електрохимия.

Падът на напрежението в електролита се определя по формулата

$$\Delta U_{ел-т} = i\rho_0 l, \quad /6/$$

където:

i е плътност на тока, A/cm^2 ;

ρ_0 – специфично съпротивление на електролита, Ωcm ;

l – разстояние между електродите, cm .

Разстоянието между електродите l се определя чрез непосредствено измерване. От справочници се намира специфичната електропроводимост κ $/\Omega^{-1}cm^{-1}/$ за съответния разтвор и от нея се изчислява $\rho_0 = 1/\kappa$.

При изчисленията на пада на напрежението в електролита не се отчита газонапълването, тъй като стойностите на κ , които фигурират в специалната литература, са определени в отсъствие на газонапълване.

Падът на напрежението в диафрагмата може да се определи чрез уравнението

$$\Delta U_{диафр.} = I\rho(d\beta^2/S\Pi), \quad /7/$$

където:

I е сила на тока, A ;

d – дебелина на диафрагмата, cm ;

β – коефициент (представлява отношението на дължината на порите към дебелината на диафрагмата). При изчисленията обикновено се приема $\beta = 1,5$;

Π – пористост (отношение на обема на порите към обема на диафрагмата). При изчисленията за Π се приема обикновено стойност $0,5$;

S – повърхност на диафрагмата, cm^2 .

Величината $\Delta U_{\text{ел-ди}}$ може да се пренебрегне, тъй като вследствие на по-голямото си напречно сечение металическите електроди се характеризират с ниско електрическо съпротивление, респективно голяма електропроводност.

Загубите на напрежение в контактите $\Delta U_{\text{конт.}}$ се поддават много трудно на определяне. Обикновено при изчисление за $\Delta U_{\text{конт.}}$ се приема стойност 0,1V.

Определеното чрез метода на изчислението напрежение не отговаря напълно на действителното, тъй като в него не се отчитат особеностите на конструкцията на електролизната клетка. Освен това при определянето на пада на напрежението в електролита не се отчита увеличаването на специфичното съпротивление в резултат на газонапълването. Предвид на това представлява интерес определянето на напрежението по опитен път. В този случай уравнението за общото напрежение се преобразува по следния начин:

$$U = (\varphi_{\text{а.}} - \varphi_{\text{к.}}) + \Delta U_{\text{ан.}} + \Delta U_{\text{кат.}} + \Delta U_{\text{диафр.}} + \Delta U_{\text{конт.}} , \quad /8/$$

където:

$\varphi_{\text{а.}}$, $\varphi_{\text{к.}}$ са потенциали на анода и на катода, V;

$\Delta U_{\text{ан.}}$, $\Delta U_{\text{кат.}}$ - пад на напрежение в анолита и католита, V;

$\Delta U_{\text{диафр.}}$ - пад на напрежение в диафрагмата, V;

$\Delta U_{\text{конт.}}$ - пад на напрежението в контактите, V.

Забележка: ако в електролизната клетка отсъства диафрагма, в уравнението не се включва $\Delta U_{\text{диафр.}}$ и съставляващите $\Delta U_{\text{ан.}}$ + $\Delta U_{\text{кат.}}$ се отбелязват с $\Delta U_{\text{ел-т}}$.

Чрез съответната измерителна схема се измерват $\varphi_{\text{а.}}$, $\varphi_{\text{к.}}$, $\Delta U_{\text{ан.}}$, $\Delta U_{\text{кат.}}$, $\Delta U_{\text{диафр.}}$. След измерване на общото напрежение U се изчислява съставящата $\Delta U_{\text{конт.}}$, която не може да бъде непосредствено измерена.

$$\Delta U_{\text{конт.}} = U - [(\varphi_{\text{а.}} - \varphi_{\text{к.}}) + \Delta U_{\text{ан.}} + \Delta U_{\text{кат.}} + \Delta U_{\text{диафр.}}] \quad /9/$$

Цел на работата

Изследване на напрежението при електролизата на водата; измерване на отделните съставлящи на напрежението; изчисляване на пада на напрежението в проводниците от I-ви род.