

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичної роботи
«Вибір і обґрунтування екологічно безпечних технологій
при проєктуванні гальванічних ліній»

для студентів спеціалізацій «Технічна електрохімія» і
«Хімічна технологія рідкісних розсіяних елементів та
матеріалів на їх основі» денної та заочної форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 06.10.2021 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2021

Методичні вказівки до виконання практичної роботи «Вибір і обґрунтування екологічно безпечних технологій при проєктуванні гальванічних ліній» для студентів спеціалізацій «Технічна електрохімія» і «Хімічна технологія рідкісних розсіяних елементів та матеріалів на їх основі» денної та заочної форм навчання / уклад. О. Л. Смірнова, О. Ю. Бровін. – Харків : НТУ «ХП», 2021. – 28 с.

Укладачі О. Л. Смірнова, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»
 О. Ю. Бровін, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

Рецензент Г. Г. Тульський, докт. техн. наук, проф. НТУ «ХП»

Кафедра технічної електрохімії

ВСТУП

Екологічні проблеми гальванотехніки привертають до себе широку увагу в основному через тривале забруднення навколишнього середовища іонами важких металів (ІТМ). У той же час у суспільстві відбувається розуміння того, що подальший розвиток техніки і технології по шляху створення нових продуктів з новими якостями часто заходить у суперечність з функціонуванням природного середовища. Тому актуальною проблемою сьогодення є створення нових ефективних ресурсозберігаючих і природоохоронних технологій.

На даний час у гальванотехніці склалися два основні напрямки: розвиток промислових технологій і розробка засобів і методів очищення стічних вод. На жаль обоє напрямки розвиваються самостійно і найчастіше незалежно друг від друга.

Не зважаючи на те, що промивні води гальванічних дільниць, в яких використовуються токсичні й шкідливі речовини, знешкоджуються за допомогою спеціальних методів, робочий персонал систематично піддається впливу цих речовин, що може викликати важкі отруєння, професійні захворювання, а іноді призводить до летального результату. Нерідкими є випадки ігнорування з боку виробництва щодо заходів очищення промислових стічних вод, які скидаються в міські каналізаційні мережі або прилеглі водойми. Це призводить до згубних, а іноді й незворотних, процесів у природному середовищі.

Методичні вказівки містять цінні довідкові дані – екологічні характеристики компонентів технологічних розчинів, які дозволяють провести аналіз розчинів і електролітів з метою оптимізації безпеки процесу одержання гальванічного покриття. Описано методіку, за якою можна оцінити ступінь екологічної небезпеки як окремих хімічних речовин, так і розчинів електролітів на їх основі. Поданий матеріал допоможе знайти підхід до проблеми створення екологічно безпечного гальванічного виробництва.

Для кращого засвоєння навчального матеріалу і мотивації студентів практична робота проводиться у формі ділової гри, що є важливим елементом активної форми навчання. Здобуті навички допомагають їм в успішній роботі при виконанні курсового і дипломного проектування.

Мета роботи – вибір, обґрунтування і розробка технологічного процесу одержання металевого покриття або іншої обробки поверхні, який дозволив би покращити умови праці та зменшити шкідливий вплив гальванічного виробництва на навколишнє середовище.

1. Теоретична частина

1.1. Види та наслідки забруднення гідросфери

Забруднення води відбувається внаслідок надходження у водойми зі стічними водами різних шкідливих домішок неорганічної (кислоти, мінеральні солі, луги, тощо) й органічної природи (нафта й нафтопродукти, органічні сполуки, поверхнево-активні речовини, миючі засоби, пестициди, тощо). Більшість із них є отруйними для мешканців водойм.

Кількість хімічних забруднювачів води постійно зростає і досягає зараз близько 1000 різновидів. Шкідлива дія багатьох із них має пролонгований вплив, тобто їхня дія виявляється в наступних поколіннях живих істот і полягає в появі шкідливих мутацій, генетичних розладах, тощо. Крім хімічного забруднення відбувається ще і фізичне забруднення води, пов'язане зі зміною її фізичних властивостей – прозорості, вмісту суспензій та інших нерозчинних домішок, радіоактивних речовин і температури.

Теплове забруднення водойм є особливим видом забруднення гідросфери. Воно спричинене спуском у водойми теплих вод від різних промислових установок. Величезна кількість тепла, що надходить із нагрітими водами в річки й озера, істотно змінює їх термічний і біологічний режими.

Неочищені або недостатньо очищені стічні води, потрапляючи в природні водойми, мають здатність до самоочищення. Самоочищення відбувається внаслідок розведення стічних вод, випадання в осаді твердих забруднювачів, хімічних й інших природних процесів, що призводять до видалення з водойми забруднювачів і сприяють поверненню води до її первісного стану. Проте здатність водойм до самоочищення має свої межі.

Гідросфера України сьогодні вже неспроможна до самоочищення, саморегулювання й самовідновлення – вона дедалі активніше деградує. Нині річки, озера та інші водойми самотужки вже не можуть подолати

дедалі зростаюче антропогенне навантаження. Тому суспільство повинно вдатися до заходів для очищення забруднених вод і повернення джерел водопостачання до стану, придатного для подальшого їх використання.

Стічні води – це води, які внаслідок використання їх на побутові або виробничі потреби суттєво погіршили свої первинні властивості, стали непридатними для використання, а також негативно впливають на гідросферу.

До них також належать води, які стікають із територій населених місць, промислових підприємств і сільськогосподарських полів унаслідок випадання атмосферних опадів.

Залежності від походження, виду та якісної характеристики домішок стічні води можна розділити на три основні категорії: *побутові* (господарсько-фекальні), *виробничі* (промислові) і *дощові* (атмосферні).

До побутових вод належать води від кухонь, туалетних кімнат, душових, бань, пралень, їдалень, лікарень, а також господарські води, які використані при митті приміщень. Вони надходять як від побутових і громадських будівель, так і від побутових приміщень промислових підприємств.

До *виробничих* стічних вод належать води, використані в технологічному процесі, вони не відповідають вимогам, які ставляться цим процесом до їх якості, а тому підлягають виведенню з території підприємства.

Атмосферні води створюються внаслідок випадання атмосферних опадів. Їх підрозділяють на дощові і талі, які виникають при таненні льоду і снігу. Характерна особливість дощового стоку – його епізодичність і різка нерівномірність.

Від промислових підприємств відводяться стічні води всіх трьох категорій. Режим відведення стічних вод у зовнішню каналізаційну систему та їхня кількість залежить від багатьох умов: потужності підприємства, числа робочих змін, виду сировини, технології виробництва, числа промислових установок і апаратів, а також режиму їх роботи, питомої витрати води на одиницю продукції та інше.

Електрохімічне виробництво є одним із найбільш небезпечних джерел забруднення навколишнього середовища, головним чином, поверхневих і підземних вододім, зважаючи на утворення великої кількості стічних

вод, що містять шкідливі домішки важких металів, неорганічних кислот і лугів, поверхнево-активних речовин та інших високотоксичних сполук.

1.2. Оцінка екологічної небезпеки гальванічного виробництва

Екологічна небезпека гальванічного виробництва визначається, головним чином, шкідливим впливом стічних вод, що містять компоненти технологічних розчинів, на поверхневі водойми. Слід зазначити, що кратність перевищення максимальної концентрації компонента в технологічному розчині ($C_{o\ max}$) над його гранично допустимою концентрацією (ГДК) у воді рибогосподарських водойм ($C_{o\ max} / \text{ГДК}$) визначає ступінь екологічної небезпеки (ЕН) компонента розчину:

$$\text{ЕН}_{\text{комп}} = C_{o\ max} / \text{ГДК} \quad (1.1)$$

ЕН характеризує потенційну небезпеку компонентів технологічних розчинів. У табл. 1 подано значення ГДК для водойм рибогосподарського призначення і ступінь екологічної небезпеки токсичних компонентів технологічних розчинів.

З табл. 1 видно, що крім етилендіаміну і катапіну, найбільшу екологічну небезпеку мають іони важких кольорових металів: $C_{o\ max} / \text{ГДК}$ від $(20 \div 85) \cdot 10^6$ для міді до $0,2 \cdot 10^6$ для молібдену. Серед кислотних залишків і лігандів найбільшу екологічну небезпеку мають йодиди, фторидні і ціанідні компоненти $(4,3 \div 2) \cdot 10^6$, а найменшу – сульфати, хлориди і нітрати $(9 \div 1) \cdot 10^3$. Амонійні $2 \cdot 10^5$ і пірофосфатні $(1,1 \div 4,3) \cdot 10^4$ сполуки займають проміжне положення.

Екологічну небезпеку розчинів і електролітів визначають підсумовуванням ступенів екологічної небезпеки кожного компоненту в розчині:

$$\text{ЕН}_{\text{розч}} = \sum \text{ЕН}_{\text{комп}} \quad (1.2)$$

Таким чином, зменшення негативного впливу гальванічного виробництва на навколишнє середовище досягається підвищенням ефективності

очищення стічних вод, раціоналізацією водоспоживання і, в першу чергу, зниженням екологічної небезпеки застосовуваних розчинів і електролітів.

Зниження екологічної небезпеки технологічних розчинів досягається двома шляхами: або заміною токсичних компонентів на менш токсичні, або зменшенням концентрації токсичних компонентів. При цьому необхідно враховувати умову виконання необхідних вимог для досягнення високої якості одержуваної продукції.

Існуюча нормативно-технічна документація визначає перелік складів розчинів і електролітів, припустимих до застосування на виробництві для одержання необхідної якості обробки поверхні або одержання покриття.

Проблема вибору складається у визначенні компонентів розчинів і електролітів, які мають найбільш широку область застосування, а також найменш екологічно небезпечних і найбільш технологічних.

Таблиця 1.1 – Ступінь екологічної небезпеки розчинів і електролітів

Призначення розчинів і електролітів, найменування технологічної операції, технологічного процесу	Іони, добавки	ГДК риб. вод. хоз., мг/л	Ступінь екол. небезпеки ($C_{0\max} / \text{ГДК}$)
1	2	3	4
Міднення, цинкування	Етилендіамін	0,001	$(70 \div 30) \cdot 10^6$
Оброблені розчини травлення міді	Cu^{2+}	0,001	$60 \cdot 10^6$
Міднення з кислих електролітів	Cu^{2+}	0,001	$(56 \div 64) \cdot 10^6$
Міднення з ціаністих електролітів	Cu^{2+}	0,001	$(32 \div 85) \cdot 10^6$
Міднення з пірофосфатних електролітів	Cu^{2+}	0,001	$(20 \div 26) \cdot 10^6$
Хімічне міднення	Cu^{2+}	0,001	$(4 \div 9) \cdot 10^6$
Хромування	Cr^{6+}	0,02	$(3,9 \div 10,2) \cdot 10^6$
Осадження кобальту	Co^{2+}	0,01	$10 \cdot 10^6$
Травлення сталей	Каталін	0,0007	$10 \cdot 10^6$
Нікелювання електролітичне	Ni^{2+}	0,01	$(5,2 \div 9,1) \cdot 10^6$
Кадміювання з аміачних електролітів	Cd^{2+}	0,005	$(5,2 \div 8,8) \cdot 10^6$

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4
Кадміювання з аміачних електролітів	Cd^{2+}	0,005	$(5,2\div 8,8)\cdot 10^6$
Кадміювання з ціаністих електролітів	Cd^{2+}	0,005	$(5,2\div 7,8)\cdot 10^6$
Кадміювання з кислих електролітів	Cd^{2+}	0,005	$(5,2\div 6,6)\cdot 10^6$
Кадміювання з пірофосфатних електролітів	Cd^{2+}	0,005	$1,8\cdot 10^6$
Цинкування з кислих електролітів	Zn^{2+}	0,01	$(2,7\div 7,2)\cdot 10^6$
Цинкування з аміачних електролітів	Zn^{2+}	0,01	$(1,4\div 5,7)\cdot 10^6$
Цинкування з ціанідних електролітів	Zn^{2+}	0,01	$(0,8\div 3,6)\cdot 10^6$
Цинкування з цинкатних електролітів	Zn^{2+}	0,01	$(0,8\div 2,8)\cdot 10^6$
Цинкування з пірофосфатних електролітів	Zn^{2+}	0,01	$(1,4\div 1,8)\cdot 10^6$
Хроматування	Cr^{6+}	0,02	$(0,9\div 4,8)\cdot 10^6$
Сріблення з йодидних електролітів	Γ	0,08	$4,3\cdot 10^6$
Анодування у хромовій кислоті	Cr^{6+}	0,02	$(0,8\div 1,5)\cdot 10^6$
Осадження сплавів Ni-Co, Zn-Co	Co^{2+}	0,01	$4,2\cdot 10^6$
Травлення титану, освітлення алюмінієвих сплавів, що містять кремній	F^-	0,05	$4\cdot 10^6$
Цинкування, кадміювання, олов'янування	ПЭИ	0,001	$3\cdot 10^6$
Ціаністе кадміювання	CN^-	0,05	$(1,4\div 2,1)\cdot 10^6$
Ціаністе золотіння	CN^-	0,05	$(0,6\div 2)\cdot 10^6$
Ціаністе цинкування	CN^-	0,05	$(0,4\div 1,1)\cdot 10^6$
Ціаністе сріблення	CN^-	0,05	$(0,3\div 1,3)\cdot 10^6$
Ціаністе міднення	CN^-	0,05	$(0,3\div 1)\cdot 10^6$
Сріблення з роданідних електролітів	CNS^-	0,1	$1,8\cdot 10^6$
Пасивація цинкових покриттів	Mo^{6+}	0,0012	$1,3\cdot 10^6$
Хімічне нікелювання	Ni^{2+}	0,01	$(0,6\div 1,5)\cdot 10^6$
Травлення та анодування алюмінію	Al^{3+}	0,04	$0,9\cdot 10^6$
Травлення сталейних деталей, залізнення	$\text{Fe}_{\text{заг}}$	0,1	$0,6\cdot 10^6$
Фосфатування в розчині солі Мажеф, оксидування мідних сплавів	Mn^{2+}	0,01	$0,5\cdot 10^6$
Цинкування, кадміювання, олов'янування, знежирення	OC-20	0,01	$0,5\cdot 10^6$
Свинцювання, покриття сплавом Sn-Pb	Pb^{2+}	0,1	$0,4\cdot 10^6$

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4
Хромування, хроматування	Cr^{3+}	0,07	$0,4 \cdot 10^6$
Цинкування, кадміювання	Діспергатор НФ	0,25	$0,4 \cdot 10^6$
Електрополірування	Фосфати за Р	2,0	$0,3 \cdot 10^6$
Цинкування, кадміювання	NH_4^+	0,5	$0,2 \cdot 10^6$
Цинкування	Квасци	0,63	$9 \cdot 10^4$
Міднення пірофосфатне, сріблення	Se^{4+}	0,0016	$3 \cdot 10^4$
Фосфатування сталей	Ba^{2+}	0,74	$3 \cdot 10^4$
Міднення, цинкування та кадміювання з пірофосфатних електролітів	Пірофосфати за Р	2,0	$(1,5 \div 4,3) \cdot 10^4$
Травлення мідних сплавів, освітлення алюмінію	NO_3^-	40,0	$2 \cdot 10^4$
Хімічне і електрохімічне знежирення	Сінтанол ДС-10	0,0005	$20 \cdot 10^6$
	Піногасник КЕ-10-12	0,001	$2 \cdot 10^2$
	Сульфатол НП-5	0,1	$6 \cdot 10^4$
	Сульфирол-8	0,1	$3 \cdot 10^4$
	ОП-10	0,5	$1,2 \cdot 10^4$
Наповнення анодно-оксидних покриттів	Красителі:		
	чорн. С	0,05	$2 \cdot 10^4$
	чорн. К	0,5	$1 \cdot 10^4$
	чорн. для А1	0,8	$0,6 \cdot 10^4$
Травлення титану, цинкування і кадміювання	Ti^{2+}	0,06	$1,7 \cdot 10^4$

Закінчення табл. 1.1

1	2	3	4
Блискуче нікелювання	1,4-бутгіндіол	0,1	$1,5 \cdot 10^4$
Цинкування, нікелювання, кадміювання, ематалювання	H_3BO_3 за В	0,5	$1,1 \cdot 10^4$
Травлення мідних сплавів, сталей	SO_4^{2-}	100,0	$0,9 \cdot 10^4$
Нанесення фосфатних, окисних покриттів, знежирення	Фосфати за Р	2,0	$0,8 \cdot 10^4$
Електрополірування міді, цинкування, кадміювання	Тіосечовина	1,0	$0,3 \cdot 10^4$
Травлення сталей, зняття шламу	Cl ⁻	300,0	$1,4 \cdot 10^3$
Освітлення цинкових та кадмієвих покриттів	NO_3^-	40,0	$1 \cdot 10^3$
Нікелювання, цинкування	Mg^{2+}	40,0	$1,5 \cdot 10^2$
Очищення стічних вод	Флокулянт ПАА	0,88	5,7
Знешкодження хромвмісних стоків (відновлення Cr(VI) до Cr(III))	SO_3^{2-}	1,9	в залежності від передозування
	$S_2O_5^{2-}$	1,7	
	$S_2O_3^{2-}$	2,2	

Зусилля для зниження екологічної небезпеки повинні бути спрямовані на проведення (у технічно обґрунтованих випадках) наступних заходів:

1. Заміна ціаністих електролітів на безціаністі;
2. Заміна кадміювання на цинкування з додатковою обробкою або на нанесення покриттів сплавами;
3. Заміна електролітів хромування на основі шестивалентного хрому на електроліти на основі тривалентного хрому, а також на електроліти для нанесення сплавів, які не містять хром;
4. Заміна розчинів пасивації на основі шестивалентного хрому на розчини на основі тривалентного хрому;
5. Заміна хромвмісних компонентів у процесах хімічного й електрохімічного електролітичного полірування;

6. Заміна висококонцентрованих розчинів і електролітів на менш концентровані.

Як приклад, у табл. 1.2 подано порівняльну оцінку екологічної небезпеки найбільш відомих електролітів цинкування. Така оцінка дозволяє проводити порівняння технологій нанесення покриттів і обирати такі розчини й електроліти, які дозволяють зменшити шкідливий вплив гальванічного виробництва на екологію.

Таблиця 1.2 – Порівняльна оцінка екологічної небезпеки електролітів цинкування

Компоненти	Ціаністі		Цинкатні		Аміачні	Кислі	
	звичайний	малоціаністий	№1	№2		сульфатний	хлоридний
ZnO	40-45	8-10	8-10	8-10	35-40	–	–
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	–	–	–	–	–	200-300	–
ZnCl ₂	–	–	–	–	–	–	135-150
NaCN	80-85	18-20	–	–	–	–	–
NaOH	40-60	60-80	100-120	100-120	–	–	–
Na ₂ SO ₄	–	–	–	–	–	50-100	–
NaCl	–	–	–	–	–	–	200-230
Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	–	–	–	–	–	30-50	–
NH ₄ Cl	–	–	–	–	200-220	–	–
ПЭИ	–	–	0,5-1,0	–	–	–	–
ЛВ-8490	–	–	–	1-4	–	–	–
Уротропін	–	–	–	–	20-25	–	–
Препарат ОС-20	–	–	–	–	4-5	–	–
Диспергатор НФ	–	–	–	–	6-8	–	–
Декстрін	–	–	–	–	–	8-10	–
Сумарна оцінка екологічної небезпеки	4,5·10 ⁶	1,0·10 ⁶	1,8·10 ⁶	0,8·10 ⁶	3,8·10 ⁶	6,8·10 ⁶	7,2·10 ⁶

1.3 Розрахунок екологічної небезпеки електроліту з використанням додатку РЕН 1.0

Для автоматизації розрахунку екологічної небезпеки багатокомпонентних електролітів авторами було створено спеціалізований програмний додаток РЕН 1.0 для ПК. Інструментом для розробки було обрано інтегроване середовище Microsoft Visual Studio 2017. Програма працює під управлінням операційних систем Windows XP/Vista/7/8/8.1/10.

Програмний додаток (див. рис. 1) дозволяє не тільки швидко отримувати результати розрахунку на екрані ПК, але й автоматично виводити їх у текстовому вигляді у файл C:\Users\%Username%\Documents\ecology.txt. Код програмного додатку РЕН 1.0 подано у Додатку 2.

	Назва компоненту	Концентрація Солях, г/дм.куб	ГДК, г/м.куб	Екологічна небезпека, ЕНх10 ⁶
1	Цинк	32.1	0.01	3.21
2	Амоній	74.0	0.5	0.148
3	Хлориди	146.0	300	0.0004866667
4	Уротропін	25	0.5	0.05
5	Препарат ОС-20	5	0.01	0.5
6	Діспергатор	8	0.25	0.032
7				
8				
9				
10				

Загальна екологічна небезпека, ЕНх10⁶
3.940487

Розрахунок Передати результати в текстовий файл Очистити

Рисунок 1 – Форма додатку РЕН 1.0

2. Практична частина

2.1. Етапи ігрового проектування

Ігрове проектування, схему якого подано на рис. 2, це створення такої навчальної ситуації, завдяки якій досягається максимальна відповідність реальній ситуації. Процес ігрового проектування можна розбити на такі етапи:

1. Підготовчий;
2. Самостійна робота;
3. Взаємне навчання;
4. Аналіз результатів.

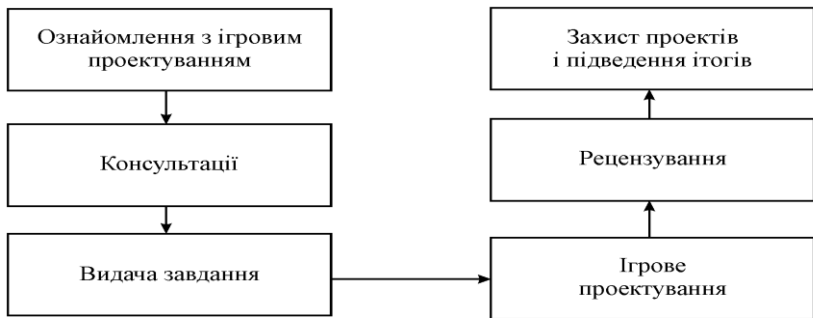


Рисунок 2 – Схема ігрового проектування

Етап 1. Підготовка до проведення гри полягає у видачі завдання на розробку. На цьому етапі залежно від конкретної поставленої задачі формується група учасників, участь яких гарантує виконання поставленої задачі. Потім результати самостійної роботи кожного учасника стають відомі усім, що сприяє підвищенню якості результатів розробки. Тривалість – 0,5 години.

Етап 2. Самостійна робота передбачає рішення поставленої задачі відповідно до теми заняття шляхом одержання відповідних результатів кожним членом технічної групи.

Цей етап поєднує самостійну роботу учасника і колективу в рамках технічної групи. Завдяки взаємному навчанню, обміну думками щодо технологічних рішень, вибору найбільш оптимального рішення, що буде подано як проектне, готується відповідна технологічна документація. Тривалість – 0,5 години.

Етап 3. Взаємне навчання передбачає обговорення результатів самостійної роботи у вигляді окремих проектних рішень, що попередньо одержали критичну оцінку на засіданні технічної групи.

Начальник технічної групи (керівник виконавців – учасників ігрового проектування) доповідає тему, дає обґрунтування напрямку роботи, розкриває алгоритм проведення даної розробки, подає свій варіант вирішення поставленої задачі, указує на його переваги і недоліки. У ході доповіді демонструються результати розрахунків, виконаних колективами технологічних груп.

Сумарну оцінку якості запропонованих технологічних рішень дає експертна комісія, що записує її в розрахункову карту кожної технічної групи. Тривалість – 0,5 години.

Етап 4. Аналіз результатів гри – це підведення результатів ігрового проектування. Експертна комісія аналізує роботу кожної технічної групи, визначає їх місце, указує позитивні і негативні сторони проектних рішень, які не були виявлені раніше. Особлива увага при оцінюванні проектних рішень звертається на їхній зв'язок з новими розробками в області технології гальванічних покриттів та сучасних технологій обробки поверхні.

Експертна комісія затверджує результати ігрового проектування, дає рекомендації з удосконалення його здійснення. Тривалість – 0,5 години.

2.2. Організаційне забезпечення ігрового проектування

Для організаційного забезпечення ігрового проектування необхідно визначити місце його проведення, час, відведений на гру, а також забезпечити учасників технологічними засобами, методичними розробками і довідковою літературою.

2.3. Алгоритм гри і захист проєктів

У проєктуванні беруть участь усі студенти навчальної групи. У залежності від кількості студентів формується 3 - 4 технічні групи, у склад яких входять: начальник групи – керівник, еколог, інженери-технологи.

Паралельно створюється експертна комісія (ЕК) з числа найбільш здатних студентів. На засіданні експертної комісії вибираються голова і його заступник. Голова експертної комісії розповідає про правила проведення ігрового проєктування, видає інструкції, знайомить із системою стимулювання.

Призначається день і час конкурсного проєктування, готується приміщення і всі необхідні матеріали. Студенти ознайомлюються з методикою і порядком проведення гри і впродовж 7 - 10 днів одержують необхідні консультації на кафедрі.

Під час ігрового проєктування у розпорядження студентів надається необхідна довідкова література. При проєктуванні перед усіма технологічними групами ставиться задача – розробити процес одержання конкретного гальванічного покриття (наприклад, цинкування) або технологію обробки поверхні. Видаються вихідні дані: призначення виробів; характеристика матеріалів та стану поверхні; умови експлуатації деталей і т.п.

Перед кожною технічною групою ставиться мета – вибір оптимальної технології для проведення конкретної операції (підготовчої, основної, заключної та ін.). Для цього інженери-технологи аналізують існуючі технологічні процеси, еколог розраховує екологічну небезпеку (ЕН) розчинів і електролітів, і на підставі отриманих результатів (у вигляді, як показано у табл. 2) вибирається найбільш безпечна в екологічному відношенні технологія. Керівник групи створює відповідну технологічну карту процесу.

Отримані результати передаються на рецензію в експертну комісію. На засіданні експертної комісії підводяться підсумки ігрового проєктування і складається загальний технологічний процес одержання гальванічного покриття. Комісія заохочує учасників за виявлену ініціативу й оригінальність рішення, а також штрафує тих, хто допустив у процесі гри грубі помилки (заохочення і штрафи оцінюються балами); вносить пропозиції на заохочення кращої технічної групи.

2.4. Завдання учасникам ігрового проектування

Завдання членам технічної групи:

- ознайомитися з алгоритмом ігрового проектування, його змістом, інструкціями для учасників і системою стимулювання;
- засвоїти свої функціональні обов'язки в складі технічної групи;
- брати активну участь у роботі технічної групи при розробці технологічного процесу і його екологічного обґрунтування.

Завдання начальникові технічної групи:

- провести розробку технології конкретної операції обробки поверхні при одержанні гальванопокриття (за розсудом викладача);
- простежити за виконанням завдання в зазначений термін, строго дотримуючи алгоритму ігрового проектування;
- об'єктивно розподілити ролі між членами технічної групи відповідно до їх здібностей;
- узагальнити результати діяльності своєї групи і на засіданні експертної комісії подати звіт із необхідними поясненнями і таблицею (приклад у табл. 2).

Завдання членам експертної комісії:

- ознайомитися з алгоритмом ігрового проектування, системою стимулювання;
- роботою експертної комісії керує голова і його заступник зі складу ЕК;
- у процесі обговорення проектних рішень необхідно заохочувати комплексний підхід до вирішення поставленої задачі, оригінальність і новизну розробки;
- провести оцінку роботи технічних груп відповідно до системи стимулювання (за табл. 3).
- на підставі отриманої від технічних груп документації створити карту технологічного процесу.

2.5. Система стимулювання

При оцінюванні робіт використовуються різні принципи стимулювання за оригінальні й технологічно обґрунтовані рішення, дотримання термінів проектування. За порушення зазначених вимог учасників гри штрафують. Крім того, для підвищення відповідальності кожного учасника за результати колективної праці оцінюється тільки колективна діяльність проектних груп. За скорочення нормативного часу проектування група преміюється, а за порушення термінів – штрафується.

Величина стимулу в балах обчислюється наступним чином:

$$П (Ш) = \pm Н (Т_n - Т_\phi), \quad (2.1)$$

де: П (Ш) – преміальні (штрафні) бали; T_n і T_ϕ – відповідно нормативний і фактичний час проектування, год.

Об'єктивна (позитивна або негативна) рецензія преміюється, не-об'єктивна – штрафується. Помилки в проектах оцінюються штрафними балами (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Система оцінки ділової гри

№ п.п.	Предмет стимулювання	Преміальні бали	Штрафні бали
1	Скорочення термінів проектування	$P = 6 (T_n - T_\phi)$	
2	Порушення термінів проектування		$Ш = 6 (T_n - T_\phi)$
3	Помилка через неухважність		3-6
4	Помилка професійна		10-20
5	Оригінальність прийнятих рішень	20-30	
6	Об'єктивність рецензії	5-10	10-15
7	Оцінка естетичності проекту	10-15	5-10
8	Оцінка доповіді при захисті проекту і відповідей на питання	10-20	

2.6. Порядок оформлення звіту до практичної роботи

Звіт до практичної роботи повинен містити:

- 1) назву роботи;
- 2) мету роботи;
- 3) основні теоретичні положення;
- 4) коротке викладення суті завдання з описом методики виконання;
- 5) викладення результатів роботи, отриманих при її проведенні;
- 6) висновок.

Звіт повинен бути оформлений на аркушах паперу формату А4 або аркушах зошита в клітинку відповідно до СТВУЗ-ХПІ-3.01-2010 «Текстовые документы в сфере учебного процесса. Общие требования к выполнению».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Смірнова О. Л. Ресурсозберігаючі електрохімічні виробництва : навчальний посібник / О. Л. Смірнова, С. А. Лещенко. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2019. – 120 с.

2. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов; под ред. В. Н. Кудрявцева. – М. : Производственно-издательское предприятие «Глобус», 1998. – 302 с.

3. Хранилов Ю. П. Экология и гальванотехника : проблемы и решения / Ю. П. Хранилов. – Киров : ВятГТУ, 2000. – 97 с.

4. Ажогин Ф. Ф. Гальванотехника: справ. изд. / Ф. Ф. Ажогин, М. А. Беленький, И. Е. Галль и др. – М. : Металлургия, 1987. – 736 с.

5. Обработка поверхностей металлов и пластмасс с использованием электролитических и химических процессов : Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 36–2017. – М. : Бюро НДТ, 2017. – 228 с.

6. Горельий А. В. Активизация обучения проектированию: учеб. пособие / А. В. Горельий, А. П. Бубнов и др.; под ред. А. В. Горелого. – Киев : УМВ ВО, 1991. – 264 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Теоретична частина	4
1.1. Види та наслідки забруднення гідросфери	4
1.2. Оцінка екологічної небезпеки гальванічного виробництва	6
1.3. Розрахунок екологічної небезпеки електроліту з використанням додатку РЕН 1.0	12
2. Практична частина	13
2.1. Етапи ігрового проектування	13
2.2. Організаційне забезпечення ігрового проектування	14
2.3. Алгоритм гри і захист проєктів.	15
2.4. Завдання учасникам ігрового проектування.	16
2.5. Система стимулювання	17
2.6. Порядок оформлення звіту до практичної роботи	18
Список літератури	18
Додатки	20
Додаток 1. Допустимі величини показників якості стічних вод і води водойм	21
Додаток 2. Код програми для розрахунку екологічної небезпеки	25

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

Допустимі величини показників якості стічних вод і води водоїм

Но- мер п/п	Найменування речовини	ГДК забруднень у стоках, що над- ходять на споруди біологічної очистки (г/м ³)	ГДК шкідливих речовин у воді		
			господарсь- ко-питного водопоста- чання (г/м ³)	клас небез- пекн	рибогоспо- дарського призначення (г/м ³)
1	2	3	4	5	6
1	Азот амонійний	30	2,0	3	0,5
2	Акрилова кислота	–	0,5	–	0,0025
3	Акрилонітрил	150	–	–	0,01
4	Алкіларилсульфонат	20	0,5	3	–
5	Алкілбензолсульфонати	20	0,5	4	–
6	Аміни C ₇ –C ₉	1	0,1	3	–
7	Аміни C ₁₀ –C ₁₅	1	0,06	4	–
8	Аміни C ₁₆ –C ₂₀	1	0,03	4	–
9	Алюміній	5	0,5	2	0,04
10	Ацетальдегід	20	0,2	4	0,25
11	Ацетон	40	2,2	3	0,05
12	Барій	10	0,1	2	2,0
13	Бензин	100	0,1	3	–
14	Бензойна кислота	15	0,6	4	–
15	Бензол	100	0,5	2	0,5
16	Бензапірен	20	0,000005	1	–
17	Бутилацетат	1	0,1	1	0,3
18	Бутилакрилат	–	0,01	4	0,0005
19	Бутиловий спирт (норм.)	10	0,1	2	0,03
20	Внілацетат	100	0,2	2	0,01
21	Вирівнювач А	20	2,0	4	–
22	Гідразингідрат	0,1	0,01	2	0,00025
23	Гідрокінон	15	0,2	4	0,001
24	Гліказин	30	–	–	0,1
25	Гліцерин	90	0,5	4	1,0
26	Дибутилфталат	0,2	0,2	3	0,001
27	Диметилфенілкарбінол	0,1	0,05	2	–
28	Дибутилацетамід	15	2,0	3	1,2
29	Дітанолоамід	100	1	2	–
30	Дітанолоамін	1	0,8	4	0,01
31	Дітиламін солянокислий	10	0,25	4	0,01
32	Дітиленгліколь	–	1,0	3	0,05
33	Залізо (загальне)	2,5	0,3	3	0,05

Продовження додатка 1

1	2	3	4	5	6
34	Жири рослинні, тваринні	50	За БСК		
35	Закріплювач ДЦМ	5	–	–	0,5
36	Закріплювач У-2	20	–	–	–
37	Ізобутиловий спирт	100	0,1	2	2,4
38	Кадмій	0,01	0,001	2	0,005
39	Капролактам	25	1,0	4	0,01
40	Карбоксиметилцелюлоза	За БСК	5,0	3	12,0
41	Кобальт	1	0,1	2	0,005
42	Ксилол	1	0,05	3	0,05
43	Барвники сірчасті	25	0,01	4	–
44	Барвники синтетичні	25	0,02–0,2	4	0,25
45	Крезолі	100	0,004	2	–
46	Кротоновий альдегід	6	0,30	3	–
47	Латекс ЛМФ	10	6,0	4	0,1
48	Лудигол	100	За БСК	4	–
49	Малеїнова кислота	60	1,0	4	–
50	Марганець	30	0,1	3	0,01
51	Масляна кислота	500	0,7	4	–
52	Мідь	0,5	0,1	3	0,005
53	Метазин	10	0,3	3	1,0
54	Метанол	30	3,0	2	0,1
55	Метилметакрилат	500	0,01	2	–
56	Метилстирол	1,0	0,1	3	–
57	Метилетилкетон	50	1,0	3	–
58	Моноетаноламін	5,0	0,5	2	0,01
59	Сечовина	За БСК	1,0	4	80,0
60	Арсен	0,1	0,05	2	0,05
61	Молібден	–	0,26	2	–
62	Нафта і нафтопродукти	10	0,3	2	0,05
63	Нікель	0,5	0,1	3	0,01
64	Нітрати (за NO ₃)	45,0	45,0	3	40,0
65	Нітрити	3,3	3,3	2	0,08
66	Олово	10	–	–	1,25
67	Поліакриламід	40	2,0	2	0,41
68	Полівініловий спирт	20	0,1	4	–
69	Полівінілова емульсія	10	–	–	0,3
70	Пропіловий спирт	12	0,25	4	–
71	Резорцин	12	0,1	4	0,004
72	Ртуть	0,005	0,0005	1	0,0001
73	Свинець	0,1	0,03	2	0,1

Продовження додатка 1

1	2	3	4	5	6
74	Селен	10	0,01	2	0,0016
75	Сірководень	1,0	0	3	–
76	Сірковуглець	1,0	1,0	4	1,0
77	СПАР аніонні	20	0,5	4	–
78	СПАР неіоногенні	25	0,5	4	–
79	Стирол	10	0,1	3	0,1
80	Стронцій	26	7,0	2	10,0
81	Сульфід	1,0	0	3	–
82	Гіосечовина	10	0,03	2	1,0
83	Титан	0,1	0,1	3	–
84	Тулуол	15	0,5	4	0,5
85	Трилон Б	20	4,0	2	0,5
86	Трикрезолфосфат	40	0,005	2	–
87	Триетаноламін	5,0	1,0	4	0,01
88	Оцтова кислота	45	1,0	4	0,01
89	Оцтово-етиловий ефір	13	0,2	4	0,25
90	Фенол	10	0,001	4	0,001
91	Формальдегід	100	0,05	2	0,01
92	Фосфати	10,0	3,5	4	–
93	Фталева кислота	0,5	0,5	3	3,0
94	Хром (тривалентний)	2,5	0,5	3	–
95	Хром (шестивалентний)	0,1	0,05	3	0,001
96	Ціаніди	1,5	0,1	2	0,05
97	Цинк	1,0	1,0	3	0,01
98	Етанол	14,0	–	–	0,01
99	Етиленгліколь	1000	1,0	3	0,25
100	Етилхлорідрин	5,0	0,0001	1	–
Речовини, які не піддаються біологічному розкладу					
101	Анізол	–	0,05	3	–
102	Ацетофенон	–	0,1	3	–
103	Гексаген	–	0,1	2	–
104	Гексахлоран	–	0,02	4	–
105	Гексаметилендіамін	–	0,01	2	–
106	Дихлорнафтохінон	–	0,1	3	–
107	Диметилдихлорвініл-фосфат	–	1,0	3	–
108	ДДТ (технічний)	–	0,1	2	–
109	Діетиланілін	–	0,15	3	–
110	Діетилртуть	–	0,0001	1	–
111	Дихлорбензол	–	0,002	3	0,01

Продовження додатка 1

1	2	3	4	5	6
112	Дихлоргідрин	–	1,0	4	–
113	Дихлоретан	–	0,02	2	0,1
114	Діетиловий ефір	–	0,3	4	0,008
115	Ізопропіламін	–	2,0	3	–
116	Ізопрен	–	0,005	4	0,01
117	Карбофос	–	0,05	4	0
118	б-меркапто-діетиламін	–	0,1	4	–
119	Метафос	–	0,5	4	0
120	Метилнітрофос	–	0,25	3	0
121	Натрій	200,0	200,0	2	–
122	Нітробензол	–	0,2	3	0,01
123	Нітрохлоробензол	–	0,05	3	–
124	Петролатум	–	0,1	3	–
125	Пікринова кислота	–	0,5	3	0,01
126	Пірогалол	–	0,1	3	–
127	Поліхлорпінен	–	0,12	2	–
128	Поліетиленімін	–	0,1	2	0,001
129	Пропілбензол	–	0,2	3	–
130	Сульфати	500,0	500,0	4	100,0
131	Тетрахлорбензол	–	0,01	2	–
132	Тетраетилсвинець	–	0	1	–
133	Трифторхлорпропан	–	0,1	2	–
134	Триетиламін	–	2,0	2	–
135	Тетрахлорептан	–	0,0025	4	–
136	Тетрахлорнонан	–	0,003	4	–
137	Тетрахлорпентан	–	0,005	4	–
138	Тетрахлорпропан	–	0,01	4	–
139	Тетрахлорундекан	–	0,007	4	–
140	Тетрахлоретан	–	0,2	4	–
141	Тіофен	–	2,0	3	–
142	Тіофос	–	0,003	4	–
143	Трибутилфосфат	–	0,01	4	–
144	Трихлорбензол	–	0,03	3	0,001
145	Фенілендіамін (п)	–	0,1	3	–
146	Фосфамід	–	0,03	4	–
147	Фурфурол	–	1,0	4	–
148	Хлориди	350,0	350,0	4	300,0
149	Хлорбензол	–	0,02	3	0,001
150	Хлоропрен	–	0,01	2	–
151	Циклогексан	–	0,1	2	0,01

ДОДАТОК 2

Код програми для розрахунку екологічної небезпеки

```
Imports System.IO
Imports System.Text
```

```
Public Class Form1
```

```
    Dim en1, en2, en3, en4, en5, en6, en7, en8, en9, en10, ensum As Single
    Dim header, ep, ens1, ens2, ens3, ens4, ens5, ens6, ens7, ens8, ens9, ens10 As String
    Dim fileContent, filepath, dir As String
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
    en1 = 1000 * Val(TextBox20.Text) / Val(TextBox30.Text)
    en2 = 1000 * Val(TextBox19.Text) / Val(TextBox29.Text)
    en3 = 1000 * Val(TextBox18.Text) / Val(TextBox28.Text)
    en4 = 1000 * Val(TextBox17.Text) / Val(TextBox27.Text)
    en5 = 1000 * Val(TextBox16.Text) / Val(TextBox26.Text)
    en6 = 1000 * Val(TextBox15.Text) / Val(TextBox25.Text)
    en7 = 1000 * Val(TextBox14.Text) / Val(TextBox24.Text)
    en8 = 1000 * Val(TextBox13.Text) / Val(TextBox23.Text)
    en9 = 1000 * Val(TextBox12.Text) / Val(TextBox22.Text)
    en10 = 1000 * Val(TextBox11.Text) / Val(TextBox21.Text)
```

```
    If en1 > 0 Then
        TextBox40.Text = Str(en1 / 1000000)
        ens1 = "EH 1 " + TextBox1.Text + vbTab + TextBox40.Text + vbCrLf
    Else
        en1 = 0 : TextBox40.Text = "" : ens1 = ""
    End If
```

```
    If en2 > 0 Then
        TextBox39.Text = Str(en2 / 1000000)
        ens2 = "EH 2 " + TextBox2.Text + vbTab + TextBox39.Text + vbCrLf
    Else
        en2 = 0 : TextBox39.Text = "" : ens2 = ""
    End If
```

```
    If en3 > 0 Then
        TextBox38.Text = Str(en3 / 1000000)
        ens3 = "EH 3 " + TextBox3.Text + vbTab + TextBox38.Text + vbCrLf
    Else
        en3 = 0 : TextBox38.Text = "" : ens3 = ""
    End If
```

```
    If en4 > 0 Then
        TextBox37.Text = Str(en4 / 1000000)
        ens4 = "EH 4 " + TextBox4.Text + vbTab + TextBox37.Text + vbCrLf
    Else
        en4 = 0 : TextBox37.Text = "" : ens4 = ""
    End If
```

```

End If

If en5 > 0 Then
    TextBox36.Text = Str(en5 / 1000000)
    ens5 = "EH 5 " + TextBox5.Text + vbTab + TextBox36.Text + vbCrLf
Else
    en5 = 0 : TextBox36.Text = "" : ens5 = ""
End If

If en6 > 0 Then
    TextBox35.Text = Str(en6 / 1000000)
    ens6 = "EH 6 " + TextBox6.Text + vbTab + TextBox35.Text + vbCrLf
Else
    en6 = 0 : TextBox35.Text = "" : ens6 = ""
End If

If en7 > 0 Then
    TextBox34.Text = Str(en7 / 1000000)
    ens7 = "EH 7 " + TextBox7.Text + vbTab + TextBox34.Text + vbCrLf
Else
    en7 = 0 : TextBox34.Text = "" : ens7 = ""
End If

If en8 > 0 Then
    TextBox33.Text = Str(en8 / 1000000)
    ens8 = "EH 8 " + TextBox8.Text + vbTab + TextBox33.Text + vbCrLf
Else
    en8 = 0 : TextBox33.Text = "" : ens8 = ""
End If

If en9 > 0 Then
    TextBox32.Text = Str(en9 / 1000000)
    ens9 = "EH 9 " + TextBox9.Text + vbTab + TextBox32.Text + vbCrLf
Else
    en9 = 0 : TextBox32.Text = "" : ens9 = ""
End If

If en10 > 0 Then
    TextBox31.Text = Str(en10 / 1000000)
    ens10 = "EH 10 " + TextBox10.Text + vbTab + TextBox31.Text + vbCrLf
Else
    en10 = 0 : TextBox31.Text = "" : ens10 = ""
End If

ensum = en1 + en2 + en3 + en4 + en5 + en6 + en7 + en8 + en9 + en10

If ensum > 0 Then
    TextBox41.Text = Str(ensum / 1000000)
Else
    ensum = 0 : TextBox41.Text = ""

```

```

    End If
End Sub

Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button2.Click
    dir = System.Environment.GetFolderPath(Environment.SpecialFolder.MyDocuments)
    header = TextBox42.Text + vbCrLf + vbCrLf
    ep = vbCrLf + "Загальна екологічна небезпека " + TextBox41.Text + vbCrLf
    fileContent = header + ens1 + ens2 + ens3 + ens4 + ens5 + ens6 + ens7 + ens8 + ens9 + ens10
+ ep
    filepath = dir + "\ecology.txt"
    File.WriteAllText(filepath, fileContent)
    MsgBox("Результати записано у файлі ecology.txt, що знаходиться у папці Мої докумен-
ти")
End Sub

Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button3.Click
    TextBox1.Clear() : TextBox2.Clear() : TextBox3.Clear() : TextBox4.Clear()
    TextBox5.Clear() : TextBox6.Clear() : TextBox7.Clear() : TextBox8.Clear()
    TextBox9.Clear() : TextBox10.Clear() : TextBox11.Clear() : TextBox12.Clear()
    TextBox13.Clear() : TextBox14.Clear() : TextBox15.Clear() : TextBox16.Clear()
    TextBox17.Clear() : TextBox18.Clear() : TextBox19.Clear() : TextBox20.Clear()
    TextBox21.Clear() : TextBox22.Clear() : TextBox23.Clear() : TextBox24.Clear()
    TextBox25.Clear() : TextBox26.Clear() : TextBox27.Clear() : TextBox28.Clear()
    TextBox29.Clear() : TextBox30.Clear() : TextBox31.Clear() : TextBox32.Clear()
    TextBox33.Clear() : TextBox34.Clear() : TextBox35.Clear() : TextBox36.Clear()
    TextBox37.Clear() : TextBox38.Clear() : TextBox39.Clear() : TextBox40.Clear()
    TextBox41.Clear() : TextBox42.Clear()
End Sub

End Class

```

