МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Методичні вказівки
до виконання дипломного проекту з гальванотехніки
освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр”

Напрям 6.091600 “Хімічна технологія та інженерія”
Професійна спрямованість “Технічна електрохімія”

Рекомендовано
Радою ХТФ

Затверджено

Київ 2019

Методичні вказівки до виконання дипломного проекту з гальванотехніки освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр”. Напрям 6.091600 “Хімічна технологія та інженерія”. Професійна спрямованість “Технічна електрохімія”. / Уклад. Л.А. Яцюк, В.П. Чвірук, В.Ф.Панасенко, Т.І. Мотронюк, О.В. Лінючева, О.І. Букет. – К: НТУУ "КПІ", 2019. – 54 с.

Укладачі:

Яцюк Леонід Андрійович
Чвірук Володимир Петрович
Панасенко Віктор Федорович
Мотронюк Тетяна Іванівна
Лінючева Ольга Володимирівна
Букет Олександр Іванович

Відповідальний за випуск Чвірук В.П.

Рецензент Хірх-Ялан І.Ф.

Зміст

1. Загальні положення 5

2. Структура та зміст дипломного проекту 6

2.1. Структура та обсяг проекту 6

2.2. Зміст пояснювальної записки 6

2.3. Графічна документація 7

3. Правила оформлення пояснювальної записки 7

4. Вимоги до структури розділів пояснювальної записки та методичні вказівки щодо їх розробки 8

4.1. Технологічна частина 8

4.1.1. Вибір виду та товщини гальванічного покриття. Характеристика виробів, на які наносять покриття. 8

4.1.2. Вибір технологічного процесу 9

4.1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу 9

4.1.2.2. Підготовка поверхні виробів перед нанесенням гальванічного покриття 9

4.1.2.3. Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття 9

4.1.2.4. Вибір і обґрунтування завершальних операцій 9

4.1.2.5. Контроль якості гальванічного покриття 10

4.1.2.6. Карта технологічного процесу 10

4.1.3. Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів. Технологічні розрахунки 10

4.1.3.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання 10

4.1.3.2. Визначення виробничої програми обладнання 11

4.1.3.3. Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів 11

4.1.3.4. Баланс струму на гальванічній ванні 18

4.1.3.5. Баланс напруги на гальванічній ванні 22

4.1.3.6. Вибір джерела струму для гальванічної ванни 25

4.1.3.7. Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії 25

4.1.3.8. Тепловий розрахунок гальванічних ванн 29

4.1.3.9. Розрахунок витрат матеріалів 34

4.1.3.10. Використання комп'ютерної техніки та сучасного програмного забезпечення при виконанні розрахунків 41

4.2. Автоматичне регулювання параметрів гальванічного процесу 41

4.3. Економіко-організаційні розрахунки 44

4.4. Екологічна безпека гальванічного виробництва, очистка стічних вод 45

4.5. Техніка безпеки процесу нанесення гальванічного покриття 47

Висновки 47

5. Захист бакалаврського проекту 48

Список літератури 49

Додатки 50

1. Загальні положення

1.1. Освітній рівень бакалавра відповідає базовій вищій освіті, кваліфікаційний – бакалавру з хімічної технології та інженерії. Згідно з вимогами сучасного ринку праці призначення цього фахівця є робота на первинних інженерних посадах експлуатаційного супроводження промислових технологічних процесів, тобто виробнича функція бакалавра є технологічною і репродуктивною. Саме тому дипломний бакалаврський проект повинен свідчити про здатність і готовність бакалавра з хімічної технології та інженерії до адаптації сучасних промислових процесів з точки зору технологічного, конструкторського, економіко-організаційного їх оформлення, а також проведення хімічних та електрохімічних процесів на сучасному рівні автоматизації та в безпечних умовах для працюючих та для навколишнього середовища.

1.2. Виконання дипломного проекту є заключним етапом бакалаврської підготовки і має за мету:

систематизацію, закріплення і поглиблення теоретичних, практичних знань і вмінь, отриманих на протязі 4 - х років навчання, при вирішенні конкретних науково-технічних і виробничих задач професійної спрямованості; розвиток навичок проведення самостійної роботи та оволодіння методикою розрахунків, що використовуються при виконанні дипломної роботи; надбання досвіду аналізу результатів багатоваріантних розрахунків, формулювання висновків і їхнього публічного захисту.

1.3. Дипломний проект є найважливішим підсумком бакалаврської підготовки, у зв'язку з цим зміст роботи і рівень її захисту враховуються як один з основних критеріїв при оцінці якості реалізації освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з напряму 0916 „Хімічна технологія та інженерія”.

1.4. Обов'язкові вимоги до змісту дипломних проектів, їхньої структури та обсягу визначаються методичними вказівками, що розробляються випусковими кафедрами відповідно до професійної спрямованості в рамках напряму 0916 „Хімічна технологія та інженерія”.

1.5. Теми дипломних проектів затверджуються наказом по факультету не пізніше 10 березня поточного року.

2. Структура і зміст дипломного проекту

2.1. Структура та обсяг проекту

Дипломний проект складається із пояснювальної записки обсягом 50–70 друкованих сторінок і графічної частин – 4-5 аркушів креслень формату А1.

2.2. Зміст пояснювальної записки

Титульний аркуш
Завдання
Реферат
Зміст
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів
Вступ
1. Технологічна частина
1.1. Вибір виду та товщини гальванічного покриття
1.2. Вибір технологічного процесу
1.2.1. Обгрунтування вибору технологічно процесу
1.2.2. Підготовка поверхні виробів перед нанесенням гальванічного покриття
1.2.3. Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття
1.2.4. Вибір і обгрунтування завершальних операцій
1.2.5. Контроль якості гальванічного покриття
1.2.6. Карта технологічного процесу нанесення гальванічного покриття
1.3. Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів
1.3.1. Обгрунтування вибору виду обладнання
1.3.2. Визначення фонду робочого часу обладнання
1.3.3. Визначення річної виробничої програми установки
1.3.4. Визначення кількості установок та їх габаритних розмірів
1.4. Технологічні розрахунки
1.4.1. Визначення сили струму на ванні, складання балансу кількості електрики за одну годину роботи
1.4.2. Визначення напруги на ванні, складання балансу напруги
1.4.3. Вибір джерела струму для гальванічної ванни
1.4.4. Визначення джоулевої теплоти та складання балансу енергії на ванні

1.4.5. Тепловий розрахунок ванни

1.4.6. Розрахунок витрат енергоносіїв

1.4.7. Розрахунок витрат матеріалів: анодів , хімічних реактивів, води на приготування електроліту та кількості води на промивні операції

2. Автоматичне регулювання параметрів гальванічного процесу

3. Економіко-організаційні розрахунки

4. Екологічна безпека гальванічного виробництва, очистка стічних вод

5. Техніка безпеки процесу нанесення гальванічного покриття

Висновки

Перелік посилань

Додатки

2.3. Графічна документація

Графічна частина проекту має відповідати вимогам ГОСТ 2.301-68…ГОСТ 2.317-69 “ЕСКД. Общие правила оформления чертежей” – 201 с.

Креслення виконують на креслярському папері формату А1. Уздовж сторони аркуша проводиться рамка (ліворуч – на відстані 20 мм, від інших сторін – 5 мм). У правому нижньому куті розташовують основний напис за встановленою формою. Дозволяється застосовувати додаткові формати креслень ряду А2, А2×3, А.

Відповідно до Міждержавних стандартів Єдиної системи конструкторської документації специфікації виконують на окремих аркушах формату А4 і брошурують разом з пояснювальною запискою в кінці розділу «Додатки».

Графічна частина дипломного проекту має містити такі креслення:

- схему технологічного процесу нанесення гальванічного покриття – 1 аркуш формату А1;
- креслення загального виду гальванічної ванни або іншого обладнання для нанесення гальванічного покриття – 1 аркуш формату А1;
- схему очистки стічних вод – 1 аркуш формату А1.

3. Правила оформлення пояснювальної записки

Пояснювальна записка до дипломного проекту оформлюється згідно вимог стандарту СТП КПИ 2.001-83 “Курсовые проекты. Требования к оформлению документации», а також вимог ГОСТ 2.105-95 “ЕСКД. Общие требования к текстовым документам» – 37 с., ГОСТ 2.106-96 «ЕСКД. Текстовые документы».

Текст пояснювальної записки складається українською мовою в друкованому вигляді на аркушах формату А4 шрифтом Times New Roman 14 пунктів, міжрядковий інтервал 1.5 Lines. Орієнтовний обсяг пояснювальної записки повинен складати 50-70 сторінок.

4. Вимоги до структури розділів пояснювальної записки та методичні вказівки щодо їх розробки

Титульний аркуш пояснювальної записки, завдання на дипломний проект та календарний план-графік виконання дипломного проекту оформлюється згідно вимог "Положення про організацію дипломного проектування та державну атестаці. студентів НТУУ "КПІ"/Уклад. В.Ю. Угольніков. За заг.ред. Ю.І. Якименка -. К.: ВПК"Політехніка", 2006.– 84 с.

Реферат

Наводиться кількість сторінок, таблиць, рисунків, посилань. Коротко описується зміст Дипломного бакалаврського проекту. У кінці тексту наводяться ключові слова, що характеризують зміст проекту (не більше 20). Реферат складається українською та іноземною (яку студент вивчав) мовами.

Вступ

Коротко характеризують загальні властивості гальванічного покриття, сфери його застосування, порівнюють з іншими видами антикорозійних покриттів, висвітлюють нові напрямки розвитку функціональної гальванотехніки, формулюють актуальність даного проекту та мету проектування.

4.1. Технологічна частина.

4.1.1. Вибір виду та товщини гальванічного покриття. Характеристика виробів, на які наносять покриття.

У розділі характеризують вироби, на які наносять покриття (матеріал, габаритні розміри, конфігурація, вид попередньої обробки поверхні). Наводять також вимоги до зовнішнього вигляду виробів та умов їх експлуатації після нанесення покриття.

Вид і товщину покриття вибирають у відповідності із вимогами стандарту ГОСТ 9.303-84 на основі наведених характеристик виробів, умов їх експлуатації та зберігання.

4.1.2. Вибір технологічного процесу

4.1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу

Вибір технологічного процесу визначається характеристиками оброблюваних виробів, особливостями гальванічного покриття, вимогами до якості обробки поверхні. Вибираючи технологічний процес, необхідно урахувати новітні досягнення у галузі гальванотехніки. Особливу увагу необхідно приділити таким питанням:

- запровадженню прогресивних способів підготовки поверхні деталі;
- інтенсифікації процесів нанесення покриття, отриманню високоякісних, а також, блискучих покриттів із вирівнюванням мікрорельєфу поверхні;
- застосуванню більш економічних та нешкідливих електролітів;
- організації маловідходного та безвідходного виробництва.

4.1.2.2. Підготовка поверхні виробів перед нанесенням гальванічного покриття

У розділі коротко описують прийняті в даному проекті механічні, хімічні, електрохімічні операції з підготовки поверхні виробів.

4.1.2.3. Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття

На основі порівняльної характеристики найбільш відомих електролітів, які знаходять широке застосування в промисловості, обґрунтовують вибір електроліту для установки, яка проектується. Розглядають способи усунення причин браку, схеми обслуговування анодів.

4.1.2.4. Вибір і обґрунтування завершальних операцій

У залежності від виду гальванічного покриття і вимог до нього вибирають необхідні завершальні операції, такі як промивання, освітлення, хроматування, пасивування, наповнення і забарвлення анодних плівок, висушування, термообробка та ін. Описують призначення вибраних операцій, склад розчинів і режими проведення операцій, характеристики обладнання, на якому вони виконуються.

4.1.2.5. Контроль якості гальванічного покриття

У цьому розділі наводять вимоги до якості гальванічного покриття і описують методи, які застосовують для контролю якості даного виду покриття: зовнішнього вигляду, товщини, поруватості, міцності зчеплення з основним металом, корозійної стійкості. Відзначають, яка кількість виробів підлягає кожному виду контролю. Коротко розглядають способи видалення недоброякісних покриттів з поверхні виробів.

4.1.2.6. Карта технологічного процесу

Карта технологічного процесу включає усі технологічні операції та промивки і оформляється згідно з вимогами нормативної документації. Приклад оформлення карти технологічного процесу наведено в Додатку 2. Тривалість нанесення гальванічного покриття вибраної товщини, яку необхідно навести в карті, визначають у розділі 4.1.3.3.

4.1.3. Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів. Технологічні розрахунки

4.1.3.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Час роботи обладнання, яке проектується, визначається режимом роботи підприємства, технологічною схемою процесу та особливостями технологічного обладнання.

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання $T_н$ при переривчастому виробництві розраховують з кількості календарних днів у році (365) за вирахуванням вихідних (104) і святкових (10) днів, що при п’ятиденному робочому тижні тривалістю 41 год і двозмінній роботі за вирахуванням 6 год у передсвяткові дні складає приблизно

$$T_н = \{(365 - 104 - 10) \cdot 41/5 - 6\} \cdot 2 = 4104{,}4 \text{ год.}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання $T_д$ (год) визначають, виходячи із $T_н$ з урахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання ($K_{пр}$), які в гальванічному виробництві можуть складати від 2 до 8 %, тобто

$$T_д = T_н - K_{пр} \cdot T_н .$$

При роботі неавтоматизованого, немеханізованого обладнання і стаціонарних ванн загальні витрати часу на простої обладнання, яке працює в одну зміну, складає 2 %, а у дві зміни – 3 % від $T_н$. При роботі автоматизованого обладнання у дві зміни – 8 % від $T_н$.

4.1.3.*2. Визначення виробничої програми обладнання*

Для визначення річної виробничої програми $P_р$ річне виробниче завдання $P_з$ необхідно збільшити на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5…3 % ($K_{бр}$= 0,005...0,03) від $P_з$ в одиницях, які прийняті для даного виду продукції (квадратні метри площі, штуки, кілограми ваги деталей):

$$P_р = P_З + K_{бр} \cdot P_З .$$

Добова виробнича програма $P_{доб}$ складає:

$$P_{доб} = \frac{P_р}{T_{доб}},$$

де $T_{доб}$ – кількість робочих діб у календарному році.

Годинна виробнича програма $P_г$ визначається як

$$P_г = \frac{P_р}{T_Д} .$$

4.1.3.3. Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів

Вид обладнання вибирають, виходячи із розмірів оброблюваних виробів та особливостей технологічного процесу. Для нанесення покриття на дрібні деталі вибирають, як правило, установки з барабанними електролізерами, обробку інших деталей здійснюють у гальванічних ваннах, обладнаних підвісними пристроями .

Для розрахунку обладнання необхідно знати:

- річну виробничу програму, $м^2 \cdot рік^{-1}$($кг \cdot рік^{-1}$, $шт \cdot рік^{-1}$);
- час обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіска з деталями або барабан) з урахуванням часу на завантаження і вивантаження τ, хв;

- товщину покриття на деталях, мкм;
- габаритні розміри деталі та її площу.

Тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіски або барабана з деталями) τ складається із двох величин:

$$\tau = \tau_m + \tau_{об},$$

де τ_m - технологічний час (час обробки деталей у ванні) за формулою:

$$\tau_m = \frac{\delta_п \cdot d_м \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_e \cdot i_к}, \text{ хв}$$

де $\delta_п$ – товщина покриття, мкм; $d_м$ – густина металу покриття, г/см^3; B_c – катодний вихід за струмом (доля одиниці); K_e – електрохімічний еквівалент, г/А·год; $i_к$ – середня катодна густина струму, А/дм^2.

При нанесенні гальванічних покриттів у барабанних електролізерах розрахований технологічний час (τ_m) необхідно збільшити на 15…20% у зв'язку з механічним стиранням покриття і нерівномірністю пересипу деталей при електролізі.

Величину $\tau_{об}$ - часу обслуговування, необхідного для завантаження деталей у ванну та їх вивантаження, для розрахунків приймають 1...3 хвилини.

Для деяких сплавів, які наносять гальванічним способом, відсутні табличні значення густини $d_{сп}$ та електрохімічного еквівалента $K_{е\ сп}$. Їх можна вирахувати за такими формулами:

$$d_{сп} = \frac{100}{\frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2} + ... + \frac{P_n}{d_n}}, \text{ г/см}^3,$$

де P_1, P_2, …. P_n – вміст окремих компонентів у сплаві, %; d_1, d_2, ….d_n – густина відповідних компонентів сплаву, г/см^3.

Умовний електрохімічний еквівалент сплаву, г/А·год:

$$K_{есп} = \frac{1}{q_{сп}},$$

де $q_{сп}$ - питомі витрати на 1 г сплаву, А·год/г,

$$q_{сп} = \frac{P_1}{100 \cdot K_{e1}} + \frac{P_2}{100 \cdot K_{e2}} + ... + \frac{P_n}{100 \cdot K_{en}},$$

де K_{e1}, K_{e2}, …. K_{en} – електрохімічні еквіваленти окремих компонентів сплаву, г/А·год.

Затрати часу на початковий запуск обладнання, кінцевого вивантаження ванни і на допоміжні операції враховуються за допомогою коефіцієнта $K_{об}$: для роботи в одну зміну $K_{об}$ =1,06...1,1; у дві зміни – 1,03...1,05; у три зміни – $K_{об}$ = 1,02...1,04.

На основі дійсного річного фонду часу роботи обладнання $T_д$ та тривалості обробки одного завантаження ванни τ визначають кількість оброблюваних завантажень n

$$n = \frac{T_Д \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}}.$$

Тоді разове завантаження усіх ванн $У_c$, $м^2$ (шт. або кг).

$$У_c = \frac{P_P}{n}.$$

Після цього, у залежності від розмірів деталей, які передбачається обробляти, і наявного гальванічного обладнання, встановленого в цеху, подальші розрахунки кількості обладнання та його габаритних розмірів здійснюють за одним із двох варіантів:

а) перерахунок уже діючого обладнання, встановленого в цеху;

б) розрахунок нового обладнання, наприклад, для обробки деталей із значними габаритними розмірами.

Перерахунок діючого обладнання.

Метою цього розрахунку є встановлення можливості виконання річного виробничого завдання на існуючому обладнанні, визначення величини одночасного завантаження у ванну та необхідної кількості ванн.

Визначають габаритні розміри вибраного типу ванн, встановлених у цеху за місцем практики (студенти, які під час практики не мали змоги вивчити виробництво, що проектується, можуть вибрати із каталогу потрібний тип ванни середніх габаритних розмірів).

Виходячи із габаритних розмірів ванни, визначають довжину l_n та висоту h_n підвісного пристрою:

$$l_n = l - 2l_1,$$

де l – внутрішня довжина ванни, м; l_1 - відстань від краю підвіски до борта ванни (приймають у межах 0,10…0,15 м).

$$h_n = h - h_1 - h_2 - h_3,$$

де h – внутрішня висота ванни, м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски (0,15...0,20 м, більший розмір приймають за наявності на дні ванни змійовика); h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту (приймають 0.05 м); h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни (0,10...0,15 м, більший розмір приймають за наявності перемішування електроліту, а при використанні бортових відсмоктувачів величину h_3 збільшують до 0,15...0,30 м).

Визначивши габаритні розміри підвіски і знаючи габаритні розміри деталей, визначають кількість деталей $n_д$, яку можна закріпити на одну підвіску (між деталями необхідно передбачити невеликі зазори, деталі не повинні екранувати одна одну). Схему розташування деталей на підвісці наводять у пояснювальній записці.

Розраховують сумарну поверхню деталей S_n, які завантажують на одну підвіску ($м^2$):

$$S_n = S_д \cdot n_д,$$

де $S_д$ – поверхня однієї деталі, $м^2$; $n_д$ – кількість деталей на підвісці.

Визначають поверхню одноразового завантаження у ванну S_{03}, $м^2$:

$$S_{03} = S_n \cdot N_n,$$

де N_n – кількість підвісок, які одночасно завантажують у ванну. У разі використання підвіски рамкової конструкції для однопозиційної ванни N_n= 1.

Потім розраховують відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями l_{a-k} і перевіряють, чи відповідає вона унормованому значенню, яке повинно складати 0,10...0,25 м, що необхідно для забезпечення максимальної рівномірності покриття. Для однопозиційних ванн, які найбільш поширені в промисловості, l_{a-k} складає, м:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_n - 2B_a - 2B_1}{2},$$

де В – внутрішня ширина ванни; $B_п$ – товщина підвіски з деталями (визначається із креслення підвіски з деталями); $B_а$ – товщина анодів (товщину анодів вибирають у додатку № 1); B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, приймають 0,05...0,10 м. Розрахована величина l_{a-k} не повинна бути меншою унормованого значення. У подальшому вона використовується для визначення напруги на ванні.

Використовуючи визначену величину одноразового завантаження ванни S_{03}, розраховують кількість ванн, необхідних для виконання річної виробничої програми:

$$n_B = \frac{У_C}{S_{03}}$$

коли $n_в$ – дробове число, то його заокруглюють у більший бік.

Виходячи із визначеної кількості ванн, розраховують річну продуктивність вибраного обладнання, $P_р'$:

$$P_p' = S_{оз} \cdot n_в \cdot \frac{T_д \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} ,$$

та коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_P}{P_P'} .$$

При розрахунку обладнання рекомендується, щоб величина $К_{зав}$ знаходилася в межах 0,75...0,85.

Розрахунок нового обладнання

Такий розрахунок використовується у разі необхідності нанесення гальванопокриття на деталі значних розмірів, для обробки яких необхідно підібрати відповідне обладнання із каталогів або ж, у разі його відсутності, спроектувати нове.

Вихідними даними для такого розрахунку є габаритні розміри деталей та габаритні розміри підвіски з деталями.

Довжину підвіски $l_п$, висоту підвіски $h_п$ і товщину підвіски з деталями $B_п$ визначають із ескізного креслення, виходячи із розмірів деталей. Їх розміщують таким чином, щоб вони не екранували одна одну, а між деталями був зазор. В окремих випадках оброблятися може лише одна

деталь, яка має великі габаритні розміри. Ескізне креслення підвіски з деталями наводять у пояснювальній записці. Розрахунок внутрішніх розмірів однопозиційної гальванічної ванни з однією підвіскою, найбільш поширеною у виробництві, виконується таким чином.

Внутрішня довжина ванни l, м:

$$l = l_n + 2l_1,$$

де l_n – довжина підвіски; l_1 - відстань від краю підвіски до борта ванни приймають у межах 0,1...0,15 м.

Внутрішня ширина ванни B, м:

$$B = B_n + 2l_{a-k} + 2B_a + 2B_1,$$

де B_n – товщина підвіски з деталями; l_{a-k} – відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями, її приймають у межах 0,10...0,25 м; B_a – товщина анодів (вибирають у додатку 1); B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, її приймають 0,05...0,10 м.

Внутрішня висота ванни h, м:

$$h = h_n + h_1 + h_2 + h_3,$$

де h_n – висота підвіски; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски (0,15...0,20 м, більший розмір приймають за наявності на дні ванни змійовика); h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту (приймають 0,05 м); h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни (0,10...0,15 м, більший розмір приймають за наявності перемішування електроліту, а при використанні бортових відсмоктувачів величину h_3 – збільшують до 0,30 м).

Визначивши розміри ванни, за каталогом вибирають стандартизовану ванну потрібного типу із розмірами, близькими, але не меншими за розраховані і в подальших розрахунках уже використовують розміри стандартизованої ванни.

Величину одноразового завантаження, кількість ванн та коефіцієнт їх завантаження визначають аналогічно попередньому розділу.

У разі, коли $К_{зав}$ буде відрізнятися від оптимального значення 0,75...0,85, розміри підвіски змінюють і розрахунки розмірів ванни повторюють.

Розрахунок габаритних розмірів та кількості барабанних електролізерів

Вихідними даними для розрахунків є величина маси одноразового завантаження деталей G, кг та внутрішня довжина барабана $l_б$. Для розрахунку внутрішнього ($Д_{вн}$) і зовнішнього ($Д_{зов}$) діаметрів барабана визначають насипний об'єм деталей $V_{нас}$:

$$V_{нас} = (3...10) \cdot V_{дет} = (3...10) \cdot G / d_{дет},$$

де $d_{дет}$ – густина металу деталі, кг/м^3; $V_{дет}$ – об'єм деталей, м^3.

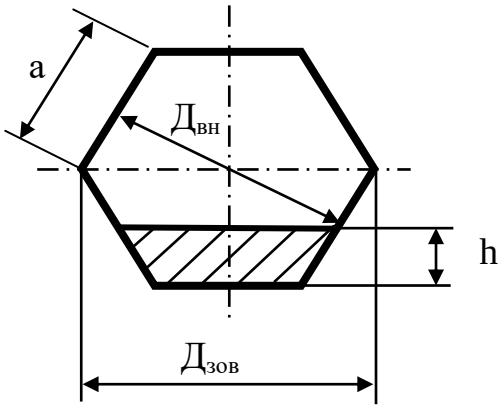

Рис. 1. Основні параметри барабана

Потім розраховують розмір сторони шестигранника *a*:

$$a = \sqrt{\frac{2{,}97 \cdot V_{нас}}{l_б}} \ .$$

Величину $l_б$ орієнтовно можна прийняти рівною 0,5 м.

Розміри барабана пов'язані з величиною сторони шестикутника (*a*) співвідношеннями

$$Д_{вн} = a\sqrt{3}, \ Д_{зов} = 2a + 2m,$$

де m – товщина стінок барабана, її величину можна приймати 5...8 мм.

Довжину барабана рекомендується приймати в межах (1,5...3,0)$Д_{вн}$, а висоту шару деталей у барабані $h = (1/6)Д_{вн}$. Коли в результаті розрахунків виявиться, що $l_б \neq (1{,}5...3{,}0)Д_{вн}$, то орієнтовно прийняту величину $l_б$ змінюють на інше значення і розрахунок повторюють.

Розрахунок габаритних розмірів ванни для барабана виконується в такій послідовності:

- внутрішня довжина ванни для барабана l, м:

$$l = l_б + 2l_1,$$

де $l_б$ – довжина барана, м; l_1 – відстань між торцевими стінками барабана і стінками ванни, приймають 0,10...0,20 м.

- внутрішня ширина ванни B, м:

$$B = Д_{зов} + 2B_1 + 2B_2 + 2B_A,$$

де B_1 – відстань між анодом і ближнім краєм барабана, приймають 0,10...0,20 м; B_2 – відстань між анодом і повздовжньою стінкою ванни, приймають у межах 0,05...0,10 м; B_A – товщина анодів (вибирають із додатку 1).

- внутрішня висота ванни h, м:

$$h = h_1 + h_2 + h_б + Д_{зов},$$

де h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю барабана (по описаному колу), складає 0,15...0,30 м; h_2 – відстань від дзеркала електроліту до верхньої частини барабана (по описаному колу), складає 0,10...0,20 м; $h_б$ – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю бортів ванни, приймають у межах 0,15...0,30 м; $Д_{зов}$ - зовнішній діаметр описаного кола барабана.

Кількість ванн з барабанами $n_б$ розраховують таким же чином, як і кількість стаціонарних ванн

$$n_б = У_c / G.$$

Річну виробничу програму $P_р$ та $У_c$ у цьому разі завдають у кілограмах маси деталей.

Барабанні електролізери, які працюють у складі автоматичних ліній, випускаються серійно, їх розміри нормалізовані і наведені у відповідних каталогах.

4.1.3.4. Баланс струму на гальванічній ванні

Розрахунок сили струму на ванні необхідний для подальшого вибору джерела живлення постійним струмом. Сила струму I, A на однопозиційній

ванні визначається як добуток величини технологічної густини струму на катоді I_k, А/м^2 на площу деталей одноразового завантаження S_{03}, м^2:

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{03},$$

де коефіцієнт К ураховує втрати електрики на осаджування металу на контактах підвісного пристрою, вибирають його у межах К = 1,03...1,15.

У разі проектування ванни для нанесення гальванічних покриттів на струмопровідний рисунок двобічних друкованих плат для розрахування сили струму використовують сумарну площу цього рисунка на усіх платах, які одночасно завантажують у ванну. Для цього сумарну величину поверхні плат з обох боків множать на коефіцієнт заповнення поверхні, який у середньому складає 0,35...0,50.

Для розрахунків рекомендується вибирати верхнє допустиме за технологією значення катодної густини струму.

Для барабанних електролізерів величину S_{03}, м^2 визначають за формулою:

$$S_{03} = G \cdot S_{\text{пит}},$$

де G – величина одноразового завантаження барабана, кг; $S_{\text{пит}}$ – питома площа одного кілограма деталей, у залежності від конфігурації деталей, може змінюватися в межах 0,05...0,20 м^2/кг. Для розрахунків рекомендується приймати $S_{\text{пит}}$ = 0,1 м^2/кг.

Для наступного складання балансу кількості електрики записують рівняння основних і побічних реакцій, які перебігають на електродах, і на основі значень виходу за струмом для цих реакцій визначають долю електрики, яка витрачається на основні та часткові процеси. Баланс електрики складають на одну годину роботи ванни, кількість електрики визначають в ампер-годинах. Результати розрахунків зводять у таблицю балансу електрики. Для деяких технологічних процесів, наприклад, міднення та олов'янування із сульфатних електролітів, приймають, що на катоді і аноді перебігають тільки основні процеси з виходом за струмом 100 % відповідно.

<u>Приклад розрахунку</u>. Визначити силу струму та скласти баланс електрики для ванни хромування із стандартного електроліту за такими вихідними даними: i_k = 5000 А/м^2; S_{03} = 0.8 м^2; К = 1.03. Вихід за струмом для реакції виділення хрому складає B_{c1} = 15 %.

Сила струму на ванні хромування:

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{03} = 1{,}03 \cdot 5000 \cdot 0{,}8 = 4120 \text{ А.}$$

У стандартному електроліті хромування на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:

1. $Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ + 12e \rightarrow 2Cr + 21H_2O$ (B_{c1} = 15 %);
2. $Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ + 6e \rightarrow 2Cr^{3+} + 21H_2O$ (B_{c2} = 5 %);
3. $2H_3O^+ + 2e \rightarrow H_2 + 2H_2O$ (B_{c3} = 80 %).

на аноді:

4. $3H_2O \rightarrow 2H_3O^+ + 0{,}5O_2 + 2e$ (B_{c4} = 95 %);
5. $2Cr^{3+} + 21H_2O \rightarrow Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ + 6e$ (B_{c5} = 5 %).

Сила струму, яка витрачається на кожну реакцію:
на катоді:

$$I_1 = \frac{I \cdot B_{c1}}{100} = \frac{4120 \cdot 15}{100} = 618 \ \ A;$$

$$I_2 = \frac{I \cdot B_{c2}}{100} = \frac{4120 \cdot 5}{100} = 206 \ \ A;$$

$$I_3 = \frac{I \cdot B_{c3}}{100} = \frac{4120 \cdot 80}{100} = 3296 \ \ A;$$

на аноді:

$$I_4 = \frac{I \cdot B_{c4}}{100} = \frac{4120 \cdot 95}{100} = 3914 \ \ A;$$

$$I_5 = \frac{I \cdot B_{c5}}{100} = \frac{4120 \cdot 5}{100} = 206 \ \ A.$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю 4.1.

У разі гальванічного нанесення сплавів частку струму, яка витрачається на осадження його окремих компонентів, розраховується за рівнянням:

$$B_{cn} = \frac{\frac{1}{K_{en}} \cdot P_n}{q_{cn}} \cdot 100 \ \%,$$

де K_{en} – електрохімічний еквівалент n – компонента сплаву; P_n – частка n – компонента в сплаві; $q_{сп}$ - питомі витрати електрики для сплаву, А·год/г.

Таблиця 4.1. Баланс електрики ванни хромування на одну годину роботи.

Надходження	**Q_A**	**%**	**Витрати**	**Q_A**	**%**
На катоді: Від зовнішнього джерела струму	4120	100	Виділення хрому за Реакцією 1 Відновлення Cr^{6+} до Cr^{3+} за реакцією 2 Виділення водню за реакцією 3	618 206 3296	15 5 80
Разом	4120	100	Разом	4120	100
На аноді: Від зовнішнього джерела струму	4120	100	Утворення кисню за Реакцією 4 Окислення Cr^{3+} до Cr^{6+} за реакцією 5	3914 206	95 5
Разом	4120	100	Разом	4120	100

<u>Приклад розрахунку.</u> Визначити частки струму, які витрачаються на осадження окремих компонентів сплаву, котрий містить 65 % олова (P_{Sn} = 0.65) і 35% нікелю (P_{Ni} = 0.35), за умови, що катодний вихід сплаву за струмом складає 100%.

Питомі витрати електрики для сплаву:

$$q_{cn} = \frac{1}{K_{eSn}} \cdot P_{Sn} + \frac{1}{K_{eNi}} \cdot P_{Ni} = \frac{1}{2.21} \cdot 0.65 + \frac{1}{1.095} \cdot 0.35 = 0.614 \ \ A \cdot год \cdot г^{-1}$$

Частка струму, яка витрачається для осадження нікелевого компонента сплаву:

$$B_{cNi} = \frac{\frac{1}{K_{eNi}} \cdot P_{Ni}}{q_{cn}} = \frac{\frac{1}{1.095} \cdot 0.35}{0.614} \cdot 100 \ \% = 52.2 \ \%$$

Частка струму, яка витрачається на осадження олов’яного компонента сплаву:

$$B_{cSn} = \frac{\frac{1}{K_{eSn}} \cdot P_{Sn}}{q_{cn}} = \frac{\frac{1}{2.21} \cdot 0.65}{0.614} \cdot 100\ \% = 47.8\ \%.$$

4.1.3.5. Баланс напруги на гальванічній ванні

Робоча напруга при завданій густині струму U_i є однією із основних енергетичних характеристик ванни. Вона визначає мінімальну величину напруги на джерелі струму $U_{дс}$, яке обслуговує ванну. Знаючи величину струму і напруги на джерелі струму, визначають електричну потужність, яка витрачається на електроліз. Методика розрахунку величини напруги на ванні залежить від способу завантаження деталей в електроліт.

Визначення напруги на ванні з підвісним пристроєм

Напруга на ванні U складається із різниці електродних потенціалів анода і катода під струмом $E_a - E_k$, омічного падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, у провідниках першого роду (електродах, струмопідводах у ванні, штангах) ΔU_I та в контактах ΔU_k:

$$U = E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_I + \Delta U_k.$$

Величини потенціалів електродів під струмом в електролітах, найбільш поширених у промисловості, можна вибрати в Додатку 3 або із довідників з гальванотехніки.

Омічне падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, В розраховують за формулою:

$$\Delta U_{ом} = \frac{i_{ср} \cdot l_{a-к}}{\chi},$$

$$\text{або } \Delta U_{ом} = i_{ср} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e,$$

де $i_{ср}$ – середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м^2, розраховується за формулою $i_{ср} = \sqrt{i_k \cdot i_a}$; l_{a-k} – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями, χ - питома електропровідність електроліту, См · м$^{-1}$; ρ_e – питомий електричний опір електроліту, Ом·м. Величини χ і ρ_e можна вибрати із Додатку 3 або із довідкової літератури із гальванотехніки.

Коли в процесі електролізу на електродах утворюються гази, бульбашки яких заповнюють міжелектродний простір, то при визначенні падіння напруги в електроліті необхідно урахувати вплив газонаповнення на омічний опір. У цьому разі $\Delta U_{ом}$ визначають за формулою:

$$\Delta U_{ом} = K \cdot i_{ср} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e,$$

де К – коефіцієнт, який ураховує збільшення опору за рахунок газонаповнення, величини К знаходиться у межах 1,01...1,25.

Суму падіння напруги в електродах, провідниках першого роду та в контактах ванни $\Delta U_I + \Delta U_k$ приймають у межах величини, яка не перевищує 10 % загальної напруги на ванні U, В визначається як:

$$U = \frac{E_a - E_k + \Delta U_{ом}}{0{,}9}$$

а сума $\Delta U_I + \Delta U_k = 0{,}1 \cdot U$.

Мінімальна напруга на джерелі струму $U_{дс}$ складається із суми напруги на вані U та падіння напруги в шинопроводах від джерела струму до ванни, яке приймають не більшим 10 % від $U_{дс}$. Отже

$$U_{дс} = 1{,}1 \cdot U.$$

<u>Приклад розрахунку.</u> Визначити напругу та скласти баланс напруги на ванні хромування за такими вихідними даними: i_k = 2700 А/м^2; i_a =1000А/м^2; E_a = +1,80 В; $E_к$ = –0,80 В; $\varkappa$ = 0,60 См/см; l_{a-k} = 0,15 м.

Баланс напруги процесу хромування розраховують за формулою:

$$U = E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_I + \Delta U_k,$$

де різниця потенціалів

$$E_a - E_k = 1.80 - (-0.80) = 2.6\,\text{В}.$$

При середній густині струму, яка проходить через електроліт

$$i_{ср} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{2700 \cdot 1000} = 1643 \;\; A/м^2$$

падіння напруги в електроліті становитиме

$$\Delta U_{ом} = \frac{K \cdot i_{ср} \cdot l_{а-к}}{\chi} = \frac{1{,}1 \cdot 1643 \cdot 0{,}15}{0{,}6 \cdot 100} = 4{,}5 \text{ В}$$

Тоді напруга на ванні

$$U = \left(E_a - E_k + \Delta U_{ом}\right)/0{,}9 = \left(2{,}6 + 4{,}5\right)/0{,}9 = 7{,}89 \text{ В}$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Delta U_I + \Delta U_k = 0{,}1 \cdot 7{,}89 = 0{,}789 \approx 0{,}79 \text{ В}$$

Мінімальна напруга джерела струму для ванни хромування:

$$U_{дс} = 1{,}1 \cdot U = 1{,}1 \cdot 7.89 = 8.68 \text{ В}$$

Таблиця 4.2. Баланс напруги на ванні хромування

Надходження	**В**	**%**	**Витрати**	**В**	**%**
Напруга на ванні	7,89	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$ Падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$ Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + \Delta U_k$	2,6 4,5 0,79	33 57 10
Разом	7,89	100	Разом	7,89	100

Визначення напруги на ванні з барабанним електролізером

Напруга на ванні з барабанним електролізером $U_б$ визначається за формулою:

$$U_б = E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_I + \Delta U_k + \Delta U_{перф} + \Delta U_б,$$

де $\Delta U_{перф}$ – падіння напруги в отворах барабана; $\Delta U_б$ – додаткове падіння напруги між деталями в барабані в результаті їх переміщення при обертанні. Усі інші складові рівняння тотожні рівнянню для ванни з підвісками і визначаються відповідно. Тобто падіння напруги в контактах і провідниках першого роду складає $\Delta U_I + \Delta U_k = 0{,}1 \cdot U_б$, а рівняння для $U_б$

$$U_б = \frac{E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_{перф} + \Delta U_б}{0.9}.$$

Падіння напруги в отворах барабана визначається як

$$\Delta U_{перф} = \frac{i_k \cdot S_{оз} \cdot \delta_C \cdot \rho_e}{6 \cdot a \cdot l_б \cdot K_п},$$

де $S_{оз}$ – поверхня деталей, завантажених у барабан, м^2; δ_C – товщина стінки барабана, м; ρ_e – питомий електричний опір електроліту, Ом·м; $Д_{зов}$ – діаметр описаного кола барабана, м; $l_б$ – довжина барабана, м; $К_п$ – ступінь перфорації поверхні барабана (приймають 0,25).

Додаткове падіння напруги між деталями в барабані $\Delta U_б$ ураховується коефіцієнтом 0,4 і складає

$$\Delta U_б = 0{,}4 \cdot \left(E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_{перф}\right), \text{ В.}$$

4.1.3.6. Вибір джерела струму для гальванічної ванни

Джерело постійного струму вибирають, виходячи із сили струму і напруги на ванні із урахуванням падіння напруги в шинопроводах. Не слід вибирати випрямні агрегати із великим запасом потужності, так як це значно знижує коефіцієнт їх завантаження. Коли для нанесення гальванічного покриття передбачається використовувати декілька ванн, то для кожної ванни вибирають окремий випрямний агрегат.

Для вибраного випрямного агрегату визначають коефіцієнт завантаження

$$K = \frac{N_{дс}}{N_{пасп}},$$

де $N_{дс}$ – потужність, необхідна для виконання завданої програми, $N_{дс} = U \cdot I \cdot 10^{-3}$, кВт; $N_{пасп}$ – паспортна потужність вибраного агрегату. На теперішній час у гальванотехніці широке застосування знайшли випрямні агрегати серії ВАК (які вже не випускаються) та серії (Т). Технічні характеристики випрямних агрегатів серії (Т) наведені в Додатку 4.

4.1.3.7. Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії

Електрична енергія $W_{заг}$, яка підводиться до електролізера, перетворюється в хімічну енергію $W_{хім}$ та в теплову енергію (джоулеву теплоту) $W_{дж}$

$$W_{заг} = W_{хім} + W_{дж}.$$

Енергія $W_{хім}$ відображує зміни матеріального стану, які відбуваються в результаті перебігу електрохімічних реакцій в електролізері, а енергія $W_{дж}$ витрачається на розігрівання електроліту і повинна бути урахована при складанні теплового балансу.

Електрична енергія, яка витрачається на перебіг процесу в одній ванні, визначається за формулою:

$$W_{заг} = U \cdot I \cdot \tau \cdot 3600 \cdot 10^{-3}, \text{ кДж},$$

де I – струм на ванні, А; U – напруга на ванні, В; τ – час роботи ванни під струмом, год. Зазвичай баланс енергії складають на одну астрономічну годину роботи ванни.

Енергію $W_{хім}$ можна визначити за формулою:

$$W_{хім} = -3.6 \cdot I \frac{10^{-2} \cdot \sum \nu_i \cdot \Delta H_i^o \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F} \cdot \tau, \ кДж,$$

де $\sum \Delta H_i^0$ – зміна ентальпії усіх електрохімічних процесів, яка розраховується за значеннями ентальпії вихідних та кінцевих продуктів реакції за температури, яка відповідає технологічному процесу із урахуванням стехіометричних коефіцієнтів ν_i та виходу за струмом B_{ci}; z_i - число електронів, які приймають участь у реакції. При розрахунку $\sum \Delta H_i$ для усіх процесів, які перебігають одночасно, приймають однакову направленість реакції. Тоді

$$\sum \Delta H_i = \sum \nu_{i_{вих}} \cdot \Delta H_{i_{вих}} - \sum \nu_{i_{кін}} \cdot \Delta H_{i_{кін}}$$

Коли в сумарній електродній реакції приймають участь розчинні речовини, а у довідковій літературі відсутні дані для ΔH_i з урахуванням теплоти їх розчинення, то при розрахунку ΔH_i необхідно до ΔH_i утворення речовини додати $\Delta H_i^{'}$ її розчинення. Коли ж окисно-відновна реакція перебігає в протилежних напрямках на катоді і аноді, то для неї $\Delta H = 0$, так як ця реакція не призводить до зміни матеріального стану системи.

При одночасному перебігу декількох електрохімічних процесів необхідно врахувати витрати хімічної енергії на всі процеси, що мають місце в системі, яку розглядають:

$$W_{хім} = -3{,}6 \cdot \mathrm{I} \cdot \sum 10^{-2} \frac{\sum \nu_i \cdot \Delta \mathrm{H}_i \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F} \cdot \tau ,$$

Тоді

$$W_{дж} = W_{заг} - W_{хім} = 3{,}6 \cdot \mathrm{I} \cdot \tau \cdot \left(U + \sum \frac{10^{-2} \cdot \sum \nu_i \cdot \Delta \mathrm{H}_i \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F} \right), \text{ кДж}$$

Для гальванічних процесів, які ідуть із розчинними анодами з виходом за струмом на катоді і аноді, близьким до 100%

$$W_{заг} \approx W_{дж} .$$

Результати розрахунків зводять у таблицю.

<u>Приклад розрахунку.</u> Визначити кількість джоулевої теплоти та скласти баланс енергії на годину роботи ванни хромування за умов, що у розділах 4.1.3.4 та 4.1.3.5 визначені баланс струму та баланс напруги на гальванічній ванні. За цих умов при напрузі на ванні U = 7,9 В та силі струму I = 4120 А на катоді перебігають реакції (див. розділ 4.1.3.4) утворення хрому (B_c = 0,15), виділення водню (B_c = 0,8) та утворення іонів Cr^{3+} (B_c = 0,05). На аноді відбувається розклад води (B_c = 0,95) та окислення іонів Cr^{3+} до $Cr_2O_7^{2-}$ (B_c = 0,05). Отже, перебіг реакції

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e = 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

у прямому напрямі на катоді та в зворотному на аноді з виходами за струмом 0,05 в стаціонарних умовах не змінює складу системи, тобто для цих процесів $W_{хім}$ = 0.

Катодну і анодну реакції та сумарний процес утворення хрому можна записати у вигляді

1. $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 12e = 2Cr + 7H_2O$ (B_c = 0,15)
2. $6H_2O = 12H^+ + 3O_2 + 12e$ (B_c = 0,15)

1-2. $Cr_2O_7^{2-} + 2H^+ = 2Cr + H_2O + 3O_2$ (B_c = 0,15)

Зміна ентальпії для сумарної реакції 1-2 складає

$$\Delta H^0_{1-2} = \Delta H^0_{Cr_2O_7^{2-}} + 2\Delta H^0_{H^+} - 2\Delta H^0_{Cr} - \Delta H^0_{H_2O} - 3\Delta H^0_{O_2} =$$
$$-1470 + 0 - 0 - (-286) - 0 = -1184 \text{, кДж/моль.}$$

Решта електрохімічних процесів пов'язана з розкладанням води

3. $H_2O = 2H^+ + 0.5O_2 + 2e$ (B_c = 0,95 – 0,15 = 0,80)

4. $2H^+ + 2e = H_2$ (B_c = 0,80)

3-4. $H_2O = H_2 + 0.5O_2$ (B_c = 0,80)

для яких

$$\Delta H^0_{3-4} = \Delta H^0_{H_2O} - \Delta H^0_{H_2} - 0.5\Delta H^0_{O_2} = -286 - 0 - 0 = -286 \text{ кДж/моль.}$$

Звідки знаходимо

$$W_{дж} = 3{,}6 \cdot I \cdot \tau \cdot \left(U + \frac{\Delta H^0_{1-2} \cdot B_{1-2}}{z_{1-2} \cdot F} + \frac{\Delta H^0_{3-4} \cdot B_{3-4}}{z_{3-4} \cdot F} \right) =$$
$$= 3{,}6 \cdot 4120 \cdot \frac{50}{60} \left(7{,}9 - \frac{1184 \cdot 0{,}15}{12 \cdot 96{,}5} - \frac{286 \cdot 0{,}8}{2 \cdot 96{,}5} \right) = 81094 \text{ кДж/год;}$$

$W_{заг}$ = 3,6 · 4120 · 7,9 · 50/60 = 97644 кДж/год;
$W_{хім}$ = $W_{заг}$ - $W_{дж}$ = 97644 – 81094 = 16550 кДж/год;

де 50 хвилин – тривалість операції хромування.

Таблиця 4.3. Баланс енергії на ванні хромування

Прихід	**кДж**	**%**	**Витрати**	**кДж**	**%**
Електрична енергія від джерела струму	97644	100	Джоулева теплота Хімічна енергія	81094 16550	83 17
Разом	97644	100	Разом	97644	100

4.1.3.8. Тепловий розрахунок гальванічних ванн

У залежності від температурного режиму процесу нанесення гальванічного покриття тепловий розрахунок ванни може виконуватись за одним із двох варіантів.

Тепловий розрахунок для гальванічних ванн, які працюють за підвищеної температури

При проведенні теплового розрахунку визначають кількість теплоти, яку необхідно витратити для розігріву ванни до робочої температури, і кількість теплоти, яку витрачають на підтримування необхідного теплового режиму під час електролізу з урахуванням джоулевої теплоти, яка при цьому виділяється. За результатами цих розрахунків потім визначають параметри нагрівного пристрою і витрати енергоносія. Тепловий розрахунок проводять за такою схемою.

Визначення витрат теплоти на розігрів ванни

Кількість теплоти $Q_{роз}$, яка необхідна для розігріву ванни, складається із витрат теплоти Q_1 на розігрів електроліту, матеріалу та футеровки ванни, анодів і витрат теплоти Q_2 на компенсацію втрат у навколишнє середовище

$$Q_{роз} = Q_1 + \frac{Q_2}{2},$$

де Q_2 - теплові втрати при робочій температурі за час розігріву, приймають, що в процесі розігріву теплові витрати у два рази нижчі.

Величину Q_1 визначають як

$$Q_1 = \left(V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3 + C_4 \cdot m_4\right) \cdot \left(t_K - t_H\right),$$

де V_1, C_1, d_1 - відповідно об'єм, питома масова теплоємність і густина електроліту, що нагрівається; C_2 - теплоємність матеріалу корпуса ванни, для сталі – близько $500\,Дж/(кг \cdot К)$; m_2 - маса ванни; C_3 - теплоємність матеріалу футеровки, для вініпласту близько $1630\,Дж/(кг \cdot К)$; m_3 - маса фу-

теровки; C_4 - теплоємність матеріалу анода; m_4 - маса анодів у ванні; t_k і $t_н$ - кінцева і початкова температури електроліту. Величини густин та теплоємностей для найбільш поширених електролітів наведені в додатку 3. Для розбавлених електролітів (із загальною концентрацією компонентів до 100 кг/м^3) допустимо прийняти густину і теплоємність води відповідно 1000 кг/м^3 та 4180 Дж/(кг·К).

Кількість теплоти на компенсацію теплових втрат у навколишнє середовище Q_2 складається із втрат теплоти нагрітим електролітом через стінки ванни Q_3 і втрати теплоти через дзеркало електроліту Q_4

$$Q_2 = Q_3 + Q_4.$$

Так як точний розрахунок величин Q_3 і Q_4, значно ускладнений відсутністю в літературі цілого ряду довідкових даних, їх можливо вирахувати наближено за допомогою таких рівнянь:

$$Q_3 = q_3 \cdot F_k \cdot \tau_p,$$
$$Q_4 = q_4 \cdot F_3 \cdot \tau_p,$$

де F_k – площа поверхні корпусу ванни, м^2; F_3 – площа поверхні дзеркала електроліту, м^2; τ_p – час розігріву ванни (приймають у межах 3600-7200 секунд, частіше – 3600 секунд); q_3 – величина питомих витрат теплоти через стінки ванни, Вт/м^2. Для інтервалу температур у ванні $t = 40 - 100^\circ C$ величину q_3 можна вирахувати за емпіричним рівнянням:

$$q_3 = b_0 + b_1 \cdot t$$

Значення коефіцієнтів b_0 і b_1 наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. - Значення коефіцієнтів b_0 і b_1

Коефіцієнт	Товщина теплоізолюючого шару			
	0	25	50	75
b_0	–397	–40.54	–24.85	–13.92
b_1	15.23	2.435	1.357	0.909

Величину питомих витрат теплоти q_4, Вт/м^2 через дзеркало електроліту в інтервалі температур $t = 30 - 100^{\circ}C$ можна вирахувати за емпіричним рівнянням:

$$q_4 = 82 + 0.0115 \cdot t^3.$$

Величини q_3 і q_4 для відповідного діапазону температур також можна вибрати із таблиць емпіричних даних, наведених у додатку 5.

Визначення витрат теплоти на підтримання робочої температури ванни

Кількість теплоти $Q_{роб}$ для підтримування робочої температури у ванні є сумою теплоти на компенсацію теплових втрат у навколишнє середовище Q_2 і теплоти Q_5 на підігрів підвісок з періодично оброблюваними деталями за вирахуванням величини джоулевого тепла $Q_{дж}$

$$Q_{роб} = Q_2 + Q_5 - Q_{дж}.$$

Розрахунок величини $Q_{роб}$ рекомендується проводити на 1 годину роботи ванни. У цьому разі величини Q_2 і Q_5 вираховують за формулами:

$$Q_2 = (q_3 \cdot F_k + q_4 \cdot F_з) \cdot 3600, \text{ Дж}$$
$$Q_5 = (C_5 \cdot m_5 + C_6 \cdot m_6)(t_k - t_н) \cdot n_{оз},$$

де C_5 і C_6 - питомі масові теплоємності матеріалу підвіски та оброблюваних деталей відповідно, Дж/(кг $\cdot$ К); m_5 і m_6 – маси підвісного пристрою та оброблюваних деталей на одній підвісці, кг; $n_{оз}$- кількість підвісок з деталями, які обробляються у ванні за одну годину. Величину $n_{оз}$ можна вирахувати як $n_{оз} = 60/\tau$, де $\tau = \tau_т + \tau_{об}$ (розділ 4.1.3.3.).

Величина $Q_{дж}$ відповідає $W_{дж}$, визначеній у розділі 4.1.3.7.

Результати розрахунків зводять у таблицю 4.5.

Таблиця 4.5. - Тепловий баланс ванни

Надходження		**Дж**	**%**	**Витрати**		**Дж**	**%**
Кількість теплоти	$Q_{роб}$			Кількість теплоти	Q_2		
Кількість джоулевої теплоти	$Q_{дж}$			Кількість теплоти	Q_5		
Разом			100	Разом			100

Розрахунок витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму

У гальванічних цехах для нагрівання ванн використовують водяну пару, а за відсутності паропроводів – електричне нагрівання. Електричне нагрівання використовують також у випадках, коли температура ванни повинна бути не нижче за 110 ^{o}C, або ж коли температуру розчину необхідно підтримувати із високою точністю. Методика розрахунку витрат енергоносія та пристроїв для нагрівання ванни залежить від виду використаного енергоносія.

<u>Розрахунок витрат водяної пари для нагрівання ванни</u>

Витрати пари для нагріву ванн до робочої температури розраховують за формулою

$$G_{проз} = \frac{Q_{роз}}{2122} \cdot n_{в}, \text{ кг}$$

де 2122 кДж/кг – кількість тепла, що віддається парою при переході до конденсату із температурою 130°C; $n_в$ - кількість ванн даного типу.

Витрати пари на підтримування теплового режиму протягом однієї години

$$G_{проб} = \frac{Q_{роб}}{2122} \cdot n_{в}, \text{ кг}$$

Витрати водяної пари на виконання річної виробничої програми визначають як

$$G_n = \frac{G_{nроз} \cdot T_{дб} + G_{nроб} \cdot T_д}{1000}, \text{ тонн}$$

де $T_{дб}$ – кількість робочих діб у календарному році, $T_д$ – дійсний час роботи ванни.

<u>Розрахунок витрат електрики та потужності теплоелектронагрівачів для нагрівання ванни</u> (виконується для ванн, обладнаних теплоелектронагрівачами)

Витрати електроенергії на розігрів ванни протягом однієї години визначається як

$$W_{роз} = \left(\frac{Q_{роз}}{3600}\right) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Витрати електроенергії на підтримування теплового режиму ванни протягом однієї години

$$W_{роб} = \left(\frac{Q_{роб}}{3600}\right) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загальна потужність трубчастих електронагрівачів (ТЕНів) для розігріву ванни

$$N_{роз} = \frac{W_{роз}}{\tau}, \text{ кВт}$$

Потужність ТЕН для підтримування теплового режиму

$$N_{роб} = \frac{W_{роб}}{\tau}, \text{ кВт.}$$

Зазвичай τ приймають рівним одній годині.

Використовуючи довідкові дані про технічні характеристики промислових ТЕН [5], вибирають необхідну кількість теплоелектронагрівачів.

Загальні витрати електроенергії на підтримування теплового режиму ванн при виконанні річної виробничої програми

$$W_{заб} = \left(W_{роз} \cdot T_{дб} + W_{роб} \cdot T_д\right) \cdot n_в, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $T_{дб}$ – кількість робочих діб у календарному році; $T_д$ – дійсний час роботи ванни, год; $n_в$ – кількість ванн даного типу.

Тепловий розрахунок гальванічних ванн, які працюють за кімнатної температури

Під час нанесення гальванічних покриттів виділяється значна кількість джоулевої теплоти, що може призвести до розігріву електроліту за межі допустимої температури. Метою розрахунку є визначення максимально можливої температури, до якої може розігрітися ванна за одну годину роботи. При цьому допускається, що вся джоулева теплота витрачається тільки на розігрів ванни і не втрачається у навколишнє середовище.

Максимально можливу температуру розігріву ванни t_k ^oC визначається за формулою:

$$t_k^o = 20 + \frac{W_{дж}}{V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3 + C_4 \cdot m_4},$$

де 20 – температура навколишнього середовища, ^oC; інші позначення такі ж, як у розділі 4.1.3.8.

Якщо розрахована величина t_k ^oC буде значно перевищувати допустиму за технологією температуру електроліту, то ванну необхідно обладнати пристроєм для охолоджування електроліту.

Коли ж зростання температури незначне і не перевищує декілька градусів, то охолодження ванни не потрібне.

4.1.3.9. Розрахунок витрат матеріалів

Розрахунок витрат матеріалів здійснюють з метою визначення річних потреб виробництва у вихідній сировині та матеріалах для нанесення данного виду покриття. При розрахунку необхідної кількості анодів, хімічних реактивів, води та інших матеріалів виходять з того, що їх витрати здійснюються за такими статтями:

а) на початковий запуск обладнання,

б) на виконання річної виробничої програми.

Розрахунок витрат анодів

Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання

Витрати розчинних та нерозчинних анодів на запуск обладнання (кг) визначаються за формулою:

$$G_{аз} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_в \cdot h_в \cdot \delta_а \cdot d_а \cdot n_в = 0{,}48 \cdot n_{аш} \cdot l_в \cdot h_в \cdot \delta_а \cdot d_а \cdot n_в ,$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймають K_1 = 0,6); K_2 – коефіцієнт, який враховує співвідношення анодів та висоти ванни (приймають K_2 = 0,8); $n_{аш}$ – кількість анодних штанг у ванні; $l_в$ – внутрішня довжина ванни, м; $d_а$ – густина матеріалу анодів, кг/м^3; $\delta_а$ – товщина анодів, м; $n_в$ – кількість ванн даного типу.

Витрати розчинних анодів на виконання річної виробничої програми

Ці витрати $G_{ар}$, кг визначають за формулою:

$$G_{ар} = S \cdot A_р \cdot \delta_п$$

де S – сумарна площа нанесеного покриття при виконанні річної програми, м^2; $\delta_п$ – товщина покриття в мікрометрах; A_p – норма витрат розчинних анодів на нанесення покриття товщиною один мікрометр, кг/м^2. Значення A_p визначають, виходячи з чистої маси покриття, технологічних втрат та відходів:

$$A_р = d_п \cdot (1 + 0{,}06) \cdot 10^{-6}, \text{ кг/м}^2,$$

де $d_п$ – густина металу покриття, кг/м^3.

Витрати нерозчинних анодів на виконання річної виробничої програми

Такі витрати обумовлені технологічними витратами, відходами і визначаються за формулою

$$G_{ан} = S \cdot A_н \cdot 10^{-3}, \text{ кг},$$

де S – сумарна площа нанесеного покриття при виконанні річної програми, м^2; $A_н$ – норма витрат нерозчинних анодів, г/м^2. Величини $A_н$ для найбільш поширених процесів наведені в додатку 6.

Розрахунок витрат хімічних реактивів

Для ванн із розчинними анодами загальні витрати хімічних реактивів на проведення технологічного процесу визначаються кількістю реактивів, необхідних для приготування електроліту на початковий запуск обладнання і витрати реактивів на виконання річної програми: винос електроліту з деталями, винос електроліту у вентиляційні канали, корегування електроліту, заміна електроліту та інше.

Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати кожного компонента електроліту G_i (кг) визначається за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_в \cdot K_{зап} \cdot n_в,$$

де C_i – концентрація відповідного компонента електроліту, кг/м^3; $V_в$ – об‘єм ванни, м^3; $K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни, $K_{зап}$ = 0,7...0,9; $n_в$ – кількість ванн даного типу.

Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми

Розрахунок витрат кожного компонента здійснюється за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{вт}, \text{ кг}$$

де $V_{вт}$ – сумарний об‘єм електроліту, який виноситься із ванни при виконанні річної виробничої програми, м^3.

Величину $V_{вт}$ можна визначити як:

$$V_{вт} = 1{,}15 \cdot S \cdot A_e,$$

де S – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік, м^2; коефіцієнт 1,15 – враховує площу занурюваної частини підвісок; A_e – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями, м^3/м^2.

Норми витрат для одного м^2 оброблюваної поверхні в залежності від складності конфігурації деталей наведені в додатку 7. A_e не залежить від товщини покриття.

Для ванн, які працюють із нерозчинними анодами, необхідно додатково ураховувати витрати відповідних компонентів на осаджування металевого покриття. Так, для ванн хромування необхідно додатково враховувати витрати хромового ангідриду на виділення металевого хрому на катоді із розрахунку $13{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг CrO_3 на один $м^2$ поверхні за товщини осаду хрому 1 мкм.

При використанні ціанідних електролітів додатково враховують витрати ціанідів через їх розкладання та анодне окиснення. Для електролітів, які працюють за температури 20 °С такі питомі витрати приймають $(0{,}5...0{,}7)10^{-3}$ кг/А·год., за t° < 45°С – $(0{,}7...0{,}8)10^{-3}$ кг/А·год., t° > 45°С витрати становлять $0{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг/А·год. Для барабанних ванн такі витрати ціанідів складають $0{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг/А·год.

Розрахунок витрат води

При виконанні річної виробничої програми вода витрачається на приготування електролітів та розчинів, на розкладання внаслідок електролізу, на випарування з поверхні електроліту, на промивні операції. У рамках курсового проекту обмежимося витратами води тільки на процес електролітичного нанесення покриття та наступне промивання деталей.

Витрати води на приготування електроліту

Такі витрати G'_{H_2O} (кг) визначаються за формулою:

$$G'_{H_2O} = C_{H_2O} \cdot V_{заг},$$

де C_{H_2O} – вміст води в одному $м^3$ електроліту, кг/$м^3$; $V_{заг}$ – сумарні витрати електроліту на виконання річної виробничої програми, $м^3$.

Величину C_{H_2O} можна визначати за формулою:

$$C_{H_2O} = d_{ел} - (C_1 + C_2 + ... + C_n),$$

де $d_{ел}$ – густина електроліту, кг/$м^3$ (величини $d_{ел}$ для найбільш поширених електролітів наведені в Додатку 3); C_1, C_2 ... C_n – вміст компонентів в електролітів, кг/$м^3$.

Сумарні витрати електроліту знаходять за формулою:

$$V_{заг} = V_в \cdot К_{зап} \cdot n_в + V_{вт},$$

де $V_в$ – об‘єм ванни, м^3; $К_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($К_{зап}$ = 0,7...0,9); $n_в$ – кількість ванн; $V_{вт}$ – об‘єм електроліту, винесеного деталями (розділ 4.1.3.9).

Витрати води на розкладання при електролізі

Розрахунок виконується тільки для ванн, на електродах яких перебігає побічний процес розкладання води. Витрати води на розкладання C''_{H_2O} (кг) розраховується за формулою:

$$C''_{H_2O} = I \cdot \frac{18 \cdot T_д B'_c}{2 \cdot 26{,}8} \cdot 10^{-5} \text{ кг},$$

де B'_c – вихід за струмом для побічного процесу розкладання води, %.

Витрати води на винесення із газами

Розрахунок виконується для ванн, в яких може перебігати побічний процес розкладання води. Витрати на винесення із газами C'''_{H_2O} (кг), визначаються за формулою:

$$C'''_{H_2O} = C'_{H_2O} \cdot V_г^t,$$

де C'_{H_2O} – вміст води, який виноситься із ванни одним м^3 газів, кг/м^3; $V_г^t$ – загальний об‘єм вологого газу, який виділяється за температури електролізу, м^3.

Величину C'_{H_2O} визначають як:

$$C'_{H_2O} = 0{,}000805 \frac{P_{H_2O}}{P_б - P_{H_2O}},$$

де $P_б$ – загальний тиск паро газової суміші, гПа; P_{H_2O} – парціальний тиск парів води за температури електролізу, гПа.

Для визначення величини $V_г^t$ спочатку визначають об‘єми водню і кисню, приведені до нормальних умов:

$$V_{H_2}^O = 0{,}418 \cdot I \cdot T_д \cdot B'_C \cdot 10^{-5}, \text{ м}^3;$$
$$V_{O_2}^O = 0{,}209 \cdot I \cdot T_д \cdot B'_C \cdot 10^{-5}, \text{ м}^3$$

і сумарний об‘єм приведених до нормальних умов газів:

$$V_г^O = V_{H_2}^O + V_{O_2}^O.$$

Об‘єм вологого газу за температури електролізу:

$$V_Г^t = \frac{V_г^O \cdot 1013 \cdot (273 + t_{ел})}{273(P_б - P_{H_2O})}, \text{ м}^3$$

де $t_{ел}$ – температура електролізу, °С.

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту

Такі витрати води $C_{H_2O}^{IV}$ (кг) розраховують за формулою:

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45{,}6 \cdot K_в \cdot S_е (P_{H_2O} - P_п) \cdot T_д \cdot n_в}{P_б}, \text{ кг}$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорціональності, кг/м^2·год; $K_в$ – коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості руху повітря над дзеркалом електроліту (для спокійного повітря $K_в$ = 0,56; для повільного руху повітря $K_в$ = 0,71; для швидкого руху повітря $K_в$ = 0,86); $S_е$ – поверхня дзеркала електроліту, м^2; $n_в$ – кількість ванн даного типу; $P_п$ – парціальний тиск водяної пари за температури та вологості навколишнього середовища, Па.

Величину $P_п$ визначають за формулою:

$$P_п = P_s \cdot \varphi / 100,$$

де P_s – тиск насиченої водяної пари за температури навколишнього середовища повітря, Па; φ – вологість повітря в умовах цеху, %.

Витрати води на промивні операції

У технологічному процесі підготовки поверхні і нанесення гальванічного покриття недостатнє промивання деталей може бути причиною поганого зчеплення покриття з основним металом, появою на покритті плям та інших видів браку. З іншого боку, екологічні та економічні проблеми вимагають раціонального використання водних ресурсів. Використання в технології промивки ванн уловлювання, каскадних ванн з протитечію, ванн струминної та струминно-проточної промивки та їх комбінацій значно зменшує витрати на технологічні потреби. Все це враховується при розробці схеми промивання деталей.

Витрати води на промивання деталей у значній мірі залежить від кількості ступенів промивки. При одноступеневому промиванні способом занурювання погодинні витрати води ${}_1V_{год}$ визначають за формулою:

$${}_1V_{год} = A_е \cdot К \cdot P_г, \text{ дм}^3/\text{год}.$$

Для двох - і трьохступеневої каскадної промивки формули приймають вид:

$${}_2V_{год} = A_е \cdot P_г \cdot \sqrt{К} \quad і \quad {}_3V_{год} = A_е \cdot P_г \cdot \sqrt[3]{К},$$

де $A_е$ – норми виносу розчину із ванни поверхнею деталей, дм^3/м^2 (наведені в додатку 7); $P_г$ – годинна виробнича програма ванни, м^2/год; К – критерій остаточної промивки деталей. Його визначають за співвідношенням:

$$К = C_0 / C_к,$$

де C_0 – концентрація основного компонента у ванні, після якої проводиться промивка, г/дм^3; $C_к$ – гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивки, г/дм^3 (величини $C_к$ для основних компонентів, що застосовуються у гальвантехніці, наведені в Додатку 8).

За основний компонент (іон) даного електроліту або розчину приймають той, для якого критерій промивки є найбільшим.

Коли перед промивкою здійснюють уловлювання електроліту, то величину К зменшують уведенням таких коефіцієнтів:

- 0,4 – для однієї ванни уловлювання;

- 0,15 – для двох ванн уловлювання;
- 0,06 – для трьох ванн уловлювання.

Коли ж промивання деталей здійснюють струминним або ж комбінованим методами, то для розрахункових витрат води вводять такі коефіцієнти:

- 0,7 – для струминного методу промивання;
- 0,5 – для комбінованого методу промивання.

Сумарні витрати води на промивку при виконанні виробничої програми визначаються як:

$$V_{сум} = V_{год} \cdot T_{д} \cdot 1{,}5, \text{ дм}^3,$$

де коефіцієнт 1,5 враховує можливе падіння тиску води у водопровідній мережі.

4.1.3.10. Використання комп'ютерної техніки та сучасного програмного забезпечення при виконанні розрахунків

На кафедрі студенти можуть одержати приклад використання електронних таблиць Microsoft® Excel 97 SR-2 для виконання технологічних розрахунків. Також доступні приклади креслень ванни електрохімічної обробки та барабана, виконані з використанням AutoCAD 2000i.

4.2. Автоматичне регулювання параметрів гальванічного процесу

Розробка цього розділу здійснюється за узгодженням з керівником проекту.

У розділі на підставі аналізу технологічної схеми, норм технологічного режиму та апаратурного оформлення технологічного процесу визначається необхідний обсяг автоматизації виробництва, який подається у вигляді таблиці 4.6. Зазвичай розглядають питання автоматичного регулювання основних параметрів процесу, які забезпечують нанесення високоякісних покриттів: густини струму, напруги, температури та pH електроліту.

Таблиця 4.6. Параметри регулювання та контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об‘єкт), місце заміру параметру	Найменування параметру, що вимірюється або регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (вимірювання, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5

Розділ складається з двох частин – графічної та текстової.

Графічна частина повинна містити принципову схему пристрою для автоматичного регулювання вибраного параметру, яка виконується згідно з вимогами ДСТУ Б А.2.4-3-95 (Міждержавний стандарт ГОСТ 21.408-93) у вигляді креслення на аркуші формату А1.

Текстова частина повинна містити:

– аналіз технологічного процесу як об’єкта автоматизації та формулювання задач автоматизації (обґрунтування вибору параметрів контролю, регульованих параметрів і регулювальних впливів);

– опис розробленої системи керування, що включає короткий опис технічних засобів автоматизації кожного контуру контролю та регулювання;

– специфікацію на використані технічні засоби автоматизації, яка виконується за ГОСТ 21.110-97 і розміщується у додатках пояснювальної записки до атестаційної бакалаврської роботи (див. табл. 4.7);

– висновки щодо виконання поставлених задач автоматизації.

Автоматизація може виконуватися у двох варіантах технічного забезпечення: на базі локальної автоматики та на базі мікропроцесорної техніки.

Необхідні технічні засоби (первинні та проміжні перетворювачі, вторинні прилади, регулятори, виконавчі механізми, монтажні вироби тощо) підбирають за допомогою каталогів і довідників на технічні засоби автоматизації, що серійно виробляються промисловістю. У специфікації наводять позиції технічних засобів згідно з функціональною схемою автоматизації, найменування та повну технічну характеристику, загальну кількість однотипних одиниць, завод-виробник тощо.

Таблиця 4.7. Специфікація устаткування, виробів і матеріалів (зразок)

Позиція на схемі автомат изації	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кіль-кість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	температура	кислий електроліт	50…55 °С	ванна блискучого нікелювання	Термометр контактний: діапазон вимір. 0…50°С, ціна поділки 1 °С	ТЗК-2П	5	Луцький приладо-будівний завод
2	рівень електроліту	кислий електроліт	730…770 мм	ванна блискучого нікелювання	Рівнемір гідростатичний: діапазон температур 0…120 °С, похибка 0.25 %, вихідний сигнал 0–5 мА	“Сапфір 22ДГ ” мод. 2520	5	ВО “Геофіз-прилад” Івано-Фран-ківськ
3	pH	кислий електроліт	4,0…4,8	ванна блискучого нікелювання	Вимірювальний перетворювач pH: pH 0-14, похибка 1%, вихідний сигнал 0–5мА	П201	5	Луцький приладо-будівний завод
4	pH	кислий електроліт	4,0…4,8	ванна блискучого нікелювання	Електрод скляний для pH-метра	ЭСП 01.14	5	Луцький приладо-будівний завод
5	потенціал	кислий електроліт	–	ванна блискучого нікелювання	Електрод хлорсрібний для pH-метра	ЭВП-08	5	Луцький приладо-будівний завод

4.3. Економіко-організаційні розрахунки

Економіко-організаційні питання займають важливе місце в дипломному проекті. Це обумовлено тим, що економічні показники характеризують доцільність та обґрунтованість прийнятих у проекті рішень. Одержувані при проектуванні техніко-економічні показники виробництва повинні бути на рівні або перевершувати показники, досягнуті на сучасних підприємствах того ж профілю.

Економіко-організаційні розрахунки проводять на підставі матеріалів технологічної частини проекту: діючих цін на сировину, устаткування, матеріали, паливо, енергію, заробітної платні робітників, посадових окладів інженерно-технічних працівників і службовців, а також діючих норм амортизаційних відрахувань та інших нормативів.

Розрахунок чисельності персоналу проектованого виробництва здійснюється з урахуванням обсягу передбачуваного випуску продукції, типових штатних розкладів, що діють у галузі, а також організаційних заходів щодо підвищення продуктивності праці.

Економічні розрахунки виконуються за окремими укрупненими статтями калькуляції:

– вартість сировини й основних матеріалів за винятком вартості зворотних відходів;

– вартість палива й енергій, витрачених на технологічні цілі;

– основна і додаткова заробітна плата виробничих робітників з нормативними відрахуваннями;

– витрати на підготовку й освоєння виробництва;

– витрати на утримання і експлуатацію устаткування, у тому числі амортизація виробничого устаткування і транспортних засобів.

При розрахунку деяких техніко-економічних показників визначаються витрати на функціонування підприємства (його основних і допоміжних підрозділів), рентабельність запропонованих управлінських рішень, рентабельність продукції і основних фондів, термін окупності капітальних вкладень, коефіцієнт загальної економічної ефективності капітальних вкладень.

Організаційно-економічна частина атестаційної бакалаврської роботи передбачає виконання індивідуальних завдань з наступної тематики:

– оптимізація виду руху автооператора автоматичної лінії;

– розробка структури управління та тарифної сітки підприємства (тарифна сітка, тарифні ставки з урахуванням різних умов праці);

– оптимізація організації допоміжних господарств підприємства (транспортного, складського, енергетичного, ремонтного);

– організація контролю якості на підприємстві (вибір методів, об‘єктів і періодичності контролю) та розробка форми паспорту якості;

– розробка та впровадження нової продукції у виробництво, оцінка витрат, формування характеристик паспорту якості;

– розробка лабораторного регламенту на нову продукцію.

4.4. Екологічна безпека гальванічного виробництва, очистка стічних вод

У цьому розділі характеризують екологічну небезпеку технологічних розчинів гальванічного виробництва, що проектується і основні напрями її зменшення. Визначають склад та об’єм стічних вод і на основі цього вибирають відповідний метод їх очистки. Наводять і описують принципову схему очистки стічних вод за вибраним методом. У разі необхідності у проекті передбачають регенерацію або рекуперацію відпрацьованих технологічних розчинів.

Промивні води містять вся компоненти електролітів, що використовувалися для обробки поверхні деталей, і підлягають очищенню. Основні токсичні забруднювачі – іони важких металів, особливо Cr (VI), Cd, Pb, а також ціанвмісні іони, іони фтору. Екологічно небезпечними є деякі органічні складові електролітів, наприклад, етилендіамін, добавки інгібіторів травлення металів і поверхнево-активні добавки, які застосовуються для регулювання властивостей електролітів та катодних осадів. Але концентрація добавок в стічних водах є досить малою.

Найбільш розповсюдженим є реагентний метод очистки гальваностоків. На станцію нейтралізації направляють три потоки стічних вод: кислотно-лужні, які містять важкі метали, хромвмісні та ціанвмісні. Очистку проводять за наступною схемою.

За допомогою спеціальних реагентів – гідросульфіт, сульфіт натрію та інші сірковмісні сполуки, перекис гідрогену, сполуки Fe^{2+} – Cr(VI) відновлюють до Cr(III).

Ціаніди окислюють, наприклад, гіпохлоритом кальцію, до ціанатів, які перетворюються в нетоксичні продукти в результаті гідролізу. Розповсюдженими окислювачами ціанідів є іони гіпохлориту, перманганату, вільний хлор, перекис водню, озон, кисень.

Після попередньої обробки хромвмісних та ціанвмісних розчинів всі стічні води змішують і нейтралізують до pH осадження гідроксидів важких металів. Для кращого відділення осаду у воду додають флокулянти (наприклад, поліакриламід). Далі одержану суміш направляють у шламонакопичувач, шламоущільнювач. Шлами і воду розділяють різними

способами, використовуючи фільтри, центрифуги тощо. Очищена вода має підвищений солевміст, тому її зливають в каналізацію, а шлами в більшості випадків направляють у шламосховища.

Крім реагентного, для очистки гальванічних стоків використовують сорбційні, мембранні та електрохімічні методи.

Сорбційні і мембранні методи, на відміну від реагентних, дозволяють не тільки знешкодити або вилучити токсичні компоненти, а й знесолити воду, видаливши з неї як катіони, так і аніони. В цьому випадку очищену воду можна повернути у виробництво, а не зливати в каналізацію. Адсорбцію доцільно використовувати для очистки від органічних домішок. У разі очистки від важких металів перед сорбційними (адсорбція, іонний обмін, рідинна екстракція) або мембранними (зворотний осмос, електродіаліз) установками необхідно поставити ще два фільтри: для очистки від дисперсних домішок та від органічних речовин. Це можна вважати недоліками цих методів. Крім того, адсорбенти та іоніти періодично потребують регенерації, а сконцентровані розчини, утворені в результаті регенерації, потребують подальшої обробки для вилучення токсичних компонентів. Обмеженням для використання мембранних методів (зворотний осмос, електродіаліз) є дефіцитність, недовговічність, висока вартість мембран, невелика продуктивність.

Серед електрохімічних методів розповсюдження одержали електрокоагуляція та електрофлотація, які не є чутливими до наявності дисперсних і органічних домішок. У результаті очистки стічних вод цими методами відбувається утворення гідроксидів, як і в реагентному методі, але підлуження досягається не внаслідок введення лужних реагентів, а внаслідок виділення водню на катоді. В методі електрокоагуляції гідроксиди відділяють від води у вигляді осаду разом з коагулянтом (сполуками заліза, алюмінію, утвореними при розчиненні анода), а в методі електрофлотації - у вигляді піни, яка являє собою частинки гідроксидів, адсорбовані на пухирцях водню. Виділені гідроксиди обробляють, як і реагентному методі. Разом з гідроксидами в осади попадають інші дисперсні домішки, а також жири, масла тощо. У процесі очистки вода може частково знесолюватися, особливо в разі використання електролізерів з діафрагмами.

Для первинної очистки розчинів від домішок важких металів доцільно застосовувати електроосадження з нерозчинним анодом (електроекстракцію) або цементацію. Перевагами цих методів є можливість за допомогою однієї операції вилучити зі стічних вод чисті метали, а не їхні сполуки. Металічні осади, виділені на катоді, не потребують багатостадійної обробки й легко утилізуються. Найбільший ступінь очистки досягається для електропозитивних металів і металів з

невеликою перенапругою розряду їхніх іонів (мідь, срібло, станум, кадмій, цинк). Основним недоліком методу є великі витрати електроенергії для досягнення ГДК іонів-домішок із-за переважного перебігу побічних процесів – відновлення розчиненого кисню, виділення водню. Тому електроекстракцію металів доцільно застосовувати для вилучення основної маси металу-домішки при відносно великій початковій її концентрації, після чого розчини потрібно направити на доочистку.

Утилізацію виділених металів або їхніх сполук у будь-якому методі легше реалізувати в разі локальної очистки стічних вод, які в такому разі містять тільки один важкий метал.

4.5. Техніка безпеки процесу нанесення гальванічного покриття

Даний розділ дипломного проекту складається з аналізу потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів проектованого гальванічного виробництва і вимог безпеки до технологічного процесу і технологічного обладнання. При аналізі шкідливих і небезпечних виробничих факторів необхідно охарактеризувати шкідливі компоненти всіх технологічних розчинів за такою схемою: назва речовини, її хімічна формула, насипна або питома густина, температура кипіння, ГДК у повітрі робочої зони, у повітрі населених місць та у воді санітарно-побутового водокористування, механізм токсичного впливу на організм людини. Для вибухонебезпечних речовин і матеріалів указують температуру спалаху, запалення, самозапалювання, межі вибухонебезпечності в суміші з повітрям, групу схильних до самозаймання речовин і матеріалів. Джерела електричної енергії необхідно характеризувати за видом живлення та за величиною напруги.

Крім того, при аналізі шкідливих виробничих факторів необхідно виявити шкідливі випромінювання, шуми і вібрації, накопичення електростатичних зарядів та ін., або обґрунтовано констатувати їх відсутність. Необхідно також навести правила техніки безпеки при проведенні технологічного процесу нанесення гальванічних покриттів.

Висновки

У стислій формі наводять підсумки виконаної роботи за кожним розділом пояснювальної записки та основні та основні техніко-економічні показники запроектованого виробництва, порівнюючи їх із показниками діючих виробництв, дають рекомендації щодо можливого упровадження або застосування результатів роботи.

5. Захист бакалаврського дипломного проекту

Захист проекту проводиться на засіданні державної екзаменаційної комісії (ДЕК). На захист допускаються проекти, що підписані керівником, консультантами і затверджені завідувачем кафедри. Для доповіді студентові надається 10–12 хвилин. У доповіді у стислій формі необхідно висвітлити основні проектні рішення, техніко-економічні показники запроектованого виробництва та прийняті заходи з техніки безпеки. Особливу увагу необхідно приділити новим рішенням, запропонованим у проекті. Після доповіді студент відповідає на запитання голови і членів ДЕК, а також присутніх на захисті спеціалістів. Потім оголошується зовнішня рецензія на проект та відзив керівника роботи. Якість захисту ДЕК оцінює за чотирьохбальною системою і оголошує після захисту всіх робіт на цьому засіданні.

Захищений проект здається на кафедру ТЕХВ для зберігання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник: В 2т. / Под ред. М.А. Шлугера. – М.: Машиностроение, 1985.
2. Гальванотехника: Справ. изд. / Ф.Ф.Ажогин, М.А.Беленький, И.Е.Галль и др. – М.: Металлургия, 1987 – 736 с.
3. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. – Л.: Машиностроение, 1981 – 269 с.
4. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справочник / Под ред. П.М. Вячеславова. – Л.: Машиностроение, 1987 – 309 с.
5. Гибкие автоматизированные гальванические линии: Справочник / В.Л. Зубченко, В.И. Захаров, В.М. Рогов и др. Под общ. ред. В.Л. Зубченко. – М.: Машиностроение, 1989 – 672 с.
6. Справочник по электрохимии /Под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1981 – 488 с.
7. Добош Д. Электрохимические константы: Справочник для электрохимиков. – М.: Мир, 1980 – 365 с.
8. Справочник гальваника / Б.И. Байрачный, В.В. Орехова, Э.П. Харченко и др. – Харьков; Прапор, 1988 – 180 с.
9. Флеров В.Н. Сборник задач по прикладной электрохимии. – М.: Высш. шк., 1987 – 319 с.
10. Якименко Г.Я., Харченко Е.П. Алгоритм і програми розрахунків в технічній електрохімії. ч.1. Гальванічні виробництва: Навч. посібник. – Харків: НТУ. ХПІ, 2002 – 234 с.
11. Дасоян М.А. и др. Технология электрохимических покрытий. – Л.: Машиностроение, 1989 – 391 с.
12. Положення про організацію дипломного проектування та державної атестації студентів НТУУ “КПІ” / Уклад. В.Ю. Угольніков. За заг. ред. Ю.І. Якименка – К.: ВПК “Політехніка”, 2006. – 84 с.
13. Запольский А.К., Образцов В.В. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства.- К.: Техніка,1989.- 199с.
14. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах переработки металлов.- М.: Металлургия, 1989.-224с.
15. Кунтий О.І. Гальванотехніка. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2004. – 236 с.

Додаток 1

Аноди для гальванічних ванн

Аноди	Розміри, мм
Цинкові, марок ЦО, ЦІ, Ц2. Прокат листовий	Товщ. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 20, шир. 65, 75, 100 – 600, довж. 40 – 1000
Цинкові, марки ЦВ. Засипаються у корзини	Форма — парабола обертання, Ǿ 50 – 60
Кадмієві, марок КдО, Кд1. Прокат листовий	Товщ. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, шир. 100-300, довж. 400 – 1000
Олов'яні, марки 01	Виливаються за потрібними розмірами у цеху
Свинцеві, марок СО, С1, С2	Виливаються за потрібними розмірами у цеху
Свинцевосурьм'янисті для хромування, марки ССу8	Виливаються за потрібними розмірами у цеху
Мідні, марок М0, М1, М2. Прокат листовий	Товщ. 2 - 15, шир. 75 - 1000, довж. 300 - 2000
Мідні фосфорвмісні, марки АМФ	Квадратні пластинки 25х25х10
Нікелеві, марок Н1, Н1у	Квадратні пластинки 25х25х10
Нікелеві, марок НПАІ, НПА2, НПАН (непасивовані)	Товщ. 4, 6, 8, 10, 12, шир. 100-600, довж. 400-2000, овальний переріз 80х35 довж. 400-1200
Сталеві, з сталей 10 та 20 або армкозалізо	Виготовл. у цеху за необхідними розмірами
Нерозчинні із сталі 12Х18Н10Т для ел-тів золочення	Виготовл. у цеху за необхідними розмірами
Срібні марки Ср 999,9 Ан	Товщ. 2-10, шир. 50,100,150, довж. 100 –300
Золоті марки Зл 999,9 Ан, густиною 19,3 г/см^3	Товщ.0,1-5, шир.50,100,150,200, довж.100,200, 300

Додаток 2

Карта технологічного процесу захисно-декоративного покриття (на прикладі бінікелю)

Операція	Склад розчину і концентрація		Режим			
	Назва та хім. формула	Г/дм^3	Обробка, хв	t, °С	і, А/дм^2	pH
Електрохім. знежирення катодне	Натрій їдкий NaOH Сода кальц. Na_2CO_3 Тринатрій фосфат $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ Синтанол ДС – 10	20-40 15-35 20-35 3-5	4 - 8	60 – 70	3-5	
Промивка			1 - 2	50 – 60		
Електрохім . знежирення анодне	Натрій їдкий NaOH Сода кальц. Na_2CO_3 Тринатрій фосфат $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ Синтанол ДС – 10	20-40 15-35 20-35 3-5	2 - 4	60 – 70	3-5	
Промивка			1 - 2	60 – 70		
Промивка			1 - 2	Кімн.		
Травлення	Кислота сульфатна H_2SO_4 Інгібітор КИ – 1	150-200 3-5	3-5	Кімн.		
Промивка			1-2	Кімн.		
Нікелювання неблискуче	Нікель сульфатний $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ Нікель хлористий $NiC1_2 \cdot 6H_2O$ Борна кислота H_3BO_3 Формалін (40%)	230-320 40-60 25-40 0,7-1,2	15,2	45-55	3,5	4,5 – 5,2
Нікелювання блискуче	Нікель сульфатний$NiSO_4 \cdot 7H_2O$ Нікель хлористий $NiC1_2 \cdot 6H_2O$ Борна кислота H_3BO_3 Формалін (40%) Бутин —1,4 діол Хлорамін Б	230-320 40-60 25-40 0,7-1,2 0,2-0,5 0,5 -0,6	5,1	45-55	3,5	4,5 – 5,2
Уловлювання			1 - 2	КІмн.		
Промивка			1- 2	Кімн.		
Промивка			1-2	60-70		
Сушка			5-8	70-80		

Основні параметри гальванічних ванн Додаток 3

Процес	Електроліт	Потенціал		Питомий опір, $\times 10^{-2}$ Ом·м	Густина електроліту, кг/дм^3	Питома теплоємність, Дж/(кг·К)
		Катод, В	Анод, В			
Хромування	Стандартний	-0,8	+1,8	1,62	1,2	3465
Нікелювання	Кислий	-0,73	+0,3	2,5	1,17	3060
Цинкування	Ціанідний	-1,56	-1,25	5,6	1,08	3910
	Аміакатний	-1,4	-0,9	9,0	1,08	3860
	Кислий	-0,88	-0,75	15,6	1,1	3670
	Цинкатний	-1,35	-1,13	6,0	1,13	3920
Кадмування	Ціанідний	-1,6	-1,2	6,6	1,06	4050
	Кислий	-0,48	-0,3	12,5	1,1	3960
Міднення	Ціанідний	-1,3	+0,6	6,5	1,13	3870
	Кислий	+0,25	+0,35	3,6	1,1	3980
Лудіння	Кислий	-0,5	+0,15	8,0	1,12	4030
	Станатний	-1,3	-0,8	4,5	1,09	3940
Сплав олово-свинець	Кислий	-0,4	+0,15	5	1,12	3870
Сріблення	Ціанідний	-0,7	+0,1	6,6	1,1	3980
Золотіння	Ціанідний	-1,4	+0,8	16	1,06	4070
Анодування	Кислий	-0,9	+13,5	2,5	1,14	4050
Знежирювання	Лужний	-0,9	+0,8	4,6	1,08	3885

Технічні характеристики випрямних агрегатів серії Т Додаток 4

№	Тип агрегату	Номінальна напруга	Номінальний струм	Модифікації					
				0	1	2	3	4	5
1	ТЕ- 100/12Т	12	100	+	+	+		+	
2	ТЕІ - 100/24Т	24	100	+	+	+		+	
3	ТЕІ - 400/12Т	12	400	+		+			
4	ТЕ1 - 400/24Т	24	400	+		+			
5	ТЕ1 - 400/48Т	48	400	+		+			
6	ТЕ1 -315/115Т	115	315	+		+	+		
7	ТЕ1 - 800/12Т	12	800	+	+	+		+	
8	ТЕІ - 800/24Т	24	800	+	+	+		+	
9	ТЕІ - 800/48Т	48	800	+		+			
10	ТЕІ - І600/12Т	12	1600	+	+	+	+	+	+
11	ТЕІ - 1600/24Т	24	1600	+	+	+	+	+	+
12	ТЕІ - 3150/12Т	12	3150	+	+	+	+	+	+
13	ТЕР -100/12Т	12	100	+	+	+		+	
14	ТЕРІ - 400/12Т	12	400	+		+			
15	ТЕР - 800/12Т	12	800	+	+	+		+	
16	ТЕР1 - 800/24Т	24	800	+	+	+		+	
17	ТВР1 - 1600/12Т	12	1600	+	+	+	+	+	+
18	ТВРІ - 1600/24Т	24	1600	+	+	+	+	+	+
19	ТВР1 -3150/12Т	12	3І50	+	+	+	+	+	+
20	ТВИ1 - 1600/24Т	24	1600	+					
21	ТВИІ - 3І50/І2Т	12	3150	+					

Примітка: (Т) – тип випрямляча (тиристорний), (Е) – примусове повітряне або (В) – водяне охолодження, (Р) – наявність реверсу або (И) – імпульсного струму. Перший цифровий індекс (1) означає клас перевантажувальної характеристики, другий – номінальну силу постійного струму в амперах, третій – номінальну постійну напругу у вольтах. Літерний індекс (Т) вказує на трансформаторний спосіб підключення до мережі. Цифра (від 0 до 5) означає тип агрегату: 0 – основний тип без додаткового обладнання, 1 – зі згладжувальним реактором, 2 – з пультом дистанційного управління, 3 – з пультом програмного управління, 4 – із згладжувальним реактором і пультом дистанційного управління, 5 – із згладжувальним реактором і пультом програмного управління.

Питомі втрати теплоти через стінки ванни та дзеркало електроліту Додаток 5

Температура ванни, °С	Втрати через стінки, кДж/(год·м^2)				Втрати через дзеркало електроліту, кДж/(год·м^2)
	Без теплоізоляції	За наявності теплоізоляції стінок товщиною			
		25 мм	50 мм	75 мм	
30	587	151	75	50	1510
40	796	188	105	75	2640
45	1049	239	126	88	3360
50	1278	289	151	113	5450
55	1570	340	176	126	7130
60	1875	390	201	151	9510
65	2090	427	226	163	9560
70	2430	478	264	188	15210
75	2721	527	289	201	18800
80	3020	578	314	214	23200
85	3185	604	327	226	26000
90	3350	628	340	239	28420
95	3710	666	365	252	34400
100	4187	716	390	277	41700

Норми питомих витрат нерозчинних анодів (катодів) Додаток 6

Назва технологічної операції	Найменування і матеріал анода (катода)	Номер ДСТ або ТУ	Норма витрат, г/м^2
1 —Полірування електрохімічне			
Сталей: вуглецевих, низько і середньо-легованих, корозійно-стійких марки 12Х18Н9Т	Листи свинцеві	ГОСТ 9559- 75	6,0
	Ролі свинцеві	ГОСТ 89-73	6,0
Алюмінію та його сплавів	Сталь марки 12Х18Н9Т	ГОСТ 5632-72	0,25
	Листи свинцеві	ГОСТ 5632 - 72	5,32
	Ролі свинцеві	ГОСТ 89-73	5,32
Міді і її сплавів	Анодні мідні	ГОСТ 767 - 70	3,49
2 — Знежирювання електрохімічне			
Сталі	Вуглецева сталь	ГОСТ 19904 - 74	1,15
	Нікельована сталь	ГОСТ 19904-74	1,15
Міді і її сплавів	Такі ж	ГОСТ 19904-74	1,38
Цинкових сплавів	Такі ж	ГОСТ 19904 - 74	0,7
3 — Хромування при товщині 1 мкм			
Тверде	Сплав: Свинець (90%) Сурма (8%) Олово (2%)		1,6
Молочне			1,8
Захисно — декоративне			3,32
Тверде в саморегулюючому електроліті	Сплав: Свинець (90%) Олово (2%)		1,26
4 — Анодне окиснення алюмінію та його сплавів	Сталь марки 12Х18Н9Т	ГОСТ 5632-72	0,5
	Листи свинцеві	ГОСТ 9559 - 75	1,82
	Ролі свинцеві	ГОСТ 89-73	1,82
	Листи алюмінієві загального призначення		1,35
5 - Електрохімічне тонування і фарбування мідних, нікелевих, олов'яних цинкових покриттів, латуні	Сталь марки 12Х18Н9Т	ГОСТ 5632-72	5,4

Додаток 7

Норма винесення електроліту із гальванічних ванн ($дм^3/м^2$)

Процес	При відсутності ванн уловлювачів			При присутності ванн уловлювачів		
	А	Б	В	А	Б	В
Осадження в кислих електролітах	0,2	0,22	0,3	0,1	0,12	0,15
Осадження в лужних електролітах	0,25	0,25	0,35	0,12	0,15	0,18
Хромування	-	-	-	0,2	0,3	0,4
Сріблення та золотіння на підвісках	-	-	-	0,04	0,045	0,045
Покриття у дзвонах та барабанах у кислих електролітах	0,3	0,4	0,5	0,15	0,2	0,2
Покриття у дзвонах та барабанах у лужних електролітах	0,35	0,45	0,55	0,2	0,25	0,25
Анодування	0,3	0,3	0,4	-	-	-

Примітка: А - деталі простої форми, Б - деталі середньої складності, В - складнопрофільні деталі.

Додаток 8

Гранично допустима концентрація основного компонента в промивній ванні після промивки деталей

Найменування компонента або іона електроліту (розчину)	Найменування операції або характеристика електроліту (розчину), перед якими проводиться промивка	С, г/л
Загальна лужність у перерахунку на NaOH	Лужний	0,8
	Кислий або ціаністий, сушка	0,1
	Перед анод. окисненням Al або його сплавів	0,05
Барвники для фарб. ан. та окс. покрит.	Міжопераційна промивка, сушка	0,005
Кислота в перерахунку на сульфатну	Кислий	0,1
	Лужний	0,05
	Ціанистий	0,01
	Наповнення та насичення покрить, сушка	0,01
CN^- заг, Sn^{2+}, Sn^{4+}, Zn^{2+}, Cr^{6+}, Pb^{2+}	Міжопераційна промивка, сушка	0,01
CN^- заг, Sn^{2+}	Міжопераційна промивка, сушка	0,015
Cu^{2+}, Cu^+	Міднення	0,002
	сушка	0,01
Ni^{2+}	Нікелювання	0,02
	Хромування, сушка	0,01
Fe^{2+}	Сушка	0,15
Солі дорог. мет. у перерахунку на метал	Сушка	0,001

Додаток 9

Густина та питома теплоємність деяких металів і неметалевих матеріалів, що застосовуються у гальванотехніці

Матеріал	Густина, $кг/м^3$	Питома теплоємність Дж/(кг·К)	Матеріал	Густина, $г/м^3$	Питома теплоємність Дж/(кг·К)
Алюміній	2700	900,1	Паладій	12000	286,1
Залізо	7860	452,1	Платина	21450	134,0
Золото	19300	129,8	Свинець	11340	129,8
Кадмій	8640	230,3	Срібло	10500	234,4
Кобальт	8830	389,3	Титан	4500	473,1
Магній	1740	1017,0	Хром	7900	460,5
Мідь	8930	385,2	Цинк	7130	385,2
Нікель	8900	448,0	Вініпласт	1405	1630
Олово	7280	226,1	Оргскло	1190	1700

Методичні вказівки до виконання дипломного проекту з гальванотехніки освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр”.

Напрям 6.091600 “Хімічна технологія та інженерія”.

Професійна спрямованість “Технічна електрохімія”.

Укладачі:
Яцюк Леонід Андрійович
Чвірук Володимир Петрович
Панасенко Віктор Федорович
Мотронюк Тетяна Іванівна
Лінючева Ольга Володимирівна
Букет Олександр Іванович

Відповідальний за випуск Чвірук В.П.

Рецензент Хірх-Ялан І.Ф.

Ці вказівки є оновленою та розширеною версією “Методических указаний по курсу «Технология электрохимических производств.» Раздел «Защита металлов и оборудования от коррозии», составители Н.И. Вржосек, Г.Г. Вржосек, Е.Х. Игнатенко, В.Ф. Панасенко, И.С. Погребова, Ю.Ф. Фатеев, Л.А. Яцюк – Киев: КПИ, 1985. – 43 с.