НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра технології електрохімічних виробництв

До захисту допущено:

В.о. завідувач кафедри

_____ Олексій Косогін

«_____»_____2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів»

спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»

на тему: «Гальванічні покриття у приладобудуванні. Розробка технології нанесення мідного підшару захисно-декоративного тришарового мідь-нікель-хромового покриття на сталеві деталі. Електроліт ціанідний. Продуктивність 10500м^2/рік.»

Виконав:

студент IV курсу, групи ХЕ-01

Пеклуха Антон Андрійович _____

Керівник:

доцент, к.х.н.

Бик Михайло Володимирович _____

Консультанти:

Охорони праці: Полукаров Юрій Олексійович доц., к.т.н. _____

Економічна частина: Покровська Н.М., ст.викл., к.екон.н. _____

Автоматизація: Тріщ В.Р., ас. _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2024 р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра технології електрохімічних виробництв

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 161 «Хімічні технології та інженерія»

Освітньо-професійна програма «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Олексій КОСОГІН

«___»_____05_____2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Пеклусі Антону Андрійовичу

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття у приладобудуванні. Розробка технології нанесення мідного підшару захисно-декоративного тришарового мідь-нікель-хромового покриття на сталеві деталі», керівник проєкту *Бик Михайло Володимирович, доцент, к.х.н.*, затверджені наказом по університету від «___»_____ 2024р. №_____

2. Термін подання студентом проекту 07 червня 2024року

3. Вихідні дані до проєкту Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. *Електроліт ціанідний. Продуктивність 10500м^2/рік*.

4. Зміст пояснювальної записки: складання технологічної карти, розрахунок балансів струму, напруги, енергії, обґрунтування і вибір покриття, розрахунок організаційно-економічних показників, заходи охорони праці, автоматизація процесу нанесення покриття, екологічна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Креслення гальванічної ванни, 2.Схема технологічного процесу, 3.Схема автоматизації, 4.Економічна частина, 5.Схема очищення стічних вод.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	*Полукаров Ю.О., доц.,к.т.н.*		
Економічна частина	*Покровська Н.М., ст.викл., к.екон.н.*		
Автоматизація	*Тріщ В.Р., ас.*		

7. Дата видачі завдання ____06 травня 2024р.__

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Характеристика деталей, що підлягають обробці.	До 11.05.2024	
2.	Вибір виду покриття	До 13.05.2024	
3.	Вибір підготовчих операцій	До 20.05.2024	
4.	Вибір складу електроліту для покриття плат	До 20.05.2024	
5.	Складання карти технологічного процесу	До 25.05.2024	
6.	Виконання технологічних розрахунків	До 29.05.2024	
7.	Виконання креслень	До 01.06.2024	
8.	Складання схеми очищення стічних вод	До 03.06.2024	
9.	Складання схеми автоматизації основного процесу.	До 03.06.2024	
10.	Виконання економічних розрахунків	До 03.06. 2024	
11.	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 03.06.2024	
12.	Оформлення пояснювальної записки	До 05.06.2024	
13.	Оформлення графічної частини проєкту	До 07.06.2024	
14.	Подача оформленого проєкту на перевірку на плагіат	До 07.06.2024	

Студент *Антон ПЕКЛУХА*

Керівник *Михайло БИК*

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	А4	ДП ХЕ0112.2705.000	Пояснювальна записка	76	
3	А1	ДП ХЕ0112.2705.001	Складальне креслення гальванічної ванни для нанесення мідного покриття на сталеві деталі	1	
4	А2	ДП ХЕ0112.2705.002	Схема автоматизації процесу нанесення мідного покриття на сталеві деталі	1	
5	А1	ДП ХЕ0112.2705.003	Схема технологічного процесу нанесення мідного покриття	1	
6	А2	ДП ХЕ0112.2705.004	Техніко-економічні показники гальванічного цеху	1	
7	А2	ДП ХЕ0112.2705.005	Схема очищення стічних вод	1	

				ДП ХЕ0112.2705.000.		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Пеклуха Антон			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Бик М.В.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр.ХЕ-01	
Н/контр.						
В.о.зав.каф.	Косогін О.В.					

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

на тему: «Гальванічні покриття у приладобудуванні. Розробка технології нанесення мідного підшару захисно-декоративного тришарового мідь-нікель-хромового покриття на сталеві деталі. Електроліт ціанідний. Продуктивність 10500м^2/рік.»

Київ – 2024 року

РЕФЕРАТ

Розробка технології нанесення мідного покриття на сталеву деталь

Пеклуха А.А.. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-01

Дипломний проєкт, 2024 рік, кількість сторінок − 76, таблиць − 14, рисунків − 7, джерел – 20.

У даному проєкті розроблено технологію нанесення мідного підшару на сталеві деталі товщиною 6 мкм як підшар для подальшого нанесення шарів нікелю та хрому. Нанесення покриття проводиться із ціанідного електоліту. У роботі було виконано технологічні розрахунки, економічні розрахунки, автоматизація процесу. Розроблена схема очищення стічних вод, а також проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з виробництвом. Окрім цього, були запропоновані конкретні заходи з техніки безпеки та охорони праці, спрямовані на запобігання потенційним ризикам та забезпечення безпечного робочого середовища.

Ключові слова: міднення, гальванічне покриття, ціанідний електроліт, тришарове покриття мідь-нікель-хром, фланець.

ABSTRACT

Development of the technology of applying a copper coating to a steel part

Pekluha A.A.. – Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi, CTF, XE-01

Diploma project, year 2024, number of pages - 76, tables - 14, figures - 7, sources - 20.

In this project, the technology of applying a copper sublayer on steel coatings with a thickness of 6 μm as a sublayer for subsequent application of nickel and chromium layers has been developed. The coating is made of cyanide electrolyte. Technological calculations, economic calculations, process automation were performed in the work. The wastewater treatment scheme was developed, as well as an analysis of harmful and dangerous factors related to production was carried out. In addition, specific safety and occupational health measures aimed at preventing potential risks and ensuring a safe working environment were proposed.

Key words: copper plating, galvanic coating, cyanide electrolyte, copper-nickel-chromium three-layer coating, flange.

ЗМІСТ

ВСТУП..... 10
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 11
1.1 Характеристики оброблювальної деталі..... 11
1.2 Вибір виду та товщини покриття 12
1.3 Попередня підготовка поверхні виробу перед покриттям..... 14
1.4 Вибір складу електроліту для нанесення гальванічного покриття..... 16
1.4.1 Прості електроліти 17
1.4.2 Комплексні елеткроліти 18
1.4.3 Види браку, неполадки та шляхи їх усунення при гальванічному мідненні 19
1.5 Вибір анодів 21
1.6 Вибір завершальних операцій..... 21
1.7 Контроль якості покриття 22
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ 23
2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання 23
2.2 Визначення виробничої програми виробництва..... 23
2.3 Розрахунок середньої товщини покриття та часу обробки однієї завантажувальної одиниці 24
2.4 Баланс струму на гальванічній ванні 27
2.6. Вибір джерела струму для гальванічної ванни 30
2.7. Визначення джоулевої теплоти та складання балансу енергії на ванні . 30
2.8 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн 31
2.9 Розрахунок витрат матеріалів 32
2.10 Розрахунок витрат хімічних реактивів 33
2.10.1 Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання 33
2.10.2 Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми 33
2.11 Розрахунок витрат води..... 34

2.11.1 Витрати води на приготування електроліту 34
2.11.2 Витрати води на промивні операції 36
РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКО – ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ 37
3.1 Підприємство у промисловій структурі держави 37
3.2. Технологічна підготовка виробництва 38
РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ 48
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ 51
5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектному об’єкті. Заходи з охорони праці 51
5.1.1 Повітря робочої зони 52
5.1.2 Виробниче освітлення 55
5.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрації 56
5.1.4 Електробезпека 57
5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування устаткування 58
5.2 Пожежна безпека 59
РОЗДІЛ 6 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА 62
6.2 Очищення стічних вод 64
ВИСНОВКИ 67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 68
ДОДАТОК А 96
ДОДАТОК Б 98
ДОДАТОК В 96

ВСТУП

Нанесення гальванічних покриттів є одним із найефективніших методів захисту металів від корозії. Від якості цих покриттів залежать експлуатаційні характеристики та довговічність готових виробів. Гальванічні покриття широко застосовуються в різних галузях промисловості, включаючи господарство та машинобудування, і поділяються на кілька типів:

- Захисні покриття, які запобігають корозії деталей у агресивних середовищах.

- Захисно-декоративні покриття, що поєднують декоративне оздоблення з антикорозійним захистом.

- Спеціальні покриття, які надають деталям специфічні властивості, такі як зносостійкість, твердість, електроізоляційні, магнітні та світлопоглинаючі властивості, а також використовуються для відновлення зношених деталей або місцевого захисту металу від особливих середовищ, таких як цементація та азотування.

У цьому дипломному проекті розглянуто використання мідного покриття як підшару для нанесення нікелевого покриття, що забезпечує створення ефективного захисно-декоративного покриття. Завдяки відмінному зчепленню мідного покриття з металевою основою, ця комбінація надає деталям високу корозійну стійкість і привабливий зовнішній вигляд. Хоча самостійне використання мідного покриття є рідкісним, його зазвичай застосовують як підшар для інших функціональних покриттів.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристики оброблювальної деталі

Деталь представляє собою фланець для з’єднання труб в приладах. Наприклад: при з’єднанні витратоміра з потоком, при з’єднанні насоса з ємністю. Сам фланець буде контактувати з різними видами середовищ. Деталь буде виготовлена зі сталі. Фланець має 4 невеликих наскрізних отвори, котрі будуть використовуватися для кріплення на болти. Головну корозійне навантаження буде отримувати внутрішнє коло, бо саме воно найбільше контактує з речовинами. На місці з’єднання з трубою та всередині не повинно бути значних дефектів. Ззовні можуть бути небажані дефекти: дрібні раковини, подряпини. Це буде знижувати корозійну стійкість деталі та погіршення зовнішнього виду деталі.

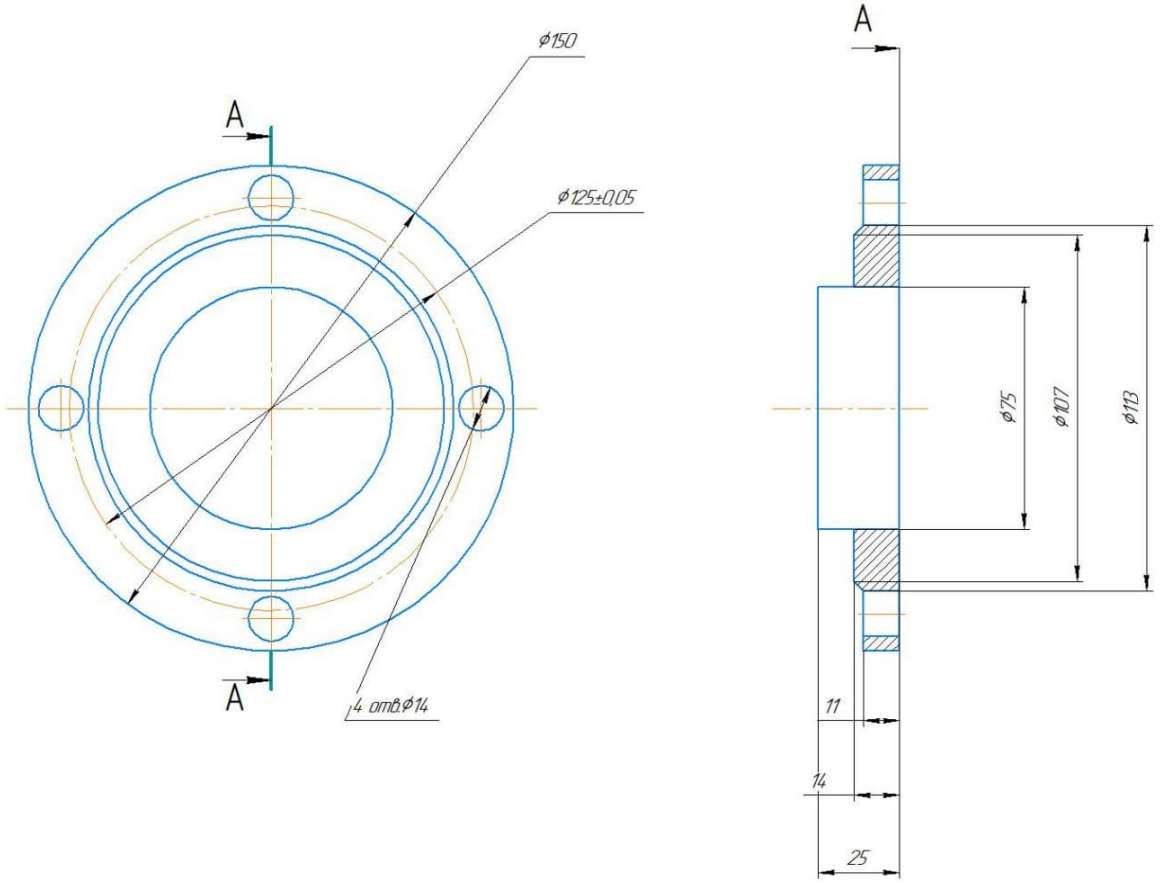


Рисунок 1.1 – Характеристики деталі.

Площа деталі 0,038 м^2

Вага деталі 1 кг

Перед початком роботи з деталлю, фланець буде мати механічні

забруднення: пил, залишки охолоджувально-мастильної рідини, задирки при обробці металу та інше.

Тому для більш якісного нанесеного покриття деталь попередньо потрібно очистити та обробити. Обробка буде складатися з механічних, хімічних та електрохімічних операцій. В якості механічної підготовки вибрано полірування, оскільки сама деталь не буде мати великих дефектів та буде велика по своїм габаритам.

1.2 Вибір виду та товщини покриття

Міднення використовується для покриття металевих виробів, захищаючи їх від корозії та надаючи декоративного вигляду. Це покриття має високу адгезію до різних металів і використовується як самостійне або проміжне покриття у гальванічних процесах. У приладобудівній галузі мідь забезпечує захист деталей від корозії та покращує їхню якість та довговічність. Важливо отримувати якісні покриття, щоб уникнути проблем з корозією внаслідок дефектів.

Мідні покриття можуть використовуватися:

1. У якості підшару при нанесенні багатошарових захисно-декоративних і функціональних покриттів у багатьох галузях промисловості.

2. Для покращення пайки.

3. Для нарощування товстих шарів у гальванопластиці при знятті металевих копій з художніх виробів.

4. Для захисту від корозії

Мідне покриття застосовуєтья функціонально завдяки їх властивостям: висока пластичність, теплопровідність, електропровідність, здатність до паяння, легке полірування до високого блиску. Вони створюють міцне зчеплення з такими металами, як нікель, хром, срібло, що робить їх популярними. Мідні покриття як підшар мають широке застосування через їх відносно невисоку вартість. Також мідне покриття можна наносити на різні основи без значних технологічних ускладнень. Крім того, мідні покриття легко виправляють дефекти на поверхні

металу основи (подряпини, заглибини, канавки). Більшість процесів осадження міді характеризуються високим виходом за струмом.[19]

В атмосферних умовах мідь окислюється, утворюючи карбонати та сульфати при контакті з вологою, вуглекислим газом та промисловими газами, що містять сірку.

Мідь хімічно нестійка на повітрі у вологій атмосфері, легко окислюється за присутності сірчистих сполук і покривається темнокоричневим або сірим нальотом сульфіду міді. Взаємодія з вуглекислими сполуками призводить до утворення зеленого нальоту основних карбонатів $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Через це мідні покриття не використовуються як самостійні без додаткової обробки (наприклад, нанесення нікелю та хрому, або покриття лаком).

Було обрано захисно-декоративне мідне покриття як підшар до нікелевого. Самостійне мідне покриття може захистити сталь від корозії тільки за умови відсутності пор, при цьому товщина повинна бути не менше 24 мкм. Інакше воно створює з металом основи гальванічну пару, де виступає катодом, що каталізує корозію сталі при взаємодії з навколишнім середовищем. Через це мідь рідко використовується як самостійне покриття без додаткової обробки. використання багатошарового покриття Cu-Ni дозволяє суттєво зменшити витрати металів та підвищити корозійну стійкість покриття. [19]

Для нанесення нікелю як підшару товщина мідного покриття має бути 5-30 мкм. Для подальшого нанесення нікелю товщина мідного покриття становить від 6 до 18 мкм. Для даної деталі було обрано товщину мідного покриття 6 мкм, нікелевого 6 мкм та хромомвого 1 мкм згідно з ISO 12944-2. Для цієї деталі, яка експлуатуватиметься в легких умовах, обрано товщину мідного покриття 6 мкм з наступним нанесенням нікелевого шару товщиною 6 мкм та хромомвого 1 мкм (згідно ISO 12944-2).

Використання мідного покриття як підшару для нікелю обумовлено не тільки його фізико-хімічними властивостями, але й технологічними перевагами. Мідне покриття, завдяки своїм властивостям, забезпечує високоякісне зчеплення з нікелем, що в свою чергу створює додатковий захист від корозії. Також мідь

дозволяє компенсувати нерівності поверхні металу основи, що є важливим аспектом у промислових умовах.

Таким чином, мідне покриття виступає важливим елементом у багатошарових захисних системах. Використання міді як підшару під нікель не тільки забезпечує додатковий захист від корозії, але й покращує загальні експлуатаційні характеристики покриття. В умовах промислового виробництва, де важлива економічність та ефективність, мідь залишається незамінним матеріалом для різних типів покриттів.

1.3 Попередня підготовка поверхні виробу перед покриттям

Сталевий виріб може бути забруднений жирами рослинного та тваринного походження, мінеральними речовинами. Які легко омилюються у водних лужних розчинах. Для цього використовується операція хімічного знежирення.

Хімічне знежирення

При хімічному знежиренні видаляються мінеральні масла, жири та різні пасти, що наносились для полірування.

В основному для операції знежирення використовуються розчини лугів (наприклад, натрій гідроксид), солі лужних металів (такі як карбонати і фосфати) та спеціальні миючі речовини на основі органічних і неорганічних поверхнево-активних речовин (ПАР), а також розчинники.

Лужні миючі засоби мають важливі властивості, які забезпечують ефективне видалення забруднень. Вони повинні добре розчинятися у воді, забезпечувати змочування поверхні деталей та забруднень, розщеплювати жири, емульгувати і утримувати в суспензії нерозчинними масла та тверді забруднюючі частинки. Крім того, вони мають пом’якшувати воду, не утворювати нерозчинних відкладень мил полівалентних металів, легко змиватися водою і забезпечувати ефективне видалення забруднень з високою швидкістю навіть при використанні стандартного обладнання. Оптимальна концентрація лугу NaOH для знежирення становить 100 г/л. [20]

Фосфати натрію, такі як Na_3PO_4 та $Na_4P_2O_7$, відтворюють лужне середовище

через гідроліз, що сприяє регулюванню складу розчину та пептизації забруднень. Вони також допомагають зменшити жорсткість води. Силікат натрію, відомий як рідке скло, має лужну дію, а також проявляє інгібуючі та емульгуючі властивості.

Під час гідролізу силікати утворюють нерозчинну кремнієву кислоту, яка покращує якість очищення і запобігає повторному відкладенню забруднень на поверхні деталей. Після обробки в розчинах, які містять силікат натрію, на поверхні деталей залишається тонка плівка.

На практиці використовують фосфати, силікати та гідроксиди натрію загальний розчин для знежирювання буде мати наступний склад. [20]

Склад розчину, г/дм^3:

Тринатрійфосфат $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ 30-50

Карбонат натрію Na_2CO_3 20-30

Гідроксид натрію NaOH 10-20

Рідке скло 10-20

Температура 70°С

Тривалість 15-20 хв.

Після знежирення проводиться промивання в проточній теплій воді.

Промивання в теплій проточній воді.

Для остаточного видалення жирів проводять промивання в теплій проточній воді з температурою 40…50 °С. Час промивання становить 1 – 5 хв.

Промивання в холодній проточній воді.

Промивання проводять зануренням деталей в проточну воду з температурою 15…25 °С

Травлення

Після промивання потрібно видалити оксидну плівку яка утворюється на поверхні деталі. Для травлення металу використовують або хлоридну або сульфатну чи нітратну кислоту.

Перевагами сірчанокислих травильних розчинів є: невелика вартість, нелетючість сірчаної кислоти навіть при температурі 100 ºС.

Основною перевагою хлоридно – кислих розчинів є можливість обробки

деталей при невисоких температурах та отримання більш чистих і менш шорстких поверхонь деталей. [20]

Для травлення поверхні деталей обрано розчин, г/дм^3:

Хлоридна кислота HCl 200 - 250

Інгібітор 3 - 5

Режим хімічного знежирення: t = 15-20 ◦С.

Час обробки: 1-3 хв.

Після травлення деталії, її промивають у холодній проточній воді, протягом 0,3 хв при температурі 18-25 ^{0}С

Активація

Активація проводиться в стаціонарній ванні при місцевій витяжці (швидкість руху повітря 0,8-1 м/с).

Розчин г/дм^3:

Ціанід натрію NaCN 30 – 50

Температура 18-25 ^{0}С

Час 0,5 хв.

Оброблену деталь одразу занурюють у ванну для електролізу

1.4 Вибір складу електроліту для нанесення гальванічного покриття

При виборі електроліту необхідно керуватися вимогами, які ставлять до його складу та певних властивостей. Основні вимоги, які потрібно виділити при виборі складу електроліту, випливають із вимог, які ставлять до покриття:

1) висока розсіювальна здатність для забезпечення рівномірного розподілу металу;
2) здатність отримувати пластичні покриття;
3) невисока агресивність, безпечність та стабільність в експлуатації;
4) висока продуктивність, невисока вартість і доступність.

Електроліти міднення поділяють на прості і комплексні.

1.4.1 Прості електроліти

Прості електроліти характеризуються стійким складом, що дозволяє осаджувати мідь при досить високих густинах струму, за умови використання підвищених температур та перемішування (механічного або за допомогою стисненого повітря). У таких електролітах мідні осади мають крупнокристалічну структуру, але вони досить щільні та осаджуються при високих виходах за струмом у робочому діапазоні густин струму. Однак існують і недоліки: погана розсіювальна здатність та неможливість безпосереднього міднення сталі, цинкових сплавів та інших металів, більш електронегативних за мідь. Для цього необхідно спершу нанести підшар нікелю або використовувати комплексні електроліти.

Фторборатні електроліти. Основні компоненти цих електролітів включають фторборат міді, фторборатну та борну кислоти. Завдяки високій розчинності фторборату міді, вони дозволяють застосовувати високу робочу густину струму. Ці електроліти відзначаються швидкодією та продуктивністю, а також високою стійкістю. Мідні осади, що утворюються, є щільними та дрібнокристалічними. У порівнянні з сульфатними електролітами, фторборатні мають меншу концентраційну поляризацію та менш схильні до утворення шламу на анодах. Недоліком є можливість утворення фторидної кислоти за наявності іонів фтору. [20]

Сульфатний електроліт

Основними компонентами будуть слугувати сульфат міді з концентрацією 200 – 250 г/л, він буде слугувати донором іонів міді для покриття, та сірчана кислота, вона буде необхідна для підвищення електропровідності розчину. [6]

Можливий електроліт та режим електролізу:

$CuSO_4 \cdot H_2O$ 200 – 250 г/л

H_2SO_4 35 – 70 г/л

HCl 0,03 – 0,075 г/л

Б 7211 3 – 5 мл/л

t^0 18 – 30 ^{0}C

$i_к$ 2 – 5 А/дм^2

Збільшення pH буде впливати на розмір осадів, вони будуть ставати більш дрібнокристалічними, але буде знижуватися розчинність сульфату міді, що в свою чергу буде зменшувати робочу густину струму. Щоб цьому запобігти використовують перемішування. При недостатній кислотності, перебуваючи у невеликій кількості сульфат міді I, буде гідролізуватися з утворенням нерозчинного оксиду Cu_2O, що призведе до погіршення якості покриття, осад робиться шорстким, темним та пухким. [6]

Завдяки своїй простоті та не токсичності, сульфатні електроліти дозволяють працювати високою густиною струму, будуть давати високий вихід за струмом, близько 100%. До недоліків входить неможливість отримання рівномірного дрібнокристалічного осаду без додавання в розчин ПАР, та виникання контактного обміну на цинкових та сталевих деталях. [6, 20]

1.4.2 Комплексні елеткроліти

Пірофосфатні електроліти. Дані електроліти на відміну від ціанідних не токсичні і можуть бути використані для міднення, однак мають переважну кількість недоліків, що обмежує їх широке використання. Серед основних недоліків виділяють: мала продуктивність, складність у підтриманні pH і температури розчину, містить дорогі компоненти, в склад розчину можливе включення фосфору, який забезпечує крихкість покриття.

Приклад складу пірофосфатного електроліту міднення (г/дм^3):

Сульфат міді $CuSO_4$ – 90,

Пірофосфат калію $K_4P_2O_7$ 350,

Лимонна кислота $C_6H_8O_7$ – 20,

Селеніт натрію Na_2SeO_3– 0,002,

Гідроксид амонію NH_4OH – 2мл/л

pH розчину–8,3…8,5, температура –30…50 °C,$i_к$–0,8…1,7А/дм^2.

Меншу розсіювальну здатність, але вищу продуктивність і стійкість мають прості кислі електроліти міднення.

Ціанідні електроліти. Ціанідні електроліти для міднення мають основні складові: ціанід міді (CuCN) і вільний ціанід натрію (NaCN). Взаємодіючи, вони утворюють комплексний ціанід міді $[Cu(CN)_3]^{2-}$. У таких електролітах мідь знаходиться в складі комплексних іонів, ступінь дисоціації яких є низькою.

Потенціал виділення міді у ціанідних електролітах на 0,9–1,2 В є від'ємнішим, ніж у сульфатних. Потенціал міді в цих електролітах сильно залежить від кількості вільного ціаніду в розчині; збільшення вільного ціаніду призводить до підвищення катодної поляризації. Анодний процес у ціанідних електролітах також супроводжується значною поляризацією. [6]

Склад розчину ціанідного електроліту міднення, г/дм^3 :

CuCN 20 – 30

NaCN 5 – 10

NaOH 5 – 10

Катодна густина струму 0,3 – 2,0 А/дм^2

pH 10 – 12

Температура 15 – 60 ^{0}С.

Перевагами даного електроліту є відсутній контактний обмін, а також висока розсіювальна здатність. При його застосуванні мідь осідає безпосередньо на сталевих деталях і створюється добре зчеплення з основним металом. [6]

1.4.3 Види браку, неполадки та шляхи їх усунення при гальванічному мідненні

Під час гальванічного міднення сталевих деталей в ціанідному електроліті можлива поява неякісного покриття, що призводить до дефектів на деталях і робить їх непридатними для подальшого використання, вважаючи їх браком. У промислових умовах необхідно враховувати специфіку процесу електролізу та його параметри, щоб виключити фактори, які сприяють утворенню браку, і знайти

оптимальні методи їх усунення. [3,4,6] Основні проблеми, типи браку та способи їх усунення при гальванічному осадженні мідного покриття з сульфатного електроліту представлені у вигляді таблиці.

Таблиця 1.4.3 – Загальні види дефектів, причини та способи їх усунення при гальванічному мідненні в ціанідному електроліті.

№	Дефекти	Причини	Способи усунення
1	2	3	4
1	Бурхливе виділення водню на поверхні деталей. Метал або не осідає, або осідає в дуже малій кількості.	Надлишок ціаніду	Відкоригувати електроліт, зв'язавши вільний ціанід.
2	Поверхня анодів блискуча	Мала концентрація міді в електроліті.	Довести концентрацію мідних солей в електроліті до нормативного рівня.
3	На окремих ділянках деталей спостерігається пітинг у вигляді грушоподібних точок або білястих смуг.	Забруднення електроліту органічними домішками	Відфільтрувати електроліт через активоване вугілля.
4	Невелика швидкість осадження, колір осадів добрий	Мала концентрація міді в електроліті.	Збільшити вміст міді до норми.
5	Покриття темно-червоного кольору.	Висока катодна густина струму.	Знизити катодну густину струму.
6	Покриття темне, пухке, крупнозернисте зі здуттями.	Низьке pH електроліту	Визначити pH електроліту та додати їдкий натр або карбонат натрію для корекції.

Продовження таблиці 1.4.3.

1	2	3	4
7	Велика пористість і шорсткість покриттів.	Високий вміст карбонатів в електроліті. Низьке значення pH електроліту. Забруднення електроліту зваженими домішками і анодним шламом.	Розвести електроліт та додати ціанід міді. Перевірити значення pH та додати їдкого натру. Відфільтрувати електроліт через активоване вугілля.
8	Погане зчеплення покриття з основним металом.	Незадовільна підготовка поверхні перед покриттям. Надлишок вільного ціаніду.	Перевірити якість знежирення та активування, забезпечити добру підготовку поверхні. Додати ціанід міді

1.5 Вибір анодів

У ціанідних електролітах використовують анодні пластини з електролітичної міді або литі аноди товщиною 5-10 мм. Перед використанням їх протравлюють у розчині 5-10% азотної кислоти, ретельно промивають та очищують сталевими щітками. Важливо, щоб анодна поверхня у ціанідних електролітах була вдвічі більшою за катодну. Рекомендується розміщувати аноди в чохлах з хлорвінілової тканини. [3, 4, 6]

1.6 Вибір завершальних операцій

Промивання у ванні уловлювання

Зменшує концентрацію шкідливих речовин в електроліті та промивній воді. При цьому буде скорочення витрат води на промивні операції.

Промивання

Для видалення залишків електроліту потрібно промити деталь у проточній

холодній воді, з приблизною температурою 18 – 25 ^{0}С протягом 1 хвилини.

Сушіння

Проводиться при температурі 70 – 90 ^{0}С, гарячим повітрям. Проводиться операція до висихання поверхні, протягом 15 хвилин. Після сушки деталь передається в інший цех для нанесення іншого покриття.

Вивантаження. Проводиться демонтаж деталей з підвіски.

1.7 Контроль якості покриття

Для забезпечення контролю якості потрібно відбирати для перевірки не менше 2-3 деталей на добу, при цьому кожну деталь необхідно оглядати після проведення електролізу.

Контроль покриття здійснюється зовнішнім оглядом з метою виявлення дефектів: наростів або дендритів на краях деталей, шорсткості покриття, включення чужорідних часток, локального відшаровування, здуття, непокритих ділянок, пітингу, опалених ділянок, плям, смуг. Деякі дефекти можуть бути прийнятними в залежності від призначення покриття.

Товщина шару покриття є важливим параметром, що визначає його захисні властивості. Мінімальна товщина на поверхні деталі впливає на захисні якості покриття. Існують два методи перевірки товщини: з руйнуванням шару і без нього.

Для перевірки товщини обрано метод прямого вимірювання товщиноміром. Прилад підносять до поверхні деталі, і на екрані з’являється значення товщини покриття. Прилад працює з різними типами хвиль, від магнітних до ультразвукових. Перед вимірюванням необхідно провести калібрування, підносячи прилад до деталі без покриття. Для вимірювання товщини використовується ультразвуковий товщиномір покриттів Profiline TG-588 Pro 2021 з діапазоном 0 - 2000 мкм і точністю 2%, 1 мкм.

Перевірка міцності зчеплення проводиться шляхом нагрівання виробів після нанесення покриття протягом 2-3 годин при температурі 180-200 °С.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Річний фонд часу роботи обладнання визначають, виходячи з режиму роботи підприємства та особливостей самого технологічного обладнання. Вирізняють номінальний ($Т_н$) та дійсний ($Т_д$) річні фонди часу. Розрахунок номінального річного фонду часу роботи обладнання проводиться, враховуючи, що кількість календарних днів у році $Т_к = 366$, святкові дні $Т_с = 0$, вихідні – $Т_в = 104$; п'ятиденний однозмінний робочий тижденьтривалістю 40 годин.

$$T_H = \left((T_K - T_B - T_C) \cdot \frac{\tau_{\text{тиж}}}{t_{\text{рб.дн}}}\right) \cdot n_{\text{змін}} = \left((366 - 104 - 0) \cdot \frac{40}{5}\right) \cdot 1 = 2096 \text{ год}$$

Розрахунок дійсного робочого фонду часу роботи обладнання проводять, виходячи з загальних річних витрат часу на простої обладнання $К_{пр}$ від номінального річного фонду часу. При розрахунках, обладнання працює одну зміну тому $К_{пр}$ буде дорівнювати 2%.

$$\text{Т}_\text{д} = \text{Т}_\text{н} - \text{К}_\text{пр} \cdot \text{Т}_\text{н} = 2096 - 0{,}02 \cdot 2096 = 2075{,}08 \text{ год}$$

2.2 Визначення виробничої програми виробництва

Для визначення річної виробничої програми $Р_р$ річне виробниче завдання $Р_з$, що складає 10500 $м^2$ /рік, збільшується на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай від 0,5 до 3 % ($К_{бр}$= 0,005...0,03) від $Р_з$. Приймемо $К_{бр}$ за 2%

$$\text{Р}_\text{р} = \text{Р}_\text{з} + \text{К}_\text{бр} \cdot \text{Р}_\text{з} = 10500 + 0{,}02 \cdot 10500 = 10710 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Тоді виробнича програма буде складати:

$$\text{Р}_\text{доб} = \frac{\text{Р}_\text{р}}{\text{Т}_\text{доб}} = \frac{10710}{262} = 40{,}88 \text{ м}^2/\text{доба}$$

де $Т_{доб}$ це кількість робочих днів в році, 262 дні

Годинна робоча програма складає:

$$Р_г = \frac{Р_р}{Т_д} = \frac{10710}{2075{,}08} = 5{,}21 м^2/год$$

2.3 Розрахунок середньої товщини покриття та часу обробки однієї завантажувальної одиниці

Обрана товщина покриття буде складати 6 мкм, то для проєктних розрахунків оберемо:

$$\delta_n = \delta \cdot k + \delta_{зн} = 6 \cdot 1{,}1 = 6{,}6 \text{ мкм}$$

де k слугує коєфіцієнтом, що враховую нерівномірність покриття, і буде залежати від розсіювальної здатності електроліту і коливається в межах 1,1-1,4. Ми приймемо k за 1,1.

Далі потрібно знайти тривалість електрохімічного осадження покриття:

$$\tau_T = \frac{\delta_n \cdot d_M \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot k_e \cdot i_K} = \frac{6{,}6 \cdot 8{,}93 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0{,}98 \cdot 2{,}39 \cdot 2} = 7{,}18 \text{ хв}$$

де $\delta_п$ – товщина покриття, мкм

$d_м$ – густина металу покриття, г/см^3

Вс – катодний вихід за струмом (доля одиниці)

$К_е$ – електрохімічний еквівалент, г/А. год

$i_к$ – середня катодна густина струму, А/дм^2.

Також в розрахунках потрібно враховувати час на обслуговування підвіски. Середній час який затрачується на підвіску приблизно 1,5 хв.

$$\tau_{заг} = \tau_Т + \tau_{об} = 7{,}18 + 1{,}5 = 8{,}68 \text{ хв}$$

Кількість оброблюваних завантажень розраховується з урахуванням коефіцієнту затрат часу для однозмінного виробництва $К_{об}$ = 1,06...1,1 і становить:

$$n = \frac{T_д \cdot 60}{\tau \cdot К_{об}} = \frac{2075{,}08 \cdot 60}{8{,}68 \cdot 1{,}06} = 13531{,}95$$

де $К_{об}$– коефіцієнт, що враховує витрати часу на початковий запуск обладнання, кінцеве вивантаження ванни та на допоміжні операції.

Разове навантаження ванн $У_с$, буде вираховуватись наступним чином:

$$У_с = \frac{Р_р}{n} = \frac{10710}{13531,95} = 0,88 \text{ м}^2$$

Розрахуємо площу фланця котрий будуть покривати

$$S_{заг} = S_{зов} + S_{вн} + S_{площ} \approx 0,038 \text{ м}^2$$

де $S_{зов}$ – це площа зовнішнього обода, $S_{вн}$ – діаметр внутрішнього обода, $S_{площ}$ – площа лицьової та задньої поверхні

Визначимо кількість деталей при разовій загрузці n:

$$n_П = \frac{У_с}{S_{заг}} = \frac{0,88}{0,038} = 23$$

Загальна площа деталей $S_{зан}$, що завантажуються в ванну:

$$S_{зан} = S_{заг} \cdot n_П = 0,038 \cdot 23 = 0,874 \text{ м}^2$$

Визначаємо поверхню разового завантаження, м^2:

$$S_{оз} = S_{зан} \cdot N_n = 0,874 \cdot 1 = 0,874 \text{ м}^2$$

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

Кількість ванн, необхідних для виконання річної виробничої програми:

$$n_В = \frac{У_с}{S_{ОЗ}} = \frac{0,88}{0,874} = 1,01 \approx 1$$

Розрахуємо річну продуктивність знаючи кількість ванн:

$$P_p^{`} = S_{оз} \cdot n_в \cdot n = 0,874 \cdot 1 \cdot 13531,95 = 11945,2$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_p^{`}} = \frac{10710}{11945,2} = 0,897$$

Далі проводять перерахунок існуючого обладнання, яке встановлене в цеху та оцінюють можливість здійснення річної програми на цьому обладнанні. Відповідно до ДСТУ 23738-85 обирають внутрішні розміри ванни (690×600×1020) мм з товщиною стінок 25 мм.

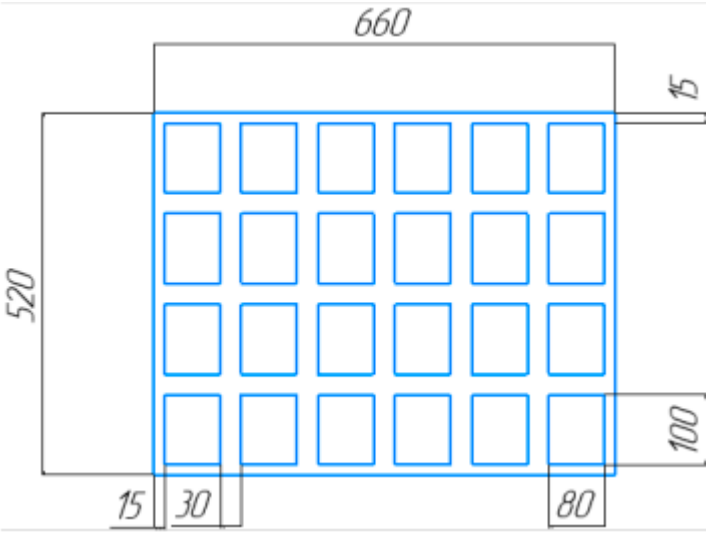


Рисунок 2.1 – Ескіз підвіски

Габарити ванни:

Довжина L : 1020 мм

Висота H : 690 мм

Ширина B : 600 мм

Враховуючи габаритні розміри ванн, визначають довжину і ширину підвіски відповідно:

$$l_n = l - 2 \cdot l_1 = 1{,}02 - 2 \cdot 0{,}1 = 0{,}82 \text{ м}$$

де l – внутрішня довжина ванни, м; l_1 – відстань від краю підвіски до корпусу ванни, м.

$$h_п = h - h_1 - h_2 - h_3 = 0{,}69 - 0{,}15 - 0{,}05 - 0{,}3 = 0{,}19 \text{ м}$$

де h – внутрішня висота ванни, м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту; h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни.

Відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_п - 2B_a - 2B_1}{2} = \frac{0{,}55 - 0{,}05 - 2 \cdot 0{,}01 - 2 \cdot 0{,}1}{2} = 0{,}14 \text{ м}$$

де B – внутрішня ширина ванни, м;

$B_п$ – товщина підвіски з деталями, м;

B_a – товщина анодів, м (додаток В з методички);

B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, м.

2.4 Баланс струму на гальванічній ванні

Коефіцієнт врахування втрат електрики на осаджування металу на контактах підвіски К, дорівнює 1,1, а верхня допустима технологічна катодна густина струму $i_к = 200$ А/м^2 , катодна сила струму на одній ванні становить:

$$I = K \cdot S_{оз} \cdot i_к = 1{,}1 \cdot 0{,}874 \cdot 200 = 192{,}28 \text{ А}$$

У ціанідному електроліті міднення на електродах перебігають такі електрохімічні процеси: на катоді:

1. $[Cu(CN)_2]^- + e = Cu + CN^-$ Вс = 98%
2. $H_2O + e = 1/2H_2 + OH^-$ Вс = 2%

на аноді:

3. $Cu + CN^- = [Cu(CN)_2]^- + e$ Вс = 100%

Кількість електрики визначають, виходячи з дійсного часу проведення електролізу. Дійсний час проведення електроосадження визначається як різниця часу обробки однієї підвіски і часу технічного обслуговування ванни, на кількість підвісок, що можна обробити за 1 годину:

$$n = \frac{60}{\tau} = \frac{60}{8{,}68} = 6{,}91$$

Таким чином:

$$\tau_д = (\tau - \tau_{об}) \cdot n = (8{,}68 - 1{,}5) \cdot 6{,}91 = 49{,}61 \text{ хв або } 0{,}83 \text{ год}$$

Кількість електрики, що витрачається на кожну реакцію, складає:

На катоді:

$$I_1 = \frac{I \cdot Вс_{к(осн)}}{100} = \frac{192{,}28 \cdot 98}{100} = 188{,}43 \text{ А}$$

$$I_2 \frac{I \cdot Вс_{к(осн)}}{100} = \frac{192{,}28 \cdot 2}{100} = 3{,}85 \text{ А}$$

На аноді:

$$I_{\text{а}} = \frac{I \cdot \text{Вс}_{\text{к(осн)}}}{100} = \frac{192{,}28 \cdot 100}{100} = 192{,}28 \text{ А}$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Баланс струму ванни.

Надходження	**I, A**	**%**	**Витрати**	**I, A**	**%**
На катоді					
Від зовнішнього джерела струму	192,28	100	Відновлення іонів міді Електроліз води	188,43 3,85	98 2
Разом	192,28	100	Разом	192,28	100
На аноді					
Від зовнішнього джерела струму	192,28	100	Окислення міді	192,28	100
Разом	192,28	100	Разом	192,28	100

2.5. Визначення напруги на гальванічній ванні, складання балансу напруги

Робоча напруга на гальванічній ванні визначається сумою її складових: різниці електродних потенціалів, омічного падіння напруги, падіння напруги у контактах та у провідниках першого роду.

$$U_B = iE_a - iE_K + \Delta U_{\text{ом.ел-т}} + \Delta U_{\text{ом.1р}} + \Delta U_{\text{ом.к.}}$$
$$= \Delta E + \Delta U_{\text{ом.ел-т}} + \Delta U_{\text{ом.1р}} + \Delta U_{\text{ом.к.}}$$

Різниця потенціалів рівна:

$$\Delta E = iE_a - iE_K = 0{,}6 - (-1{,}3) = 1{,}9 \text{ В}$$

При середній густині струму:

$$i_{ср} = \sqrt{i_к \cdot i_а} = \sqrt{200 \cdot 100} = 141{,}4\ А/м^2$$

Падіння напруги на електроліті:

$$\Delta U_{ом.ел-т} = К_к \cdot i_{ср} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e = 1{,}1 \cdot 141{,}4 \cdot 0{,}14 \cdot 0{,}065 = 1{,}42\ В$$

де $i_{ср}$ – середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м^2, розраховується за формулою; l_{a-k} – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями; r_e – питомий електричний опір електроліту, Ом×м; $К_к$ – коефіцієнт врахування втрат електрики на осаджування металу на контактах підвісного пристрою;

Тоді напруга на ванні:

$$U_B = \frac{\Delta E + \Delta U_{ом.ел-т}}{0{,}9} = \frac{1{,}9 + 1{,}42}{0{,}9} = 3{,}69\ В$$

$$\Delta U_{ом.1р} + \Delta U_{ом.к.} = \sum \Delta U_{ом} = 0{,}37\ В$$

Мінімальна напруга джерела струму для ванни міднення

$$U_{дс} = 1{,}1 \cdot U_B = 1{,}1 \cdot 3{,}69 = 4{,}06\ В$$

Таблиця 2.2 – Баланс напруги на ванні

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ванні	3,69	100	Різниця потенціалів під струмом, $_iE_a - {}_iE_к$	1,9	51,5
			Падіння напруги в електроліті, $\Delta U_{ом.ел-т}$	1,42	38,5
			Падіння напруги в провідниках першого роду і контактах, $\sum\Delta U_{ом}$	0,37	10
Разом	3,69	100	Разом	3,69	

2.6. Вибір джерела струму для гальванічної ванни

Аналізуючи розраховані значення сили струму та напруги на ванні, обирають джерело струму «ГИТ4000-200х123-380-В3» з такими характеристиками:

напруга – від 0,1 до 12 В,

сила струму – від 15 до 200 А.

Необхідна потужність джерела струму:

$$N_{дс} = U_{дс} \cdot I \cdot 10^{-3} = 3{,}69 \cdot 192{,}28 \cdot 10^{-3} = 0{,}71 \text{ кВт}$$

Паспортна потужність:

$$N_{пас} = U_{пас} \cdot I \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 4{,}8 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт завантаження:

$$К = \frac{N_{дс}}{N_{пас}} = \frac{0{,}71}{4{,}8} = 0{,}148$$

2.7. Визначення джоулевої теплоти та складання балансу енергії на ванні

Електрична енергія, що підводиться до електролізеру, перетворюється в хімічну та теплову і дорівнює сумі цих складових:

$$W_{заг} = W_{дж} + W_{хім}$$

Катодну і анодну реакції та сумарний процес на електродах можна записуємо у вигляді:

1. $[Cu(CN)_2]^- + e = Cu + CN^-$ Вс = 98%
2. $H_2O + e = 1/2H_2 + OH^-$ Вс = 2%

на аноді:

3. $Cu + CN^- = [Cu(CN)_2]^- + e$ Вс = 100%

$$\Delta H^0_{сум} = \Delta H^0_{H_2O} - 1/2\,\Delta H^0_{H_2} - \Delta H^0_{OH^-} = -286 - 0 - (-230) = -56 \text{ кДж/моль}$$

Звідки виходить:

$$W_{дж} = 3{,}6 \cdot I \cdot \tau \cdot \left(U + \frac{\Delta H^0_{сум} \cdot Bc_2}{z_{3-4} \cdot F}\right) = 3{,}6 \cdot 192{,}28 \cdot \frac{7{,}18}{60} \cdot \left(3{,}69 - \frac{56 \cdot 0{,}02}{2 \cdot 96{,}5}\right)$$

$$= 304{,}99 \text{ кДж/год}$$

$$W_{заг} = 3{,}6 \cdot 192{,}28 \cdot 3{,}69 \cdot \frac{7{,}18}{60} = 305{,}66 \text{ кДж}$$

$$W_{хім} = W_{заг} - W_{дж} = 305{,}66 - 304{,}99 = 0{,}67 \text{ кДж}$$

Таблиця 2.3 – Баланс енергії на ванні

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	305,66	100	Джоулева теплота Хімічна енергія	304,99 0,67	99,8 0,2
Разом	305,66	100	Разом	305,66	100

2.8 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн

Розрахунок проводиться для визначення максимально можливої температури, до якої розігрівається електроліт за 1 годину роботи ванни.

Враховують, що вся джоулева теплота розтрачується на розігрів ванни та не витрачається у навколишнє середовище.

Максимально можлива температура розігріву розчину електроліту розраховується за формулою:

$$T_к = 293 + \frac{W_{дж}}{V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3}$$

де V_1 – об'єм електроліту, 0,344 дм^3 ; C_1 – питома масова теплоємність електроліту, 3870 Дж/(кг·К); d_1 – густина електроліту, 1,13 кг/дм^3; C_2 – теплоємність матеріалу стінок ванни, для поліпропілену – 1930 Дж/(кг·К); m_2 – маса ванни, 45,87 кг; C_3 – теплоємність матеріалу аноду, 385,2 Дж/(кг·К); m_3 – маса анодів у ванні, 61,6 кг

$$T_к = 293 + \frac{305{,}66}{0{,}344 \cdot 3870 \cdot 1{,}13 + 1930 \cdot 45{,}87 + 385{,}2 \cdot 61{,}6} \approx 293$$

При перерахунку на градуси Цельсія:

$$T_к = 293 - 273 = 20\ C^0$$

Нагрівання майже проходити не буде, тому додаткові охолоджуючі пристрої не використовуються.

2.9 Розрахунок витрат матеріалів

Розрахунок витрат матеріалів проводимо з метою визначення річних потреб виробництва у вихідній сировині та матеріалах для нанесення даного виду покриття.

Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання

$$G_{аз} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_B \cdot h_B \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot n_B = 0{,}48 \cdot 2 \cdot 1{,}02 \cdot 0{,}69 \cdot 0{,}01 \cdot 8960 \cdot 1 = 60{,}54$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймається за $K_1 = 0{,}6$);

K_2 – коефіцієнт, який враховує співвідношення анодів та висоти ванни (приймається за $K_2 = 0{,}8$);

$n_{аш}$ – кількість анодних штанг у ванні (беремо 2);

$l_в$ – внутрішня довжина ванни, м (1020 мм = 1,02 м);

$h_в$ – висота ванни, м (690 мм = 0,69 м);

d_a – густина матеріалу анодів, кг/м^3 (мідні аноди 8960 кг/м^3);

δ_a – товщина анодів, м (розраховуємо на 0,01 м);

$n_в$ – кількість ванн даного типу.

Розрахунок витрат анодів при виконанні річної виробничої програми

$G_{ар}$ розраховується за формулою:

$$G_{ар} = S \cdot A_р \cdot \delta_п = 10710 \cdot 6{,}6 \cdot 0{,}014 = 989{,}6\ кг$$

де S – це сумарна площа нанесеного гальванічного покриття при виконання річної програми, м^2 (рівно $P_р$) ;

$\delta_п$ – товщина покриття в мкм;

$A_р$ – норма витрат нерозчинних катодів, кг/м^2, розраховується за формулою:

$$A_p = d_п \cdot (1 + 0{,}06) \cdot 10^{-6}$$

де $d_п$ – густина металічного покриття, кг/м^3;

$$A_p = 8960 \cdot (1 + 0{,}06) \cdot 10^{-6} = 0{,}014 \text{ кг/м}^2$$

Загальна витрата анодів:

$$\sum G_р = G_{аз} + G_{ар} = 60{,}54 + 989{,}6 = 1050{,}14 \text{ кг}$$

2.10 Розрахунок витрат хімічних реактивів

2.10.1 Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

$$G_{CuCN} = C_{CuCN} \cdot V_B \cdot K_{зап} \cdot n_B = 30 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}8 \cdot 1 = 10{,}1 \text{ кг}$$

$$G_{NaCN} = C_{NaCN} \cdot V_B \cdot K_{зап} \cdot n_B = 10 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}8 \cdot 1 = 3{,}36 \text{ кг}$$

$$G_{NaOH} = C_{NaOH} \cdot V_B \cdot K_{зап} \cdot n_B = 10 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}8 \cdot 1 = 3{,}36 \text{ кг}$$

де C_i – концентрація кожного компонента електроліту, кг/м3;

$V_в$ – об`єм ванни, м^3 ;

$K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни, приймаємо $K_{зап}$ = 0,8;

$п_в$ – кількість ванн даного типу.

$$C_{CuCN} = 30 \ \frac{кг}{м^3};$$

$$C_{NaCN} = 10 \ \frac{кг}{м^3};$$

$$C_{NaOH} = 10 \ \frac{кг}{м^3};$$

2.10.2 Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми

Витрати розраховують за формулою:

$$G_{CuCN} = C_{CuCN} \cdot V_{BT} = 30 \cdot 1{,}48 = 44{,}4 \text{ кг}$$

$$G_{NaCN} = C_{NaCN} \cdot V_{BT} = 10 \cdot 1{,}48 = 14{,}8 \text{ кг}$$

$$G_{NaOH} = C_{NaOH} \cdot V_{BT} = 10 \cdot 1{,}48 = 14{,}8 \text{ кг}$$

де V_{BT} – загальний об'єм електроліту чи розчину, який виноситься з ванн, або стає непридатним і буде замінюватися на новий.

V_{BT} можна розрахувати як:

$$V_{BT} = 1{,}15 \cdot S \cdot Ae = 1{,}15 \cdot 10710 \cdot 0{,}00012 = 1{,}48$$

де S – загальна поверхня деталей, котрі обробляються за рік, $м^2$;

коефіцієнт 1,15 враховує площу занурювану частину підвісок;

Ae – норма витрат електроліту або розчину, $м^3 \cdot м^2$, величина якої не залежить від товщини покриття.

Використовуючи ціанідні електроліти необхідно врахувати витрати на розкладання та окиснення.

2.11 Розрахунок витрат води

Протягом річної виробничої програми, вода застосовується для різноманітних потреб, включаючи підготовку електролітів та розчинів, проведення електролізу, випаровування з поверхні електроліту та промивання.

2.11.1 Витрати води на приготування електроліту

Витрати води для приготування електролітів та розчинів визначається за формулою:

$$G`_{H_2O_{BT}} = C_{H_2O} \cdot V_{заг} = 1080 \cdot 1{,}816 = 1961{,}28 \text{ кг/м}^3$$

де C_{H_2O} – вміст води в 1 $м^3$ електроліту, кг;

$V_{заг}$ – сумарні витрати електроліту чи розчину при виконання загальної виробничої програми, $м^3$.

Вміст води C_{H_2O} можна визначити через формулу:

$$C_{H_2O} = d_{ел} - (C_1 + C_2 + C_3) = 1130 - (30 + 10 + 10) = 1080 \text{ кг/м}^3$$

де $d_{ел}$ – електролітна густина, кг/м^3,

C_1, C_2, C_3 – вміст компонентів в розчині або в електроліті, кг/м^3.

Сумарний об'єм електроліту при виконанні загальної виробничої програми визначається за формулою:

$$V_{заг} = V_B \cdot K_{зап} \cdot n_B \cdot V_{ВТ} = 0{,}42 \cdot 0{,}8 \cdot 1 + 1{,}48 = 1{,}816 \text{ м}^3$$

На розкладання при електролізі

Розрахунки виконуються тільки для тих ванн, на електродах яких перебігає побічний процес розкладання води, та для ванн електрохімічного знежирення.

Формула для розрахунку витрат води на розкладання $C``_{H2O}$:

$$C``_{H_2O} = I \cdot \frac{18 \cdot T_д \cdot B`_c}{2 \cdot 26{,}8} \cdot 10^{-5} = 192{,}28 \cdot \frac{18 \cdot 2075{,}08 \cdot 2}{2 \cdot 26{,}8} \cdot 10^{-5} = 2{,}68 \text{ кг}$$

На винесення газами

Обчислення здійснюється для ванн, де може проходити побічний процес розкладу води, а також для ванн знежирення електрохімічним методом.

$$C```_{H_2O} = C`_{H_2O} \cdot V_Г^t$$

де $C`_{H_2O}$ – кількість води, що видаляється з ванни на один м³ газів, кг/м³;

$V_г^t$ – сумарний об'єм вологого газу, що виділяється при температурі електролізу, м^3.

$C`_{H_2O}$ визначають як:

$$C`_{H_2O} = 0{,}805 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_{H_2O}}{P_б - P_{H_2O}} = 0{,}805 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{162{,}62}{1013{,}25 - 162{,}62}$$
$$= 0{,}00015 \text{ кг/м}^3$$

де $P_р$ – загальний тиск паро-газової суміші, гПа;

P_{H_2O} – парціальний тиск водяної пори при температурі електролізу, гПа.

$V_г^t$ визначають через об'єми водню і кисню

$$V_{H_2}^0 = 0{,}418 \cdot I \cdot Т_д \cdot Вс' \cdot 10^{-5} = 0{,}418 \cdot 192{,}28 \cdot 2075{,}08 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 3{,}34 \text{ м}^3$$

$$V_{O_2}^0 = 0{,}209 \cdot I \cdot Т_д \cdot Вс' \cdot 10^{-5} = 0{,}209 \cdot 192{,}28 \cdot 2075{,}08 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 1{,}67 \text{ м}^3$$

Та загальний об'єм приведених но нормальних умов газів:

$$V_{\Gamma}^{0} = V_{H_2}^{0} + V_{O_2}^{0} = 3{,}37 + 1{,}67 = 5{,}34 \text{ м}^3$$

Об'єм вологого газу при температурі електролізу

$$V_{\Gamma}^{t} = \frac{V_{\Gamma}^{0} \cdot 1013 \cdot (273 + t_{\text{ел}})}{273 \cdot (P_{\text{б}} - P_{H_2O})} = \frac{5{,}34 \cdot 1013 \cdot (273 + 20)}{273 \cdot (1013{,}25 - 162{,}63)} = 6{,}83 \text{ м}^3$$

Витрати води C^{IV} при певній температурі можна обчислити за формулою:

$$C^{IV} = \text{Т}_{\text{д}} \cdot S_e \cdot q_{H_2O} \cdot n_B = 2075{,}08 \cdot 0{,}414 \cdot 1{,}1 \cdot 1 = 944{,}99 \text{ кг}$$

де S_e – площа поверхні розчину, м²;

$n_в$ – кількість ванн даного типу;

q_{H2O} – швидкість випаровування води за одну годину при відповідній температурі.

2.11.2 Витрати води на промивні операції

Для каскадної двохступеневої промивки:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot \text{Р}_{\text{г}} \cdot \sqrt{K} = 0{,}12 \cdot 5{,}21 \cdot \sqrt{225} = 9{,}378$$

де A_e – норми виносу розчину з ванни на поверхні деталей, дм³/м²;

$Р_г$ – годинна виробнича програма ванни, м²/год;

К – критерій остаточного промивання деталей

$$\text{К} = \frac{\text{С}_0}{\text{С}_{\text{к}}} = \frac{30}{0{,}02} \cdot 0{,}15 = 225$$

де C_0 – концентрація основного компонента у ванні, після якої здійснюють промивання, г/дм³;

$C_к$– гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, г/дм³

0,15 коефіцієнт для двохкаскадних ванн.

Сукупні витрати води на промивання після однієї технологічної ванни, що містить хімічні реагенти, при виконанні річної виробничої програми визначаються наступним чином:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1{,}5 = 9{,}378 \cdot 2075{,}08 \cdot 1{,}5 = 29147{,}95 \text{ дм}^3$$

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

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКО – ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Підприємство у промисловій структурі держави

Виконання організаційно-економічної частини завдання згідно «Галузевої інструкції з планування, обліку виробництва та калькуляції собівартості на підприємствах хімічної промисловості» вимагає розрахунки техніко-економічних показників цеху міднення та собівартість готової продукції.

Результати розрахунків аналізуються, для вирішення актуальності побудови виробничого цеху підприємства.

Організаційно-правова форма: ТОВ.

Класифікаційні ознаки підприємства:

1) За формою власності – товариство з обмеженою відповідальністю
2) За формою реєстрації – юр. особа;
3) За спеціалізацію виробництва – вузькоспеціалізоване;
4) За масштабом виробництва – масове;
5) За ресурсами – матеріаломістке;
6) За потужністю – середнє;
7) За чисельністю персоналу – мале;
8) За вартістю власного майна – середнє;
9) За впливом на предмет праці – переробне;
10) За режимом роботи протягом року – позасезонне;
11) За призначенням продукції – промислові товари.

КВЕД: код 24.44, що включає нанесення гальванічної міді на сталь.

Мета діяльності: задоволення потреб приладобудівної промисловості у формуванні мідного покриття з подальшим нанесенням нікелевого покриття для забезпечення захисно-декоративних властивостей. [10]

Підприємство вирішує наступні завдання:

1) Забезпечення споживачів продукцією високої якості у відведених

часових рамках;

2) Запобігання збоїв у роботі підприємства (зриву поставки, випуску бракованої продукції, різкого скорочення обсягів виробництва і зниження рентабельності);

3) Забезпечення працівників підприємства заробітною платою та нормальними умовами праці;

4) Отримання доходу за рахунок реалізації споживачам виготовленої продукції.

Організаційна структура підрозділу виглядає так:

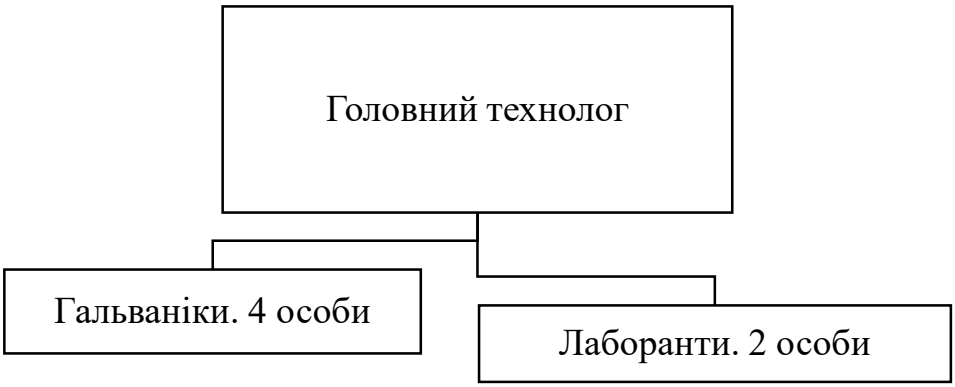


Рисунок 3.1. – Структура організації підрозділу хімічного виробництва по гальванічному мідненні сталевих деталей

3.2. Технологічна підготовка виробництва

Опис технологічної схеми нанесення мідного покриття на фланці подано в таблиці 3.1:

Таблиця 3.1 – Класифікація виробничих процесів

Вид виробничого процесу	Найменування операції	Тривалість, хв
1	2	3
Основні	1. Монтаж деталей; 2. Знежирення електрохімічне; 3. Промивання тепле; 4. Промивання холодне; 5. Активація хімічна; 6. Міднення електроохімічне; 7. Промивання у ванні уловлювання; 8. Уловлювання; 9. Промивання в холодній воді; 10. Промивання в теплій воді; 11. Просушування стиснутим повітрям; 12. Просушування в сушильній машині; 13. Демонтаж; 14. Контроль якості покриття Всього	3 20 1 1 1 8,68 1 1 0,5 0,5 2,5 2,5 1,5 5 50,3
Допоміжні операції: Обслугову--ючі та побічні операції:	1. Пакування і відправлення деталей на склад; 2. Приготування електролітів	
Обслугову--ючі та побічні операції:	1. Коригування і аналіз розчинів; 2. Закупівля та транспортування сировини	

Визначення виробничої програми обладнання

Сумарна виробнича програма устаткування за рік складе:

$$P_р = P_з + K_{бр} \cdot P_з = 10500 + 0{,}02 \cdot 10500 = 10710 \text{ м}^2/\text{рік}$$

При врахуванні кількості робочих днів у році $T_{доб}$ 262 дні, можна перерахувати на добову виробничу програму:

$$Р_{доб} = \frac{Р_р}{Т_{доб}} = \frac{10710}{262} = 40{,}88\,м^2/доба$$

Та на годинну виробничу програму, враховуючи дійсний робочий фонд часу:

$$Р_г = \frac{Р_р}{Т_д} = \frac{10710}{2075{,}08} = 5{,}21 м^2/год$$

Забезпечення виконання плану мідненян потребує таку кількість завантажень за зміну:

$$m_н = \frac{Р_{доб} \cdot n}{У_с} = \frac{40{,}88 \cdot 1}{0{,}88} = 46{,}45 = 47 \text{ завантажень за зміну.}$$

$У_с$ – це площа разового завантаження гальванічної ванни, а n – кількість ванн.

Тривалість робочого циклу для послідовного виду руху предмету праці (ВРПП)

Предмети праці рухаються послідовно, коли вони проходять обробку на кожному етапі виробництва один за одним**.** Після завершення обробки на одному етапі продукція одразу передається на наступний. Цей процес відбувається з усією партією предметів, що обслуговуються [10]

$$N_{заван} = \frac{T_{посл\ в.ц.}}{\sum_{i=1}^{14} t_i}$$

Тобто:

$$N_{заван} = \frac{8 \cdot 60}{50{,}3} = 10$$

$$B_{посл}^{річ} = 10 \cdot 262 \cdot 0{,}874 = 2\,289{,}88\ м^2;$$

Графік послідовного ВРПП:

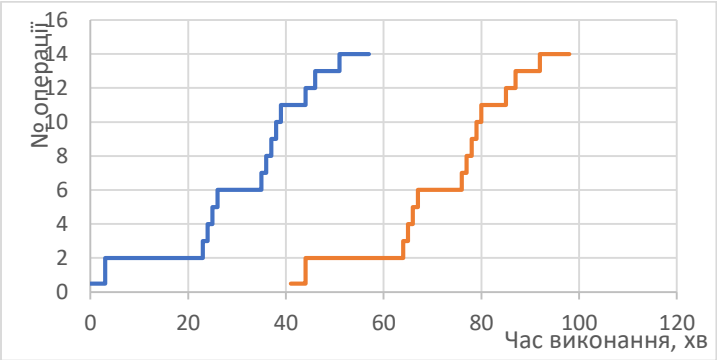


Рисунок 3.2 - Графік послідовного ВРПП

Розрахунки паралельного ВРПП:

$$N_{\text{заван}} = \frac{T_{\text{пар в.ц}} + t_{max} - \sum_{i=1}^{15} ti}{t_{max}}$$

Тобто:

$$N_{\text{заван}} = \frac{8 \cdot 60 + 20 - 50{,}3}{20} = 22{,}5 \approx 23$$

$$B_{\text{пар}}^{\text{річ}} = 23 * 262 * 0{,}874 = 5266{,}72 \text{ м}^2;$$

Графік паралельного ВРПП:

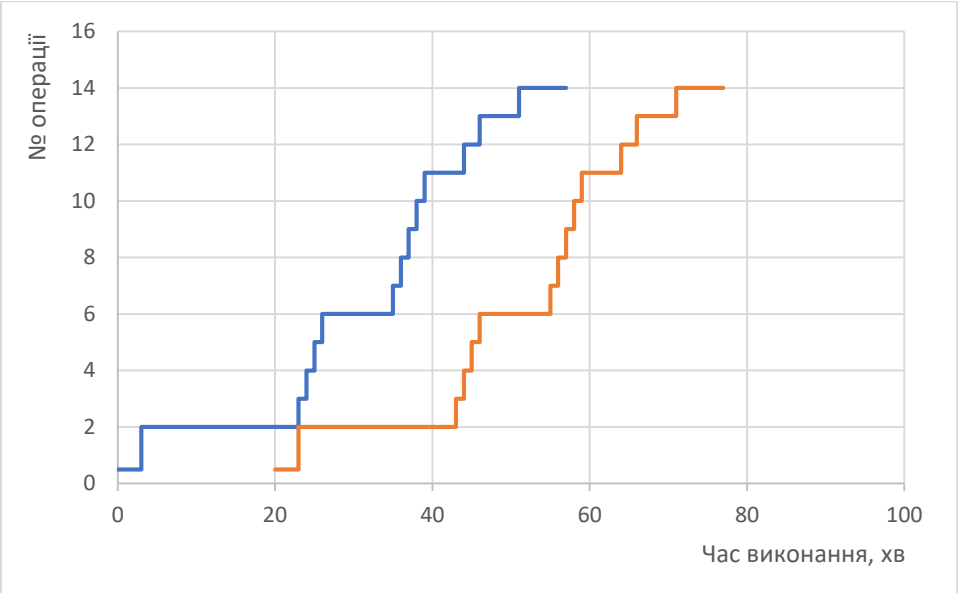


Рисунок 3.3 - Графік паралельного ВРПП

Розрахунок для синхронізованого ВРПП:

$$N_{\text{заван}} = 23 = \frac{T_{\text{пар в.ц}} + R - \sum_{i=1}^{18} ti}{R} = \frac{16 * 60 + R - 50{,}3}{R}$$

Де R = 19,5, що перевіряється як:

$$N_{\text{заван}} = \frac{T_{\text{пар в.ц}} + R - \sum_{i=1}^{18} ti}{R} = \frac{16 * 60 + 19{,}5 - 50{,}3}{19{,}5} = 23$$

$$B_{\text{син}}^{\text{річ}} = 23 * 262 * 0{,}874 = 5266{,}71 \text{ м}^2.$$

Графік синхронізованого ВРПП:

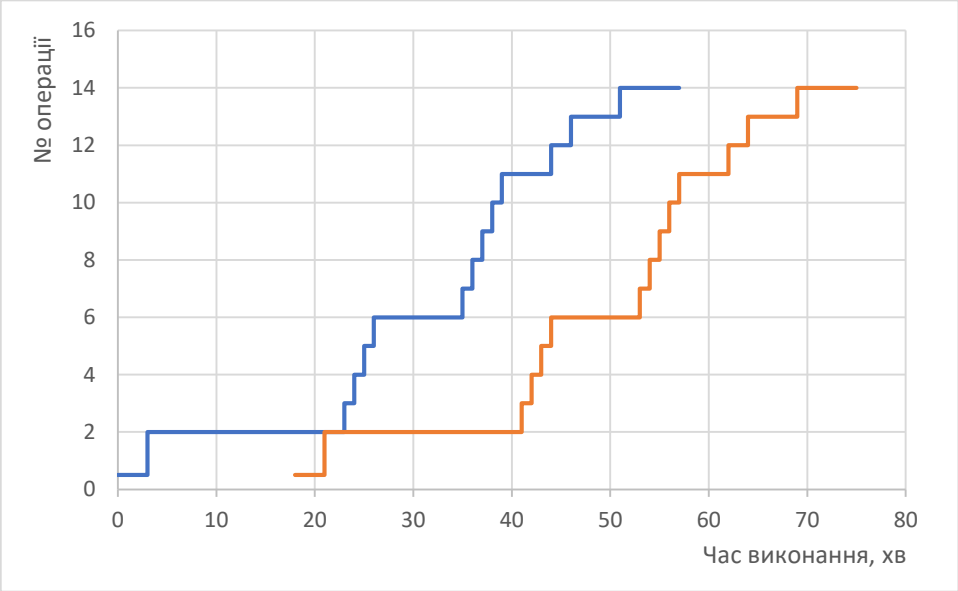


Рисунок 3.4 - Графік синхронізованого ВРПП

Розрахунки показують, що оптимальним графіком ВРПП, який задовольняє річну програму виробництва, є синхронізований з темпом 23 хвилин та 23 завантаженнями за день.

Повне виконання програми з ритмом роботи 23 хвилин потребує 1 ванну хім. знежирення, 1 ванни холодної та 1 ванни теплої промивок, 1 ванни активації, 1 ванни міднення, одна ванна уловлювання, 1 сушильна машина. Таким чином, загальна кількість обладнання складає 7 одиниць.

Персонал рахується явочно. Виконання програми робіт мінімально залучає 3 гальваніків, 1 лаборанта.

$$Ч_{яв} = 4$$

За списком чисельність складе:

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} * K_{пер} = 4 * \frac{\frac{8}{24} * 262}{\frac{8}{24} * 262} = 4$$

Графік роботи – Пн-Пт 7^{00} – 23^{00}.

Одна бригада на зміну залучає 3 гальваніків, лаборанта.

В таблиці 3.2 показано змінність персоналу.

Таблиця 3.2 – Графік роботи змін персоналу

Таблиця 3.2 – Графік змінності

	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд
Техн.1	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В
Бриг.1	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В

На графіку 1 – зміна (8^{00} по 17^{00}), В – вихідний.

Технічний контроль в цеху здійснюється по наступним об’єктам:

- Сировина;
- Устаткування і техпроцеси;
- Готові деталі;
- Тара, пакування та транспорт;
- Допоміжні процеси в цеху.

Все це контролюється лаборантом.

Контроль за видами:

- Рівень техконтролю – ручний;
- Визначені параметри – геометричні, якісні;
- За стадіями – вхідний, поточний та вихідний;
- За охопленням об’єктів контролю – груповий;
- За обсягом – вибірковий. [10]

Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

В таблиці 3.3 показані основні фонди підприємства.

Таблиця 3.3 – Основні фонди підприємства

Найменування	Кількість, од.	Вартість одиниці, грн	Вартість за всі одиниці, грн
Обладнання			
Ванна міднення	1	25000	25000
Ванна знежирення	1	12000	12000
Ванна промивання	2	10000	20000
Ванна уловлювання	1	12000	12000
Ванна активації	1	10 000	10000
Сушильна шафа	1	15000	15000
Ванна міднення	1	20000	20000
Ванна травлення	1	40000	40000
Невиробничі основні засоби			
Приміщення	1	500000	500000
Нематеріальні активи			
			50000
Транспорт			
Трубопроводи	1	30000	30000
Вентиляція		50000	50000
Загальні витрати			
Всього			784000

Термін експлуатації обладнання складе:

- Обладнання – 5 років;
- Будівля – 20 років;
- Трубопровід, вентиляція – 15 років.

Ціна ремонту складе 0,05*ціну обладнання/термін експлуатації.

$$0{,}05 * \frac{154000}{5} = 1540 \text{ грн на рік.}$$

Розрахунок амортизації основного фонду буде розраховано як відношення вартості до терміну експлуатації об’єкту:

$$A_i = \frac{\Phi^{\text{і}}_{\text{пп}}}{\text{Т}_{\text{експ}}}$$

Амортизація будівлі:

$$A_1 = \frac{500000}{20} = 25000 \text{ грн на рік;}$$

Обладнання:

$$A_2 = \frac{154000}{5} = 30800 \text{ грн на рік;}$$

Нематеріальні активи:

$$A_3 = \frac{50000}{3} = 16667 \text{ грн на рік;}$$

Транспорт:

$$A_4 = \frac{80000}{15} = 5334 \text{ грн на рік.}$$

Сумарна амортизація складе:

$$A = 25000 + 30800 + 16667 + 5334 = 77801 \text{ грн на рік.}$$

В таблиці 3.4 показані оборотні фонди підприємства.

Таблия 3.4– Фонд заробітної плати цеху гальванічних покриттів

Найменування	Кількість, кг, кВт	Одинична вартість, грн./кг(кВт)	Річна вартість, грн./рік
Ціанід міді,	44,4	240	10656
Ціанід натрію	14,8	78	3552
Гідроксид натрію	14,8	130	3552
Вода	944,99	39,37	37204
Електроенергія кВт	26 516	7,5	198870
Сумарна вартість			253834

Ставка зарплати працівників розраховується по такому тарифу:

$$\text{ТС}_\text{i} = \frac{8000 * \text{ТК}_\text{i}}{262 * 8} \text{ грн на годину,}$$

Де 8000 складає мінімальну зарплату в місяць,

$ТК_i$ – тарифний коефіцієнт який залежить від тарифної сітки.

Отримуємо таблицю 3.5 з зарплатами працівників:

Таблиця 3.5 – Розрахунок сумарної зарплати за рік

Посада	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка	Денна зарплата грн./день	Річна зарплата, грн./рік	Кількість робітників	Зарплата за рік усіх робітників, грн./рік
Технолог	19	3,42	150,00	1200	310800	1	310800
Лаборант	8	1,64	60,00	480	124320	1	124320
Гальванік	10	1,82	133,9	1071,22	277446,98	3	832340
Сумарна зарплата							1267460

Нарахування ЄСВ:

$$Н = ЗП \cdot 0{,}22 = 1267460 \cdot 0{,}22 = 278841{,}1$$

Таким чином фонд оплати праці складе:

$$ФОП = ЗП + Н = 1267460 + 278841{,}1 = 1546301 \text{ грн/рік}$$

Де ЗП – це зарплата за рік усім працівникам.

В таблиці 3.6 розраховано собівартість випуску покриття.

Таблиця 3.6 – Розрахунок собівартості покриття

Елемент витрат	Витрати	
	На річне виробництво, грн./рік	На одну деталь, грн./м^2
Амортизація	77801	13
Зарплата	1267460	210
Нарахування на соціальний внесок	278841,1	46,47
Ремонт обладнання	1540	0,26
Виробнича собівартість	2519228	419,87
Невраховані витрати	503845	38,76
Цехова собівартість	3 023 073	503,85
Загальна собівартість	5 441 532	906,92

Техніко-економічні показники

- Прибуток складе:

$$П = Ц - С_з = 1500 - 906{,}92 = 593{,}08 \text{ грн/м}^2$$

- Рентабельність:

$$Р = \left(\frac{П}{С}\right) * 100\% = \frac{593{,}08}{906{,}92} * 100\% = 65{,}39\%$$

- Капіталовкладення:

$$К = С_з - А + Оф = 5\,441\,532 - 77801 + 253834 = 5\,619\,565 \text{ грн.}$$

- Коефіцієнт економ. ефективності:

$$E = \frac{П}{К} = \frac{593{,}08 * 5266{,}71}{5\,619\,565} = 0{,}56$$

- Період повернення капіталовкладень:

$$Т_п = \frac{1}{E} = \frac{1}{0{,}56} = 1{,}8 \text{ рік.}$$

- Явочна численність персоналу складе: 4 осіб на зміну.
- За списком численність персоналу складе: 4 осіб.
- Фондовіддача основних засобів складе:

$$ФВ_{обзс} = \frac{В}{Оз} = \frac{10088310}{784000} = 12{,}88$$

- Фондоємність основних засобів складе:

$$ФЄ_{обзс} = \frac{1}{ФВ_{обзс}} = \frac{1}{12{,}88} = 0{,}077$$

РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Автоматизація процесів у хімічному виробництві є надзвичайно важливим та ефективним способом покращення та контролю технологічного процесу, завдяки чому підвищується продуктивність праці та зменшується навантаження на персонал. Хімічне підприємство потребує врахування ряду факторів при плануванні автоматизованої лінії (в даному випадку – лінії нанесення мідного покриття), тому розробка такої автоматизації потребує певного набору контролюючих, регулюючих та вимірювальних пристроїв. [11]

У даному проекті автоматизація повинна забезпечити виконання таких умов:

Електроліт витрачається згідно з технічним регламентом;

Температура електроліту не порушує та відповідає технічному регламенту;

Концентрація розчину та його компонентів не виходить за межі технічного регламенту;

Режим електролізу проходить згідно з технічним регламентом.

Контрольовані та регульовані параметри включають pH, температуру, рівень електроліту та показники струму ванни (напруга та густина).

Таблиця 4.1 – Параметри регуляції та контролю ванни

№ п/п	Назва стадії процесу,місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Стадія міднення, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	рівень	0,7…0,75 м	контроль регулювання
2	Стадія міднення, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	сила струму	173,9 А	контроль регулювання

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
3	Стадія міднення, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	напруга на ванні	2,145 В	контроль
4	Стадія міднення, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	pH	4…4,5	контроль регулювання
5	Стадія міднення, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	температура	45-50 °С	контроль регулювання

Автоматизація рівня та складу розчину електроліту дозволяє запобігти ймовірним їх змінам під час роботи ванни, допомагаючи уникнути погіршення покриття через дисбаланс складу та рівня електроліту. Регулювання сили струму та його контроль дозволяють покращити якість покриття, запобігаючи зменшенню густини струму, що зменшить швидкість нанесення покриття. [11]

Контроль і регуляція температури здійснюються за допомогою термоперетворювача опору (1-1), нормувального перетворювача (1-2), електро-пневматичного перетворювача (1-3) та вторинного показувального приладу (1-4).

pH контролюється завдяки концентратоміру (3-1), сигнал з якого надходить на високоомний перетворювач (3-2), автоматичний реєструвальний прилад (3-3), і через регулятор електронний пропорційно-інтегральний (3-4) та електропневматичний перетворювач (3-5) здійснюється регулювання сідельним клапаном (3-5).

Контроль рівня в гальванічній ванні здійснюється через передавальний перетворювач рівня з пневматичним вихідним сигналом (2-1), вторинний показувальний прилад (2-2) та вторинні прилади з дистанційним

керуванням (2-4) з сідельним клапаном (2-5).

Контроль та регуляція сили струму здійснюються за допомогою випрямного агрегату (4-1) та його пульту управління (4-2).

Специфікація на використані технічні засоби наведена у додатку Б.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У гальванічному цеху, який займається нанесенням мідного сплаву, присутні пожежонебезпечні та шкідливі речовини, що було враховано в технологічних розрахунках. Для забезпечення енергетичних потреб проект передбачає використання теплової, електричної і механічної енергії [12].

У проекті передбачено використання безрейкових транспортних засобів, конвеєрів і трубопровідного транспорту для ефективного транспортування. Враховано вимоги з охорони праці для забезпечення безпеки під час транспортування.

Аналізуючи шкідливі та небезпечні фактори, були розроблені заходи щодо оптимізації умов праці на робочих місцях з метою забезпечення безпеки працівників [12].

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектному об’єкті. Заходи з охорони праці

У цьому дипломному проекті розроблено метод нанесення мідного покриття на сталеві деталі за допомогою ціанідного електроліту. Процеси гальванічного покриття супроводжуються значним утворенням металічного пилу, високим рівнем шуму, значною електричною напругою та використанням небезпечних хімічних речовин. Під час міднення в ціанідному електроліті застосовуються ціаніди, які є надзвичайно токсичними і небезпечними. Для підготовки поверхні деталей використовуються кислотні розчини, які можуть спричинити опіки та подразнення шкіри. Основні та підготовчі операції вимагають застосування механічної, електричної та теплової енергії. Всі проектні рішення приймалися з урахуванням вимог охорони праці.

5.1.1 Повітря робочої зони

На проектованій ділянці робота пов'язана з ручним навантаженням та розвантаженням гальванічної ванни. Працівники здійснюють навішування деталей на підвіски, завантаження їх у гальванічну ванну, контроль та регулювання роботи обладнання, вивантаження підвісок та візуальний контроль якості покриття. Вага підвіски не перевищує 35 кілограмів, а її розміри – менше 1 метра в довжину, що дозволяє двом працівникам легко виконувати ці завдання. Відповідно до ДСН 3.3.6.042–99, такі роботи відносяться до категорії фізичних робіт середньої тяжкості IIб. [15]

Таблиця 5.1 – Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень.

Період року	**Категорія робіт**	Температура, °С					**Відносна вологість %**		**Швидкість руху, м/с**	
		Оптимальна	Допустима				Оптимальна	Допустима нна робочих місцях постійних і непостійних	Оптимальна, не більше	Допустима на робочих місцях постійних і не постійних, не більше
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
			Пості-йних	Непос-тійних	Пості-йних	Непос-тійних				
Холодний	Середньої тяжкості - IIб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	0,4
Теплий		20-22	27	29	15	15	40-60	70(при 25 °С)	0,3	0,2-0,5

Гальванічне виробництво включає використання шкідливих речовин, тому цех міднення буде обладнаний загальною, місцевою та аварійною вентиляцією. Концентрація шкідливих речовин у повітрі підтримуватиметься на рівні гранично допустимої концентрації для робочої зони.

Для забезпечення сталої температури повітря, ванну знежирення, яка працює при температурі 65±5 °С, буде покрито теплоізоляційним матеріалом. У холодний період року температура повітря підтримується на необхідному рівні завдяки центральній системі опалення. Нижче наведена таблиця містить коротку санітарну характеристику проектованої гальванічної ділянки. [15]

Таблиця 5.2 – Коротка санітарна характеристика проектованого цеху

Назва виробничої дільниці, лабораторії, установки	Шкідливі речовини, що виділяються, причина їх виділення	Група шкідливої речовини, характеристика шкідливого впливу	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, м/мг	Клас небезпечності шкідливої речовини	Засоби індивідуального захисту	Засоби долікарської допомоги	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Клас виробництва згідно ДСП 173-96	Санітарна група технологічного процесу згідно ДБН В.2.2-28-2010
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна травлення	HCl	Викликає опіки і подразнення слизових оболонок	1	2	Гумовий спецодяг ,халати , рукавиці , чоботи , захисні окуляри , респіратор	Промити великою кількістю води, та провести нейтралізацію 2% розчином соди	Експрес-метод, Метод неперервної автоматичної реєстрації.	IV	3а
Ванна міднення	NaCN CuCN	При контакті може викликати подразнення, опіки	0,005	1	Респіратор, спеціальний одяг, спеціальне взуття та засоби захисту рук	Промити великою кількістю води	ХЖ-130 хромато-графрідинний	IV	3а

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна електрохімічного знежирення	NaCl	Подразнює шкіру та слизові оболонки, можуть	2	2	Захисні окуляри, гумові рукави- чки, прорезинений хімі-	Промити великою кількістю води, після промити 5% р-ном оцтової кислоти	ХГА «АГАТ»	IV	3а

У проектованому цеху забезпечуються нормальні умови праці за рахунок теплоізоляції обладнання, агрегатів та інших джерел тепла. Працівникам надаються засоби індивідуального захисту, такі як спеціальний одяг типу "П", респіратори типу "Пелюстка", захисні окуляри, навушники, гумові рукавиці та спеціальне взуття. Двічі на місяць здійснюється перевірка повітря на вміст шкідливих речовин за допомогою пиломіру.

Для підтримки чистоти повітря у промисловій зоні використовується механічна загальнообмінна припливна вентиляція, яка забезпечує подачу чистого повітря в приміщення цеху. Повітря може піддаватися спеціальній обробці, очищенню або нагріванню, за потреби. Також встановлена витяжна вентиляція.

Розглядається можливість циркуляції повітря між суміжними приміщеннями для збалансування продуктивності вентиляції. На виробництві передбачена аварійна вентиляція, яка вмикається у разі аварії в цеху. Ця система активується за допомогою датчиків сенсорів, налаштованих на контроль величин ГДК, або ручного керування.

Аварійна вентиляція забезпечує кратність повітрообміну у розмірі ч-1. Ванни, в яких під час роботи виділяються шкідливі речовини, оснащені бортовими відсмоктувачами повітря. Крім того, на вході в цех встановлені теплові повітряні завіси для запобігання переохолодженню та захворюванням працівників. [15]

5.1.2 Виробниче освітлення

На виробництві використовуються різні системи штучного освітлення, які виконують функції робочого, ремонтного, охоронного, аварійного та евакуаційного освітлення. Природне освітлення забезпечується за комбінованою системою. Загальна система освітлення є суміщеною, що дозволяє підтримувати відповідний рівень освітлення робочих зон в різних умовах. [13, 16, 18]

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, норми освітлення визначені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Норми освітлення приміщень

Розряд і підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, %	
	Штучне		Природне	Суміщене
	Комбіноване	Загальне	Верхнє і бічне	Верхнє і бічне
IV6	400	200	4 і 1,5	2,4 і 0,9

Для освітлення виробничого приміщення передбачені газорозрядні лампи низького тиску (типу ЛБ, ЛДЦ, ЛД) і високого тиску (типу ДРЛ). Для місцевого освітлення передбачене аварійне і евакуаційне освітлення, для якого використають світильники прямого типу. Для виміру і контролю освітленості в приміщеннях використовують цифрові люксметри UNI-T UT381A з періодичністю 1 раз на рік і після ремонту освітлювальних установок і заміні ламп. При аварійному освітленні мінімальна освітленість складає 5 % від нормованої, але не менше 2 лк.

Для освітлення обрано люмінесцентний світильник типу ЛСП-02У з рівнем захисту IP65, що підходить для приміщень з хімічно агресивним середовищем. У разі нестабільної роботи або відключення робочого освітлення передбачена система аварійного освітлення. [13, 16, 18]

Розрахунок світлового потоку, необхідного для забезпечення заданої освітленості на горизонтальній площині при загальній рівномірній освітленості,

проводиться з урахуванням відбитого від стін і стелі світла за формулою (для люмінесцентних ламп):

$$F = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{n \cdot u \cdot m} = \frac{400 \cdot 75 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1}{14 \cdot 0{,}6 \cdot 4} = 1474 \text{ лм}$$

де F – світловий потік однієї лампи, лм;

E – нормована освітлюваність, E = 400 лк (IVa розряд);

S – площа приміщення, S = 75 м^2;

z – поправочний коефіцієнт світильника, z = 1,1;

k – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості при експлуатації, k= 1,5;

n – кількість світильників, n = 14;

u – коефіцієнт використання, що залежить від типу світильника, показника приміщення, відбиття і т.д., u = 0,6;

m – число люмінесцентних ламп у світильнику, m = 4.

Для забезпечення необхідного освітлення обираємо тип лампи ЛД з потужністю 40 Вт та світловим потоком 1474 лм і визначаємо потужність освітлювальної системи [13, 16, 18]:

$$W = P \cdot n \cdot m = 40 \cdot 14 \cdot 4 = 2210 \text{ Вт},$$

де W - потужність освітлювальної системи, Вт;

P – потужність однієї лампи, Вт.

5.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрації

Основними джерелами шуму та вібрації в цеху є:

1. Двигуни системи вентиляції;
2. Рух автооператора;
3. Робота системи охолодження та циркуляції;
4. Генератори постійного струму і випрямлячі змінного струму;
5. Допоміжні електроприводи.

Рівень шуму на цьому виробництві за даними лабораторних вимірювань становить 85 дБА, що перевищує допустимий рівень звуку на робочих місцях (допустиме значення, згідно з ДСН 3.3.6.037–99, становить 80 дБА).

Для зниження шуму в проєкті передбачено використання звукоізоляційних і звукопоглинаючих матеріалів, глушників, а також зменшення шуму безпосередньо у джерелі завдяки ретельному балансуванню обладнання. Працівники будуть забезпечені засобами індивідуального захисту, такими як навушники Howard Leight та беруші 3M 1100.

Зниженню рівня шуму також сприятиме архітектурне планування приміщень. Обладнання розташовуватиметься так, щоб шум мінімально відбивався від стін: відстань від стіни з робочого боку становитиме 1,5 метра, а з неробочого боку - 1,2-1,5 метра. Площа приміщення на одного працівника буде не менше 4,5 м², а висота приміщення — не менше 5 метрів. [17]

5.1.4 Електробезпека

Гальванічний цех відноситься до особливо небезпечних приміщень через високий ризик ураження електричним струмом. Це обумовлено наявністю хімічно активного середовища, яке може спричиняти пошкодження електроізоляції та струмопровідних частин обладнання. Ураження струмом можливе при контакті з частинами обладнання під напругою через пошкоджену ізоляцію, а також через крокову напругу і електричну дугу. Особливо небезпечними є проводи з пошкодженою ізоляцією, ванни для нанесення покриття, трансформатори.

Цех підключений до трьохфазної електричної мережі змінного струму з промисловою напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Допустимі рівні напруги і струму, які можуть проходити через людину, складають 2 В та 0,3 А, під час аварії – 36 В та 6 мА.

При порушенні цих норм можливий однофазний дотик до мережі струму, в цьому випадку буде розрахована кількість електрики, яка пройде через людину:

$$I_л = U_ф * \frac{10^3}{R_л + R_0}, мА;$$

Де Uф – 220 В, фазна напруга; Rл – 3000 Ом, загальний опір тіла; Ro – 4 опір робочого заземлення нейтралі, Ом.

$$I_л = 220 * \frac{10^3}{3000 + 4} = 73{,}24мА$$

$$U_д = I_л * R_л, В$$

$$U_д = 73{,}24 * 1000 * 3000 = 219{,}7\ В$$

Дане розраховане число вказує на серйозну можливу травму.

Для запобігання можливим контактам працівників зі струмом передбачено ряд заходів: занулення, захисне відключення, вирівнювання потенціалів, використання низької напруги для ручних електроінструментів, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, огороджувальні пристрої, блокування, сигналізація, знаки безпеки та попереджувальні плакати. Безпека експлуатації електроустановок у нормальному режимі досягається завдяки таким факторам: ізоляції струмоведучих частин з опором не менше 0,5 МОм, недоступності струмоведучих частин і використанню низької напруги для переносних світильників. [18]

5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування устаткування

На виробництві можливі травми та ушкодження персоналу через наступні причини:

- розлиття електроліту на підлогу, його потрапляння на працівника, що призведе до важких хімічних опіків, а також можливих алергічних реакцій на компоненти розчину;

- поламка автооператора, що може призвести як мінімум до пошкодження підвісок з деталями, а як максимум – до його обрушення, що може нанести катастрофічних збитків;
- пошкодження ізоляції проводів на підлозі або в трансформаторі, що може призвести до ураження струмом.

На кожному етапі міднення можливі відхилення від нормативного протікання процесу, такі як: отримання опіків працівниками через потрапляння гарячого розчину, забої та синці, а також травми від різних апаратів через необережне поводження з автоматичною лінією. Також може відбутися відмова автоматичних вимикачів. Проєктом передбачено використання сигналізуючого обладнання для аварійних вимикачів.

Відхилення від нормативного процесу на кожному етапі покриття деталей міддю можуть включати: потрапляння гарячого розчину на підлогу, отримання термічних та хімічних опіків працівниками, забої. Також можливі травми від різних апаратів, які можуть виникнути через необережне поводження з автооператорною лінією чи відкритими обертовими частинами. Аварійні ситуації можуть статися у випадку відмови автоматичних вимикачів.

Швидкість транспортних засобів обмежена 5 км/год. [18, 12]

5.2 Пожежна безпека

Пожежна безпека у цеху є критично важливою через можливість загоряння, викликаного коротким замиканням, утворенням гримучої суміші водню з повітрям, електричними розрядами, а також ударом блискавки через металеві комунікації. Коротке замикання може виникнути через пошкодження електроізоляції проводів та трансформаторів, тому важливо регулярно перевіряти проводи у вразливих місцях та встановлювати запобіжники в електроапаратуру та мережу.

Цех оснащений комплектом пожежогасіння, який включає вогнегасники ВВК-3,5 і ВП-5, ящики з піском та пожежні крани з окремим водопроводом. У разі пожежі персонал буде евакуйований через двері, які відкриваються назовні, відповідно до розробленого плану евакуації. Будівля захищена стрижньовим

блискавковідводом, а у цеху встановлена автономна система пожежної сигналізації. [12, 18]

Деякі матеріали, які використовуються під час міднення, є пожежо- та вибухонебезпечними, що відображено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 Показники вибухо- та пожежонебезпечності деяких речовин та матеріалів

Назва ділянки	Речовини, що мають обіг у виробництві	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах	Горючість, займистість	Показники пожежона вибухонебезпеч-ності			Межа запа-лення		Вибухо-небезпечні суміші з повітрям		Вогнегасні засоби	Категорія приміщення за НАПБ Б.03.002-2007	Клас приміщення і зовнішніх установок згідно з ПУЕ	Категорія об'єкта і тип зони захисту і влаштування блискавкозахисту згідно з ДСТУ EN 62305-3:2021
				Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання	% об'єм	мг/м³	Категорія	Група				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Гальванічна ванна	Вініпласт		Важкозаймисті	-	580	580	-	-	-	-	Вода, піна	В	2	2А
	H_2	Газ	Легкогорюча	132	324	57,5	47,5	45–82,5	2с	Т1	Інертний газ			
Помість	Дерево, гума	Твердий	Горюча	170	400	400	-	-	-	-	Вода	В	2	2А
Ізоляція	Текстоліт	Твердий	Важкогорюча	-	358	358	-	-	-	-	Вогнегасниця рідинні і, вуглекислий СУБ-7,			

РОЗДІЛ 6 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Гальванічне виробництво є одним з головних джерел забруднення навколишнього середовища. Типові забруднення включають:

- Рідкі забруднення: стічні води з залишками електролітів та хімічних речовин після промивання деталей.

- Тверді відходи: осади малорозчинних сполук, утворені в процесі очищення стічних вод від важких металів та інших електролітних компонентів.

- Газоподібні забруднення: пари, аерозолі та повітряно-газові суміші, що виникають у процесах гальванічних операцій та водоочистки.

Важкі метали у водоймах не піддаються самоочищенню, що ускладнює видалення інших забруднень і має канцерогенний та мутагенний вплив на живі організми. Вони накопичуються у флорі та фауні водойм і ґрунті, що може призвести до потрапляння у харчовий ланцюг людини. Мідь, наприклад, у кількостях до 10-30 мг/кг маси тіла не є токсичною, але має мутагенні властивості. Вона також негативно впливає на біологічну очистку води.

Ціаніди дуже небезпечні навіть у малих концентраціях (0,01 мг/кг маси тіла), але легко окиснюються хлорвмісними сполуками у водоочисних системах. Луги та кислоти також шкідливі, допустимий рівень pH для них складає 6,5–8,5. Небезпека кислот залежить від аніону, оскільки під час травлення металів можуть виділятись токсичні гази. [9]

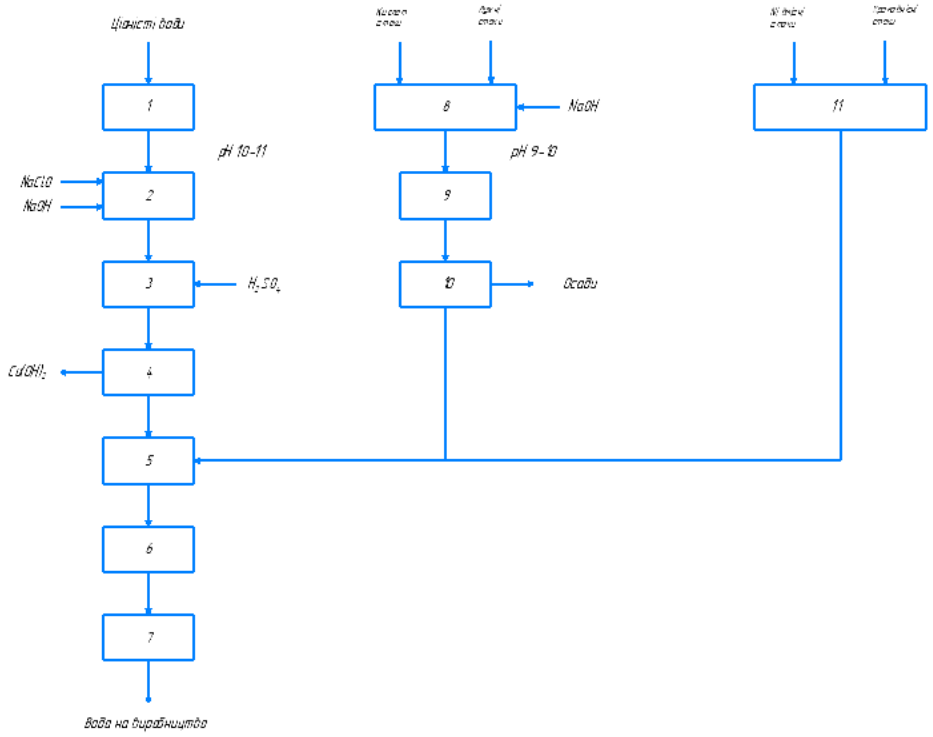
Стічні води з гальванічних виробництв містять токсичні речовини у значно вищих концентраціях, ніж встановлені ГДК. Ці води використовуються для побутових, технологічних та протипожежних цілей, а також для приготування електролітів, промивання деталей і систем нагріву та охолодження обладнання.

Стічні води гальванічних виробництв класифікуються на три типи:

1. Ціановмісні;
2. Хромовмісні;
3. Кислі та лужні води.

Очищення ціановмісних стічних вод здійснюється реагентним методом з використанням гіпохлориту натрію. Процес окислення ціанідів протікає при pH 10,5–12,5. Розчин підлуговується за допомогою лугу, який подається з баку. [9]

На схемі очищення показано процес видалення ціановмісних, кислих, лужних та нікельвмісних сполук зі стічних вод.



1, 5, 8 - усереднювач концентрацій; 2 - камера реакції; 3 - нейтралізатор очищенної води; 4, 6, 10 – фільтр- прес; 7- іонобмінний фільтр, 11 очищення хромо-, нікелевмісних стоків.

Рисунок 6.1 - Схема очищення стічних вод після проведення ненесення мідного покриття

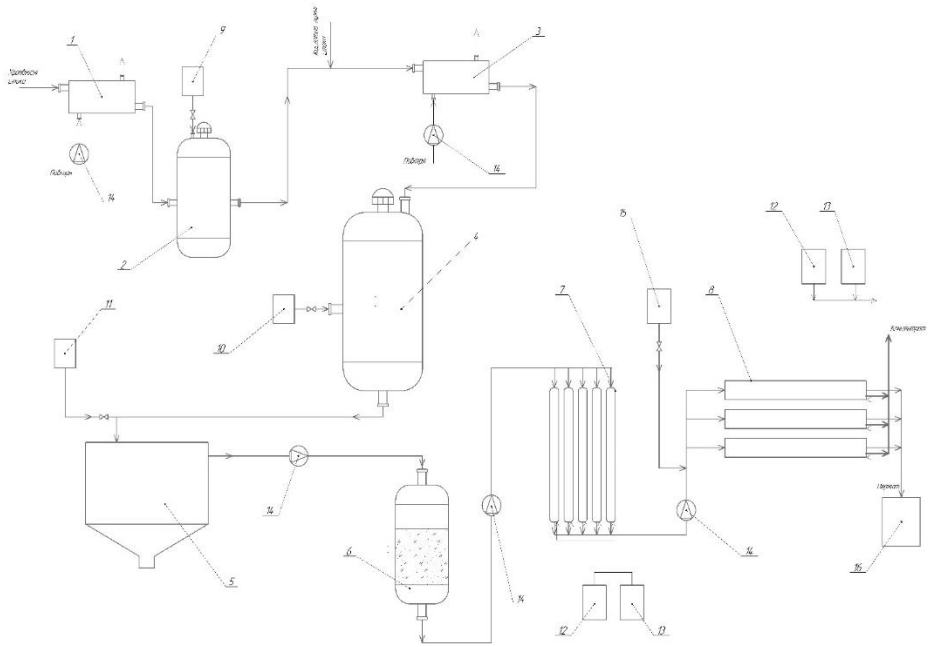


Рисунок. 6.2. Схема очищення стічних вод гальванічної лінії нанесення декоративного покриття нікель-хром

1 – усереднювач хромвмісних стоків; 2 – реактор відновлення хрому(VI); 3 – усереднювач стічних вод; 4 – реактор-нейтралізатор; 5 – відстійник; 6 – механічний фільтр; 7 – установка ультрафільтрування; 8 – установка зворотного осмосу; 9 – бак розчину натрію гідросульфіту; 10 – бак розчину натрію гідроксиду; 11 – бак розчину флокулянту; 12 – бак з кислотою; 13 – бак з лугом; 14 – насос; 15 – бак з антискалантом; 16 – бак перміату.

6.2 Очищення стічних вод

У процесі міднення в ціанідному електроліті на виробництві утворюються стічні води з такими компонентами:

1. Лужний розчин знежирення
2. Нікельвмісні стоки
3. Кислі стоки
4. Ціанідні стоки
5. Хромовмісні стоки

Для очистки цих стоків використовують комбінований метод, що включає реагентний та іонообмінний методи.

Ціановмісні сполуки по трубах надходять в усереднювач концентрацій. Для руйнування ціанідів застосовується 5% гіпохлорит натрію (за «активним» хлором). Очищення здійснюється при pH 10,5-12,5. Після очищення від ціанідів розчин нейтралізують сірчаною кислотою та пропускають через фільтр-прес для відділення гідроксиду міді.

Кислотні, лужні та нікельвмісні стоки з операцій активації та електрохімічного знежирення направляють до нейтралізатора. Рівень pH у нейтралізаторі підтримується в межах 9-10. При змішуванні розчинів відбувається попередня нейтралізація, а значення pH підтримується дозуванням 10% розчину NaOH. Потім емульсія відправляється у відстійник, де після відстоювання розчин проходить через фільтр-прес для відділення осадів. Після фільтрації вода потрапляє до усереднювача концентрацій з нейтралізованими ціанідними стоками.

Розчин з оптимальним pH подають на очистку в іонобмінний фільтр, після чого воду можна повторно використовувати на виробництві. [9]

Хромвмісні стоки потрапляють в усереднювач *1* для регулювання складу стічних вод. Перемішування рідини забезпечуються барботуванням повітря. Потім стічні води відправляються в реактор *2*, де токсичний Cr^{6+} відновлюється до Cr^{3+} 10%-вим розчином гідросульфіту натрію ($NaHSO_3$), який подається з баку *9*. Промивні води з виробничих процесів направляються в усереднювач *3* кислотно-лужних стоків, сюди ж надходить і стічна вода після процесу відновлення хрому. Перемішування рідини забезпечуються барботуванням повітря. Далі стоки сталого складу потрапляють в реактор-нейтралізатор *4*, де змішуються з 45%-вим розчином натрію гідроксиду (NaOH), який подається з баку *10*. У результаті утворюються нерозчинні гідроксиди металів, які випадають в осад. Ця суспензія відправляється у відстійник *5* з додаванням флокулянту поліакриламіду з баку *11*. Після освітлення вода насосом подається на двошаровий механічний фільтр, де відбувається фільтрування води через шар антрациту та кварцового піску.

Далі вода подається на установку ультрафільтрування *7* за допомогою насосу. Очищення відбувається на керамічній мембрані з розміром пор 50 нм, де видаляються частинки розміром 0,01–0,1 мкм. Потім до води додається антискалант з баку *15* і вона потрапляє на установку зворотного осмосу, де під тиском відбувається поділ води на два потоки – перміат і концентрат. Очищена вода відправляється до збірника *16*. Одна частина концентрату направляється на утилізацію, а друга – насосом подається знову на мембранні елементи, забезпечуючи рецикл концентрату. Промивка ультрафільтувальної та зворотно осмотичної установок відбувається кислотою з баку *12* та лугом з баку *13*.

ВИСНОВКИ

В даному бакалаврському проєкті розроблений технологічний процес гальванічного нанесення мідного покриття на сталеві деталі, з загальною товщиною покриття 6 мкм. Для цього передбачається використання ціанідного електроліту, через можливість нанесення покриття безпосередньо на сталь, відсутність контактного обміну та високу електропровідність, що забезпечує отримання дрібнокристалічних та рівномірних осадів. Запропоновано ціанідний електроліт з низькою концентрацією основних компонентів, що значно полегшує процес очищення стічних вод.

Для нанесення покриття проєктом розроблено гальванічний процес продуктивністю 10700 $м^2$/рік.

Було виконано основні технологічні розрахунки процесу: складено баланс струму, напруги та енергії гальванічної ванни, розраховано витрати матеріалів.

Розроблено схему автоматизації процесу нанесення міді за допомогою обладнання гальванічної ванни датчиками та приладами для контролю та регулювання заданих параметрів, очищення стічних вод від ціанідів, а також проведено розрахунок і створено креслення електролітичної установки для процесу. Організація підприємства розроблена з урахуванням усіх вимог безпеки.

В економічній частині проєкту було розарховано собівартість нанесення покриття, середнє капіталовкладення, мінімальна кількість затрат на заробітню плату.

Також проаналізовано умови праці робітників цеху та екологічна безпека цеху міднення та всього виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів: навч. посіб. / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильєв – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85с.
3. Горбачов А.К. Технічна електрохімія. 4.1. Електрохімічні виробництва хімічних продуктів. - Харків: "Прапор", 2002.- 254с.
4. Гальванопластика. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Енергоефективна технічна електрохімія та захист металів від корозії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д.Ю. Ущаповський, Т.І. Мотронюк, О.В. Лінючева, М.В. Бик. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,51 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 95 с. – Назва з екрана. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27024
5. Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб./ О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.І. Букет, С.В. Фроленкова – Київ: КПІ ім. ІгоряСікорського», 2017. – 147 с.
6. Основи процесів осадження і розчинення металів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. І. Мотронюк, Д. Ю. Ущаповський, О. В. Лінючева, С. В. Фроленкова, М. В. Бик. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,49 Мбайт). – Київ :

КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 116 с. – Назва з екрана. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48690

7. Гальванопластика. Лабораторний практикум. Видання оновлене та доповнене [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д. Ю. Ущаповський, Т. І. Мотронюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,14 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 119 с. – Назва з екрана. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65736

8. Технічна електрохімія : підручник / Г. Я. Якименко, В. М. Артеменко ; за ред. Б. І. Байрачного.— Х. : НТУ «ХПІ», 2006. — Ч. 3. : Гальванічні виробництва. — 272 с.

9. Екологічна безпека гальванотехніки. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка [Електронний ресурс] :підручник для студ. кваліфікації 2146.2 – інженер – технолог (хімічнітехнології) та 2149.2 – інженер – дослідник (хімічні технології) спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова, Т.І. Мотронюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14,89 Мбайт). – Київ : КПІ ім. ІгоряСікорського, 2018. – 202 с

10. Підлісна О.А., Янковий В.В., Дорошенко М. П. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломних проектів для студ. хіміко-технологічних спец. усіх форм навчання. – Київ.: «Видавництво «Політехніка»», 2002. – 28 с.

11. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: У 2 кн. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготовки: «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 336 с.

12. Метод, вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах бакалаврів хіміко-технологічного факультету / Уклад.: Ю.О. Полукаров, Н.А. Праховнік, Л.О. Мітюк. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 31 с.

13. ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця.

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

15. ДСН 3.3.6.042 – 99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

16. .ДБНВ 2.5-28-06 "Природнє і штучне освітлення".

17. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

18. Метод, вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах бакалаврів / Уклад.: Н.А. Праховнік, Ю.О. Полукаров, Л.О. Мітюк - К.: НТУУ «КПІ», 2017. - 31 с

19. Конспект лекцій з курсу «Технології нанесення гальванічних покриттів», викладач Мотронюк Т. І.: Київ, 2023

20. Технологія нанесення гальванічних покриттів: метод. Вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни « Технологія нанесення гальванічних покриттів» для студентів спеціальності 7.05130103 «Технічна елеткрохімія» усіх форм навчання, Частина 2, Гальванічні сплави і функціональні покриття/Уклад. В.Ф. Панасенко, Л.А. Яцюк, Т.І. Моторнюк, О.В. Косогін, М.В. Бик, Ю.Ф. Фатєєв – К: НТУУ «КПІ», 2011. 76 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 Технологічна карта процесу

	Операція	Склад розчину і концентрація	Режим				
		Назва/хімічна формула	г/дм^3	Час обробки, хв.	t, ˚С	Густина струму, А/дм^2	pH
1	2	3	4	5	6	7	8
010	Отримання деталей						
020	Переміщення деталей на дільницю міднення						
030	Монтаж (на мідному проводі)						
040	Електрохімічне знежирення	Натрій їдкий NaOH Сода кальц. Na_2CO_3 Тринатрій фосфат $Na_3PO_4*12H_2O$ Скло натрієве рідке	10 - 20 20 - 30 30 - 50 3 - 5	15-20	70-90	2-10	
050	Промивання в теплій воді		До повного видалення лужного розчину		40-60 с		-
060	Промивання в ванні уловлювання			20-60 сек.	-	-	-
070	Травлення	Хлоридна кислота Інгібітор	200-250 3-5	20-40 хв	-	-	-
080	Промивання в ванні уловлювання			20-60 сек.	-	-	-
090	Активація хімічна	NaCN	30-50	30 сек.	20		

Продовження додатку А

1	2	3	4	5	6	7	8
100	Міднення електрохімічне у ціанідному електроліті	Ціанід міді I CuCN Ціанід натрію вільний NaCN Гідроксид натрі NaOH	30-20 5-10 5-10		15-30	0,3-0,5 (можна збільшити до 2 А/м^2)	10-12
110	Промивання в ванні уловлювання			20-60 сек.			
120	Промивання в гарячій воді			30 сек.			
130	Сушка			10-20	70-90		
140	Демонтаж						

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параме -тра	Середо-вище, місце відбору інфор-мації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічнахарактеристика	Тип,марка моде -лі	Код	Завод-виробник	ількість	Маса одинці,кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УСТАТКУВАННЯ ТАПРИЛАДИ										
1-1	Темпера тура	Розчин електроліту	65 °С	Місцевий	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 100П, Діапазон вимірювання: (-50)-60 °С, допустимий тиск – 0,4 МПа	ТСП-0987	-	ВО «Електротермія» м. Луцьк	1 од.	-
1 – 2	мператур а	Електроліти чна ванна	65 °С	Місцевий	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0…5 мА, 4…20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – *B, K, L, S,* опору – 50 П, 100 П, 50 М, 100 М.	ДИСК-250	-	«Хімавтоматика»м. Харків	1 од.	-
2 – 1	Рівень	Електроліт, електроліти чнаванна	0,5 м	Місцевий	Рівнемір буйковий з електричним вихіднимсигналом; 4…20 мА діапазон температур:(–200) ... +200 ºС діапазон вимірювання:від 0,02 до 1 м, клас точності 1	NMS83	-	Proverso, ЄС	1 од.	-

Продовження таблиці

2 – 2	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	0,5 м	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0…5 мА, 4…20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – *B, K, L, S,* опору – 50 П, 100 П, 50 М, 100 М.	ДИСК -250	-	ЗАО «ТЕРМОРЕКС» м. Харків	1 од.	-
2 – 3	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	0,5 м	Щит керування	Регулятор електронний, пропорційно- реєструвальний прилад, $I_{вх}$ = 0…5 мА	МІК-21	-	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	1 од	
2-4	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	0,5 м	Місцевий	Сідельний клапан Пневмопровід мембранний	В26-41	-	АТ«Хімавтоматика»м. Харків	1 од	
2-5	pH	Електроліт, електролітична ванна	10-11	Місцевий	Сідельний клапан Пневмопровід мембранний	В26-41	-	Т «Хімавтоматика»м. Харків	1 од.	
3-1	pH	Електроліт, електролітична ванна	10-11	Гальванічна ванна	Чутливий елемент pH-метра. Температура робочого середовища: 0…140 °С; границі вимірювання: 0…14; максимальний тиск 10 бар. Матеріал: 1.4435 (нержавіюча сталь).	Unifit CPA442	-	Endress + Hauser, м. Райнах, Швейцарія	2 од	
3-2	pH	Електроліт, електролітична ванна	10-11	Місцевий	Перетворювач високоомний; вхід Memosens; $I_{вих}$ = 0/4…20 мА; цифрова індикація результатів; до 4 лінійних виходів струму	Liquiline CM44	-	Endress + Hauser, м. Райнах, Швейцарія		

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3-3	pH	Електролі т, електролі тична ванна	10-11	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0…5 В, 0…10В, 0…5 мА, 4…20 мА, 0…20 мА; клас	Graph T-IRS30	-	ICS SCHNEIDER MESSTECHNIK GmbH, м. Бергфельде, Німеччина		
3-4	pH	Електролі т, електролі тична ванна	10-11	Щит керування	Регулятор електронний, пропорційно- реєструвальний прилад, $I_{вх}$= 0…5 мА	МІК-21	-	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ		
3-5	pH	Електролі т, електролі тична ванна	10-11	Місцевий	Сідельний клапан Пневмопровід мембранний	В26-41	-	Т «Хімавтоматика»м. Харків	1 од.	-
4-1	Сила струмута напруга	Електролі тична ванна	I = 192,28 A U =3,96 В	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, Imax = 400 A, Umax = 12 В	ТЕ1-400/12Т	-	ТОВ «Енерго Айсен» м. Черкаси	1 од.	-
4-2	Сила струмута напруга	Електролі тична ванна	I = 192,28 A U =3,96 В	Місцевий	Пульт дистанційного керування для випрямногоагрегату ТЕ1-400/12Т	ПДКТЕ	-	ТОВ «Енерго Айсен» м. Черкаси	1 од.	-

Продовження таблиці

ЕЛЕКТРОАПАРАТИ										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ремікон т Р-130	–	–	–	Щит керування	Пост управління кнопковий,кі-лькість елементівуправління – 2; номінальна напруга ізоляції (за змінного струму частотою 50/60 Гц)	ПКУ 15-21-131 У3	-	ЗАТ «Променергоав-томатика», м.	1 од.	-

ДОДАТОК В

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				Документація		
А4			ДП ХЕ0112.2705.000 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
А1			ДП ХЕ0112.2705.001 СК	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
		1	ХЕ0112.2705.001 – 01	Корпус	1	
		2	ХЕ0112.2705.001 – 02	Опора катодна	2	
		3	ХЕ0112.2705.001 – 03	Опора анодна	4	
		4	ХЕ0112.2705.001 – 04	Відсмоктувач бортовий	2	
		5	ХЕ0112.2705.001 – 05	Запірний кран	1	
				Деталі		
		6	ХЕ0112.2705.001 – 06	Анодні штанги	2	
				Стандартні вироби		
				Саморіз ISO 7050	32	

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ХЕ0112.2705.001 СК
Розроб.		Пеклуха А.А.			Ванна гальванічна з поліпропілену
Перев.		Бик М.В.			
Н.Контр.		Букет О.І.			
Утв.					

Літ.	Аркуш	Аркушів
		1

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, гр. ХЕ-01