

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім.ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Хіміко-технологічний факультет
Кафедра технології електрохімічних виробництв

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ О. В. Косогін

« ____ » _____ червня _____ 2024 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
зі спеціальності 161 Хімічна технологія та інженерія
на тему: «Гальванічні покриття в приладобудуванні. Технологія нанесення
нікелевого покриття на сталеві деталі»

Виконав:

студент IV курсу, групи ХЕ-02

Закревський Богдан Вадимович _____

Керівник:

доц., к.т.н., Мотронюк Т.І. _____

Консультант з автоматизації: ас. Тріщ В.Р. _____

Консультант з охорони праці: доц. к.т.н. Полукаров Ю.О. _____

Консультант з економічної частини:

ст.викл., к.екон.н. Покровська Н.М. _____

Рецензент: Доцент кафедри ТНР, В та ЗХТ _____

доц., к.т.н. Толстопалова Н.М.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авто-
рів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2024

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Хіміко-технологічний факультет
Кафедра технології електрохімічних виробництв

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 161 Хімічна технологія та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувач кафедри

_____ О.В. Косогін

« ____ » червень 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Закревського Богдана Вадимовича

1. Тема проєкту «*Гальванічні покриття в приладобудуванні. Технологія нанесення нікелевого покриття на сталеві деталі.*», керівник проєкту *Мотронюк Тетяна Іванівна, доцент, к.т.н.*, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2024р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 07 червня 2024року
3. Вихідні дані до проєкту Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. *Електроліт сульфатний. Продуктивність 15000м²/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 нікелювання сталевих деталей	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

Богдан ЗАКРЕВСЬКИЙ

Керівник

Тетяна МОТРОНЮК

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	1	
2	A4	ДП ХЕ0201.1405.000 ПЗ	Пояснювальна записка	83	
3	A1	ДП ХЕ0201.1405. 001	Креслення гальванічної ванни	1	
4	A1	ДП ХЕ0201.1405. 003	Схема технологічного процесу	1	
5	A1	ДП ХЕ0201.1405. 004	Схема автоматизації процесу	1	
6	A1	ДП ХЕ0201.1405. 005	Техніко-економічні показники гальванічного цеху	1	
7	A1	ДП ХЕ0201.1405. 006	Схема очистки стічних вод	1	

				ДП ХЕ0102.2705.000		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Закревський Б.В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Мотронюк Т.І.				1	1
Консульт.					КПім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-02	
Н/контр.						
В.о. зав. кафедри	Косогін О.В.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Гальванічні покриття в приладобудуванні. Технологія нанесення нікелевого покриття на сталеві деталі»

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в приладобудуванні. Технологія нанесення нікелевого покриття на сталеві деталі»

Закревський Б.В. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-02

Дипломний проєкт, 2024 рік, кількість сторінок –, таблиць –, рисунків –, джерел –.

У проєкті розроблено технологію блискучого нікелювання сталевих деталей. Осадження виконується в сульфатному електроліті за катодної густини струму 2 А/дм² і температури 50 – 60 °С.

У проєкті проведено конструктивні та технологічні розрахунки, розроблено схему автоматичного регулювання процесу блискучого нікелювання сталевих деталей. Також виконані техніко-економічні розрахунки, запропоновано схему очищення стічних вод реагентним методом, проаналізовані шкідливі та небезпечні виробничі фактори й запропоновано заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: нікель, нікелеве покриття, електроліт, сульфатний, реагентний метод, густина струму, ванна, гальванічне покриття.

					ДП ХЕ0201.2705.000 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Технологія нанесення нікелевого покриття на сталеві деталі	Лист.	Арк.	Арк.
Розроб.	Закревський							
Перев.	Мотронюк							
Н.конт.ак						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-02		
Затв.	Косогін							

ABSTRACT

"Galvanic coatings in instrument construction. Technology of applying nickel coating to steel parts"

Zakrevskyi B.V. – Kyiv: Igor Sikorsky KPI, CTF, HE-02

Diploma project, 2024, number of pages –, tables –, figures –, sources –.

The project develops a technology for bright nickel plating of steel parts. Deposition is carried out in a sulfate electrolyte at a cathodic current density of 2 A/dm² and a temperature of 50-60°C.

The project includes structural and technological calculations, the development of an automatic control scheme for the bright nickel plating process of steel parts. Additionally, technical and economic calculations were performed, a scheme for wastewater treatment using a reagent method was proposed, harmful and hazardous production factors were analyzed, and measures for occupational safety and health were suggested.

Keywords: nickel, nickel coating, electrolyte, sulfate, reagent method, current density, bath, galvanic coating.

					ДП ХЕ 0102.1450.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.1 Вибір деталі та покриття.....	11
1.2.Вибір технологічного процесу.....	12
1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу.....	12
1.2.2Підготовка поверхні виробів перед нікелюванням	13
1.2.3. Вибір складу електроліту	14
1.2.4. Види браку та неполадки.....	19
1.2.5. Види завершальних операцій.....	21
1.2.6. Контроль якості анодної плівки.....	21
1.2.6. Карта технологічного процесу.....	23
1.3.Вибір і розрахунки обладнання для нанесення гальванічних покриттів	25
1.3.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання цеху	25
1.3.2. Визначення виробничої програми обладнання.....	25
1.3.3. Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання	26
1.4. Розрахунки технологічних параметрів	29
1.4.1 Баланс струму на ванні	29
1.4.2. Баланс напруги на гальванічній ванні.....	31
1.4.3. Вибір джерела струму.....	33
1.4.4 Визначення джоулевої теплоти та складання балансу енергії	33
1.5. Тепловий розрахунок ванни.....	34
1.6 Розрахунок витрат хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми	35

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.6.1 Розрахунок витрат катодів	35
1.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів	37
1.6.3 Розрахунок витрат води.....	38
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО.....	41
ВИРОБНИЦТВА, ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	41
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	45
3.1 Технологічна підготовка виробництва.....	46
3.2 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва	54
3.3. Економічні показники.....	55
Індивідуальне завдання.....	59
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	63
РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ.....	73
Перелік посилань	77

ВСТУП

Нікель є металом сріблясто-білого кольору, який вирізняється своєю ковкістю та здатністю до полірування до високого блиску. Цей метал характеризується низьким коефіцієнтом теплового розширення та високими показниками твердості та зносостійкості, а також є магнітним матеріалом.

Нікелеві покриття, які застосовують для захисту та декоративного оздоблення металів, можуть мати товщину від 0,5 до 300 мкм, що обирається відповідно до умов експлуатації. Ці покриття також використовують як проміжний шар для підвищення зносостійкості поверхонь тертя.

Електродний потенціал нікелю становить -0,25В (н.в.е.). Електросадження нікелю із простих електролітів при кімнатній температурі характеризується високою катодною поляризацією, яка зменшується при підвищенні температури, проте це мало впливає на якість та структуру покриттів.

Метою даного проекту є розроблення технології нанесення блискучого нікелю на сталеві деталі з продуктивністю 15 000 м²/рік.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір деталі та покриття

Блискучі нікелеві покриття часто використовують у приладобудуванні та машинобудуванні як захисно-декоративні. Оскільки нікель є дорогим і дефіцитним матеріалом, він наноситься на підшар із міді, що допомагає зменшити вартість. Однак, при нанесенні блискучих нікелевих покриттів можуть виникати проблеми, такі як наводнення нікелю та сталі, включення великої кількості домішок у покриття, підвищення внутрішньої напруженості покриття, зниження його корозійної стійкості та розтріскування покриттів. Щоб зменшити утворення пітингу, використовують барботаж стисненим повітрям або хитання катодних штанг зі струшуванням 30-60 разів на хвилину [1].

Деталь представляє собою сталевий кронштейн, виготовлений зі сталі (рис 1.1). Кронштейн — це універсальний кріпильний елемент, який використовується в багатьох галузях, від будівництва до домашнього декору. Його основна функція полягає у створенні надійної підтримки для предметів, які важливо закріпити на вертикальній поверхні, таких як полиці, кондиціонери, телевізори, або світильники. Кронштейни можуть бути виготовлені з різних матеріалів — металу (зазвичай сталь або алюміній), дерева, або навіть високоміцного пластику, що визначає їхню здатність витримувати певне навантаження.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

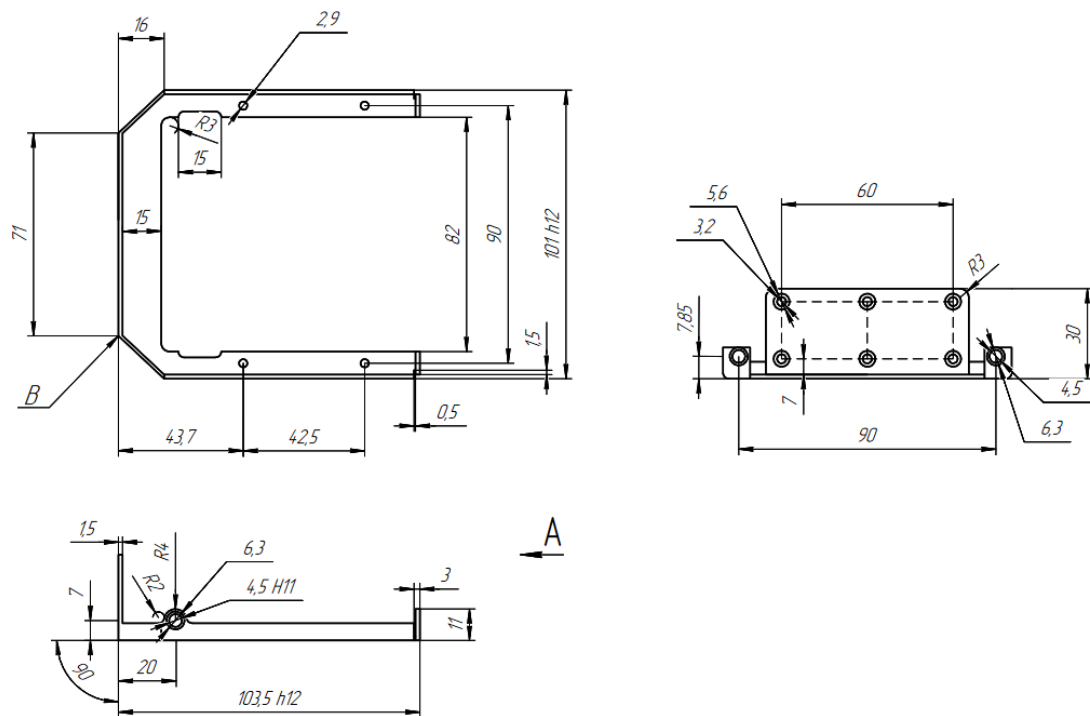


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі

Дизайн кронштейна може варіюватися від простих, функціональних форм до складних, декоративних варіантів, що вносять естетичний акцент у інтер'єр або екстер'єр. Установка кронштейнів зазвичай включає кріплення до стіни за допомогою шурупів, дюбелів або анкерних болтів, що забезпечує безпечне і міцне з'єднання.

Кронштейн буде взаємодіяти з навколишнім середовищем в температурному діапазоні $-10^{\circ}\text{C} \dots +45^{\circ}\text{C}$. Деталь буде використовуватись в неагресивному середовищі, тому було обрано нанести захисно-декоративне блискуче нікелеве покриття.

1.2. Вибір технологічного процесу

1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу

Технологія нанесення гальванічного покриття складається з послідовних етапів, що поділяються на такі категорії: підготовчі етапи, процес нанесення гальванічного покриття, завершальна обробка, контроль якості та перевірка товщини покриття. Ці кроки створюють структурований технологічний процес для забезпечення якісного результату [2].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.2.2 Підготовка поверхні виробів перед нікелюванням

Знежирення. Спочатку потрібно виконати знежирення за допомогою органічного розчинника (бензину, ацетону тощо) для видалення залишків мастила, герметика, клею та інших подібних матеріалів. Потім необхідно провести електрохімічне знежирення в лужних розчинах, які здатні омилювати й емульгувати жири та масла, після чого вони змиваються з поверхні деталі.

Склад розчину (г/л) [3]:

Карбонат натрію Na_2CO_3 – 20...30,

Фосфат натрію Na_3PO_4 – 30...50,

Гідроксид натрію NaOH – 10...20,

Силікат натрію Na_2SiO_3 – 3...5

Процес триває 3-5 хвилин за температурою $80 \pm 10^\circ\text{C}$, при густині струму 2-10 А/дм². Після цього здійснюється тепла промивка зі застосуванням непроточної води з водопровідної системи (60°C), а потім холодна промивка використанням проточної води з водопровідної системи тривалістю 0,25-0,5 хвилини для кожної. Ці операції промивки повторюють ще один раз відповідно.

Травлення. Після очищення від жирових забруднень наступним кроком є травлення поверхні деталі. Під час цього процесу видаляється тонкий шар металу (1-3 мкм), що дозволяє усунути деякі дефекти і завдяки HCl видалити оксиди з поверхні металу основи.

Склад розчину (г/л) [3]:

Хлоридна кислота HCl – 36,

Уротропін – 40...50.

Час травлення встановлюється в залежності від товщини шару окалини, температура травлення ($20 \pm 5^\circ\text{C}$). Промивають деталі холодною проточною водою.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.3. Вибір складу електроліту

При виборі складу електроліту необхідно звернути увагу на декілька ключових вимог, які важливі для якості покриття:

- Висока розсіювальна здатність, щоб забезпечити однорідний розподіл металу на поверхні;
- Можливість отримання пластичних покриттів;
- Низька агресивність, безпека використання та стабільність під час експлуатації;
- Висока продуктивність при одночасному збереженні економічної вигоди та доступності.

Існують два основних типи електролітів, які використовують для електрохімічного осадження міді: прості кислі електроліти, до яких відносяться сульфатні, борфтористоводневі та нітратні, а також комплексні лужні електроліти, серед яких найбільш розповсюджені ціаністи та пірофосфатні.

Ціанідні електроліти відрізняються високою розсіювальною здатністю, яка є характерною для комплексних лужних електролітів, але вони не відповідають критеріям екологічної безпеки, демонструють низьку продуктивність та мають обмежений вихід за струмом. У цих електролітах мідь присутня у формі комплексних іонів з дуже низьким ступенем дисоціації, що знижує активність іонів міді.

Серед різноманітних за складом електролітів для основного процесу гальванічного міднення було обрано наступний (г/л):

Мідь ціаніста $\text{Cu}(\text{CN})_2$ – 20...30,

Натрій ціаністий NaCN – 5...15,

Їдкий натр NaOH – 5...10.

$t, ^\circ\text{C}$ – 15...25;

$i_k, \text{A/дм}^2$ – 0,3...2;

Після нанесення шару міді осаджують шар нікелю.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У гальванотехніці для нікелювання зазвичай використовують прості електrolіти з рН менше 7, тобто кислі. На катоді нікель виділяється з високою перенапругою, що сприяє формуванню дрібнокристалічних осадів. Проте через низьку поляризованість при звичайних густинах струму, осади часто виявляються нерівномірними по товщині. Для покращення якості покриття у електроліті додають спеціальні добавки ПАР, які збільшують поляризованість, та солі для підвищення електропровідності [4].

Сульфаматні електроліти використовуються для отримання нікелевих покриттів при високих густинах струму. Вони дозволяють формувати осади, які характеризуються високою пластичністю та низьким рівнем внутрішніх напруг.

Приклад складу сульфаматного електроліту нікелювання (г/л) і режим роботи [3]:

$\text{Ni}(\text{H}_2\text{NSO}_3)_2$ 300—400

$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 12 –15

H_3BO_3 25 –40

Сахарин 0,5 –1,5

Лаурилсульфат натрію 0,2 –0,3

Режим осадження: $i_k = 5 \dots 12 \text{ А/дм}^2$;

$t = 20 \dots 55 \text{ }^\circ\text{C}$;

рН 3...4,2.

Основним компонентом сульфатних електролітів для нікелювання є $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Для збільшення електропровідності електроліту можна додати $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ або $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Додавання $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ також сприяє формуванню більш пластичних нікелевих покриттів.

Для забезпечення стабільності рівня рН у електроліті використовують H_3BO_3 або CH_3COONa . При проведенні процесу при нижчому рН застосовують буферні добавки, такі як фторовмісні сполуки (NaF , $\text{Ni}(\text{BF}_4)_2$) [3].

Щоб нікелеві аноди не пасивувались, використовують іони Cl^- , додаючи до електроліту NaCl , CaCl_2 або NiCl_2 [3].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення рівномірності товщини нікелевих осадів необхідно підвищити розсіювальну здатність електроліту. Цього можна досягти шляхом додавання ПАР (поверхнево-активних речовин) під час електролізу. Ці добавки допомагають краще розподілити нікель по поверхні, що сприяє більш рівномірному осадженню.

Для надання блиску нікелевим покриттям у електроліт також вводять ПАР, які функціонують як блискоутворюючі добавки. Ці добавки поділяються на дві категорії: сильні (такі як 1,4-бутиндіол та кумарин) та слабкі (наприклад, сахарин і хлорамін Б). Ці речовини впливають на його якісні характеристики, роблячи його більш гладким та блискучим [4].

Для основного процесу гальванічного блискучого нікелювання було обрано наступний (г/л):

Сульфат нікелю NiSO_4 – 220-230

Хлорид нікелю NiCl_2 – 35-85

Борна кислота H_3BO_3 – 30-50

Glanzzusatz Makrolux – 0,5

Glanzkorrekturlosung Ni konz – 3

Netzmittel Ni-A – 0,1

$t, ^\circ\text{C}$ – 50-60;

$i_k, \text{A}/\text{дм}^2$ – 1-6;

pH 4,4 – 4,8;

Під час нікелювання важливо дотримуватися оптимальної густини струму. Зниження густини струму призводить до зменшення швидкості осадження нікелю і збільшення часу технологічного процесу, при цьому якість покриття залишається незмінною. Збільшення густини струму може викликати досягнення граничного струму осадження, що призводить до утворення дендритів. Електролітні компоненти стабілізують розчин, запобігаючи його руйнуванню і змінам, підтримуючи стабільність хімічних характеристик, таких як концентрація і провідність.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Борна кислота в електролітах для сульфатного нікелювання слугує буферною сполукою, що підтримує стабільний рівень рН. Вона регулює рН не лише в загальному об'ємі електроліту, але й в прикатодному шарі, де під час електролізу відбувається підлучення. Борна кислота також важлива для керування процесом осадження нікелю та покращення якості покриття. Вона допомагає підтримувати необхідний рівень рН для ефективного осадження нікелю, забезпечуючи рівномірне і стійке осадження нікелевого шару та попереджаючи пасивацію анодів.

Нікель двохлористий шестиводний додають до електроліту, щоб запобігти пасивації анодів. Пасивація анодів – це процес утворення захисного пасивного шару на поверхні анода, який перешкоджає подальшому розчиненню металу. У розчинах сульфатів нікелеві аноди легко пасивуються, що призводить до різкого зниження анодного виходу нікелю за струмом та відповідно до зменшення концентрації іонів нікелю в електроліті і швидкого підкислення електроліту.

Добавка Glanzzusatz Makrolux використовується для вирівнювання рівня рН, покращення розсіювальної здатності та блиску.

Добавка Glanzkorrekturlosung Ni konz використовується для блиску осаджувального нікелю.

Добавка Netzmittel Ni-A використовується як змочувач для зменшення пітингу.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приготування й коригування сульфатного електроліту

1. Заповнюють 2/3 об'єму ванни для електrolізу пом'якшеною або демінералізованою водою, яку необхідно нагріти до температури 60°C.

2. При інтенсивному перемішуванні вводять борну кислоту, сульфат нікелю, нікель хлористий, Glanzzusatz Makrolux, Glanzkorrekturlosung Ni konz та Netzmittel Ni-A (у вказаній послідовності). Перемішування потрібно виконувати до повного розчинення всіх компонентів.

3. Доводять розчин до робочого об'єму та підкислюють його до pH 4,5...5 використовуючи чисту сульфатну кислоту.

4. Підвішують дві анодних штанги та одну катодну штангу з деталями, які попередньо пройшли всі підготовчі етапи.

Під час роботи з електролітом його склад неминуче змінюється, що впливає на якість осажденного покриття. Щоб запобігти погіршенню якості, необхідно стежити за складом електроліту та рівнем pH. Якщо відсутнє автоматичне обладнання для контролю та регулювання pH, перевіряють і коригують кислотність електроліту не рідше одного разу за зміну. Підкислення електроліту проводять сульфатною кислотою, розведеною у кілька разів водою (дотримуючись заходів безпеки).

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.4. Види браку та неполадки

Таблиця 1.1 – Загальні види дефектів, причини та способи їх усунення при гальванічному нікелюванні в сульфатному електроліті [5]

№	Дефекти	Причини	Способи усунення
1	2	3	4
1	Покриття не осаджується, на катоді спостерігається сильне газовиділення	Підвищена кислотність, низька температура електроліту	Виміряти та скоригувати рН електроліту, підвищити температуру електроліту вище 15°C
2	Низька швидкість осадження нікелю та нерівномірне виділення водню при нормальній катодній густині струму	Низька температура електроліту, мала площа анодів, слабка провідність електроліту, пасивація анодів	Підігріти електроліт, збільшити площу анодів, додати провідні солі, зачистити аноди металевою щіткою, встановити співвідношення між S_K і $S_A = 1:1$
3	Темний, плямистий осад при нормальній катодній густині струму	Ванна забруднена домішками міді, заліза, цинку, підвищене значення рН електроліту, низька електропровідність електроліту, нерівномірний розподіл бульбашкоутворювачів в об'ємі ванни	Провести селективне очищення електроліту, перевірити та скоригувати кислотність електроліту, довести до рецептурного значення концентрацію провідних солей, ретельно перемішати електроліт
4	Крихкий осад	Висока густина струму Низька концентрація борної кислоти Надлишок блискоутворювачів Високе значення рН Органічні забруднення	Підкислити електроліт Селективно очистити електроліт, обробити активованим вугіллям Підвищити рН, провести селективну очистку Встановити відповідно інструкції
5	Погане зчеплення покриття з основою, відшаровування нікелю	Погане знежирення і активація покриваємих виробів, забруднення електроліту неорганічними і органічними домішками, перерви електричного струму під час електролізу	Виправити або замінити ванни підготовки, провести селективне очищення ванни і обробку її активованим вугіллям і/або перманганатом калію, перевірити і ретельно очистити всі контакти

6	Пригорання при високих густинах струму	Досить висока густина струму Досить низька температура Низька концентрація електроліту Органічні забруднення	Перевірити і відкоригувати Встановити відповідно інструкції Відкоригувати після аналізу Обробити активованим вугіллям
---	--	---	--

Таблиця 1.2 – Загальні види дефектів, причини та способи їх усунення при гальванічному мідненні в ціанідному електроліті [5]

№	Дефекти	Причини	Способи усунення
1	2	3	4
1	Погана адгезія покриття до основи	Неправильна обробка поверхні перед нанесенням покриття, забруднення маслами промивних вод і ванн підготовки та покриття	Перевірити якість знежирення та активації, щоб забезпечити належну обробку поверхні, перевірити ванну на наявність масляних забруднень
2	Шорсткий осад міді	Забруднення електроліту механічними домішками, шлам на анодах	Відфільтрувати електроліт, очистити аноди
3	Великі кристалічні осади міді, кристалізація сульфату міді на анодах і дні ванни	Надмірна концентрація міді в електроліті	Зменшити концентрацію міді, розбавивши електроліт
4	Пухкий, пористий осад міді	Висока густина катодного струму, надлишок кислоти при низькій концентрації міді, невелика міжелектродна відстань	Знизити катодну густина струму або використовувати перемішуванням, відкоригувати електроліт з урахуванням результатів аналізу, збільшити відстань між анодом і деталями

1.2.5. Види завершальних операцій

Промивання у ванні уловлювання. По завершенню основного процесу блискучого нікелювання проводять холодну промивку у ванні уловлювання протягом 2 хв. Потім деталь промивають у проточній водопровідній воді до 1 хв.

Хромування. Для забезпечення високої якості покриття використовують гальванічне хромування. У комбінації мідь-нікель, нікель виконує роль анода, що робить його розчинним та вразливим до потьмяніння і руйнування у вологих умовах. З цієї причини на нікелевий шар наносять додатковий шар хрому.

Склад електроліту (г/л):

CrO_3 - 250...300

H_2SO_4 – 100...120

$t, ^\circ\text{C}$ – 55-65;

$i_k, \text{A/дм}^2$ – 45-60;

Промивання у ванні уловлювання. По завершенню процесу хромування проводять холодну промивку у ванні уловлювання протягом 2 хв. Потім деталь промивають у проточній водопровідній воді до 1 хв, та в гарячій воді до 1 хв.

Сушіння. При сушінні використовують гаряче повітря, яке має температуру 80...95 ° С і подається під напором у сушильну камеру. Висушують деталь протягом 3...15 хв до повного видалення вологи з поверхні.

По завершенню усіх операцій деталь демонтують з підвіски та проводять контроль якості отриманого покриття.

1.2.6. Контроль якості анодної плівки

Контроль зовнішнього вигляду покриття

Контроль зовнішнього вигляду є важливим, оскільки дефекти або нерівності на поверхні деталей можуть вплинути на їх функціональність, естетичний вигляд або взаємодію з іншими компонентами системи. Виконують контроль 100% деталей, перевіряючи стан поверхні при освітленні не менше 300 лк [6].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Огляд включає перевірку на наявність подряпин, плям, нерівностей, забруднень, непокритих або перекритих ділянок, зміну кольору та рівномірність покриття по всій поверхні деталі. Наявність непокритих місць не допускається, колір покриття повинен бути сріблястим.

Контроль товщини покриття

Перевірка товщини покриття проводиться методом краплі згідно з ДСТУ 9.101:2004. Відбираються три випадкові деталі з партії. На поверхню покриття з крапельниці наносять одну краплю розчину, що складається з хлорного заліза (300 г/л) та сульфату міді (100 г/л). Краплю витирають фільтрувальним папером і повторюють дію до повного розчинення покриття. Закінчення вимірювання визначається появою рожевої плями. При температурі 18-30°C одна крапля розчиняє 0,6 мкм нікелю за 30 секунд [6].

Контроль міцності зчеплення

Перевірка адгезії покриття здійснюється шляхом нанесення сітки подряпин. Відбирається 0,1-1% виробів з кожної партії, але не менше трьох зразків. На поверхню деталі наноситься щонайменше три паралельні подряпини стальним інструментом на глибину 2-3 мм, аж до основного металу. Відшарування покриття на перевірених ділянках не допускається. Покриття повинно відповідати стандарту ДСТУ 9.101:2004.

Нікелеве покриття повинно бути перевірено за зовнішнім виглядом, надійністю зчеплення з основним металом і товщиною шару покриття, відповідно до ГОСТ 9.301-86 та ГОСТ 9.302-88 [6].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.6. Карта технологічного процесу

Таблиця 1.3 – Карта технологічного процесу

№	Операція	Склад розчину і концентрація		Технологічний режим			
		Найменування та хімічна формула компонентів	г/дм ³	τ, хв	t, °C	i _к , А/дм ²	pH
1	2	3	4	5	6	7	8
010	Завантаження на підвіску	-	-	-	-	-	-
020	Знежирення	Гідроксид натрію NaOH Карбонат натрію Na ₂ CO ₃ Фосфат натрію Na ₃ PO ₄ Силікат натрію Na ₂ SiO ₃	10...20 20...30 30...50 3...5	3...5	70...90	-	-
030	Промивка тепла	Непроточна водопровідна вода	-	0,5...1	50...60	-	-
040	Промивка холодна	Проточна водопровідна вода	-	0,5...1	10...25	-	-
050	Травлення	HCl Уротропін	36 40...50	2	15...25	-	-
060	Промивка холодна	Проточна водопровідна вода	-	0,5...1	10...25	-	-
070	Міднення	Cu(CN) ₂ NaCN NaOH	20...30 5...15 5...10	15	15...25	0,3...1	-
080	Промивання у ванні вловлювання	Вода	-	0,5...1	15...25	-	-
090	Промивка холодна	Проточна водопровідна вода	-	0,5...1	10...25	-	-

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8
100	Промивка тепла	Непроточна водопровідна вода	-	0,5...1	50...60	-	-
	Нікелювання	NiSO ₄ NiCl ₂ H ₃ BO ₃ Glanzzusatz nak- robux Glanzkorrektur- losung Nikonz Netzmittel Ni-A	220...230 35...85 30-50 0,5 мл/л 3 мл/л 0,1 мл/л	30	50-60	1-6	-
120	Промивання у ванні вловлю- вання	Вода	-	0,5...1	15...25	-	-
130	Промивка холодна	Проточна водопровідна вода	-	0,5...1	15...25	-	-
140	Промивка гаряча	Непроточна водопровідна вода	-	0,5...1	60...80	-	-
150	Хромування	CrO ₃ H ₂ SO ₄	200...250 100-120	1	55-65	45-60	-
160	Промивання у ванні вловлю- вання	Вода	-	0,5...1	15...25	-	-
170	Промивка холодна	Проточна водопровідна вода	-	0,5...1	15...25	-	-
180	Промивка гаряча	Непроточна водопровідна вода	-	0,5...1	60...80	-	-
190	Сушка	Сушильна шафа	-	3...15	80...90	-	-
200	Демонтаж де- талі з підвіски	-	-	-	-	-	-
210	Контроль	-	-	-	-	-	-

1.3. Вибір і розрахунки обладнання для нанесення гальванічних покриттів

1.3.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання цеху

Річний фонд часу роботи обладнання визначається відповідно до режиму роботи підприємства та специфіки технологічного обладнання. Існують номінальний (T_n) та дійсний (T_d) річні фонди часу. Розрахунок номінального річного фонду часу роботи обладнання базується на кількості календарних днів у році ($T_k = 365$), вихідних ($T_v = 104$) та п'ятиденному двозмінному робочому тижні тривалістю 40 годин [7].

$$T_n = \left((T_k - T_v) \cdot \frac{t_{\text{тиж}}}{t_{\text{рб дн}}} \right) \cdot n_{\text{змін}} = \left((365 - 104) \cdot \frac{40}{5} \right) \cdot 2 = 4176 \text{ год}$$

Розрахунок дійсного робочого фонду часу обладнання здійснюється з урахуванням загальних річних витрат часу на простої обладнання $K_{\text{пр}}$ від номінального річного фонду часу. Для обладнання, що працює в одну зміну, $K_{\text{пр}} = 3\%$ [7].

$$T_d = T_n - K_{\text{пр}} \cdot T_n = 4176 - 0,03 \cdot 4176 = 4050 \text{ год}$$

1.3.2. Визначення виробничої програми обладнання

Щоб визначити річну виробничу програму обладнання, необхідно збільшити виробничу програму, зазначену в завданні, на величину виправного браку деталей $K_{\text{бр}}$. Вважається, що $K_{\text{бр}} = 2\%$. Таким чином, річна виробнича програма обладнання в м^2 метрах дорівнює:

$$P_p = P_z + K_{\text{бр}} \cdot P_z = 15000 \text{ м}^2 + 0,02 \cdot 15000 \text{ м}^2 = 15300 \text{ м}^2$$

Враховуючи кількість робочих днів у році, можна розрахувати добову виробничу програму:

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_p}{T_{\text{доб}}} = \frac{15300}{262} = 58,4 \frac{\text{м}^2}{\text{день}}$$

А також розрахувати годинну виробничу програму, враховуючи дійсний робочий фонд часу:

$$P_{\text{год}} = \frac{P_p}{T_d} = \frac{15300}{4050} = 3,78 \frac{\text{м}^2}{\text{год}}$$

1.3.3. Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

Тривалість процесу електрохімічного осадження покриття розраховується за формулою:

$$\tau_T = \frac{\delta_p * d_M * 60 * 10^{-2}}{B_c * k_e * i_k} = \frac{12 * 8,9 * 60 * 10^{-2}}{0,98 * 1,095 * 2} \approx 29,86 = 30 \text{ хв}$$

де δ_p – товщина покриття, мкм;

d_M – густина металу покриття, г/см³;

B_c – катодний вихід за струмом;

k_e – електрохімічний еквівалент, г/А·год;

i_k – катодна середня густина струму, А/дм² [7].

Час, необхідний для технічного обслуговування, включаючи завантаження та вивантаження підвіски з деталями, в середньому становить 3 хвилини. Тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці для нікелю:

$$\tau = \tau_T + \tau_{\text{об}} = 30 + 3 = 33 \text{ хв}$$

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаючи тривалість обробки одного завантаження ванни (τ) та дійсний річний фонд часу роботи обладнання (T_d), розраховуємо кількість оброблюваних завантажень (n). Витрати часу на запуск обладнання, вивантаження деталей і допоміжні операції враховуються коефіцієнтом ($K_{об}$), який для двозмінного режиму становить 1,05 [7].

$$\sum n = \frac{T_d * 60}{\tau * K_{об}} = \frac{4050 * 60}{33 * 1,05} \approx 7012,987 = 7013$$

Отже, одноразове завантаження усіх ванн нікелювання становить:

$$y_c = \frac{P_p}{\sum n} = \frac{15300}{7013} = 2,2 \text{ м}^2$$

Вибираємо відповідні для нашого процесу внутрішні розміри ванни: (1250×630×1250) мм. Звідси, враховуючи габаритні розміри ванн, визначають довжину та висоту підвісного пристрою відповідно:

$$l_{\Pi} = l - 2l_1 = 1,25 - 2 \cdot 0,1 = 1,05 \text{ м}$$

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

$$h_{\Pi} = h - h_1 - h_2 - h_3 = 1,25 - 0,2 - 0,05 - 0,15 = 0,85 \text{ м}$$

де h – внутрішня висота ванни, м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски, м; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту, м; h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни, м [7].

Розрахуємо кількість деталей, які можна розмістити в довжину та висоту. Габарити деталі 101×103,5 мм. Для уникнення взаємного екранування між деталями необхідно залишити зазори 20 мм. Визначимо кількість деталей N_d , які кріпляться на одну підвіску [7].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В висоту:

$$850 = n(103,5 + 20) + 20$$

$$n = 6,7 \approx 7$$

В довжину:

$$1050 = n(101 + 20) + 20$$

$$n = 8,5 \approx 9$$

Загальна кількість деталей:

$$7 \cdot 9 = 63$$

$S_d = 0,011 \text{ м}^2$ – площа поверхні однієї деталі що покривається.

На основі цих даних визначаємо сумарну площу поверхні S_n , які завантажуються на одну підвіску.

$$S_n = S_d \cdot n_d = 0,011 \cdot 63 = 0,693 \text{ м}^2$$

де S_d – поверхня однієї деталі;

n_d – кількість деталей на одній підвісці.

Розрахуємо одноразове завантаження у ванну S_{oz} :

$$S_{oz} = S_n \cdot N_d = 0,693 \cdot 1 = 0,693 \text{ м}^2$$

де N_d – кількість підвісок, які одночасно завантажують у ванну.

Для однопозиційних ванн відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями l_{a-k} зазвичай становить 0,15...0,25 м і обчислюється наступним чином:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_{\Pi} - 2B_a - 2B_1}{2} = \frac{0,63 - 0,03 - 2 \cdot 0,03 - 2 \cdot 0,1}{2} = 0,17$$

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дане значення має входити в межі нормованих значень 0,10...0,25 м, задля отримання рівномірного якісно покриття [7].

Розрахунок кількості ванн:

$$\sum n_B = \frac{y_c}{S_{oz}} = \frac{2,2}{0,693} \approx 3,18 = 4 \text{ шт}$$

Річна продуктивність обладнання становить:

$$P'_p = \sum n_B * S_{oz} * \frac{T_d * 60}{\tau * K_{об}} = 4 * 0,693 \frac{4050 * 60}{33 * 1,05} = 19440$$

Коефіцієнт завантаження:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P'_p} = \frac{15300}{19440} = 0,79$$

1.4. Розрахунки технологічних параметрів

1.4.1 Баланс струму на ванні

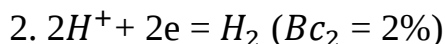
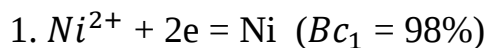
Сила струму однопозиційної ванни визначається добутком технологічної густини струму на катоді та площі поверхні одного завантаження у ванну. Для вибору джерела живлення постійним струмом у ванні, розрахунок сили струму I , А в однопозиційній ванні проводиться як добуток технологічної густини струму на катоді i_k , що становить 200 А/м², і площі деталей одноразового завантаження S_{oz} , яка дорівнює 0,693 м² [7].

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{oz} = 1,1 \cdot 200 \cdot 0,693 = 152,5 \text{ А}$$

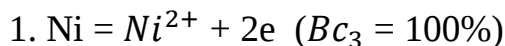
де коефіцієнт K враховує втрати електроенергії на контактах підвісного пристрою під час осадження металу, і вибирається в межах ($K = 1,03...1,15$). де K – коефіцієнт, що враховує витрати електрики на осадження металу на контактах підвіски [7].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на катоді:



на аноді:



Розраховуємо силу струму для кожної реакції:

$$I_1^{\text{кат}} = \frac{I * Bc_1}{100} = \frac{152,5 * 98}{100} = 149,45$$

$$I_2^{\text{кат}} = \frac{I * Bc_2}{100} = \frac{152,5 * 2}{100} = 3,05$$

$$I_3^{\text{анод}} = \frac{I * Bc_3}{100} = \frac{152,5 * 100}{100} = 152,5$$

Отримані результати зводимо в таблицю

Таблиця 1.4 - Баланс електрики на ванні нікелювання за 1 годину роботи

Надходження	Q, А·год	%	Витрати	Q, А·год	%
На катоді:					
Від зовніш- нього джерела струму	152,5	100	Виділення нікелю	149,45	98
			Виділення водню	3,05	2
Разом	152,5	100	Разом	152,5	100
На аноді:					
Від зовніш- нього джерела струму	152,5	100	Розчинення ні- келю	152,5	100
Разом	152,5	100	Разом	152,5	100

1.4.2. Баланс напруги на гальванічній ванні

Напруга на ванні визначається як сума різниці електродних потенціалів анода і катода під струмом ($E_a - E_k$), падіння напруги в електроліті (ΔU_{OM}), падіння напруги у провідниках першого роду, та падіння напруги на контактах (ΔU_k), де всі ці складові включають омичне падіння напруги в електроліті, у провідниках першого роду (електродах, струмопідводах у ванні, штангах) і в контактах [7].

$$U_B = iE_a - iE_k + \Delta U_{OM \text{ Ел-т}} + \Delta U_{OM \text{ Ір}} + \Delta U_{OM \text{ К}} = \Delta E_i + \Sigma \Delta U_{OM}$$

Різниця потенціалів:

$$\Delta E = E_a - E_k = 0,3 - (-0,73) = 1,03 \text{ В}$$

Середня густина струму:

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{200 \cdot 100} = 141,4 \text{ А/м}^2$$

Омичний спад напруги в електроліті розраховуємо за формулою:

$$\Delta U_{OM} = K \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e = 1,1 \cdot 141,4 \cdot 0,17 \cdot 0,025 = 0,7 \text{ В}$$

де i_{cp} – середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м²; l_{a-k} – відстань між анодом та підвіскою з деталями; ρ_e – питомий електричний опір електроліту, Ом·м [7].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з цих даних розраховуємо напругу на ванні:

$$U = \frac{(E_a - E_k + \Delta U_{\text{ом}})}{0,9} = \frac{(0,3 - (-0,73) + 0,7)}{0,9} = 1,92 \text{ В}$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Delta U_l + \Delta U_k = 0,1 \cdot U = 1,92 \cdot 0,1 = 0,192 \text{ В}$$

Мінімальна напруга джерела струму становить:

$$U_{\text{дс}} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 1,92 = 2,11$$

Складаємо баланс напруги:

Таблиця 1.5 – Баланс напруги на ванні нікелювання

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ванні	1,92	100	Різниця потенціалів під струмом, $iE_a - iE_k$	1,03	53,65
			Падіння напруги в електроліті, $\Delta U_{\text{ом.ел-т}}$	0,7	36,45
			Падіння напруги в провідниках першого	0,192	10
			роду і контактах, $\sum \Delta U_{\text{ом}}$		
Разом	1,92	100	Разом	1,92	100

1.4.3. Вибір джерела струму

Обираючи джерело струму, будемо керуватись напругою на ванні та силою струму. Сила струму $I = 152,5$ А, а напруга $U = 1,92$ В, звідси обираємо джерело постійного струму ТЕІ - 400/12Т. Випрямні агрегати серії Т мають високу точність стабілізації параметрів і оснащені згладжувальним реактором, а також можуть керуватися дистанційно. Літера «Т» вказує на тип випрямляча (тиристорний), «Е» - примусове повітряне охолодження [7].

Коефіцієнт завантаження для випрямного агрегату:

$$K = \frac{N_{\text{дс}}}{N_{\text{пасп}}} = \frac{U \cdot I \cdot 10^{-3}}{U_{\text{пасп}} \cdot I_{\text{пасп}} \cdot 10^{-3}} = \frac{1,92 \cdot 152,5 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = 0,061$$

1.4.4 Визначення джоулевої теплоти та складання балансу енергії

Електрична енергія, що подається до електролізера, перетворюється на хімічну та теплову енергію, і дорівнює сумі цих компонентів:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{хім}} + W_{\text{дж}}$$

Енергія $W_{\text{хім}}$ відображає зміни матеріального стану, що виникають внаслідок електрохімічних реакцій в електролізері, тоді як енергія $W_{\text{дж}}$ витрачається на нагрівання електроліту і повинна враховуватися при складанні теплового балансу. Зазвичай баланс енергії складають на одну астрономічну годину роботи ванни [7]. Електрична енергія, яка витрачається на перебіг процесу в одній ванні, визначається за формулою:

$$W_{\text{заг}} = 1,92 \cdot 152,5 \cdot \frac{54,5}{60} \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 957,5 \text{ кДж/год}$$

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так, як в процесі використовується розчинний анод, то з електричної енергії $W_{\text{заг}}$, буде утворюватися теплова енергія $W_{\text{дж}}$. Їхні значення будуть наближеними:

$$W_{\text{заг}} \approx W_{\text{дж}}$$

Дані заносимо до таблиці 1.5

Таблиця 1.6 – Баланс енергії

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	957,5	100	Джоулева енергія Хімічна енергія	957,5 0	100 0
Разом	957,5	100	Разом	957,5	100

1.5. Тепловий розрахунок ванни

Під час електроосадження металевих покриттів виділяється значна кількість джоулевої теплоти, що може призвести до перегріву електроліту понад допустиму температуру. Метою розрахунку є визначення максимальної температури, до якої може нагрітися ванна за одну годину роботи. При цьому передбачається, що вся джоулева теплота витрачається лише на нагрівання ванни і не втрачається в навколишнє середовище [7]. Максимально можливу температуру нагріву ванни T_k , К, визначають за формулою:

$$T_k = 293 + \frac{W_{\text{дж}}}{v_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3}$$

де V_1 – об'єм електроліту, 0,78 дм³; C_1 – питома масова теплоємність електроліту, 3060 Дж/(кг·К); d_1 – густина електроліту, 1,17 кг/дм³; C_2 – теплоємність

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу стінок ванни, для поліпропілену – 1930 Дж/(кг·К); m_2 - маса ванни, 192,06 кг; C_3 – теплоємність матеріалу аноду; m_3 - маса анодів у ванні [7].

Об'єм електроліту:

$$V_e = K_{\text{зап}} * V_B = 0,79 * 0,98 = 0,78 \text{ дм}^3$$

$$T_k = 293 + \frac{957,5}{0,78 \cdot 3060 \cdot 1,17 + 1930 \cdot 192,06 + 0,443 \cdot 123} = 293,003 \text{ K}$$

Перерахунок на градуси Цельсія:

$$T_K = 293,003 - 273 = 20,003 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

1.6 Розрахунок витрат хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми

1.6.1 Розрахунок витрат катодів

Розрахунок витрат катодів на початковий запуск обладнання

Таким чином, кількість розчинних анодів, необхідних для запуску обладнання, становить:

$$G_{a3} = K_1 * K_2 * n_{\text{аш}} * I_B * h_B * \delta_a * d_a * n_B$$

$$G_{a3} = 0,6 * 0,8 * 2 * 1,2 * 1,2 * 8900 * 0,01 * 4 = 492,13 \text{ кг}$$

де $K_1 = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни; $K_2 = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує співвідношення анодів та висоти ванни; $n_{\text{аш}}$ – кількість анодних штанг у ванні; h_B - внутрішня

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висота ванни; l_v – внутрішня довжина ванни, м; δ_a – товщина анодів; d_a – густина матеріалу анодів, кг/м³; n_v – кількість ванн даного типу [7].

Витрати розчинних анодів на виконання річної виробничої програми

Річні витрати анодів G_{ap} , кг визначаються за формулою:

$$G_{ap} = S \cdot A_p \cdot \delta_{\pi}$$

де $S = 8900 \text{ м}^2$ – площа нанесеного покриття при виконанні річної програми;

$\delta_{\pi} = 12 \text{ мкм}$ – товщина покриття;

A_p – норма витрат розчинних анодів для нанесення покриття, яка розраховується за формулою:

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

$$A_p = 8900 \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6} = 9,434 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2$$

де d_m – густина металу покриття, кг/м³;

Таким чином, витрати розчинних нікелевих анодів у ванні для нікелювання:

$$G_{ap} = 15300 \cdot 9,434 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 1732,1$$

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів

Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати кожного компонента електроліту G_i (кг):

$$G_i = C_i \cdot V_B \cdot n_B \cdot K_{\text{зап}}$$

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

V_B – робочий об'єм ванни;

n_B – кількість ванн;

$K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни [7].

Витрати кожного компонента електроліту складають:

$$G_{\text{NiSO}_4} = 230 \cdot 0,98 \cdot 4 \cdot 0,79 = 712,264 \text{ кг}$$

$$G_{\text{NiCl}_2} = 50 \cdot 0,98 \cdot 4 \cdot 0,79 = 154,84 \text{ кг}$$

$$G_{\text{H}_3\text{BO}_3} = 40 \cdot 0,98 \cdot 4 \cdot 0,79 = 123,872 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Glanzzusat Markrolux}} = 0,5 \cdot 0,98 \cdot 4 \cdot 0,79 = 1,548 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Glanzkorrekturlosung Ni konz}} = 3 \cdot 0,98 \cdot 4 \cdot 0,79 = 9,29 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Netzmittel Ni-A}} = 0,1 \cdot 0,98 \cdot 4 \cdot 0,79 = 0,31 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми

Таким чином, загальний об'єм електроліту, що виноситься з ванни протягом виконання річної виробничої програми, становить:

$$V_{\text{вт}} = K \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 15300 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1,76 \text{ м}^3$$

Де $K = 1,15$ – коефіцієнт, що враховує частини зануреної підвіски;

S – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік м²;

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$A_e = 0,0001 \text{ м}^3/\text{м}^2$ – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями, довідкове значення [7].

Отже, витрати кожного компонента електроліту для блискучого нікелювання становлять:

$$G_{NiSO_4} = 230 * 1,76 = 404,8 \text{ кг}$$

$$G_{NiCl_2} = 50 * 1,76 = 88 \text{ кг}$$

$$G_{H_3BO_3} = 40 * 1,76 = 70,4 \text{ кг}$$

$$G_{Glanzzusat Markrolux} = 0,5 * 1,76 = 0,88 \text{ кг}$$

$$G_{Glanzkorrekturlosung Ni konz} = 3 * 1,76 = 5,28 \text{ кг}$$

$$G_{Netzmittel Ni-A} = 0,1 * 1,76 = 0,176 \text{ кг}$$

1.6.3 Розрахунок витрат води

Витрати води на приготування електролітів і розчинів G'_{H_2O} обчислюємо за формулою:

$$C'_{H_2O} = C_{H_2O} \cdot V_{\text{заг}}$$

де C_{H_2O} – вміст води в 1 м³ розчину електроліту, кг/м³;

$V_{\text{заг}}$ – сумарні витрати розчину електроліту за рік виробництва, м³ [7].

Розрахуємо значення C_{H_2O} за формулою:

$$\begin{aligned} C_{H_2O} &= d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n) = 1170 - (230 + 50 + 40 + 0,5 + 3 + 0,1) \\ &= 846,4 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

де $d_{\text{ел}}$ – густина електроліту або розчину, кг/м³; $C_1, C_2, \dots, C_n$ – вміст компонентів в електроліті або в розчині, кг/м³.

Загальні витрати електроліту або розчину визначають за формулою:

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в}} \cdot n_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot V_{\text{вт}} = 0,98 \cdot 4 \cdot 0,79 + 1,76 = 4,86 \text{ м}^3$$

де $V_{\text{в}}$ – об’єм ванни, м^3 ; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни; $V_{\text{вт}}$ – об’єм електроліту або розчину, витраченого для виконання річної виробничої програми [7].

Отже, витрати води на приготування блискучого електроліту нікелювання складають:

$$C'_{H_2O} = 846,4 \cdot 4,86 = 4113,5 \text{ кг}$$

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту

Витрати води розраховуємо за формулою:

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot k_{\text{в}} \cdot S_{\text{е}} \cdot (P_{H_2O} - P_{\text{п}}) \cdot T_{\text{д}} \cdot n_{\text{в}}}{P_{\text{б}}}$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорційності, $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ год}$; $K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості руху повітря над дзеркалом електроліту (для спокійного повітря $K_{\text{в}} = 0,56$; для повільного руху повітря $K_{\text{в}} = 0,71$; для швидкого руху повітря $K_{\text{в}} = 0,86$); $S_{\text{е}}$ – поверхня дзеркала електроліту, м^2 ; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн даного типу; $P_{\text{п}}$ – парціальний тиск водяної пари за температури та вологості навколишнього середовища, Па. [7].

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot 0,69 \cdot 0,71 \cdot (2333 - 1633,16) \cdot 4050 \cdot 4}{101325} = 2500 \text{ кг}$$

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величину $P_{\text{п}}$ обчислюємо за формулою:

$$P_{\text{п}} = P_s \cdot \frac{\delta}{100} = \frac{2333 \cdot 70}{100} = 1633,16 \text{ Па}$$

де P_s – тиск насиченої водяної пари при температурі повітря навколишнього середовища, Па; ϕ – вологість повітря в умовах цеху, % [7].

Витрати води на промивні операції

В цьому проєкті застосовується каскадна промивка деталей, тому витрати розраховуються таким чином:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot \sqrt{K} = 0,12 \cdot 3,78 \cdot \sqrt{4600} = 30,77$$

де A_e – норма виносу речовини із ванни поверхнею деталі; P_r – годинна виробнича програма; K – критерій остаточної промивки деталі, що розраховується за формулою[7]:

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{230}{0,02} \cdot 0,4 = 4600$$

де C_0 – концентрація NiSO_4 у ванні, що є основним компонентом; C_k – гранично допустима концентрація NiSO_4 у ванні. Оскільки в проєкті передбачена ванна уловлювання вводимо значення 0,4.

Загальні витрати води на промивку розраховуються за формулою:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot K \cdot T_d = 30,77 \cdot 1,5 \cdot 4050 = 186,93 \text{ м}^3$$

Де $K=1,5$ – коефіцієнт враховує можливе падіння тиску води у водопровідній мережі [3].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Очистка стічних вод відбувається у два ключові етапи:

1. Первинна очистка відбувається з метою видалення гетерогенних забруднювачів;
 2. Вторинна очистка призначена для усунення гомогенних забруднень.
- Існує чотири основні методи очищення стічних вод:

- Механічний;
- Реагентний метод;
- Фізико-хімічний;
- Біологічний.

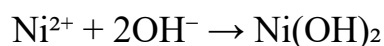
Вимоги до процесів очищення включають:

- Відповідність рівням ГДК та відсутність додаткового забруднення;
- Низький вміст солей у очищеній воді, можливість її повторного використання;
- Мінімізація кількості та об'єму відходів, хімічна стабільність відходів;
- Висока ефективність очистки;
- Низька собівартість очистки, включаючи економію на реагентах, електроенергії та використання доступних матеріалів;
- Компактність та малогабаритність очисних споруд;
- Можливість утилізації хімічних відходів, таких як кислоти, луги, метали, з мінімальними втратами цінних компонентів.

Для очистки стічних вод було вибрано реагентний метод. Цей метод базується на використанні хімічних реагентів, які додають у забруднену воду для взаємодії з шкідливими домішками. Ці реакції мають призводити до утворення безпечних для довкілля речовин або до осідання шкідливих компонентів у формі осаду [9].

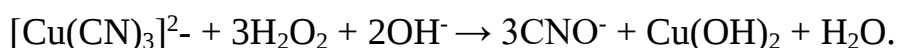
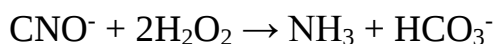
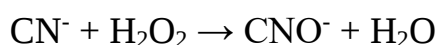
					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після процедури нікелювання і активації вода направляється до реактора, який містить гідроксид кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). В цьому реакторі при рівні $\text{pH} = 9-10$ відбувається формування гідроксиду нікелю за реакцією:



Потім гідроксиди потрапляють в усереднювач, де стічні води проходять фільтрацію. Якщо концентрації забруднювачів досягають допустимих рівнів ГДК (для нікелю – 0,1 мг/л), води направляються до каналізації [9].

Для очищення стічних вод від ціанідів, що утворюються після процесів міднення і мають ГДК не вище 0,035 мг/л, використовується метод окислення. Високотоксичні ціаніди перетворюються на нетоксичні сполуки в лужному середовищі, спочатку до ціанатів, а потім через гідроліз — до карбонатів та амонію. В якості окислювачів можуть бути використані різні речовини, такі як хлорне вапно, гіпохлорит кальцію, гіпохлорит натрію, рідкий хлор, озон, перманганат калію чи пероксид водню [9]. Зокрема, для цього процесу вибрано пероксид водню. Окиснення ціанідів за допомогою пероксиду водню відбувається за наступними хімічними реакціями:



Рівень pH коливається від 10 до 11. Час, необхідний для осадження становить 30 хвилин для простих ціанідів, проте цей процес значно швидший при наявності сполук міді [9].

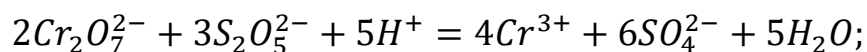
Для нейтралізації кислотних і лужних відходів використовується CaO та H_2SO_4 .

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

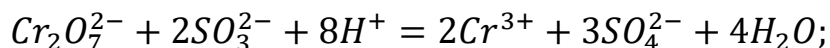
У цьому методі токсичні йони Cr^{6+} переводяться у менш токсичні Cr^{3+} за допомогою окисно-відновних реакцій [9].

Для відновлення використовують солі сульфітної кислоти, такі як:

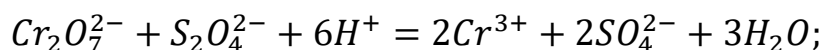
- натрій піросульфит (2,88 мг/1 мг Cr^{6+}):



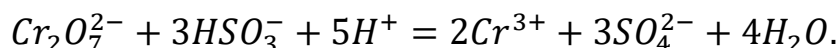
- натрій сульфит (3,63 мг/1 мг Cr^{6+}):



- натрій дитіоніт (1,67 мг/1 мг Cr^{6+}):



- натрій бісульфіт (3 мг/1 мг Cr^{6+}):



Зазначені солі додаються у вигляді 10% розчинів до стічних вод. Швидкість відновлення та кількість відновника залежать від початкової концентрації Cr^{6+} і рівня рН. Для ефективного осадження стічні води підкислюють 15% розчином сульфатної кислоти до рН = 2...2,5, що сприяє максимальній швидкості осадження [9].

На рисунку 2.1 представлена схема очищення стічних вод.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

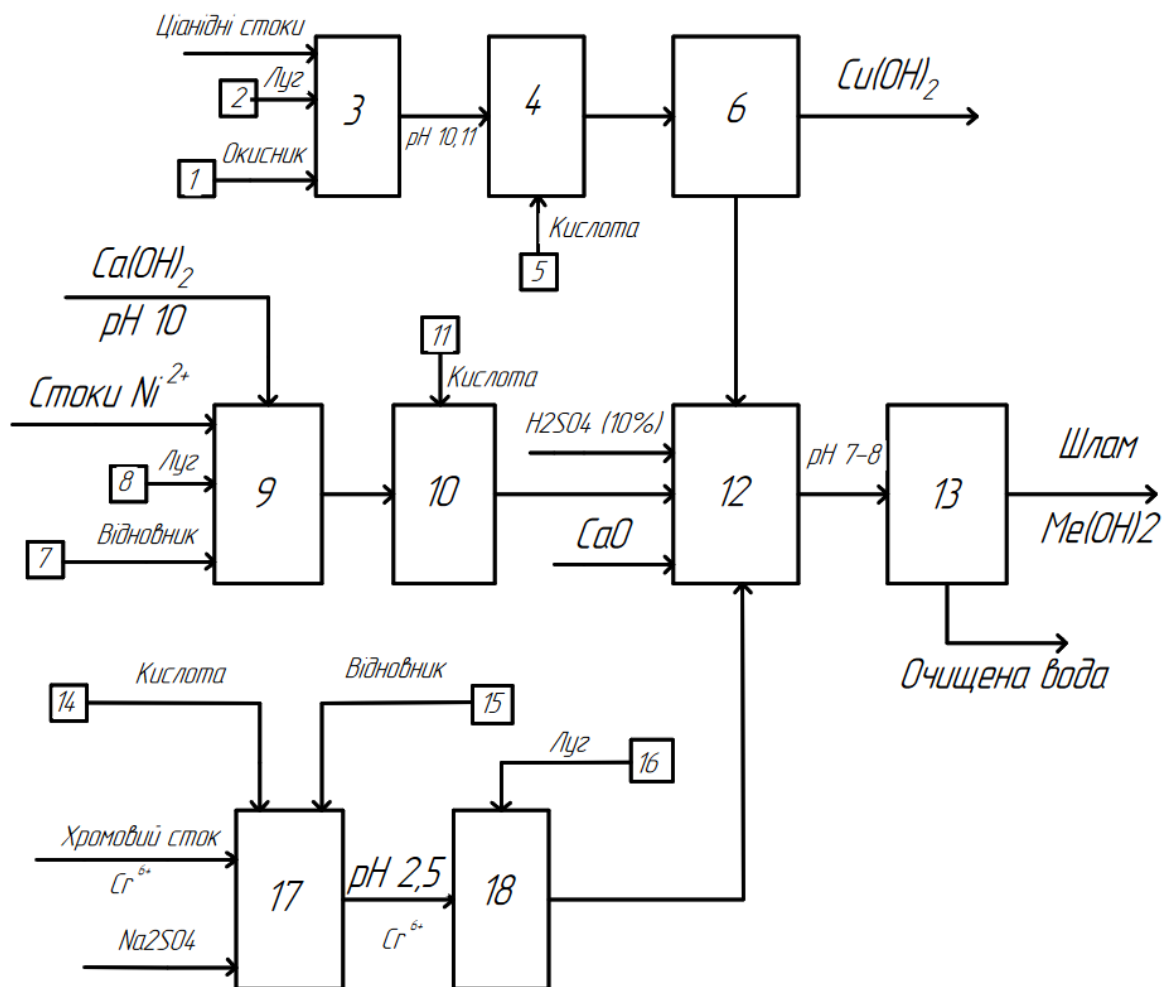


Рис 2.1 Схема очистки стічних вод: 3,9,17 - реактор-накопичувач сто-
ків; 5,11,14 - дозатор кислоты; 2,8,16 – дозатор лугу; 1,7,15 – відновник;
4,10,18 – відстійник; 12 – усереднювач; 13 – реактор-нейтралізатор; 6 –
фільтр.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для реалізації організаційно-економічної частини завдання згідно з «Галузевою інструкцією з планування, обліку виробництва та калькуляції собівартості на підприємствах хімічної промисловості», необхідно виконати розрахунок техніко-економічних показників цеху та загальної собівартості продукції на основі проведених технологічних розрахунків. Оскільки економічний розділ проекту є важливим, він включає розробку документальної, матеріальної та організаційно-технологічної підготовки виробництва, визначення собівартості продукції, чисельності та зайнятості персоналу, а також обчислення техніко-економічних показників цеху, які мають відповідати нормам або перевищувати їх [8].

Цех характеризується такими кваліфікаційними рисами:

1. За режимом роботи – позасезонний;
2. За призначенням продукції – промислові товари;
3. За впливом на предмет праці – переробний;
4. За масштабом виробництва – масовий;
5. За формою власності – приватний;
6. За потужністю – середній;
7. За ресурсами – матеріаломісткий;
8. За чисельністю персоналу – малий;
9. За спеціальністю – вузькопрофільний;
10. За вартістю власного майна – середній.

Мета діяльності: виконання річної програми з нанесення захисно-декоративного нікелевого покриття на сталеві деталі, зокрема на кронштейни, що використовуються в приладобудуванні [8].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні завдання, які ставить перед собою цех:

1. Забезпечення споживачів високоякісною продукцією в обумовлені терміни.
 2. Підтримання безперебійної роботи цеху, недопущення збоїв у поставці, випуску бракованої продукції, різкого скорочення обсягів виробництва та зниження рентабельності.
 3. Забезпечення працівників гідною заробітною платою та створення нормальних умов праці.
 4. Отримання доходу через реалізацію виробленої продукції споживачам.
- Організаційну структуру підрозділу хімічного виробництва з гальванічного нанесення блискучого нікелю можна зобразити у вигляді лінійної схеми:

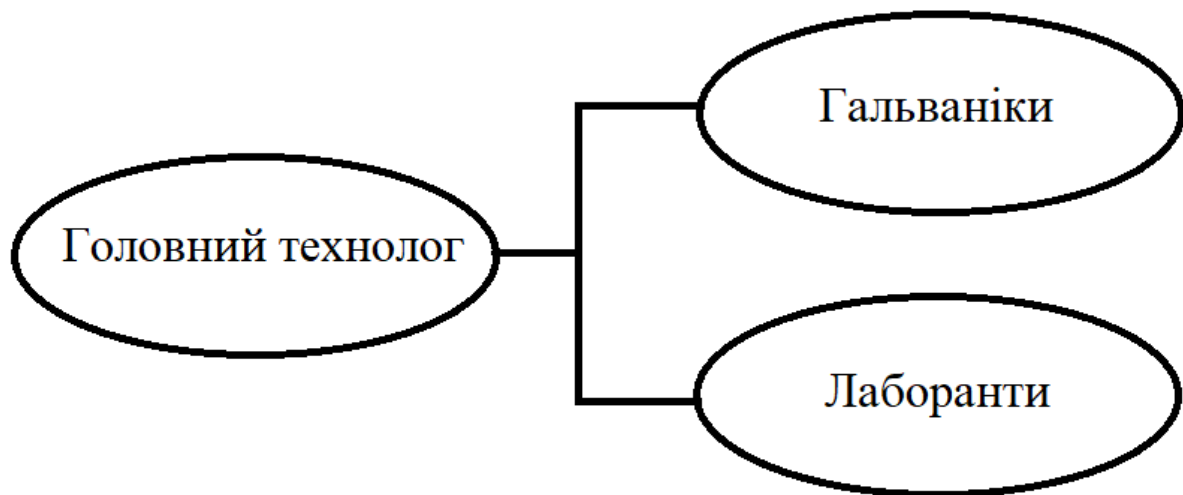


Рисунок 3.1 – Організаційна структура підрозділу хімічного виробництва з гальванічного нанесення блискучого нікелю.

3.1 Технологічна підготовка виробництва

Систематизація виробничих процесів цеху: нанесення нікелевого захисно-декоративного покриття на сталеві деталі, зокрема кронштейн, здійснюється за технологічною схемою, яка включає операції, наведені в таблиці.

Таблиця 3.1. – Класифікація виробничих процесів

Вид Виробничого процесу	Найменування операції	Тривалість, хв
1	2	3
Основні	1.Закупівля і транспортування сировини;	120
	2.Приготування робочих розчинників;	80
	3.Монтаж деталей на пристосування;	5
	4.Знежирення електрохімічне;	4
	5. Промивання тепле;	1
	6. Промивання холодне;	1
	7.Травлення;	2
	8. Промивання холодне;	1
	9. Гальванічне міднення;	15
	10. Уловлювання;	0,5
	11. Промивання холодне;	1
	12. Промивання гаряче;	1
	13. Гальванічне нікелювання;	30
	14. Уловлювання;	0,5
	15. Промивання холодне;	1
	16.Промивання тепле;	1
	17.Гальванічне хроматування;	1
	18. Уловлювання;	0,5
	19.Промивання холодне;	1
	20.Промивання гаряче;	1
	21.Висушування;	10
	22.Демонтаж;	4
	23.Контроль якості покриття;	10
	Загальна тривалість основного процесу	291,5
Допоміжні	1.Упакування та відправлення продукції на склад.	
	2.Закупівля та транспортування сировини.	
Побічні	1.Очищення стічних вод.	

Щоб визначити річну виробничу програму обладнання, необхідно збільшити виробничу програму, зазначену в завданні, на величину виправного браку деталей $K_{бр}$. Вважається, що $K_{бр} = 2\%$. Таким чином, річна виробнича програма обладнання в m^2 метрах дорівнює:

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 15000 \text{ м}^2 + 0,02 \cdot 15000 \text{ м}^2 = 15300 \text{ м}^3$$

В зв'язку з військовим станом відміняються всі святкові дні, в цьому році 366 днів, з яких 104 вихідних, тому робочих днів 262.

Враховуючи кількість робочих днів у році, можна розрахувати добову виробничу програму:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{15300}{262} = 58,4 \frac{\text{м}^2}{\text{день}}$$

Таким чином, виробнича програма для двох змін становить:

$$P_{змін} = \frac{58,4}{2} = 29,2 \text{ м}^2/\text{змін}$$

Визначаємо кількість циклів процесу нікелювання, необхідних для виконання виробничої програми:

$$m = \frac{29,2}{2,2} = 14 \frac{\text{завантажень}}{\text{змін}}$$

де U_c - площа одноразового завантаження ванни для нікелювання, зазначена у технологічних розрахунках, а також розрахована в попередніх технологічних розрахунках.

Обчислюємо загальну кількість годин, які займають основні операції, зазначені в таблиці 3.1, для різних видів ВРПП [8].

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для послідовного ВРПП:

1. Для послідовного:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{посл}}}{\sum_{i=1}^{19} t_1} = \frac{16 * 60}{291,5} \approx 3,3 = 4 \text{ рази}$$

$$B_{\text{посл}}^{\text{Річ}} = 4 * 262 * 2,2 = 2305,6 \text{ м}^2$$

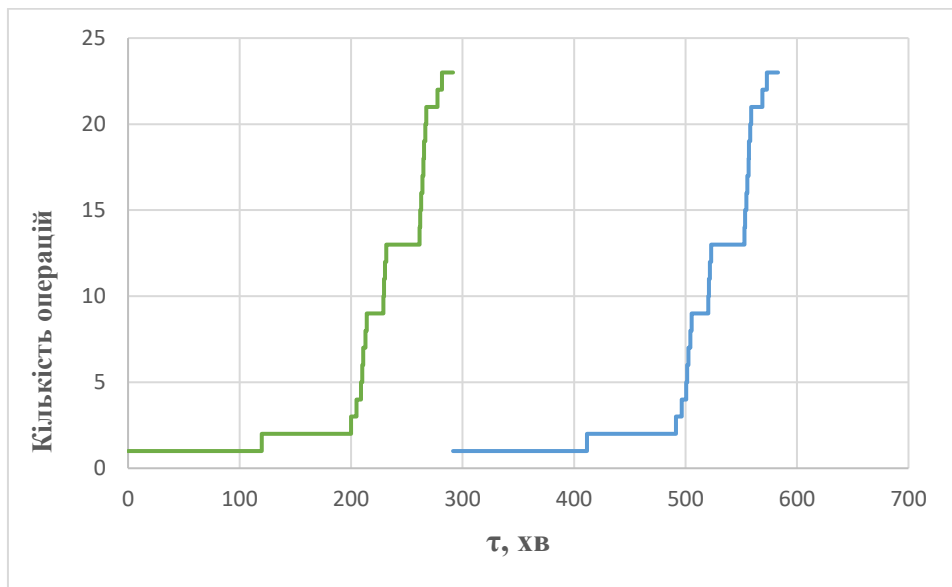


Рисунок 3.1.1 – Графік послідовного ВРПП

2. Для паралельного:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{парал}} + t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^{19} t_1}{t_{\text{max}}} = \frac{16 * 60 + 120 - 291,5}{120} = 6,6 \approx 7 \text{ разів}$$

$$B_{\text{парал}}^{\text{Річ}} = 7 * 262 * 2,2 = 4034,8 \text{ м}^2$$

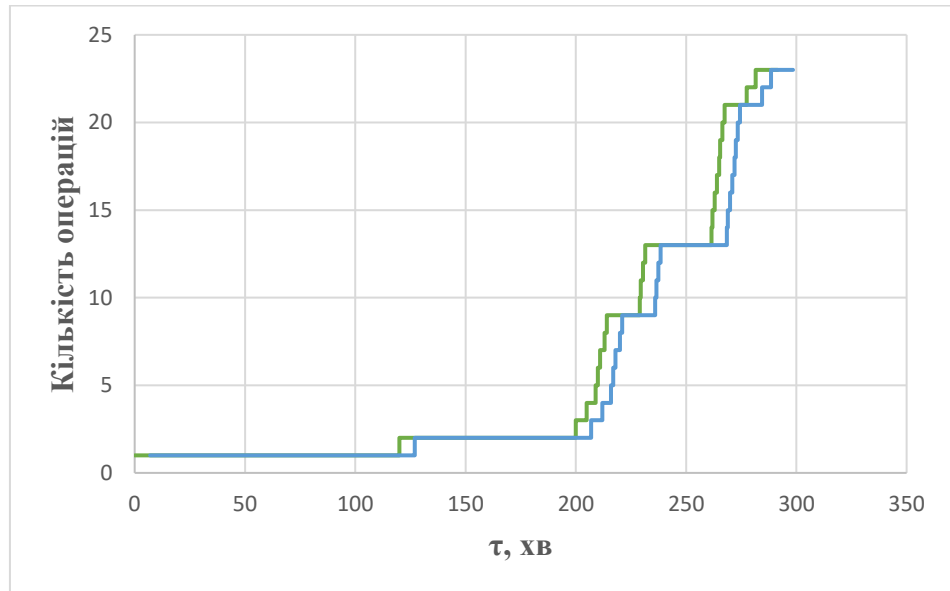


Рисунок 3.1.2 – Графік паралельного ВРПП

3. Для синхронізованого:

Слід зазначити, що цей тип ВРПП виконується з певним ритмом R , який розраховується за формулою. Потрібно визначити мінімальну кількість циклів завантаження для виконання річної програми [8].

$$N_{\text{планові}} = 2 * m_c = 2 * 14 = 28$$

$$R = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{посл}} - \sum_{i=1}^{19} t_1}{N_{\text{плановані}}} = \frac{16 * 60 - 291,5}{28} = 24$$

Таким чином, кількість завантажень для синхронізованого ВРПП складає:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^{19} t_1}{R} = \frac{16 * 60 + 24 - 291,5}{24} = 29 \text{ разів}$$

$$B_{\text{синх}}^{\text{Річ}} = 29 * 262 * 2,2 = 16715,6 \text{ м}^2$$

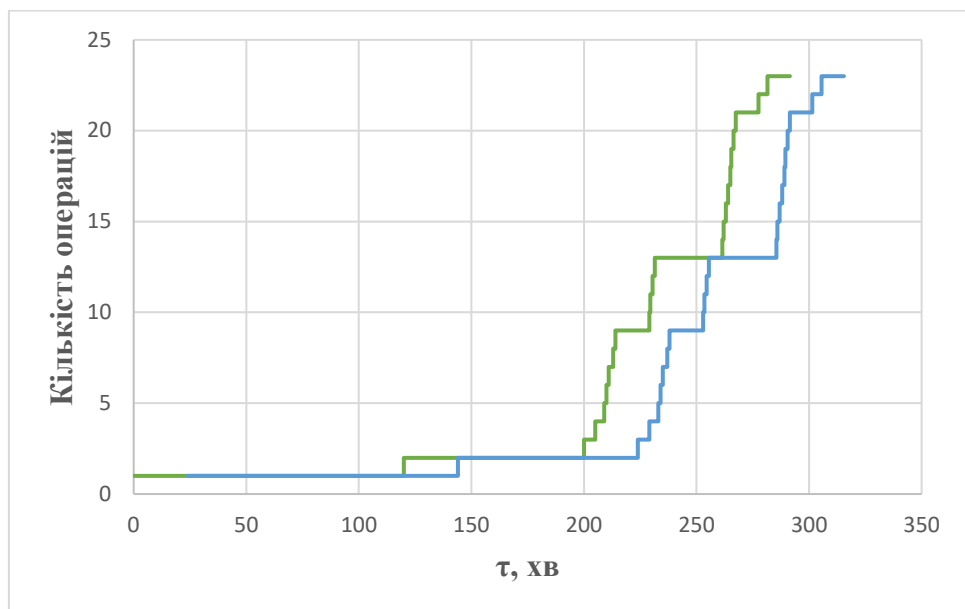


Рисунок 3.1.3 – Графік паралельного ВРПП

Згідно з попередніми розрахунками, для виконання річної програми найкраще підходить синхронізований ВРПП з ритмом 24 хвилини, що забезпечує 29 завантаження деталей за робочу добу.

Для ефективної реалізації програми з обраним ритмом необхідно мати обладнання, наведене в таблиці 3.2. Згідно з попередніми технологічними розрахунками, кількість ванн для гальванічного нікелювання становить 4 шт.

Таблиця 3.2. –Перелік та кількість необхідного обладнання

№ п/п	Назва облад- нання	Кількість, шт
1	Ванни для електрохімічного знежирення	1
2	Ванни холодного промивання	5
3	Ванна теплового промивання	4
4	Ванна уловлювання	3
5	Ванна травлення	1
7	Сушильна камера	1
8	Ванна міднення	1
9	Ванна нікелювання	1
10	Ванна хромування	1
Всього		18

Для виконання всіх робіт цеху потрібно мінімум один лаборант і двоє гальваніків на зміну [8].

$$Ч_{\text{яв.}} = 3 \text{ осіб}$$

Для виконання повного обсягу робіт цеху достатньо двох змін, де працює 3 особи в кожній зміні, тому чисельність персоналу за списком:

$$Ч_{\text{сп.}} = Ч_{\text{яв.}} \cdot K_{\text{пер}} = Ч_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{підп.}}^{\text{рік}}}{T_{\text{прац.}}^{\text{рік}}} = 3 \cdot \frac{\frac{16}{24} \cdot 262}{\frac{8}{24} \cdot 262} = 6 \text{ осіб}$$

Де $T_{\text{підп.}}^{\text{рік}}$ - кількість годин, які працює виробництво за рік/год/год; $T_{\text{прац.}}^{\text{рік}}$ - кількість годин які працює працівник за рік.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Графік роботи цеху:

Понеділок – п’ятниця: 7.00 – 23.00

перша зміна (07:00 – 15:00 год), а друга зміна (15:00 – 23:00 год)

Таблиця 3.3. – Графік змінності підприємства

Дні праці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Технол.1	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В
Бригада 1	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	В	В
Бригада 2	2	2	2	2	2	В	В	2	2	2	2	2	В	В	2	2	2	2	2	В	В

Де «В» -вихідний день, «1» - перша зміна, «2» - друга зміна.

Технічний контроль на виробництві

Об’єкти контролю:

1. сировина та матеріали;
2. технологічні процеси та обладнання;
3. готова продукція;
4. напівфабрикати власного виробництва;
5. зберігання, ремонт та складування

Технолог виступає суб’єктом контролю.

Види контролю:

1. за технічним рівнем – ручний;
2. за параметрами, що визначаються – геометричний, якісний;
3. за стадійністю процесу – вхідний, поточний, вихідний;
4. за охопленням об’єктів контролю – груповий;
5. за обсягом – вибіркового.

3.2 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

Таблиця 3.4 – Склад основних фондів підприємства

№	Найменування обладнання	Кі- лькість одиниць	Сумарна вартість, грн
1	Ванна промивання в холод- ній воді	5	35000
2	Ванна промивання в теплій воді	4	30000
3	Ванна уловлювання каскад- ного типу	3	39000
4	Ванна знежирення	1	15000
5	Ванна хімічного травлення	1	8000
6	Ванна електрохімічного ніке- лювання	4	60000
7	Ванна електрохімічного мід- нення	4	52000
8	Ванна електрохімічного хро- мування	4	68000
9	Система автоматизації	2	40000
10	Сушильна шафа	1	15000
11	Будівлі і споруди	-	3000000
12	Трубопроводи	-	65000
13	Нематеріальні активи	-	27000
Всього:		29	3 454 000

Таблиця 3.5 – Тарифна сітка цеху гальванічного нікелювання

Тари- фні ро- зряди	Тари- фні кое- фіцієн- ти	Тари- фні роз- ряди	Тарифні коефіцієн- ти	Тари- фні роз- ряди	Тарифні коефіцієн- ти	Тари- фні роз- ряди	Тарифні коефіцієн- ти
1	1	6	1,45	11	1,97	16	2,79
2	1,09	7	1,54	12	2,12	17	3
3	1,18	8	1,64	13	2,27	18	3,21
4	1,27	9	1,73	14	2,42	19	3,42
5	1,36	10	1,82	15	2,58	20	3,64

Таблиця 3.6 – Фонд заробітної плати цеху гальванічних покриттів

Посада	Кількість осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата, грн	
					За день	За рік
Головний технолог	1	18	3,21	154,1	1232,8	322 994
Гальваніки	4	15	2,58	123,8	3961,6	1 037 940
Лаборанти	2	12	2,12	101,8	1628,8	426 746
Всього	7				6832,2	1 787 680

Примітка. Погодинна тарифна ставка працівника першого розряду складає 42,6 грн.

Отже, розрахунок нарахувань на заробітну плату:

$$H = 0,22 \cdot 3П = 0,22 \cdot 1\,787\,680 = 393\,290 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Розмір фонду оплати праці складає:

$$\text{ФОП} = 3П + H = 1\,787\,680 + 393\,290 = 2\,180\,970 \text{ грн/рік}$$

3.3. Економічні показники

Амортизація основних фондів:

1. Амортизація будівель та споруд:

$$A_{\text{буд}} = \frac{H_A^{\text{буд}}}{T_{\text{ек}}} = \frac{3\,000\,000}{20} = 150\,000 \text{ грн/рік}$$

2. Амортизація приладів та обладнання:

$$A_{\text{обл}} = \frac{H_A^{\text{обл}}}{T_{ek}} = \frac{268\,000}{5} = 53\,600 \text{ грн/рік}$$

3. Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{нм.а}} = \frac{H_A^{\text{нм.а}}}{T_{ek}} = \frac{27\,000}{12} = 2\,250 \text{ грн/рік}$$

4. Амортизація трубопроводів:

$$A_{\text{тр}} = \frac{H_A^{\text{тр}}}{T_{ek}} = \frac{65\,000}{15} = 4\,333 \text{ грн/рік}$$

5. Всього:

$$A = 150\,000 + 53\,600 + 2\,250 + 4\,333 = 210\,183 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 3.7 – Річні оборотні фонди цеху гальванічних покриттів

Найменування	Ціна, грн/кг	Витрата на рік, кг	Вартість, грн
Сульфат нікелю	450	404,8	182160
Хлорид нікелю	550	88	48400
Борна кислота	130	70,4	9152
Glanzzusat Markrolux	2800	0,88	2464
Glanzkorrekturlosung Ni konz	4000	5,28	21120
Netzmittel Ni – A	3600	0,176	633,6
Вода	30,4 грн/м ³	240	7296
Електроенергія	2,64	73568	194220
Всього:			465445,6

Таблиця 3.8 – Калькуляція продукції

№	Елементи	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/м ²	
1	Амортизація	210183	13,74	7,02
2	Оборотні фонди	465446	30,42	15,53
3	Заробітна плата	1 787 680	116,84	59,66
4	Нарахування ЗП	393 290	25,7	13,12
5	Нематеріальні активи	27000	8,91	4,55
6	Затрати на ремонт	3620	0,24	0,12
7	Виробнича собівартість	2641988	195,85	100
8	Невраховані витрати	528397,6	34,54	20

Повна собівартість включає непрямі витрати, які становлять 20% від виробничої собівартості.

$$C_{\text{неврах.витр.}} = 0,2 \cdot C_{\text{вир}} = 0,2 \cdot 2641988 = 528397,6 \text{ грн/рік}$$

Невраховані витрати беремо за 20%, тоді:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{вир}} \cdot 1,2 = 195,85 \cdot 1,2 = 235,02 \text{ грн/м}^2$$

Цехова собівартість з 80% накладних:

$$C_{\text{кінц}} = C_{\text{цех}} \cdot 1,8 = 235,02 \cdot 1,8 = 423,04 \text{ грн/м}^2$$

Техніко-економічні показники

1. Прибуток:

$$\Pi = \text{Ц} - \text{С} = 700 - 373 = 327 \text{ грн/м}^2$$

2. Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{327 \cdot 15300}{3919445,6} = 1,28 \text{ грн/грн}$$

3. Капіталовкладення:

$$K = \text{ОФ} + \text{Обз}$$

$$K = 3\,454\,000 + 465445,6 = 3919445,6 \text{ грн}$$

4. Повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{1,28} = 0,78 \text{ рік}$$

5. Чисельність явочного персоналу становить 3 особи на зміну.

6. Чисельність персоналу за списком становить 7 осіб.

7. Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{\text{оз}} = \frac{B}{\text{ОЗ}} = \frac{15300 \cdot 195,85}{3\,454\,000} = 0,87 \text{ грн/грн}$$

8. Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{\text{обз}} = \frac{B}{\text{Обз}} = \frac{15300 \cdot 195,85}{465445,6} = 6,44 \text{ грн/грн}$$

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Фондоємність основних засобів:

$$\Phi B_{03} = \frac{1}{B_{03}} = \frac{1}{0,87} = 1,15 \text{ грн/грн}$$

10. Фондоємність оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{1}{B_{063}} = \frac{1}{6,44} = 0,16 \text{ грн/грн}$$

Індивідуальне завдання

Оцінка динаміки зміни вартості технології залежно від збільшення або зменшення продуктивності лінії

Розрахуємо зміну вартості технології, на прикладі сульфатного електролізу нікелювання (г/л):

Ni(H₂NSO₃)₂ 300—400

NiCl₂·6H₂O 12 –15

H₃BO₃ 25 –40

Сахарин 0,5 –1,5

Лаурилсульфат натрію 0,2 –0,3

При продуктивності 14000 м².

Розрахунок кількості ванн:

$$\sum n_B = \frac{y_c}{S_{03}} = \frac{2,04}{0,693} \approx 2,9 = 3 \text{ шт}$$

Таблиця 3.9 – Склад основних фондів підприємства

№	Найменування обладнання	Кількість одиниць	Сумарна вартість, грн
1	Ванна промивання в холодній воді	5	35 000
2	Ванна промивання в теплій воді	4	30 000
3	Ванна уловлювання каскадного типу	3	39 000
4	Ванна знежирення	1	15 000
5	Ванна хімічного травлення	1	8 000
6	Ванна електрохімічного нікелювання	3	45 000
7	Ванна електрохімічного міднення	3	39000
8	Ванна електрохімічного хромування	3	51000
9	Система автоматизації	2	40 000
10	Сушильна шафа	1	15 000
11	Будівлі і споруди	-	3 000 000
12	Трубопроводи	-	65 000
13	Нематеріальні активи	-	27 000
Всього:		26	3 434 000

Таблиця 3.10 – Річні оборотні фонди цеху гальванічних покриттів

Найменування	Ціна, грн/кг	Витрата на рік, кг	Вартість, грн
Сульфамінова кислота	130	574	74 620
Хлорид нікелю	550	21,3	11 715
Борна кислота	130	49,2	6 396
Сахарин	650	1,64	1 066
Лаурилсульфат натрію	150	0,4	60
Вода	30,4 грн/м ³	240	7 296
Електроенергія	2,64	73568	194 220
Всього:			293 373

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, загальний об'єм електроліту, що виноситься з ванни протягом виконання річної виробничої програми, становить:

$$V_{\text{вт}} = K \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 14280 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1,64 \text{ м}^3$$

Отже, витрати кожного компонента електроліту для блискучого нікелювання становлять:

$$G_{\text{Ni}(\text{H}_2\text{NSO}_3)_2} = 350 \cdot 1,64 = 574 \text{ кг}$$

$$G_{\text{NiCl}_2} = 13 \cdot 1,64 = 21,3 \text{ кг}$$

$$G_{\text{H}_3\text{BO}_3} = 30 \cdot 1,64 = 49,2 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Сахарин}} = 1 \cdot 1,64 = 1,64 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Лаурилсульфат натрію}} = 0,2 \cdot 1,64 = 0,4 \text{ кг}$$

Капіталовкладення:

$$K = 3\,434\,00 + 293\,373 = 3\,727\,373 \text{ грн}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{327 \cdot 14280}{3\,727\,373} = 1,25 \text{ грн/грн}$$

Повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{1,25} = 0,8 \text{ рік}$$

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{B}{063} = \frac{14280 \cdot 172,68}{293\,373} = 8,4 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{1}{B_{063}} = \frac{1}{8,4} = 0,12 \text{ грн/грн}$$

Висновок: в індивідуальному завданні було оцінено динаміку зміни вартості технології залежно від змін продуктивності лінії на прикладі сульфатного електроліту нікелювання. Продуктивність лінії була розрахована на рівні 14000 м². Було розрахована його вартість та склад основних фондів підприємства, що показало його більшу дешивизну порівнянно з сульфатним електролітом. Також пораховано капіталовкладення та коефіцієнт економічної ефективності, що показало менші результати порівняно з сульфатним електролітом.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Реалізація цього проекту в цеху нікелювання гальванічних покриттів передбачає використання хімічно агресивних, вибухонебезпечних і легкозаймистих матеріалів. Процес гальваніки включає застосування механічної, електричної та теплової енергії. Проект розроблений з урахуванням вимог охорони праці та пожежної безпеки. На основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розробляються заходи щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці, а також дотримання пожежної безпеки на об'єктах.

4.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проєктованому об'єкті. Заходи з охорони праці

4.1.1. Повітря робочої зони

Роботи, що виконуються на гальванічному заводі, відносяться до обслуговування технологічної лінії і класифікуються як середні фізичні роботи в категорії Пб відповідно до ДСН 3.3.6.042-99. До цієї категорії відносяться і роботи, заплановані на підприємстві відповідно до цього стандарту. Таблиця 4.1. цього стандарту містить санітарні норми параметрів мікроклімату, яких необхідно дотримуватися для забезпечення належних умов праці.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1. Санітарні норми параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С					Відносна вологість %		Швидкість руху, м/с	
		оптимальна	допустима				оптимальна	опустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш ніж	Оптимальна, не більш ніж	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш ніж
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
			Постійних	Непостійних	Постійних	Непостійних				
Холодний	Середньої тяжкості – П-б	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	До 0,4
Теплий		20-22	27	29	15	15	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5

Таблиця 4.2. – Коротка санітарна характеристика цеху, що проектується

Назва виробничої ділянки	Шкідливі речовини, що виділяються та причини виділення	Група шкідливої речовини та її вплив	ГДК, мг/м³	Клас небезпеки шкідливої речовини	Засоби індивідуального захисту	Засоби доікарняної допомоги	Методи контролю вмісту шкідливих речовин	Клас підприємства	Санітарна група
Ванна травлення	НСІ, випаровування	Подразнює шкіру, слизові оболонки, викликає хімічні опіки	2	3	Гумові рукавички, респіратор РПГ-67, захисні окуляри, халат	При попаданні на шкіру змити водою і 5% - ним розчином соди	Газоаналізатор ГХ-4	II	3

Ванна хромування	Ванна нікелювання	Ванна міднення	Ванна міднення
CrO ₃ , випаровування	NiCl ₂ , випаровування	NaCN, випаровування	Cu(CN) ₂ , випаровування
Сильний подразнювальний і канцерогенний вплив, викликає хімічні опіки	Подразнює шкіру, слизові оболонки, токсичний вплив на органи дихання	Сильний токсичний вплив на нервову систему, викликає хімічні опіки	Подразнює шкіру, слизові оболонки, викликає хімічні опіки
0.01	0.1	0.3	0.05
2	2	1	2
Гумові рукавиці, респіратор, захисний халат	Гумові рукавички, респіратор, захисний халат	Гумові рукавички, респіратор РПГ-67, захисний халат, захисні окуляри	Гумові рукавички, респіратор РПГ-67, захисний халат, захисні окуляри
При попаданні на шкіру змити великою кількістю води	При попаданні на шкіру змити великою кількістю води	Пероральне введення антидоту	Пероральне введення антидоту
ХЖ-130 хромато-графічний	ХЖ-130 хромато-графічний	Газоаналізатор GX-4	Газоаналізатор GX-4
IV	II	IV	II
36	3	3a	36

Для створення оптимальних умов праці на гальванічних заводах була введена механізація і автоматизація виробничих процесів, що знизило фізичне навантаження на робітників і знизило контакт з небезпечними факторами. Проек-

том передбачається утеплення опалювальних приладів для підтримки комфортної температури в цеху. Контроль якості повітря здійснюється 2 рази на місяць за допомогою пиломіра, термометра, циклометра і анемометра.

Співробітники оснащені засобами індивідуального захисту, такими як респіратори пелюсткового типу, спеціальний одяг і взуття. Для подачі свіжого повітря та видалення забрудненого повітря використовується механічна припливно-витяжна вентиляція. Припливна вентиляція забезпечує надходження очищеного, нагрітого або зволоженого повітря в приміщення. Витяжна вентиляція видаляє забруднене або нагріте повітря, підтримуючи баланс між припливом і витяжкою.

Для забезпечення безпеки та комфорту працівників у гальванічному цеху передбачено наступні заходи:

Встановлення теплових повітряних завіс при вході для запобігання переохолодженню та захворюванням.

Використання місцевої вентиляції при приготуванні та коректуванні ванн для зменшення випаровування шкідливих речовин.

Заміна шкідливих і горючих матеріалів на менш токсичні та негорючі аналоги.

Введення кислоти тонким струменем у холодну воду при приготуванні травильних розчинів.

Зупинка над ванною для стікання максимальної кількості електроліту з деталей.

Встановлення непроточних ванн вловлення після ванн нанесення покриття для зменшення потрапляння електролітів у стічні води.

4.1.2. Виробниче освітлення

Для забезпечення ефективності умов гальванічного покриття буде застосовано систему природного, комбінованого та штучного освітлення. Буде змішано природне освітлення, включаючи джерела над головою та збоку. Також до загального освітлення включатимуть штучне освітлення.

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 робота, яка виконується в цеху за візуальними інструкціями, відноситься до IVа категорії - середньої точності. Типові

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення освітленості для цього випромінювання наведені в таблиці 6.3. Проект передбачає встановлення функціонального, аварійного, захисного та охоронного освітлення.

Рівень освітленості контролюють не рідше одного разу на рік сучасним люксометром ТМ-208 або Ю-116, а також після кожного ремонту системи освітлення. Це сприяє досягненню нормативних стандартів щодо освітлення та підтримки оптимального візуального досвіду для працівників.

Таблиця 4.3 – Санітарні норми освітленості при штучному освітленні і КПО при природному і суміщеному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розпізнавання, мм	Розряд і підрозряд зорової роботи	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення		
			Освітленість, лк		КПО, %				
			При комбінованому освітленні	При загальному освітленні	При верхньому чи комбінованому освітленні	При боковому освітленні	При верхньому чи комбінованому освітленні	При боковому освітленні	
Середньої точності	0,5 – 1	IVб	500	200	4	1,5	2,4	0,9	

Для розрахунку оптимальну кількість ламп для загального штучного освітлення:

- Довжина цеху: 40 м
- Ширина: 12 м
- Висота: 10 м
- Лампи: Osram 36Вт G13 6500K 220В Т8, світловий потік 3350 лм

Використовуємо коефіцієнт запасу $k_z = 1,5$ і коефіцієнт нерівномірності

$z = 1,1$. Нормоване значення освітленості згідно ДБН В.2.5.-28:2018, складає 200 лм.

Розрахунок площі приміщення:

$$S = 40 \cdot 12 = 480 \text{ м}^2$$

Визначення індексу приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_c \cdot (a + b)} = \frac{40 \cdot 12}{10(40 + 12)} = 0,92$$

З таблиці значення коефіцієнта використання світлового потоку $\eta = 0.35$.

Розрахунок кількості світильників:

$$N = \frac{S \cdot k_z \cdot z \cdot E_H}{F_l \cdot n \cdot \eta}$$
$$N = \frac{480 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 200}{3350 \cdot 1 \cdot 0,35} \approx 135$$

Отже, для підтримки нормальної освітленості у виробничому цеху потрібно приблизно 135 ламп типу Osram 36Вт G13 6500K 220В Т8.

4.1.3. Захист від шуму і вібрації

Джерелами шуму та вібрацій у зазначеному цеху є насоси пневмотранспорту, трубні млини, автооператори, вентилятори, електродвигуни та компресори. Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99, рівень звуку на виробництві не повинен перевищувати 80 дБА. Однак, за результатами вимірювань, фактичний рівень звуку в цеху досягає майже 90 дБА, що перевищує допустимий рівень.

Для зменшення рівня шуму та вібрацій у цеху буде реалізовано комплекс заходів:

1. Використання шумо- та віброізолюючих матеріалів для стін, стелі та підлоги цеху.
2. Змащування поверхонь, між якими відбувається тертя.
3. Встановлення вікон і дверей з шумо- та віброізолюючого матеріалу.
4. Розміщення насосів пневмотранспорту на вібропоглинаючих килимах або платформах.
5. Заміна металевих деталей на пластмасові або гумові.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Встановлення глушників на повітроводах для зменшення розповсюдження шуму через вентиляцію.

7. Використання звукопоглинаючих матеріалів для обшивки приміщень.

8. Мінімізація створюваних шумів у джерелі за рахунок мінімальних допусків, ретельного балансування та використання демпферних матеріалів для деталей, що вдаряються.

Для індивідуального захисту працівники будуть забезпечені навушниками, берушами, шоломами та касками. Це допоможе знизити вплив шуму та вібрацій на їх здоров'я та забезпечити безпечні умови праці.

4.1.4. Електробезпека

Електроустаткування цеху буде живитися від трифазної чотирипровідної електричної мережі змінного струму з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Цех класифікується як приміщення з особливою небезпекою відповідно до ПУЕ-86 через можливість одночасного дотику до струмопровідних частин і металоконструкцій, а також наявність струмопровідної підлоги.

Основні причини ураження електричним струмом включають помилкове підключення відключених частин, замикання між частинами під напругою і відключеними, випадковий дотик, несправність захисних засобів і виникнення напруги кроку.

Для зниження ризику використовуються діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими вставками та гумові підставки. Неізововані дроти та апарати розташовуються у спеціальних коробах. Регулярно проводяться інструктажі з техніки безпеки.

За показником надійності електропостачання споживач електроенергії відноситься до III категорії. Опір ізоляції електропроводів має бути вище 0,5 МОм. Однофазний контакт з електромережею є найчастішим, і струм, що проходить через тіло людини, може бути небезпечним, що вимагає додаткових заходів безпеки.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найчастіше спостерігається однофазний контакт людини з електромережею. Сила струму, що протікає через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_0}, \text{ мА}$$

де $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ – фазна напруга, В;

$R_{\text{л}} = 3000 \text{ Ом}$ – опір тіла людини, Ом;

$R_0 = 4 \text{ Ом}$ – опір нейтрального заземлення джерела струму, Ом.

$$I_{\text{л}} = \frac{220 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 73,2 \text{ мА}$$

$$U_{\text{д}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}}, \text{ В}$$

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} = 73,2 \cdot 10^3 \cdot 3000 = 219,7 \text{ В}$$

Аналізуючи розрахункові значення та порівнюючи їх з нормативними, можна зробити висновок, що порушення вимог ПУЕ у цеху може призвести до електротравм з тяжкими наслідками.

4.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

На проектованому виробництві особлива увага приділяється безпеці тепло-технологічного обладнання, зокрема обертової печі, яка працює при високих температурах згідно з ДСТУ 8829:2019. У помольному відділенні існує ризик травмування працівників через роботу щелепних та молоткових дробарок, а також змішувачів. Для підвищення рівня безпеки всі рухомі частини обладнання захищені металевими сітчастими огорожами або корпусами, де це можливо.

Для зниження виробничих ризиків передбачено наступні заходи:

- Ретельний контроль за дотриманням технологічного процесу;
- Використання знаків безпеки;
- Дистанційне керування процесами та обладнанням;
- Механізація та автоматизація технологічного процесу;
- Герметизація обладнання;
- Встановлення аварійних кнопок "Стоп загальний" і "Аварійний стоп" для

швидкої зупинки рухомих частин;

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Дотримання відстані не менше 0,18-0,2 м між верхнім краєм ванни і джеркалом електроліту для запобігання переливання;
- Закриття проміжків між ваннами козирками для запобігання розливу розчинів на підлогу;
- Обмеження швидкості руху транспортних засобів у цеху до 5 км/год;
- Регулярний огляд підйомних механізмів на предмет дефектів;
- Розміщення плакатів з попередженнями та інформацією про потенційні джерела небезпеки і способи надання першої медичної допомоги.

Ці організаційно-технічні заходи спрямовані на забезпечення безпеки на виробництві та запобігання аварійним ситуаціям і травмам працівників.

4.2 Пожежна безпека

На виробництві можливі різні причини виникнення пожеж, такі як: механічні пошкодження електромережі, тепловий вплив, перенавантаження електрообладнання, його нагрівання, а також прямий удар блискавки в будівлю. Незважаючи на те, що матеріали, які використовуються як сировина, є негорючими, займання може статися через перегрівання ізоляційних матеріалів електропроводки та масла для змащення устаткування. Основними причинами пожеж є коротке замикання, накопичення статичної електрики та утворення електродуги при обриві ланцюгів високої напруги.

Для покращення пожежної безпеки реалізовано такі організаційно-технічні заходи:

- Захист ізоляції від теплового, механічного й агресивного впливу;
- Запобігання утворенню електростатичних зарядів за рахунок заземлення виробничого устаткування;
- Підтримка опору ізоляції струмоведучих частин на нормативному рівні;
- Використання гофрованих металевих кожухів або пластикових захисних оболонок для ізоляції струмопроводів;
- Застосування плавких запобіжників та автоматичних вимикачів для зменшення ризику перевантаження та короткого замикання.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для швидкого реагування на пожежі завод обладнаний автоматичними засобами пожежогасіння (дренчерні установки), пожежними гідрантами, вогнегасниками (ВВК-3,5, УО-2, УО-3, УО-5), ящиками з піском та пожежними щитами. Встановлені датчики типу «ПОСТ 1» і забезпечений телефонний зв'язок для сигналізації. В цеху є порошкові вогнегасники, азбестові ковдри та план евакуації. Будівля захищена від ударів блискавки за допомогою блискавковідводу стрижневого типу.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ

5.1. Аналіз технологічного процесу нікелювання, як об'єкта Автоматизації

Контроль температури в автоматизованій системі заснований на фізичних властивостях матеріалів, які змінюються в залежності від температури. Процес нікелювання відбувається при температурі 50-60°C. Осадження нікелю супроводжується виділенням значної кількості джоулевого тепла, що призводить до сильного нагрівання електроліту, тому важливо автоматично підтримувати температуру в конкретних межах, щоб уникнути отримання неякісного покриття.

При нанесенні нікелювання можлива зміна складу і об'єму електроліту. Об'єм електроліту може змінюватися через розбризкування при вивантаженні деталей, зміни складу електроліту призводять до погіршення структури осаду і його рівномірності, що може негативно вплинути на якість покриття. Тому необхідно автоматично підтримувати стабільний склад електроліту і його рівень у ванні.

Таким чином, на основі аналізу технологічної схеми і нормативів технологічного режиму визначаємо необхідний обсяг автоматизації процесу нанесення нікелевого покриття, що наведено у таблиці 5.1.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1. Параметри регулювання та контролю процесу нанесення нікелевого покриття

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	Стадія нанесення нікелювання, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	Температура	50-60 °C	контроль, регулювання
2	Стадія нікелювання, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	Рівень	0,7...0,75	контроль, регулювання
3	Стадія нікелювання, замір параметру проводиться в баці з електролітом	рівень	0,7...0,75	контроль
4	Стадія нікелювання, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	сила струму	152,5 А	контроль регулювання
5	Стадія нікелювання, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	напруга на ванні	1,92 В	контроль регулювання
6	Стадія нікелювання, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	pH	4,4...4,8	контроль регулювання

ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для забезпечення ефективного функціонування технологічного обладнання, підвищення виробничої продуктивності, покращення якості продукції, стабілізації та контролю технологічних параметрів, а також для зменшення можливих помилок операторів, була розроблена схема автоматизації. Вона призначена для вирішення цих завдань і включає різні контури автоматичного контролю та регулювання режимних параметрів технологічного процесу [5,6].

Для контролю температури в функціональній схемі автоматизації використовуємо термоперетворювач опору (поз. 1-1), автоматичний показувальний та реєструвальний вторинний прилад (1-2), регулювальний блок (1-3).

Для підтримки температурного режиму процесу нікелювання, який вказаний у технологічній схемі, застосовується нагрівальний елемент (тена).

Для регулювання рівня використовуємо передавальний перетворювач рівня з пневматичним вихідним сигналом (2-1). Даний прилад призначений для неперервного перетворення рівня рідини в пропорційний сигнал дистанційної передачі – пневматичний. Також використовується вторинний прилад із дистанційним керуванням (2-2) і регулюючий блок (2-3), в якості виконавчого механізму застосовує мембранний пневмопровід (2-4).

Щоб контролювати силу струму в ванні нікелювання передбачений контур 5 та контур 6, який включає агрегат випрямний (3-1) та пульт дистанційного керування для регулювання сили струму (3-2).

Для контролю рівня рН в ванні нікелювання передбачений контур 7, який включає контур (4-1) який вимірює концентрацію електроліту, вихідний сигнал якого подається на прилад (4-2) – блок з формуванням вихідного сигналу.

Застосовані засоби автоматизації наведено в специфікації (додаток А).

Висновок: автоматизація процесу нанесення нікелевого покриття забезпечує стабільність технологічних параметрів, підвищує ефективність роботи обладнання, покращує якість продукції та мінімізує можливі помилки операторів. Вона включає автоматичний контроль і регулювання температури, рівня електроліту, сили струму та рівня рН, що дозволяє підтримувати оптимальні умови

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для осадження нікелю. Це досягається завдяки використанню сучасних контурів автоматичного контролю та регулювання, що забезпечують надійність та точність усього процесу.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У дипломному проекті досліджено технології нанесення захисно-декоративного покриття. Даний проект включає процес нанесення блискучого нікелевого покриття, що складається з 9 мкм міді, 12 мкм нікелю та 0,5 мкм хрому, яке широко використовується в машинобудуванні.

Було виконано розрахунки балансів напруги, струму та теплової енергії, а також визначено витрати води, електроенергії, анодних матеріалів та компонентів електроліту.

Економічний аналіз включав організацію виробництва з річною продуктивністю 15000 м², облік витрат на сировину, обладнання та електроенергію, а також розрахунок собівартості продукту. Завдяки автоматизації процесу із застосуванням спеціальних датчиків вдалося забезпечити точне регулювання температури, рівня рН та напруги та струму у ваннах.

Також були розглянуті правила безпеки та розроблена система очищення стічних вод.

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу: підручник / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущাপовський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 330 с.

2. ГАЛЬВАНОТЕХНІКА. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб. / О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.І. Букет, С.В. Фроленкова – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 147 с.

3. 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. Ущাপовський, Т. І. Мотронюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,14 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 119 с.

4. Метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт з дисципліни «Технологія нанесення гальванічних покриттів» для студентів спеціальності 7.05130103 «Технічна електрохімія» усіх форм навчання, Частина 1, Захисні і захисно-декоративні покриття / Уклад. В.Ф. Панасенко, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.В. Косогін, М.В. Бик, Ю.Ф. Фатєєв - К: НТУУ «КПІ», 2011.

5. Технологія нанесення гальванічних покриттів. Лабораторний практикум [[Електронний ресурс](#)] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спец. 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. І. Мотронюк, О. В. Косогін, М. В. Бик, С. В. Фроленкова, Д. Ю. Ущাপовський. – Електронні текстові дані (1 файл: 3.21 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 111 с.

6. Технологічні та енергетичні розрахунки з гальванотехніки при дипломному проектуванні. Навчальний посібник. для студентів спеціальності 7.091603 - Технічна електрохімія /Уклад. Л.А.Яцюк, В.П.Чвірук, В.Ф.Панасенко,

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

І.Ф.Хірх-Ялан, Т.І.Мотронюк, М.І.Донченко, О.І. Букет, О.В.Лінючева.– К.:НТУУ"КПІ", 2008. - 100с

7. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту з гальванотехніки освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». Напрямок 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.

8. Економіка підприємства. Навч. Посібник. Під ред. В.Г. Герасимчука, К.: “Політехніка”, 2003.

9. Застосування хімічних допоміжних речовин в очищенні води. Лабораторний практикум [[Електронний ресурс](#)]: навч. посіб. для студ. спеціальності 101 «Екологія», 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М. Д. Гомеля, Т. О. Шаблій, О. І. Іваненко, І. М. Трус. – Електронні текстові дані (1 файл: 244 кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 48 с.

10. **Лукінюк М. В.** Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ют.-інтегр. технології» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.

11. **Лукінюк М. В.** 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. : іл. – Біблігр.: с. 328–330. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-520-0. – ISBN 978-966- 622-530-9 (Кн. 1).

					ДП ХЕ 0201.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

ДОДАТОК А

По- зиція на схемі	Назва параметру	Середовище, місце від- бору інформації	Граничне значення параметру	Місце мон- тажу	Назва та ха- рактеристика	Тип моделі	Кіль- кість	Завод- виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 – 1	Температура	Електроліт, електролі- тична ванна	50-60 °С	Місцевий	Термоперетворювач опо- ру платиновий НСХ 100П, діапазон вимірю- вання (–50) ...+60 °С, до- пустимий тиск Р _у = 0,4 МПа.	ТСП- 1288	1	НВО «Електротермія», м. Луцьк
1 – 2	Температура	Електроліт, електролі- тична ванна	50-60 °С	Щит ке- рування	Автоматичний показува- льний і реєструвальний вторинний прилад; вхі- дні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М.	ДИСК- 250	1	ТОВ «СПЕЦАВ- ТОМАТИКА Ук- раїна», м. Харків
1-3	Температура	Електроліт, електролі- тична ванна	50-60 °С	Щит ке- рування	Блок регульовальний, електричний, пропор- ційно-інтегральний, I _{вих} = 0...5 мА	РП4-У	1	ТОВ «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-4	Температура	Електроліт, електролітична ванна	50-60 °С	Трубопровід	Електричний, однообертний виконавчий механізм, 16- номінальний обертовий момент на вихідному валу (Н·м); 25- номінальний час повного ходу вихідного валу (с); 0,25- номінальний повний хід вихідного валу (об)	МЭО-16/25-0,25-82	1	ТОВ «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ
МП1	Температура	Електроліт, електролітична ванна	50-60 °С	Електродвигун	Магнітний пускач реверсивний, безконтактний, U _{вих} = 220 В	ПБР-2М	1	ТОВ «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ
2 – 1	Рівень	Електроліт, електролітична ванна		Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; Р _{вих} = 0,02 – 0,1 МПа; діапазон температур: (–50) ... +100 °С діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м, клас точності 1	УБ-П	1	ТОВ «СПЕЦАВТОМАТИКА Україна», м. Харків

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 – 2	Рівень	Електроліт, електролітична ванна		Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування, $P_{вх} = 0,02 - 0,1$ МПа	ФК 0071	2	ПП «ПРОМТЕХ-СЕРВІС», м. Українка
2 – 3	Рівень	Електроліт, електролітична ванна		Щит керування	Регулятор пневматичний, пропорційно-інтегральний, $P_{вих} = 0,02 - 0,1$ МПа	ФР 0091	2	ПП «ЕлектроПриладТехСервіс», м. Луцьк
2 – 4	Рівень	Електроліт, електролітична ванна		Місцевий	Пневмопровід мембранний	B26-41	1	ТОВ «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ
3 – 1	Густина струму та напруга	Електролітична ванна		Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{max} = 6300$ А, $U_{max} = 24$ В	ВАК-6300-24У4	1	ТОВ «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ
3 – 2	Густина струму та напруга	Електролітична ванна		Місцевий	Пульт дистанційного керування для випрямного агрегату ВАК-6300-24У4	ПДУ ВАК	1	ТОВ «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ
4 – 1	pH	Електролітична ванна	4,4...4,8	Гальванічна ванна	Чутливий елемент рН-метра. Температураробочого середовища: 0...140°C; границі вимірювання: 0...14; максимальний тиск 10 бар. Матеріал: 1.4435 (нержавіюча сталь).	Unifit CPA4 42	1	Endress+Hauser, м. Райнах, Швейцарія

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4 – 2	pH	Електролітична ванна		Місцевий	Перетворювач високоомний; вхід Memosens; $I_{вих} = 0/4 \dots 20$ мА; цифрова індикація результатів; до 4 лінійних виходів струму	Liquiline CM44	1	Endress+Hauser, м. Райнах, Швейцарія
4 – 3	pH	Електролітична ванна		Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: $0 \dots 5$ В, $0 \dots 10$ В, $0 \dots 5$ мА, $4 \dots 20$ мА, $0 \dots 20$ мА; клас	Graph T-IRS30	1	Endress+Hauser, м. Райнах, Швейцарія