

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

« ____ » _____ 2024 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
зі спеціальності 161 Хімічна технологія та інженерія
на тему: «Гальванічні покриття в машинобудуванні. Гальванічне цинкування
сталевих деталей машин.»

Виконала:

студент IV курсу, групи ХЕ-02

Зелений Артем Сергійович _____

Керівник:

доц., к.т.н., Ущатовський Дмитро Юрійович _____

Консультант з автоматизації: ст.викл. Жураковський Я.Ю. _____

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 _____

к.т.н., ст. вик. Кримець Г.В.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших
авторів 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

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Зеленому Артему Сергійовичу

1. Тема проєкту *«Гальванічні покриття в машинобудуванні. Гальванічне цинкування сталевих деталей машин.»*, керівник проєкту *Ущановський Дмитро Юрійович, доцент, к.т.н.*, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2024р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 07 червня 2024 року
3. Вихідні дані до проєкту *Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт хлоридний. Продуктивність 16600м²/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	Жураковський Я.Ю., ст.викл.		

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 цинкування 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

Артем Зелений

Керівник

Дмитро Юрійович

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	ДП ХЕ 0202.1450.00.001	Креслення гальванічної ванни для цинкування	1	
4	A1	ДП ХЕ 0202.1450.00.002	Схема технологічного процесу цинкування	1	
5	A1	ДП ХЕ 0202.1450.00.003	Схема автоматизації процесу	1	
6	A2	ДП ХЕ 0202.1450.00.0004	Техніко-економічні показники гальванічного цеху цинкування	1	
7	A1	ДП ХЕ 0202.1450.00.0005	Схема очищення вод	1	

				ДП ХЕ0102.2705.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Зелений А.С.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Ущатовський Д.Ю.				1	1
Консульт.					КПІм. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-01	
Н/контр.						
В.о. зав. кафедри	Косогін О.В.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Гальванічні покриття в машинобудуванні. Гальванічне цинкування сталевих деталей машин»

Київ – 2024

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в машинобудуванні. Гальванічне цинкування сталевих деталей машин»

Зелений А.С. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-02

Дипломний проєкт, 2024 рік, кількість сторінок –74, таблиць –25, рисунків –5, джерел –15.

У проєкті було розроблено технологію нанесення цинкового покриття на сталеві деталі. Осадження виконується в хлоридному електроліті за катодної густини $1,8 \text{ А/дм}^2$ і температури $15\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C}$.

У проєкті було виконано низку основних робіт і завдань: розглянуто питання контролю якості нанесеного покриття, визначено можливі види браку та способи їх усунення. Проведено розрахунок обладнання для виконання річної програми виробництва з обсягом 16600 м^2 цинкового покриття та на основі результатів розрахунків вибрано основне обладнання. Надано ескізи основного обладнання. Розглянуто питання техніки безпеки та екологічної безпеки, проаналізовані шкідливі та небезпечні виробничі фактори й запропоновані заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: цинкування, гальванічне покриття, хлоридний електроліт, стічні води, електроліз, гальванічна ванна.

					ДП ХЕ0202.2705.000 ПЗ			
Изд.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Гальванічні покриття в машинобудуванні. Гальванічне цинкування сталевих деталей машин	Лист.	Арк.	Арк.
Разроб. Перев.		Зелений Щаповський						
Н.контр.к						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-02		
Затв.		Косогін						

ABSTRACT

"Galvanic coatings in mechanical engineering. Zinc electroplating of steel machine parts"

Zelenyi A.S. – Kyiv: National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” CTF, HE-02

Diploma project, 2024, number of pages - 74, tables - 25, figures - 5, literature – 15.

The project developed the technology of applying a zinc coating to steel parts. Deposition is carried out in a chloride electrolyte with a cathode density of 1.8 A/dm² and a temperature of 15-30 °C.

In the project, a number of main works and tasks were performed: the issue of quality control of the applied coating was considered, possible types of defects and methods of their elimination were determined. The calculation of the equipment for the implementation of the annual production program with the volume of 16,600 m² of zinc coating was carried out, and the main equipment was selected based on the results of the calculations. Sketches of the main equipment are provided. Issues of safety and environmental safety were considered, harmful and dangerous production factors were analyzed, and safety and occupational health and safety measures were proposed.

Key words: galvanizing, galvanic coating, chloride electrolyte, waste water, electrolysis, galvanic bath.

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 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.....	13
1.2.1. Підготовка поверхні деталі для нанесення цинкового покриття	13
1.2.2. Вибір складу електроліту.....	15
1.2.3. Вибір складу електроліту, його приготування.....	19
1.2.4. Види браку та неполадки при анодуванні.....	20
1.2.5. Вибір та обґрунтування завершальних операцій.....	22
1.2.6. Контроль якості гальванічного покриття.....	24
1.2.7. Карта технологічного процесу	23
1.3. Вибір і розрахунки обладнання для нанесення гальванічних покриттів ..	26
1.3.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання цеху.....	26
1.3.2. Визначення виробничої програми обладнання.....	26
1.3.3. Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання.....	27
1.4. Розрахунки технологічних параметрів.....	30
1.4.1. Баланс струму на ванні гальванічній ванні.....	30
1.4.2. Баланс напруги на гальванічній ванні.....	31
1.4.3. розрахунок споживання електричної енергії та вибір джерела живлення.....	33
1.5. Тепловий розрахунок ванни цинкування.....	35
1.6 Розрахунок витрат хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми	36
1.6.1 Розрахунок витрат катодів	35
1.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів.....	35
1.6.3 Розрахунок витрат води	37
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	39
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	41

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

3.1 кадрова підготовка виробництва	42
3.2 технологічна підготовка виробництва	42
3.3. Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва.....	49
3.5. техніко-економічні показники	
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів. Заходи з охорони праці.....	57
4.1.1 Повітря робочої зони.....	61
4.1.2. Виробниче освітлення	62
4.1.3. Захист від шуму і вібрації	63
4.1.4. Електробезпека	63
4.1.5. Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання	64
4.2. Пожежна безпека.....	65
РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ	67
5.1. Аналіз процесу цинкування як об'єкта автоматизації.....	67
5.2. Опис розробленої автоматизації для контролю та регулювання.....	69
Висновки.....	70
Перелік посилань	71
додаток А.....	74

ВСТУП

Гальванічні покриття сприяють покращенню якості та довговічності деталей. Покриття використовуються для захисту деталей від корозії, створення декоративного ефекту, зменшення тертя, покращення електропровідності та полегшення паяння. Гальванічні покриття мають багато переваг, таких як можливість нанесення покриттів різної структури та товщини на металеві та неметалеві вироби, а також отримання одного типу покриття з різними властивостями (твердого або м'якого, блискучого або матового тощо).

Цинкові покриття, зокрема, мають перевагу в тому, що їх можна наносити без використання високих температур. Однак їхнім основним недоліком є нерівномірність товщини покриття, особливо на деталях зі складним профілем.

Цинкові покриття є одними з найбільш розповсюджених серед гальванічних покриттів завдяки їх легкості нанесення, відносно низькій собівартості, високій корозійній стійкості та привабливому зовнішньому вигляду. Вони також характеризуються високою стійкістю до органічних розчинників та речовин, що містять сірчисті сполуки.

Основною метою дипломного проекту є розробка технології нанесення цинкового покриття на сталеві деталі. Продуктивність проекту становить 16600 м² на рік.

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 вибір деталі та покриття

Деталь являє собою палець гідроциліндра виготовлений зі сталі. Це спеціальний фрезерований металевий палець із гайкою, який фіксує гідроциліндр механізму повороту трактора на кронштейнах несучої рами.

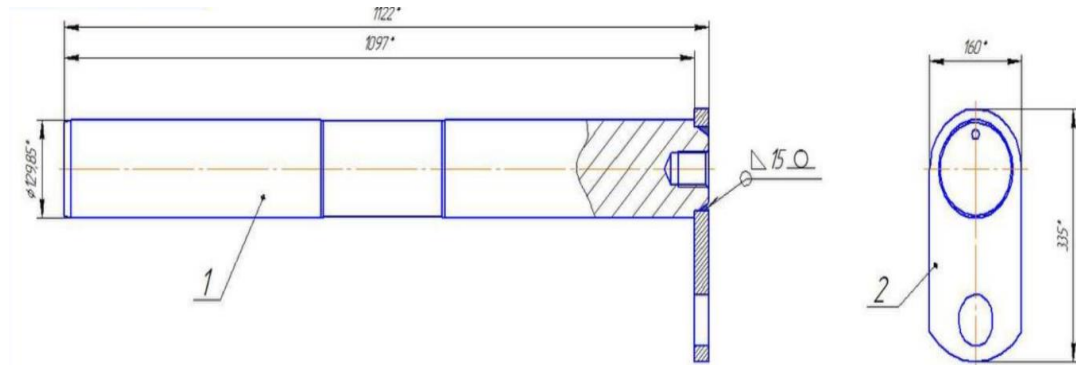


Рис. 1 – палець гідроциліндра

У зв'язку з тим, що деталь буде експлуатуватися в широкому температурному діапазоні від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$, було вирішено використати цинкове покриття. Це обумовлено тим, що цинкові покриття ефективно захищають сталеві деталі від корозії, особливо в умовах електрохімічної дії. Однак при підвищенні температури до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ і більше, ефективність захисту цинкового покриття може зменшитися, оскільки його потенціал може змінитися, зробивши його менш ефективним електрохімічним захистом і більш залежним від механічного захисту. Щоб збільшити стійкість до корозії, зазвичай цинкові покриття хроматують [1].

Цинкові покриття забезпечують гарний захист від корозії в умовах середнього агресивного середовища, але не рекомендуються для використання в морських або тропічних кліматичних умовах через їхню відносну нестійкість до корозії в таких середовищах. Незважаючи на це, вони вважаються малотоксичними для людини та є економічно ефективним методом захисту від корозії порівняно з іншими металами, що використовуються у гальванічних процесах.

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було обрано нанести захисне цинкове покриття товщиною 12 мкм. Це покриття забезпечить достатній захист деталі в зазначеному температурному діапазоні, а також додаткову механічну міцність і естетичний вигляд [1].

1.2 Вибір технологічного процесу

1.2.1. Підготовка поверхні деталі для нанесення цинкового покриття

Якісне гальванічне покриття неможливе без належної підготовки металевої поверхні перед його нанесенням. Методи підготовки впливають на якість покриття, незалежно від його призначення. Основна вимога до гальванічних покриттів - міцне зчеплення з поверхнею деталей, на яку наноситься покриття. Покриття мають бути стійкими навіть під впливом поштовхів, ударів та деформацій, не допускаючи відшарування від поверхні. Висока чистота поверхні, на яку наноситься покриття, є ключовою вимогою для отримання покриття з міцним зчепленням і належним зовнішнім виглядом. Основна мета підготовки металевої поверхні - максимально повне згладжування поверхні виробів та видалення будь-яких нерівностей на ній. Для досягнення цих цілей використовуються механічні методи підготовки поверхні виробів [1].

Механічна підготовка

Коли деталь надходить до цеху, на її поверхні можуть бути присутні механічні забруднення у вигляді пилу, окалина та задирки, залишки мастил і зварювальних матеріалів. Локальна корозія при цьому відсутня. Перед початком гальванічного процесу деталь необхідно ретельно очистити від усіх забруднень, щоб забезпечити якісне нанесення покриття. Це може включати механічне очищення, знежирення та травлення [2].

Хімічне знежирення

Для забезпечення якісного гальванічного покриття проводиться знежирення поверхні деталі. Оскільки на поверхні може бути різноманітне забруднення, включаючи залишки жирових речовин від засобів консервації

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сировини, проводимо хімічне знежирення. Для хімічного знежирення використовується розчин з таким складом [2]: -

- карбонат натрію (20-30 г/л),
- фосфат натрію (30-50 г/л),
- гідроксид натрію (10-20 г/л)
- силікат натрію (3-5 г/л).

Процес хімічного знежирення триває 5 хвилин при температурі 70-80°C. Після цього поверхню деталі промивають проточною водою з водопровідної системи, а потім непроточною водою температурою 60-80°C. Кожну операцію промивки повторюють ще один раз для забезпечення якісної очистки поверхні[2].

Травлення:

Після очищення від жирових забруднень, деталь потребує травлення поверхні. Це дозволяє видалити тонкий шар матеріалу (1-3 мікрметри) і коригувати деякі дефекти.

Розчин для травлення має такий склад:

- хлоридна кислота 36 г/л;
- уротропін 40-50 г/л.

Час протравлення встановлюється в залежності від товщини шару окалини, а температура травлення підтримується на рівні 20±5 °С. Після травлення деталь промивається у холодній проточній воді [2].

1.2.2 Вибір складу електроліту

При виборі електроліту для нанесення покриття важливо враховувати наступні критерії:

- 1) Забезпечення безпеки та стабільності в експлуатації шляхом мінімізації агресивності електроліту.
- 2) Забезпечення високої розсіювальної здатності для рівномірного розподілу металу на поверхні.

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

3) Забезпечення високої продуктивності процесу, а також доступності та низької вартості електроліту[2].

Цинкування можна проводити за допомогою простих або комплексних електролітів. До простих належать сульфатні, хлоридні та борфторидні, а до комплексних - ціанисті, цинкатні, пірофосфатні, амікатні та етилендіамінові.

Вибір електроліту залежить від конкретних вимог до покриття, умов експлуатації та доступності матеріалів. Прості електроліти зазвичай легші у приготуванні та менш дорогі, проте комплексні електроліти можуть забезпечити кращі характеристики покриття, такі як висока корозійна стійкість та адгезія. Крім того, комплексні електроліти часто дозволяють отримати покриття з більш рівномірною товщиною, особливо на деталях складної форми [1].

Залежно від вибраного електроліту, необхідно також враховувати вимоги до умов проведення процесу, таких як температура, концентрація компонентів, щільність струму та тривалість осадження. Оптимальні умови забезпечують найкращу якість покриття і максимальну ефективність процесу [2].

Сульфатний електроліт

Сульфатний електроліт використовується як основний компонент для цинкування. Осадки цинку з висококонцентрованих сульфатних електролітів часто мають велику пористість і можуть утворювати дендрити. Використання слабоконцентрованих електролітів може знизити ефективність процесу через зниження їхньої електропровідності та погіршення якості покриття.

Осадження цинку відбувається при низькій катодній поляризації, що сприяє утворенню крупнокристалічних осадів. Щоб підвищити електропровідність електроліту, додають солі з однойменним аніоном, такі як сульфат натрію, сульфат амонію та сульфат алюмінію[2].

Сульфатні електроліти є простими за складом, стабільними в роботі, не токсичними і не потребують спеціальної вентиляції або підігрівання. Вихід за струмом в цих електролітах становить 96-98%. Однак осадки можуть мати

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

грубокристалічну структуру і низьку розсіювальну здатність, що обмежує їхнє використання на складних деталях.

Сульфатний електроліт не вимагає підігріву, оскільки підвищення температури може негативно вплинути на якість осадів та їх розсіювальну здатність. При збільшенні густини струму необхідно забезпечувати перемішування та фільтрацію електроліту.

Шкідливими домішками, які можуть призводити до утворення темних, порошкових або чорних осадів, є іони металів, що мають більш електропозитивний потенціал, а також нітрити [1].

Фторборатні електроліти

Ці електроліти забезпечують міцну адгезію між цинковим покриттям та основою деталі. Вони мають катодний вихід за струмом близько 100%. Продуктивність цих електролітів вища, ніж у сульфатних. Проте вони мають кілька недоліків: низьку розсіювальну здатність, тому їх застосовують переважно для цинкування деталей простої конфігурації. Крім того, вони є дорогими і містять агресивні сполуки фтору.

Основний компонент у цих електролітах - борфторид цинку, що утворюється внаслідок реакції оксиду цинку з борфтористоводневою кислотою. Для підвищення електропровідності в електроліт додають NH_4BF_4 . Для підтримки рН також додають борну кислоту [1].

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хлоридний електроліт

Хлоридний електроліт використовується для покриття деталей з середнім рельєфом, при цьому осаджене покриття має товщину не більше 18 мкм. Ці електроліти забезпечують швидке осадження цинку, оскільки мають високу електропровідність, що у два рази вища, ніж у сульфатних. Тому вони можуть мати кращу розсіювальну здатність. Проте їх застосовують рідше, ніж сульфатні, через складність отримання хімічно чистого хлориду цинку і його вплив на корозійну стійкість покриття при поганій промивці від хлоридних іонів. Для підтримки рН електроліту до розчину додається борна кислота [1].

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Вибір складу електроліту, його приготування

В якості електроліту було обрано хлоридний електроліт наступного складу:

ZnCl₂ 90 г/л

KCl 205 г/л

H₃BO₃ 22,5 г/л

Лимеда НЦ-10 30-70г/л

Лимеда НЦ-20 2.5-5г/л

pH 4,5

температура 15-30 °С

i_к 0,5-3,0 А/дм²

Для приготування електроліту всі компоненти розчиняли в окремих ємностях за допомогою дистильованої води при температурі 50-60 °С. Борну кислоту розчиняли в гарячій воді. Після відстоювання і фільтрації компонентів електроліту їх змішували в робочій ванні і доводили дистильованою водою до заданого об'єму. Після вимірювання рН електроліт коригують 2-3 % розчином хлоридної кислоти або гідроксиду калію. Далі електроліт пропрацьовують на жертвенних катодах при густині струму 1-2 А/дм² до отримання світлих і гладких осадів [2].

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.2.3. Види браку, неполадки та шляхи їх усунення при гальванічному цинкуванні

Таблиця 1.1 – Основні дефекти при цинкуванні в хлоридному електроліті та способи їх усунення [1]

№	Дефекти	Причини	Способи усунення
1	2	3	4
1	Аноди покриті коричневою або чорною плівкою	Висока анодна густина струму Низька концентр. іонів хлору	Збільшити поверхню анодів Добавити в електроліт 2...3 г/л хлориду натрію
2	Падіння напруги в електроліті	Пасивація анодів	Коригування електроліту, збільшення площі анодів
3	Темні непокриті ділянки	Екранування деталей	Необхідно правильно розташувати деталі на підвісках
4	Покриття шорстке	Висока катодна густина струму, низька концентрація іонів Zn^{2+} , забруднення електроліту механічними домішками	Знизити катодну густина струму; відкоригувати та відфільтрувати електроліт
5	Покриття крихке	Концентрація органічних добавок зavelика; низьке значення рН	Додати H_2O_2 ; відкоригувати рН.
6	Відшарування покриття	Погана підготовка поверхні; забруднення електроліту	Перевірити ванни попередньої підготовки деталей; очищення електроліту
7	Нерівномірне покриття, відсутність покриття навіть на малих заглибленнях	Низька розсіювальна здатність; невірне розташування деталей	Додати хлорид калію та добавки; правильно підвісити деталі

Видалення неякісних цинкових покриттів проводиться в розчині сульфатної або хлоридної кислоти з концентрацією 50-100 г/дм³ і додаванням катапіну з концентрацією 3-5 г/дм³ [2].

1.2.4. Вибір та обґрунтування завершальних операцій

Для зменшення викидів хімічних речовин у стічні води та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище після використання ванни для нанесення цинкового покриття, необхідно провести процедуру промивання у ванній для збору відходів протягом 2-3 хвилин, а потім промити у воді проточного струму [3].

Сумісне освітлення та пасивування

При підвищеній вологості та змінних температурах цинк може швидко піддаватися корозії, утворюючи оксиди та солі цинку на своїй поверхні. Для підвищення захисних властивостей та забезпечення привабливого зовнішнього вигляду цинкових деталей їх можна пасивувати. Пасивний стан металу при цьому викликає гальмування анодного процесу, що сприяє підвищенню корозійної стійкості. Ознакою пасивності є підвищена хімічна стійкість металу та зміщення електродного потенціалу у позитивному напрямку.

Для пасивації цинкових покриттів часто використовують хроматування. Під час хімічної пасивації деталь занурюють у розчин, що містить сполуки Cr^{6+} , іони водню, а також іони активаторів (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}).

В результаті взаємодії металу з розчином в прикатодному шарі змушується концентрація іонів водню + та створюються умови для утворення важкорозчинних гідроксохроматів хрому ($\text{Cr}(\text{OH})\text{CrO}_4$) та цинку ($(\text{ZnOH})_2\text{CrO}_4$)[3].

Перед процедурою хроматування проводять операцію освітлення, яка призводить до зі світлішим відтінком цинкового покриття. Якщо в до розчину для хроматування додати нітратну кислоту, це дозволить комбінувати операцію освітлення з пасивацією. У такому випадку склад розчину буде наступним (г/дм³)[3]:

$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - 25...35;

HNO_3 - 3...7;

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Na_2SO_4 - 10...15.

Процес проводять при кімнатній температурі протягом хвилини.

Після пасивування деталей промивають у ванні уловлювання, через що значна кількість солей хрому не потрапляє у стічні води.

Після ванни уловлювання деталі промивають під проточною водою. Промивають у теплій або холодній воді, якщо промивати у гарячій, то є великий шанс що іони шестивалентного хрому будуть вилуговуватися, через що хроматна плівка знебарвлюється та знижуються її захисні властивості [3].

Висушування

Перед вилученням деталей необхідно їх ретельно просушити, щоб уникнути корозійного ушкодження внаслідок вологості. Спочатку деталі залишають на підвісках для просушування на повітрі протягом 2-3 хвилин, що дозволяє забезпечити повне стікання робочих розчинів з їх поверхні. Після цього деталі знімають з підвісок і поміщають у сушильну шафу. Для сушіння хроматованих цинкових покриттів рекомендується використовувати тепле повітря (50–60°C), оскільки висока температура може спричинити дегідрування та швидше руйнування хроматної плівки. Процес сушіння триває до повного видалення вологи з поверхні покриття [3].

1.2.5. Контроль якості гальванічного покриття

Якість покриття повинна відповідати вимогам ГОСТ 9.301-86. Якість покриття сильно залежить від якості металу основи, через це контролю підлягають як покриття, так і основний метал. При контролі металу–основи перед покриттям визначають наявність дефектів, а також установлюють шорсткість його поверхні. Якість цинкових покриттів визначають по таким параметрам: товщина покриття, міцність зчеплення та зовнішній вигляд [3].

Контроль товщини покриття

Для визначення товщини немагнітних гальванічних покриттів на феромагнітних основах без пошкодження покриття використовують товщиноміри. Ці прилади можуть працювати за двома основними

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
Змн.	Арк.	№ докум,	Підпис	Дата		20

принципами: вимірювання магнітної (електромагнітної) індукції або відриву магніту [4].

Товщиноміри, які діють за принципом відриву магніту, використовують калібровану пружину, постійний магніт та шкалу. Притягання між сталевією основою та магнітом виникає, а покриття слабить це притягання. Чим товще покриття, тим легше відірвати магніт. За величиною зусилля на відрив вимірюється товщина покриття.

Товщиноміри, які використовують принцип вимірювання магнітної індукції, оцінюють зміну магнітної індукції біля поверхні магнітного перетворювача під час його приближення до сталевієї поверхні. Магнітна індукція змінюється в залежності від відстані до сталевієї основи, тому вимірюючи цю індукцію, можна визначити товщину покриття.

Контроль міцності зчеплення

Для контролю пористості покриття відбирають для кожної партії від 0,1 до 10% деталей, проте не менше 3 штук. Цей процес дозволяє забезпечити репрезентативність вибірки та ефективно оцінити якість всієї партії.

Для визначення міцності зчеплення покриття з металом основи використовують метод обпиловки. Цей метод передбачає затискання зразка з покриттям у лещата та проведення обпилення по зрізу напилком з набором дрібних зубів. Обпиловку роблять у напрямку від основного металу до покриття під кутом 45 градусів. Під час цього процесу не повинно спостерігатися відшарування покриття. Цей метод застосовується для деталей з покриттям товщиною більше 5 мкм [4].

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.6. Карта технологічного процесу

Таблиця 1.2 – Карта технологічного процесу

№	Операція	Матеріали		Режим		
		Назва	К-сть, г/л	Температура, °С	Густина струму, А/дм ²	Час, хв
1	Завантаження на підвіску	-	-	-	-	-
2	Знежирення в органічному розчиннику	Бензин	-	10...25	-	0,2...0,5
3	Знежирення катодне	NaOH Na ₂ CO ₃ Na ₃ PO ₄ Рідке скло	10...20 20...30 30...50 3...5	70-80	2...10	5
4	Промивання в теплій воді	Проточна вода	-	50...60	-	0,25...0,5
5	Промивка в холодній воді	Проточна	-	15...25	-	0,25... 0,5
6	Травлення	HCl Уротропін	200 4...5	25	-	2
7	Промивання	Проточна вода	-	10...25	-	0,25...0,5
8	Цинкування	ZnCl ₂ KCl H ₃ BO ₃ Лимеда НЦ-10 Лимеда НЦ-20	60-120г/л 180-230г/л 15-30г/л 30-70г/л 2.5-5г/л	15...30	15...30	15...30

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ

Продовження таблиці 1.2

9	Промивання у ванні вловлювання	Вода деіонізована	-	10...25	-	0,25...0,5
10	Освітлення	HNO ₃	10...30	25	-	0,25
11	Промивання	Проточна вода	-	10...25	-	0,25...0,5
12	Хроматування	HNO ₃ CrO ₃ Na ₂ SO ₄	3...7 10...15 10...15	25	-	0,25...0,8
13	Промивання у ванні вловлювання	Вода	-	10...25	-	0,25...0,5
14	Промивка тепла	Тепла вода	-	40...50	-	0,25...0,5
15	Сушка	-	-	50	-	10...15
16	Демонтаж деталі з підвіски	-	-	-	-	-
17	Контроль	-	-	-	-	-

1.3. Вибір і розрахунки обладнання для нанесення гальванічних покриттів

1.3.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний річний фонд робочого часу обладнання T при перервному виробництві розраховується на основі кількості календарних днів у році (366), за винятком вихідних (104). Святкові дні не враховуються, оскільки під час воєнного стану вони скасовуються. Отже, при п'ятиденному робочому тижні, що триває 40 годин, і при двозмінному режимі роботи, він складає [5]:

$$T_H = \left((T_K - T_B) \cdot \frac{t_{\text{тиж}}}{t_{\text{рб дн}}} \right) \cdot n_{\text{змін}} = \left((366 - 104) \cdot \frac{40}{5} \right) \cdot 2 = 4192 \text{ год}$$

Дійсний річний фонд робочого часу обладнання T_d (год) визначається на основі T_H , який враховує загальні річні витрати часу на неминучі простої обладнання ($K_{\text{пр}}$). У гальванічному виробництві ці простої можуть становити від 1 до 3 % [5].

$$T_d = T_H - K_{\text{пр}} \cdot T_H = 4192 - 0,03 \cdot 4176 = 4066,7 \text{ год}$$

1.3.2. Визначення виробничої програми обладнання

Для визначення річної виробничої програми обладнання потрібно збільшити надану виробничу програму на величину виправного браку деталей $K_{\text{бр}}$. Припускають, що загальний $K_{\text{бр}}$ складає 2 %. Таким чином, річна виробнича програма обладнання в м^2 буде [5]:

$$P_p = P_z + K_{\text{бр}} \cdot P_z = 16600 \text{ м}^2 + 0,02 \cdot 16600 \text{ м}^2 = 16932 \text{ м}^3$$

Добова виробнича програма $P_{\text{доб}}$ складає:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_p}{T_{\text{доб}}} = \frac{16932}{262} = 64,63 \frac{\text{м}^2}{\text{день}}$$

де $T_{\text{доб}}$ – кількість робочих днів у календарному році.

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Годинна виробнича програма P_r визначається як [5]:

$$P_{\text{год}} = \frac{P_p}{T_d} = \frac{16932}{4066,7} = 4,16 \frac{\text{м}^2}{\text{год}}$$

1.3.3 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

Попередньо розраховують технологічний час електроосадження покриття на деталь, враховуючи низку параметрів:

$$\tau_T = \frac{\delta_{\text{п}} * d_M * 60 * 10^{-2}}{B_c * k_e * i_k} = \frac{12 * 7,13 * 60 * 10^{-2}}{0,95 * 1,22 * 1,8} = 24,6 \text{ хв}$$

де $\delta_{\text{п}}$ – товщина покриття, мкм; d_M – густина металу покриття, г/см³; B_c – катодний вихід за струмом; k_e – електрохімічнийб еквівалент, г/А·год; i_k – катодна середня густина струму, А/дм³.

Тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці[5]:

$$t = t_m + t_{\text{об}} = 24,6 + 2 = 26,6 \text{ хв}$$

де t_m — технологічний час (час обробки деталей у ванні), $t_{\text{об}}$ — час обслуговування, необхідний для завантаження та вивантаження деталей з гальванічної ванни, який зазвичай становить 1-3 хвилини.

Загальна кількість розрахованих завантажень [5]:

$$n = \frac{T_d * 60}{\tau * K_{\text{об}}} = \frac{4066,7 * 60}{26,6 * 1,1} = 8339,1$$

де $K_{\text{об}} = 1,1$ — коефіцієнт, що враховує затрати часу на початковий запуск обладнання, кінцеве вивантаження ванни та допоміжні операції.

Разове завантаження усіх ванн становить:

$$Y_c = \frac{P_p}{n} = \frac{16932}{8339,1} = 2,03 \text{ м}^2$$

Перерахунок існуючого обладнання

Розміри ванни: 2000×1000×1000 мм

$$l_{\Pi} = l - 2l_1 = 2 - 2 \cdot 0,15 = 1,7 \text{ м}$$

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

$$h_{\Pi} = h - h_1 - h_2 - h_3 = 1 - 0,15 - 0,05 - 0,1 = 0,7 \text{ м}$$

де h – внутрішня висота гальванічної ванни, м; h_1 – відстань від дна гальванічної ванни до нижнього краю підвіски; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту (0,05 м); h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю гальванічної ванни (0,10 – 0,15 м).[5]

Визначимо кількість деталей N_d , які кріпляться на одну підвіску. Щоб уникнути взаємного екранування деталей, між ними необхідно залишити зазори (20мм).

Габарити деталі 1122×160. Виходячи з цього розраховуємо кількість деталей які можна розмістити в довжину та у висоту.

В довжину:

$$1700 = n(1122 + 20) + 20$$

$$n = 1$$

В висоту:

$$700 = n(160 + 20) + 20$$

$$n = 3,7 \approx 4$$

Загальна кількість деталей:

$$1 \cdot 4 = 4$$

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

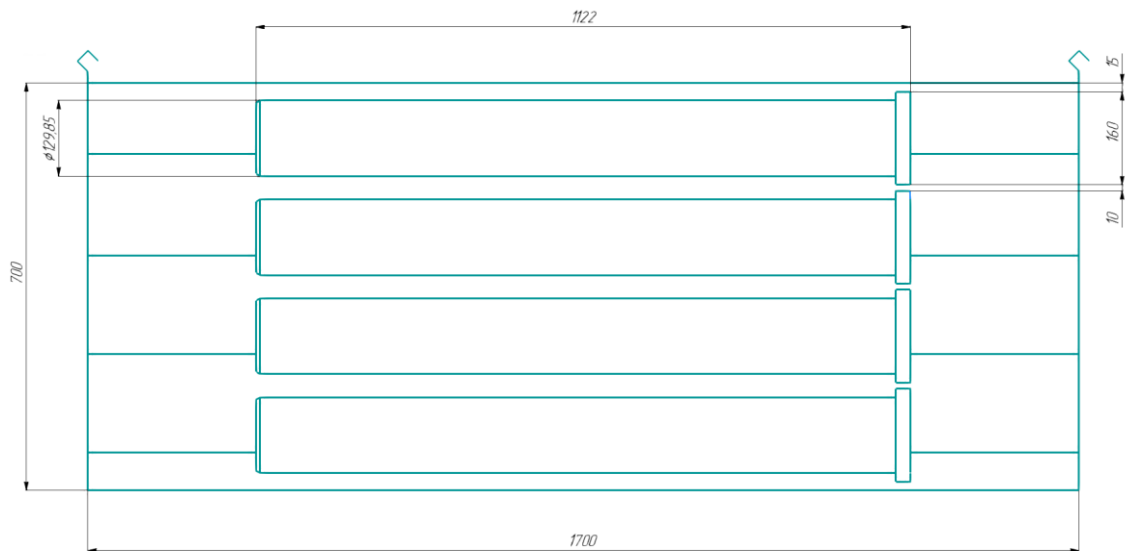


Рис. 2 Схема розташування деталей на підвісці

$S_d = 0,72 \text{ м}^2$ – площа поверхні однієї деталі що покривається.

Виходячи з цих даних визначаємо сумарну площу поверхні деталей які кріпляться на одну підвіску.

$$S_n = S_d \cdot n_d = 0,72 \cdot 4 = 2,88 \text{ м}^2$$

де S_d – поверхня однієї деталі; n_d – кількість деталей на одній підвісці.

Розрахунок одноразового завантаження у ванну $S_{оз}$: [5]

$$S_{оз} = S_n + N_d = 2,88 \cdot 4 = 11,52 \text{ м}^2$$

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

Розрахунок відстані між анодом та ближнім краєм підвіски, перевіряєм чи відповідає вона нормам, які становлять 0,1 – 0,25 м.

$$l_{a-k} = \frac{B - B_n - 2B_a - 2B_l}{2} = \frac{1 - 0,03 - 2 \cdot 0,03 - 2 \cdot 0,2}{2} = 0,255 \text{ м}$$

де B – внутрішня ширина гальванічної ванни; B_n – товщина підвіски разом з деталями; B_a – товщина анодів; B_l – відстань між боковою стінкою ванни та анодом, приймають 0,15 – 0,25 м [5].

Розрахунок кількості ванн, які потрібно щоб виконати річну програму:

$$n_B = \frac{Y_c}{S_{03}} = \frac{2,03}{2,88} = 0,704 \approx 1 \text{ шт}$$

Розраховуємо річну продуктивність обладнання, виходячи з кількості ванн:

$$P'_p = n_B * S_{03} * \frac{T_d * 60}{\tau * K_{об}} = \frac{1 * 2,88 * 4066,7 * 60}{26,6 * 1,1} = 24016,6 \text{ м}^2$$

Розрахунок коефіцієнту завантаження обладнання:[5]

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P'_p} = \frac{16932}{24016,6} = 0,7$$

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

1.4. Розрахунки технологічних параметрів

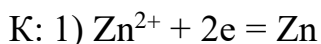
1.4.1 Баланс струму на гальванічній ванні

Розрахунок сили струму для вибору джерела живлення постійним струмом у ванні. Сила струму I , А в однопозиційній ванні визначається як добуток технологічної густини струму на катоді i_k , що становить 180 А/м^2 , на площу деталей одноразового завантаження S_{03} , яка дорівнює $2,88 \text{ м}^2$.

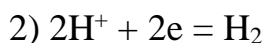
$$I = K \cdot i_k \cdot S_{03} = 1,1 \cdot 180 \cdot 2,88 = 570,24 \text{ А}$$

де коефіцієнт K , який враховує втрати електроенергії на контактах підвісного пристрою під час осадження металу, вибирається в межах $K = 1,03 \dots 1,15$.

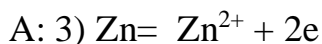
Реакції на електродах:[2]



$$Vc_1 = 95\%$$



$$Vc_2 = 5\%$$



$$Vc_3 = 100\%$$

Струм який витрачається:

$$I_i = \frac{I \cdot Vc}{100}$$

На катоді:

$$I_1 = \frac{I \cdot Vc_1}{100} = \frac{570,24 \cdot 95}{100} = 541,73 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{I \cdot Vc_2}{100} = \frac{570,24 \cdot 5}{100} = 28,5 \text{ А}$$

На аноді:

$$I_3 = \frac{I \cdot Vc_3}{100} = \frac{570,24 \cdot 100}{100} = 570,2 \text{ А}$$

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 - Баланс електрики на ванні цинкування за 1 годину роботи

Надходження	Q, А·год	%	Витрати	Q, А·год	%
На катоді:					
Від зовнішнього джерела струму	570,24	100	Виділення цинку	541,73	95
			Виділення водню	28,5	5
Разом	570,24	100	Разом	570,23	100
На аноді:					
Від зовнішнього джерела струму	570,24	100	Розчинення цинку	570,24	100
Разом	570,24	100	Разом	570,24	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 (ΔU_I), та падіння напруги на контактах (ΔU_K). Анод розчинний, цинковий[3].

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

Різниця потенціалів[2]:

$$\Delta E = E_a - E_k = -0,76 - (-0,44) = -0,32 \text{ В}$$

Середня густина струму:

$$i_{\text{ср}} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{180 \cdot 100} = 134,16 \text{ A/m}^2$$

Омічний спад напруги в електроліті розраховуємо за формулою:

$$\Delta U_{\text{ОМ}} = K \cdot i_{\text{ср}} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e = 1,1 \cdot 134,16 \cdot 0,755 \cdot 15,6 \cdot 10^{-2} = 1,74 \text{ В}$$

де $i_{\text{ср}}$ – середня густина струму в міжелектродному просторі, A/m^2 ; l_{a-k} – відстань між анодом та підвіскою з деталями; ρ_e – питомий електричний опір електроліту, $\text{Ом}\cdot\text{м}$

Виходячи з цих даних розраховуємо напругу на ванні[5]:

$$U = \frac{(E_a - E_k + \Delta U_{\text{ОМ}})}{0,9} = \frac{(-0,32 + 1,74)}{0,9} = 1,57 \text{ В}$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Delta U_l + \Delta U_k = 0,1 \cdot U = 0,1 \cdot 1,57 = 0,157 \text{ В}$$

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Мінімальна напруга джерела струму становить:

$$U_{\text{дс}} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 1,57 = 1,727$$

Складаємо баланс напруги:

Таблиця 1.4 – Баланс напруги на ванні цинкування

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ванні	1,57	100	Різниця потенціалів під струмом, $iE_a - iE_k$	0	38,7
			Падіння напруги в електроліті, $\Delta U_{\text{ом.ел-т}}$	1,5	50
			Падіння напруги в провідниках першого роду і контактах, $\sum \Delta U_{\text{ом}}$	0,157	10,9
Разом	1,57	100	Разом	1,727	100

1.4.3. Розрахунок споживання електричної енергії та вибір джерела живлення

Обираючи джерело струму, будемо керуватись напругою на ванні та силою струму. Сила струму $I = 237,8$ А, а напруга $U = 3,43$ В, звідси обираємо джерело постійного струму ТЕ1-400/12Т. 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[3].

Коефіцієнт завантаження для випрямного агрегату:

$$K = \frac{N_{дс}}{N_{пасп}} = \frac{U \cdot I \cdot 10^{-3}}{U_{пасп} \cdot I_{пасп} \cdot 10^{-3}} = \frac{1,57 \cdot 570,24 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = 0,1865$$

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

$$W_{заг} = W_{хім} + W_{дж}$$

Енергія $W_{хім}$ відображає зміни матеріального стану, що виникають внаслідок електрохімічних реакцій в електролізері, тоді як енергія $W_{дж}$ витрачається на нагрівання електроліту і повинна враховуватися при складанні теплового балансу[2].

$$W_{заг} = 1,57 \cdot 570,24 \cdot \frac{26,6}{60} \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 1428,86 \text{кДж/год}$$

Так, як в процесі використовується розчинний анод, то з електричної енергії $W_{заг}$, буде утворюватися теплова енергія $W_{дж}$. Їхні значення будуть наближеними[2]:

$$W_{заг} \approx W_{дж}$$

Дані заносимо до таблиці 1.5

Таблиця 1.5 – Баланс енергії

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	1428,86	100	Джоулева енергія Хімічна енергія	1428,86	100
Разом	1428,86	100	Разом	1428,86	100

1.5. Тепловий розрахунок гальванічної 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. Максимально можливу температуру нагріву ванни T_k , К, визначають за формулою:[1]

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

де V_1 – об'єм електроліту, 1,8 м³; C_1 – питома масова теплоємність електроліту, 3670 Дж/(кг·К); d_1 – густина електроліту, 1,1 кг/дм³; C_2 – 1630 Дж/(кг·К); m_2 - маса ванни, 192,06 кг; C_3 – теплоємність матеріалу аноду, 380 Дж/(кг·К); m_3 - маса анодів у ванні, 24 кг.

$$T_k = 293 + \frac{1428,86}{1,8 \cdot 3670 \cdot 1,1 + 1630 \cdot 225 + 380 \cdot 24} = 293,00373 \text{ K}$$

Перерахунок на градуси Цельсія:

$$T_k = 293,00373 - 273 = 20,00373 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

Витрата анодів на початковий запуск розраховується за формулою:

$$G_{аз} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_a \cdot h_v \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot n_v$$
$$G_{аз} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 0,15 \cdot 0,7 \cdot 7100 \cdot 0,2 = 143,136 \text{ кг}$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймають $K_1 = 0,6$); K_2 – коефіцієнт, який враховує співвідношення анодів та висоти ванни (приймають $K_2 = 0,8$); $n_{аш}$ – кількість анодних штанг у ванні; l_a – внутрішня довжина ванни, м; d_a – густина матеріалу анодів, кг/м³; δ_a – товщина анодів, м; n_v – кількість ванн даного типу; h_v – висота ванни, м.[1]

Норма витрат анодів:

$$A_H = d_a \cdot 1,06 \cdot 10^{-6} = 7100 \cdot 1,06 \cdot 10^{-6} = 0,00752 \text{ кг/м}^2$$

Витрата нерозчинних анодів на виконання річної програми:

$$G_{ар} = A_H \cdot S \cdot \delta_p = 16932 \cdot 0,00752 \cdot 12 = 1527,94 \text{ кг.}$$

1.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів

Витрати кожного компонента на запуск:

$$G_i = C_i \cdot V_v \cdot K_{зап} \cdot n_v,$$
$$G_{ZnCl_2} = 90 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 144 \text{ кг}$$
$$G_{KCl} = 205 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 328 \text{ кг}$$
$$G_{H_2SO_4} = 22,5 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 36 \text{ кг}$$
$$G_{\text{лимеда НЦ-10}} = 50 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 80 \text{ кг}$$
$$G_{\text{лимеда НЦ-20}} = 3,5 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 5,6 \text{ кг}$$

Таблиця 1.6 – Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ п/п	Найменування компонента розчину	Концентрація компонента розчину, кг/м ³	Витрата компонента, кг
1	ZnCl ₂	90	144
2	KCl	205	328
3	H ₃ BO ₃	22,5	36
4	Лимеда НЦ-10	50	80
5	Лимеда НЦ-20	3,5	5,6

Об'єм електроліту, що виноситься з ванни:[1]

$$V_{BT} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 16932 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,92 \text{ м}^3,$$

Витрати кожного компонента на виконання річної виробничої програми:

$$G_i = C_i \cdot V_{BT},$$

$$G_{ZnCl_2} = 90 \cdot 2,92 = 262,8 \text{ кг}$$

$$G_{KCl} = 205 \cdot 2,92 = 598,6 \text{ кг}$$

$$G_{H_3BO_3} = 22,5 \cdot 2,92 = 65,7 \text{ кг}$$

$$G_{\text{лимеда НЦ-10}} = 50 \cdot 2,92 = 146 \text{ кг}$$

$$G_{\text{лимеда НЦ-20}} = 3,5 \cdot 2,92 = 10,22 \text{ кг}$$

$$V_{\Gamma}^t = \frac{V_{H_2}^0 \cdot 1013 \cdot (273 + t_{\text{ел}})}{273(P_{\text{г}} - P_{H_2O})} = \frac{4,86 \cdot 1013 \cdot (273 + 20)}{273 \cdot (101,3 - 23,4)} = 67,83 \text{ м}^3$$

Витрати винесення води із газами:

$$C_{H_2O}^{\text{в}} = C'_{H_2O} \cdot V_{\Gamma}^t = 0,00024 \cdot 67,83 = 0,016 \text{ кг}$$

Парціальний тиск витрат води за температури та вологості навколишнього середовища:

$$P_{\Pi} = P_s \cdot \frac{\varphi}{1000} = 2337 \cdot \frac{65}{100} = 1519 \text{ Па}$$

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту:

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot K_B \cdot S_e (P_{H_2O} - P_{\Pi}) \cdot T_d \cdot n_B}{P_{\text{г}}} \\ = \frac{45,6 \cdot 1,1 \cdot (234 - 16,36) \cdot 4066,7 \cdot 1}{1013} = 43825,7 \text{ кг.}$$

Критерій остаточної промивки деталей:

$$\frac{C_0}{C_k} = \frac{90}{0,01} \cdot 0,4 = 3600$$

Витрати води на промивання деталей при двоступеневому каскадному промиванні:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot \sqrt{K} \cdot P_{\Gamma} = 0,2 \cdot \sqrt{3600} \cdot 4,16 = 49,92 \text{ дм}^3$$

Сумарні витрати води на промивку при виконанні виробничої програми:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,5 = 49,92 \cdot 4066,7 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 304,5 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Гальванічне виробництво відноситься до технологій, які мають значний екологічний вплив через велику кількість стічних вод, що містять токсичні речовини. У процесах гальванізації використовуються неорганічні сполуки, головним чином іони важких металів, таких як хром, свинець, залізо, цинк, кадмій, мідь. Особливо небезпечні сполуки хрому та кадмію, які навіть у невеликих кількостях можуть бути смертельними для людини.

Цинк має негативний вплив на водні організми та заважає біологічному очищенню води. Проблема очищення стічних вод від виробництва гальваніки є актуальною, оскільки завдає значної шкоди не лише людям, а й рослинному та тваринному світу.[2]

У цеху використовують електрохімічний метод для очищення стічних вод, який передбачає попереднє видалення цинку з ванни за допомогою електроекстракції. Оскільки концентрація цинку у промивній воді низька, процес його електроосадження ускладнений. Для забезпечення ефективного осадження металу за низьких густинах струму і компенсації дифузійних обмежень використовують вуглеграфітові катоди з порами, крізь які промивна вода прокачується. Вони дозволяють знижувати концентрацію цинку до менше 0,1 мг/л і зберігають свої властивості навіть після повторного використання. Після видалення цинку промивна вода змішується з іншими стічними водами та піддається доочищенню електрокоагуляцією. Цей метод ефективно використовується для очищення стічних вод від дрібнодисперсних і органічних забруднень, емульсій та мастил. Він має численні переваги порівняно з реагентним методом, такі як компактність установки, простота експлуатації і зниження використання реагентів. Однак недоліком є витрати на залізні аноди та електроенергію.[6]

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1. кадрова підготовка виробництва

Перед запуском цеху цинкування потрібно провести аналіз техніко-економічних показників цього проекту та розрахувати собівартість продукції. На основі цих даних буде зроблено висновок про доцільність реалізації проекту і його можливу прибутковість.

Організаційна структура підрозділу хімічного виробництва, що займається гальванічним нанесенням цинкового покриття, має лінійну структуру.

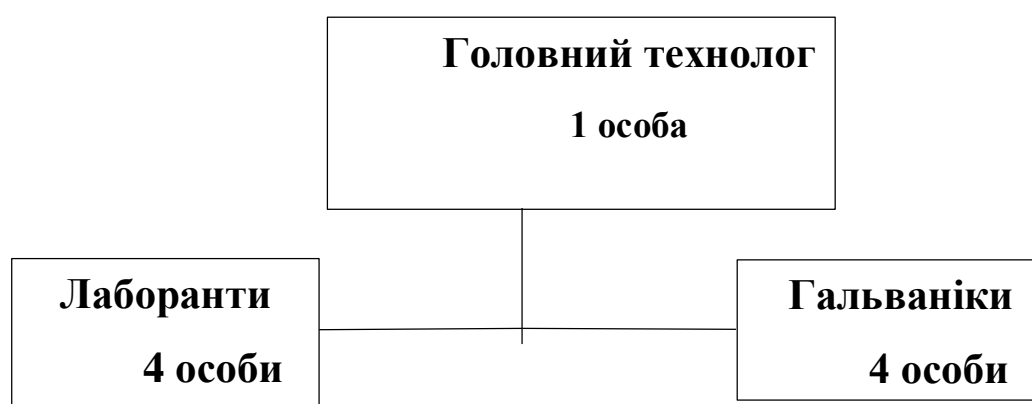


Рис 5.1 – Структура організації підрозділу хімічного виробництва.

3.2. Технологічна підготовка виробництва

Технологічна підготовка виробництва нанесення цинкового покриття відбувається за технологічною схемою наведеною в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технологічна схема нанесення цинкового покриття

<i>Виробничий процес</i>	<i>Тривалість, хв</i>	<i>Обладнення</i>
<i>Завантаження на підвіску</i>	5	-
<i>Знежирення в орг. розчиннику</i>	0,5	<i>Ванна знежирення</i>

<i>Промивання</i>	<i>2</i>	<i>Ванна промивання</i>
<i>Знежирення катодне</i>	<i>5</i>	<i>Ванна електрохімічного знежирення</i>
<i>Промивання в теплій воді</i>	<i>1</i>	<i>Ванна промивання</i>
<i>Промивання в холодній воді</i>	<i>1</i>	<i>Ванна промивання</i>
<i>Травлення</i>	<i>2</i>	<i>Ванна травлення</i>
<i>промивання</i>	<i>1</i>	<i>Ванна промивання</i>
<i>Цинкування</i>	<i>26,6</i>	<i>Ванна цинкування</i>
<i>Промивання у ванні вловлювання</i>	<i>1</i>	<i>Ванна вловлювання</i>
<i>Промивання</i>	<i>1</i>	<i>Ванна промивання</i>
<i>Освітлення</i>	<i>0,5</i>	<i>Ванна освітлення</i>
<i>Промивання</i>	<i>1</i>	<i>Ванна промивання</i>
<i>Хромітування</i>	<i>1</i>	<i>Ванна хромітування</i>
<i>Промивання у ванні вловлювання</i>	<i>1</i>	<i>Ванна вловлювання</i>
<i>Промивання в теплій воді</i>	<i>1</i>	<i>Ванна промивання</i>
<i>сушка</i>	<i>15</i>	<i>сушарка</i>
<i>Демонтаж деталі з підвіски</i>	<i>2</i>	<i>-</i>

Усього	67,6	-
--------	------	---

Визначення оптимального виду руху предметів праці.

Для визначення річної виробничої програми обладнання потрібно збільшити надану виробничу програму на величину виправного браку деталей $K_{бр}$. Припускають, що загальний $K_{бр}$ складає 2 %. Таким чином, річна виробнича програма обладнання в m^2 буде:[2]

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 16600 \text{ м}^2 + 0,02 \cdot 16600 \text{ м}^2 = 16932 \text{ м}^3$$

Добова виробнича програма $P_{доб}$ складає:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{16932}{262} = 64,63 \frac{\text{м}^2}{\text{день}}$$

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

Годинна виробнича програма P_r визначається як:

Підрозділ працює у двозмінному режимі по 16 годин на день. В такому випадку виробнича програма однієї зміни становить[2]:

$$P_{зм} = \frac{64,63}{2} = 32,32 \text{ м}^2/\text{зміну},$$

Кількість циклів цинкування за одну зміну, які необхідні для забезпечення виробничої програми:

$$m = \frac{P_{зм}}{U_c} = \frac{32,32}{2,18} = 15 \text{ завантаження/зміну},$$

де U_c – площа разового завантаження ванни цинкування, приведена в технологічних розрахунках.

Розрахуємо тривалість виробничого циклу для різних ВРПП:[2]

1)Для послідовного:

Випуск для послідовного ВРПП:

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{реальні}} = \frac{P_{\text{в.ц.}}^{\text{посл.}}}{\sum_1^m t_i} = \frac{16 \cdot 60}{69,56} = 14 \text{ разів,}$$

Кількість виготовленої продукції за рік:

$$V_{\text{посл}}^{\text{річ}} = 14 \cdot 262 \cdot 2,03 = 7446,04 \text{ м}^2$$

Послідовний рух предметів праці передбачає початок кожної наступної операції складного технологічного процесу після закінчення виготовлення партії на попередній операції. Використовуючи послідовний рух предметів праці на виробництві, буде неможливо досягти необхідного випуску продукції.

Послідовний рух предметів праці передбачає обробку виробів на наступній операції лише після завершення обробки всіх деталей на попередній операції. Недоліком такого підходу є значна тривалість як окремих операцій, так і виробничого циклу в цілому. Така організація виробничого процесу доцільна лише при невеликих партіях виробів та низькій трудомісткості операцій[7].

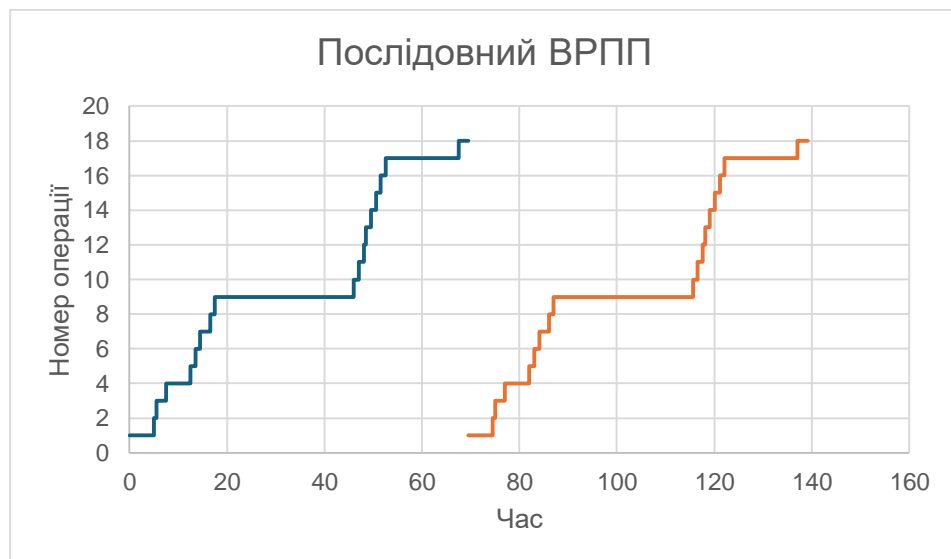


Рис. 5.2 – Графік послідовного ВРПП

2. Для паралельного:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{пар.}} + t_{\text{max}} - \sum_1^m t_1}{t_{\text{max}}} = \frac{16 \cdot 60 + 26,66 - 67,6}{26,6} = 35 \text{ раз,}$$

де t_{max} – час найдовшої операції (26,6 хв).

Тоді випуск становить:

$$V_{\text{річ.}}^{\text{пар.}} = 35 \cdot 262 \cdot 2,03 = 18615 \text{ м}^2,$$

Паралельний рух предметів праці передбачає майже миттєву обробку кожної деталі на наступній операції після завершення попередньої. Кожна підвіска обробляється у найкоротший термін. Проте, різна продуктивність операцій і різний час обробки деталей партії на кожній операції все ж обмежують застосування цього виду руху предметів праці, що призводить до простоїв у роботі обладнання.

3. Для синхронного:

Для реалізації річної програми необхідно визначити мінімальну кількість завантажень. Попередні розрахунки показують, що для цього потрібно виконувати 15 завантажень за зміну. Отже, за дві зміни потрібно здійснити 30 завантажень. Таким чином[7]:

$$N_{\text{завант.}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{синх.}} + R - \sum_1^m t_1}{R} = \frac{16 \cdot 60 + R - 67,6}{R} = 30 \text{ разів,}$$

$$R = 30,7 \approx 31$$

$$V_{\text{річ.}}^{\text{синх.}} = 31 \cdot 262 \cdot 2,03 = 16\,488 \text{ м}^2,$$

Таблиця 3.3 – Графік змінності

дні Прац.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Техн.1	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В
Бриг.1	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	В
Бриг.2	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	В

«В»- вихідний день

«1»-перша зміна(06:00-14:00)

«2»-друга зміна(14:00-22:00)

3.3. Матеріальна, документальна та організаційно-економічна підготовка виробництва

Таблиця 3.4 – Склад основних фондів підприємства [8]

Найменування основного засобу	Кількість, шт	Вартість одиниці обладнання, грн
Ванна промивання в теплій воді	2	30000
Ванна промивання в холодній воді	1	10000
Ванна промивання в гарячій воді	1	20000
Ванна хімічного знежирення	1	14000
Ванна електрохімічного знежирення	1	50000
Ванна травлення	1	25000
Ванна цинкування	2	80000
Ванна освітлення	1	25000
Будівлі та споруди	-	3500000
Сушильна шафа	1	20000
трубопроводи	-	200000
Ванна уловлювання	2	24000
Система автоматизації	1	25000
Нематеріальні активи	-	200000
Всього	12	4 168 000

Таблиця 3.5 – Тарифна сітка цеху гальванічних покриттів

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти
1	1	6	1,47	11	2,04	16	2,73
2	1,09	7	1,58	12	2,17	17	2,85
3	1,18	8	1,69	13	2,3	18	3,02
4	1,27	9	1,80	14	2,42	19	3,18
5	1,36	10	1,82	15	2,58	20	3,34

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
Гол. Тех.	1	19	3,18	148,66	1189,28*	311591,4**
Гальваніки	4	10	1,82	85,08	2722,56*	713310,7**
Лаборанти	4	14	2,42	113,13	3620,16*	948481,9**
Всього	9	-	-	941,5	7532*	1 973384**

Примітка. Тарифна ставка за одну годину роботи працівника першого розряду становить 46,75 грн;

* Заробітна плата за день врахована за 8 годин роботи для усіх працівників;

** у підрахунку заробітної плати було враховано кількість персоналу.

Отже, нарахування на ЗП складають:

$$H = 0,22 \cdot ЗП = 0,22 \cdot 1\,973\,384 = 434\,145 \text{ грн/рік}$$

									Арк.
									49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ				

ФОП:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + \text{Н} = 1\,973\,384 + 434\,144,48 = 2\,407\,528,5 \text{ грн/рік}$$

1. Амортизація:

1. Амортизація будівель та споруд:

$$A_{\text{буд}} = \frac{N_A^{\text{буд}}}{T_{\text{ек}}} = \frac{3\,500\,000}{20} = 175\,000 \text{ грн/рік,}$$

2. Амортизація приладів та обладнання:

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

3. Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{нм.а}} = \frac{N_A^{\text{нм.а}}}{T_{\text{ек}}} = \frac{200\,000}{3} = 66\,667 \frac{\text{грн}}{\text{рік}},$$

4. Амортизація трубопроводів:

$$A_{\text{тр}} = \frac{N_A^{\text{тр}}}{T_{\text{ек}}} = \frac{200\,000}{15} = 13\,333 \text{ грн/рік,}$$

5. Всього:

$$A = 175\,000 + 53\,600 + 66\,667 + 13\,333 = 308\,600 \text{ грн/рік.}$$

Таблиця 3.7 – Річні оборотні фонди цеху гальванічних покриттів

Найменування	Ціна, грн/кг	Витрата на рік, кг	Вартість, грн
Хлорид цинку	240	262,8	63 072
Хлорид калію	53	598,6	31 726
Борна кислота	80	65,7	5 256
Лимеда НЦ-10	180	146	26 280
Лимеда НЦ-20	200	10,2	1 040
Електроенергія	5,6	42 365	237 244
Вода	34	270	9180
Всього:			365 618

Таблиця 3.8 – Калькуляція продукції

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

№	Елементи	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/м ²	
1	Амортизація	308 600	18,23	9,5
2	Оборотні фонди	371 798	21,9	11,15
3	Заробітна плата	1 973 384	116,5	61,2
4	Нарахування ЗП	434 145	25,6	13,5
5	Нематеріальні активи	200000	11,8	6,2
6	Затрати на ремонт	41 680	2,46	1,29
7	Виробнича собівартість	3 332 607	190,8	100
8	Невраховані витрати	666 521,5	39,36	20

Повна собівартість розраховується з урахуванням непрямих витрат, які становлять 20% від виробничої собівартості[7].

$$C_{\text{неврах.витр.}} = 0,2 \cdot C_{\text{вир}} = 0,2 \cdot 3\,332\,607 = 666\,521,5 \text{ грн/рік.}$$

Техніко-економічні показники

Невраховані витрати беремо за 20%, тоді[8]:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{вир}} \cdot 1,2 = 190,8 \cdot 1,2 = 228,48 \text{ грн/м}^2$$

Цехова собівартість з 80% накладних:

$$C_{\text{кінц}} = C_{\text{цех}} \cdot 1,8 = 228,48 \cdot 1,8 = 411,26 \text{ грн/м}^2$$

Індивідуальне завдання

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Завдання: оцінка зміни вартості технології при переході від традиційного електроліту (широко вживаного) до хлоридного при незмінній продуктивності лінії

Одним з найрозповсюджених електролітів для цинкування є пірофосфатний.

Час електролізу для пірофосфатного електроліту:

$$\tau_T = \frac{\delta_{\text{п}} * d_M * 60 * 10^{-2}}{B_c * k_e * i_k} = \frac{12 * 7,13 * 60 * 10^{-2}}{0,92 * 1,22 * 1,8} = 25,4 \text{ хв}$$

де $\delta_{\text{п}}$ – товщина покриття, мкм; d_M – густина металу покриття, г/см³; B_c – катодний вихід за струмом (доля одиниці); K_e – електрохімічний еквівалент, г/А. год; i_k – середня катодна густина струму, А/дм².

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ

Арк.

52

Таблиця 3.9 – Порівняльний аналіз технічних показників

Показник	хлоридний електроліт	Пірофосфатний електроліт
Шліфування деталі	+	+
Знежирення	+	+
Травлення	+	+
Активація	-	-
Підігрів електроліту	-	+
Освітлення	+	+
Хромітування	+	+
Вихід за струмом	88%	92%

Нанесення захисного цинкового покриття з пірофосфатного електроліту на сталеві деталі здійснюється відповідно до технологічної схеми, що містить послідовні операції, описані у таблиці 3.9.

Таблиця 3.10 – Класифікація виробничих процесів з використанням пірофосфатного електроліту

<i>Виробничий процес</i>	<i>Тривалість, хв</i>
<i>Завантаження на підвіску</i>	5
<i>Знежирення хімічне</i>	0,5
<i>Промивання</i>	2
<i>Знежирення катодне</i>	5

Промивання теплій воді	в	1
Промивання холодній воді	в	1
Травлення		2
промивання		1
Цинкування		27,4
Промивання ванні вловлювання	у	1
Промивання		1
Освітлення		0,5
Промивання		1
Хромітування		1
Промивання ванні вловлювання	у	1
Промивання теплій воді	в	1
сушка		15
Демонтаж деталі з підвіски		2
Усього		68,4

Розрахуємо ВРПІ для пірофосфатного електроліту:

Для паралельного:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{пар.}} + t_{\text{max}} - \sum_1^m t_1}{t_{\text{max}}} = \frac{16 \cdot 60 + 27,4 - 68,4}{27,4} = 34 \text{ раз,}$$

Випуск становить:

$$V_{\text{річ.}}^{\text{пар.}} = 34 \cdot 262 \cdot 2,18 = 19\,419 \text{ м}^2,$$

Порівняємо оборотні річні фонди:

Таблиця 3.11 – Річні оборотні фонди цеху гальванічних покриттів

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Найменування	Ціна, грн/кг	Витрата на рік, кг	Вартість, грн
Сульфат цинку	50	211,3	11 065
Амоній хлорид	40	158,4	6 336
Пірофосфат калію	120	871,5	104 580
Декстрин	65	7,03	456,95
Електроенергія	5,6	42 365	237 244
Всього:			359 681,9

різниця в оборотних фондах між цими двома електролітами пояснюється тим, що в пірофосфатному електроліті використовується менше реагентів, та вони дешевше.

Таблиця 3.12 – Калькуляція продукції

№	Елементи	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/м ²	
1	Амортизація	308 600	18,55	9,3
2	Оборотні фонди	359 681,9	21,25	10,8
3	Заробітна плата	1 973 384	116,5	59,5
4	Нарахування ЗП	434145	25,6	13
5	Нематеріальні активи	200000	11,8	6
6	Затрати на ремонт	41 680	2,4	1,25
7	Виробнича собівартість	3 317 491	196	100
8	Невраховані витрати	663 498	39,2	20

Повна собівартість розраховується з урахуванням непрямих витрат, які становлять 20% від виробничої собівартості.

$$C_{\text{неврах.витр.}} = 0,2 \cdot C_{\text{вир}} = 0,2 \cdot 3\,317\,491 = 663\,498 \text{ грн/рік}$$

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	

Невраховані витрати беремо за 20%, тоді:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{вир}} \cdot 1,2 = 196 \cdot 1,2 = 235,2 \text{ грн/м}^2$$

Цехова собівартість з 80% накладних:

$$C_{\text{кінц}} = C_{\text{цех}} \cdot 1,8 = 235,3 \cdot 1,8 = 423,4 \text{ грн/м}^2$$

Виходячи з розрахунків, бачимо, що при переході від пірофосфатного електроліту до хлоридного при незмінній продуктивності лінії виробнича собівартість незначно менша під час використання хлоридного електроліту.

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Технологічні процеси нанесення цинкового покриття в цеху гальванічних покриттів включають використання хімічно агресивних, шкідливих, вибухонебезпечних та пожежонебезпечних речовин і матеріалів. У гальванічному цеху також застосовуються механічна, електрична, теплова енергія та енергія стисненого повітря[9].

Всі проектні рішення були розроблені відповідно до вимог охорони праці. Розроблені заходи, спрямовані на забезпечення безпечних умов праці та пожежної безпеки на об'єкті, що проектується.

4.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів. Заходи з охорони праці

Робота на проектованій ділянці включає ручне завантаження та розвантаження гальванічної ванни. Передбачається здійснення контролю всіх показників приладів для забезпечення якісного покриття. Відповідно до ДСН 3.3.6.042 – 99, такі роботи в цеху класифікуються як роботи середньої тяжкості категорії II б[9].

Таблиця 4.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату[5]

Період року	Категорія робіт	Температура, °С					Відносна вологість, %			Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Допустима				Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і не постійних, не більше ніж	Оптимальна, не більше ніж	Допустима на робочих місцях постійних і не постійних, не більше ніж	
			Верхня межа		Нижня межа						
			На робочих місцях								
		Постійних	Не постійних	Постійних	Не постійних						
Холодний	Середньої важкості-ІІб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не більше 0,4	
Теплий		20 - 22	27	29	15	15	40-60	70 (при 25°)	0,3	0,2 – 0,5	

Таблиця 4.2 – Коротка санітарна характеристику проектного гальванічного цеху з нанесення цинкового покриття[9,5].

Ванна освітлення - пасивації	Ванна травлення	Ванна цинкування	Ванна електрохімічного знежирення та цинкування	Назва виробничої дільниці, лабораторії, установки
HNO ³ Випаровування	HCl Випаровування	ZnO Випаровування з поверхні електроліту	NaOH Випаровування з поверхні електроліту	Шкідливі речовини, що виділяються
Подразнюючі, При безпосередньому контакті зі шкірою викликає кислотний опік. роздратовує дихальні шляхи	Подразнює дихальні шляхи, викликає хімічні опіки	Подразнюючі, виражається в ознобі, нудоті, кашлі, поганий апетит, сильна спрага, відчуття стомленості, біль у грудях, сухий кашель.	Подразнюючі, при потраплянні на шкіру та слизові оболонки утворюються сильні опіки, залишаються рубці	Група шкідливої речовини. Характеристика шкідливого впливу
2	2	0,5	0,5	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м ³
3	3	2	2	Клас небезпечності шкідливої речовини
Захисні окуляри, гумові рукавички, прорезинений хімічно стійкий одяг	Респіратор, захисні окуляри, халат	Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавиці, тісно прилягаючі захисні окуляри	Захисні окуляри, гумові рукавички, прорезинений хімічно – стійкий одяг	Засоби індивідуального захисту
Промити великою кількістю води та 2%- м розчином соди	Промити великою кількістю води та 2%-м розчином соди	При потраплянні на шкіру – промити великою кількістю проточної води. При вдиханні – лужні інгаляції	Промити великою кількістю води, потім слабким розчином оцтової кислоти (5%-им)	Засоби до лікарської допомоги
Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2	Флюорат – 02	ХГА «АГАТ»	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони
IV	IV	IV	IV	Клас виробництва згідно СН-245-71
36	36	3а	3а	Санітарна група технологічного процесу згідно ДБН В.2.2-28-2010

Регламентовані умови праці в гальванічному цеху забезпечуються завдяки створенню потужної витяжної вентиляції, підтриманню оптимальної температури повітря в цеху, а також механізації та автоматизації трудомістких і важких етапів робіт. Для працівників передбачені різноманітні засоби індивідуального захисту, зокрема респіратори типу «Пелюсток-А», спецодяг типу «П», спецвзуття, захисні окуляри та гумові рукавиці. Для забезпечення належних умов праці мінімум двічі на місяць проводиться перевірка чистоти повітря робочої зони пиломіром на вміст шкідливих речовин[9].

Для забезпечення чистоти повітря в гальванічному цеху та видалення шкідливих домішок проектом передбачено механічну загальнообмінну припливну та витяжну вентиляційні системи. Продуктивність вентиляційних установок відрегульовано таким чином, щоб повітря циркулювало між суміжними приміщеннями. Гальванічні ванни, де виконуються підготовчі, основні та завершальні операції, оснащені бортовими відсмоктувачами. На вході до гальванічного цеху встановлені теплові завіси для запобігання можливому переохолодженню працівників.

4.1.1. повітря робочої зони

Місцевою витяжною вентиляцією в цеху виступають бортові відсмоктувачі[9].

Місцева вентиляція буде встановлена на ваннах, з поверхні яких можливе виділення токсичних речовин, зокрема на ваннах для електрохімічного знежирення, хімічного травлення та електрохімічного цинкування.

Об'ємну витрату повітря, яке видаляється через бортові відсмоктувачі розраховуємо за формулою:

$$L_{отс} = 3600 \cdot a \cdot b \cdot K_3 \cdot K_t \cdot \sqrt{(t_p \cdot t_n)} \cdot n \cdot b^3, \text{ м}^3$$

де а - довжина ванни (1 м); b - ширина ванни (2 м); t_p – температура розчину; t_n – температура навколишнього середовища; K_3 – коефіцієнт запасу (1,5); K_t - коефіцієнт запасу для двостороннього бортового відсмоктувача; б – безрозмірна характеристика (1/15); n – кількість прямих кутів між границями потоку повітря (n = 4 для вільного розташування ванн).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	дата	ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	
						59

$$K_t = \left(1 + \frac{b}{8 \cdot a}\right)^2$$

Таблиця 5.2 – Коефіцієнти та результати розрахунків

Процес	t_p	t_n	K_t	Кількість ванн	$L_{отс}$
Травлення	20	20	1,56	1	765,8
Знежирення	75	20	1,56	1	3256,5
Цинкування	50	20	1,56	2	2614,2
Сумарно	-				6636,5

4.1.2 Виробниче освітлення

У гальванічному цеху використовуються системи штучного комбінованого та природного комбінованого освітлення. Штучне освітлення розподіляється за функціональністю на робоче, аварійне, ремонтне, охоронне та евакуаційне освітлення. Таким чином, в цеху передбачено систему суміщеного освітлення[11].

Таблиця 4.3 – Норми освітленості і КПО цеху, згідно ДБН В.2.5 – 28:2018[11]

Розряд і підрозділ зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, %	
	Штучне		Природне	Суміщене
	Комбіноване	Загальне	Верхнє і бічне	Верхнє і бічне
IVв	400	200	4 і 1,5	2,4 і 0,9
VIIIа	-	200	3 і 1	1,8 і 0,6

Для освітлення використовуються люмінесцентні лампи ЛБ-40 та ЛБ-60, а для аварійного та евакуаційного освітлення встановлені світильники типу «Альфа». Контроль освітлення проводиться раз на рік за допомогою люкметра РСЕ-UV-40А. Аварійне освітлення повинно становити не менше 5% від нормального освітлення. Для евакуації застосовуються освітлювальні

прилади з освітленістю не менше 0,5 лк на підлозі основних проходів і сходах, та не менше 0,2 лк на відкритих майданчиках[11].

4.1.3 Виробничий шум і вібрація

Джерелами шуму та вібрації в цьому цеху є електродвигуни, вентилятори та компресори. Середній рівень шуму на виробництві становить 86 дБА, що перевищує допустимий рівень. Відповідно до ДСН 3.3.6.037 – 99, гранично допустиме значення рівня шуму складає 80 дБА[12].

Для зниження шуму в проекті передбачено використання засобів звукоізоляції та звукопоглинання, а саме – перегородки та кожухи, що перешкоджають поширенню шуму. На повітропроводах встановлено глушники. Шум зменшується також за рахунок налаштування та балансування приладів. Персонал використовуватиме індивідуальні засоби захисту, зокрема навушники OPTIMUM III та беруші ZM PELTOR EEP[12].

Правильне архітектурне планування цеху також сприятиме зниженню шуму: обладнання буде встановлене таким чином, щоб відбиття шуму від стін було мінімальним. Контроль рівня шуму і вібрації здійснюється за допомогою приладу USB-30[12].

4.1.4 Електробезпека

Гальванічний цех класифікується як особливо небезпечне приміщення за ступенем ризику ураження електричним струмом, що пояснюється наявністю хімічно активного середовища, яке сприяє швидкому руйнуванню електроізоляції струмопровідних частин обладнання[13].

Електричні прилади в цеху живляться від трифазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму з напругою 380/220 В і заземленою нейтраллю. Згідно з ДСТУ 7237:2011, допустимі рівні напруги та струму, що проходять крізь людину, становлять 2 В і 0,3 мА; при аварії – 36 В і 6 мА[13].

На підприємстві найчастіше трапляються випадки однофазного дотику людини до мережі змінного струму. Сила струму, що проходить через людину, в цьому випадку, розраховується за формулою[13]:

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	
		№ докум.	Підпис	Дата		61

$$I_{л} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{(R_{л} + R_0)} = \frac{220 \cdot 10^3}{(3000 + 4)} = 73,2 \text{ мА}$$

де $U_{\phi} = 220$ – фазна напруга, В; $R_{л} = 3000$ – загальний опір тіла людини, Ом; $R_0 = 4$ – опір робочого заземлення нейтралі, Ом.

$$U_{д} = I_{л} \cdot R_{л} = 0,073 \cdot 3000 = 219 \text{ В}$$

При порівнянні розрахункових значень з регламентованими, можна побачити, що порушення вимог ПУЕ може призвести до електричних травм працівників з важкими наслідками. [13]

У цеху впроваджено широкий спектр заходів з електробезпеки, включаючи захисне відключення установок, занулення електрообладнання, ізоляцію електропровідних частин обладнання, низьку напругу для ручних електроінструментів, вирівнювання потенціалів, електричний поділ мереж, блокування, аварійну сигналізацію, а також встановлення знаків безпеки тощо.

Крім того, персонал, що працює в гальванічному цеху, буде забезпечений діелектричними гумовими рукавицями та гумовими ізолюючими підставками. Передбачено також регулярні інструктажі, включаючи навчання з електробезпеки[13].

4.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

У гальванічному цеху, під час кожного етапу обробки деталей, існує ризик порушення нормального ходу процесів, що може призвести до виникнення небезпечних ситуацій. Наприклад, працівник, який має стежити за ваннами з розчинами з підігрівом, може отримати термічні опіки. При роботі з автоматизованою лінією, де є відкриті обертові частини, існує ризик отримання травм при порушенні вимог регламенту.

Неправильне обходження з лугами та кислотами може призвести до хімічних опіків. Аварійна ситуація може виникнути також через

					<i>ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

несправність автоматичних систем.

Застосування дистанційного керування процесами та механізації допомагає зменшити безпосередній контакт персоналу з шкідливими речовинами. У цеху встановлені аварійні вимикачі та пристрої, які сигналізуватимуть про стан обладнання, а проміжки між ваннами закриваються козирками, з метою уникнення потрапляння розчинів на підлогу та дерев'яний міст[9].

4.2 Пожежна безпека

В гальванічному цеху можуть виникати ситуації, що сприяють загорянню, зокрема, нагрівання електроприладів, утворення окислів у повітрі, та утворення горючої суміші водню з повітрям. Пошкодження обладнання або електричних дротів, коротке замикання, а також удар блискавки можуть також спричинити загорання. Хімічно активні речовини можуть пошкодити ізоляцію дротів, спричиняючи коротке замикання. Для захисту ізоляції струмовідводів від таких речовин застосовуватиметься гофрований металевий кожух з нержавіючої сталі. Плавкі запобіжники та спеціальні автомати встановлюються для попередження навантажень та короткого замикання в електричних мережах.

У цеху передбачено ряд протипожежних заходів: наявність системи вогнегасників (ВВК-3,5 і ВП-5), ящиків з піском, пожежних гідрантів та внутрішніх пожежних кранів. План евакуації з позначенням аварійних виходів та місць знаходження засобів пожежогасіння і зв'язку також буде запроваджено. Встановлено не менше 4-х виходів з приміщення, а будівля захищена від удару блискавки за допомогою блискавковідводу стрижньового типу. В таблиці 4.4 показано основні показники вибухо- і пожежонебезпечності речовин і матеріалів, що використовуються в проекті[9].

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.4 – Показники вибухо- і пожежонебезпечності речовин та матеріалів[9]

Ізоляція	Поміст	Гальванічна ванна		Поміст	Показники пожежо- та вибухонебезпечності	Межа заpalення	Вибухонебезпечні суміші з повітрям	
		Газ	Полівінілхлорид				Категорія	Група
Текстоліт	Дерево, гума	Газ	Полівінілхлорид	Дерево, гума	Температура спалаху	% об'ємних	Категорія	Речовини, що мають обіг у виробництві ГОСТ
Тв.	Тв.	Тв.	Тв.	Тв.	Температура займання	мг/м ³	Група	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах
Важкогорюча	Горюча	Легкогорюча	Важкозаймисті	Горюча	Температура самозаймання	Категорія	Група	Горючість, займистість
-	170	132	-	170	5	8	10	5
358	400	324	580	400	6	9	11	6
358	400	57,5	580	400	7	8	11	7
-	-	47,5	-	-	8	8	11	8
-	-	45 – 82,5	-	-	9	9	11	9
-	-	с	-	-	10	10	11	10
-	-	1	-	-	11	11	11	11
Вогнегасники рідинні, вуглекислотні. ВВК-3,5, пісок, піна	вода	Інертний газ	Вода, піна	вода	12	12	12	12
В	В	В	В	В	13	13	13	13
2	2	2	2	2	14	14	14	14
22А	22А	22А	22А	22А	15	15	15	15

5.АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЦИНКУВАННЯ

5.1. Аналіз процесу цинкування як об'єкта автоматизації

У хімічній промисловості автоматизації приділяють велику увагу через їхню спроможність підвищити продуктивність обладнання та зменшити ризики, пов'язані з ручною працею в токсичних і агресивних середовищах. Крім того, автоматизовані системи дозволяють дотримуватись строгого регламенту технологічних процесів, що необхідно для отримання високоякісних гальванічних покриттів[14].

Основними параметрами, з якими пов'язано налагодження автоматичної лінії, є:

- сила струму та напруга на ванні;
- кислотність електроліту;
- температура;
- рівень електроліту в ванні[15].

Для забезпечення точного контролю цих параметрів гальванічні ванни у автоматизованій лінії обладнані датчиками та пристроями, які відповідають за їхнє вимірювання та регулювання.

Автоматизація в галузі гальванічного виробництва має на меті нанесення цинкового покриття на сталеві деталі відповідно до встановлених стандартів якості. Для досягнення цієї мети необхідно виконати ряд вимог, а саме:

1. Відповідність витрати електроліту заданому технологічному регламенту;
2. Відповідність концентрації компонентів електроліту технологічному регламенту;
3. Відповідність режиму електролізу технологічному регламенту[15].

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес нанесення захисного цинкового покриття використовується для надання сталеним деталям захисту від корозії. Для нанесення покриття використовуємо електроліт такого складу:

ZnCl₂- 60...120 г/л,

KCl - 180...230 г/л,

H₃BO₃ - 15...30 г/л

Лимеда НЦ-10 - 30...70 г/л

Лимеда НЦ-20 - 2.5...5 г/л

Режим: Температура 15-30⁰С

Густина струму 0,5...3 А/дм²

Сила струму 237,8А

Напруга 3,43В

Час електролізу 26,6 хв.

Таблиця 5.1 – Параметри регулювання та контролю процесу нанесення

№	Назва стадії, місце заміру параметру	Назва параметру	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Стадія нанесення захисного цинкового покриття, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	температура	15-30 °С	Вимірювання
2	Стадія цинкування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	Рівень	0,8 м	вимірювання, регулювання, реєстрація
3	Стадія цинкування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	рН	4,5 – 5,5	вимірювання, регулювання, реєстрація
4	Ванна нанесення цинкування покриття	Сила струму та напруга	237,8А, 3,43В	контроль, регулювання

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

5.2.Опис розробленої схеми автоматизації для контролю та регулювання

витрати водопровідної води, яка буде одночасно регулювати швидкість її подачі до ванн промивки розроблено контур 1, що складається з первинного перетворювача витрати (поз. 1-1), проміжного перетворювача (1-2), вторинного показувального та реєструвального приладу (1- 3), регулювального блока (1-4), перемикача пневматичних каналів (1-5), пневматичного виконавчого механізму (1-6).

Контур 2, для регулювання температури на ванній електрохімічного знежирювання включає первинний вимірювальний перетворювач температури (2-1 ТЕ), показувальний прилад (2-2 TIRK), регулятор температури (2-3 ТС) та пускова апаратура нагрівача NS МП1.

Контур 3, для контролю та регулювання сили струму та напруги, що подаються на гальванічну ванну через джерело постійного струму (3-1 ЕІ) і регулюються на контролері дистанційного управління джерела струму, (3-2 ЕС).

Аналогічні контурам 2 та 3 – регулювання і контролю температури і сили струму були розроблені для ванни цинкування (к.4, к.5) та ванни хроматування (к.6, к.7).

Специфікація на використані технічні засоби наведені у додатку А.

Висновок

У результаті було запропоновано технологічну схему що значно спростить і зробить більш контрольованим технологічний процес гальванічного цинкування. Серед запропонованих рішень було введено системи автоматичної подачі трубопровідної води у ванни промивки після кожної операції, встановлено джерела електричного струму(випрямлячі з модулем дистанційного керування).

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

У дипломному проєкті було розроблено технологічний процес нанесення цинкового покриття на палець гідроциліндра. Товщина нанесеного покриття становить 12 мкм. Цинкове покриття наноситься у ванній виготовлений із листового полівінілхлориду.

Для нанесення цинкового покриття в дипломному проєкті використано хлоридний електроліт. Такий електроліт, у порівнянні з іншими комплексними, є простим у приготуванні, не містить у своєму складі токсичних компонентів та має хорошу розсіювальну здатність, що дозволяє перекрити зварні шви деталі. Розроблено технологічну карту нанесення покриття.

Було розраховано баланси струму, напруги та енергії, проведено тепловий розрахунок ванни цинкування. Також виконано розрахунок витрат нерозчинних анодів та матеріалів, які необхідні для процесу електролізу.

Розроблено технологічну схему автоматизації процесу цинкування, для автоматичного контролю та регулювання параметрів, які можуть змінюватися при нанесенні покриття.

В економіко – організаційному розділі було розраховано повну собівартість процесу нанесення цинкового покриття, що становить 3 326 671 грн та основні техніко – економічні показники, що дозволяють оцінити економічну доцільність процесу.

Проаналізовано небезпечні виробничі фактори, умови праці в гальванічному цеху та передбачені заходи щодо безпеки працівників на підприємстві, розроблено комплекс заходів з електробезпеки, системи та засоби пожежної безпеки., контроль та перевірка справності всього обладнання та проходження працівниками всіх необхідних інструктажів, щодо безпеки праці.

Було розглянуто та неведено схему нейтралізації кислотно – лужних стічних вод та хромовмісних стоків. Для очищення стічних вод обрано електрохімічний метод очистки.

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62955>
2. 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. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65736>
3. Основи процесів осадження і розчинення металів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. І. Мотронюк, Д. Ю. Ущাপовський, О. В. Лінючева, С. В. Фроленкова, М. В. Бик. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,49 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 116 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48690>

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

4. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу [Електронний ресурс] : підручник / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущатовський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв ; КПІ ім Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 330 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24954>
5. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту з гальванотехніки освітньо-кваліфікаційного пілля «бакалавр». Напряв 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, М.І. Донченко, О.І. Букет. – К: НТУУ «КПІ», 2006.ДСН [3.3.6.037–99](#).
6. Екологічна безпека гальванотехніки. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка [Електронний ресурс] : підручник для студ. кваліфікації 2146.2 – інженер – технолог (хімічні технології) та 2149.2 – інженер – дослідник (хімічні технології) спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова, Т.І. Мотронюк ; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018..
7. Економіка підприємства. Навч. Посібник. Під ред. В.Г. Герасимчука, К.: “Політехніка”, 2003.
8. . Економіка і організація виробництва: рекомендації до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічна технологія і інженерія» освітнього ступеня «Бакалавр» денної, заочної форми навчання / КПІ ім. Ігоря Сікорського; автори: О.А. Підлісна, Ю.В. Тюленєва. – Електронні текстові дані (1 файл: 556КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 50 с.
9. Метод, вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах бакалаврів. / Уклад.: Н. А. Праховнік, Ю. О. Полукаров, Л.О. Мітюк – К.: НТУУ «КПІ», 2021.

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
11. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення
12. ДСН [3.3.6.037-99](#). Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
13. ДСТУ 12.1.038:2008. Система стандартів безпеки труда. Електробезпеку. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
14. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: У 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2012.
15. Конспект лекцій з курсу «Контролю та керування хіміко-технологічними процесами», викладач Лукінюк М. В.: Київ, 2021

					ДП ХЕ 0202.1450.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Додаток А. СПЕЦИФІКАЦІЯ УСТАТКУВАННЯ, ВИРОБІВ І МАТЕРІАЛІВ

Позиція на схемі	Назва Параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	Кількість
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-1	Витрата	Трубопровід	-	Трубопровід для води	Діафрагма стандартна камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{tr} = 75$ мм	ДКС 0,6-75		ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	1
1-2	Витрата	Трубопровід	-	Місцевий	Дифманометр безшкальний із квадратичною функцією перетворення; $\Delta P_{max} = 40$ кПа; клас точності 1; $P_{вих} = 20 \dots 100$ кПа	13ДД11 (мод. 720)		ВАТ «Меридіан», м. Київ	1
1-3	Витрата	Трубопровід	-	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний, зі станцією керування (система СТАРТ); витрата повітря живлення – 6,5 л/хв, $P_{жив} = 0,14$ МПа, $P_{вих} = 20 \dots 100$ кПа	ФК0071		ВАТ «Меридіан», м. Київ	1
1-4	Витрата	Трубопровід	-	Щит керування	Регулятор пневматичний пропорціонально-інтегральний (система СТАРТ); витрата повітря живлення – 4,5 л/хв, $P_{жив} = 0,14$ МПа, $P_{вих} = 20 \dots 100$ кПа	ФР0091		ВАТ «Меридіан», м. Київ	1
1-5	Витрата	Трубопровід	-	Трубопровід для води	Механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером; $P_{живл} = 0,25$ МПа	МИМП ППХ 05		ВАТ «Прикарпатпром-арматура», м. Івано-Франківськ	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 – 1 4 – 1 6 – 1	Температура	Гальванічні ванни	30-40°C 48-56°C 20-35°C	Місцевий	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 100П, діапазон вимірювання (-50) ...+60 °С, допустимий тиск P _y = 0,4 МПа.	ТСП-1288		НВО «Електротермія», м. Луцьк	3
2 – 2 4 – 2 6 – 2	Температура	Гальванічні ванни	30-40°C 48-56°C 20-35°C	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М.	ДИСК-250		ВАТ «Аналітприлад», м. Київ	3
2 – 3 4 – 3 6 – 3	Температура	Гальванічні ванни	30-40°C 48-56°C 20-35°C	Щит керування	Блок регулювальний, електричний, пропорційно-інтегральний, I _{вих} = 0...5 мА	РП4-У		ВАТ «Аналітприлад», м. Київ	3
2 – 4 4 – 4 6 – 4	Температура	Гальванічні ванни	30-40°C 48-56°C 20-35°C	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		ВАТ «Аналітприлад», м. Київ	3
МП1	Температура	Гальванічні ванни	30-40°C 48-56°C 20-35°C	Електродвигун	Магнітний пускач реверсивний, безконтактний, U _{вих} = 220 В	ПБР-2М		ВАТ «Аналітприлад», м. Київ	3
3 – 1 5 – 1 7 – 1	Сила струму та напруга	Гальванічні ванни	I=4293А, U=22.04В	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, I _{max} = 6300 А, U _{max} = 24 В	ВАК-6300-24У4		ВАТ «MasterAm», м. Львів	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3 – 2 5 – 2 7 – 2	Сила струму та напруга	Гальванічні ванни	I=4293А, U=22.04В	Місцевий	Пульт дистанційного керування для випрямного агрегату ВАК-6300-24У4	ПДУ ВАК		ВАТ «MasterAm», м. Львів	3

