

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра технології електрохімічних виробництв

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Олексій КОСОГІН

«__»__06_____2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»

**на тему: «Гальванічні покриття у машинобудуванні. Розробка технології
цинкування дрібних кріпильних сталевих деталей»**

Виконала:

Студентка Смулка Аліна Олександрівна

IV курсу, групи ХЕ-01

Керівник:

Доцент к.т.н

Мотронюк Тетяна Іванівна

Консультанти:

Охорона праці: Полукаров Юрій Олексійович, доц., к.т.н.

Економічна частина: Покровська Наталія Миколаївна, ст.викл., к.екон.н.

Автоматизація: Тріщ Віталій Русланович, асистент

Рецензент: Косогіна Ірина Володимирівна, доцент кафедри ТНР,В та
ЗХТ,к.т.н.

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

Студентка _____

Київ – 2024 року

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

Кафедра технології електрохімічних виробництв

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 161 «Хімічні технології та інженерія»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Олексій КОСОГІН

« ____ » _____ 05 _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студентці

Смулці Аліні Олександрівні

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття у машинобудуванні. Розробка технології цинкування дрібних кріпильних сталевих деталей», керівник проєкту Мотронюк Тетяна Іванівна, 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 хлорамонійний. Продуктивність 15300 м²/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	Трищ 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 нанесення цинкового покриття	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	

Студентка

Аліна СМУЛКА

Керівник

Тетяна МОТРОНЮК

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ	Пояснювальна записка	97	
3	A1	ДП ХЕ0113.2705.001СК	Складальне креслення гальванічної ванни для нанесення цинкового покриття	1	
4	A1	ДП ХЕ0113.2705.002 СК	Складальне креслення барабанного електролізера типу для нанесення цинкового покриття	1	
5	A2	ДП ХЕ0113.2705.003 СхА	Схема автоматизації процесу нанесення цинкового покриття	1	
6	A1	ДП ХЕ0113.2705.004	Схема технологічного процесу нанесення цинкового покриття	1	
7	A2	ДП ХЕ0113.2705.005	Економіко-організаційні розрахунки	1	
8	A2	ДП ХЕ0113.2705.006	Схема очищення стічних вод	1	

				ДП ХЕ0113.2705.000		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Смулка А.О.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Мотронюк Т.І.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-01	
Н/контр.						
В.о. зав.каф.	Косогін О.В.					

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему: «Гальванічні покриття у машинобудуванні.

Розробка технології цинкування дрібних кріпильних сталевих деталей»

Київ – 2024 року

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття у машинобудуванні. Розробка технології цинкування дрібних кріпильних сталевих деталей»

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

Дипломний проект, 2024 рік, кількість сторінок – 97, таблиць – 18, рисунків – 7, джерел – 19.

У проекті розроблено технологію гальванічного цинкування дрібних кріпильних сталевих деталей з продуктивністю 15300 м²/рік. Проведений розрахунок технологічних параметрів процесу та вибір електролітичної ванни. Розроблена схема автоматичного керування з метою досягнення максимальної ефективності та якості покриття. Проведені розрахунки техніко-економічних показників та запропоновані заходи з техніки безпеки. Розроблена схема реагентної очистки стічних вод для забезпечення відповідності екологічним нормам та стандартам.

Ключові слова: гальванічне виробництво; цинкування; хлорамонійний електроліт; гальванічна ванна; пасивація; електролізер барабанного типу; очистка стічних вод.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>		
Розроб.		Смулка			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Мотроняк				6	97
Н. Контр.					«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ХТФ, ХЕ-01		
Затверд.		Косогін					

ABSTRACT

"Galvanic Coatings in Mechanical Engineering. Development of galvanizing technology of small fastening steel parts"

Smulka A.O. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Chemical Technology, HE-01

Diploma Project, 2024, 97 pages, 18 tables, 7 figures, 19 sources.

The project developed the technology of galvanic galvanization of small fastening steel parts with a productivity of 15,300 m²/year. The calculation of technological parameters of the process and the selection of an electrolytic bath were carried out. An automatic control scheme was developed in order to achieve maximum efficiency and quality of the coating. Calculations of technical and economic indicators were carried out and safety measures were proposed. A wastewater treatment reagent scheme has been developed to ensure compliance with environmental norms and standards.

Keywords: galvanic; production galvanizing; ammonium chloride electrolyte; galvanic bath; passivation; drum-type electrolyzer; wastewater treatment.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Вибір виду і товщини гальванічного покриття	11
1.2 Вибір технологічного процесу	12
1.2.1 Підготовка поверхні деталі перед нанесенням покриття.....	13
1.2.3 Вибір завершальних операцій.....	24
1.2.4 Методи контролю якості цинкового покриття.....	25
1.2.5 Карта технологічного процесу.....	31
1.3 Основні технологічні розрахунки	33
1.3.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання	33
1.3.2 Визначення виробничої програми обладнання.....	34
1.3.3 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання	34
1.3.4 Розрахунок габаритних розмірів та кількості барабанних електролізерів.	36
1.3.5 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні	40
1.3.6 Баланс напруги на гальванічній ванні.....	42
1.3.7 Вибір джерела струму.....	45
1.3.8 Баланс енергії на ванні та визначення джоулевої теплоти	46
1.3.9 Витрати хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми.....	47
1.3.10 Розрахунок витрат води.....	52
РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІВЧНОГО ПРОЦЕСУ	58
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ	61
3.1 Підприємства у промисловій структурі держави	61
3.2 Технологічна підготовка виробництва	63
3.3 Тривалість робочого циклу для послідовного виду руху предмету праці (ВРПП).....	64
3.4 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва	69
3.5 Вартість електроенергії та річних обортових фондів.....	71

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

3.6 Техніко-економічні показники	73
РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	76
4.1. Очищення стічних вод від хромовмісних сполук.....	77
4.2 Схема очищення стічних вод гальванічного цинкування.....	78
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	81
5.1 Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на об'єкті, що проєктується. Заходи з охорони праці.	81
5.1.1 Повітря робочої зони	81
5.1.2 Виробниче освітлення	87
5.1.3 Захист від виробничого шуму і вібрації	88
5.1.4 Електробезпека	89
5.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання	91
5.2 Пожежна безпека.....	92
ВИСНОВОК	94
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	95

ВСТУП

Корозія є однією з найбільш поширених і значущих проблем, з якими стикаються різні галузі промисловості. Внаслідок корозії погіршуються властивості виробів: знижується їх міцність і пластичність, зникає блиск, а також зменшується електропровідність. Це, в свою чергу, може призводити до серйозних проблем у роботі механізмів та конструкцій, що, в свою чергу, сприяє зниженню їх функціональності.

Для уникнення цього широко використовується нанесення гальванічних покриттів, що забезпечує не лише захист від негативного впливу навколишнього середовища, але і покращує естетичний вигляд виробів та надає їм додаткові функціональні властивості. У цьому контексті важливо досліджувати та розуміти процеси та технології, пов'язані з нанесенням гальванічного покриття, для досягнення якісних і стійких результатів у виробництві та експлуатації металевих виробів.

Найрозповсюдженішим та ефективним методом захисту металевих поверхонь від корозії є нанесення цинкового покриття, що забезпечує збереження металу від корозії та забезпечення його тривалий термін служби. Цей процес широко застосовується у машинобудуванні та приладобудуванні.

Метою дипломного проєкту є дослідження та розробка оптимальної технології гальванічного цинкування дрібних сталевих кріпильних деталей з продуктивністю процесу 15300 м²/рік.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір виду і товщини гальванічного покриття

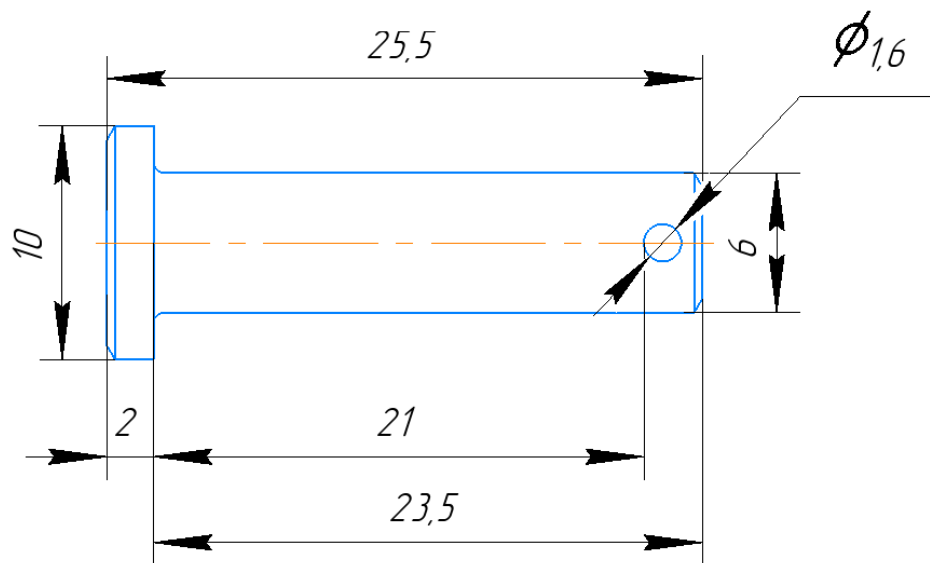


Рисунок 1.1 – Ескіз сталеві деталі

Захисне покриття наноситься на штифт з отвором під шплінт (Рисунок 1.1). Наведена деталь виготовлена зі сталі 40Х. Цей тип штифтів широко використовується для з'єднання рухливих деталей у механізмах. Штифтові з'єднання призначені для точної фіксації положення однієї деталі щодо іншої, а також для передачі крутного моменту в слабонавантажених передачах. Перевагами таких деталей є простота конструкції, простота монтажу-демонтажу та точне центрування деталей завдяки посадці з натягом.

У дипломному проєкті на штифт з отвором під шплінт наноситься захисне цинкове покриття. Однією із найбільших переваг цього покриття є практичний та економічно ефективний захист звичайних сталевих деталей від корозії, з огляду на велику схильність сталі до корозії у відкритому середовищі. Він діє як фізичний бар'єр, створюючи непроникний захисний шар, який блокує проникнення води та кисню до основи зі сталі. Цинк кородує швидше ніж сталь, тому, як результат, продукти корозії цинку осідаючи на поверхні сталі, закривають метал від впливу атмосфери, захищають його і, у підсумку, зупиняють корозію.

					ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Окрім цього цинкове покриття має добру адгезію до металевої поверхні, що робить його стійким до відколювання та відшарування під час експлуатації. Потемніння цинкових покриттів з часом ніяк не впливає на їх захисну здатність. Також в приміщеннях, забруднених газами і продуктами згорання, цинкові покриття більш стійкі до корозійного руйнування, ніж кадмієві. Такі покриття використовуються переважно для захисту сталевих виробів від корозії, а іноді використовуються як базовий шар для гальванічного покриття деталей з алюмінію та його сплавів.

При нанесенні цинкового покриття на сталеву основу цинк досить швидко окиснюється, при цьому на поверхні формується щільна плівка оксидів, яка перешкоджає подальшому проникненню кисню вглиб матеріалу. Варто зазначити, що для збільшення корозійної стійкості цинкового покриття пропонується в проєкті після процесу гальванічного цинкування нанести хроматні плівки, що дозволяє значно збільшити експлуатаційний термін деталей та підвищити їх якість. Так, оцинковані штифти з отвором під шплінт мають стійкість до корозії, що робить їх ідеальними для використання в умовах, де висока вологість або агресивні середовища можуть призвести до пошкоджень металу.

Для створення ефективного захисного покриття, рекомендується застосовувати цинкове покриття товщиною 9 мкм [1].

1.2 Вибір технологічного процесу

Чистота поверхні деталі є дуже важливим фактором при її підготовці перед початком реалізації усіх послідовних операцій, який відіграє вирішальну роль в отриманні якісного функціонального покриття цинком. Від її чистоти залежить міцність зчеплення поверхні з основою, корозійна стійкість та зносостійкість.

Так, при нанесенні цинкового покриття можуть проводити наступні

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

етапи підготовки поверхні.

1.2.1 Підготовка поверхні деталі перед нанесенням покриття

Механічна обробка поверхні

Деталі, потрапляючи до гальванічного цеху для нанесення покриття, спочатку проходять етап механічної обробки. В залежності від рівня забруднення та необхідної шорсткості поверхні обирається відповідний метод обробки. Кожен з них має свій діапазон шорсткості, орієнтацію мікронерівностей та форму, що забезпечує досягнення відповідного рівня обробки поверхні. Так, залежно від потреб і вимог конкретної деталі, розрізняють такі основні операції механічної обробки поверхні перед безпосереднім нанесенням гальванічного покриття, як полірування, шліфування, магнітно-абразивна обробка, вібраційно-абразивна обробка, відцентрова абразивна обробка, струменева, гідро-абразивна обробка та інші методи.

Хімічне знежирення та знежирення в органічних розчинниках

Після завантаження деталей в барабан проводять наступну операцію підготовки поверхні металу перед безпосереднім нанесенням гальванічного покриття – знежирення. Знежирення забезпечує видалення тонких жирових плівок, слідів солей та інших речовин з поверхні деталей, які виникають під час виготовлення і зберігання виробів в процесі нанесення емульсійних рідин, полірувальних паст або консервувальних та штампувальних мастил [18]. Даний процес проводиться в лужних розчинах та органічних розчинниках.

Загалом, в залежності від походження жирів вони можуть бути мінерального походження (неомилюваними) і рослинного та тваринного походження (омилюваними). Знежирення водними лужними розчинами полягає в хімічному руйнуванні жирів і масел, які омилюються, а також у

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

солюбілізації та емульгуванні неомилюваних забруднень.

Важливо зазначити, що сила зчеплення жирів з поверхнею деталей досить велика і мінеральні жири не руйнуються в лужних розчинах, а лише утворюють водні емульсії під їх впливом. Це, в свою чергу, дуже полегшує подальше їх видалення з поверхні деталей. Проте доцільніше використовувати для видалення неомилюваних жирових забруднень миючі засоби або органічні розчинники, які поділяють на горючі та негорючі. Горючі органічні розчинники є дуже вогнебезпечними, які здатні утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. До них відносять ксилол, ацетон, толуол, ефіри, керосин, уайт-спірит та інші нафтопродукти. Цю категорію органічних речовин слід використовувати виключно в спеціально обладнаних приміщеннях, які відповідають вимогам пожежної безпеки. Негорючі органічні розчинники є дуже токсичними. До цієї категорії відносять трихлоретилен, чотирьоххлористий вуглець, тетрахлоретилен, хлороформ, перхлоретилен. З урахуванням їхньої токсичності, знежирення проводять у спеціально закритому обладнанні з дотриманням правил техніки безпеки. У таких апаратах деталі перебувають у контакті з парою розчинника, що конденсується на їх поверхні і розчиняє жири та мастила. Такий метод знежирення є досить дорогим, проте ефективним.

До складу лужних знежирюючих розчинів входять лужний агент, фосфати, силікати, кальцинована сода та ПАР. В якості лужного агента в процесі знежирення є гідроксид натрію. Лужність розчину в свою чергу впливає на здатність омилювати жири, знижувати контактну напругу, зменшувати жорсткість води та нейтралізувати кислотні компоненти забруднень. Силікат натрію вводять для зниження агресивності розчину та підвищення емульгованої дії розчину. Додавання фосфатів забезпечує стабілізацію забруднень у розчині, завдяки суспензуючій та пептизуючій дії, стабілізацію рН та покращення змивання розчину. Окрім цього, вони здійснюють зв'язування солей жорсткості (Ca і Mg) у комплекси і

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

пом'якшують воду, підвищуючи розчинність карбонатів.

Для того, щоб підвищити ефективність знежирювання, до водних лужних розчинів додають поверхнево-активні речовини, вміст яких не перевищує 10%. Їм властива здатність адсорбуватися на металевій поверхні та змінювати швидкість обміну речовин між металом і знежирюючим розчином. Так, для цього процесу використовують суміші аніоноактивних речовин, які дисоціюють у воді, утворюючи негативно заряджений органічний іон. До аніоноактивних відносять алкілсульфоокислоти, алкілсульфонати, алкілсульфати, мила карбонових кислот, включаючи такі продукти, як сульфонол НП-3, НП-1, ДС-РАС. Окрім цього, використовують ще суміші неіоногенних речовин, які не розпадаються на іони у водних розчинах. До цього типу ПАР відносяться синтанол ДС-10, ДТ-7 та поліетиленглікольні ефіри (ОП-7, ОП-10, ОП-20, ОП-30) .

Важливою умовою, яка відноситься як до омилених, так і неомилених жирів, що забезпечує їх якісне видалення з поверхні виробів, є підвищена температура лужних розчинів (рекомендована температура 60-80 °С). За таких умов жири та мінеральні мастила розм'якшуються та зменшується їх в'язкість, що сприяє розриву жирової плівки та легкого відокремлення їх від поверхні металу. Проте важливо враховувати, що за високої температури розчину можливе зниження поверхневої активності ПАР та зменшення стійкості емульсій та піни.

Розчин для проведення знежирення має наступний склад (в г/дм³):

NaOH – 5...50;

Na₃PO₄ – 15...70;

Na₂CO₃ – 15...35;

Na₂SiO₃ – 3...5;

Синтанол ДС-10 – 3...5.

Процес триває 5...10 хв за температури 60...80 °С. Після цього проводять промивку теплою проточною водою (40...50 °С) та холодною

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

проточною водою (18...25 °С).

Кожен процес промивки триває протягом 2...3 хв.

Електрохімічне знежирення

Електрохімічне знежирення вважається найефективнішим методом знежирення для всіх видів виробів через свою швидкість та високу якість очищення. Цей процес здійснюють шляхом пропускання постійного струму через електроліт, що забезпечує видалення останніх залишків жирових забруднень та зниження поверхневого натягу жирової плівки за рахунок поляризації поверхні [19]. Процес електрохімічного знежирення, порівняно з хімічним, не залежить від температури та концентрації електроліту, а більшою мірою визначається густиною струму. Проте, підвищення температури електроліту (60...80 °С) допомагає зменшити споживання електроенергії під час електролізу, завдяки більшій електропровідності гарячого електроліту, та прискорити процес знежирення.

Так, під час катодного знежирення відбувається активне виділення водню, тоді як анодне знежирення супроводжується виділенням кисню. Ці реакції протягом перших секунд розривають та видаляють плівку жирових забруднень. Для ефективності процесу на практиці часто застосовують комбіноване знежирення, де спочатку проходить процес катодного знежирення, а потім анодного. Процес зазвичай триває протягом 3-10 хв, залежно від ступеня забруднення.

Водень і кисень, що виділяються, утворюють піну, яка наповнена цими газами і, як результат, є потенційно вибухонебезпечною сумішшю. Тому, важливим аспектом є мінімальне використання поверхнево-активних речовин в електроліті, оскільки це може призвести до небезпеки надмірного утворення піни на поверхні електроліту під час роботи ванни.

Травлення

Хімічне травлення забезпечує безпосередню підготовку металевих

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

деталей до зчеплення їх основи з шаром захисту [2]. Існують наступні види хімічного травлення.

Лужне травлення проводять протягом 2 хв у водному розчині NaOH з концентрацією 40-60 г/л або в розчині 20-30 г/л NaOH і 20-30 г/л Na₂CO₃ за температури 40-50 °С. Застосовується цей вид зазвичай для очистки виробів із алюмінію і його сплавів.

Кислотне травлення проводять в розчинах кислот з додаванням інгібіторів таких, як катапін, уротропін, ЧМ, БА-6, П1-А та інших. Даний вид застосовується для очистки як чорних, так і кольорових металів.

Травлення сульфатною кислотою проводять при концентрації 100-150 г/л за температури 50-60 °С для чорних металів. Так, вона добре розчиняє поверхневий шар металу і порушує його зв'язок з окалиною, потрапляючи в пори та тріщини окалини.

Хлоридна кислота теж має відмінні властивості при безпосередньому травленні деталей і добре розчиняє окалину. Процес проводять за концентрації HCl 100-150 г/л за температури 20-40 °С.

Значно рідше використовують фосфорну кислоту, оскільки вона має нижчу активність, порівняно з сульфатною та хлоридною кислотами. Так, 1-2% розчини цієї кислот зазвичай використовують для видалення іржі на невеликих ділянках забруднення металів.

Для очистки кислототривких, корозійностійких та жаростійких сталей використовують комбіноване травлення, в якому деталі спочатку обробляються у розплаві розчином 20% NaNO₃ та 80% NaOH. Після цього деталі ретельно промиваються і проводиться травлення за температури 60-70°С з використанням 12-18% сульфатної кислоти протягом 5-10 хв.

У разі, коли проведення травлення деталей висококонцентрованими розчинами кислот є неможливим, використовують електрохімічне травлення, яке проводиться в розбавлених розчинах кислот. Так найпоширенішим складом такого виду травлення є H₂SO₄ (50-60 г/л), NaCl (20-30 г/л) та HCl (30-

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

40 г/л), що триває протягом 15-30 хв за температури 20-40 °С та густині струму 50-100 А/м².

Травлення дрібних сталевих деталей проводиться в розчині хлоридної кислоти, що, в свою чергу, забезпечує швидкість та ефективність розчинення оксидної плівки. Для хімічного травлення доцільно також використовувати інгібітори корозії, які адсорбуються на протравленій поверхні сталі, сповільнюючи подальше її розчинення, при цьому не заважаючи взаємодії кислоти з оксидами.

Склад розчину травлення має наступний склад (в г/дм³):

HCl 120...200;

Інгібітор БА-6 40...50.

Процес триває протягом 10 хв за температури 18...25 °С. Після цього деталі промивають в холодній проточній воді (18...25 °С) протягом 2...3 хв. Процес промивки слід виконувати ретельно, щоб звільнити їхню поверхню від залишків забруднень та хімічних реагентів. Наступним етапом обробки є активація поверхні деталей.

Активація

Процес активації поверхні деталей забезпечує видалення найтонших плівок оксидів або солей, які утворюються в процесі попередньої підготовки виробів. Це важливий етап, який сприяє покращенню адгезії покриття та забезпечує рівномірне нанесення цинкового шару на поверхню деталей. В багатьох випадках активацію металів здійснюють у розчинах, аналогічних розчинам травлення, але при меншій концентрації активних компонентів та впродовж меншого проміжку часу.

Так, склад розчину, в якому проводиться активація поверхні має наступний склад (в г/дм³):

HCl 120...200.

Процес триває 0,5...1 хв за температури 18...25 °С. Після цього

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводять промивку холодною проточною водою (18...25 °С) протягом 2 ...3 хв.

1.2.2 Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття

Якість гальванічних покриттів в значній мірі залежить від вибору електроліту та умов процесу осадження. Для цинкування використовуються електроліти як на основі простих гідратованих іонів цинку, так і комплексних іонів. Так, до електролітів на основі простих гідратованих іонів цинку відносять кислотні, сульфатні, хлоридні, борфтористоводневі, а до комплексних електролітів цинкування відносяться ціанідні, пірофосфатні, аміакатні.

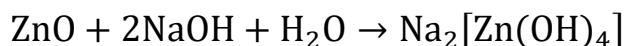
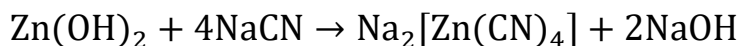
Як відомо, якість осадів і швидкість їхнього осадження залежать від природи й складу електролітів, які в значній мірі визначаються характером і ступенем зміни катодних потенціалів [19]. Так, чим більша катодна поляризація, тим більш дрібнозернисті й рівномірні по товщині покриття осаджуються на деталі. Для правильного вибору електроліту, слід розглянути їх особливості та як вони безпосередньо впливають на якість осаджуваного покриття.

Робота з простими кислими електролітами відзначається їхньою стійкістю та можливістю використання великих густин струму, особливо в умовах перемішування. Проте, кислі електроліти без додаткових добавок мають малу розсіювальну здатність та невелику катодну поляризацію і, відповідно, товщина шару осаду утворюється менш рівномірна порівняно з осадами, що утворюються з комплексних електролітів.

Осадження цинку із комплексних ціанідних електролітів, порівняно з простими, відбувається при високій катодній поляризації. Це пов'язано з тим, що у комплексних електролітах цинк перебуває у вигляді комплексних катіонів або аніонів, розряд яких супроводжується значною катодною

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

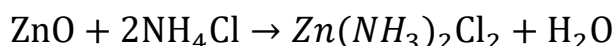
поляризацією внаслідок їх високої стійкості. Так, осади із ціанідних електролітів виходять дуже дрібнозернистими й більш рівномірними по товщині, ніж з простих електролітів. Цинк у ціаністих електролітах знаходиться у вигляді комплексних аніонів $[Zn(CN)_4]^{2-}$ і $[Zn(OH)_4]^{2-}$, які утворюються за реакціями:



Недоліками ціанідних електролітів є менший вихід за струмом, в порівнянні з простими електролітами, нестабільність при накопиченні карбонатів, пасивація анодів при недостатній кількості ціаніду натрію та ускладнена очистка стічних вод. Окрім цього, вони токсичні, тому, як наслідок, необхідні більші витрати на охорону праці та техніку безпеки.

Альтернативною заміною шкідливих ціаністих електролітів є пірофосфатні електроліти. Вони також мають високу розсіювальну здатність та є стійкими в роботі. Електроліти на основі пірофосфатних комплексів забезпечують утворення щільних дрібнокристалічних покриттів з виходом цинку за струмом 80-85%. Проте пірофосфати цинку мають погану розчинність і, як результат, процес проводиться за низьких значень густини струму з обов'язковим підгрівом електроліту. Ще одним недоліком є погана розчинність анодів, що обумовлюється утворенням важко розчинних плівок на поверхні. Так, найпоширеніше використання пірофосфатних електролітів здійснюється для блискучого цинкування складно рельєфних деталей.

Ще одним поширеним видом комплексних електролітів цинкування є хлор-амонійний електроліт. В такому електроліті основною комплексною сполукою є сіль $Zn(NH_3)_2Cl_2$, яка утворюється при надмірному вмісті хлориду амонію NH_4Cl .



Він є простим за складом та стійким в роботі. Осадження з хлор-амонійного електроліту супроводжується високою поляризацією. Хороша

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

розсіювальна здатність електроліту, близька до розсіювальної здатності ціаністих електролітів, обумовлюється також їх високою електропровідністю, що дозволяє осаджувати рівномірні та щільні покриття меншої товщини. За розсіювальною здатністю вони поступаються ціанідним електролітам, але при наявності в електроліті поверхнево-активних речовин з успіхом замінюють їх.

Окрім цього, у складі хлор-амонійного електроліту є присутнім хлорид амонію, який за своєю природою є агресивним компонентом. З цієї причини необхідно ретельно промивати деталь після застосування електроліту, щоб понизити ймовірність руйнування металу. Аміакатні розчини менш токсичні для людини, на відміну від ціаністих, проте їх основним недоліком є наявність солей амонію у стічних водах, що створює труднощі при їх очистці від металів через високу міцність розчинних аміачних комплексів.

З урахуванням вищезазначеного, доцільно обрати хлор-амонійний електроліт цинкування, оскільки він має високий вихід за струмом, хорошу розсіювальну здатність та характеризується низьким наводнюванням.

Варто зазначити, що на процес цинкування значною мірою впливає кислотність електроліту. Так, чим вищою є його рН, тим більшу густину струму можна застосовувати при основному процесі нанесення гальванічного цинкового покриття. Проте при цьому слід враховувати, що підвищення концентрації кислоти знижує вихід цинку за струмом і збільшує швидкість хімічного розчинення цинкових анодів. Це особливо важливо, якщо електроліт забруднений солями металів, більш електропозитивних, ніж цинк (Co, Ni, Sb, As тощо).

Оскільки в дипломному проєкті захисне цинкове покриття наноситься на штифт з отвором під шплінт, що має просту будову, то використовуємо хлор-амонійний електроліт з показником рН 5,9...6,7. За таких умов електроліт має високий вихід металу за струмом і у ньому легко проходить анодне розчинення цинку та практично не виділяється водень.

Важливим аспектом отримання якісного покриття деталей є

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

правильність вибору потрібної катодної густини струму. Для отримання блискучого покриття процес цинкування в хлор-амонійному електроліті проводять при $i_k = 0,5 \dots 1,5 \text{ А/дм}^2$ з використанням блискоутворюючих добавок, а при $i_k = 1 \dots 3 \text{ А/дм}^2$ покриття виходить матовим. В даному проєкті була обрана густина струму $i_k = 1 \dots 2 \text{ А/дм}^2$.

Для стабілізації кислотності робочого розчину в розчин хлор-амонійного електроліту додають борну кислоту H_3BO_3 , яка допомагає підтримувати необхідний рівень рН. Для покращення мікроструктури отриманого покриття до електроліту додають поверхнево-активні речовини (ПАР). В даному проєкті для процесу нанесення цинкового покриття в якості ПАР використовують клей столярний міздровий.

Так, розчин для цинкування дрібних сталевих деталей в хлор-амонійному електроліті має наступний склад (в г/дм^2):

Оксид цинку ZnO	10...15;
Хлорид амонію NH_4Cl	240...280;
Кислота борна H_3BO_3	20...25;
Клей столярний міздровий	1...2.

Процес триває 15...40 хв за температури 18...35 °С при густині струму 1...2 А/дм^2 і рН 5,9...6,7.

Приготування хлор-амонійного електроліту

Приготування хлор-амонійного електроліту здійснюють у вініпластовій ванні, в яку спочатку заливається 1/3 демінералізованої води і нагрівається до температури 60...80 °С. У гарячу воду засипають NH_4Cl і при безперервному перемішуванні розчиняють його. Окремо у невеликій кількості води розчиняють ZnO до сметаноподібного стану і після цього вводять до приготованого розчину NH_4Cl . Аналогічно, буфер H_3BO_3 розчиняють в окремій порції гарячої води і додають у ванну. При досягненні повного розчинення введених речовин електроліт охолоджують та відстоюють

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

протягом 24 годин. Після цього, отриманий розчин закачують у ванну цинкування через фільтрувальну установку.

Поверхнево-активні добавки вводять в готовий електроліт на завершальному етапі приготування. Так, клей столярний міздровий спочатку заливають холодною водою і витримують протягом доби. Після цього його розчиняють, підігріваючи до 80 °С, і додають в готовий електроліт.

Для досягнення необхідного рівня електроліту додають воду і здійснюють перевірку рН. Опрацювання електроліту проводять при низькій густині струму 0,25...0,5 А/дм³ протягом 12...24 годин.

В ході процесу гальванічного нанесення цинкового покриття в хлорамонійних електролітах можуть виникати неполадки, тому необхідно знати причини їх виникнення та способи усунення. Так, найпоширенішими проблемами є утворення шорсткого, крупнокристалічного або темного покриття, пасивування анодів або утворення кристалічних осадів на анодах, значне газовиділення та кристалізація солей в електроліті. Способи усунення цих причин описано в таблиці 1.2.1.

Таблиця 1.2.1 – Основні неполадки цинкування в аміакатних електролітах та шляхи їх усунення.

Неполадки	Причини виникнення	Спосіб усунення
Шорстке покриття	Залишок солей цинку	Необхідно зменшити концентрацію цинку в електроліті
	Електроліт забруднений органічними домішками	Необхідно відфільтрувати електроліт
Темне покриття	Знижений показник рН	Необхідно додати кислоти
Покриття сірого кольору	Нестача хлориду амонію	Необхідно відкоригувати склад електроліту, після проведення аналізу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

23

Продовження таблиці 1.2.1

Покриття темно-сірого кольору; на краях деталей покриття осідає у вигляді «губки»	Електроліт забруднений солями міді (0,2 г/л) або заліза (1 г/л)	Видалити Fe за допомогою підлучування електроліту з подальшою фільтрацією. Провести обробку електроліту при малих густинах струму (0,2-0,3 А/дм ³).
Крупнокристалічне покриття, електроліт не піниться	Нестача клею	Необхідно додати 1 г/л клею
Кристалізуються солі в електроліті (рН в межах норми)	Підвищена концентрація солей	Необхідно відкоригувати склад електроліту, після проведення аналізу
Пасивуються аноди (рН в межах норми)	Підвищена катодна густина струму	Збільшити площу анодів
Значне газовиділення	Підвищена катодна густина струму	Необхідно знизити катодну густину струму
	Підвищена кислотність	Необхідно відкоригувати рН до меж норми
Утворення кристалічних осадів на анодах	Підвищена кислотність	Необхідно відкоригувати рН до меж норми

1.2.3 Вибір завершальних операцій

Уловлювання

Після завершення основного процесу проводять промивку деталей непроточною водою у ванні для уловлювання, для того, щоб зберегти і використовувати отриманий розчин в подальшому для ванни цинкування. Після цього деталі промивають холодною проточною водою протягом 2...3 хв при температурі 18...25 °С.

Освітлення та пасивація

Наступним етапом після процесу цинкування є освітлення. Дана операція проводиться безпосередньо перед пасивуванням, що дозволяє отримати більш світлий відтінок оцинкованого покриття. Так, зразки

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

занурюють в 3 % розчин нітратної кислоти на 5...10 секунд при температурі 18...25 °С. Після цього одразу проводять процес пасивування.

Пасивування сприяє утворенню на поверхні металу тонких плівок (переважно окисної або окисно-сольової природи), яка покращує стійкість до корозійних впливів і подовжує термін служби виробу [19]. Спочатку в процесі хроматування цинк іонізується під дією кислоти, а виділений водень реагує з шестивалентним хромом, перетворюючи його на тривалентний. Так, в шарі розчину підвищується концентрація цинку і локально зростає рН. Як результат, цинк і хром утворюють конверсійну плівку (нерозчинні та слабозрозчинні сполуки), а побічні продукти реакції залишаються в розчині.

Розчин для хроматування має склад (г/дм³):

CrO₃ 10...15;

HNO₃ 3...7;

Na₂SO₄ 10...15.

Процес пасивування триває 1...2 хв за температури 18...25 °С. Після цього спочатку здійснюють промивку у ванні уловлювання протягом 2...3 хвилин при температурі 18...25 °С. Далі деталі добре промивають спочатку в холодній проточній воді (18...25 °С), а потім в теплій проточній воді (40...50 °С). Кожен процес триває протягом 2...3 хв.

Сушіння

Після завершення основних процесів деталі висушують у сушильній камері протягом 5...10 хв до повного видалення вологи з поверхні за температури 50...60 °С. Наступним етапом є демонтаж деталей з барабану та проведення перевірки якості отриманого покриття.

1.2.4 Методи контролю якості цинкового покриття

Контроль якості покриття є важливим етапом після основного процесу нанесення гальванічного покриття, який дозволяє переконатися, що воно

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

забезпечує необхідний захист металу від корозії та має відповідні технічні характеристики. Так, при проведенні контролю якості здійснюють зовнішній огляд покриття, проводять оцінку міцності зчеплення з металом основи, визначення наявності сполук шестивалентного хрому в конверсійних плівках, визначають товщину покриття та стійкість до корозії.

Контроль зовнішнього вигляду покриття

Контроль зовнішнього вигляду покриття здійснюється шляхом візуального огляду деталей без використання додаткових засобів. Цей вид контролю проводять для всіх деталей в добре освітленому приміщенні на відстані 25 см від контрольованої поверхні [5]. Отримані цинкові покриття мають колір від яскраво-сірого з блакитним відтінком до темно-сірого. Також при зовнішньому огляді покриття має бути суцільним, а поверхня гладкою та однорідною. Проте на покритих деталях можуть бути наявні такі відхилення, як сліди від механічної обробки прокату та інші дефекти, що допускаються стандартами або технічними умовами для металу основи. Також до них відносять плями та темні смуги у важкодоступних для очищення отворах. Важливо зазначити, що не є браком і нерівномірний колір та блиск, сліди від потьоків води та розчинів хромових й фосфатних солей, «зони засвітлення», що утворилися при контролях вимірювальними інструментами та пристосуваннями.

Контроль товщини покриття

Контроль товщини покриття включає в себе низку процедур і методів, спрямованих на вимірювання і перевірку товщини покриття на поверхні деталі. Так, даний етап перевірки проводять відбираючи від кожної партії від 0,1 до 10 % деталей (не менше 3 штук) [4].

Існує декілька методів контролю товщини покриття, а саме: гравіметричний, металографічний, метод струменя та метод каплі.

Гравіметричний метод - це метод, який полягає у зважуванні деталей

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

до і після нанесення покриття. Цей метод використовується для визначення середньої товщини одношарових покриттів з відомою густиною на деталях, масу яких можна виміряти зважуванням на аналітичних вагах.

Металографічний метод ґрунтується на проведенні розрізу деталі з покриттям, після чого на отриманому зрізі виготовляють металографічний шліф. Застосовуючи різні оптичні прилади, зокрема металографічні мікроскопи, проводять вимірювання товщини утвореного контрольованого покриття. Метод використовують для одношарових чи багатошарових покриттів товщиною більше 5 мкм.

Метод струменя проводять направляючи струмінь розчину, який здатний руйнувати метал покриття, на певну ділянку покриття через капіляр. Товщину покриття визначають шляхом вимірювання часу, необхідного для його руйнування, або об'єму використаного розчину для цього процесу.

Найбільш розповсюдженим та універсальним є метод каплі, який використовується як для одношарових так і для багатошарових покриттів, хоча і має руйнівну дію. Оскільки у дипломному проєкті цинкове покриття наноситься на дрібні деталі з товщиною покриття 9 мкм, то доцільніше застосувати саме метод каплі. Суть цього методу базується на розчиненні цинкового покриття розчином CuSO_4 , що наноситься на поверхню каплями, витримуючи його протягом визначеного проміжку часу. Так, при проведенні вимірювання на поверхню покриття наносять із капельниці одну каплю розчину і витримують 60 секунд. Після цього поверхню протирають до сухості за допомогою фільтрувального паперу, наносять наступну каплю розчину і повторюють процес до повного розчинення покриття. Ознакою завершення вимірювання є поява рожевого відтінку на поверхні покриття деталі.

Після проведення дослідження товщину покриття (Н) в мікрометрах визначають за формулою:

$$H = H_k (n - 0,5),$$

де H_k – товщина покриття, що знята однією каплею розчину за

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

визначений термін, мкм;

n – кількість капель, що витрачено на розчинення покриття.

Проте, варто зазначити, що в даному проєкті більша перевага надається неруйнівним методам контролю товщини покриття. Наразі існує великий вибір пристроїв та технічних засобів, таких як товщиноміри, які дозволяють швидко та ефективно виміряти товщину цинкового покриття. Ці пристрої можуть використовувати різні принципи, такі як магнітний, магнітно-індукційний та інші, що дозволяє виміряти товщину навіть у важкодоступних місцях на різних типах поверхонь.

Контроль міцності зчеплення покриття з основою

Міцність зчеплення покриття з основою є одним з основних критеріїв, який дозволяє визначити область вживання і експлуатаційні характеристики покриття [3]. Так, даний етап перевірки проводять відбираючи від кожної партії від 0,1 до 10 % деталей (не менше 3 штук). Існує декілька методів такої перевірки, які безпосередньо використовуються для перевірки цинкового покриття, а саме метод полірування, метод нагріву та метод нанесення сітки подряпин.

У дипломному проєкті використовується метод нанесення сітки подряпин, який є простим у застосуванні та має широке застосування для визначення міцності зчеплення покриттів товщиною не більше 20 мкм. Суть методу полягає у нанесенні на покритті спеціальним різцем, перпендикулярно розташованим до поверхні основи, дві паралельні подряпини так, щоб повністю прорізати покриття. Міцність зчеплення характеризується відстанню між цими канавками, при якій покриття відділятиметься від основи [15].

Визначення наявності сполук шестивалентного хрому в конверсійних плівках

У дипломному проєкті після процесу нанесення цинкового покриття

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

проводять хроматування, тому доцільно проводити аналіз визначення наявності сполук шестивалентного хрому. Такі методи дозволяють виявити та кількісно визначити концентрацію шестивалентного хрому, що є важливим для контролю якості покриттів та дотримання екологічних стандартів. Суть аналізу полягає у виявленні наявності сполук шестивалентного хрому у конверсійних плівках шляхом зміни кольору покриття у присутності дифенілкарбазиду (ДФК). Дифенілкарбазид – це хімічна сполука, що представляє клас карбазидів і є індикатором, який при взаємодії з хромом (VI) в кислому середовищі, утворює розчин червоно-фіолетового кольору.

Для проведення аналізу досліджуваний зразок занурюють у киплячу воду на 5 хвилин, забезпечуючи активне кипіння. Після цього зразок виймають і охолоджують розчин до кімнатної температури. У разі зміни кольору розчину, його фільтрують через фільтрувальний папір у іншу посудину. Далі у фільтрований розчин обережно додають 40% розчин H_2SO_4 (1,5 мл кислотного розчину на 50 мл досліджуваного розчину). Отриманий розчин ділять на дві частини і одну з них використовують як зразок для візуального порівняння. До іншої частини додають ДФК в співвідношенні 1 мл на 25 мл розчину. Якщо після цього розчин з ДФК набуває рожевого кольору, то це свідчить про наявність сполук шестивалентного хрому в покритті. Якщо ж колір розчину не змінюється, то це означає, що сполуки шестивалентного хрому відсутні.

Контроль стійкості до корозії

Контроль стійкості до корозії цинкових покриттів – це процес оцінки здатності покриття протистояти корозійним впливам в умовах експлуатації. Він включає проведення різних випробувань і тестів, таких як тест сольового туману, тест на конденсацію вологи, електрохімічні тести, аналіз пористості та тест на вплив агресивних середовищ. Метою цих «пришвидшених випробувань» є визначення тривалості та ефективності захисту цинкового

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

покриття від корозії, що забезпечує їх довговічність. Найпоширенішим методом в міжнародній практиці є випробування цинкових покриттів в атмосфері сольового туману, який регламентується ASTM B-117 (США), DIN 50021 (ФРН) та іншими.

Випробування в камері сольового туману рекомендується проводити не раніше, ніж через добу після нанесення цинкового покриття, використовуючи для цього не менше, ніж три деталі. Для проведення дослідження використовують спеціальні корозійні камери, де параметри атмосфери сольового туману автоматично контролюються. Це в свою чергу дозволяє отримати надійні та правильні дані в ході проведення. Сольовий туман, згідно стандартів, формується за допомогою безперервного розпилення 5% розчину хлориду натрію NaCl (рН 6,5...7,2) при температурі 35 °С.

Оцінку корозійного ураження після випробувань здійснюють шляхом візуального огляду в однаковий час один раз на добу. Одним із критеріїв оцінки стійкості цинкового покриття є час до початку білої корозії, який є показником ефективності конверсійних плівок на цинку щодо захисту. Інший критерій – це час до початку червоної корозії основного металу, який використовується для оцінки загальної стійкості захисного покриття до корозії. Для покриття обраного виду товщиною 9 мкм, відповідно до вимог стандартів, мінімальний час до початку білої корозії становить 120 годин, а до початку червоної корозії – 360 годин.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

1.2.5 Карта технологічного процесу

Таблиця 1.2.2 – Карта технологічного процесу нанесення цинкового покриття у хлорамонійному електроліті

№	Операція	Склад розчину і концентрація		Режим			
		Найменування та хімічна формула компонентів	г/л	Час обробки, хв	Температура, °С	Густина струму, А/дм ²	рН
1	2	3	4	5	6	7	8
010	Монтаж деталей у барабан			2-4			
020	Знежирення	Гідроксид натрію NaOH	5-50				
		Фосфат натрію Na ₃ PO ₄	15-70				
		Карбонат натрію Na ₂ CO ₃	15-35	5-10	60-80		
		Силікат натрію Na ₂ SiO ₃	3-5				
		Синтанол ДС-10	3-5				
030	Промивка в теплій воді			2-3	40-50		
040	Промивка в холодній проточній воді			2-3	18-25		
050	Травлення	Кислота хлоридна HCl	120-200	10	18-25		
		Інгібітор БА-6	40-50				
060	Промивка в холодній проточній воді			2-3	18-25		
070	Активація	Кислота хлоридна HCl	120-200	0,5-1	18-25		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

31

Продовження таблиці 1.2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
080	Промивка в холодній проточній воді			2-3	18-25		
090	Цинкування з хлор-амонійного електроліту	Оксид цинку ZnO	10-15				
		Хлорид амонію NH ₄ Cl	240-280				5,9
		Кислота борна H ₃ BO ₃	20-25	15-40	18-35	1-2	-
		Клей столярний міздровий	1-2				6,7
100	Промивка у ванній уловлювання			2-3	18-25		
110	Промивка у холодній проточній воді			2-3	18-25		
120	Освітлення та пасивація	Ангідрид хромовий CrO ₃	10-15				
		Кислота нітратна HNO ₃	3-7	1-2	18-25		
		Натрій сірчаноокислий Na ₂ SO ₄	10-15				
130	Промивка у ванній уловлювання			2-3	18-25		
140	Промивка в холодній проточній воді			2-3	18-25		
150	Промивка в теплій воді			2-3	40-50		
160	Висушування теплим повітрям			5	40-50		
170	Демонтаж деталей з барабану			2-4	2-4		
180	Висушування в сушильній шафі			10	50-60		
190	Контроль якості покриття			10			

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

32

1.3 Основні технологічні розрахунки

1.3.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при перервному виробництві визначається за формулою:

$$T_n = \left[(T_k - T_{\text{вих}} - T_{\text{свят}}) \cdot \frac{\tau_{\text{тиж}}}{t_{\text{рб дн}}} - t_{\text{перед}} \right] \cdot n_{\text{змн}}$$

Для розрахунку T_n необхідно враховувати:

- кількість календарних днів у році ($T_k = 366$);
- кількість вихідних днів ($T_{\text{вих}} = 104$);
- кількість святкових та передсвяткових днів, враховуючи, що на момент дії військового стану всі святкові дні скасовано ($T_{\text{свят}} = 0$ і $t_{\text{перед}} = 0$);

Так, для п'ятиденного робочого тижня тривалістю 40 годин і двозмінній роботі, номінальний річний фонд часу роботи складає:

$$T_n = \left[(366 - 104 - 0) \cdot \frac{40}{5} \right] \cdot 2 = 4192 \text{ год}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання (T_d) розраховують на основі номінального фонду часу (T_n), враховуючи загальні витрати часу на простої обладнання ($K_{\text{пр}}$). У гальванічному виробництві такі витрати можуть становити від 2% до 8%.

$$T_d = T_n - K_{\text{пр}} \cdot T_n = 4192 - 0,03 \cdot 4192 = 4066,24 \text{ год}$$

При роботі автоматизованого обладнання у дві зміни загальні витрати часу на простої обладнання складають 3% від T_n . При експлуатації немеханізованого та неавтоматизованого обладнання і стаціонарних ванн, ці витрати становлять 2% від номінального фонду часу (T_n) при роботі в одну зміну і 3% - у дві зміни [2].

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

1.3.2 Визначення виробничої програми обладнання

Для розрахунку річної виробничої програми P_p , необхідно задану виробничу програму P_z збільшити на величину виправного браку виробів, що знаходиться у межах від 0,5 до 3% [2]. Так, формула для розрахунку річної виробничої програми має вигляд:

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z ,$$

де P_z – виробниче завдання ($P_z = 15300 \text{ м}^2/\text{рік}$);

$K_{бр}$ – величина виправного браку ($K_{бр} = 1,5\%$).

$$P_p = 15300 + 0,015 \cdot 15300 = 15529,5 \text{ м}^2/\text{рік} \approx 15530 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Добову виробничу програму розраховують за формулою:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_p}{T_{\text{доб}}} ,$$

де $T_{\text{доб}}$ – кількість робочих днів у календарному році ($T_{\text{доб}} = 262$).

$$P_{\text{доб}} = \frac{15530}{262} = 59,27 \text{ м}^2/\text{добу}$$

Годинна виробнича програма $P_{\text{год}}$ визначається як:

$$P_{\text{год}} = \frac{P_p}{T_d} ,$$

де T_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання ($T_d = 4066,24 \text{ год}$)

$$P_{\text{год}} = \frac{15530}{4066,24} = 3,82 \text{ м}^2/\text{год.}$$

1.3.3 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

Для визначення конструктивних розмірів ванни необхідно знати:

- річну виробничу програму, яка становить $P_p = 15530 \text{ м}^2/\text{рік}$;
- товщину покриття на деталях, $\delta = 9 \text{ мкм}$;

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

– час обробки однієї завантажувальної одиниці (барабану) з урахуванням часу на завантаження та вивантаження деталей τ , хв;

Тривалість обробки τ однієї завантажувальної одиниці з підвіскою визначається за формулою:

$$\tau = \tau_m + \tau_{об},$$

де τ_m — технологічний час (час обробки деталі);

$\tau_{об}$ — час обслуговування, необхідний для завантаження деталей та її вивантаження, приймають 2...4 хвилини.

Для барабанного електролізера розрахований технологічний час τ_m збільшуємо на 15...20% через механічне стирання покриття і нерівномірністю пересипу деталей при електролізі. Час обробки деталі у ванні визначається як:

$$\tau_m = \frac{\delta \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{V_c \cdot k_e \cdot i_k \cdot 0,8},$$

де $\delta = 9$ мкм – товщина покриття;

$d_m = 7,133$ г/см³ – густина металу покриття;

$V_c = 96\%$ – катодний вихід металу за струмом;

$k_e = 1,22$ г/А · год – електрохімічний еквівалент;

$i_k = 2$ А/дм² – середня катодна густина струму.

$$\tau_m = \frac{9 \cdot 7,133 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,96 \cdot 1,22 \cdot 2,0 \cdot 0,8} = 20,555 \text{ хв} \approx 21 \text{ хв}$$

Відповідно, тривалість обробки τ однієї завантажувальної одиниці становить:

$$\tau = 21 + 3 = 24 \text{ хв}$$

Розраховуємо кількість оброблюваних завантажень n на основі дійсного річного фонду часу роботи обладнання T_d і тривалості обробки одного завантаження ванни τ :

$$n = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}},$$

де $K_{об}$ – це коефіцієнт, який враховує затрати часу на початковий

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

запуск обладнання, кінцеве вивантаження з ванни та допоміжні операції. Для роботи у дві зміни цей коефіцієнт становить 1,05 [2].

$$n = \frac{4066,24 \cdot 60}{24 \cdot 1,05} = 9681,524 \approx 9682$$

Тоді разове завантаження усіх ванн Y_c :

$$Y_c = \frac{P_p}{n} = \frac{15530}{9682} = 1,6 \text{ м}^2$$

Разове завантаження усіх ванн за масою деталей Y_c^m визначається за формулою:

$$y_c^m = \frac{Y_c}{S_{\text{пит}}},$$

де $S_{\text{пит}}$ – питома площа деталі.

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{1\text{дет}}}{m_{1\text{дет}}},$$

де $m_{1\text{дет}}$ – маса однієї деталі ($m_{1\text{дет}} = 0,025$ кг);

Площа однієї деталі становить $S_{1\text{дет}} = 6,605 \cdot 10^{-4}$, м². Так, підставляючи отримані значення, отримуємо:

$$S_{\text{пит}} = \frac{6,605 \cdot 10^{-4}}{0,025} = 0,026 \text{ м}^2/\text{кг}$$

$$y_c^m = \frac{1,6}{0,026} = 61,54 \text{ кг} \approx 62 \text{ кг}$$

1.3.4 Розрахунок габаритних розмірів та кількості барабанних електролізерів

Для того, щоб визначити необхідну кількість барабанів та габаритні розміри, необхідно враховувати масу одноразового завантаження деталей G та внутрішня довжина барабана l_6 .

Для розрахунку внутрішнього ($D_{\text{вн}}$) і зовнішнього ($D_{\text{зов}}$) діаметрів барабана необхідно визначити насипний об'єм деталей $V_{\text{нас}}$:

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$V_{\text{нас}} = (3 \dots 10) \cdot V_{\text{дет}} = (3 \dots 10) \cdot \frac{G}{d_{\text{дет}}},$$

де G – маса одноразового завантаження деталей ($G=62$ кг).

$d_{\text{дет}}$ – густина металу деталі (для сталі марки 40Х ($d_{\text{дет}} = 7820$ кг/м³);

$$V_{\text{нас}} = 5 \cdot \frac{62}{7820} = 0,04 \text{ м}^3$$

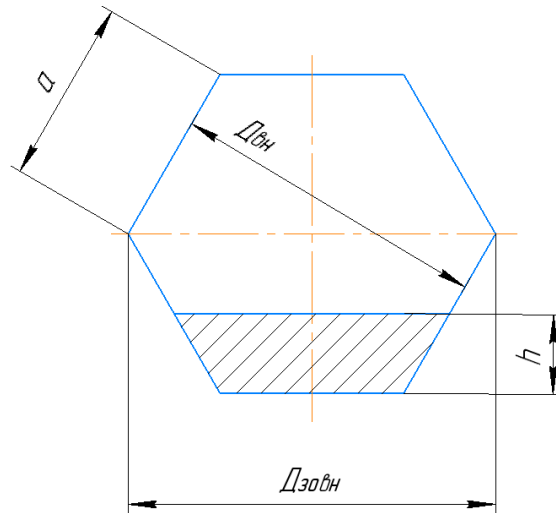


Рисунок 1.3.1 – Основні параметри

Розрахуємо розмір сторони шестигранника a :

$$a = \sqrt{\frac{2,97 \cdot V_{\text{нас}}}{l_6}},$$

де l_6 – внутрішня довжина сторона.

Приймаємо внутрішню довжину барабана l_6 рівною 0,8 м і, відповідно, розмір сторони шестигранника складає:

$$a = \sqrt{\frac{2,97 \cdot 0,04}{0,8}} = 0,385 \text{ м}$$

Для визначення коефіцієнту заповнення барабану використовуємо формулу:

$$K_{\text{зап}} = \frac{V_{\text{нас}}}{V_{\text{бар}}},$$

де $V_{\text{нас}}$ - насипний об'єм деталей в барабані;

$V_{\text{бар}}$ – об'єм барабану.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

37

$$V_{\text{бар}} = \frac{3\sqrt{3} \cdot a^2}{2} \cdot l_6,$$

де a – розмір сторони шестигранника.

$$V_{\text{бар}} = \frac{3\sqrt{3} \cdot 0,385^2}{2} \cdot 0,8 = 0,31 \text{ м}^3$$

$$K_{\text{зап}} = \frac{0,04}{0,31} \cdot 100\% = 12,9 \%$$

Внутрішній діаметр барабана визначаємо за формулою:

$$D_{\text{вн}} = a\sqrt{3}$$

$$D_{\text{вн}} = 0,385 \cdot \sqrt{3} = 0,67 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр барабана визначаємо за формулою:

$$D_{\text{зов}} = 2a + 2m,$$

де m – товщини стінок барабана, її величину приймаємо рівною 5 мм.

$$D_{\text{зов}} = 2 \cdot 0,385 + 2 \cdot 0,005 = 0,78 \text{ м}$$

Висота шару деталей у барабані становить:

$$h = \frac{1}{6} \cdot D_{\text{вн}} = \frac{1}{6} \cdot 0,67 = 0,1116 \text{ м}$$

Розраховуємо габаритні розміри ванни для барабана:

– внутрішня довжина ванни для барабана l , визначається за формулою:

$$l = l_6 + 2l_1,$$

де l_6 – довжина барабана, м;

l_1 – відстань між торцевими стінками барабана і стінками ванни, приймаємо рівною 0,157 м.

$$l = 0,8 + 2 \cdot 0,157 = 1,1 \text{ м}$$

– внутрішня ширина ванни B , визначається за формулою:

$$B = D_{\text{зов}} + 2B_1 + 2B_2 + 2B_A,$$

де B_1 – відстань між анодом і ближнім краєм барабана, приймаємо рівною 0,10 м;

B_2 – відстань між анодом і повздовжньою стінкою ванни, приймаємо рівною 0,05 м;

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

V_A – товщина анодів, яка складає 0,01 м.

Так, підставивши відповідні значення, внутрішня ширина ванни складає:

$$B = 0,78 + 2 \cdot 0,10 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,01 = 1,1 \text{ м}$$

– внутрішня висота ванни h , визначається за формулою:

$$h = h_1 + h_2 + h_6 + D_{\text{зов}},$$

де h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю барабана (по описаному колу) складає 0,15 м;

h_2 – відстань від дзеркала електроліту до верхньої частини барабана складає 0,10 м;

h_6 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю бортів ванни, приймаємо рівною 0,15 м;

$D_{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр барабана, м.

Отже, внутрішня висота ванни становить:

$$h = 0,15 + 0,10 + 0,15 + 0,78 = 1,18 \text{ м}$$

Кількість ванн з барабанами n_6 розраховуємо за формулою:

$$n_6 = \frac{y_c^m}{G}$$
$$n_6 = \frac{61,54}{62} = 0,993 \approx 1$$

Необхідно врахувати ці 0,007 у коефіцієнті завантаження одного барабану:

$$K_{\text{зап}} = 12,9 + \left(\frac{1 - 0,992}{1} \right) \cdot 100\% = 13,7 \%$$

Отже, на основі проведених розрахунків габаритних розмірів обладнання, обираємо барабанний електролізер відповідно до стандартів і каталогів обладнання.

Обраний для процесу барабанний електролізер має наступні характеристики:

– максимальне завантаження по масі – 62 кг;

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- частота обертання – 5 об/хв.;
- діаметр описаного кола – 0,8 м;
- довжина – 0,8 м;

Отже, обираємо стандартизовану ванну, яка має наступні габаритні розміри:

- довжина – (L=1,600 м);
- ширина – (B=1,120 м);
- висота – (H=1,250 м).

1.3.5 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні

Сила струму I на однопозиційній ванні визначається як добуток величини технологічної густини струму на катоді i_k на площу деталей одноразового завантаження S_{O3} :

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{O3},$$

де K – коефіцієнт, який враховує витрати електрики на осадження металу на контактах підвісного пристрою, обираємо рівним 1,1 [2].

Для розрахунку струму на ванні рекомендується використовувати верхнє допустиме значення технологічної густини струму на катоді (i_k), яке становить 200 А/м².

Для барабанних електролізерів величину S_{O3} визначають за формулою:

$$S_{O3} = G \cdot S_{пит},$$

де $G = 62$ кг – величина одноразового завантаження барабана;

$S_{пит} = 0,026$ м²/кг – питома площа одного кілограма деталей.

$$S_{O3} = 62 \cdot 0,026 = 1,6 \text{ м}^2$$

Отже, сила струму на однопозиційній ванні цинкування складає:

$$I = 1,1 \cdot 200 \cdot 1,6 = 354,2 \text{ А}$$

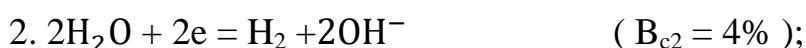
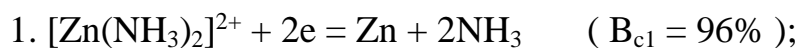
Для того, щоб скласти баланс кількості електрики, розпишемо рівняння основних і побічних реакцій, які перебігають на електродах. Далі на основі

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

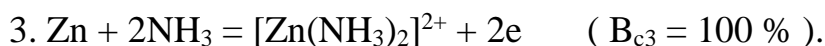
значень виходу за струмом для цих реакцій визначаємо долю електрики, яка відводиться на основні та побічні процеси. Баланс електрики складаємо на одну годину роботи ванни і результати розрахунків зводимо у таблицю балансу електрики (Таблиця 1.3.1).

У хлорамонійному електроліті під час цинкування на електродах протікають наступні електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:



Визначаємо силу струму, яка витрачається на кожну реакцію:

на катоді:

$$I_1 = \frac{I \cdot \text{B}_{c1}}{100} = \frac{354,2 \cdot 96}{100} = 340,032 \text{ A};$$

$$I_2 = \frac{I \cdot \text{B}_{c2}}{100} = \frac{354,2 \cdot 4}{100} = 14,168 \text{ A};$$

на аноді:

$$I_3 = \frac{I \cdot \text{B}_{c4}}{100} = \frac{354,2 \cdot 100}{100} = 354,2 \text{ A};$$

Таблиця 1.3.1 – Баланс електрики ванни цинкування на одну годину роботи.

Надходження	Q, А·год	%	Витрати	Q, А·год	%
На катоді: від зовнішнього джерела струму	354,2	100	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+} + 2e = \text{Zn} + 2\text{NH}_3$	340,032	96
			$2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + \text{OH}^-$	14,168	4
Разом:	354,2	100	Разом:	354,2	100

Продовження таблиці 1.3.1

На аноді: від зовнішнього джерела струму	354,2	100	$Zn + 2NH_3 = [Zn(NH_3)_2]^{2+} + 2e$	354,2	100
Разом:	354,2	100	Разом:	354,2	100

1.3.6 Баланс напруги на гальванічній ванні

Для розрахунку напруги на ванні з барабанним електролізером U_6 використовуємо формулу:

$$U_6 = E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_1 + \Delta U_k + \Delta U_{перф} + \Delta U_6,$$

де $(E_a - E_k)$ – різниця електродних потенціалів анода і катода під струмом;

$\Delta U_{ом}$, ΔU_1 , ΔU_k – омичне падіння напруги в електроліті, у провідниках першого роду та в контактах;

$\Delta U_{перф}$ – падіння напруги в отворах барабана;

ΔU_6 – додаткове падіння напруги між деталями в барабані в результаті їх переміщення при обертанні.

Омичне падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$ розраховуємо за формулою:

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

де $i_{ср} = 200 \text{ А/м}^2$ – середня густина струму в міжелектродному просторі;

$l_{a-k} = 0,10 \text{ м}$ – відстань між анодом і ближнім краєм барабана.

При визначенні падіння напруги в електроліті враховуємо вплив газонаповнення на омичний опір, оскільки у процесі електролізу на катоді утворюється водень, бульбашки якого заповнюють міжелектродний простір. Коефіцієнт, який враховує збільшення опору за рахунок газонаповнення, приймаємо рівною 1,15 [2]. Так, формула для розрахунку:

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$\Delta U_{\text{ом}} = K \cdot i_{\text{ср}} \cdot l_{\text{а-к}} \cdot \rho_e,$$

Врахуємо, що потенціал цинкового катода $E_{\text{к}} = -1,4$ В, а потенціал цинкового анода $E_{\text{а}} = -0,9$ В. Питомий електричний опір електроліту становить $\rho_e = 5,7 \cdot 10^{-2}$ Ом·м;

Середню густину струму в міжелектродному просторі визначаємо за формулою:

$$i_{\text{ср}} = \sqrt{i_{\text{к}} \cdot i_{\text{а}}},$$

де катодна густина струму $i_{\text{к}} = 200$ А/м²;

Анодна густина струму $i_{\text{а}} = 150$ А/м².

$$i_{\text{ср}} = \sqrt{i_{\text{к}} i_{\text{а}}} = \sqrt{200 \cdot 150} = 173,2 \text{ А/м}^2$$

Тоді, падіння напруги в електроліті становитиме:

$$\Delta U_{\text{ом}} = 1,15 \cdot 173,2 \cdot 0,10 \cdot 5,7 \cdot 10^{-2} = 0,454 \text{ В}$$

Падіння напруги в отворах барабана визначаємо як:

$$\Delta U_{\text{перф}} = \frac{i_{\text{к}} \cdot S_{\text{оз}} \cdot \delta_{\text{с}} \cdot \rho_e}{6 \cdot a \cdot l_{\text{б}} \cdot K_{\text{п}}},$$

де $S_{\text{оз}} = 1,6$ м² – поверхня деталей, завантажених у барабан;

$\delta_{\text{с}} = 0,005$ м – товщина стінки барабана;

$\rho_e = 5,7 \cdot 10^{-2}$ Ом·м – питомий електричний опір електроліту,;

$a = 0,385$ м – розмір сторони шестигранника;

$l_{\text{б}} = 0,8$ м – довжина барабана;

$K_{\text{п}}$ – ступінь перфорації поверхні барабана (приймаємо 0,25) [2].

$$\Delta U_{\text{перф}} = \frac{200 \cdot 1,6 \cdot 0,005 \cdot 5,7 \cdot 10^{-2}}{6 \cdot 0,385 \cdot 0,8 \cdot 0,25} = 0,199 \text{ В}$$

Додаткове падіння напруги між деталями в барабані в результаті їх переміщення при обертанні розраховується за формулою:

$$U_{\text{б}} = \frac{E_{\text{а}} - E_{\text{к}} + \Delta U_{\text{ом}} + \Delta U_{\text{перф}} + \Delta U_{\text{б}}}{0,9}$$

Так, спочатку розрахуємо додаткове падіння напруги між деталями $\Delta U_{\text{б}}$ в барабані:

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\Delta U_{\delta} = 0,4 \cdot (E_a - E_k + \Delta U_{OM} + \Delta U_{перф})$$

Спочатку знаходимо різницю потенціалів катода і анода:

$$E_a - E_k = -0,9 - (-1,4) = 0,5 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\delta} = 0,4 \cdot (0,5 + 0,454 + 0,199) = 0,461 \text{ В}$$

Тоді, додаткове падіння напруги між деталями в барабані в результаті їх переміщення при обертанні:

$$U_{\delta} = \frac{E_a - E_k + \Delta U_{OM} + \Delta U_{перф} + \Delta U_{\delta}}{0,9}$$

$$\Delta U_{\delta 1} = \frac{0,5 + 0,454 + 0,199 + 0,461}{0,9} = 1,793 \text{ В}$$

Падіння напруги в контактах і провідниках першого роду складає:

$$\Delta U_I + \Delta U_K = 0,1 \cdot 3,407 = 0,3407 \text{ В}$$

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

Отже, мінімальну напругу на джерелі струму розраховуємо за формулою:

$$U_{дс} = 1,1 \cdot U_{\delta}$$

$$U_{дс} = 1,1 \cdot 3,407 = 3,7477 \text{ В}$$

Обчислені значення заносимо до таблицю 1.3.2.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3.2 – Баланс напруги на ванні цинкування

Надходження	U, В	%	Витрати	U, В	%
Напруга на ванні	3,29	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$	0,5	15,2
			Падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$	0,454	13,8
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + U_k$	0,3407	10,4
			Падіння напруги на отворах барабану $\Delta U_{перф}$	0,199	6
			Падіння напруги між деталями у барабані $\Delta U_б$	1,793	54,6
Разом	3,29	100	Разом	3,29	100

1.3.7 Вибір джерела струму

Опираючись на вищенаведені розрахунки, обираємо джерело постійного струму типу ТЕ1-400/12Т, який має наступні характеристики:

- вихідна напруга – 3 - 12 В;
- діапазон струму – 8 - 400 А;

Для розрахунку коефіцієнта завантаження використаємо формулу:

$$K = \frac{N_{дс}}{N_{пасп}},$$

де $N_{дс}$ – потужність, необхідна для виконання завданої програми, кВт;

$N_{пасп}$ – паспортна потужність вибраного агрегату, яка становить 4,8 кВт.

Розраховуємо потужність, яка необхідна для виконання заданої програми становить:

$$N_{дс} = U \cdot I \cdot 10^{-3},$$

де $U = 3,29$ В – робоча напруга при заданій густині струму;

$I = 354,2$ А – сила струму на однопозиційній ванні.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$N_{\text{ДС}} = 3,29 \cdot 354,2 \cdot 10^{-3} = 1,17 \text{ кВт}$$

Тоді, коефіцієнт завантаження становить:

$$K = \frac{1,17}{4,8} = 0,24$$

1.3.8 Баланс енергії на ванні та визначення джоулевої теплоти

Електрична енергія $W_{\text{заг}}$, яка постачається до електролізера, перетворюється на хімічну енергію $W_{\text{хім}}$ та теплову енергію $W_{\text{дж}}$:

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

Визначаємо електричну енергію, що витрачається на процес у ванній:

$$W_{\text{заг}} = 3,6 \cdot U \cdot I \cdot \tau,$$

де $I = 354,2 \text{ А}$ – струм на ванні;

$U = 3,29 \text{ В}$ – напруга на ванні;

τ – час роботи ванни підструмом, год;

Так, складаємо баланс енергії на одну годину роботи ванни.

Електрична енергія, споживана під час виконання процесу в одній ванні протягом однієї астрономічної години, складає:

$$W_{\text{заг}} = 3,6 \cdot 3,29 \cdot 354,2 \cdot 0,875 = 3670,8 \text{ кДж} \approx 3671 \text{ кДж}$$

У гальванічних процесах з використанням розчинних анодів і практично 100% виходом за струмом на катоді, загальна електрична енергія $W_{\text{заг}}$ практично дорівнює тепловій енергії у формі джоулевої теплоти $W_{\text{дж}}$. Відповідно, $W_{\text{заг}} \approx W_{\text{дж}}$, і баланс енергії на ванні цинкування має наступний вигляд (Таблиця 1.3.3).

Таблиця 1.3.3 – Баланс енергії на ванні цинкування

Надходження	W, кДж	%	Витрати	W, кДж	%
Електрична енергія відджерела струму	3671	100	Джоулеве тепло	3671	100
Разом	3671	100	Разом	3671	100

1.3.9 Витрати хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми

Даний розрахунок проводиться для визначення річних потреб у сировині та матеріалах для нанесення цинкового покриття. При розрахунку необхідної кількості анодів, хімічних реактивів, води та інших матеріалів, ми враховуємо складові витрати на початковий запуск обладнання та на виконання річної виробничої програми.

Витрати анодів на початковий запуск обладнання

Для розрахунку витрат розчинних та нерозчинних анодів на запуск обладнання G_{AZ} використовуємо формулу:

$$G_{AZ} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_b \cdot h_b \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot n_B,$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймають $K_1 = 0,6$) [2];

K_2 – коефіцієнт, який враховує співвідношення довжини анодів та висоти ванни (приймають $K_2 = 0,8$) [2];

$n_{аш} = 2$ – кількість анодних штанг у ванні;

$l_b = 1,6$ м – внутрішня довжина ванни;

$h_b = 1,25$ м – внутрішня висота ванни;

$\delta_a = 0,01$ м – товщина анодів;

$d_a = 7133$ кг/м³ – густина матеріалу анода [6];

$n_B = 1$ – кількість ванн даного типу.

$$G_{AZ} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 1,25 \cdot 0,01 \cdot 7133 \cdot 1 = 91,3 \text{ кг}$$

Витрати анодів на виконання виробничої програми на рік

Витрати розчинних анодів G_{AP} розраховуємо за формулою:

$$G_{AP} = S \cdot A_p \cdot \delta_n,$$

де $S = 15530$ м² – сумарна площа поверхні нанесеного покриття при

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконанні річної програми;

$\delta_n = 9$ мкм – товщина покриття;

A_p – норма витрат розчинних анодів для нанесення покриття товщиною один мікрометр, кг/м².

Величину A_p визначають, виходячи із чистої маси покриття, технологічних втрат анодного матеріалу та відходів, кг/м²:

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

де $d_m = 7133$ кг/м³ – густина металу покриття.

$$A_p = 7133 \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6} = 7,56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2;$$

$$G_{AP} = 15530 \cdot 7,56 \cdot 10^{-3} \cdot 9 = 1057 \text{ кг.}$$

Сумарна витрата анодів:

$$\sum G = G_{AZ} \cdot G_{AP} = 91,3 + 1057 = 1148,3 \text{ кг.}$$

Витрати хімічних реактивів

Загальні витрати хімічних реактивів, необхідних для проведення технологічного процесу для ванн хімічної обробки та ванн з розчинними анодами, визначаються на основі:

- кількості реактивів, необхідних для підготовки початкового розчину при запуску обладнання;
- втрат реактивів, пов'язаних із виконанням річної програми. Ці втрати включають винесення електроліту разом з деталями, винесення електроліту у вентиляційні канали, коригування електроліту, заміну електроліту та інші.

Витрати на початковий запуск обладнання

Витрати на початковий запуск обладнання розраховується для кожної операції процесу. Так, витрати кожного компонента розчину або електроліту визначають за формулою:

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

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

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

V_B – об'єм ванни, м³;

$K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{зап} = 0,7...0,9$) [2];

n_B – кількість ванн даного типу.

Об'єм ванни розраховуємо за формулою:

$$V_B = LBH = 1,6 \cdot 1,12 \cdot 1,250 = 2,24 \text{ м}^3$$

Для хімічного знежирення витрати реагентів складають:

$$C_{NaOH} = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{Na_3PO_4} = 70 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{Na_2CO_3} = 35 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{\text{Синтанол}} = 5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{Na_2SiO_3} = 5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Отже, отримуємо:

$$G_{NaOH} = 50 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 89,6 \text{ кг};$$

$$G_{Na_3PO_4} = 70 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 125,44 \text{ кг};$$

$$G_{Na_2CO_3} = 35 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 62,72 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Синтанол}} = 5 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 8,96 \text{ кг};$$

$$G_{Na_2SiO_3} = 5 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 8,96 \text{ кг}.$$

Для хімічного травлення витрати реагентів складають:

$$C_{HCl} = 200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{\text{Інгібітор}} = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Отже, отримуємо:

$$G_{HCl} = 200 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 358,4 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Інгібітор}} = 50 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 89,6 \text{ кг}.$$

Для активації витрати реагентів складають:

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$C_{HCl} = 200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Отже, отримуємо:

$$G_{HCl} = 200 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 358,4 \text{ кг.}$$

Витрати реагентів на приготування електроліту складають:

$$C_{ZnO} = 15 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{NH_4Cl} = 280 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{H_3BrO_3} = 25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{\text{Клей столярний}} = 2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Отже, отримуємо:

$$G_{ZnO} = 15 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 26,88 \text{ кг};$$

$$G_{NH_4Cl} = 280 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 501,76 \text{ кг};$$

$$G_{H_3BrO_3} = 25 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 44,8 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Клей столярний}} = 2 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 3,584 \text{ кг};$$

Для освітлення та пасивування витрати реагентів складають:

$$C_{CrO_3} = 15 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{HNO_3} = 7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{Na_2SO_4} = 15 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Отже, отримуємо:

$$G_{CrO_3} = 15 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 26,88 \text{ кг};$$

$$G_{HNO_3} = 7 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 12,54 \text{ кг};$$

$$G_{Na_2SO_4} = 15 \cdot 0,8 \cdot 2,24 \cdot 1 = 26,88 \text{ кг};$$

Витрати на виконання річної виробничої програми

Витрати на виконання річної виробничої програми також розраховуємо для кожної операцій нашого процесу, використовуючи формулу:

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

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

де V_{BT} – сумарний об'єм електроліту або розчину, який виноситься із ванн при виконанні річної виробничої програми, або, чи стає непридатним і змінюється на новий.

Величину V_{BT} , визначимо за формулою:

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

де коефіцієнт 1,15 ураховує площу занурюваної частини підвісок;

$S = 15530$ – сумарна поверхня деталей, які обробляються за рік, m^2 ;

$A_e = 0,2 \cdot 10^{-3} m^3/m^2$ – норма витрат розчину, величина якої не залежить від товщини покриття [2].

$$V_{BT} = 1,15 \cdot 15530 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 3,57 m^3$$

Враховуючи отримані значення, отримуємо:

– Для операції хімічного знежирення:

$$G_{NaOH} = 50 \cdot 3,57 = 178,5 \text{ кг};$$

$$G_{Na_3PO_4} = 70 \cdot 3,57 = 249,9 \text{ кг};$$

$$G_{Na_2CO_3} = 35 \cdot 3,57 = 124,95 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Синтанол}} = 5 \cdot 3,57 = 17,85 \text{ кг};$$

$$G_{Na_2SiO_3} = 5 \cdot 3,57 = 17,85 \text{ кг};$$

– Розрахунок витрат хімічних реагентів на хімічне травлення:

$$G_{HCl} = 200 \cdot 3,57 = 714 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Інгібітор}} = 50 \cdot 3,57 = 178,5 \text{ кг}$$

– Розрахунок витрат хімічних реагентів на активацію:

$$G_{HCl} = 200 \cdot 3,57 = 714 \text{ кг}$$

– Розрахунок витрат хімічних реагентів на цинкування:

$$G_{ZnO} = 15 \cdot 3,57 = 53,55 \text{ кг}$$

$$G_{NH_4Cl} = 280 \cdot 3,57 = 999,6 \text{ кг}$$

$$G_{H_3BrO_3} = 25 \cdot 3,57 = 89,25 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Клей столярний}} = 2 \cdot 3,57 = 7,14 \text{ кг}$$

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

– Розрахунок витрат хімічних реагентів на освітлення та пасивування:

$$G_{\text{CrO}_3} = 15 \cdot 3,57 = 53,55 \text{ кг}$$

$$G_{\text{HNO}_3} = 7 \cdot 3,57 = 24,99 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 15 \cdot 3,57 = 53,55 \text{ кг}$$

1.3.10 Розрахунок витрат води

Витрати води на приготування електроліту

Для розрахунку витрат води $G'_{\text{H}_2\text{O}}$ використовуємо формулу:

$$G'_{\text{H}_2\text{O}} = C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{заг}},$$

де $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – вміст води в одному м^3 електроліту, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$V_{\text{заг}}$ – сумарні витрати електроліту на виконання річної виробничої програми м^3 .

Розраховуємо вміст води в одному м^3 електроліту:

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + C_n),$$

де $d_{\text{ел}} = 1080 \text{ кг}/\text{м}^3$ – густина електроліту [2];

$C_1, C_2 \dots C_n$ – вміст компонентів в електролітів, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$C_{\text{ZnO}} = 15 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 280 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{\text{H}_3\text{BrO}_3} = 25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$C_{\text{Клей столярний}} = 2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 1080 - (15 + 280 + 25 + 2) = 758 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Загальні витрати електроліту розрахуємо за допомогою:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{В}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{В}} + V_{\text{ВТ}},$$

де $V_{\text{В}} = 2,24 \text{ м}^3$ – об'єм ванни;

$V_{\text{ВТ}} = 3,57 \text{ м}^3$ – об'єм електроліту, винесеного деталями.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$n_B = 1$ – кількість ванн;

$K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{\text{зап}} = 0,7 \dots 0,9$);

$$V_{\text{заг}} = 2,24 \cdot 0,8 \cdot 1 + 3,57 = 5,4 \text{ м}^3$$

Враховуючи отримані значення, отримуємо:

$$G_{H_2O} = 758 \cdot 5,4 = 4066,2 \text{ кг}$$

Витрати води на розкладання при електролізі

Даний розрахунок здійснюється лише для ванн, де на електродах відбувається побічний процес розкладання води. Так, для розрахунку витрати води на розкладання C''_{H_2O} використовуємо формулу:

$$C''_{H_2O} = I \cdot \frac{18 \cdot T_d \cdot B'_c}{2 \cdot 26,8},$$

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

$$C''_{H_2O} = 354,2 \cdot \frac{18 \cdot 4066,24 \cdot 4}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} = 1,9 \text{ кг}$$

Витрати води на винесення із газами

Витрати на винесення із газами C'''_{H_2O} , розраховується за формулою:

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

де C'_{H_2O} – вміст води, який виноситься із ванни одним м^3 газів, $\text{кг}/\text{м}^3$;

V_{Γ}^t – загальний об'єм вологого газу, який виділяється за температури електролізу, м^3 .

Величину C'_{H_2O} визначаємо за формулою:

$$C'_{H_2O} = 0,805 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_{H_2O}}{P_{\text{г}} - P_{H_2O}},$$

де $P_{\text{г}} = 1013,25 \text{ гПа}$ – загальний тиск паро газової суміші;

$P_{H_2O} = 23,4 \text{ гПа}$ – парціальний тиск парів води за температури електролізу.

Так, вміст води, який виноситься із ванни одним м^3 газів становить:

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C'_{H_2O} = 0,805 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{23,4}{1013,25 - 23,4} = 0,000019 = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3.$$

Загальний об'єм вологого газу, який виділяється за температури електролізу V_{Γ}^0 визначаємо за формулою:

$$V_{\Gamma}^0 = V_{H_2}^0 + V_{O_2}^0$$

Так, спочатку визначимо об'єм водню та кисню приведених до нормальних умов:

$$V_{H_2}^0 = 0,418 \cdot I \cdot T_d \cdot V'_c \cdot 10^{-5} = 0,418 \cdot 354,2 \cdot 4066,24 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 24 \text{ м}^3$$

$$V_{O_2}^0 = 0,209 \cdot I \cdot T_d \cdot V'_c \cdot 10^{-5} = 0,209 \cdot 354,2 \cdot 4066,24 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 12 \text{ м}^3$$

Загальний об'єм газів, які приведені до нормальних умов становить:

$$V_{\Gamma}^0 = 24 + 12 = 36 \text{ м}^3$$

Об'єм вологого газу за температури електролізу визначається за формулою:

$$V_{\Gamma}^t = \frac{V_{\Gamma}^0 \cdot 1013 \cdot (273 + t_{\text{ел}})}{273 \cdot (P_6 - P_{H_2O})},$$

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

$$V_{\Gamma}^t = \frac{36 \cdot 1013 \cdot (273 + 20)}{273 \cdot (1013,25 - 23,4)} = 53 \text{ м}^3$$

Відповідно, підставивши отримані значення витрати на винесення із газами C'''_{H_2O} становлять:

$$C'''_{H_2O} = 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 53 = 0,0001 \text{ кг}$$

Витрати води на промивні операції

Важливим аспектом, який необхідно враховувати, є можливість виникнення браку при недостатньому промиванні деталей під час технологічного процесу підготовки поверхні та нанесення гальванічного покриття. Проте, також слід враховувати екологічні та економічні проблеми, та раціонально використовувати водні ресурси. Так, для цього використовують ванни уловлювання, каскадні ванни з протитечею, ванни струминної та струминно-проточної промивки, а також їх комбінації. Як

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

результат, використання цих методів значно зменшує витрати води на технологічні потреби, тому при розробці схеми промивання деталей необхідно враховувати ці аспекти.

Формула для одноступеневого промивання способом занурювання має вигляд:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot K$$

Формула для двох ступеневої каскадної промивки має вигляд:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot \sqrt{K}$$

Формула для трьох ступеневої каскадної промивки має вигляд:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot \sqrt[3]{K},$$

де $A_e = 0,2 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ – норми виносу розчину із ванни поверхнею деталей;

$P_r = 3,82 \text{ м}^2/\text{год}$ – годинна виробнича програма ванни;

K – критерій остаточної промивки деталей.

Критерій остаточної промивки деталі розраховуємо за формулою:

$$K = \frac{C_0}{C_K},$$

де C_0 – концентрація основного компонента у ванні, після якої проводиться промивка, $\text{г}/\text{дм}^3$;

C_K – гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивки, $\text{г}/\text{дм}^3$.

Сумарні витрати води на промивання при виконанні виробничої програми визначаємо як:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,5,$$

де коефіцієнт 1,5 враховує можливе падіння тиску води у водопровідній мережі [2].

– Знежирення хімічне:

$$K = \frac{C_0}{C_K} = \frac{50}{0,1} = 500$$

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot \sqrt{K} = 0,2 \cdot 3,82 \cdot \sqrt{500} = 17,08 \frac{\text{дм}^3}{\text{год}}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,15 = 17,08 \cdot 4066,2 \cdot 1,15 = 104197,75 \text{ дм}^3$$

– Травлення хімічне:

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{200}{0,1} = 2000$$

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot K = 0,2 \cdot 3,82 \cdot 2000 = 1528 \frac{\text{дм}^3}{\text{год}}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,15 = 1528 \cdot 4066,2 \cdot 1,15 = 9319730,4 \text{ дм}^3$$

– Активація:

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{200}{0,1} = 2000$$

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot K = 0,2 \cdot 3,82 \cdot 2000 = 1528 \frac{\text{дм}^3}{\text{год}}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,15 = 1528 \cdot 4066,2 \cdot 1,15 = 9319730,4 \text{ дм}^3$$

– Осадження цинкового покриття:

$K_{\text{ул}} = 0,4$ – коефіцієнт для однієї ванни уловлювання;

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{15}{0,01} \cdot 0,4 = 600$$

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot \sqrt{K} = 0,2 \cdot 3,82 \cdot \sqrt{600} = 18,17 \frac{\text{дм}^3}{\text{год}}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,15 = 18,17 \cdot 4066,2 \cdot 1,15 = 114142,92 \text{ дм}^3$$

– Освітлення та хромування:

$K_{\text{ул}} = 0,4$ – коефіцієнт для однієї ванни уловлювання;

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{15}{0,01} \cdot 0,4 = 600$$

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_r \cdot \sqrt{K} = 0,2 \cdot 3,82 \cdot \sqrt{600} = 6,44 \frac{\text{дм}^3}{\text{год}}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,15 = 21,61 \cdot 4066,2 \cdot 1,15 = 39302,83 \text{ дм}^3$$

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Загальна кількість води, що витрачається на промивні операції за рік:

$$\begin{aligned}\sum V_{\text{сум}} &= 104197,75 + 9319790,4 + 9319790,4 + 114142,92 + 39302,83 = \\ &= 18897104,3 \text{ дм}^3 = 18897,1043 \text{ м}^3\end{aligned}$$

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІВЧНОГО ПРОЦЕСУ

Технологічний процес нанесення захисного цинкового покриття на дрібні сталеві деталі повинен гарантувати осадження якісного покриття. Важливим аспектом для забезпечення функціональності виробництва є контроль основних параметрів [16]. Використання автоматизованих систем контролю та контрольно-вимірювальних приладів дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів, мінімізувати ризик помилок, зменшити витрати на ручну працю та підвищити загальну ефективність і стабільність виробництва.

В даному проєкті була розроблена схема автоматизації, яка забезпечує автоматизований контроль наступних параметрів:

– Рівень розчину електроліту в гальванічній ванні та в баці з електролітом. У зв'язку з можливістю змін об'єму електроліту під час нанесення гальванічного покриття через вивантаження деталей, випаровування та виділення газів, важливим етапом є використання системи автоматичного контролю і підтримки сталого рівня електроліту. Це, в свою чергу, дозволяє забезпечувати постійність параметрів процесу і уникати негативного впливу змін об'єму електроліту на якість покриття.

– Температура розчину електроліту. Незважаючи на те, що процес нанесення цинкового покриття в хлорамонійному електроліті відбувається в межах температурного діапазону 18...35°C, важливо забезпечити контроль цього параметру для отримання покриття з потрібними характеристиками.

– Контроль показника рН розчину електроліту. Процес осадження цинкового покриття проводять в діапазоні значень рН 5,9...6,7 і контроль цього показника є важливим етапом, оскільки відхилення рівня рН від оптимального може призвести до нерівномірного осадження покриття, появи дефектів на покритті, зменшення його міцності та тривалості служби.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

– Контроль витрати розчину електроліту в трубопроводі здійснюється для забезпечення постійного подання електроліту до гальванічної ванни та забезпечення стабільності умов електролізу.

– Контроль сили струму та напруги. Це є важливим аспектом, оскільки будь-які відхилення від заданих значень можуть негативно вплинути на якість покриття.

У таблиці 2.1. наведені основні параметри контролю та керування процесом нанесення захисного цинкового покриття.

Таблиця 2.1. Параметри контролю та керування виробництвом

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Бак з електролітом	Рівень	0,9	Контроль, сигналізація
2	Трубопровід	Витрата	-	Контроль
3	Гальванічна ванна	pH	5,9...6,7	Контроль, регулювання, сигналізація
4	Гальванічна ванна	Рівень	0,9	Контроль, регулювання, сигналізація
5	Гальванічна ванна	Температура	18...35°C	Контроль
6	Гальванічна ванна	Сила струму та напруга	I=354,2 А; U=3,29 В	Контроль, регулювання

В розробленій схемі автоматизації для моніторингу рівня розчину в баці з електролітом використовується радарний безконтактний рівнемір (1-1),

який має високу точність вимірювання, та автоматичний показувальний та реєструвальний вторинний прилад з вбудованим пристроєм сигналізації (1-2).

Контроль витрати розчину електроліту в трубопроводі здійснюється за допомогою електромагнітного витратоміру (2-1) та автоматичного показувального вторинного приладу (2-2).

Для регулювання та контролю показника рН розчину електроліту в гальванічній ванні використовуються такі складові, як чутливий елемент рН-метра (3-1), високоомний перетворювач (3-2) та автоматичний показувальний та реєструвальний вторинний прилад з вбудованим пристроєм сигналізації (3-3).

Рівень електроліту також регулюється та контролюється в гальванічній ванній з використанням радарного безконтактного рівнеміру (4-1), автоматичного показувального та реєструвального вторинного приладу з вбудованим пристроєм сигналізації (4-2), мікропроцесорного регулятора (4-3) та сідельного клапана (4-4).

Для моніторингу температури електроліту в гальванічній ванні використовується термоперетворювач опору (5-1) та автоматичний показувальний та реєструвальний вторинний прилад (5-2).

Контроль та регулювання напруги та сили струму у гальванічній ванні цинкування проводиться з використанням окремого контура, який включає в себе одну складову – випрямний агрегат для гальванічних ванн (6-2).

У додатку А наведена специфікація на використані технічні засоби.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Підприємства у промисловій структурі держави

Для організації гальванічного цеху необхідно здійснити розрахунки техніко-економічних показників цеху з нанесення гальванічного покриття та повну собівартість продукції. Проаналізувавши отримані дані, роблять висновки щодо доцільності створення виробничого цеху для підприємства.

Мета діяльності: задоволення потреб приладобудівної промисловості у сталевих деталях з антикорозійними властивостями.

КВЕД: код 25.61 що включає нанесення цинку на недорогі метали.

Організаційно-правова форма: фізична особа підприємець.

Класифікаційні ознаки підприємства:

1. за формою власності – приватна;
2. за формою реєстрації – фізична особа;
3. за спеціалізацією виробництва – вузькоспеціалізоване;
4. за масштабом виробництва – масове;
5. за ресурсами – матеріаломістке;
6. за потужністю – середня;
7. за чисельністю персоналу – мала;
8. за вартістю власного майна – середня;
9. за впливом на предмет праці – переробне;
10. за режимом роботи протягом року – позасезонне;
11. за призначенням продукції – товари промислового призначення.

КВЕД 25.61

Оброблення металів та нанесення покриття на метали

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

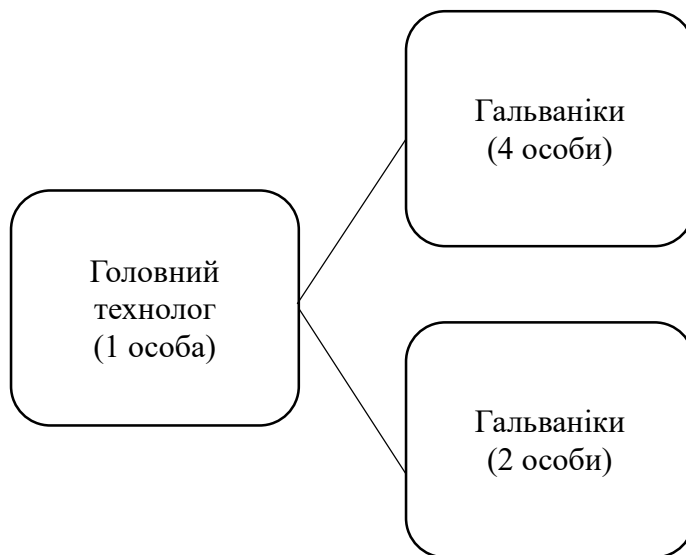
– Оброблення металів за допомогою електролітичних або хімічних процесів, таких як гальванічне покриття, анодування, фарбування, нанесення металевих покриттів тощо.

– Нанесення на поверхню металів покриттів з використанням електролітичних процесів або обробка металів з використанням хімічних процесів.

– Інші види оброблення металів, включаючи полірування, очищення, травлення тощо.

Основними завданнями підприємства є забезпечення клієнтів продукцією високої якості в узгоджені строки, гарантування працівникам гідної заробітної плати та належних умов праці, запобігання перебоям у роботі, включаючи випуск неякісної продукції, зриви поставок, різке зниження обсягів виробництва та зменшення рентабельності, а також отримання прибутку через реалізацію виготовленої продукції споживачам [9].

Схема організаційної структури підрозділу хімічного виробництва по гальванічному нанесенні цинку: лінійна структура наведена на Рисунку 3.1.



Рисисунок 3.1 – Організаційна структура підрозділу хімічного виробництва по нанесенню цинкового покриття на дрібні сталеві деталі.

3.2 Технологічна підготовка виробництва

Нанесення цинкового покриття на дрібні сталеві деталі проводиться відповідно до технологічної карти, яка включає операції, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Операції нанесення цинкового покриття на дрібні сталеві деталі

№	Найменування операції	Тривалість, хв
1	Монтаж деталей	4
2	Знежирення хімічне	10
3	Промивка тепла	2
4	Промивка холодна	2
5	Травлення хімічне	10
6	Промивка холодна	2
7	Активація	1
8	Промивка холодна	2
9	Цинкування електрохімічне	24
10	Промивка у ванні уловлювання	2
11	Промивка холодна	2
12	Освітлення і пасивація	2
13	Промивання у ванні уловлювання	2
14	Промивка холодна	2
15	Промивка тепла	2
16	Сушіння теплим повітрям	5
17	Демонтаж деталей	4
18	Висушування в сушильній шафі	10
19	Контроль якості	10
Загалом:		98

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

63

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

Підприємство працює п'ять днів на тиждень, в дві зміни по 8 годин кожна. Кількість робочих днів складає 262 діб. Річний обсяг програми з урахуванням коефіцієнту браку становить 15 530 м²/рік.

Добова виробнича програма визначається складає:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_p}{T_{\text{роб}}} = \frac{15530}{262} = 59,27 \text{ м}^2/\text{доба}$$

Виробнича програма зміни становить:

$$P_{\text{змін}} = \frac{59,27}{2} = 29,64 \text{ м}^2/\text{зміну}$$

Для забезпечення виробничої програми кількість циклів за одну зміну становить:

$$m = \frac{P_{\text{змін}}}{y_c} = \frac{29,64}{1,6} = 18,5 \approx 19 \text{ завантажень/зміну,}$$

де $S_{\text{оз}}$ – загальна поверхня деталей, на які наносять покриття в одній ванній,

приведена в технологічних розрахунках.

Кількість циклів для двох змін складає 38 завантажень/зміну.

Розрахуємо ВРПП для:

- послідовного;
- паралельного;
- синхронізованого типу.

Час, необхідний для виконання всіх основних операцій, представлений у таблиці 3.1 і складає:

$$\sum_{i=1}^{19} t_i = 98 \text{ хв}$$

– Для послідовного ВРПП:

$$V_{\text{посл}} = \frac{T_{\text{посл.за 2 зміни}}}{\sum_{i=1}^{19} t_i} = \frac{8 * 2 * 38}{98} = 9,31 \approx 9 \text{ завантажень/добу}$$

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$V_{\text{посл.річна}} = V_{\text{посл}} * 262 * S_{\text{оз}} = 9 * 262 * 1,6 = 3772,8 \text{ м}^2 \approx 3773 \text{ м}^2$$

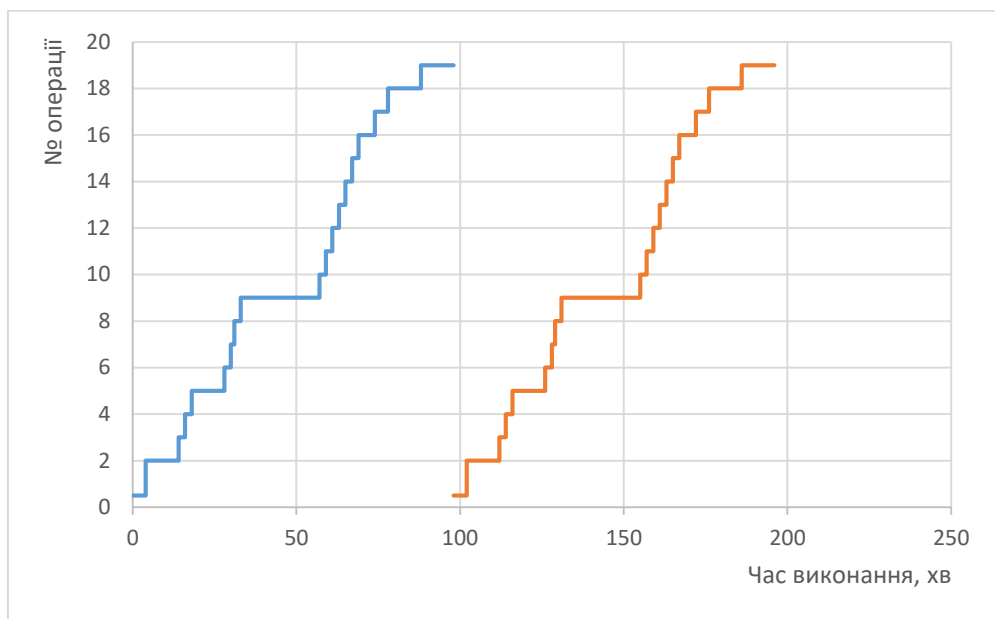


Рисунок 3.2 - Графік послідовного ВРПШ

– Для паралельного ВРПШ:

$$V_{\text{парал}} = \frac{T_{\text{парал.за 2 зміни}} + t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^{15} t_i}{t_{\text{max}}},$$

де t_{max} – час найдовшої операції ($t_{\text{max}} = 24$ хв).

$$V_{\text{парал}} = \frac{8 * 2 * 38 + 24 - 98}{24} = 22,25 \approx 22 \text{ завантажень/добу}$$

$$V_{\text{парал.річна}} = V_{\text{парал}} * 262 * S_{\text{оз}} = 22 * 262 * 1,6 = 9222 \text{ м}^2$$

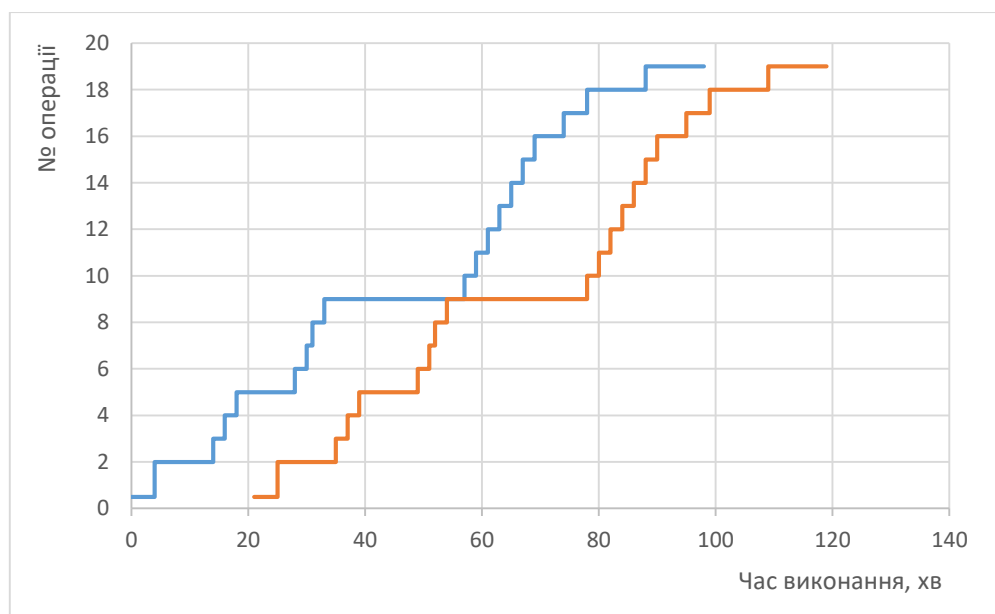


Рисунок 3.3 - Графік паралельного ВРПШ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

65

– Для синхронізованого ВРПП:

Визначаємо ритм:

$$N_{\text{завантажень/день(2 зміни)}} = \frac{T_{\text{синх.за 2 зміни}} + R - \sum_{i=1}^{15} t_i}{R}$$

$$N_{\text{завантажень/день(2 зміни)}} = 38 = \frac{8 * 2 * 38 + R - 98}{R}$$

$$R = 13,78 \approx 14$$

Перевірка:

$$V_{\text{синх}} = \frac{T_{\text{синх.за 2 зміни}} + R - \sum_{i=1}^{15} t_i}{R} = \frac{8 * 2 * 38 + 13,78 - 98}{13,78}$$

$$= 38 \text{ завантажень/добу}$$

$$V_{\text{синх.річна}} = V_{\text{синх}} * 262 * S_{\text{оз}} = 38 * 262 * 1,6 = 15929,6 \text{ м}^2 = 15930 \text{ м}^2$$

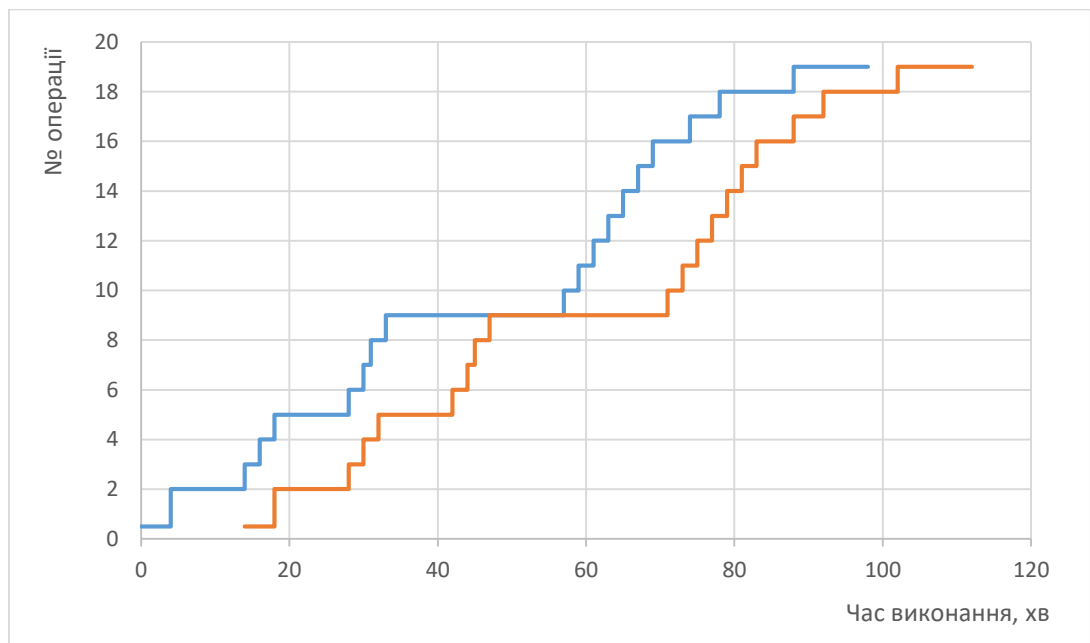


Рисунок 3.4 – Графік синхронізованого ВРПП

Аналізуючи проведені розрахунки для виконання річної програми, доцільно використовувати синхронізований ВРПП з ритмом 13,78 хв, що забезпечує виконання річної програми в 15530 м² на рік, виконуючи 38 завантажень на добу.

Для повного виконання програми за синхронізованим ВРПП необхідна наступна кількість обладнання:

Явочна кількість персоналу

Для здійснення повного обсягу робіт на підприємстві необхідно, щоб на кожну зміну працювали мінімум три працівники: два гальваніка і один лаборант. А також, лише в першу зміну працює один головний технолог, обов'язками якого є контроль всього процесу.

Чисельність персоналу за списком:

$$Ч_{\text{сп.}} = Ч_{\text{яв.}} * \frac{T_{\text{підп.рік}}}{T_{\text{прац.рік}}},$$

де $Ч_{\text{яв.}} = 3$ особи (2 гальваніків і 1 лаборанта);

$T_{\text{підп.рік}}$ – кількість годин які працює підприємство за рік (год/рік);

$T_{\text{прац.рік}}$ – кількість робочих годин працівника за рік.

$$Ч_{\text{сп.}} = 3 * \frac{\frac{16}{24} * 262}{\frac{8}{24} * 262} = 6$$

Графік роботи підприємства

Понеділок – п'ятниця: 7:00 – 23:00

– Перша зміна працює за графіком: 06:00 – 14:00 год;

– Друга зміна працює за графіком: 14:00 – 22:00 год;

– Головний технолог працює за графіком: 10:00 – 18:00 год;

Субота – неділя: вихідні дні

Графік змінності працівників наведено в Таблиці 3.2. Кожна бригада складається з двох гальваніків і одного лаборанта.

Таблиця 3.2 – Графік змінності працівників на підприємстві

Дні Прац	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд
	Гол. техн.	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	В
Бриг. 2	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	В	В

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

Технологічний контроль на виробництві:

Об'єкти контролю:

- ефективність функціонування технічного обладнання;
- сировина і матеріали;
- технологічні процеси;
- готова продукція;
- напівфабрикати власного виробництва

Суб'єкт контролю:

— головний технолог. Здійснює загальний нагляд за всіма об'єктами контролю, координує роботу контрольних підрозділів, приймає рішення щодо усунення виявлених невідповідностей. Впроваджує нові методів контролю, підготовка звітності, навчання персоналу щодо стандартів якості

Види та методи контролю:

- за технічним рівнем – ручний;
- за параметрами, що визначаються – якісний метод перевірки;
- за стадійністю процесу – вхідний, поточний, вихідний;
- за охопленням об'єктів контролю – груповий;
- за обсягом – вибірковий.

Відповідність технологічній карті: Процес нанесення цинкового покриття контролюється відповідно до технологічної карти, яка визначає всі етапи обробки, включаючи підготовку поверхні, електролітичне осадження цинку та заключні операції.

Контрольні точки:

Вхідний контроль. Перевірка якості сталевих деталей та хімічних реагентів.

Поточний контроль. Контроль параметрів електролітичного осадження (струм, напруга, температура розчину).

Вихідний контроль. Перевірка якості покриття (товщина, адгезія,

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

зовнішній вигляд).

Ефективний контроль на підприємстві забезпечує стабільність виробничих процесів, високу якість продукції та оптимізацію витрат. Відповідний підхід до організації контролю, з урахуванням специфіки об'єктів, методів та видів контролю, дозволяє досягати високих стандартів виробництва та задовольняти потреби споживачів.

3.4 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

Таблиця 3.3 - Склад основних фондів підприємства

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Вартість грн за одиницю	Вартість, грн
Ванна для хімічного знежирення	1	15 000	15 000
Ванна для хімічного травлення	1	13 000	13 000
Ванна для активації	1	12 000	12 000
Ванна для електрохімічного цинкування	1	27 000	27 000
Ванна для хроматування	1	32 000	32 000
Барабанний електролізер	1	200 000	200 000
Ванна уловлювання каскадного типу	2	30 000	60 000
Ванна для промивки в теплій воді	2	14 000	28 000
Ванна для промивки в холодній воді	5	14 000	70 000
Система автоматизації	2	23 000	46 000
Сушильна шафа	1	30 000	30 000
Будівлі і споруди		900 000	900 000
Трубопроводи		80 000	80 000
Нематеріальні активи		40 000	40 000
Загалом:			1 553 000

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

69

Амортизація основних фондів:

– Амортизація будівель та споруд

$$A_{б} = \frac{H_{буд}}{T} = \frac{900\,000}{20} = 45\,000 \text{ грн/рік}$$

– Амортизація приладів і обладнання:

$$A_{обл} = \frac{H_{обл}}{T} = \frac{533\,000}{5} = 106\,600 \text{ грн/рік}$$

– Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{нм} = \frac{H_{нм}}{T} = \frac{40\,000}{12} = 3\,333,3 \text{ грн/рік}$$

– Амортизація трубопроводів:

$$A_{тр} = \frac{H_{тр}}{T} = \frac{80\,000}{15} = 5\,333 \text{ грн/рік}$$

– Загалом:

$$A = 45\,000 + 106\,600 + 3\,333,3 + 5\,333,3 = 160\,267 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 3.4 - Тарифна сітка підприємства

Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряд	Тарифні коефіцієнти
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 3.5 - 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	154,08	1 232,64	322 951,68
Лаборант	2	12	2,12	101,76	1 628,16	426 577,92
Гальванік	4	17	3	144	4 608	1 207 296
Всього	7				7 468,8	1 956 825,6

Примітка: Тарифна ставка однієї години роботи працівника першого розряду – 48 грн.

Нарахування до Пенсійного фонду становлять 22% з заробітної плати працівників. Згідно до цього нарахування на ЗП:

$$H = 0,223 \cdot П = 0,22 \cdot 1\,956\,825,6 = 430\,501,63 \text{ грн/рік}$$

Фонд оплати праці становить:

$$ФОП = ЗП + H = 1\,956\,825,6 + 430\,501,63 = 2\,387\,327,23 \text{ грн}$$

3.5 Вартість електроенергії та річних оборотних фондів

Таблиця 3.6 - Річні оборотні фонди підприємства

Найменування	Ціна	Витрата на рік	Вартість, грн
Оксид цинку	85	268,1	22 788,5
Хлорид амонію	94	375,34	35 281,96
Борна кислота	133	187,67	24 960,11
Цинкові аноди	255	1 148,3	292 816,5
Клей столярний	100	26,81	2 681
Гідроксид натрію	126	1072,4	135 122,4
Карбонат натрію	65	268,1	17 426,5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

71

Продовження таблиці 3.6

Фосфаат натрію	126	1 072,4	135 122,4
Силікат натрію	36	80,43	2 895,48
Хлоридна кислота	150	1 501,36	225 204
Синтанол ДС-10	126	134,05	16 890,3
Інгібітор	210	10,724	2 252,04
Ангідрид хромовий	104	80,43	8 364,72
Кислота азотна	120	37,534	4 504,08
Натрій сірчаноокислий	50	80,43	4 021,5
Вода	45,97	18 901,02	868 879,7239
Електроенергія	4,19	1,17	20 550,4416
Загалом:			1 819 762

Таблиця 3.7 - Калькуляція продукції

№	Елементи затрат	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн./м ²	
1	Амортизація	160 266,67	10,32	3,67
2	Оборотні фонди	1 819 761,66	117,18	41,67
3	Заробітна плата	1 956 825,6	126,00	44,81
4	Нарахування на ЗП	430 501,63	27,72	9,86
5	Повна собівартість	4 367 355,55	281,22	100

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

72

3.6 Техніко-економічні показники

- Собівартість 1 м² продукції без неврахованих витрат:

$$C = A + O_{63} = 10,32 + 117,18 = 127,5 \text{ грн/м}^2$$

- Повна собівартість 1 м² продукції повинна включати додаткові 20% неврахованих витрат від виробничої собівартості. Таким чином,

$$C = 127,5 + 127,5 \cdot 0,2 = 153 \text{ грн/м}^2$$

- Собівартість 1 м² продукції повинна включати додаткові 80% накладних витрат, які витрачаються на утримання підприємства. Таким чином,

$$C = 153 + 153 \cdot 0,8 = 275,4 \text{ грн/м}^2$$

- Прибуток:

$$\Pi = \text{Ц} - C = 360 - 275,4 = 84,6 \text{ грн/м}^2$$

Ринкова ціна нанесення цинкового покриття становить $\text{Ц} = 360 \text{ грн/м}^2$.

- Рентабельність:

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100 = \frac{84,6}{275,4} \cdot 100 = 31 \%$$

- Капіталовкладення:

$$K = (O_3 - A) + O_{63} = (1\,553\,000 - 160\,266,67) + 1\,819\,761,66 = 3\,212\,495 \text{ грн}$$

- Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{84,6 \cdot 15530}{3\,212\,495} = 0,41 \text{ грн/грн}$$

- Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,41} = 2,44 \text{ рік}$$

- Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{O_3} = \frac{\text{Ц} \cdot V_p}{O_3} = \frac{360 \cdot 15530}{1\,553\,000} = 3,6 \text{ грн/грн}$$

- Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{O_{63}} = \frac{\text{Ц} \cdot V_p}{O_{63}} = \frac{360 \cdot 15530}{1\,819\,761,66} = 3,07 \text{ грн/грн}$$

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- Фондоємність основних засобів:

$$\Phi\epsilon_{03} = \frac{1}{\Phi B_{03}} = \frac{1}{3,6} = 0,27 \text{ грн/грн}$$

- Фондоємність оборотних засобів

$$\Phi\epsilon_{063} = \frac{1}{\Phi B_{063}} = \frac{1}{3,07} = 0,326 \text{ грн/грн}$$

Висновок: В даному розділі дипломного проєкту було розраховано техніко-економічні параметри цеху з отримання захисного цинкового покриття на дрібні сталеві деталі (Таблиця 3.8), які свідчать про рентабельність виробництва.

Таблиця 3.8 - Показники отримані в розділі

Випуск продукції, м ² /рік	15 530
Собівартість, грн/м ²	275,4
Капіталовкладення, грн	3 212 495
Прибуток, грн/м ²	84,6
Рентабельність, %	31
Період повернення капіталовкладень, року	2,44
Коефіцієнт економічної ефективності, грн/грн	0,41
Фондовіддача основних засобів, грн/грн	3,6
Фондовіддача оборотних засобів, грн/грн	3,07
Фондоємність основних засобів, грн/грн	0,27
Фондоємність оборотних засобів, грн/грн	0,326

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

74

Період повернення капіталовкладень складає 2,4 роки, що свідчить про рентабельність підприємства. Результати розрахунків підтверджують доцільність створення цього підприємства, оскільки продукція, вироблена в спроектованому цеху, здатна задовольнити потреби споживачів і забезпечити отримання прибутку.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						75
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

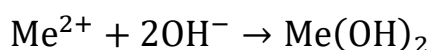
Гальванічне виробництво у технологічному процесі використовує великі обсяги води, тому важливим аспектом виробництва є ефективне очищення стічних вод [7]. Стічні води перед спуском в каналізацію повинні мати рН 7,5 ... 8,5. В якості методів очистки стічних вод на виробництві застосовується реагентний метод очистки та знешкодження концентрованих технологічних розчинів та промивних вод. В основі цього методу лежать хімічні реакції, які переводять шкідливі забруднювачі у воді з розчину в нерозчинний осад із подальшим витягом осаду зі стоку [8]. Для прискорення та покращення коагуляції осаджуючих гідроксисполук, використовують флокулянт – поліакриламід. Стічні води виробництва цинкування розділені на потоки: кислотно-лужні та хромвмісні.

Так, для нейтралізації кислотно-лужних потоків застосовують 10%-ий розчин гідроксиду натрію (NaOH) до значення рН 7...8 (для переведу катіонів важких металів в осад). Після цього стічна вода потрапляє у відстійник.

Хімічна нейтралізація кислих і лужних вод відбувається шляхом проведення наступної реакції:



Нейтралізація вільних мінеральних кислот здійснюється шляхом додавання розчинних лужних речовин до води. У ході цього процесу іони важких металів перетворюються на малорозчинні гідроксиди, які осідають:



Перевагами реагентного методу очистки води є:

- Можливість автоматизованого безперервного очищення стічних вод до рівня, що відповідає гранично допустимим концентраціям;
- Простота експлуатації;

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

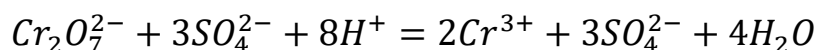
- Гнучкість у регулюванні дозування реагентів для досягнення необхідного рівня очищення;
- Відсутність необхідності у великих капіталовкладеннях на обладнання.

4.1. Очищення стічних вод від хромовмісних сполук

Очищенню води від сполук шестивалентного хрому на сучасних промислових підприємствах приділяється особлива увага, оскільки вони належать до першого класу небезпеки. Токсичність Cr (VI) проявляється в пригніченні росту та гальмуванні метаболічних процесів, а також сполуки хрому входять до групи з високим канцерогенним ризиком.

Складний склад хромовмісних стічних вод вимагає особливого підходу до очищення, який обирають залежно від складу та природи забрудненого потоку. Так, для очистки хромовмісних вод використовують реагентний метод очистки, яка включає в себе два окремі етапи [7]. На першому етапі здійснюють відновлення шестивалентного хрому до трьохвалентного у кислому середовищі, використовуючи 10% розчин Na_2SO_3 . Для досягнення максимальної швидкості реакції очистка проводиться в кислому середовищі (рН=2-2,5) при інтенсивному перемішуванні.

Так, перший етап очистки хромових стічних вод здійснюється за реакцією:

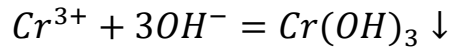


Недоліками такого процесу є необхідність додаткових витрат кислоти для підкислення розчину та висока окиснювальна здатність відновника під час зберігання, що ускладнює точне дозування та призводить до більших витрат.

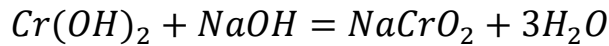
На другій стадії розчинний Cr^{3+} переводять в осад в лужному середовищі, використовуючи вапняне молоко $Ca(OH)_2$, гідроксид натрію або соду. Важливим аспектом є контроль рН, який повинен мати діапазон значень

					ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

від 8,5-9. В разі відхилення цього показника від норми збільшується розчинність $Cr(OH)_3$ що унеможливилює повне видалення його зі стічних вод. В результаті цього процесу відбувається наступна реакція:



Амфотерний гідроксид Cr^{3+} утворює розчинні хромати в надлишку лугу при значенні рН рівному або вищому за 12. Цей процес протікає за реакцією:



4.2 Схема очищення стічних вод гальванічного цинкування

На рисунку 4.1 зображена принципова схема очистки стічних вод гальванічного цинкування.

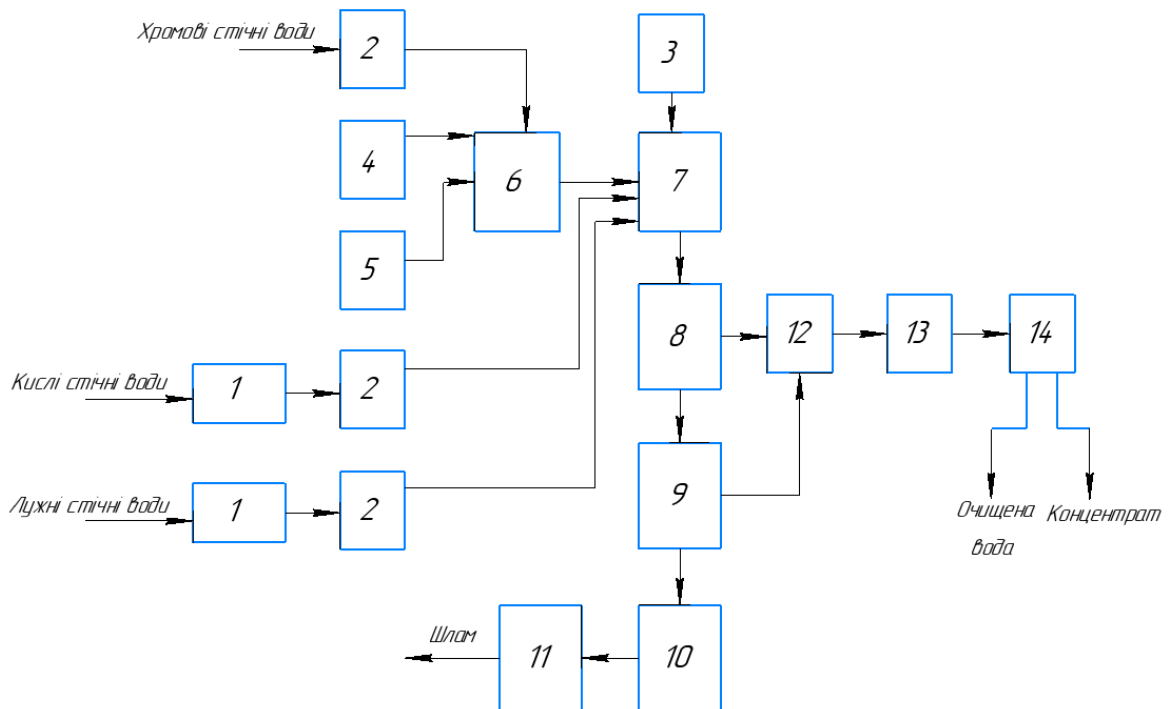


Рисунок 4.1. Схема очищення стічних вод

1-пісковловлювач; 2-усерднювач; 3-дозатор луку; 4-дозатор кислоти; 5-дозатор відновника; 6-реактор; 7-нейтралізатор; 8-відстійник; 9-вакуум-фільтр; 10-накопичувач зневоднених осадів; 11-шламовий майданчик; 12-механічний фільтр; 13-фільтр з активованого вугілля; 14-зворотній осмос.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

78

Кислотно-лужні стоки накопичуються в баках усереднювачах (2), звідки за допомогою насоса перекачуються в нейтралізатор (7). Нейтралізацію кислотно-лужних стоків здійснюють шляхом додавання 10%-го розчину NaOH, контролюючи значення показника рН, який повинен знаходитись в діапазоні від 7 до 8. Це в свою чергу сприяє осадженню катіонів важких металів. Так, після додавання розчину вручну в реактор через люк, розчин перемішується протягом 15 хвилин. Перевірку ступеня нейтралізації проводять, використовуючи лабораторний рН-метр. В разі потреби розчин підкислюють 10%-вим розчином H_2SO_4 . Після завершення цього процесу стоки перекачуються насосом до баку відстійника (8).

Хромовмісні стоки з ванни уловлювання та ванни промивки надходять в бак усереднювач (2). Як і попередньо зазначалося, процес очистки хромовмісних стоків проводиться в дві стадії. Спочатку стоки закачують в реактор (6), де відбувається процес відновлення Cr^{6+} до Cr^{3+} за допомогою 10%-го розчину Na_2SO_3 в кислому середовищі. Так, після додавання розчину вручну в реактор через люк, розчин перемішується протягом 20-30 хвилин. Для перевірки процесу відновлення Cr^{6+} до Cr^{3+} вимірюють лабораторним рН-метром значення показника рН, яке повинно бути в діапазоні 2-2,5. У разі не відповідності виміряних значень, розчин додатково змішують з коцентованими кислотами.

Наступною стадією очистки є перетворення розчинного Cr^{3+} в осад шляхом додавання 10%-го розчину NaOH. Розчин вручну додається в бак нейтралізатора (7) через люк. Для перевірки осадження Cr^{3+} використовують лабораторний рН-метр, показник рН розчину повинно знаходитись в діапазоні від 7 до 8. Якщо вимірний показник відповідає нормам, стічні води перекачуються насосом до відстійника (8).

Після відстійника, стічні води потрапляють до вакуум-фільтра (9), звідки очищена від осаду вода подається на механічний фільтр (12) і проходить ще одну стадію очистки. Осад видаляється з фільтра, після чого

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

його поміщають в контейнери, сушать і зберігаються на місці зберігання відходів або переходять на утилізацію.

Вода, проходячи через фільтр з активованого вугілля (13) потрапляє в систему зворотнього осаду (14), на якому досягається 95%-ий ефект очищення стічних вод від важких металів, що в свою чергу дає можливість повторного використання води для технологічного процесу.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						80
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Провівши аналіз технологічної частини проекту можна зробити висновок, що дане виробництво потребує використання матеріалів та речовин, які класифікуються, як небезпечні, вибухонебезпечні. Під час роботи здійснюється використання механічної, електричної, теплової енергії, а також енергії стислого газу.

За результатами досліджень комплексу шкідливих та небезпечних факторів виробництва, а також враховуючи сучасні вимоги щодо охорони праці, у даному розділі було розроблено ряд заходів для створення здорових та безпечних умов праці на виробництві.

5.1 Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на об'єкті, що проєктується. Заходи з охорони праці.

5.1.1 Повітря робочої зони

У гальванічному цеху робота, що виконується, пов'язана з обслуговуванням автооператорної та технологічної лінії і згідно санітарних норм мікроклімату у виробничих приміщеннях (ДСН 3.3.6.042-99) дана робота класифікується, як робота середньої тяжкості, що належить до категорії II-б - фізична робота середньої тяжкості [11]. В таблиці 6.1. представлені оптимальні умови мікроклімату в робочій зоні для виконання даної категорії робіт.

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

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	II б	17-19	40-60	0.2
Теплий	II б	20-22	40-60	0.3

В таблиці 5.2 наведено коротку санітарну характеристику цеху, що проєктується.

Таблиця 5.2 - Коротка санітарна характеристика цеху, який проєктується.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна пасивації	Ванна активації	Ванна хімічного та електрохімічного знежирення	Ванна активації	Ванна хімічного та електрохімічного знежирення	Ванна хімічного та електрохімічного знежирення	Ванна хімічного та електрохімічного знежирення	Ванна хімічного та електрохімічного знежирення	Ванна хімічного та електрохімічного знежирення	Ванна хімічного та електрохімічного знежирення
Нітратна кислота	Хлоридна кислота, розлив або випаровування.	Гідроксид натрію, розлив, внаслідок не обачності робітників	Хлоридна кислота, розлив або випаровування.	Гідроксид натрію, розлив, внаслідок не обачності робітників	Хлоридна кислота, розлив або випаровування.	Гідроксид натрію, розлив, внаслідок не обачності робітників	Хлоридна кислота, розлив або випаровування.	Гідроксид натрію, розлив, внаслідок не обачності робітників	Хлоридна кислота, розлив або випаровування.
Подразнює верхні дихальні шляхи, викликає опіки.	Подразнюючі, викликає хімічні опіки.	При попаданні на шкіру, очі, слизові оболонки, викликає хімічні опіки.	Подразнюючі, викликає хімічні опіки.	При попаданні на шкіру, очі, слизові оболонки, викликає хімічні опіки.	Подразнюючі, викликає хімічні опіки.	При попаданні на шкіру, очі, слизові оболонки, викликає хімічні опіки.	Подразнюючі, викликає хімічні опіки.	При попаданні на шкіру, очі, слизові оболонки, викликає хімічні опіки.	Подразнюючі, викликає хімічні опіки.
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавички.	Захисні окуляри, респіратор, халат.	Гумові рукавички, захисний халат, респіратор РПГ -67, захисні окуляри ОП-1	Захисні окуляри, респіратор, халат.	Гумові рукавички, захисний халат, респіратор РПГ -67, захисні окуляри ОП-1	Захисні окуляри, респіратор, халат.	Гумові рукавички, захисний халат, респіратор РПГ -67, захисні окуляри ОП-1	Захисні окуляри, респіратор, халат.	Гумові рукавички, захисний халат, респіратор РПГ -67, захисні окуляри ОП-1	Захисні окуляри, респіратор, халат.
Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.	Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.	Промити слабким розчином оцтової кислоти	Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.	Промити слабким розчином оцтової кислоти	Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.	Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.	Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.	Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.	Промити великою кількістю води, 2% розчиненої соди.
ХЖ-130 хромограф рідинний	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2	ХГА «АГАТ»	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2	ХГА «АГАТ»	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2	ХГА «АГАТ»	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2	ХГА «АГАТ»	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2
IV	V	IV	V	IV	V	IV	V	V	V
36	16	3a	16	3a	16	3a	16	3a	16

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

ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ

Арк.

82

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна пасивації	Сульфатна кислота	Подразнює верхні дихальні шляхи, викликає опіки.	5	2	Халат для захисту одягу, респіратор, гумові рукавички.	При потрапленні на шкіру – промити великою кількістю води	ХЖ-130 хромограф рідинний	IV	36

З метою забезпечення оптимальних умов праці у цеху в холодний період року та відповідно до ДБН В.2.5-67:2013, згідно з проектом передбачається обладнання центральної системи опалення, із використанням однотрубною системи з нижнім підведенням [13]. Також додатково передбачається опалення виробничих приміщень за допомогою повітряного опалювання комбінованого з припливною вентиляцією. Для оберігання працівників від протягів, з метою запобігання проникненню холодного повітря через двері входи в цех обладнуються тамбурами та повітряними тепловими завісами.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013, згідно з проектом в цеху передбачається природна і механічна вентиляція. Щоб у холодний період року повітря не потрапляло на робочі місця в цеху, для подачі свіжого повітря спроектовані отвори на висоті 4,5 метри від рівня підлоги. Для додаткового провітрювання влітку передбачено відчинення нижнього ряду вікон, висотою 1,2 метри. Пристрої для приймання повітря знаходяться на висоті 2 м від поверхні землі та розташовуються нижче отворів для відведення використаного повітря.

Відведення шкідливих виділень від місць їх утворення здійснюється через місцеву витяжку та системи механічної вентиляції.

Хіміко-гальванічна лінія має значну кількість ванн з концентрованими розчинами та промивками. У ваннах з концентрованими розчинами є суцільні бортові відсмоктувачі, а ванна гальванічного нанесення

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

цинкового покриття довжиною понад 1 метр облаштована секційними бортовими відсмоктувачами. Дані відсмоктувачі виготовлені у вигляді окремих секцій, які мають самостійний патрубок, що під'єднується до загального вивідного каналу.

Також додатково передбачається загальна витяжка з верхніх зон приміщення, при цьому враховується загальний притік повітря так, щоб не допустити перевищення граничної норми концентрації парів, газів і отруйних виділень. Під час розгляду щодо послідовності включення гальванічних і підготовчих ванн у вентиляційну систему враховуються наступні вимоги: ванни з легколеткими і шкідливими розчинниками та розчинами підключаються у вентиляційну мережу першими і тому розміщуються ближче до вентилятора, далі за цими ваннами розташовують ванни знежирення в лужних розчинах.

Витяжна система має верхню розводку, уздовж стін на висоті 3,5...4 м від підлоги прокладені труби, які мають нахил у бік ванн, для видалення концентрату з вентиляційних кожухів. Ця система має негативний повітряний баланс, тобто переважає надходження повітря над його відведенням. Компенсація повітря, що видаляється місцевою та обмінною вентиляцією на 98% проводиться шляхом механічного притоку повітря з підігрівом в холодний період року. Об'єм повітря, що надходить менший на 10 - 15% ніж об'єм повітря, що відводиться. У цеху діє витяжна загальнообмінна механічна вентиляція, яка забезпечує надходження та відведення повітря.

Через наявність парів кислот, густина яких перевищує густину повітря при загальнообмінній вентиляції схема організації повітрообміну обрана «згори-донизу».

Також додатково у цеху передбачено аварійну вентиляцію, яка приводиться в дію тільки у разі аварійних ситуацій. Кратність повітрообміну для аварійної вентиляції становить 8 разів на годину, разом із робочим режимом вентиляції.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

З метою зменшення виділення шкідливих речовин в повітрі робочої зони розроблені наступні заходи:

1. Приготування і коректування ванн проводиться лише при увімкненій місцевій вентиляції.

2. Для недопущення потрапляння на підлогу розчинів простір між ваннами закривається козирками.

3. Для попередження виносу електролітів з ванни автооператор зупиняється над ванною на не тривалий проміжок часу, для того, щоб з барабану стекла максимальна кількість робочого електроліту.

Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції

Для ефективного видалення шкідливих парів ванни у гальванічному цеху обладнано бортовими відсмоктувачами. Дані прилади потребують великої витрати повітря, тому встановлюються лише тоді, коли неможливо застосувати більш економічний тип відсмоктувачів. Для розрахунку необхідної кількості повітря, що видаляється двосторонніми бортовими відсмоктувачами від ванн знежирювання та цинкування, враховується об'єм ванн, швидкість витяжки та вимоги щодо ефективного зняття шкідливих парів.

Розміри ванн: $a = 1,6$ м, $b = 1,12$ м.

Об'ємну витрату повітря, що видаляється через бортові відсмоктувачі, розраховуємо за формулою, $\text{м}^3/\text{год}$:

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

де a, b – довжина та ширина ванни, м;

t_p, t_n – температура розчину та навколишнього середовища;

K_3 – коефіцієнт запасу (приймається 1,5);

K_t – коефіцієнт запасу для бортового відсмоктувача;

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

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

- для двостороннього бортового відсмоктувача;

b – безрозмірна характеристика ($b = 1/15$ для двостороннього бортового відсмоктувача);

n – кількість прямих кутів між границями потоку повітря ($n = 3$).

Таблиця 5.3 - Розрахунки

Процес	$t_p, ^\circ C$	$t_{п}, ^\circ C$	K_t	Кількість ванн, шт	Лвід, м ³ /год
Знежирення (NaOH)	70	20	1,18	1	9866,82
Цинкування	25	20	1,18	1	3120,16
Загалом:					12986,98

Розраховуємо втрати тиску трубопроводах, кг/м²:

$$P = \sum (R \cdot L + Z)$$

Опір одного погонного метру трубопроводу складає:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}$$

Характеристики трубопроводу:

Діаметр трубопроводу 560 мм;

Довжина 20 м;

Швидкість руху повітря 1,5 м/с;

$R = 0,005$ кг/м².

Втрати на місцевих опорах, кг/м²:

$$Z = \sum \xi \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}$$

Місцеві опори:

Витяжна шахта з зонтом $\xi = 1,83$ при $h/d = 0,2$;

Коліна з закругленими кромками $\xi = 0,26$ при $0 r/d_e = 0,4$; $\alpha = 90^\circ$;

Дросельний клапан $\xi = 118$ при $0 \alpha = 60^\circ$;

Відбір з колектору $\xi = 0,5$;

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Фільтр $\xi = 148$.

$$Z = 37,06 \text{ кг/м}^2$$

$$P = \sum (0,005 \cdot 20 + 37,06 = 37,16 \text{ кг/м}^2$$

Так, згідно витрат повітря та втрати тиску проектом обрано вентилятор Ц4-70 №4 А4095 2а: потужність на валу 0,5 кВт; частота обертів 1400 об/хв. Разом з вентилятором комплектується двигун А02-11-6.

5.1.2 Виробниче освітлення

В даному цеху вид виконуваних робіт відповідає IV розряду, згідно ДБН В.2.5-28:2018 [14]. Виробничі приміщення освітлюються за допомогою природного, штучного та комбінованого (суміщеного) освітлення. Система природнього освітлення є комбінованою. В світильниках для місцевого освітлення застосовуються люмінесцентні лампи ЛБ-40 і ЛБ-60. Норми освітлення приміщень наведено в Таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 Норми освітлення приміщень

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розпізнаваного об'єкту, мм	Розряд зорової роботи	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення	
			Освітленість, лк		КЕО %			
			При комбінованому освітленні	При загальному освітленні	При верхньому або комбінованому освітленні	При бічному освітленні	При верхньому або комбінованому освітленні	При бічному освітленні
Середньої точності	0,5 – 1,0	IV	750 – 300	300–150	4	1,5	2,4	0,9

Для забезпечення освітленості підлоги не менше 2 лк на всій площі гальванічного цеху передбачено аварійне освітлення. Світильники аварійного освітлення підключені до альтернативного незалежного джерела живлення і їх технічний стан перевіряється один раз за квартал. Освітленість на робочих місцях перевіряється з використанням люксметрів моделі UNI-T щонайменше один раз на квартал у всіх приміщеннях виробництва, а також після ремонту світильників.

5.1.3 Захист від виробничого шуму і вібрації

В цеху основними джерелами шуму є різноманітне обладнання, таке як системи вентиляції, насоси, автоматизовані системи та інше устаткування, а також випрямлячі змінного струму та електричні генератори. Рівень шуму у цеху залежить від одночасної роботи всього цього обладнання. Вимірювання, проведені за допомогою шумоміра, показали, що рівень шуму коливається від 76 до 80 дБА, що в межах норми, згідно ДСН 3.3.6.037-99 (80 дБА) [15].

В гальванічному цеху використовуються спеціальні заходи спрямовані на ефективне зниження шумового фону, зокрема монтаж електродвигунів з прокладками із шумозахисного матеріалу, що в свою чергу мінімізують передачу шуму. Окрім цього, їх розміщують в спеціальних шумоізолюючих кожухах, що забезпечує зменшення викидів звукових хвиль у робочому середовищі і, як результат, позитивно впливає на комфорт працівників та сприяє покращенню загального робочого середовища.

Для зменшення шумового рівня у гальванічному цеху стіни приміщень, де розташовані вентиляційні системи, виготовляють з матеріалу, що має властивості звукопоглинання. Також, корпуси генераторів і випрямлячів виготовляються з матеріалів, які мають шумопоглинаючі властивості, що сприяє зменшенню поширення шуму у приміщенні. Працівникам, які працюють на ділянках з найвищим рівнем шуму, надаються спеціальні засоби захисту, такі як навушники або беруші. Додатково, для зменшення впливу

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

вібрації застосовуються віброізоляція та динамічне гасіння, які включають у себе введення додаткових мас або збільшення жорсткості коливаючої системи.

У гальванічному цеху для вимірювання рівня шуму та контролю вібрації використовується універсальний прилад Venetech 1352. Цей прилад дозволяє контролювати вібрацію на обладнанні та проводити точні вимірювання рівня шуму в різних ділянках цеху.

5.1.4 Електробезпека

Приміщення гальванічних дільниць класифікуються як особливо небезпечні з точки зору можливого ураження людини електричним струмом. Це обумовлюється фактором присутності у цих приміщеннях струмопровідних шин, які створюють потенційну небезпеку ураження струмом. Окрім цього у гальванічних дільницях середовище характеризується високою хімічною активністю, що також може збільшувати ризик ураження електричним струмом. У кінцевому підсумку, присутність струмопровідних частин устаткування, технологічних апаратів та заземлених металевих конструкцій створює можливість одночасного контакту людини до цих об'єктів і землі, що підвищує ризик ураження струмом.

У проєкті передбачено живлення електрообладнання від трьохфазної чотирьохпровідної мережі змінного струму промислової частоти з глухозаземленою нейтраллю. Напруга в мережі складає 380/220 В, що відповідає стандартам безпеки та ефективності електропостачання для даного обладнання та умов роботи. Ця мережа відрізняється тим, що має глухозаземлену нейтраль, і нейтральний провідник мережі не заземлений безпосередньо, проте має підключення для забезпечення безпеки. Так, система живлення передає електроенергію до електрообладнання за допомогою трьох фаз і нейтрального провідника, що дозволяє створювати необхідні напруги для різних пристроїв та устаткування.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Джерелами ураження електричним струмом на гальванічній ділянці є різні складові електроустановки, такі як струмопровідники, випрямлячі, металевий корпус лінії та струмопровідні частини шини. При порушенні цілісності ізоляції можливий перехід напруги 220 В в ланцюг живлення гальванічної лінії, що, в свою чергу, може викликати ураження електричним струмом. Контакт з цими елементами або одночасний дотик до металевих конструкцій та землі можуть спричинити проходження струму через тіло людини, що представляє потенційну небезпеку.

Допустимі значення струму і напруги:

- у нормальному режимі роботи $I_{л} = 0,3 \text{ мА}$ і $U_{пр} = 2 \text{ В}$, при часі дії до 10 хв/добу;
- у аварійному режимі роботи: $I_{л} = 6 \text{ мА}$ і $U_{пр} = 36 \text{ В}$, при контакті більше 1 с.

Двома найпоширенішими випадками замикання струму через тіло людини є дотикання до одного провідника або ж до двох провідників одночасно. Дотик до одного провідника відбувається набагато частіше, ніж дотик до двох провідників і він є менш небезпечним, оскільки на тіло людини прикладається лінійна напруга.

У цьому випадку струм, який протікає через людину, складатиме, мА:

$$I_{л} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^{-3}}{R_{л} + R_0},$$

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

$R_{л} = 2000 \text{ Ом}$ – опір тіла людини;

$R_0 = 4 \text{ Ом}$ – опір нейтралі заземлення.

$$I_{л} = \frac{220 \cdot 10^{-3}}{2000 + 4} = 109,8 \text{ мА}$$

При цьому напруга дотику складатиме, В:

$$U_{\text{дот}} = I_{л} \cdot R_{л} = 0,1098 \cdot 2000 = 219,6 \text{ В}$$

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим етапом у визначенні рівня безпеки електроустановки є порівняння отриманих значень струмів з гранично допустимими. У разі порушення вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) це може призвести до серйозних наслідків у вигляді електротравм з тяжкими наслідкам. Як результат, для забезпечення безпеки персоналу та запобігання виникнення можливих електротравм є критично важливим дотримання вимог ПУЕ.

Проєкт передбачає застосування різноманітних заходів для забезпечення безпеки від електротравм, а саме використання малих напруг, розподіл мереж, подвійної ізоляції, електрозахисних засобів та захисного занулення. Для контролю справності ізоляції використовується пристрій УАКІ-Е.

5.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

Проєкт включає такі заходи з безпеки виробництва у гальванічному цеху:

– Для швидкої зупинки усіх рухомих частин передбачені аварійні кнопки «Аварійний стоп» та «Стоп загальний», які передбачені для негайної зупинки всіх рухомих частин обладнання у випадку виникнення небезпеки або аварійної ситуації. Операторам надається можливість негайно зупинити роботу обладнання.

– Трубопровідні системи ретельно герметизовані, що мінімізує ризик витоку рідин або газу, і, в свою чергу, забезпечує захист персоналу від можливих хімічних уражень.

– Застосування теплоізоляційних матеріалів на обладнанні. Так, апарати, що мають зовнішню температуру вище 40 °С, вкриті теплоізоляційними матеріалами з вініласту.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Для уникнення виливання електроліту через край ванни під час занурення підвісок, встановлюється відстань між верхнім краєм ванни і рівнем електроліту у діапазоні 180-200 мм. Це заходи безпеки, спрямовані на запобігання можливим хімічним ураженням та забезпечення безпеки працівників.

5.2 Пожежна безпека

Причинами виникнення пожеж у гальванічному цеху є механічні пошкодження обладнання і електропроводу, коротке замикання між частинами обладнання, перенавантаження та розряди статичного струму. Під час тертя двох ізольованих матеріалів або роботи вентилятора можливе виникнення розряду статичної електрики. У разі виникнення таких ситуацій використовується суміш графіту та сажі, що дозволяє уникнути електростатичного розряду. В такому приміщенні електроосвітлення виконане з вибухобезпечного матеріалу.

Нещільні контакти та окислення місць з'єднання електропроводки створюють перехідний опір, що може викликати локальний перегрів і спричинити пожежу. Як результат, на виробництві використовують збільшення площі контактів та застосування пружних контактів, що дозволяє уникнути перегріву проводів через перехідні опори. Для відведення статичної електрики, в місцях, де можлива електризація поверхні, здійснюється занулення металевих частин технологічного устаткування, майданчиків, рукояток, приладів і поручнів. Також піддаються зануленню металеві резервуари, які містять рідин, що можуть електризуватись.

На виробництві передбачена стаціонарна система для гасіння пожежі з повітряно-механічною піною. Окрім цього наявна водопровідна мережа, обладнана у вигляді системи стояків з встановленими пожежними кранами. Пожежні крани розташовані на відстані 20 м одна від одної на висоті 1,35 м, що забезпечує належну доступність до пожежних кранів і полегшує їх

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

використання в разі виникнення пожежі. Розрахунок витрати води для гасіння пожежі всередині будівлі проводиться з урахуванням двох струменів, кожен з яких має продуктивність 2,5 м³/с. Будівля обладнана блискавковідводом стрижневого типу, який забезпечує захист від безпосереднього удару блискавки.

Також, окрім стаціонарної системи пожежогасіння, у цеху передбачені додаткові засоби безпеки, які дозволяють ефективно боротися з вогнем у разі виникнення пожежі, зокрема вуглекислотні та порошкові вогнегасники ОУБ-8-2 і ОПС-6.

Основним чинниками, що можуть призвести до короткого замикання, є ушкодження електроізоляції дротів, контакт з неізольованими струмопровідними предметами та вплив хімічно активних речовин на дроти. Так, застосовують плавкі запобіжники та спеціальні автомати, які автоматично вимикають електромережу при виявленні відхилень у роботі, що в свою чергу допомагає уникнути перенавантажень та коротких замикань в електричних мережах.

Обладнання періодично очищується від пилу та бруду, оскільки їх наявність може спричинити нагрівання деталей і викликати загорання горючих матеріалів. В небезпечних місцях, з метою уникнення механічних пошкоджень електроізоляції струмопровідників їх прокладають в металевих рукавах, що забезпечує безпеку та надійність електричних систем у цеху.

У коморі ЛВЖ, запалення легкозаймистих рідин може виникнути через виникнення іскри під час увімкнення електричних приладів.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

ВИСНОВОК

В дипломному проєкті було розроблено технологію гальванічного цинкування дрібних сталевих кріпильних деталей. Обрано захисне покриття товщиною 9 мкм, яке наносять з хлорамонійного електроліту. Для цього передбачено використання барабанного електролізеру та поліпропіленових гальванічних ванн.

Складено технологічну карту процесу цинкування. Виконані основні технологічні розрахунки, зокрема розрахунок балансу струму, напруги, енергії. Розроблено детальну схему автоматичного керування процесу цинкування з метою забезпечення максимальної ефективності і якості покриття.

Розраховані економічні параметри, а саме рентабельність виробництва та інші основні техніко-економічні показники цеху.

Проведений аналіз умов праці робітників на гальванічному виробництві, і запропоновані заходи, щодо вирішення та уникнення потенційних проблем та їх наслідків.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи “Розробка технологічного процесу нанесення гальванічного покриття” для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія” / уклад. С. А. Лещенко, С. Г. Дерібо. – Харків: НТУ “ХП”, 2023.– 49 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. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів. Частина II: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. - 38 с.
4. Вансовська К. М., Воляннюк Г. А. // Промислова гальванопластика / під ред. Вячеславова П. М. - Л.: Машинобудування - 1986. - 105 с., іл.
5. Вайнер Я. В., Дасоян М. А. // Устаткування гальванічних цехів. - М. - Л.: Машинобудування. 1971. - 296 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, І.Ф.Хірх-Ялан, Т.І.Мотронюк, М.І.Донченко, О.І. Букет, О.В. Лінючева – К.:НТУУ"КПІ", 2008. - 100с.
7. Ресурсозберігаючі електрохімічні виробництва : навчальний посібник / О. Л. Смірнова, С. А. Лещенко. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2019. – 120 с.
8. Айрапетян Т. С. Водопостачання та очистка стічних вод промислових підприємств : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 138 с

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

9. Економіка підприємства. Навч. Посібник. Під ред. В.Г. Герасимчука, К.: "Політехніка", 2003 8.
10. Метод, вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проєктах і роботах бакалаврів / Уклад.: Н.А. Праховнік, Ю.О. Полукаров, Л.О. Мітюк - К.: НТУУ «КПІ», 2017. - 31 с.
11. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
12. ДБН В.2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення".
13. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування
14. ДБН В. 2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
15. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
16. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с.
17. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 4,7 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с
18. Основи процесів осадження і розчинення металів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. І. Мотронюк, Д. Ю. Ущиповський, 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.

19. 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. Ущиповський. – Електронні текстові дані (1 файл: 3.21 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 111 с.

					<i>ДП ХЕ0113.2705.000 ПЗ</i>	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		