

**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 _____ 2023__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 в машинобудуванні. Тверде анодування
алюмінієвих корпусних деталей»**

Виконав :

студент Дятлик Денис Геннадійович
1V курсу, групи ХЕ 91

Керівник:

Ст. викладач ,к.т.н.

Білоусова Ніна Аркадіївна

Консультант з

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

Економічна частина: Ткаченко Тетяна Петрівна доц.,к.ekon.н.

Автоматизація: Сазонов Артем Юрійович доц.,к.т.н.

Рецензент: Толстопалова Наталія Михайлівна доцент кафедри ТНР,В та ЗХТ
к.т.н.

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

Студент _____

Київ – 2023 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

«__» ____ 06 _____ 2023 _р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Дятлику Денису Геннадійовичу

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття у машинобудуванні. Тверде анодування алюмінієвих корпусних деталей», керівник проєкту Білоусова Ніна Аркадіївна к.т.н., старший викладач, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2023р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 16 червня 2023 року
3. Вихідні дані до проєкту Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт сульфатний. Продуктивність 12000м²/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	Ткаченко Т.П., доц., к.ekon.н.		
Автоматизація	Сазонов А.Ю., доц., к.т.н.		

7. Дата видачі завдання 15 травня 2023р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Характеристика деталей ,що підлягають обробці.	До 23.05.2023	
2.	Вибір виду покриття	До 23.05.2023	
3.	Вибір підготовчих операцій	До 25.05.2023	
4.	Вибір складу електроліту для покриття плат	До 26.05.2023	
5.	Складання карти технологічного процесу	До 31.05.2023	
6.	Виконання технологічних розрахунків	До 05.06.2023	
7.	Виконання креслень	До 05.06.2023	
8.	Складання схеми очищення стічних вод	До 05.06.2023	
9.	Складання схеми автоматизації основного процесу.	До 05.06.2023	
10.	Виконання економічних розрахунків	До 05.06. 2023	
11.	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 05.06.2023	
12.	Оформлення пояснювальної записки	До 09.06.2023	
13.	Оформлення графічної частини проєкту	До 09.06.2023	
14.	Подача оформленого проєкту на перевірку на плагіат	До 13.06.2023	

Студент

Денис ДЯТЛИК

Керівник

Ніна БІЛОУСОВА

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Приміт ка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Пояснювальна записка	87	
3	A1	ДП ХЕ9103.1450. 001 СК	Креслення гальванічної ванни	1	
4	A1	ДП ХЕ9103.1450. 002	Схема технологічного процесу	1	
5	A1	ДП ХЕ9103.1450. 003	Схема автоматизації процесу	1	
6	A1	ДП ХЕ9103.1450. 004	Техніко-економічні показники гальванічного цеху	1	
7	A1	ДП ХЕ9103.1450. 005	Схема очищення стічних вод	1	
			ДП ХЕ9103.1450.000.		
		ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту Лист 1 Листів 1 КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-91
Розробн.		Дятлик Д.Г.			
Керівн.		Білоусова Н.В			
Консульт.					
Н/контр.					
В.о.зав.каф.		Косогін О.В.			

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: Гальванічні покриття в машинобудуванні.

Тверде анодування алюмінієвих корпусних деталей

Київ – 2023 року

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в машинобудуванні. Тверде анодування алюмінієвих корпусних деталей»

Дятлик Д.Г. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ХТФ, ХЕ-91

Дипломний проєкт, 2023 рік, кількість сторінок - 84, таблиць - 15, рисунків - 6, джерел - 18.

У дипломному проєкті розроблено технологічний процес нанесення твердого анодного покриття на алюмінієві корпусні деталі багатопільового призначення продуктивністю 12000 м²/рік. Процес анодування проводиться в сульфатному електроліті при температурі 13⁰С - 25⁰С та анодної густини струму 2 А/дм². Товщина покриття становить 50 мкм.

У проєкті були проведені конструктивні та технологічні розрахунки, вибрано відповідне обладнання, розроблена схема автоматичного регулювання процесу анодування. Виконані основні економіко-організаційні розрахунки. В рамках проєкту була представлена схема очищення стічних вод, а також було проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори. Запропоновано заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: сульфатний електроліт, гальванічна ванна, автоматизація, контроль, анодування, баланс струму, очищення стічних вод.

					<i>ДП ХЕ9102.1450.000 ПЗ</i>	Адк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		6

ABSTRACT

"Galvanic Coatings in Mechanical Engineering. Hard Anodizing of Aluminum Casing Components"

Dyatlik D.G. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, CTF, XE-91

Diploma Project, 2023. Number of pages - 84, tables -15, figures - 6, references - 18.

The diploma project presents a technological process for applying a hard anodic coating to multi-purpose aluminum casing components with a productivity of 12,000 m²/year. The anodizing process is conducted in a sulfate electrolyte at a temperature range of 13°C to 25°C and an anodic current density of 2 A/dm². The coating thickness is 50 mkm.

The project includes structural and technological calculations, the selection of appropriate equipment, and the development of an automatic control scheme for the anodizing process. Main economic and organizational calculations have been performed. The project also includes a schematic representation of wastewater treatment and an analysis of harmful and hazardous production factors. Safety measures and occupational health protection measures have been proposed.

Key words: sulfate electrolyte, galvanic bath, automation, control, anodizing, current balance, wastewater treatment.

					<i>ДП ХЕ9103.1450.000 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>З</i>	<i>А</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп</i>	<i>Д</i>		<i>7</i>

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
Розділ 1. Технологічна частина	12
1.1 Вибір виду та товщини покриття	12
1.2 Вибір технологічного процесу.....	14
1.2.1 Обґрунтування вибору і технологічного процесу	14
1.2.2 Підготовка поверхні деталі перед анодуваннями	16
1.2.3 Вибір складу електроліту для нанесення гальванічного і покриття.....	17
1.2.4 Катоди.....	22
1.2.5 Вибір завершальних операцій.....	22
1.2.6 Контроль якості покриття	22
1.2.7 Зняття і недоброякісних оксидних покриттів	24
1.2.8 Карта технологічного процесу.....	25
1.2.9 Вибір і розрахунки обладнання для нанесення гальванічних покриттів	26
1.2.10 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання цеху	26
1.2.11 Визначення виробничої програми.....	26
1.2.12 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання	27
Розділ 2. Основні технологічні розрахунки.....	Помилка! Закладку не визначено.
2.1 Баланс струму	Помилка! Закладку не визначено.
2.2 Баланс напруги	32
2.3 Вибір джерела струму для і електрохімічних ванн	34
2.4 Визначення джоулевої теплоти та складання балансу напруги.....	34
2.5 Тепловий розрахунок для електрохімічних і ванн	36

2.6 Розрахунок витрат матеріаліві	37
2.6.1 Розрахунок витрат катодів	37
2.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів	38
2.6.3 Розрахунок витрат води.....	39
Розділ 3. Автоматизація процесу нанесення анодного покриття	46
Розділ 4. Економіко-організаційні розрахунки	50
4. 1 Класифікація виробничих процесів	50
4.2 Оптимізація виду руху предметів праці	53
4.3 Чисельність персоналу іта фонд заробітної плати	57
4.4 Нарахування заробітної плати	59
4.5 Розрахунок витрати електроенергії.....	60
4.6 Розрахунок витрат сировини на покриття однієї партії деталей	60
4.7 Баланс використання оборотних фондів.....	62
4.8 Розрахунок техніко-економічних показників	63
Розділ 5. Охорона праці.....	64
5. 1 Виявлення і іаналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектованому об'єкті. Заходи із охорони праці	64
5.1.1 Повітря робочої зониі	64
5.1.2 Виробниче освітлення	66
5.1.3 Шум і вібрація у виробничій зоніі.....	67
5.1.4 Електробезпека.....	68
5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання	69
5.2 Пожежна безпека.....	71
Розділ 6. Екологічна безпека гальванічного виробництваі, очищення стічних вод	74
ВИСНОВОК	77

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 78

ДОДАТОК А..... 81

ДОДАТОК Б..... 85

ВСТУП

Тверде анодування алюмінієвих корпусних деталей є процесом, що використовується для покращення властивостей алюмінію шляхом створення шару анодного оксиду на поверхні матеріалу. Цей процес надає алюмінію виняткову зносостійкість, корозійну стійкість та розширює його можливості в різних сферах застосування.

Алюміній, який сам по собі має багато переваг, включаючи низьку вагу, високу міцність та добру теплопровідність, може бути покращений в своїх властивостях завдяки процесу анодного оксидування. Під час цього процесу алюмінієва поверхня взаємодіє з електролітом, що призводить до утворення шару анодного оксиду, який має високу твердість та стійкість.

Процес твердого анодування дозволяє створювати шари анодного оксиду різної товщини, що впливає на властивості алюмінію. Товщина шару може бути контрольована шляхом зміни параметрів процесу, таких як напруга, час анодування та склад електроліту. Товщі шари анодного оксиду забезпечують велику міцність та твердість алюмінію, що робить його ідеальним матеріалом для виготовлення корпусних деталей, які піддаються механічному зносу або потребують високої стійкості до корозії.

У сучасному світі тверде анодування алюмінію широко використовується в машинобудівній, авіаційній, електронній та інших промислових галузях. Від комп'ютерів та мобільних пристроїв до будівельних матеріалів та спортивного обладнання, алюмінієві корпусні деталі, що пройшли процес твердого анодування, забезпечують високу якість, довговічність та естетичний вигляд.

Метою даного дипломного проєкту є розробка технології твердого анодування корпусних деталей. Продуктивність складає 12000 м²/рік.

					ДП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Док.
З	А	№ докум.	Підп	Д		11

Розділ 1. Технологічна частина

1.1 Вибір виду та товщини покриття

Алюміній - це легкий, міцний і стійкий до корозії метал, який широко використовується в різних галузях, зокрема в машинобудуванні. Він має високу електропровідність, теплопровідність і відмінну сплавну здатність, що дозволяє легко створювати сплави з іншими металами.

Алюмінієві сплави, які використовуються в машинобудуванні, мають наступні переваги:

- **Легкість:** Алюміній має низьку щільність, що робить його легким матеріалом для використання в автомобілях, літаках та інших транспортних засобах. Це допомагає зменшити вагу транспортних засобів і покращити паливну ефективність.
- **Міцність:** алюміній не є міцним металом, його сплави з іншими елементами, такими як магній, мідь або кремній, можуть мати високу міцність. Це дозволяє створювати компоненти, які витримують великі навантаження.
- **Корозійна стійкість:** Алюміній має природну стійкість до корозії завдяки утворенню захисного шару оксиду алюмінію на поверхні, він також стійкий у водних середовищах в широкому інтервалі рН. Завдяки цим властивостям алюмінієві сплави мають стійкість до шкідливого впливу довкілля та довговічність використання.
- **Оброблюваність:** Алюміній легко піддається обробці і може бути литим, штампованим і зварюваним, що сприяє простоті виготовлення різних деталей.

Процес твердого анодування, який використовується для створення оксидного покриття на металевих поверхнях, відбувається за електрохімічними реакціями. Основна реакція, що відбувається під час твердого анодування, залежить від матеріалу аноду.

Найпоширенішим матеріалом для твердого анодування є алюміній. Основна реакція може бути описана наступним чином:



Ця реакція показує, що алюміній (Al) реагує з молекулами води (H₂O) і утворює оксид алюмінію (Al₂O₃) і іони водню (H⁺). Оксид алюмінію утворює тверду плівку на поверхні алюмінієвого аноду.

Оброблювана деталь виготовлена із замітника алюмінію – алюмінієвого сплаву Д16 згідно ГОСТ 9. 301-86. Деталь представляє собою корпус, що широко використовується в машинобудуванні, промисловості та авіабудуванні. Корпус має наступні розміри, мм: довжина - 163; діаметр – 123,8.

					ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Арк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		13

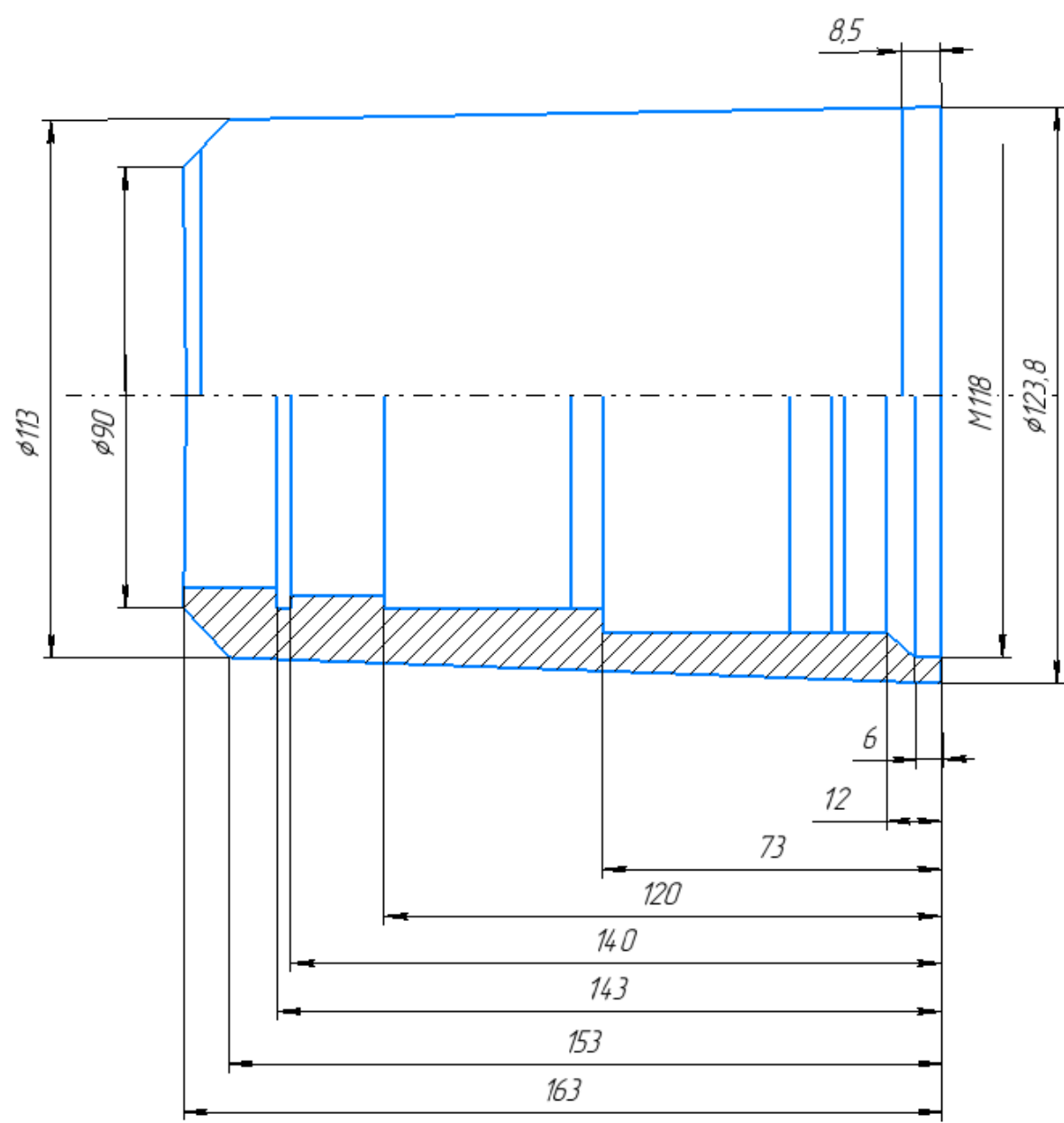


Рисунок 1.1 – Ескіз корпусної деталі.

1.2 Вибір технологічного процесу

1.2.1 Обґрунтування вибору технологічного процесу

Анодований алюміній знаходить широке застосування у різних сферах виробництва, завдяки властивостям його оксидної плівки. Ця плівка має багато переваг, таких як висока стійкість до корозії, велика твердість, електрична ізоляція, мінімальне відшарування покриття та можливість надавати різноманітні кольори оксидній плівці [1].

З	А	№ докум.	Підп	Д

ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ

Арк.

14

Існує кілька типів анодованого алюмінієвого покриття, включаючи захисно-декоративні, захисні, тверді та електрично ізоляційні. Тип покриття залежить від складу електроліту та умов електролізу.

Отримання оксидної плівки можна здійснити хімічним або електрохімічним методом.

Електрохімічний метод анодування алюмінію та його сплавів, проводять переважно в розчинах кислот та їх сумішей. Цей метод знаходить широке застосування.

Зростання анодованого шару алюмінію залежить від двох процесів: електрохімічного окиснення алюмінію аніонами кисню, що потрапляють на поверхню аноду, та хімічного розчинення утвореної плівки.

Для отримання плівки необхідно, щоб швидкість утворення оксидів перевищувала швидкість їх розчинення. Початково швидкість утворення оксиду є високою, але з часом сторона плівки, що знаходиться ближче до електроліту, стає більш пористою та легко розчинною, що призводить до прискорення розчинення. На певному етапі швидкість розчинення і утворення оксидів зрівнюються [1].

Товщина покриття залежить від здатності розчинення в електроліті: чим вища здатність до розчинення, тим тонші плівки утворюються. Цей параметр залежить від концентрації електроліту та температури електролізу.

Товщина покриття також залежить від складу металу. Чистий алюміній анодується легше, ніж сплави. Чим більше легуючих домішок, тим складніше отримати якісне покриття.

Основні вимоги до покриття включають його зносостійкість, високий опір стиранню, стійкість до корозії, бездефектність та товщину 30- 60 мкм.

1.2.2 Підготовка поверхні деталі перед анодуванням

Хімічне знежирення. Для деталі “Корпус”, основною проблемою є жирові забруднення, тобто наявність на поверхні виробу консерваційних мастил. Таким чином, перед основною стадією нанесення покриття, деталь необхідно знежирити електрохімічно, до складу розчину будуть входити наступні компоненти, г/л:

- Тринатрійфосфат ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) – 20...50;
- Натрій їдкий (NaOH) – 8...12 ;
- Скло рідке (Na_2SiO_3) – 25...35;
- Тривалість - 3-5хв.

Тринатрійфосфат (Na_3PO_4) додається в склад для покращення миючої здатності розчину та надання певних буферних властивостей.

Натрій їдкий (NaOH) вводять в розчин (рН 10-12) для прискорення процесу омилення жирів. Також, він є більш дешевим у порівнянні з гідроксидом калію (KOH).

Скло натрієве рідке (Na_2SiO_3) додають для зменшення процесу корозійного розчинення при операції знежирення, оскільки воно утворює захисну плівку і є гарним диспергатором.

Після хімічного знежирення поверхню деталі промивають у теплій воді, щоб більш ефективно видалити жири і усунути можливість потрапляння знежирюючого розчину в інші гальванічні ванни. Спершу поверхню промивають, зануливши деталь декілька разів у ванну з теплою деіонізованою водою, а потім повторюють цей процес з використанням холодної проточної води. Температура під час процесу знежирення знаходиться в діапазоні 60 - 70 °С. Тривалість обробки становить 3- 5 хвилин.

Освітлення. Наступним етапом технологічного процесу є операція освітлення, для якої застосовується розчин складу, г/л:

Нітратна кислота (HNO_3) – 40-60 г /л.

Нітратна кислота є дуже сильним окислювачем і може взаємодіяти з багатьма речовинами, у тому числі з металами. Це дозволяє їй розчиняти та видаляти забруднення, окислені шари та інші небажані речовини з поверхні металевих деталей. Протягом 2-3 хвилин деталь освітлюють за кімнатної температури. Після освітлення деталь промивають шляхом занурення у ванну з холодною проточною водою .

1.2.3 Вибір складу електроліту для нанесення гальванічного покриття

Властивості покриття під час анодування значно змінюються в залежності від складу електроліту. Найбільш поширеними є сульфатний, хроматний, сульфосаліцилатний, оксалатний електроліти, а також їх комбінації.

Під час анодного оксидування алюмінію в прианодному шарі відбуваються два основних процеси - утворення оксидної плівки і її розчинення електролітом анодування. Ріст плівки залежить від співвідношення швидкостей цих процесів, тому електроліти підбирають таким чином, щоб швидкість утворення оксидної плівки перевищувала швидкість її розчинення [2].

Сульфатний електроліт.

Сульфатний електроліт є найпоширенішим для анодування алюмінію завдяки своїй низькій вартості та високій електропровідності. В даному електроліті можна обробляти практично всі сплави алюмінію. Отримані у цьому електроліті оксидні плівки характеризуються високою пористістю, твердістю та мають захисно - декоративні властивості. Їх також легко фарбувати. Однак, не рекомендується використовувати сульфатний електроліт для анодування алюмінієвих деталей зі з'єднаннями, створеними клепками або зварюванням, або для деталей з вузькими щілинами, оскільки ці області мають найвищий ризик контактної та щілинної корозії.

Анодна обробка в даному електроліті є набагато дешевшою, ніж в оксалатному чи хроматному електроліті через те, що для обробки деталі в електроліті потрібно на 30-50% менше електроенергії та часу.

Процес анодування алюмінію виконується з використанням розчину сульфатної кислоти з концентрацією 180 -200 г/л. Температура анодування знаходиться в межах 10-25 °С, густина струму становить 0,5-2 А/дм², а тривалість процесу коливається від 15 до 60 хв. Товщина утвореної плівки залежить від умов проведення електролізу та типу алюмінієвого сплаву і може варіюватися від 5 до 50 мкм.

Сульфосаліциловий електроліт.

Сульфосаліциловий електроліт є одним з найдорожчих електролітів для анодування алюмінію. Його використання дозволяє отримувати тверді покриття з електроізоляційними та захисними властивостями, а також вони можуть бути використані для декоративного захисту. Колір цих покриттів може варіюватись від сіро-чорного до коричнево-бронзового [1].

У однокомпонентному сульфосаліциловому електроліті формуються щільні та тонкі анодні плівки. Це пояснюється повільною швидкістю розчинення оксиду алюмінію в цьому розчині. Однак, швидкість розчинення плівки може значно збільшуватись за допомогою сульфатної та/або щавлевої кислоти. В двох - або трьохкомпонентних сульфосаліцилових електролітах формуються більш пористі та товсті осади завдяки вищій травильній дії сульфатної кислоти. Склад сульфосаліцилових електролітів такий, г/л:

Сульфосаліцилова кислота: 80-100 г/ л;

Сульфатна кислота: 3-5 г /л;

Щавлева кислота: 30-40 г/л.

					<i>ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ</i>	Док.
З	А	№ докум.	Підп	Д		18

Порівнюючи багатокomпонентний сульфосаліциловий електроліт з сульфатним, можна зазначити, що сульфосаліциловий електроліт нагрівається менше під час анодування, має швидкість розчинення оксидної плівки, яка в 10 разів нижча, і осад має вищу мікротвердість.

Електроліз у електролітах на основі сульфосаліцилової кислоти проводять при температурі 10 - 28 °С з густинами струму на аноді в діапазоні $i_k = 1,5-3 \text{ А/дм}^2$, час електролізу 20 - 120 хв.

Оксалатний електроліт.

Для отримання електроізоляційних та зносостійких плівок використовують оксалатний електроліт. Оксалатна кислота майже не розчиняє плівку, тому товщина плівки прямо пропорційна часу електролізу. Електроліт має простий склад і не вимагає охолодження, але анодування відбувається за підвищеної напруги. Плівки, отримані з цього електроліту, є товстими, еластичними, малопористими і мають кращі захисні та пластичні властивості, ніж плівки, отримані з сульфатного електроліту [3].

Склад електроліту та режим електролізу такі:

- Оксалатна кислота ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$): 40-60 г/л
- Робоча температура: 15-25 °С
- Густина струму (i_k): 2,5 - 3,5 А/дм^2
- Тривалість електролізу: 90 -120 хв.

При збільшенні товщини покриття опір зростає, тому для підтримання сталої густини струму необхідно підвищувати напругу до 120 В.

Хроматний електроліт.

Хроматний електроліт є оптимальним для анодування складних алюмінієвих деталей з клепами або зварними з'єднаннями. Оксидні плівки, утворені в хроматному електроліті, характеризуються високою корозійною стійкістю, еластичністю та низькою пористістю. Порівняно з плівкою,

утвореною в сульфатному електроліті, анодоване покриття, отримане в хроматному електроліті, має меншу мікротвердість та стійкість до зношування. Через низьку пористість такі покриття не можуть бути фарбовані [3] .

Характеристиками цього електроліту є збереження шорсткості поверхні та геометрії деталей, покращена корозійна стійкість покриттів, висока еластичність та пластичність, а також значно підвищений електричний опір у порівнянні з плівками, утвореними за допомогою сульфатних електролітів.

Недоліками хроматного електроліту є вища ціна в 5 -7 разів, необхідність підігріву електроліту та низька електропровідність розчинів, а також необхідність тривалого збереження деталей у ванні та використання постійного струму високої напруги.

Склад електроліту та режим:

Оксид хрому (CrO_3): 100-150 г/л

Робоча температура: 34-40°C ,

$i_k = 0,3 - 2,5 \text{ А/дм}^2$

Протягом 5-10 хвилин поступово збільшується напруга до 40 В, після чого витримується протягом 60 хвилин.

Вибір та обґрунтування складу електроліту оксидування

Для нанесення анодно-оксидного покриття обираємо сульфатний електроліт завдяки його властивостям для створення якісного оксидного покриття. До його складу входить один компонент – сульфатна кислота з концентрацією 100-180 г/ л; температура процесу $t = 13 - 25^\circ\text{C}$.

Густина струму 0,8 – 1,5 А/дм².

Тривалість – 35 – 23 хв.

					<i>ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ</i>	Адк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		20

Робочі густини струму обирають у межах від 0,8 – 1,5А/дм², бо саме цей інтервал величин дозволяє отримати достатньо велику розсіювальну здатність електроліту та вихід за струмом металу. При густині струму 1А/дм² час витримки становить 35 хвилин, при густині струму 1,5 А /дм² час витримки становить 23 хвилини. Температура електроліту не повинна перевищувати 25⁰С. Для цього електроліт інтенсивно охолоджують завдяки холодильному пристрою і перемішують стиснутим повітрям. Забороняється анодувати деталі при температурі електроліту вище 25⁰С, оскільки це призводить до утворення пухкої, підтравленої анодної плівки [3].

Види браку та неполадки при анодуванні

Таблиця 1.1 – Види неполадок та способи їх усунення при анодуванні алюмінію в сульфатному електроліті

Характер браку	Причина браку	Спосіб усунення браку
Відсутність покриття або відсутність плівки	1) Поганий контакт деталі з підвіскою 2) Поганий контакт зі струмопроводом	Покращити контакт
Пухке покриття з поганим зчепленням	1) Висока температура електроліту. 2) Перетримка в ванні анодування. 3) Вміст алюмінію в електроліті вище зазначеної норми	- Зменшити температуру електроліту; - Не порушувати процес, і притримуватися стандартів процесу; - Використати інший електроліт
Чорні плями, пропал металу, рихла анодна плівка	1) Підвищений вміст хлоридів в електроліті 2) Поганий контакт підвіски з деталями, коротке замикання в елктроліті.	- Замінити електроліт - Покращити контакт, не допускати замикань
Високе значення пористості	1) Підвищена температура (більше 40 -50 °С)	- Підтримувати стандартну температуру від 20...25°С

1.2.4 Катоди

Для анодного оксидування алюмінієвих сплавів найчастіше в якості катодів використовують нержавіючу сталь або свинець. В даному проєкті в якості матеріалу для катодів пропонується використовувати сталь марки 12Х18Н9Т.

1.2.5 Вибір завершальних операцій

Після анодування зазвичай виконується процедура витримки деталей у гарячій воді для наповнення плівки. Проте, через утворення щільних твердих осадів завдяки електроліту, наповнення не є обов'язковим.

Для промивання деталей використовується холодна вода. Застосовується двоетапне каскадне промивання з використанням проточної водопровідної води при температурі 18 - 25 °С. Це дозволяє краще видаляти продукти реакції та розчини з попередньої обробки, економно використовуючи воду. Тривалість промивання становить декілька хвилин.

Для процесу сушіння використовується зжате повітря.

Демонтаж деталей виконують після повного висихання виробів.

1.2.6 Контроль якості покриття

Оцінку якості покриття здійснюють з урахуванням наступних характеристик: зовнішній вигляд, товщина, рівномірність покриття, електроізоляція, мікротвердість, пористість та корозійна стійкість [4].

Контроль зовнішнього вигляду

Перевірка зовнішнього вигляду є обов'язковою для деталей різних форм і розмірів. Вона здійснюється у добре освітленому приміщенні зі значенням освітленості 300 лк. Контролер розташовується на відстані 25 см від деталі і оглядає її поверхню. Один з ефективних методів полягає в порівнянні контрольованої деталі з еталонним зразком [4].

Під час візуального огляду аналізують колір покриття та виявляють видимі дефекти, такі як непокриті ділянки, відшарування або здуття.

При анодуванні алюмінію в сульфатному електроліті колір покриття залежить від його товщини і може варіюватися від сірого до коричнево-жовтого. Наприклад, при товщині 15 мкм покриття матиме сірувате забарвлення. Також важливо, щоб контролер мав здатність розрізняти різні відтінки.

Контроль пористості анодного покриття

Для перевірки пористості та виявлення дефектів у покритті можна використати різноманітні методи, які можна поділити на такі групи: хімічні, електрохімічні, електронно-мікроскопічні, оптичні та електронні.

Один з обраних методів для контролю цих параметрів - хімічний метод з використанням пасти. Цей метод ґрунтується на реакції між металом, з якого виготовлено виріб, та речовиною - пастою або замазкою. Пасту з концентрацією 20 г/л готують наступним чином: розчиняють алюміній у воді, додають пропіловий спирт у співвідношенні 3:1. До отриманого розчину додають діоксид титану до утворення густої кашоподібної суміші. Також додають 20% розчину перекису водню - половину об'єму розчину. Пасту добре перемішують. Пасту можна використовувати протягом 2-3 годин. Нанесення пасти на покриття можна здійснювати за допомогою волосяного пензля, або занурення з розрахунку 50-120 г/м². В результаті, пори, що проходять через покриття, набувають рожевого кольору.

Допустима норма дефектних деталей з незадовільним покриттям становить до 2% від партії.

Контроль твердості оксидної плівки

Твердість анодних оксидів значно перевищує твердість металу-основи. Зазвичай вимірювання твердості проводять на мікротвердометрах типу ПМТ- 3 [4] . Оцінка мікротвердості здійснюється шляхом втискання

					ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Адк.
						23
З	А	№	Підп	Д		

чотиригранного алмазного пірамідоподібного кристала з квадратною основою і кутом при вершині 136 °. Навантаження складає 0,07 - 4 Н . Задача полягає у вимірюванні діагоналі відбитку з використанням окулярного мікрометра мікроскопу, який входить до складу пристрою. Довжину вимірюють при збільшенні в 500 разів. Мікротвердість обчислюється за формулою $H = 1,854 * P/d$, де P - навантаження кристала в Н, а d - середнє арифметичне значення довжин діагоналей відбитку втискування в мм. Твердість повинна бути в діапазоні 4300-4800 МПа .

1.2.7 Зняття недоброякісних оксидних покриттів

Дефекти , що виникають у бракованих анодованих покриттях, не можуть бути виправлені ремонтними заходами. Їх можна усунути шляхом видалення осаду та повторного анодування деталей [1]. Для видалення низькоякісних анодованих алюмінієвих покриттів можна використовувати розчин наступного складу :

- Хромовий ангідрид 20 г/л;
- Фосфорна кислота (питома маса 1,5 г/см³) 35 г/л;
- Робоча температура 85—100°C;
- Час витримки до 15 хв.

1.2.8 Карта технологічного процесу

Таблиця 1. 2.

№	Операція	Склад розчину і концентрація		Режими			
		Найменування та хімічна формула компонентів	г /дм ³	Час обробки, хв	Т,°С	i _a , А/дм ²	рН
1	2	3	4	5	6	7	
	Розроблено у відповідності ОСТ 107. 460092.001-86; ГОСТ 9. 305-84,ГОСТ 9.302 , ГОСТ 9.301 -86						
010	Монтаж деталей на пристосування						
020	Хімічне знежирення.	Тринатрійфосфат	20-50				
		Натрій їдкий	8-12				
		Рідке скло	25-35				
030	Промивання в теплій воді			0,25-0,5	40 – 50		
040	Промивання в холодній воді			0,25-0,5	18-25		
050	Освітлення	Натрій їдкий	40-60			0,5-2	
060	Промивання в холодній воді	Вода проточна ГОСТ 2874-82		0,25-0,5	18-25		
070	Травлення	Натрій їдкий	40-60			0,5-2	
080	Промивання в холодній воді	Вода проточна ГОСТ 2874-82		0,25-0,5	18-25		
090	Анодування	Сульфатна кислота	300-400	23-35	13-25	1,5-3	
100	Промивання в холодній воді	Вода проточна		0,25-0,5	18-25		
110	Наповнення анодної плівки в хромпіку	Дихромат калія	100	10	80-90		
120	Промивання в гарячій воді			0,25-0,5	50 – 70		
130	Сушіння						
140	Демонтаж деталей з підвіски						
150	Контроль якості						

1.2.9 Вибір і розрахунки обладнання для нанесення гальванічних покриттів

1.2.9.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання цеху

Розрізняють два види річного фонду часу:

- номінальний (T_n).
- дійсний (T_d).

У виробництві з переривами, номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n розраховується як кількість календарних днів у році T_k (365), за вирахуванням вихідних $T_e(105)$ та святкових T_c днів. Але на момент дії військового стану всі святкові дні скасовано $T_c=0$. Для робочого тижня тривалістю 42 годин на п'ять днів і однозмінної роботи (дані за 2023 рік), цей час складає:

$$T_n = \left[(365 - 105) \cdot \frac{42}{5} - 8 \right] \cdot 2 = 4352 \text{ год}$$

Для визначення дійсного річного фонду часу роботи обладнання T_d , використовують номінальний фонд часу T_n з урахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання. У гальванічному виробництві такі витрати можуть становити 3% (K_{np}) від номінального фонду часу T_n :

$$T_d = T_n - K_{np} \cdot T_n$$

$$T_d = 4352 - 0,03 \cdot 4352 = 4221,44 \text{ год}$$

1.2.11 Визначення виробничої програми

Для визначення річної виробничої програми P_p річне виробниче завдання P_z необхідно збільшити на величину виправного браку виробів, який складає 2% ($K_{бр} = 0,02$) від P_z , м²/рік:

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z$$

$$P_p = 12000 + 0,02 \cdot 12000 = 12240 \frac{\text{м}^2}{\text{рік}}$$

					ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Док.
						26
З	А	№ докум.	Підп	Д		

Добова виробнича програма складає:

$$P_{доб} = P_p / T_{доб} ,$$

$$P_{доб} = \frac{12240}{260} = \frac{47,07 \text{ м}^2}{\text{добу}}$$

де $T_{доб}$ – кількість робочих днів у календарному році (260).

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

$$P_{год} = P_p / T_{год}$$

$$P_{год} = \frac{12240}{4221,44} = \frac{2,899 \text{ м}^2}{\text{год}}$$

1.2.12 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

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

$$\tau = \tau_m + \tau_{об} ,$$

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

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{V_c \cdot K_e \cdot i_k} = \frac{50 \cdot 7,133 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,87 \cdot 8,96 \cdot 2} = 13,73 \text{ хв} ,$$

де δ_n – товщина покриття, мкм ; d_m – густина металу покриття, г/ см³; V_c – катодний вихід за струмом (доля одиниці); K_e – електрохімічний еквівалент, г/А · год; i_k – середня катодна густина струму, А/дм².

Час обслуговування $\tau_{об}$ приймаємо 2 хвилини. Тоді , тривалість обробки складає:

$$\tau = 13,73 + 2 = 15,73 \text{ хв}$$

На основі дійсного річного фонду часу роботи обладнання T_d та тривалості обробки одного завантаження ванни τ визначаємо кількість оброблюваних завантажень n [2] :

$$n = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = 15335,35$$

де $K_{об}$ – коефіцієнт затрат часу на початковий запуск обладнання, кінцевого вивантаження ванни і на допоміжні операції, для роботи у дві зміни приймаємо 1,05.

Разове завантаження усіх ванн:

$$Y_c = \frac{P_p}{n} = \frac{12240}{15335,35} = 0,80 \text{ м}^2$$

Внутрішні розміри ванни: 1250x800x800. Виходячи з цих розмірів визначаємо довжину l_n та висоту h_n підвісного пристрою:

$$l_n = l - 2l_1 = 1,25 - 2 \cdot 0,1 = 1,03 \text{ м},$$

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

$$h_n = h - h_1 - h_2 - h_3 = 0,8 - 0,15 - 0,05 - 0,1 = 0,5 \text{ м},$$

де h – внутрішня висота ванни, м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски (0,15...0,20); h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту (приймають 0,05 м); h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни (0,10 ...0,15 м).

Розрахуємо кількість деталей, що можливо завісити на підвісний пристрій. Прийmemo повздовжню відстань між деталями 40 мм, а в висоту – 20 мм. Площа деталі становить $0,082 \text{ м}^2$. Отже можна розрахувати кількість деталей в довжину:

Перерахуємо кількість деталей, розподілених горизонтально по підвісці:

$$1030 = x(163 + 40) + 40$$

$$x = 4,8 \approx 4$$

Розраховуємо кількість деталей, розподілених вертикально по підвісці:

$$500 = x(123,8 + 20) + 20$$

$$x = 3,4 \approx 3$$

Отже, на підвісному пристрої поміститься $4 \times 3 = 12$ деталей.

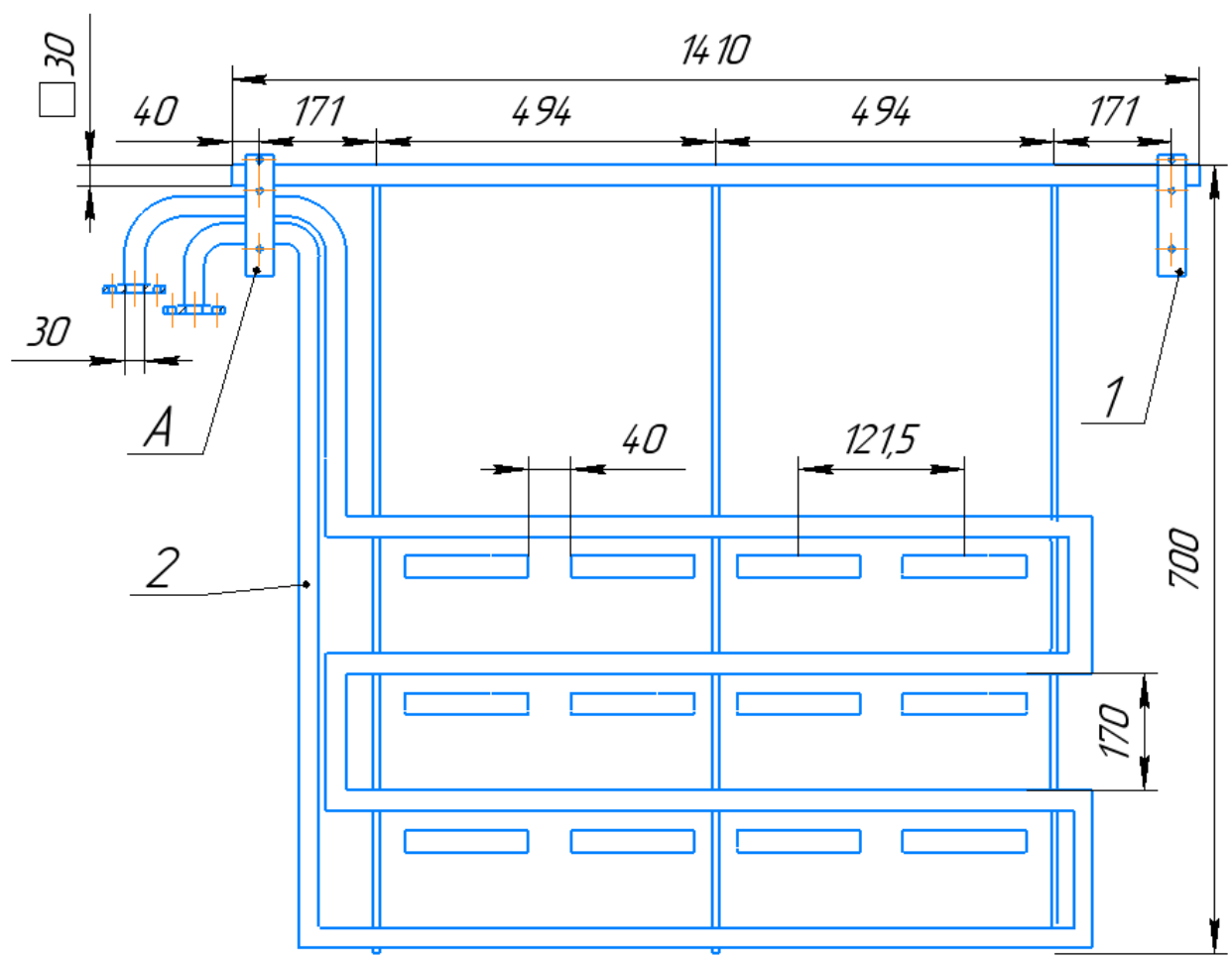


Рисунок 1.2 Схема розміщення деталей на підвісі.

Сумарна поверхня деталей S_n , які завантажують на одну підвіску:

$$S_n = S_d \cdot n_d = 0,082 \cdot 12 = 0,984 \text{ м}^2$$

де S_d – поверхня однієї деталі, м^2 ; n_d – кількість деталей на підвісі.

Поверхня одноразового завантаження у ванну S_{03} , м^2 :

$$S_{03} = S_n \cdot N_d = 0,984 \text{ м}^2$$

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

Розмір катодів зі сталі 12X18Н9Т: довжина $l_k = 1,206$ м, висота $h_k = 1,1$ м, товщина $\delta_k = 0,003$ м.

Робочий розмір катодів :

довжина $l_{кр} = 0,1508 \cdot 8 = 1,206$ м, висота $h_{кр} = 0,9$ м, товщина $\delta_k = 0,003$ м .

Сумарна робоча поверхня катодів:

$$S = l_{кр} \cdot h_{кр} \cdot 2 = 1,206 \cdot 0,9 \cdot 2 = 2,14 \text{ м}^2 .$$

З	А	№ докум.	Підп	Д

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

$$l_{a-k} = \frac{B - B_{\Pi} - 2 B_a - 2B_1}{2} = \frac{0,8 - 0,18 - 2 \cdot 0,003 - 2 \cdot 0,1}{2} = 0,213 \text{ м}$$

Кількість ванн для нанесення анодного покриття :

$$n_v = \frac{Y_c}{S_{oz}} = \frac{0,80}{0,984} = 0,8 \approx 1$$

Визначаємо кількість ванн і розраховуємо річну продуктивність вибраного обладнання, P'_p :

$$P'_p = S_{oz} \cdot n_v \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{ob}} = 0,984 \cdot 1 \cdot \frac{4221,44 \cdot 60}{15,73 \cdot 1,05} = 15089,98 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт завантаження:

$$K_{зав.} = \frac{P_p}{P'_p} = \frac{12240}{15089,98} = 0,81$$

Коефіцієнт завантаження знаходиться в рекомендованому діапазоні значень, який становить 0,75 -0,95.

						Арк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		30

Розділ 2. Основні технологічні розрахунки

2.1 Баланс струму

Для однопозиційних ванн сила струму I , А необхідна для процесу це добуток анодної технологічної густини струму i_a , А/м² у вас в техкарті 1,5 А/дм², чому ви рахуєте на 200?

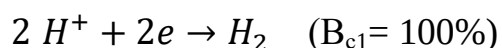
та сумарної площі деталей одного завантаження S_{03} , м² :

$$I = K \cdot i_a \cdot s_{03} = 1,09 \cdot 200 \cdot 0,984 = 214,52 \text{ А}$$

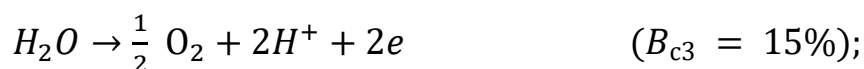
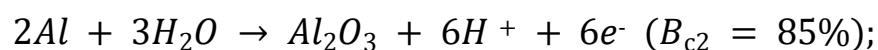
де коефіцієнт K враховує втрати електрики на нанесення покриття на контакти підвіски; вибирають його в межах $K=1,03...1,15$.

Вихід за струмом анодування складає 85%,

На катоді:



На аноді:



Таблиця 2.1 – Баланс електрики ванни анодування за годину роботи

Надходження	Q, А	%	Витрати	Q, А	%
На катоді: від зовнішнього джерела струму	214,52	100	Виділення водню	214,52	100
Разом	214,52	100	Разом	214,52	100

На аноді: від зовнішнього джерела струму	214,52	100	Утворення кисню Утворення оксидної плівки	32,17 182,35	15 85
Разом	214,52	100	Разом	214,52	100

2.2 Баланс напруги

За умовами режиму напруга на ванні складає 70-75 В. Для подальших розрахунків обираємо середнє $U = 73 \text{ В}$.

При анодуванні загальна напруга на ванні складається з різниці потенціалів аноду та катоду ($E_a - E_k$) [1], падіння напруги в електроліті ($\Delta U_{ом}$), падіння напруги в оксидній плівці ($\Delta U_{пл}$) та падіння напруги в електродах, контактах і провідниках ($\Delta U_1 + U_k$).

$$U = E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_1 + \Delta U_k$$

$$E_a - E_k = 13,5 - (-0,9) = 14,4 \text{ В}$$

Омічні втрати в електроліті можна розрахувати за формулою

$$i_k = \frac{S_a i_a}{S_k} = \frac{0,984 \cdot 200}{2,14} = 91,96 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Де S_a – площа анодів, $0,984 \text{ м}^2$; S_k – площа катодів, $2,14 \text{ м}^2$; i_a – анодна густина струму, 200 А/м^2

$$i_{ср} = \sqrt{i_k i_a} = \sqrt{200 \cdot 91,96} = 135,6 \text{ А/м}^2$$

Омічне падіння напруги :

$$\Delta U_{ом} = K \cdot i_{ср} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e = 135,6 \cdot 0,213 \cdot 2,5 \cdot 10 = 0,722 \text{ В},$$

Потенціали катодів та анодів при процесі анодування складають відповідно $E_k = -0,9 \text{ В}$, $E_a = 13,5 \text{ В}$. Оскільки сума падіння напруги в контактах та провідниках складає:

$$\Delta U_1 + \Delta U_k = 0,1 (E_a - E_k + \Delta U_{ом}), \text{ а падіння напруги в плівці складає}$$

$$\Delta U_{пл} = U - (E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_1 + \Delta U_k), \text{ то}$$

$$\Delta U_{\text{пл}} = U - (E_a - E_k + \Delta U_{\text{ом}} + 0,1(E_a - E_k + \Delta U_{\text{ом}} + \Delta U_{\text{пл}}))$$

Після перетворень отримуємо

$$\frac{U - 1,1 \cdot (E_a - E_k + U_{\text{ом}})}{1,1} = \frac{73 - 1,1 \cdot (13,5 + 0,9 + 0,722)}{1,1}$$

$$= 51,241 \text{ В}$$

Тоді втрати:

$$\Delta U_1 + \Delta U_k = 0,1(13,5 + 0,9 + 0,722 + 51,241) = 6,6363 \text{ В}$$

Таблиця 2.2 – Баланс напруги

Надходження	U, В	%	Витрати	U, В	%
Напруга на ванні	73	100	Різниця електродних потенціалів під струмом	14,4	19,79
			Падіння напруги в анодній плівці	0,722	0,9
			Падіння напруги в контактах і провідниках	51,241	70,21
				6,6363	9,1
Разом	73	100	Разом	73	100

Мінімально необхідна напруга джерела струму $U_{\text{дс}}$ це сума напруги, що встановлюється на ванні U та падіння напруги в шинопроводах. Втрати в шинопроводах прокладених від джерела струму до ванни приймають не більшим, ніж 10 % $U_{\text{дс}}$. Звідси визначаємо, що мінімальна напруга джерела струму складає :

$$U_{\text{дс}} = 1,1 ; U = 80,3 \text{ В.}$$

Витрати електроенергії на одній ванні складають:

$$W_e = I \cdot U = 214,52 \cdot 73 = 15659,96 \text{ Вт/ год.}$$

2.3 Вибір джерела струму для електрохімічних ванн

Джерело постійного струму повинно відповідати потребам виробництва в напрузі та силі струму.

Коефіцієнт завантаження джерела струму визначають за наступною формулою:

$$K = \frac{N_{\partial c}}{N_{пасп}}$$

де $N_{\partial c}$ – потужність, необхідна для виконання завданої програми,

$$N_{\partial c} = U \cdot I \cdot 10^{-3}, \text{ кВт};$$

$N_{пасп}$ – паспортна потужність вибраного агрегату

В електрохімічній промисловості широко використовують випрямні агрегати серії ТЕ і ТВ [1]. Обраний випрямний агрегат - ТЕ1- 315/115Т, має номінальний струм 315 А, та номінальну напругу 115 В.

Для вибраного джерела струму визначають коефіцієнт завантаження:

$$k = \frac{73 \cdot 214,52 \cdot 10^{-3}}{115 \cdot 315 \cdot 10^{-3}} = 0,43$$

Визначаємо паспортну потужність вибраного агрегату:

$$N_{\partial c} = U \cdot I \cdot 10^{-3} = 73 \cdot 214,52 \cdot 10^{-3} = 15,659 \text{ кВт}$$

2.4 Визначення джоулевої теплоти та складання балансу напруги

Електрична енергія $W_{\text{заг}}$, підведена до електролітичної ванни, витрачається на електрохімічні перетворення $W_{\text{хім}}$ та частично розсіюється в навколишнє середовище (джоулева теплота) $W_{\text{дж}}$.

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

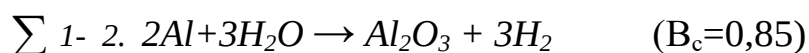
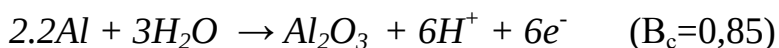
Енергія, затрачена на хімічні перетворення одній ванні, можна визначити за наступною формулою: $W_{\text{заг}} = U \cdot I \cdot r \cdot 3600 \cdot 10^{-3}$,

де I – робочий струм на ванні, А; U – напруга на ванні, В; τ – час роботівання під струмом, год.

Визначимо $W_{\text{заг}}$:

$$W_{\text{заг}} = 73 \cdot 214,52 \cdot 2 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 112751,712 \text{ кДж}$$

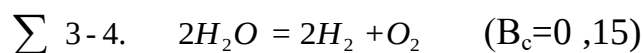
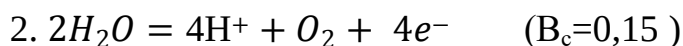
Сумарний процес утворення алюмінію:



Зміна ентальпії сумарної реакції 1-2:

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-2}^0 &= \Delta H_{Al_2O_3}^0 + 3\Delta H_{H_2}^0 - (2\Delta H_{Al}^0 - 3\Delta H_{H_2O}^0) = \\ &= (-1657,7) + 3 \cdot 0 - (3 \cdot (-285,8) + 2 \cdot 0) = -818,2 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \end{aligned}$$

Решта електрохімічних процесів:



$$\Delta H_{3-4}^0 = 2\Delta H_{H_2}^0 - \Delta H_{O_2}^0 - 2\Delta H_{H_2O}^0 = 0 + 0 - 2 \cdot (-285,8) = 571,6 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{дж}} &= -3,6 \cdot \tau \cdot I \cdot \left(\frac{\Delta H_{1-2}^0 \cdot B_c}{2 \cdot 96,5} + \frac{\Delta H_{3-4}^0 \cdot B_c}{2 \cdot 96,5} \right) = \\ &= -3,6 \cdot 214,52 \cdot 2 \cdot \left(73 - \frac{818,3 \cdot 0,85}{6 \cdot 96,5} + \frac{571,6 \cdot 0,15}{4 \cdot 96,5} \right) \\ &= 111239,325 \frac{\text{кДж}}{\text{год}} \end{aligned}$$

$$W_{\text{хім}} = W_{\text{заг}} - W_{\text{дж}} = 112751,712 - 111239,325 = 1512,387 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

Таблиця 2.3 – Баланс енергії

						Арк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		35

Прихід	W, кДж	%	Витрати	W, кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	112751,712	100	Джоулева теплота Хімічна енергія	111239,325 1512,387	98,63 1,37
Разом	112751,712	100	Разом	112751,712	100

2.5 Тепловий розрахунок для електрохімічних ванн

Процес анодування алюмінію та його сплавів має нерозривний зв'язок з випромінюванням значної кількості тепла. Це призводить до значного нагрівання деталей і електроліту і може призвести до перевищення режимних температур, що, в свою чергу, може призвести до зниження якості покриття або небажаних змін в його властивостях. Для визначення температури, до якої розігрівається електроліт протягом години роботи, проводиться розрахунок.

Температура до якої розігріється електроліт t_k °C визначається за формулою:

$$t_k = 20 + \frac{W_{дж}}{V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 + m_2 + C_3 \cdot m_3}$$

де $C_1 = 4050$ Дж/кг·К – теплоємність електроліту; $d_1 = 1100$ кг/м³ – густина електроліту; V_1 – робочий об'єм електроліту, м³; $C_2 = 1040$ Дж/кг·К – теплоємність матеріалу корпусу ванни; $m_2 = 340$ кг – маса ванни; $C_3 = 469$ Дж /кг·К – теплоємність матеріалу катодів; m_3 – маса катодів, кг.[1]

$$V_1 = K_{зап} \cdot V_{ванни} = 0,8 \cdot (1,250 \cdot 0,8 \cdot 1,250) \cdot 2 = 2 \text{ м}^3$$

де $K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни. Маса катодів розраховується за наступною формулою:

$$m_3 = V_3 \cdot \rho_3 \cdot n_k = (2,1 \cdot 1,1 \cdot 0,005) \cdot 7900 \cdot 2 = 182,5 \text{ кг}$$

де V_3 – об’єм катодів, м³; ρ_3 – густина матеріалу катодів, 7900 кг/м³ (сталь 12Х18Н9Т).

$$t_k = 20 + \frac{111239325}{2 \cdot 4050 \cdot 1100 \cdot 1040 \cdot 340 \cdot 469 \cdot 182,5} = 20,4^\circ\text{C}$$

Виходячи з розрахунків за одну загрузку електроліт розігріється на 0,4°C, до температури 20,4°C, що відповідає робочій температурі електроліту, так як за годину він нагріється лише на 5,2°C, що входить в нормальний стан даного електроліту.

2.6 Розрахунок витрат матеріалів

Для визначення річних потреб сировини для виробництва важливо розрахувати витрати матеріалів і сировини, що використовуються для виконання річного плану виробництва. Розраховуючи витрати матеріалів необхідно враховувати витрати на початковий запуск обладнання і витрати під час виробництва. Розрахунки проводять для хімічних реактивів, води та катодів. [9]

2.6.1 Розрахунок витрат катодів

Розрахунок витрат катодів на початковий запуск обладнання

Маса катодів, що потрібна для запуску виробництва (кг) визначаються за формулою:

$$G_{кз} = m_3 \cdot n_г = 182,5 \cdot 1 = 182,5 \text{ кг}$$

Де $n_г$ – кількість ванн даного типу, 1 шт; m_3 – маса катодів, кг.

Витрати нерозчинних катодів на виконання річної виробничої програми

Під час виконання анодування катоди поступово витрачаються. Швидкість витрат нормована та визначаються за формулою, кг:

$$G_{кр} = S \cdot p \cdot \delta_{п} = 12000 \cdot 0,5 \cdot 50 = 30 \text{ кг}$$

де $S = 12000$ – загальна площа нанесеного покриття при виконанні річної програми, м^2 ; $A_p = 0,5$ – норма витрат нерозчинних катодів для покриття товщиною один мікрометр, $\text{г}/\text{м}^2$; δ_p – товщина покриття, 50 мкм .

2.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів

Витрати реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати компонентів електроліту G_i (кг) розраховуються за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вт}}$$

де $V_{\text{вт}}$ – сумарний об'єм винесеного з підвіскою і деталями електроліту, м^3 .

Величину $V_{\text{вт}}$ визначається за нормованим коефіцієнтом:

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_c = 1,15 \cdot 12000 \cdot 0,0003 = 4,14 \text{ м}^3$$

Витрати хімічних реактивів на електроліт анодування

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 300 \cdot 4,14 = 1242 \text{ кг},$$

Витрати хімічних реактивів на розчин знежирення

$$G_{\text{рідке скло}} = 30 \cdot 4,14 = 124,2 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = 35 \cdot 4,14 = 144,9 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 10 \cdot 4,14 = 41,4 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин освітлення

$$G_{\text{NaOH}} = 50 \cdot 4,14 = 207 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин травлення

$$G_{\text{NaOH}} = 50 \cdot 4,14 = 207 \text{ кг}$$

Витрати компонентів на виконання річної виробничої програми

Розрахунок витрат компонентів здійснюється за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_i \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}}$$

де $V_{\text{вт}}$ – сумарний об'єм винесеного з підвіскою і деталями електроліту, м^3 .

Величину $V_{\text{вт}}$ можна визначається за нормованим коефіцієнтом:

де S – загальна площа виготовленого покриття, м^2 ;
 коефіцієнт 1,15 – враховує площу занурюваної частини підвісок;
 A_e – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Витрати хімічних реактивів на електроліт анодування

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 300 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 192 \text{ кг},$$

Витрати хімічних реактивів на розчин знежирення

$$G_{\text{рідке скло}} = 30 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 19,2 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = 35 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 22,4 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 10 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 6,4 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин освітлення

$$G_{\text{NaOH}} = 50 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 32 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин травлення

$$G_{\text{NaOH}} = 50 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 32 \text{ кг}$$

2.6.3 Розрахунок витрат води

Під час виконання щорічної виробничої програми вода використовується для різних цілей, таких як підготовка електролітів і розчинів, розкладання під час електролізу, випаровування з поверхні електроліту та промивних операцій. Вода є необхідним ресурсом для належного функціонування технологічних процесів та збереження якості виробництва. Урахування витрат води на ці операції має велике значення при розрахунку ресурсів і плануванні виробництва.

Витрати води на приготування електроліту.

Витрати на приготування електролітів і розчинів $G'_{\text{H}_2\text{O}}$ (кг) визначаються за формулою:

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

де $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – вміст води в одному 1 м^3 електроліту, $\text{кг}/\text{м}^3$;

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

Величину C_{H_2O} можна визначити за формулою:

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

де $d_{ел}$ – густина електроліту, 1100 кг/м^3 ; $C_1, C_2 \dots C_n$ – вміст компонентів в електроліті, кг/м^3 .

$$C_{H_2O} = 1100 - 300 = 800 \text{ кг/м}^3$$

Сумарні витрати електроліту знаходять за формулою:

$$V_{заг} = V_B \cdot K_{зан} \cdot n_B + V_{BT},$$

де $V_B = 0,8 \text{ м}^3$ – об'єм ванни;

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

$n_B = 1$ – кількість ванн даного типу;

$V_{BT} = 4,14 \text{ м}^3$ – об'єм електроліту, винесеного деталями.

$$V_{заг} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 + 4,14 = 4,78 \text{ м}^3.$$

Тоді витрати води на приготування електроліту будуть наступними :

$$G'_{H_2O} = 800 \cdot 4,78 = 3824 \text{ кг} = 3,824 \text{ м}^3$$

.

Витрати води на розкладання при електролізі.

Вода витрачена на розклад C_{H_2O}'' (кг) визначається за формулою :

$$G''_{H_2O} = I \cdot \frac{20 \cdot T_d \cdot B_c}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5}$$

де B_c – вихід за струмом побічного процесу розкладання води, %.

$$G''_{H_2O} = 214,52 \cdot \frac{20 \cdot 4221,44 \cdot 0,87}{2 \cdot 26,8} 10^{-5} = 2,93 \text{ кг}$$

Витрати води на приготування розчину знежирення

$$C_{H_2O}^{знж} = d_{знж} - (C_{NaOH} + C_{Na_3PO_4} + C_{Na_2CO_3}) = 1046 - (50 + 35 + 10) = 951 \text{ кг/м}^3$$

Загальні річні витрати розчину знежирення розраховують за формулою:

$$V_{заг}^{знж} = 0,8 \cdot 0,8 + 4,14 = 4,78 \text{ м}^3$$

Таким чином витрати води на приготування розчину:

$$G'^{тр}_{H_2O} = 951 \cdot 4,78 = 4545,78 \text{ м}^3$$

					ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Днк
						40
З	А	№ докум.	Підп	Д		

Витрати води на приготування розчину травлення

$$C_{H_2O}^{тр} = d_{тр} - (C_{NaOH}) = 1143 - (32) = 1111 \text{ кг/м}^3$$

Сумарні витрати розчину травлення:

$$V_{заг}^{тр} = 0,8 \cdot 0,8 + 4,14 = 4,78 \text{ м}^3$$

Річні витрати води на приготування розчину :

$$G_{H_2O}'^{тр} = 1111 \cdot 4,78 = 5310,58 \text{ м}^3$$

Витрати води на приготування розчину освітлення

$$C_{H_2O}^{осв} = d_{осв} - C_{NaOH} = 1128 - (50) = 1078 \text{ кг/м}^3$$

Річні витрати розчину освітлення:

$$V_{заг}^{осв} = 0,8 \cdot 0,8 + 4,14 = 4,78 \text{ м}^3$$

Кількість води, що витрачається на приготування розчину освітлення:

$$G_{H_2O}'^{осв} = 1078 \cdot 4,78 = 5152,84$$

Витрати води на нанесення із газами.

В процесі електролізу виділяються побічні гази, що видаляються з електроліту та виносять з собою воду. Витрати води на винесення із газами G_{H_2O}''' (кг), визначаються за формулою:

$$G_{H_2O}''' = G_{H_2O}' \cdot V^t$$

де G_{H_2O}' – кількість води, що виноситься з одним м^3 газів, кг/м^3 ; V^t – сумарний об'єм газу з водяною парою, що виділиться з урахуванням температури анодування, м^3 .

Величину G_{H_2O}' визначають як:

$$G_{H_2O}' = 0,805 \frac{2,3368}{101,32 - 2,3368} = 0,019 \text{ кг/м}^3$$

Для визначення об'єму газів V_r^t необхідно розрахувати об'єми водню та кисню за нормальних умов:

$$V_{H_2}^0 = 0,418 \cdot I \cdot T_1 \cdot Bc' \cdot 10^{-5} = 0,418 \cdot 214,52 \cdot 4221,44 \cdot 100 \cdot 10^{-5} = 378,53 \text{ м}^3$$

$$V_{O_2}^0 = 0,209 \cdot I \cdot T_1 \cdot Bc' \cdot 10^{-5} = 0,209 \cdot 214,52 \cdot 4221,44 \cdot 100 \cdot 10^{-5} = 189,26$$

Загальний річний об'єм газів за нормальних умов:

$$V_r^0 = V_{H_2}^0 + V_{O_2}^0 = 378,53 + 189,26 = 567,79 \text{ м}^3$$

Об'єм вологого газу за температури електролізу:

$$V_r^i = \frac{V_r^0 \cdot 1013 \cdot (273 + t_{ел})}{273 \cdot (P_6 - p_{H_2O})}$$

де $t_{ел}$ – температура електролізу, 10°C .

$$V_r^i = \frac{567,9 \cdot 1013 \cdot (273 + 20)}{273 \cdot (1013 - 23,367)} = 623,89$$

Тоді:

$$G_{H_2O}'' = 0,019 \cdot 623,89 = 11,85 \text{ м}^3$$

Витрати води на промивні операції.

Використання більшої кількості промивних ступенів під час очищення деталей має прямий вплив на витрати води. З кожним додатковим ступенем промивання зростає необхідна кількість води для ефективного видалення

забруднень і розчинів з поверхні деталей. Тому, при розрахунках витрат води на промивання, важливо враховувати кількість та тип промивних ступенів, щоб досягти оптимального використання водних ресурсів та забезпечити якісне очищення деталей.

При одноступеневій промиванні способом занурення, погодинну витрату води $V_{год}$ визначають за формулою:

$$V_{год} = A_e \cdot K \cdot P_r,$$

де $A_e = 0,3$ – норми виносу розчину із ванни поверхнею деталей;

$P_r = 2,899 \text{ м}^2 / \text{год}$ – годинна виробнича програма ванни;

K – критерій остаточного промивання деталей.

Його визначають за співвідношенням:

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

Сумарні витрати води на промивку при виконанні виробничої програми визначаються як, дм^3 :

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

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

Витрати води на операції промивання після знежирення.

Оскільки в розчині міститься декілька лугоутворюючих сполук, потрібно перерахувати загальну лужність як еквівалентний вміст лугу.

$$C_{0(Na_3PO_4)} = \frac{C_{(Na_3PO_4)}}{M_{Na_3PO_4}} \cdot 3 \cdot M_{NaOH} = \frac{35}{164} \cdot 3 \cdot 40 = 25,60 \text{ г/дм}^3$$

де $C_{(Na_3PO_4)}$ – концентрація фосфату натрію в розчині знежирення, г/дм^3 ;

$M_{(Na_3PO_4)}$ – молярна маса фосфату натрію, г/моль ; M_{NaOH} – молярна маса гідроксиду натрію, г/моль ; 3 – перерахунок на еквівалентну масу.

$$C_{0(Na_2CO_3)} = \frac{C_{(Na_2CO_3)}}{M_{Na_2CO_3}} \cdot 2 \cdot M_{NaOH} = \frac{10}{105} \cdot 2 \cdot 40 = 7,61$$

Сумарна лужність складає:

$$C_0^{ЗНЖ} = C_{(Na_3PO_4)} + C_{(Na_2CO_3)} = 25,60 + 7,61 = 33,21 \text{ г/дм}^3$$

ГДК гідроксиду натрію у воді після промивання: 0,8 г /л. Тоді коефіцієнт остаточної промивки

$$k = \frac{C_0}{C_k} = \frac{33,21}{0,8} = 41,51$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot 41,51 \cdot 2,899 = 36,1 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 36,1 \cdot 4221,44 \cdot 1,5 = 228,5 \text{ м}^3$$

Витрати води на промивні операції після травлення

Концентрація лугу в розчині $C_{0(\text{NaOH})} = 150 \text{ г/дм}^3$, тоді загальна лужність складає:

$$C_0^{\text{тр}} = C_{0(\text{NaOH})} = 50 \text{ г/дм}^3$$

ГДК лугу у воді перед операціями з кислими розчинами: 0,1 г/л

$$k = \frac{C_0}{C_k} = \frac{50}{0,1} = 500$$

$$V_{\text{г}} = 0,3 \cdot \sqrt{500} \cdot 2,899 = 19,44 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 19,44 \cdot 4221,44 \cdot 1,5 = 123,09 \text{ м}^3$$

Витрати води на промивні операції після освітлення

В розчині освітлення міститься нітратна кислота, яку необхідно перерахувати на еквівалентний вміст сульфатної кислоти.

$$C_{0(\text{HNO}_3)}^{\text{осн}} = \frac{C_{\text{HNO}_3}}{M} \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{50}{63} \cdot 98 = 77,7 \text{ г/дм}^3$$

Отже критерій остаточного промивання для розчину освітлення:

$$K^0 = \frac{C_0^{\text{осв}}(\text{HNO}_3)}{C_k^{\text{осв}}} = \frac{77,7}{0,1} = 777$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot \sqrt{777} \cdot 2,899 = 24,24 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 24,24 \cdot 4221,44 \cdot 1,5 = 153,4 \text{ м}^3$$

Витрати води на промивні операції після анодування

Концентрація сульфатної кислоти в розчині $C_{0(\text{H}_2\text{SO}_4)}^0 = 300 \text{ г/дм}^3$, отже сумарна кислотність складає:

$$C_0^a = C_{0(H_2SO_4)} = 300 \text{ г /дм}^3$$

Гранично допустима концентрація сульфатної кислоти у воді після промивання: 0,1 г/ л. [1]

Тоді критерій остаточного промивання для розчину анодування:

$$K = \frac{C_0^a}{C_0^a} \cdot 0,4 = \frac{300}{0,1} = 1200$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot \sqrt{1200} \cdot 2,899 = 30,1 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 30,1 \cdot 4221,44 \cdot 1,5 = 190,59 \text{ м}^3$$

$$V = 228,5 + 123,09 + 153,4 + 190,59 = 695,58$$

Загальні витрати води

$$V_{\text{заг}} = G'_{H_2O} + G'_{\text{знж}}_{H_2O} + G'_{\text{тр}}_{H_2O} + G'_{\text{осв}}_{H_2O} + G''_{H_2O} + G^2_{H_2O} + V = 3,824 + 4545,78 + 5310,58 + 5310,58 + 0,0439 + 11,85 + 695,58 = 15878,2 \text{ м}^3$$

					ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Друк
З	А	№ докум.	Підп	Д		45

Розділ 3. Автоматизація процесу нанесення анодного покриття

Автоматичний контроль та керування процесами широко використовуються в електрохімічних виробництвах, оскільки це має низку важливих переваг. Серед них - підвищення продуктивності, забезпечення високої якості покриття, ефективне використання енергетичних та сировинних ресурсів, зменшення необхідної кількості персоналу та покращення якості їх роботи, а також зниження впливу людського фактору на процес.

Основними параметрами, які потребують автоматизації, є сила струму та напруга на ваннах, температура електроліту та його рН-значення, а також рівень електроліту у ваннах.

В автоматизованих гальванічних ваннах, що входять до складу лінії, встановлені спеціальні пристрої для контролю та керування згаданими параметрами.

Для даного проекту, основними параметрами, які потребують автоматизації, є:

- Температура .
- Концентрація компонентів електроліту.
- Сила струму та напруга на ванні.
- Рівень електроліту .

Для забезпечення автоматичного контролю цих параметрів та інформування працівників про відхилення від технологічних норм, ванни анодування було обладнано датчиками та контролюючими пристроями.

Автоматичний контроль та виконання процесу анодування можна здійснювати як у місці встановлення контролюючих приладів, так і з центрального пульта керування.

Метою дипломного проекту є автоматизація процесу анодування алюмінієвого сплаву. Для вирішення цієї проблеми були сформульовані наступні вимоги:

1. Підтримка сили струму та напруги на ванні в межах технологічних вимог для анодування в оксалатній кислоті.
2. Перевірка значення рН електроліту та коригування вмісту щавлевої кислоти в анодувальній ванні.
3. Контроль температури у ванні анодування.
4. Підтримка необхідного рівня електроліту у ванні, що забезпечує повне занурення електродів.

Для забезпечення виконання цих вимог передбачено використання автоматичних ліній контролю для контролю рівня електроліту, рН електроліту, температури, сили струму та напруги на анодувальній ванні.[5]

Таблиця 3.1 – Параметри контролю і регулювання електрохімічної ванни

№	Назва стадії процесу та місце визначення параметру	Параметр, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Анодування, гальванічна ванна	Температура	13-25 °С	Контроль
2	Анодування, гальванічна ванна	Рівень	1,05...1,00 м	Контроль регулювання

3	Анодування, гальванічна ванна	Концентрація сульфатної кислоти	300...400 г/л	Контроль регулювання
4	Анодування, гальванічна ванна	Сила струму, напруга	237 А/дм ² 70...75В	Контроль регулювання

Для контролю температури використовується спеціальний контур, що складається з платинового термоперетворювача опору 1-1, показувально-реєструвального пристрою 1-2 та нормувального перетворювача 1 -3.

Регулювання рівня електроліту у ванні анодування здійснюється за допомогою поплавкового датчика 2- 1, який пов'язаний з реєструвально-показувальним пристроєм 2- 2. Сигнал з поплавкового датчика передається на електричний однообертний виконавчий механізм 2-3 .

Контроль концентрації робочого розчину здійснюється за допомогою контуру, який включає чутливий елемент 3- 1. Сигнал з елемента обробляється високоомним перетворювачем 3-2 і виводиться на реєструвально-показувальний пристрій 3- 3.

Джерело струму представлено випрямним агрегатом TE1-315 /115T ОУХЛ4, який працює в ручному та програмному режимах. У ручному режимі автоматично забезпечується задана сила струму та напруга . У програмному режимі виконується одна з передбачених програм. Керування випрямним агрегатом можливе як з самого агрегату, так і з пульта дистанційного керування [5].

Висновок: Якість оксидного покриття ванни анодування алюмінію була поліпшена завдяки використанню електрохімічного обладнання для автоматизації, регулювання, контролю та сигналізації основних параметрів.

Для досягнення цієї мети було використано ванну анодування, обладнану відповідними приладами та датчиками, а також складено схему автоматизації, яка описує структуру пунктів контролю та регуляції.

Розділ 4 . Економіко-організаційні розрахунки

Для організації цеху анодування необхідно здійснити розрахунки техніко -економічних показників цеху і визначити собівартість продукції .

Основною метою діяльності цього цеху є задоволення потреб машинобудівної промисловості у якісному та зносостійкому анодуванні алюмінієвих корпусних деталей .

Код класифікації видів економічної діяльності (КВЕД): Клас 25.61 - " Оброблення металів та нанесення покриття на метали".

4. 1 Класифікація виробничих процесів

В залежності від ступеня впливу на виробництво, процеси можна класифікувати на кілька типів:

- Основні процеси.
- Допоміжні процеси.
- Бічні процеси.
- Підсобні процеси .

Основними процесами для даного виду виробництва є наступні процеси: монтаж шківу на відповідних вузлах , знежирення, травлення, активація деталей і промивки, анодування та сушіння.

Допоміжні процеси включають транспортування сировини (заготовок, компонентів електролітів), обслуговування та ремонт обладнання, контроль якості деталей та покриття , а також корегування електроліту.

Класифікаційні ознаки підприємства:

1. за формою власності – приватне;
2. за формою реєстрації – фізична особа;
3. за спеціалізацією виробництва – вузькоспеціалізоване;
4. за масштабом виробництва – масове;

5. за ресурсами – матеріаломістке;
6. за потужністю – середнє;
7. за чисельністю персоналу – середнє;
8. за вартістю власного майна – середнє;
9. за впливом на предмет праці – переробне;
10. за режимом роботи протягом року – неперервне;

В рамках дипломного проекту, підприємство має такі завдання:

1. Розробка і застосування процесів електрохімічного нанесення покриттів з високою корозійною стійкістю і декоративними властивостями, з метою виробництва корозійностійких захисно-декоративних покриттів.
2. Вивчення та впровадження нових методів і технологій в області електрохімічного нанесення покриттів для поліпшення якості продукції, зниження витрат і підвищення продуктивності процесу.
3. Розробка системи контролю якості, що гарантує відповідність виробленої продукції технічним стандартам і вимогам замовників.
4. Забезпечення безпеки праці та дотримання екологічних стандартів у процесі виробництва покриттів.

Для досягнення цих цілей, важливо мати відповідні технічні відділи, які виконують різноманітні функції для організації та ефективної роботи гальванічного цеху. Щоб краще зрозуміти їх роль, основні обов'язки кожного відділу можна уточнити таким чином:

1. Відділ обладнання та матеріалів відповідає за контроль та регулювання процесу виробництва, забезпечення цеху необхідними сировинними матеріалами, якісним обладнанням

та реактивами, а також за організацію робочих місць та забезпечення безпеки праці.

2. Відділ економіки займається організацією економічних розрахунків в цеху, розробкою та впровадженням перспективних проектів з метою поліпшення техніко-економічних показників цеху, а також аналізом техніко-економічних показників та пошуком можливостей для підвищення продуктивності та рентабельності виробництва.
3. Технологічний відділ відповідає за виробничий процес і вдосконалення технологічних процесів з метою підвищення продуктивності і зниження трудомісткості, розробку технічних завдань та забезпечення виробничих ділянок необхідною технічною документацією.[8]

4.2 Оптимізація виду руху предметів праці

Річна потужність цеху, з врахуванням виправного браку деталей становить $P_p = 12000 \text{ м}^2/\text{рік}$.

Процес нанесення анодного покриття є складним і багатостадійним, включаючи різні операції, які перераховані в таблиці

Таблиця 4.1 - Операції нанесення захисного анодного покриття:

Вид процесу	Назва операції	Тривалість виконання, хв .
Основні	Монтаж деталей на пристосування	1
	Хімічне знежирення	10
	Промивання в теплій воді	0,5
	Промивання в холодній воді	0,5
	Освітлення	5
	Промивання в холодній воді	0,5
	Травлення	2
	Промивання в холодній воді	0,5
	Анодування	35
	Промивання в холодній воді	0,5
	Наповнення анодної плівки в хромпіку	25
	Промивання в гарячій воді	0,5
	Сушіння	10
	Демонтаж	1
	Разом	67
Допоміжні	Пакування продукції та транспортування її до складу	
	Ремонт та чистка обладнання	
	Контроль якості	
	Коригування електроліту	
Побічні	Очищення стічних вод	

Річна виробнича програма цеху анодування становить 12000 м^2 . З чого розрахуємо добову програму:

$$P_0 = \frac{P_p}{T_{\text{добу}}} = \frac{12000}{257} = 46,69 \frac{\text{м}^2}{\text{добу}}$$

де $T_{\text{доб}}$ – кількість робочих днів у 2023 календарному році, P_p – річна виробнича програма підприємства з урахуванням можливого браку .

Тоді виробнича програма зміни становить:

$$P_{\text{змін}} = \frac{P_{\text{доб}}}{k} = \frac{46,69}{2} = 23,34 \frac{\text{м}^2}{\text{зміну}}$$

Кількість завантажень за одну зміну, яку необхідно виконати для забезпечення виробничої програми:

$$m = \frac{P_{\text{зм}}}{S_{\text{оз}}} = \frac{23,34}{0,79} = 28,3 \approx 29 \text{ завантажень/зміну}$$

де $S_{\text{оз}}$ площа одного завантаження ванни оксидування, приведена у технологічних розрахунках.

Необхідно розрахувати випуск продукції для наступних типів ВРПП:

- Послідовного
- Паралельного
- Синхронізованого типу

Сумарний час всіх стадій:

$$\Sigma t_i = 1 + 10 + 0,5 + 0,5 + 5 + 0,5 + 2 + 0,5 + 35 + 0,5 + 25 + 0,5 + 10 + 1 = 67 \text{ хв}$$

1.Послідовний тип ВРПП

$$B_n = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{зміни}}}{\Sigma t_i} = \frac{16 \cdot 60}{67} = 14,3 \approx 14$$

З послідовним типом ВРПП неможливо задовільнити річну програму виробництва анодованого алюмінію.

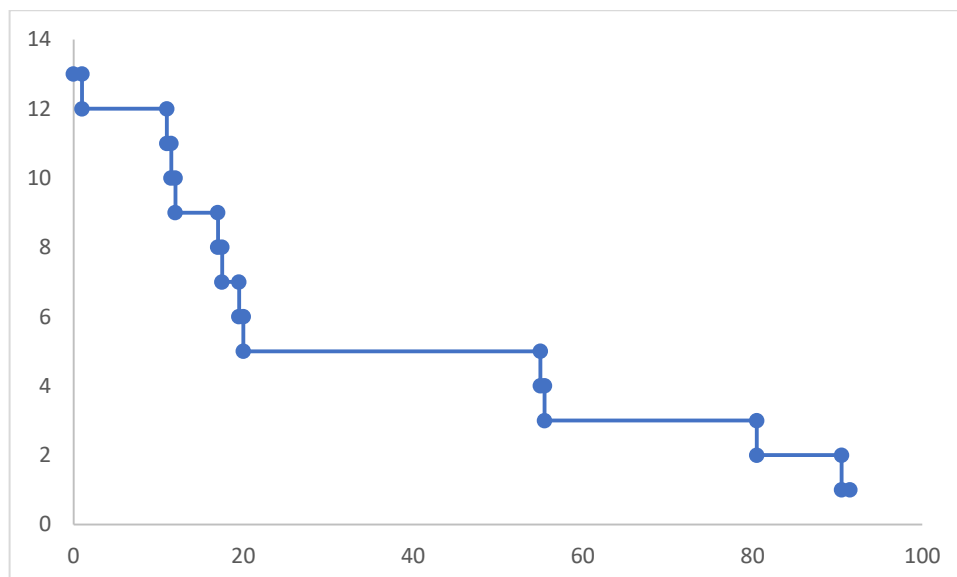


Рисунок 4.1 – Графік послідовного ВРПП

2. Паралельний тип ВРПП

$$B_{\text{пар}} = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{пар}} \cdot t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{max}}} = \frac{16 \cdot 60 + 35 - 67}{35} \approx 26,5$$

= 27 разів

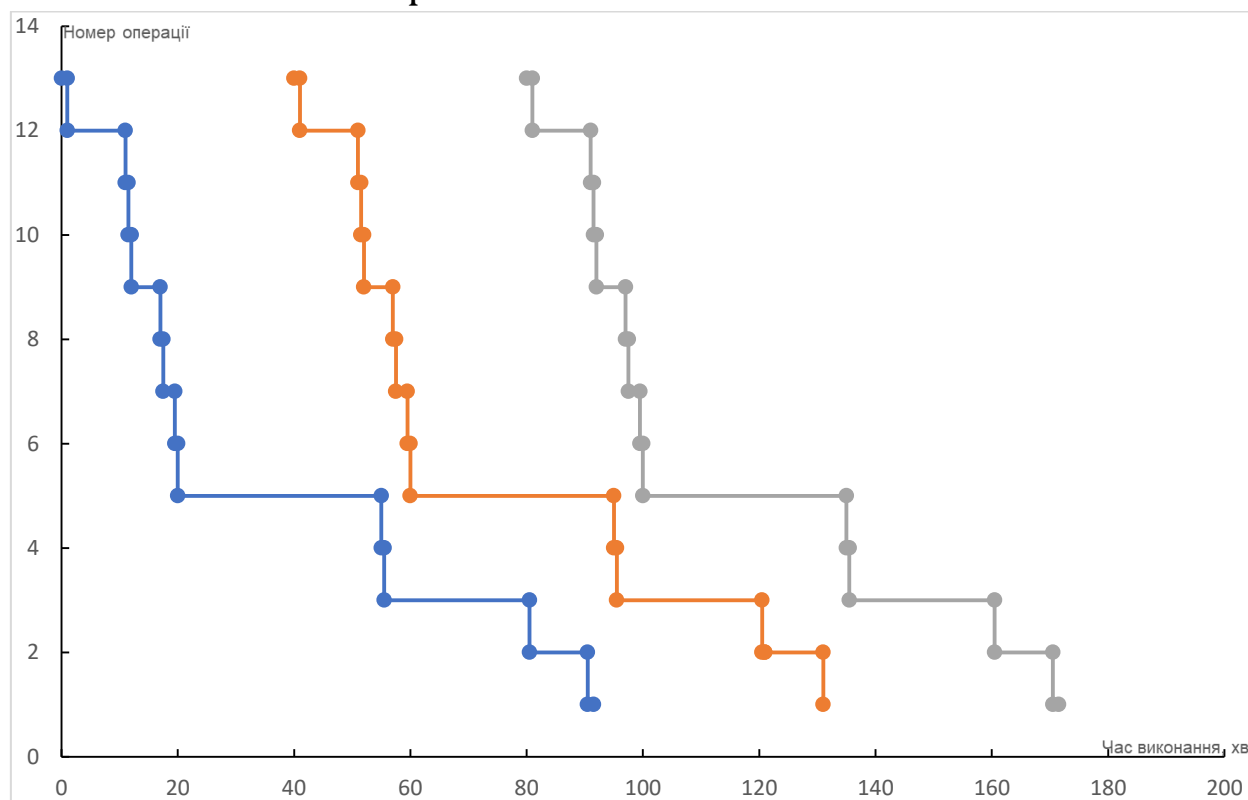


Рисунок 4.2 – Графік паралельного ВРПП

Виробнича програма цеху за паралельним ВРПП є економічно доцільною.

3. Синхронізований тип ВРПП

З	А	№ докум.	Підп	Д

ДП ХЕ9103.1450.000 ПЗ

Док.

54

Для визначення оптимального ритму для забезпечення річного плану продукції необхідно його розрахувати з використанням формули:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{В.Ц}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^n t_i}{R}$$

$$N_{\text{завант}} = \frac{16 \cdot 60 + 2 - 67}{2}$$

$$N_{\text{завант}} = \frac{16 \cdot 60 + 33 - 67}{33} = 28$$

Для підтвердження коректності розрахунків розрахуємо річний випуск з урахуванням отриманого ритму.

$$N_3 = \frac{T_e^c + R - \sum_{i=1}^n t_i}{R} = \frac{16 \cdot 60 + 33 - 67}{33} = 28$$

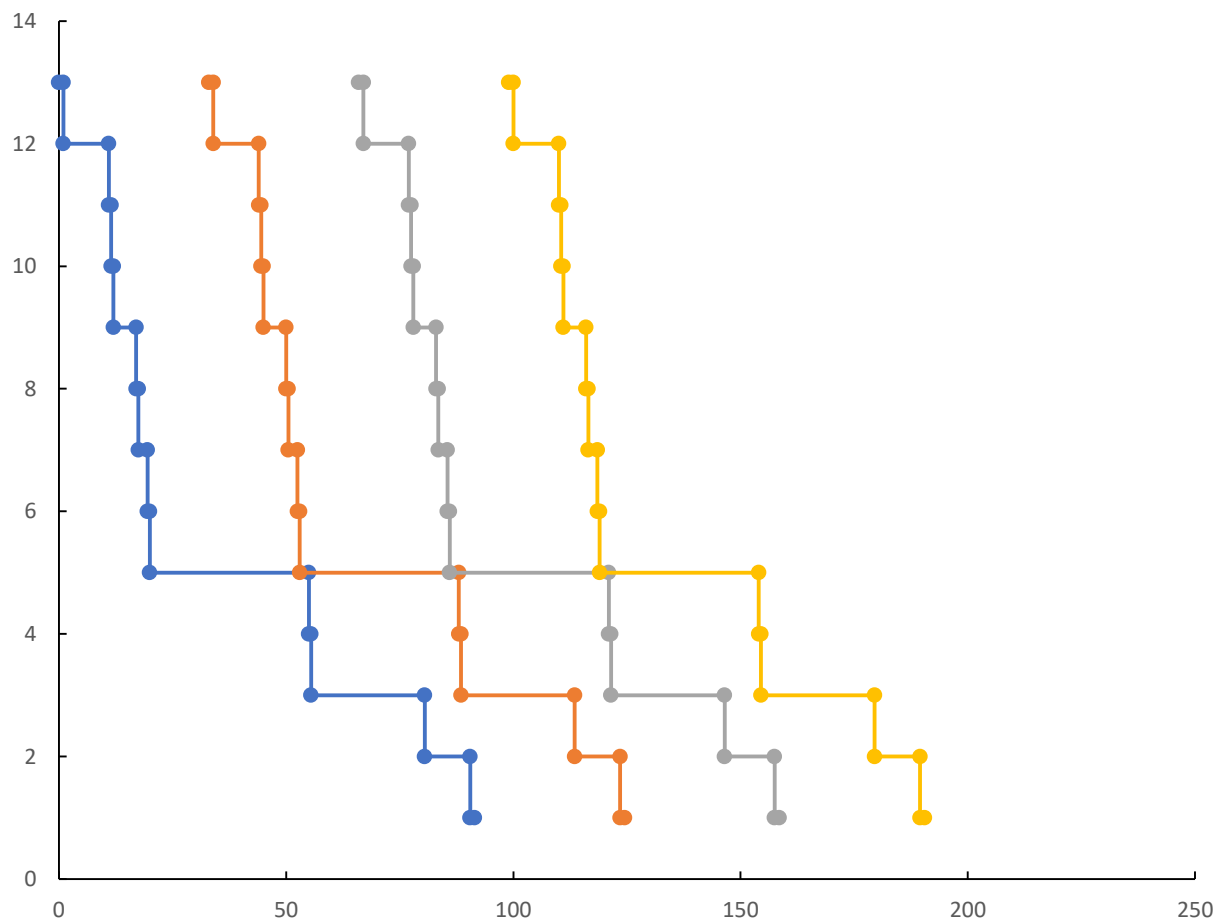


Рисунок 4.3 – Графік синхронізованого ВРПП

Обираємо синхронізований ВРПП оскільки він забезпечує необхідну виробничу програму без перевиконання заданого об'єму продукції, як наприклад в паралельному. Кількість завантажень на добу – 29.

- 1 ванна хімічного знежирення
- 1 ванна промивання у теплій воді
- 1 ванна промивання в гарячій воді
- 1 ванна промивання в холодній воді
- 1 ванна травлення
- 1 ванна освітлення
- 1 ванна анодування.
- 1 сушильна шафа.

Загальна кількість ванн складає 8. [6]

4.3 Чисельність персоналу та фонд заробітної плати

До складу робочого персоналу входять:

- лаборант - відповідає за контроль якості виробів та робочих розчинів;
- технолог - контролює технологічний процес;
- гальваніки – виконує основні операції.

Оскільки процес електролізу автоматичний і гальванік виконує лише контролюючу функцію, достатньо 1 гальваніка на зміну.

Режим роботи: робочий день для зміни складає 8 годин, підприємство працює в 2 зміни з 7.00 до 22.00 [6].

Згідно з наданим списком робочих місць, у кожену зміну необхідно мати:

- 1 технолог

- 1 гальванік
- 1 лаборант
- 1 вантажник

Чисельність за списком виробничого персоналу становить :

$$\text{Ч}_{\text{СП}} = \text{Ч}_{\text{ЯВ}} \cdot \frac{\text{T}_{\text{підпр}}^{\text{факт}}}{\text{T}_{\text{прац}}^{\text{факт}}},$$

де $\text{T}_{\text{підпр}}^{\text{факт}}$ – кількість годин які працює підприємство за рік год/рік,

$\text{T}_{\text{прац}}^{\text{факт}}$ – кількість робочих годин працівника за рік.

$$\text{T}_{\text{підпр}}^{\text{факт}} = 260 \cdot 8 \cdot 2 = 4160 \text{ год}$$

$$\text{T}_{\text{прац}}^{\text{факт}} = \frac{365}{7} \cdot 40 - (8 - 1) = 2077,71$$

$$\text{Ч}_{\text{СП}} = 7 \cdot \frac{4160}{2072,71} = 8,0088 \approx 8 \text{ осіб.}$$

Отже для забезпечення роботи виробництва необхідно 2 бригади .

Графік змінності підприємства

Графік змін на підприємстві: 1-а зміна: 7:00-15:00; 2 -а зміна – 15:00 - 22 :00.

Таблиця 4.1 – Графік змінності підприємства

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

1 – перша зміна, 2 – друга зміна, В – вихідний день.

4.4 Нарахування заробітної плати

Розрахуємо мінімальну тарифну ставку згідно мінімальної заробітної плати:

Таблиця 4.2 – Фонд заробітної плати підприємства

Посада	Кількіс ть осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата, грн	
					За день	За рік
Директор	1	18	3,21	157,18	1257,44	326934,4
Технолог	2	15	3	2×134,68	2×1077,44	2×28014,4
Лаборант	2	11	2,6	2×101,23	2×809,84	2×210558,4
Гальванік	2	8	2,2	2×113,11	2×904,8	2×235248
Вантажн	2	3	1,5	2×61,238	2×489,90	2×127375
Всього	9	—	—	—	7821,408	2033566

Фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} \cdot \text{Н} = 2033566 \cdot 1,22 = 2480950,52 \text{ грн/рік}.$$

де Н – нарахування на заробітну плату.

4.5 Розрахунок витрати електроенергії

Середня витрата потужності цехом = 38,79 кВт/год.

Цех працює 16 годин на добу, 260 днів на рік в денний час (7:00-22:00).

Для визначення вартості електроенергії, яку використовує цех, будемо використовувати двозонні тарифи. У відповідності до зазначених коефіцієнтів тарифів денний період має коефіцієнт - 1,5.

Тарифи для роздрібного споживання електроенергії в місті Києві, включаючи ПДВ, складають: 1 кВт = 1,56 грн..

Сумарні витрати на електроенергію:

$$B_{\text{рік}}^{\text{в/в}} = 260 \cdot 14 \cdot 38,79 \cdot 1,56 \cdot 1,5 + 260 \cdot 2 \cdot 38,79 \cdot 1,56 = \\ = 251731,5 \text{ грн/рік}$$

4.6 Розрахунок витрат сировини на покриття однієї партії деталей

Таблиця 4.3 – Річні оборотні фонди підприємства

Найменування	Ціна	Витрата на рік	Вартість, грн
Тринатрійфосфат технічний	120 грн/кг	150 кг	18000
Гідроксид натрію	100 грн/кг	120 кг	12000
Скло натрієве рідке	70 грн/л	50 л	3500

Технічна сульфатна кислота	200 грн/л	70 л	14000
Сульфатний електроліт	133 грн/л	1500 л	199500

Дихромат калія	60 грн/кг	30 кг	1800
Вода	30,384 грн/м ³	50267 м ³	1527312,528
Електроенергія	1,56 грн/кВт	160 МВт	289047,6
Всього	—	—	2065160,1

Для того, щоб угрупувати витрати підприємства і бачити складові собівартості, складено калькуляцію (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Калькуляція продукції

№	Статті затрат	Витрати на річний випуск грн/рік	% до собівартості
1	Амортизація	479483,33	6,8
2	Сировина і матеріали	2065160,1	29,29
3	Заробітна плата виробничого та невиробничого персоналу	2033566	28,8
4	Нарахування на заробітну плату	2480950,52	35,16
5	Виробнича собівартість	7059159,95	100%

Повна собівартість (враховуючи невраховані витрати та накладні):

$$C_{\text{повна}} = C_p + 0,2 \cdot C_p + 0,4 \cdot C_p = 11294655,92 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість одиниці продукції:

$$C_v = \frac{C_{\text{повна}}}{P_p} = \frac{11294655,92}{12000} = 941,22 \text{ грн/м}^2$$

де P_p – кількість випущеної продукції в рік; C_p – річна собівартість

					ДП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Док.
З	А	№ докум.	Підп	Д		58

продукції.

4.7 Баланс використання оборотних фондів

Типи та кількість обладнання, що є необхідним для виконання технологічного процесу наведені в таблиці 4.6

Таблиця 4.5 – Розрахунок вартості придбання та монтажу нового обладнання

№	Назва обладнання	Вартість, грн
1	Приміщення	1000000
2	Ванна анодування	70000
3	Ванна травлення	15000
4	Ванна освітлення	15000
5	Ванна теплої промивки	10000
6	Ванна холодної промивки	10000
7	Ванна гарячої промивки	10000
8	Сушильна шафа	11000
9	Випрямний прилад	50000
10	Трубопровід	70000
11	Нематеріальні активи	25000
	Всього	1286000

Для основних фондів необхідно розрахувати :

Амортизація для будівель і споруд:

$$A_{\text{буд}} = H_A^{\text{буд}} / T_{\text{ек}} = 1000000 / 5 = 200000 \text{ грн/рік.}$$

Де $H^{\text{буд}}$ – вартість будівель та споруд , $T_{\text{екс}}$ – період амортизації будівель та споруд. [6]

Амортизація обладнання:

$$A_{обл} = H_A^{обл} / T_{ек} = 191000 / 5 = 38200 \text{ грн/рік.}$$

Де $H_A^{обл}$ - вартість будівель та споруд , екс – період амортизації будівель та споруд .

Амортизація трубопроводів:

$$A_{mp} = H_A^{mp} / T_{ек} = 70000 / 15 = 4666,66 \text{ грн/рік}$$

Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{нм..а} = H_A^{нм..а} / T_{ек} = 28000 / 12 = 2333,33 \text{ грн/рік.}$$

Всього:

$$A = 400000 + 73900 + 2250 + 3333,33 = 479483,33 \text{ грн/рік.}$$

4.8 Розрахунок техніко-економічних показників

Ринкова ціна МНХ = 1500 грн/м²

Прибуток:

$$П = Ц - С = 1500 \cdot 12000 - 11294655,92 = 6705344,08 \text{ грн}$$

Капіталовкладення:

$$К = ОЗ + ОБЗ = 1286000 + 2065160,1 = 3351160,1 \text{ грн}$$

Рентабельність виробництва:

$$P = \frac{П}{С} = \frac{6705344,08}{11294655,92} \cdot 100\% = 59,367 \%$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{пов} = \frac{К}{П} = \frac{3351160,1}{6705344,08} = 0,5 \text{ роки}$$

Ефективність:

$$E = \frac{П}{К} = \frac{1}{T_{пов}} = 2$$

Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{ОЗ} = \frac{В}{ОЗ} = \frac{11294655,92}{1286000} = 8,78 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача оборотних засобів:

					ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Адк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		62

$$\Phi B_{063} = \frac{B}{O63} = \frac{11294655,92}{2065160,1} = 5,46 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність основних засобів:

$$\Phi \epsilon_{03} = \frac{1}{\Phi B_{03}} = \frac{1}{8,78} = 0,113 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність оборотних засобів:

$$\Phi \epsilon_{063} = \frac{1}{\Phi B_{063}} = \frac{1}{5,46} = 0,183 \text{ грн/грн}$$

Розділ 5. Охорона праці

У процесі анодування використовуються речовини, які мають хімічну агресивність та можуть бути потенційно небезпечними для працівників і оточуючого середовища. Наприклад, деякі електроліти, що використовуються під час анодування, можуть бути корозійними та вибухонебезпечними. При неправильному обході або неконтрольованому використанні цих речовин може статися небажана реакція, що призведе до аварійних ситуацій, включаючи пожежу та вибух.

З метою забезпечення безпеки працівників, всі проектні рішення приймалися з урахуванням вимог охорони праці.

В цьому розділі висвітлені заходи, спрямовані на створення здорових та безпечних робочих умов, а також забезпечення пожежної безпеки. [7]

5. 1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектуваному об'єкті. Заходи із охорони праці.

5.1.1 Повітря робочої зони

Таблиця 5.1. - Санітарні норми параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C					Відносна вологість		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Допустима				Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних непостійних	Оптимальна, не більш	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних.
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
			Постійний	Непостійний	Постійний	Непостійний				
Холодний	Середньої тяжкості - П-Б	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	До 0,4
Теплий		20-22	27	29	15	15	40-60	70	0,3	0,2-0,5

Повітря виробничої зони на підприємстві, що займається твердим анодуванням алюмінію, буде відповідати вимогам щодо якості повітря та безпеки працівників. Для зменшення рівня забрудненості повітря на виробництві твердого анодування алюмінію, проектом передбачено вжити раціоналізацію процесів, встановлення засобів очищення (абсорбери, фільтри та очисні системи, для збору та очищення шкідливих речовин та випаровувань), впровадження програми переробки відходів тощо .[9]

З метою зменшення забруднення повітря в робочому приміщенні, заплановано такі заходи:

- Підготовка та коригування розчинів будуть проводитись у спеціально відведених місцях під умовою включеної місцевої вентиляції.
- Для запобігання викиду електролітів, простір між ваннами буде перекрито фторопластовими козирками, а автооператор

зупинятиметься, щоб дозволити повне стікання електроліту над ванною.

- Під час приготування розчинів кислот, кислота буде додаватись тонким струменем до холодної води, ретельно перемішуючись.

Для розрахунку системи місцевої механічної вентиляції, яка захоплює шкідливі викиди з поверхні розчинів, в цеху встановлено бортові відсмоктувачі з обох боків ванн.

Для розрахунку об'ємної витрати повітря, що відводиться бортовими відсмоктувачами, використано формулу:

$$L = 1400 \cdot \left(0,53 \cdot \frac{B_p \cdot l}{B_p + l} + H_p \right)^{1/3} \cdot B_p \cdot l \cdot K_1 \cdot K_{\Delta t} \cdot K_T$$

де B_p – внутрішня ширина ванни, м; l – внутрішня довжина ванни, м; H_p – проєктна відстань від краю ванни до поверхні електроліту, м; K_1 – коефіцієнт, що залежить від конструкції відсмоктувача ($K_1 = 1$); K_t – температурний коефіцієнт ($K_1 = 1,03$); K_T – коефіцієнт токсичності речовин, які викидаються з дзеркала розчину у ванні анодування, прийнятий в залежності від складу розчину.

$$L = 1400 \cdot \left(0,53 \cdot \frac{0,8 \cdot 1,25}{0,8 + 1,25} + 0,2 \right)^{1/3} \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1,03 \cdot 1,1 = 1223,16$$

5.1.2 Виробниче освітлення

Для забезпечення дотримання вимог охорони праці у проєкті використовуються різні види освітлення, зокрема, природне, штучне і суміщене. За функціональним призначенням передбачено робоче, евакуаційне, аварійне, ремонтне та охоронне освітлення приміщень.

Система природного освітлення реалізована за допомогою комбінованого підходу, де частина освітлення забезпечується верхнім джерелом, а частина – боковим джерелом. Також застосовується

комбінована система штучного освітлення , яка включає загальне та місцеве освітлення.[8]

Таблиця 5.2 Норми освітленості, згідно ДБН В. 2.5-28 : 2018

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

Робочу зону освітлено флуоресцентними лампами. Для аварійного та евакуаційного освітлення використовуються прямі світильники типу «Альфа». Аварійне освітлення буде забезпечувати не менше 5% нормованого рівня освітленості , що відповідає мінімальному значенню 2 лк . Під час евакуації, освітлення на підлозі у головних коридорах та на сходах забезпечуватиметься на рівні не менше 0 , 5 лк, а на відкритих майданчиках – не менше 0,2 лк.

Система освітлення перевірятиметься один раз на рік за допомогою люксметра Ю-116. Двічі на рік заплановано чистити плафони та віконне скло.

5.1.3 Шум і вібрація у виробничій зоні

У виробничій зоні цеху можуть бути різні джерела коливань та гучного звуку, зокрема , автоматичні механізми, вентилятори, електродвигуни, компресори тощо. Рівень звуку у приміщеннях виробництва може досягати 92 дБА, що перевищує допустимий рівень звуку (згідно з ДСН 3.3.6.037 – 99 , допустиме значення становить 80 дБА).

Для зменшення впливу шуму на працівників використовуються різні заходи . Наприклад, застосовуються засоби звукоізоляції, такі як оболонки та кожухи, які перешкоджають розповсюдженню шуму . Також встановлюють глушники на повітроводах, щоб зменшити розповсюдження

шуму через вентиляцію. Використання звукопоглинаючих матеріалів для обшивки приміщень також сприяє зниженню шуму.

Для мінімізації шуму від джерела використовуються різні методи, зокрема, встановлення мінімальних допусків, ретельне балансування та використання демпферів для зменшення вібрацій в ударних деталях. Крім того, працівники будуть використовувати засоби індивідуального захисту – навушники і беруші.

Всі ці заходи спрямовані на забезпечення безпечних та комфортних умов праці в умовах з високим рівнем шуму та коливань.

5.1.4 Електробезпека

В анодувальному цеху, через присутність агресивних речовин, які можуть ушкодити електроізоляцію струмопроводів, наявна висока небезпека ураження електричним струмом. Така ситуація вимагає особливої уваги, оскільки електрохімічний цех відносять до категорії небезпечних приміщень з огляду на ризик ураження людей електричним струмом.

Потенційні ураження працівників електричним струмом можуть виникнути внаслідок контакту з активними елементами обладнання, що перебувають під напругою, а також через неякісне заземлення. Крім того, існують інші шляхи ураження, зокрема, крокова напруга та електродуга.

У цеху анодування електричні прилади та агрегати підключені до трифазної мережі змінного струму з напругою 380/220В із наявністю заземленої нейтралі та використанням чотирьох провідників [6]. Згідно ДСТУ 12.1.038:2008, встановлені припустимі значення напруги дотику (U_d) та струму, який може протікати через тіло людини (I_d), за яких електроустаткування працює у нормальному режимі. [10]

$U_d = 2 \text{ В}, I_d = 0,3 \text{ мА};$ у аварійному $U_d = 36 \text{ В}, I_d = 6 \text{ мА}.$

Найчастішим випадком є дотик людини до однієї фази змінного струму. При цьому сила струму, яка пройде крізь людину, становить:

$$I_d = U_{\phi} 10^3 / (R_d + R_0), \text{ мА};$$

де U_{ϕ} – 220 – фазна напруга, В ; $R_d = 3000$ – загальний опір тіла людини, Ом ;

$R_0 = 4$ – опір робочого заземлення нейтралі, Ом.

$$I_d = 220 / (3000 + 4) = 73 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 73 \text{ мА}$$

$$U_d = I_d \cdot R_d, \text{ В}$$

$$U_d = 73 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 = 219 \text{ В}$$

При порівнянні обчислених значень з нормативними, помітно, що порушення електробезпеки може призвести до серйозних електричних травм. Для поліпшення рівня електробезпеки одночасно використовуються різні технічні методи та засоби. Проєктом передбачено заземлення електрообладнання, використання систем електричного розділення, автоматичного відключення установок, а для ручних електроінструментів – використання низької напруги, ізоляція струмовідних деталей, обмеження доступу до небезпечних місць шляхом огорож та блокування, встановлення сигналізації, використання безпечних знаків та попереджувальних плакатів.

З метою індивідуального захисту працівників передбачено використовувати діелектричні гумові рукавички, інструменти з ізолюючими вставками на рукоятках та гумові ізолюючі підставки. Також важливо проводити регулярні навчання щодо безпечних методів роботи з електроустановками.

Незаізововані дроти та прилади, а також струмоведучі частини без ізоляції, будуть розміщуватися в спеціальних коробах, які можуть бути закриті суцільним або сітчастим огородженням.

5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання на гальванічному виробництві є дуже важливим аспектом, оскільки ці процеси

пов'язані з роботою з хімічними речовинами, високою температурою і електричними джерелами . Дотримання правил безпеки допоможе запобігти нещасним випадкам, захистить працівників від травм і збереже майно .

Деякі з важливих аспектів, які потрібно врахувати на гальванічному виробництві :

- Працівники матимуть навички для безпечного виконання своїх обов'язків. Це включає розуміння процесів, знання властивостей хімічних речовин, вміння працювати з обладнанням та застосовувати безпечні методи роботи .
- Гальванічні процеси використовують різні хімічні речовини, зокрема , кислоти, луги , солі тощо. Тому працівники будуть забезпечені належними засобами захисту та захищені від контакту з небезпечними речовинами шляхом використання відповідного оснащення , наприклад, автоматизації та дистанційного управління обладнанням і технологічними процесами. Крім того, забезпечуватиметься належний повітрообмін робочого приміщення та регулярно перевірятиметься вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони.
- Гальванічні процеси передбачають використання електричної енергії. Тому передбачено досягти високий рівень електробезпеки , шляхом заземлення обладнання, використання захисних пристроїв , а також регулярної перевірки та обслуговування електричного обладнання .
- Хімічні речовини та високі температури можуть створювати пожежну небезпеку. Проектом розроблено план пожежної безпеки, включаючи наявність вогнегасників, систем

автоматичної пожежної сигналізації та пожежної системи пожежогасіння.

5.2 Пожежна безпека

У виробничому цеху існує ризик виникнення пожежі з численних причин, таких як перевантаження електроустаткування, утворення легкозаймистих газових сумішей, короткого замикання в мережі тощо. Пожежі часто спричинюються коротким замиканням між елементами устаткування, наявністю статичної електрики та механічними пошкодженнями електрообладнання. Крім того, пряме попадання блискавки в будівлю може призвести до виходу з ладу електрообладнання.

Найпоширенішою причиною короткого замикання є пошкодження ізоляційного шару проводів, контакт електропровідного матеріалу з неізольованими дротами та пошкодження електропроводки через взаємодію з агресивними хімічно активними речовинами. Для поліпшення стійкості ізоляції струмопроводів до агресивних речовин рекомендується використовувати гофровані металеві кожухи з нержавіючої сталі або пластикові захисні кожухи. З метою запобігання перевантаженню та короткому замиканню в електричних мережах передбачено встановлювати плавкі запобіжники та автоматичні вимикачі, підключені послідовно до мережі.

Для оперативного реагування та ліквідації осередків пожежі на робочих місцях будуть наявні пожежні щити, вогнегасники (порошкові та вуглекислотні) та ящики з піском. Кожне виробниче та складське приміщення обладнане внутрішніми пожежними кранами. Для запобігання вибухам періодично перевірятимуться газопроводи на наявність протікань.

Забезпечення захисту будівлі від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою блискавковідводів, що складаються з блискавкоприймачів (які притягують блискавку), заземлення та струмопроводників. Застосовується вертикальний стрижневий тип блискавковідводу, з висотою

$H = 100$ м і зоною захисту під землею $H_0 = 0,92 \times 100 = 92$ м. Радіус зони захисту на рівні землі складає $\eta_0 = 1,5 \times 100 = 150$ м.

У виробничій будівлі буде встановлена автоматичну пожежну систему. Для кабелів високої напруги використовуються спеціальні броньовані оболонки. Трубопроводи для подачі та відведення електроліту до процесу анодування періодично очищаються повітрям. Електроприлади та агрегати захищаються від загоряння шляхом регулярного технічного обслуговування та використання негорючих фарб.

Проект передбачає розроблення планів евакуації персоналу на випадок виникнення пожеж.

У таблиці 5.3 наведено список пожежонебезпечних матеріалів та речовин, які можуть бути присутні на виробничій ділянці. [7]

					ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ	Адк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		71

Гальванічний цех				Найменування ділянки	
Дерево, резина	Тканина	Вініласт	H ₂	Речовини використовувані в досліді	
ГВ	ГВ	ГВ	га	Агрегатний стан речовини	
Горюче	Займистий	Важко-займистий	Займистий	Горючість, займистість, вибухонебезпечність	
170	210	·	132	Температура спалаху, °C	Показники пожежо- і вибухонебезпечність
400	260	580	324	Температура займистості, °C	
400	260	580	57,5	Температура само займистості, °C	
·	·	·	47,5	Об'ємних відсотків	Межі займистості і
·	·	·	3,45-82,5	мг/м³	
·	·	·	2С	Категорія	Вибухонебезпечні суміші з повітрям
·	·	·	T1	Група	
Вода, пісок, піна	Вода, пісок, піна	Вогнегасник вуглекислий СУБ-7	Інертний газ	Вогнегасні засоби	
В				Категорія приміщення по ОНТП 24-86	
2				Клас приміщення і зовнішніх установок за ПБЕ	
2Б				Категорія об'єкта і тип зони захисту по влаштуванні блискозахисту згідно СН 305-77	

Розділ 6. Екологічна безпека гальванічного виробництва,

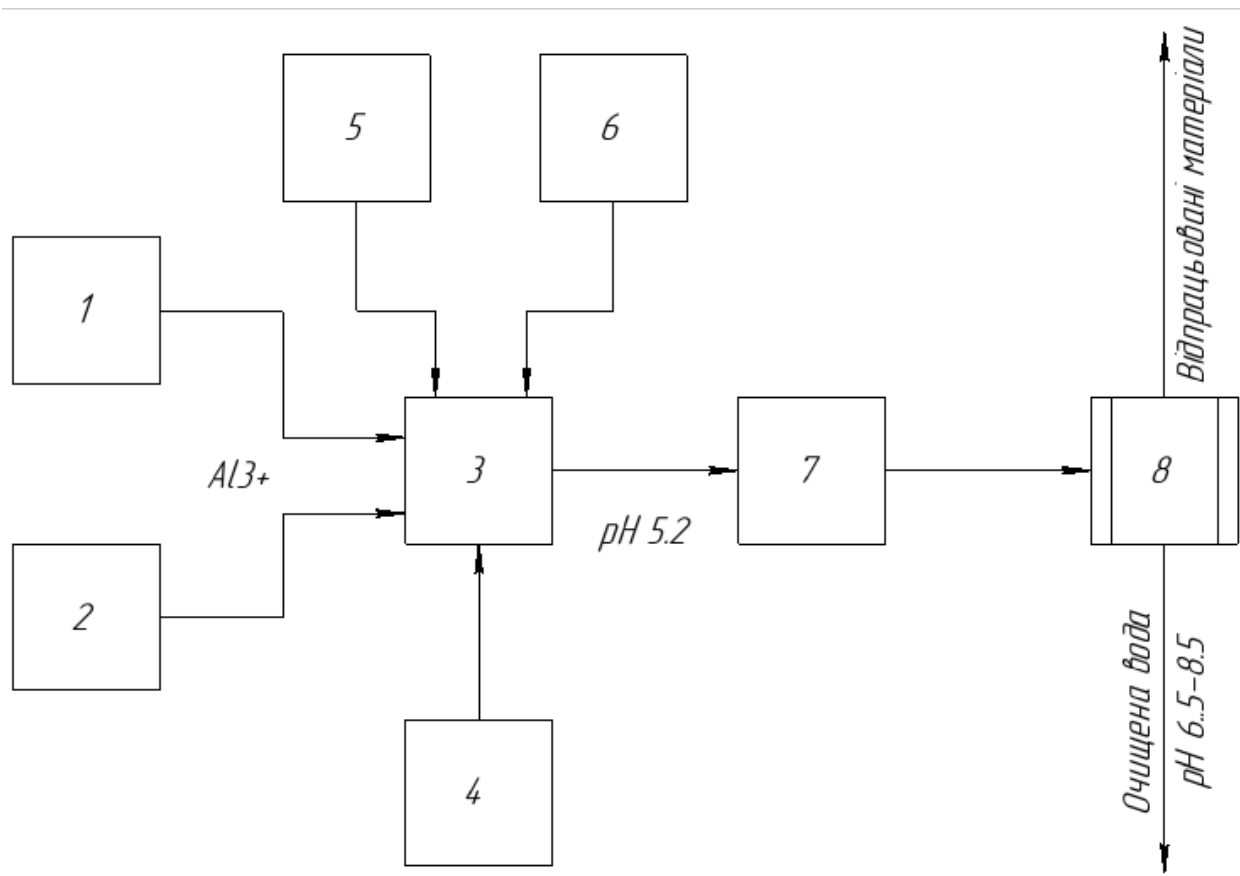
очищення стічних вод

У процесі технологічного виробництва вода зазнає забруднення від різноманітних хімічних сполук, як органічних, так і неорганічних. Якщо концентрація цих сполук перевищує допустимі норми, вони стають токсичними для навколишнього середовища. Один з найнебезпечніших джерел забруднення - гальванічне виробництво, де вода постійно забруднюється під час процесів промивання та розчинення [13-18].

У стокових водах, що утворюються основними забруднювачами є іони алюмінію, органічні кислоти (сульфатні, соляні та фосфатні) гідроксид натрію та мінеральні кислоти. Гранично допустима концентрація сполук алюмінію у водоймах, що використовуються для побутових потреб, становить $0,2 \text{ мг/дм}^3$ [18].

Хоча, вони не мають суттєвого впливу на метаболізм живих організмів. Незважаючи на те, що алюміній має слабку токсичну дію, багато його розчинних сполук можуть залишатись у воді на тривалий період і може негативно впливати на здоров'я людей та теплокровних тварин. Найбільш токсичними є нітрати, ацетати та сульфати цього металу.

На рис. 6.1 представлена загальна схема процесу очищення стічних вод від іонів алюмінію та нейтралізації кислих та лужних стоків.



1 - пристрій для зберігання кислих стоків; 2 - пристрій для зберігання лужних стоків; 3 – реактор - нейтралізатор; 4 - пристрій для дозування H_2O_2 ; 5 – дозатор кислоти; 6 - пристрій для дозування луку; 7 – відстійник; 8 - механічна система для фільтрації.

Рисунок 6.1 – Схема очищення стічних вод гальванічного цеху після оксидування

Група кислих стічних вод формується з промивних вод і відпрацьованого електроліту після процесів нанесення анодного покриття та освітлення. Такі води містять йони алюмінію, міді та магнію. З іншого боку, промивні води, що виникають після операцій знежирення та травлення, утворюють групу лужних стічних вод. Ці води характеризуються високим рН 10-12 і містять фосфати та силікати. Концентрація іонів металів у цих водах складає близько 100 мг/дм^3 для алюмінію (Al^{3+}) і до $1,5 \text{ мг/дм}^3$ для магнію (Mg^{2+}) та міді (Cu^{2+}) [12].

Перед скиданням стічних вод у міську каналізацію, необхідно здійснити попередню часткову нейтралізацію шляхом змішування стічних вод з різних

З	А	№ докум.	Підп	Д

технологічних ліній. Потім рівень рН повинен бути скоригований до допустимих значень, (6,5-8,5).

Рекомендується використовувати метод реагентної очистки стічних вод. Цей метод дозволяє знизити концентрацію домішок до рівня, що відповідає гранично допустимим концентраціям ГДК [18], а також руйнує органічні забруднення. Реагентна очистка ґрунтується на реакціях окислення, відновлення, нейтралізації, коагуляції та осадження. Під час обробки стічних вод, токсичні речовини розкладаються, утворюючи менш токсичні сполуки, які разом з осадом нейтралізуються. Метод реагентного очищення, також відомий як хімічне очищення, використовує хімічні реагенти для видалення забруднень і забарвлень з поверхонь, матеріалів або систем.

Основний принцип реагентного очищення полягає у взаємодії хімічних реагентів зі забрудненнями або забарвленнями, утворюючи нові реакційні продукти, які можуть бути легше видалені або мають меншу вплив на бажану поверхню.

Основні кроки реагентного очищення включають наступне:

- Визначення типу забруднення: Спочатку необхідно визначити тип забруднення або забарвлення, з яким ви працюєте. Це допоможе визначити правильні реагенти для очищення.
- Вибір реагентів: Після визначення типу забруднення потрібно вибрати відповідні хімічні реагенти. Реагенти можуть бути вибрані на основі їх властивостей, які дозволяють їм взаємодіяти зі забрудненнями і забарвленнями.
- Підготовка розчину: Реагенти зазвичай розчиняються у воді або інших розчинниках для створення реагентного розчину. Потрібно дотримуватися інструкцій щодо правильних співвідношень і концентрацій реагентів.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті була розроблена технологія твердого анодування корпусних деталей з алюмінієвого сплаву Д16 в електроліті на основі сульфатної кислоти з продуктивністю 12000 м²/рік .

Складено баланси струму, напруги та енергії, обрано джерело живлення, розраховано витрати хімічних реактивів, матеріалів і води для реалізації виробничої програми.

В розділі автоматизації дипломного проекту була запропонована схема автоматизації з автоматичним контролем рівня електроліту, температури, напруги та струму на ванні.

Була запропонована схема очищення стічних вод з використанням реагентного методу.

Проведено аналіз потенційно небезпечних факторів для працівників і розроблено низку заходів з охорони праці, що охоплюють захист від шуму та вібрації, електричного струму, механічних рухомих механізмів, пожежної безпеки та забезпечення достатнього освітлення в робочій зоні.

Були розраховані основні техніко-економічні показники цеху анодування алюмінію, а також було обрано синхронізований тип високовольтного розподільного пункту для виконання виробничої програми.

					<i>ЛП ХЕ9103.1450.000 ПЗ</i>	Адк.
З	А	№ докум.	Підп	Д		76

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни «Технічна електрохімія» зі спеціальності 7.091603 – технічна електрохімія/Уклад. Яцюк Л. А., Чвірук В. П., Панасенко В. Ф., Мотронюк Т. І., Лінючева О. В., Букет О. І. – К.: НТУУ «КПІ», 2005. – 44 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.<http://info.electrochemistry.kpi.ua/files/Kosogin/Metoda%20TNGP%201.pdf>
4. Технічна енциклопедія TechTrend [Видалення - оксидна плівка - Енциклопедія TechTrend](http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=24626)
<http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=24626>
5. Контроль і керування хіміко -технологічними процесами: У 2 кн. Кн . 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Текст] : навч. посіб. для студ.вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – К .: НТУУ «КПІ», 2012. – 336 с.
- 6 . Економіка, організація та управління хімічними підприємствами [конспект лекцій під ред. доц., к.т. н Підлісної О.А.] Київ, 2019 .
7. Метод, вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах бакалаврів / Уклад.: Н .А. Праховнік, Ю.О. Полукаров, Л.О. Мітюк - К.: НТУУ «КПІ», 2017. - 31 с.

8. ДБНВ 2.5- 28-06 «Природне і штучне освітлення».
9. ДСН 3.3 .6.042 – 99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень .
10. ДСТУ ГОСТ 12. 1.038:2008 - Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів .
11. Метод, вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах бакалаврів / Уклад.: Н .А. Праховнік, Ю.О. Полукаров, Л.О. Мітюк - К.: НТУУ «КПІ», 2017. - 31 с.
12. Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. / М. І. Донченко, С.В. Фроленкова – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.
13. Екологічна безпека гальванотехніки. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка [Електронний ресурс]: підручник для студ. кваліфікації 2146. 2–інженер–технолог (хімічні технології) та 2149.2–інженер–дослідник (хімічні технології) спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів»/МІ Донченко, СВ Фроленкова, ТІ Мотронюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського.–Електронні текстові дані (1 файл: 14, 89 Мбайт).–Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.–202 с
14. [Electrocatalytic nickel-based coatings from an ammonia-sulfosalicylic bath for water splitting reactions - ScienceDirect](#)
15. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0764-i19#Text>.

- 16.<http://info.electrochemistry.kpi.ua/files/Kosogin/Metoda%20TNGP%201.pdf>
17. [Sulfate, electrolytic oxidation - Big Chemical Encyclopedia \(chempedia.info\)](http://chempedia.info)
18. Екологічні нормативи та стандарти якості навколишнього середовища
Електронний ресурс: <https://buklib.net/books/25031/>

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 Специфікація устаткування виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметру	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Код	Кількість, (од)	Завод виробник	Маса одиниці, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1-1	Температура	Електролітична ванна	13...25 °С	Місцевий	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 50П, діапазон вимірювання (-50)...+60 °С, допустимий тиск $P_y = 25$ МПа; клас допуску 2	ТСП-1288	-	1	НВО «Електротермія», м. Луцьк	0,16
1-2	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М	Graph T-IRS 30	-	1	ICS SCHNEIDER MESSTECH NIK GmbH, м. Бергфельде, Німеччина	13
1-3	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Перетворювач нормувальний, $I_{ex} = 0...5$ мА, вихідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М. Основна похибка 0,5%	П282	-	1	НВО «Електротермія», м. Луцьк	3

Продовження таблиці А1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2-1	Рівень	Електролітична ванна	700 ± 50 мм	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; $P_{max} = 0,02-0,1$ МПа; діапазон температур: (-50)...+100°С діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м, клас точності 1	ОВЕН ПДУ	-	1	ТОВ «OrionEnergy» м. Київ	15
2-2	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Прилад вторинний, показувальний, реєструвальний (система СТАРТ), $P_{max} = 0,02-0,1$ МПа, гранично допустима похибка ±0,5; $P_{жив} = 140$ кПа	ВМ-3 DigiTOP	-	1	ТОВ «DigiTOP» м. Київ	7,5
2-3	— " —	— " —	— " —	Місцевий	Регулятор пневматичний, пропорційно-інтегральний, $P_{max} = 0,02-0,1$ МПа	ВМ-3 DigiTOP	-	1	ТОВ «DigiTOP» м. Київ	2

Продовження таблиці А1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2-4	— " —	— " —	— " —	Місцевий	Перетворювач пневмoeлектричний $P_{\text{вх}} = 0,02\text{--}0,1 \text{ МПа}$, $I_{\text{вх}} = 0\text{...}5 \text{ (0...20 мА, 4...20мА)}$; $P_{\text{вх}} = 0,4 \text{ МПа}$	MTM 4000PI	-	1	ООО НПП "МІКРОТЕРМ" м. Сєвєродонецьк	0,4
2-5	— " —	— " —	— " —	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, $I_{\text{вх}} = 0(4)\text{...}20 \text{ мА}$, $P_{\text{вх}} = 20\text{...}100 \text{ кПа}$ Клас точності 1	ЭПП-М	-	1	АТ "Хімавтоматика", м. Сєвєродонецьк	1,2
2-6, 3-5	— " —	— " —	— " —	Трубопроводи 29	Пневмодвигун, поворотний кут $70\text{...}90^\circ$	ППР-1,6	-	2	ООО "Укргазавтоматика" м. Харків	19
3-1	pH розчину	Електролітична ванна	0,5...1	Місцевий	Чутливий елемент pH-метра заглибного виконання з електродами скляними ЭСП-31-06 і регулятором тиску РДС-1	Unifit CPA442	-	1	Ender+Hauser, м. Райнах, Швейцарія	13

Продовження таблиці А1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3-2	— " —	— " —	— " —	Цит керування	Регулятор мікропроцесорний. Реалізує дво-, трипозиційне регулювання. Кількість входів: аналогових - $2(0\text{...}5 \text{ мА, } 0(4)\text{...}20 \text{ мА})$, $0\text{...}10 \text{ В}$), максимальна похибка АПЦ $\pm 0,2\%$; кількість виходів: дискретних або імпульсних - 4, аналогових - 1 ($0\text{...}5 \text{ мА, } 0(4)\text{...}20 \text{ мА}$), максимальна похибка ЦАП $\pm 0,2\%$	МИК-111Н	-	1	ТОВ "Мікрол" м. Івано-Франківськ	0,35
3-3	— " —	— " —	— " —	Цит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; входні сигнали: $0\text{...}50 \text{ мВ, } 0\text{...}100 \text{ мВ, } 0\text{...}5 \text{ В, } 0\text{...}10 \text{ В, } 0\text{...}5 \text{ мА, } 4\text{...}20 \text{ мА}$; клас точності 0,5	Graph T-IRS 30	-	1	ICS SCHNEIDER MESSTECHNIK GmbH, м. Бергфельде, Німеччина	16

Продовження таблиці А1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3-4	— " —	— " —	— " —	Місцевий	Перетворювач високоомний (для $R_n > 200 \text{ Ом}$); клас точності 1; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$; цифрова індикація результатів; інтерфейс RS-232, RS-485	Liquiline CM44	-	1	Ender+Hauser, м. Райнах, Швейцарія	8
4-1	Рівень	Бак з електролітом	400...500 мм	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; $P_{\text{вих}} = 0,02 \dots 0,1 \text{ МПа}$; діапазон температур: $(-50) \dots +100^\circ\text{C}$ діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м, клас точності 11	УБ-П	-	1	ВО «Теплоприбор», м. Рязань	15

Продовження таблиці А1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4-2	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний прилад (з пристроєм сигналізації); вхідні сигнали: $0 \dots 10 \text{ мВ}$, $0 \dots 100 \text{ мВ}$, $0 \dots 5 \text{ мА}$, $4 \dots 20 \text{ мА}$; HCX ТП-В, К, L, S, А-1; HCX ТО - 50П, 100П, 50М, 100М; вихідні сигнали $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20 \text{ мА}$, гранична допустима похибка 0,5%, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100 \text{ кПа}$ в компл.з ЭП 1324, інтерфейс RS-485	Graph T-IRS 30	-	1	ICS SCHNEIDER MESSTECHNIK GmbH, м. Бергфельде, Німеччина	16
5-1	Сила струму та напруга	Електроди електролітичної ванни	214,52 А, 73В	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\text{вх max}} = 300 \text{ А}$ $U_{\text{вх max}} = 115 \text{ В}$	ІРТ3-380 /12- 400	-	1	«Інститут Силовой Електроніки,ТОВ». м. Київ	220
5-2	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Пульт дистанційного керування для агрегату ТЕ1-300/115 Т-0 УХЛ4	RS485	-	1	«Інститут Силовой Електроніки,ТОВ». м. Київ	1,6

Продовження таблиці А1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HL1	-	-	-	Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («ПУСК»), $U_{жиз} = 220В, 50/60 Гц/d$ $= 27 мм$, сила світла 20 мКд	ЛС-47	-	1	ДчП "ЧЕК Україна" м. Вишневе	0,3
HL2	-	-	-	Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна із червоним індикатором («СТОП»), $U_{жиз} = 220В, 50/60 Гц/d$ $= 27 мм$, сила світла 20 мКд	ЛС-47	-	1	ДчП "ЧЕК Україна" м. Вишневе	0,3

ДОДАТОК Б

[illegible]