

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

До захисту допущено:
В.о. завідувача кафедри
_____ Олександр БУКЕТ
«__» ____ 06 _____ 2022__ р

Дипломний проект
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. Розробка технології
декоративного анодування алюмінієвих деталей із наповненням та
фарбуванням»

Виконав :

студент Деркач Роман Сергійович

IV курсу, групи ХЕ-81

Керівник:

доц., к.х.н.

Бик Михайло Володимирович

Консультант з

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

Економічна частина: Підлісна Олена Анатоліївна доц., к.т.н.

Автоматизація: Жураковський Ярослав Юрійович ст. викл.

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

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2022 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

_____ Олександр БУКЕТ

«__» ____ 06 _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Деркача Романа Сергійовича

1. Тема проекту «Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології декоративного анодування алюмінієвих деталей із наповненням та фарбуванням», керівник проекту Бик Михайло Володимирович, доц. , к.х.н., затверджені наказом по університету від «01» червня 2022 р. № 820-с
2. Термін подання студентом проекту 14 червня 2022 року _____
3. Вихідні дані до проекту Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт сульфатний. Продуктивність 9 тис.м²/рік.
4. Зміст пояснювальної записки Складання технологічної карти, розрахунок балансів струму, напруги, енергії, обґрунтування і вибір покриття, розрахунок організаційно-економічних показників, заходи охорони праці, автоматизація процесу анодування, екологічна безпека.
5. Перелік графічного матеріалу 1. Креслення гальванічної ванни, 2. Схема автоматизації, 3. Схема технологічного процесу, 4. Схема очищення стічних вод, 5. Економічна частина.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Полукаров Ю.О. доц. ,к.т.н.		
Економічна частина	Підлісна О.А. доц. ,к.т.н.		
Автоматизація	Жураковський Я.Ю. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 28 квітня 2022 року_____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Характеристика деталей ,що підлягають обробці.	До 20.05.2022	виконано
2.	Вибір виду покриття	До 22.05.2022	виконано
3.	Вибір підготовчих операцій	До 24.05.2022	виконано
4.	Вибір складу електроліту для покриття плат	До 24.05.2022	виконано
5.	Складання карти технологічного процесу	До 25.05.2022	виконано
6.	Складання схеми очищення стічних вод	До 29.05.2022	виконано
7.	Складання схеми автоматизації основного процесу.	До 30.05.2022	виконано
8.	Виконання економічних розрахунків	До 05.06. 2022	виконано
9.	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 06.06.2022	виконано
10.	Оформлення пояснювальної записки	До 07.06.2022	виконано
11.	Оформлення графічної частини проєкту	До 08.06.2022	виконано

Студент

Роман ДЕРКАЧ

Керівник

Михайло БИК

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Пояснювальна записка	81	
3	A1	ДП ХЕ8103.1450. 001 СК	Креслення гальванічної ванни	1	
4	A1	ДП ХЕ8103.1450. 002	Схема технологічного процесу	1	
5	A1	ДП ХЕ8103.1450. 003	Схема автоматизації процесу	1	
6	A1	ДП ХЕ8103.1450. 004	Техніко-економічні показники гальванічного цеху	1	
7	A1	ДП ХЕ8103.1450. 005	Схема очищення стічних вод	1	

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Гальванічні покриття в машинобудуванні.
Розробка технології декоративного анодування
алюмінієвих деталей із наповненням та фарбуванням»**

Київ – 2022 рік

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології декоративного анодування алюмінієвих деталей із наповненням та фарбуванням»

Деркач Р.С. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-81

Дипломний проект, 2022 рік, кількість сторінок - 81, таблиць - 17, рисунків - 8, джерел - 10.

У проекті розроблено технологію декоративного анодування алюмінієвих деталей із наповненням та фарбуванням. Анодування проводиться в сульфатному електроліті за температури 15 - 25°C та при анодній густині струму 1 А/дм².

У проекті наведено конструктивні та технологічні розрахунки, вибране відповідне обладнання, розроблена схема автоматичного регулювання процесу анодування алюмінію. Виконано економічні розрахунки, визначено заробітні плати та техніко-економічні показники. В процесі роботи була використана схема очищення стічних вод методом нейтралізації, проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори й запропоновано заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: анодування алюмінію, сульфатний електроліт, баланс струму, баланс напруг, автоматизація виробництва, очищення стічних вод.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Деркач						Літ	АпкVIII	АпкVIIIв	
Перев.		Бик								6	81
Н. Контр.					«КПІ ім. Ігоря						
Затв.		Букет									

ABSTRACT

«Electroplating in mechanical engineering. Development of technology for decorative anodizing of aluminum parts with filling and painting»

Derkach R.S., Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, CTF, HE–81

Diploma project, 2022. Number of pages – 81, tables - 17, pictures - 8 and literature - 10.

The project develops the technology of decorative anodizing of aluminum parts with filling and painting. Anodizing is performed in the sulfate electrolyte at a temperature of 15 – 25 °C and at an anode current density of 1 A/dm².

The project provides constructive and technological calculations, selected appropriate equipment, developed a scheme of automatic control of the aluminum anodizing process. Economic calculations were performed, wages and technical and economic indicators were determined. In the process of work the scheme of sewage treatment by neutralization method was used, harmful and dangerous factors were analyzed and safety and labor protection measures were proposed.

Key words: aluminum anodizing, sulphate electrolyte, current balance, voltage balance, production automation, wastewater treatment.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						7
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Характеристика оброблювальної деталі.....	11
1.2 Вибір виду і товщини покриття	12
1.3 Вибір підготовчих операцій.....	13
1.4 Вибір складу електроліту для анодування	14
1.5 Вибір і обґрунтування завершальних операцій	17
1.6 Методи контролю якості.....	20
1.7 Видалення недоброякісних покриттів	22
1.8 Карта технологічного процесу анодування	23
1.9 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання.....	23
1.10 Визначення виробничої програми обладнання	24
1.11 Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів	25
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ	29
2.1 Баланс струму.....	29
2.2 Баланс напруги.....	29
2.3 Вибір джерела живлення електричним струмом для електрохімічних ванн.....	32
2.4 Визначення джоулевої теплоти та складання балансу енергії.....	32
2.5 Тепловий розрахунок ванни анодування	34
2.6 Розрахунок витрат матеріалів.....	35
2.6.1 Розрахунок витрат катодів	36
2.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів	36

2.6.3 Розрахунок витрат води.....	39
РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ АНОДНОГО ПОКРИТТЯ.....	51
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ.....	54
4.1 Класифікація виробничих процесів	54
4.2 Оптимізація виду руху предметів праці	54
4.3 Чисельність персоналу та фонд заробітної плати	59
4.4 Вартість річних ОбЗ	61
4.5 Калькуляція на продукцію	62
4.6 Розрахунок техніко-економічних показників	64
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	66
5.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектованому об'єкті. Заходи з охорони праці	66
5.1.1 Повітря робочої зони	66
5.1.2 Виробниче освітлення.....	68
5.1.3 Шум і вібрація у виробничій зоні.....	68
5.1.4 Електробезпека	69
5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання.....	70
5.2 Пожежна безпека	71
РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД	74
ВИСНОВОК.....	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	77
ДОДАТОК А.....	79
ДОДАТОК Б	81

ВСТУП

У наш час деталі з алюмінію досить широко використовуються в різних галузях промисловості. Одною із таких галузей є машинобудування, зокрема автомобілебудування, оскільки деталі із алюмінію набагато легші, ніж наприклад, деталі зі сталі. Таким чином автомобіль, деталі якого виконані із алюмінію буде в 4 рази легший, ніж автомобіль деталі якого виконані зі сталі, що в свою чергу дозволить зменшити витрати палива.

Для надання алюмінієвим деталям корозійної та механічної стійкості використовують анодування алюмінію. В залежності від товщини покриття, умов електролізу та електроліту, в якому здійснюють анодування, властивості та товщина утворюваної оксидної плівки можуть відрізнятися її властивості. Таким чином, регулюючи склад розчину та параметри електролізу можна отримувати пористі покриття, які можна потім забарвлювати; покриття з високою корозійною стійкістю, еластичністю, пластичністю та електричним опором; плівки з високими діелектричними властивостями; товсті, еластичні, малопористі плівки з високими захисними та пластичними властивостями.

Метою даного дипломного проекту є розробка технології декоративного анодування алюмінієвих деталей із наповненням та фарбуванням у сульфатному електроліті з продуктивність 9000 м²/рік.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						10
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика оброблювальної деталі

Дана деталь застосовується в автомобілебудуванні. На неї надягається автомобільна шина, що в сукупності являє собою автомобільне колесо, котре закріплюється на ступиці. Основним призначенням автомобільного диску є забезпечення правильної посадки шини та її ефективна робота під час руху. Також бажано, щоб диск мав відносно малу масу та геометричні параметри, що задаються виробником. Це пов'язано з тим, що колеса, будучи безпружинною масою, впливають на динаміку руху автомобіля та його керуваність.

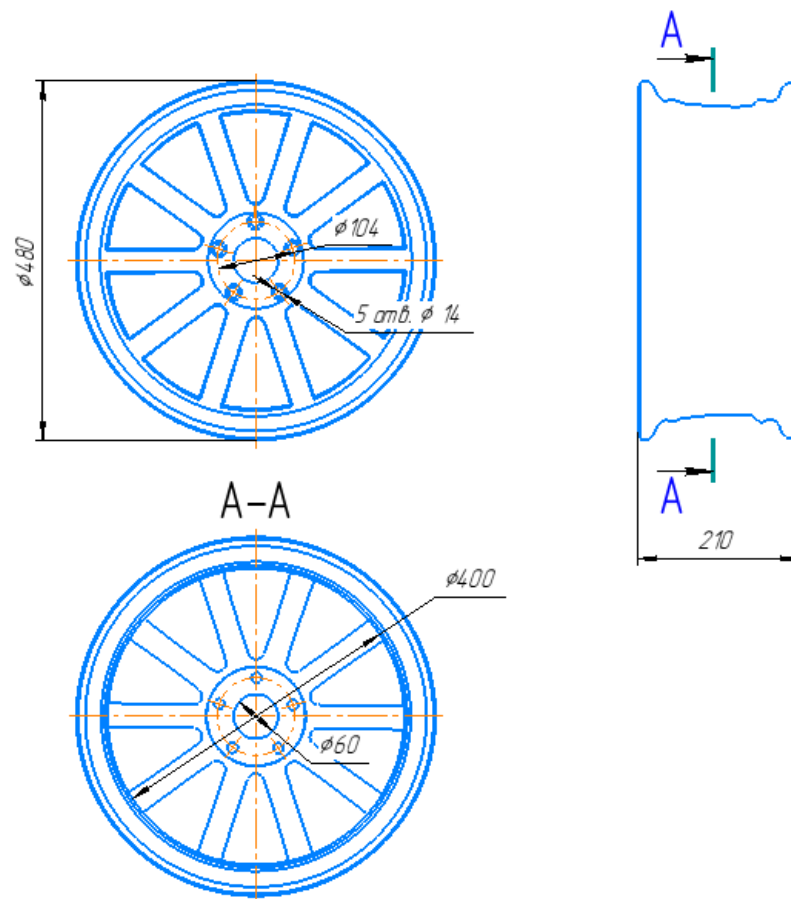


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі

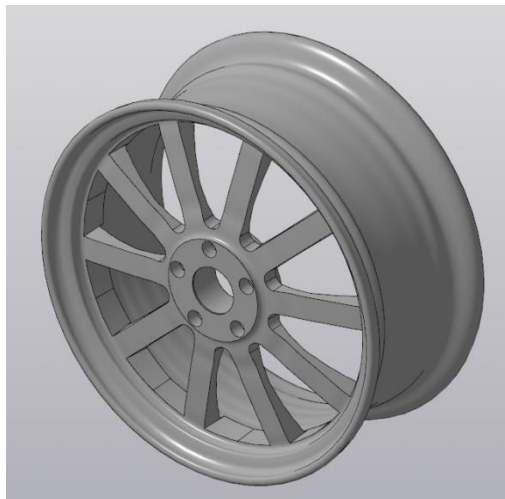


Рисунок 1.2 – Автомобільний диск

Деталь являє собою автомобільний диск із зовнішнім діаметром 48 см, внутрішнім діаметром 40 см, шириною 21 см, діаметром центрального отвору 6 см та п'ятьма отворами діаметром 1,4 см, що розміщені на діаметрі 10,4 см. Даний автомобільний диск виготовлений із ливарного алюмінієвого сплаву AlSi11Mg. Покривна площа складає 83,1 дм². Маса деталі становить 10,74 кг.

Для того, щоб здійснити якісне анодування алюмінію потрібно здійснити ретельне очищення поверхні деталі від забруднень. Оскільки ці забруднення можуть заважати виконання анодування алюмінію. Обробку та очистку поверхні деталі здійснюють хімічно.

1.2 Вибір виду і товщини покриття

Стандартний електродний потенціал алюмінію становить -1,66 В, тобто він є електронегативним металом і тому термодинамічно не стійкий. За звичайних умов за рахунок кисню з повітря на поверхні алюмінію може утворюватися оксидна плівка Al_2O_3 незначної товщини. За рахунок такої плівки підвищується електродний потенціал алюмінію. Вона, в певній мірі, надає металу деяку пасивність. Проте через незначну товщину, високу пористість та низьку механічну міцність вона не може якісно захищати метал від корозії.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						12
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Тому найкращим способом захисту алюмінієвих деталей від корозії є створення на його поверхні штучних оксидних плівок значної товщини. Оскільки в такому випадку покращуються не лише корозійна стійкість, а й експлуатаційні характеристики оброблювальних деталей. Це проявляється в підвищенні твердості, зносостійкості, жаростійкості та теплостійкості. Також оксидний шар в більшості випадків має мікропористу структуру, внаслідок чого має високі адсорбційні властивості. Це дозволить без проблем за рахунок заповнення пор барвниками надати деталі необхідний колір.

Оскільки дана деталь буде використовуватися в неагресивному або слабоагресивному середовищі, то для її захисту буде достатньо товщини покриття в 10 мкм [1].

1.3 Вибір підготовчих операцій

Хімічне знежирення. Для отримання якісного анодного покриття деталі з алюмінію необхідно забезпечити максимальну чистоту її поверхні. На даному етапі потрібно позбутися всіх можливих жирових забруднень, оскільки вони можуть закривати собою ділянки деталі, на яких буде утворюватися неякісне покриття або воно може не утворитися зовсім. Для забезпечення чистоти поверхні варто використати розчин такого складу (в г/дм³):

Na ₃ PO ₄ (ГОСТ 201-76)	– 30...50
Na ₂ CO ₃ (ГОСТ 83-79)	– 30...50
Сульфонол (ГОСТ 12389-66)	– 0,3...0,5

Температура розчину 60 – 70⁰С. Тривалість обробки 12 – 30 секунд. Для повного видалення жирів після хімічного знежирення здійснити промивання проточною гарячою водою тривалістю 15 – 30 секунд. Температура води 70 – 90⁰С. Після чого здійснити промивання проточною водопровідною водою протягом 15 – 30 секунд. Температура води 15 – 25 ⁰С.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						13
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Хімічне травлення. Після очищення поверхні деталі від жирових забруднень для отримання блискучої поверхні без дефектів здійснюють хімічне травлення. Для цього можна використати розчин наступного складу (в г/дм³):

NaOH (ГОСТ 4328-77) – 50...100

Сульфонол (ГОСТ 12389-66) – 0,5

Температура розчину 60 – 80 °С. Тривалість обробки 6 – 60 секунд. Після хімічного травлення здійснити промивання проточною теплою водою тривалістю 15 – 30 секунд. Температура води 40 – 60 °С. Після чого здійснити промивання проточною водопровідною водою протягом 15 – 30 секунд. Температура води 15 – 25°С.

Хімічне освітлення. Перед анодуванням зразки освітлюють, занурюючи на 6 - 30 секунд в розчин наступного складу (в г/дм³):

HNO₃ (ГОСТ 4461-77) – 730

HF (ГОСТ 10484-78) – 80...135

Температура розчину 15 – 25°С. Після хімічного освітлення здійснити промивання проточною водопровідною водою тривалістю 30 – 60 секунд. Температура води 15 – 25°С.

1.4 Вибір складу електроліту для анодування

Залежно від складу електроліту, що використовується для анодування, властивості покриття можуть змінюватися. Тому дуже важливо обрати електроліт, який надасть отримуваному покриттю необхідні властивості.

При анодуванні алюмінієвих деталей використовуються: сульфатний, хроматний, оксалатний та сульфосаліцилатний електроліти.

Сульфатний електроліт. При використанні даного електроліту можна отримати оксидні плівки з високою адсорбційною здатністю та стійкістю до

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						14
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

корозії. Також даний електроліт дозволяє проводити анодування майже всіх алюмінієвих сплавів, в той же час в хроматних електролітах анодування сплавів з високим вмістом міді і кремнію ускладнене. Анодне оксидування в сірчаній кислоті вимагає на 30 - 50% меншої кількості електроенергії в порівнянні з анодним оксидуванням в хроматному й оксалатному електроліті та потребує менш тривалої обробки. Також перевагами даного електроліту є його дешевизна та отримання найбільшої кількості пор серед електролітів для анодування алюмінію, що дозволить здійснити наповнення та фарбування деталі.

Не дивлячись на переваги, цей електроліт має свої недоліки, які проявляються в неможливості обробки деталей, що мають клепані або зварні шви та вузькі щілини, необхідність охолодження електроліту (при отриманні анодного шару товщиною 50 – 100 мкм), обробка деталі в гарячому розчині хромату в разі необхідності підвищення корозійної стійкості. Також неприпустимо при відключенні струму залишати деталі в електроліті, оскільки в сульфатній кислоті оксидна плівка досить швидко розчиняється. При використанні не полімерних ванн, потрібно їх футерувати.

Хроматний електроліт. Хроматні електроліти використовуються для отримання антикорозійних плівок на деталях складної форми. Даний електроліт має такі переваги, як збереження шорсткості поверхні і розмірів деталей, що оброблюються, підвищена корозійна стійкість плівок, їх висока еластичність та пластичність, в кілька разів вищий їх електричний опір в порівнянні з плівками такої ж товщини, отриманими в сульфатному електроліті.

Недоліками цього електроліту є ціна, що в 5 - 8 разів більша, ніж для сульфатного електроліту, необхідність підігрівати електроліт, необхідність тривалої витримки деталей в ванні з застосуванням постійного струму високої напруги.

Оксалатний електроліт. Оксалатний електроліт використовують для отримання електроізоляційних та зносостійких плівок, оксалатна кислота

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						15
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

майже не розчиняє плівку, тому товщина плівки майже лінійно залежить від часу електролізу. Електроліт простий за складом не потребує охолодження, але анодування протікає за підвищеної напруги. Плівки отримані з даного електроліту товсті, еластичні, малопористі, мають кращі захисні та пластичні властивості ніж в сульфатному.

Сульфосаліциловий електроліт. В електролітах на основі сульфосаліцилової кислоти отримують тонкі щільні плівки з високими діелектричними характеристиками. Це пояснюється низькою швидкістю розчинення оксиду алюмінію в даних електролітах.

При анодуванні в сульфосаліциловому електроліті, що містить до 100 г/л кислоти, напруга на ванні піднімається до 70-90 В. Температура анода в перші хвилини швидко підвищується, при подальшому перебігу процесу підвищується незначно. Припускають, що це пояснюється волокнистою будовою оксидних плівок, що утворюються в сульфосаліцилових електролітах і мають поперечні пори, що сприяє кращому теплообміну.

Для отримання більш товстого шару оксиду до електроліту додають невелику кількість сірчаної або щавлевої кислоти, в якій розчинність оксиду алюмінію збільшується. Максимальна концентрація сірчаної кислоти визначається її здатністю розчиняти оксид алюмінію. При вмісті більше 30 г/л H_2SO_4 спостерігається розтравлення плівки і її нерівномірне утворення.

З огляду на вище сказане визначаємо, що найбільш підходящим є сульфатний електроліт, оскільки він дешевий, може використовуватися з різними сплавами алюмінію, утворює велику кількість пор в плівці та не потребує особливих умов для використання. Температура електроліту 15 – 25°C, густина струму 1 А/дм². Катоди нерозчинні із сталі 12Х18Н9Т.

Анодування алюмінію відбувається в електроліті наступного складу (в г/дм³):

H_2SO_4 (ГОСТ 2184-2013) – 180...200

Густина вибраного електроліту становить 1,11 – 1,125 г/см³, питома електропровідність такого розчину відповідно становить 62,2 – 67,2 См/м.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						16
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Приготування й коригування сульфатного електроліту

Розраховану кількість сірчаної кислоти густиною $1,84 \text{ г/см}^3$ вливають в робочу ємність з холодною водопровідною водою і ретельно перемішують.

Гранично допустимий вміст домішок в електроліті анодування (в г/дм^3) алюмінію 30, магнію 5, хлору (в розрахунку на хлорид натрію) 0,1, міді 0,2 (для електролітів, що працюють на змінному струмі).

Основні неполадки процесу анодування алюмінію в сульфатному електроліті і шляхи їх усунення наведені в таблиці 1.1.

В процесі анодування в електроліті накопичується сірчаноокислий алюміній. Наряду з цим в розчин можуть переходити магній, залізо та мідь. Також в розчині можуть накопичуватися хлориди. Якщо вміст алюмінію перевищує гранично допустимий (30 г/дм^3), оксидна плівка стає більш темною. На поверхні з'являються плями і патьоки.

Підвищений вміст заліза та міді також призводить до потемніння плівки і появи темних ліній та плям. Наявність хлоридів в електроліті сприяє місцевому розтравлюванню оксидної плівки і утворенню глибоких виразок в металі, які мають вигляд чорних плям.

При досягненні гранично допустимої концентрації алюмінію в електроліт, нагрітий до $40 - 50^\circ\text{C}$, вводять сірчаноокислий амоній із розрахунку 2...3 г на 1 г розчиненого алюмінію, що призводить до випадіння алюмінію в вигляді важкорозчинних алюмінієво-амонійних галунів.

Мідь із розчину видаляють шляхом електролізу з нерозчинними свинцевими анодами і мідними катодами. Для досягнення високої швидкості виділення міді поверхня катодів має бути якомога більшою. Густина струму на катоді – $0,05...0,20 \text{ А/дм}^2$.

1.5 Вибір і обґрунтування завершальних операцій

Після анодування алюмінію деталь потрібно промити в непроточній воді (температура води $15 - 25^\circ\text{C}$) в ванні уловлювання протягом 2 хвилин для зменшення концентрації сульфатної кислоти у воді. При цьому

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						17
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

скорочується витрата води на промивні операції. Після цього здійснити промивання проточною водопровідною водою протягом 30-60 секунд. Температура води становить 15 – 25°C.

Забарвлювання неорганічними барвниками. Для надання покриттю забарвлення потрібно заповнити пори, що утворилися в процесі анодування алюмінію. Для цього можна використати розчин наступного складу (в г/дм³):

$(\text{NH}_4)_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ – 8...10

$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ – 2

Процес проводити протягом 20-30 хвилин в розчині з температурою 45 – 55°C. Величина рН розчину становить 4,8 - 5,8. Колір забарвленої оксидної плівки – золотисто-жовтий.

Таблиця 1.1 Види неполадок та способи їх усунення [2].

Дефекти покриття або процесу	Причини порушення процесу	Спосіб усунення
Відсутність плівки на окремих ділянках анодованої деталі	Поганий контакт деталі з підвісним пристроєм	Покращити контакт, змінити конструкцію підвіски
Райдужна, тонка плівка	Поганий контакт деталі з підвіскою	Забезпечити міцний і надійний контакт
Пухка, мажуча плівка	Підвищення температури електроліту вище 23°C	Знизити температуру електроліту до рецептурного значення
Непрозора матова анодна плівка	Завищена густина струму і температура електроліту, більша тривалість анодування	Вести процес відповідно до заданого технологічного режиму
Підвищена крихкість плівки	Температура електроліту <15°C	Підвищити температуру розчину до 18°C - 20°C
Темні смуги і плями при анодуванні сплавів, що містять мідь	Накопичення міді в електроліті вище 0,2-0,4 г/дм ³	Додати в електроліт хромовий ангідрид 2-3 г/дм ³ або азотну кислоту 6-8 г/дм ³ для запобігання утворення плям розтравлювання
Розтравлювання анодованої поверхні	Завищена концентрація сірчаної кислоти в електроліті Підвищена температура розчину. Велика тривалість процесу	Відредагувати розчин і проводити процес відповідно заданому технологічному режиму
Поява на анодованих деталях місцевого розтравлювання	Погана промивка після анодування, відсутність нейтралізації	Покращити і пришвидшити промивку після анодування, проводити нейтралізацію
Сірий порошкоподібний наліт на анодованій деталі	Погана очистка деталі перед анодуванням	Покращити очистку деталей перед анодуванням
Пухка плівка, що сповзає з деталі після забарвлення	Накопичення в електроліті алюмінію >30 г/дм ³	Видалити алюміній або замінити електроліт

Після забарвлення оксидної плівки потрібно здійснити промивання проточною водопровідною водою з температурою 15 - 25°C. Промивання проводити 30 – 60 секунд.

Ущільнення. Для здійснення даної операції потрібно проводити в ванні з гарячою дистильованою водою (90 - 100°C та pH 5,5 – 6,5) протягом 30 – 40 хвилин.

Сушіння. Сушіння здійснювати в сушильній камері в яку подається тепле повітря (50 - 70°C) до повного видалення вологи з поверхні покриття. Сушка здійснюється протягом 15-20 хвилин.

1.6 Методи контролю якості

Контроль зовнішнього вигляду

Даний вид контролю якості потрібно здійснювати в приміщенні з хорошим освітленням (300 лк) для всіх деталей. Деталь варто тримати на відстані близько 25 см від очей. Для контролю потрібно взяти еталонний зразок, який має приблизно таку ж складність форми і виготовлений з такого ж матеріалу, і порівняти з отриманим результатом. Також в результаті візуального контролю можна визначити видимі дефекти. Якщо отриманий результат не задовольняє вимоги, то потрібно внести зміни до технологічного процесу, які зменшать або зовсім приберуть вплив негативних факторів, які стали причиною виникнення виявлених недоліків. Якісним є покриття, яке не має вздуттів, відшарувань, непокритих ділянок та має рівномірний колір.

Контроль твердості оксидної плівки

Анодне покриття, яке утворюється на поверхні деталі має значно більшу твердість, ніж метал основи. В переважній більшості для вимірювання твердості користуються мікротвердонометром типу ПМТ-3. Суть цього контролю полягає у втисканні чотирьохгранного кристалу пірамідоподібної форми з квадратною основою з алмазу та кутом при вершині 136°. Навантаження становить 0,02 – 4 Н. Ціль визначення мікротвердості полягає в тому, що вимірюється діагональ вм'ятини окулярним мікрометром мікроскопу, що міститься в установці. Вимірювання довжини здійснюють при збільшенні в 500 разів. Формула за якою розраховують мікротвердість розраховують за наступною формулою:

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						20
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$H = 1,854 \cdot P/d,$$

де Р – навантаження кристалу, Н; d – середнє арифметичне довжин діагоналей вм'ятини втискування, мм.

Контроль товщини та рівномірності анодної плівки

Оскільки утворення покриття на деталі складної конфігурації може відбуватися нерівномірно через низьку розсіювальну здатність електроліту, необхідно здійснювати контроль його рівномірності та товщини. Для цього використовуються руйнівні та неруйнівні методи.

Одним із прикладів неруйнівного методу є використання товщиноміру POSITRCTOR 6000 з використанням режиму контролю товщини плівки за допомогою вихрових струмів. За допомогою даного методу контролю можна виконувати виміри на готових деталях в різних місцях для можливості контролю рівномірності покриття.

Основою цього методу є реєстрація взаємодії електромагнітного поля датчика та електромагнітного поля вихрових струмів, що наводяться за допомогою датчика в деталі та залежать від електрофізичних та геометричних параметрів металу основи та покриття.

Вимірювання здійснюють в 6 контрольних точках, товщина покриття по всій поверхні виробу має бути близько 10 мкм.

Контроль пористості та дефектності оксидної плівки

Контроль пористості та дефектності покриття можна використати такі групи способів: хімічні, електрохімічні, електронно-мікроскопічні, оптичні та електронні.

В даному випадку було обрано хімічний метод паст. В цьому методі використовується реакція металу з якого виконано виріб з речовиною пасту або замазки. Паста готується наступним способом: у воді розчиняють алюмініон до концентрації 20 г/л, у співвідношенні 3:1 додають пропіловий спирт. Додають до розчину TiO_2 до утворення густої кашоподібної суміші

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						21
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

(густина близько 3 кг/л). Додають 20 - 25% розчин перекису водню до розчину, приблизно половину від об'єму розчину. Після ретельно перемішують пасту. Її можна використовувати протягом 2 – 3 годин. Для нанесення варто використати волосяний пензель, пульверизатор або занурення з розрахунку 50 – 120 г/м². В наскрізних порах колір покриття буде рожево-лілового кольору.

Тривалість витримки пасти після нанесення становить 5 хвилин, потім здійснити підрахунок кількості пор неозброєним оком. Якщо кількість пор не перевищує 3 пори на 1 см² (ГОСТ 9.301 – 86), покриття задовольняє умови контролю. Допустима дефектність становить до 2% від партії.

1.7 Видалення недоброякісних покриттів

Для зняття анодної плівки використовують розчини лугів, але при цьому може також розчинятися алюміній, що призводить до пошкодження деталей. Також для розчинення оксидної плівки можна використати розчини ортофосфорної та хромової кислоти, оскільки вони не взаємодіють з матеріалом деталі.

Один із розчинів, що можна використати для цього має наступний склад: 35 мл Н₃РО₄, 20 г Н₂СгО₄, 1 л дистильованої води. Температура близько 100°С, тривалість 2 – 10 хвилин.

Якщо поверхня деталі після зняття покриття відповідає нормам, а розміри деталі зменшились на величину рівну або більше половини товщини недоброякісного покриття, то покриття повторно можна наносити відразу після зняття недоброякісного.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						22
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

1.8 Карта технологічного процесу анодування

Таблиця 1.2 - Карта технологічного процесу анодування алюмінію

Номер операції	Операції	Матеріали		Режими		
		Найменування	Кількість, г/л	Температура, °C	Густина струму А/дм ²	Час обробки, хв
1	2	3	4	5	6	7
010	Монтаж деталей на підвіску	-	-	-	-	-
020	Хімічне знежирення	Na ₃ PO ₄ Na ₂ CO ₃ Сульфонол	30 – 50 30 – 50 0,3 – 0,5	65 ± 5	-	0,2 – 0,5
030	Промивання проточною гарячою водою	-	-	80 ± 10	-	0,25 – 0,50
040	Промивання проточною водопровідною водою	-	-	20 ± 5	-	0,25 – 0,50
050	Травлення хімічне	NaOH Сульфонол	50 – 100 0,5	70 ± 10	-	0,1 – 1,0
060	Промивання проточною теплою водою	-	-	50 ± 10	-	0,25 – 0,50
070	Промивання проточною водопровідною водою	-	-	20 ± 5	-	0,25 – 0,50
080	Хімічне освітлення	HNO ₃ HF	730 80 - 135	20 ± 5	-	0,1 – 0,5
090	Промивання проточною водопровідною водою	-	-	20 ± 5	-	0,5 – 1,0
100	Анодування	H ₂ SO ₄	180 - 200	20 ± 5	1,0 – 1,5	50 - 40
110	Промивання у ванні уловлювання	-	-	20 ± 5	-	2
120	Промивання проточною водопровідною водою	-	-	20 ± 5	-	0,5 – 1,0
130	Забарвлювання неорганічними барвниками	(NH ₄) ₃ [Fe(C ₂ O ₄) ₃] (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	8 – 10 2	50 ± 5	-	20 - 30
140	Промивання проточною водопровідною водою	-	-	20 ± 5	-	0,5 – 1,0
150	Ущільнення	-	-	95 ± 5	-	30 - 40
160	Сушка	-	-	60 ± 10	-	15 – 20
170	Демонтаж деталей з підвіски	-	-	-	-	-
180	Контроль якості покриття	-	-	-	-	-

1.9 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при переривчастому виробництві приймають рівним кількості календарних днів у році T_k (365) за вирахуванням вихідних T_v (103) та святкових T_c (13) днів. Для п'ятиденного 40-годинного робочого тижня при двозмінній роботі (дані для розрахунку взяті за 2022 рік):

$$T_n = ((365 - 13 - 103) \cdot \frac{40}{5} - 8) \cdot 2 = 3968 \text{ год}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d розраховується виходячи із T_n з урахуванням річних витрат часу на неминучі простої обладнання, для гальванічного виробництва при роботі автоматизованого обладнання у дві зміни це 8% ($K_{пр}$) [3] :

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 3968 - 0,08 \cdot 3968 = 3650,56 \text{ год}$$

1.10 Визначення виробничої програми обладнання

Для визначення річної виробничої програми P_p необхідно врахувати величину виправного браку продукції, що складає 2%. Для цього річне виробниче завдання P_z збільшують на величину виправного браку

$$P_p = P_z + K_{бр} P_z = 9000 \text{ м}^2 + 0,02 \cdot 9000 \text{ м}^2 = 9180 \text{ м}^2$$

Добова виробнича програма складає

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{9180}{249} = 36,87 \text{ м}^2 / \text{день}$$

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

Годинна виробнича програма $P_{год}$ визначається як

$$P_{год} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{9180}{3650,56} = 2,51 \text{ м}^2 / \text{год}$$

1.11 Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів

Тривалість обробки однієї завантажувальної підвіски:

$$\tau = \tau_m + \tau_{об} = 40 + 5 = 45 \text{ хв}$$

де τ_m - технологічний час (час обробки деталей у ванні). Час обслуговування $\tau_{об}$, що необхідний для завантаження та вивантаження деталей у ванну, приймаємо 5 хвилин.

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

$$n = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = \frac{3650,56 \cdot 60}{45 \cdot 1,05} = 4635,63$$

Коефіцієнт $K_{об}$ враховує час необхідний на початковий запуск обладнання допоміжні операції та кінцеве вивантаження деталей з ванни для роботи в дві зміни складає 1,05.

Тоді разове завантаження усіх ванн:

$$Y_c = \frac{P_p}{n} = \frac{9180}{4635,63} = 1,98 \text{ м}^2$$

Разове завантаження (кількість деталей):

$$m = \frac{Y_c}{S_d} = \frac{1,98}{0,831} = 2,38 \approx 3 \text{ деталі}$$

де S_d – площа поверхні однієї деталі.

При завантаженні 3 деталей разове завантаження усіх ванн становить:

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						25
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$S_{O3} = m \cdot S_d = 3 \cdot 0,831 = 2,493 \text{ м}^2$$

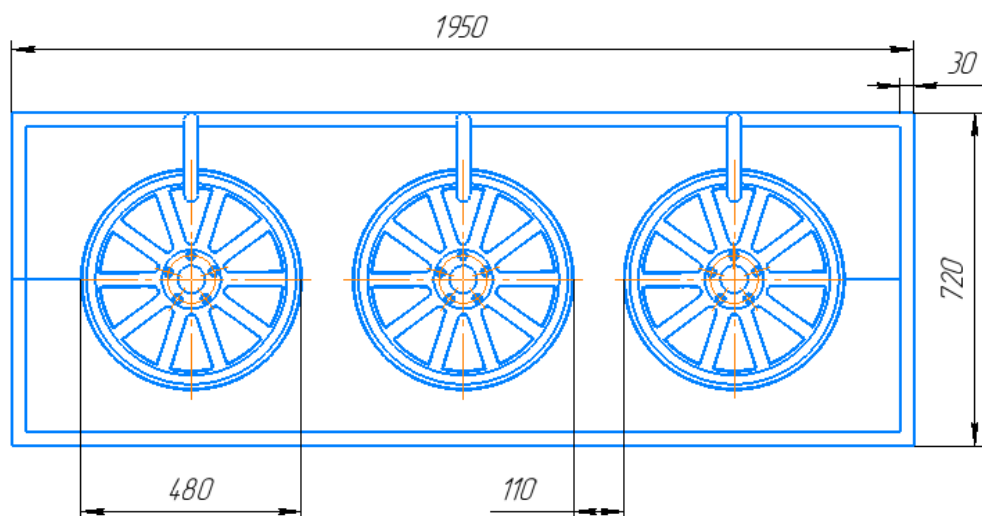


Рисунок 1.3 – Ескіз підвіски з деталями

Тоді необхідна кількість ванн становить:

$$n_B = \frac{Y_c}{S_{O3}} = \frac{1,98}{2,493} = 0,79 \approx 1$$

коли n_B – дробове число, то його заокруглюють у більший бік [4].

Розрахуємо річну продуктивність знаючи кількість ванн:

$$P'_p = S_{O3} \cdot n_B \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = 2,493 \cdot 1 \cdot \frac{3650,56 \cdot 60}{45 \cdot 1,05} = 11556,36 \text{ м}^2$$

та коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P'_p} = \frac{9180}{11556,36} = 0,794$$

При розрахунку обладнання рекомендується, щоб величина $K_{зав}$ знаходилася в межах 0,75...0,85.

Внутрішня довжина ванни l , м:

$$l = l_n + 2l_1 = 1,95 + 2 \cdot 0,125 = 2,2 \text{ м}$$

де l_n – довжина підвіски; l_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни приймають у межах 0,1...0,15 м [4].

Внутрішня ширина ванни B , м:

$$\begin{aligned} B &= B_n + 2l_{a-k} + 2B_k + 2B_1 = \\ &= 0,25 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,005 + 2 \cdot 0,07 = 0,7 \text{ м} \end{aligned}$$

де B_n – товщина підвіски з деталями; l_{a-k} – відстань між катодом і ближнім краєм підвіски; B_k – товщина катодів; B_1 – відстань між катодом і боковою стінкою ванни, її приймають 0,05...0,10 м [4].

Внутрішня висота ванни h , м:

$$h = h_n + h_1 + h_2 + h_3 = 0,72 + 0,20 + 0,14 + 0,14 = 1,2 \text{ м}$$

де h_n – висота підвіски; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту; h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни [4].

Для такої складнопрофільної деталі бажано використовувати криволінійні катоди для забезпечення оптимального значення густини струму та рівномірного анодування.

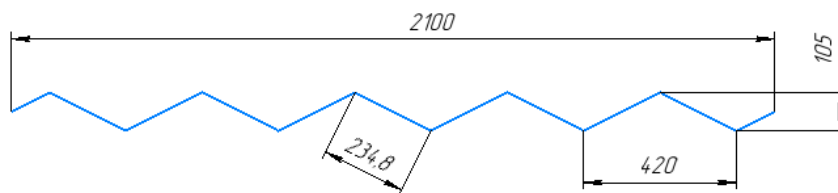


Рисунок 1.4 Катод вид згори

Отже, внутрішні розміри ванни відповідають наступним значенням (мм): 2200×700×1200. Товщина стінки 40 мм, матеріал поліпропілен, маса ванни 340 кг. Робочий об'єм становить 1,4784 м³.

Розміри катодів: довжина $l_k = 2,1$ м, висота $h_k = 1,1$ м, товщина $\delta_k = 0,005$ м. Робочі розміри катодів: довжина $l_{кр} = 0,2348 \cdot 10 = 2,348$ м, висота $h_{кр} = 0,96$ м, $\delta_k = 0,005$ м.

Сумарна робоча поверхня катодів:

$$S = l_k \cdot h_k \cdot 2 = 2,348 \cdot 0,96 \cdot 2 = 4,51 \text{ м}^2$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						28
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Баланс струму

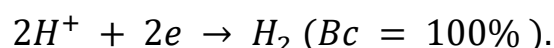
Для однопозиційних ванн сила струму I, A необхідна для процесу це добуток анодної технологічної густини струму $i_a, A/m^2$ та сумарної площі деталей одного завантаження S_{03}, m^2 :

$$I = K \cdot i_a \cdot S_{03} = 1,09 \cdot 100 \cdot 2,493 = 271,74 A$$

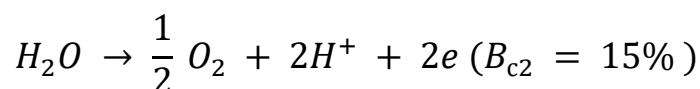
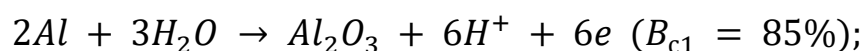
де коефіцієнт K враховує втрати електрики на нанесення покриття на контакти підвіски; вибирають його в межах $K=1,03...1,15$.

Вихід за струмом анодування складає 85%,

на катоді:



на аноді:



Таблиця 2.1 – Баланс електрики ванни анодування за годину роботи

Надходження	Q, А·год	%	Витрати	Q, А·год	%
На катоді: Від зовнішнього джерела струму	271,74	100	Виділення водню	271,74	100
Разом	271,74	100	Разом	271,74	100
На аноді: Від зовнішнього джерела струму	271,74	100	Утворення кисню	40,76	15
			Утворення оксидної плівки	230,98	85
Разом	271,74	100	Разом	271,74	100

2.2 Баланс напруги

За умовами режиму напруга на ванні складає 12-28 В. Для подальших розрахунків обираємо середнє значення $U = 20 V$.

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

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

Омічні втрати в електроліті можна розрахувати за формулою

$$\Delta U_{ом} = \frac{K \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho}{\chi}$$

де i_{cp} – середня густина струму в міжелектродному просторі, A/m^2 , розраховується за формулою $i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a}$; l_{a-k} – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями, χ – питома електропровідність електроліту, $64,7 \text{ См/м}$ [5].

$$i_k = \frac{S_a \cdot i_a}{S_k} = \frac{2,493 \cdot 100}{4,51} = 55,28 \text{ A/m}^2$$

Де S_a – площа анодів, $2,493 \text{ м}^2$; S_k – площа катодів, $2,6 \text{ м}^2$; i_a – анодна густина струму, 100 A/m^2 .

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{100 \cdot 55,28} = 74,35 \text{ A/m}^2$$

$$\Delta U_{ом} = \frac{K \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k}}{\chi} = \frac{1,13 \cdot 74,35 \cdot 0,15}{64,7} \approx 0,195 \text{ В}$$

Потенціали катодів та анодів при процесі анодування складають відповідно $E_k = -0,9 \text{ В}$, $E_a = 13,5 \text{ В}$ [6]. Оскільки сума падіння напруги в контактах та провідниках складає:

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						30
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

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

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

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

Після перетворень отримуємо

$$\Delta U_{пл} = \frac{U - 1,1(E_a - E_k + U_{ом})}{1,1} = \frac{20 - 1,1(13,5 + 0,9 + 0,195)}{1,1} = 3,59 \text{ В.}$$

Тоді втрати на контактах та провідниках складають:

$$\Delta U_1 + \Delta U_k = 0,1(13,5 + 0,9 + 0,195 + 3,59) = 1,818 \text{ В.}$$

Таблиця 2.2 Баланс напруги на ванні анодування

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ванні	20	100	Різниця електродних потенціалів під струмом $E_a - E_k$	14,4	72
			Падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$	0,195	0,98
			Падіння напруги в анодній плівці $\Delta U_{пл}$	3,59	17,9
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + U_k$	1,818	9,12
Разом	20	100	Разом	20	100

Мінімально необхідна напруга джерела струму $U_{дс}$ 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% $U_{дс}$. Звідси визначаємо, що мінімальна напруга джерела струму складає:

$$U_{дс} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 20 = 22 \text{ В}$$

Витрати електроенергії на одній ванні складають

$$W_e = I \cdot U = 271,74 \cdot 20 = 5434,8 \text{ Вт/год.}$$

2.3 Вибір джерела живлення електричним струмом для електрохімічних ванн

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

Коефіцієнт завантаження джерела струму визначають за наступною формулою:

$$K = \frac{N_{\text{дс}}}{N_{\text{пасп}}},$$

де $N_{\text{дс}}$ – потужність, що необхідна для виготовлення обраного покриття, $N_{\text{дс}} = U \cdot I \cdot 10^{-3}$, кВт; $N_{\text{пасп}}$ – номінальна потужність вибраного агрегату.

В електрохімічній промисловості широко використовують випрямні агрегати серії ТЕ і ТВ. Обраний випрямний агрегат - ТЕ1-400/24Т, має номінальний струм 400 А, та номінальну напругу 24 В.

$$K = \frac{20 \cdot 271,74 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = 0,566.$$

2.4 Визначення джоулевої теплоти та складання балансу енергії

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

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

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						32
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Енергію, затрачену на перебіг процесу в одній ванні, можна визначити за наступною формулою:

$$W_{\text{заг}} = U \cdot I \cdot \tau \cdot 3600 \cdot 10^{-3},$$

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

За 40 хвилин роботи ванни під струмом (одна загрузка) витрачається наступна кількість електричної енергії ($W_{\text{заг}}$):

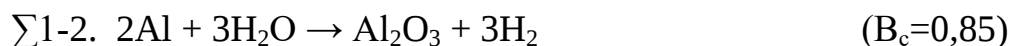
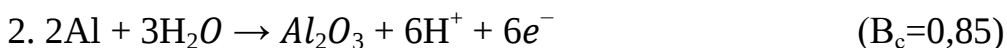
$$W_{\text{заг}} = 20 \cdot 271,74 \cdot 2/3 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 13043,52 \text{ кДж}$$

Для процесу анодування

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

$$W_{\text{хім}} = -I \cdot 3,6 \cdot \tau \frac{10^{-2} \cdot \sum \nu_i \cdot \Delta H_i^0 \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F}$$

Катодна (1), анодна (2) та сумарна (1-2) реакції утворення оксидної плівки мають вигляд:



Зміна ентальпії для сумарної реакції:

$$\Delta H_{1-2} = \Delta H_{\text{Al}_2\text{O}_3}^0 + 3\Delta H_{\text{H}_2}^0 - (2\Delta H_{\text{Al}}^0 + 3\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^0)$$

$$\Delta H_{1-2} = (-1675,7) + 3 \cdot 0 - (3 \cdot (-285,8) + 2 \cdot 0) = -818,3 \text{ (кДж/моль)}$$

На катоді перебігають реакції виділення водню (3) та кисню (4).



					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						33
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

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

$$W_{дж} = 3,6 \cdot I \cdot \tau \left(U + \frac{\Delta H_{1-2}^0 \cdot B_c^1}{z_1 \cdot F} + \frac{\Delta H_{3-4}^0 \cdot B_c^2}{z_2 \cdot F} \right) =$$

$$= 3,6 \cdot 271,74 \cdot \frac{2}{3} \left(20 - \frac{818,3 \cdot 0,85}{6 \cdot 96,5} + \frac{571,6 \cdot 0,15}{4 \cdot 96,5} \right) = 12404,92 \text{ кДж}$$

$$W_{хим} = W_{заг} - W_{дж} = 13043,52 - 12404,92 = 638,6 \text{ кДж}$$

Розраховані значення витрат теплот наведено у таблиці 2.3:

Таблиця 2.3 Баланс енергії на ванні анодування

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	13043,52	100	Хімічна енергія	638,6	4,9
			Джоулева теплота	12404,92	95,1
Разом	13043,52	100	Разом	13043,52	100

2.5 Тепловий розрахунок ванни анодування

Процес анодування алюмінію та його сплавів невідривно зв'язаний з виділенням великої кількості теплоти. Це спричиняє суттєвий розігрів деталей і електроліту та може вивести температури за межі режимних, що, в свою чергу, призведе до погіршення якості покриття або недопустимих змін в його властивостях. Розрахунок проводиться для визначення температури до якої розігрівається електроліт за годину роботи.

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

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

де $C_1 = 4050 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність електроліту ; $d_1 = 1100 \text{ кг/м}^3$ – густина електроліту ; V_1 – робочий об’єм електроліту, м^3 ; $C_2 = 1040 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність матеріалу корпусу ванни ; $m_2 = 340 \text{ кг}$ – маса ванни; $C_3 = 469 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність матеріалу катодів; m_3 – маса катодів, кг.

$$V_1 = K_{\text{зап}} \cdot V_{\text{ванни}} = 0,8 \cdot (2,2 \cdot 0,7 \cdot 1,2) = 1,478 \text{ м}^3$$

де $K_{\text{зап}}$ – 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, м^3 ; d_3 – густина матеріалу катодів, 7900 кг/м^3 (сталь 12Х18Н9Т) .

$$t_k = 20 + \frac{12404920}{1,478 \cdot 4050 \cdot 1100 + 1040 \cdot 340 + 469 \cdot 182,5} = 21,77 \text{ }^\circ\text{C}$$

Виходячи з розрахунків за одну загрузку електроліт розігріється на $1,77^\circ\text{C}$, що не перевищує допустиму температуру ($15\text{-}25^\circ\text{C}$). Отже, охолодження можна не здійснювати.

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.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						35
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

2.6.1 Розрахунок витрат катодів

Розрахунок витрат катодів на початковий запуск обладнання

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

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

Де $n_{\text{в}}$ – 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:

$$G_{\text{кр}} = S \cdot A_p \cdot \delta_{\text{п}} = 9180 \cdot 0,5 \cdot 10 = 45,9 \text{ кг}$$

де $S = 9180$ – загальна площа нанесеного покриття при виконанні річної програми, м^2 ; $A_p = 0,5$ – норма витрат нерозчинних катодів для покриття товщиною один мікрометр, $\text{г}/\text{м}^2$; $\delta_{\text{п}}$ – товщина покриття, 10 мкм.

2.6.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів

Витрати реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати компонентів електроліту G_i (кг) розраховуються за формулою:

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

де C_i – концентрація компоненту, $\text{кг}/\text{м}^3$; $V_{\text{в}}$ – об'єм ванни, м^3 ; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни, $K_{\text{зап}} = 0,8$; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн даного типу.

Витрати хімічних реактивів на електроліт анодування

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 190 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 234,1 \text{ кг.}$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						36
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Витрати хімічних реактивів на розчин знежирення

$$G_{Na_3PO_4} = 40 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 59,14 \text{ кг.}$$

$$G_{Na_2CO_3} = 40 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 59,14 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{сульфонол}} = 0,4 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,59 \text{ кг.}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин освітлення

$$G_{HNO_3} = 730 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 1079,23 \text{ кг}$$

$$G_{HF} = 105 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 155,23 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин травлення

$$G_{NaOH} = 75 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 110,88 \text{ кг}$$

$$G_{\text{сульфонол}} = 0,5 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,74 \text{ кг.}$$

Витрати хімічних реактивів на забарвлювання неорганічними розчинниками:

$$G_{(NH_4)_3[Fe(C_2O_4)_3]} = 9 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 13,31 \text{ кг}$$

$$G_{(NH_4)_2C_2O_4} = 2 \cdot 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 = 2,96 \text{ кг}$$

Витрати компонентів на виконання річної виробничої програми

Розрахунок витрат компонентів здійснюється 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:

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						37
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 9180 \cdot 0,0003 = 3,167 \text{ м}^3$$

де S – загальна площа виготовленого покриття, м²; коефіцієнт 1,15 – враховує площу занурюваної частини підвісок; A_e – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями, м³/м².

Витрати хімічних реактивів на електроліт анодування

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 190 \cdot 3,167 = 601,73 \text{ кг.}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин знежирення

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = 40 \cdot 3,167 = 126,68 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 40 \cdot 3,167 = 126,68 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{сульфонол}} = 0,4 \cdot 3,167 = 1,27 \text{ кг.}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин освітлення

$$G_{\text{HNO}_3} = 730 \cdot 3,167 = 2311,91 \text{ кг}$$

$$G_{\text{HF}} = 105 \cdot 3,167 = 332,54 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на розчин травлення

$$G_{\text{NaOH}} = 75 \cdot 3,167 = 237,53 \text{ кг}$$

$$G_{\text{сульфонол}} = 0,5 \cdot 3,167 = 1,58 \text{ кг.}$$

Витрати хімічних реактивів на забарвлювання неорганічними розчинниками:

$$G_{(\text{NH}_4)_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]} = 9 \cdot 3,167 = 28,5 \text{ кг}$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						38
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

$$G_{(NH_4)_2C_2O_4} = 2 \cdot 3,167 = 6,33 \text{ кг}$$

2.6.3 Розрахунок витрат води

Дуже важливим є вірний розрахунок витрат води для планування та запобігання надмірних втрат та збільшення екологічності виробництва.

Під час виробництва вода витрачається на наступні операції: приготування електролітів та технологічних розчинів, розкладання внаслідок електролізу, випаровування з поверхні електроліту.

Витрати води на приготування електроліту

Витрати води G'_{H_2O} (кг) розраховуються наступним чином:

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

де C_{H_2O} – вміст води в одному м^3 електроліту, $\text{кг}/\text{м}^3$; $V_{\text{заг}}$ – сумарні витрати електроліту на виконання річної виробничої програми, м^3 .

Вміст води C_{H_2O} визначають за формулою:

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

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

$$C_{H_2O} = 1100 - 190 = 910 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Загальні витрати електроліту:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} + V_{\text{вт}},$$

де $V_{\text{в}}$ – повний об’єм ванни, $1,848 \text{ м}^3$; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн, 1 шт; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{\text{зап}} = 0,8$); $V_{\text{вт}}$ – об’єм електроліту, винесеного деталями, $3,167 \text{ м}^3$.

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} + V_{\text{вт}} = 1,848 \cdot 0,8 \cdot 1 + 3,167 = 4,6454 \text{ м}^3$$

Отже річні витрати води на приготування робочого електроліту

$$G'_{\text{H}_2\text{O}} = 910 \cdot 4,6454 = 4004 \text{ кг} = 4,227 \text{ м}^3$$

Витрати води на приготування розчину знежирення

$$\begin{aligned} C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{знж}} &= d_{\text{знж}} - (C_{\text{Na}_3\text{PO}_4} + C_{\text{Na}_2\text{CO}_3} + C_{\text{Сульфонол}}) \\ &= 1025 - (40 + 40 + 0,4) = 944,6 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Загальні річні витрати розчину знежирення розраховують за формулою:

$$V_{\text{заг}}^{\text{знж}} = 1,848 \cdot 0,8 + 3,167 = 4,6454 \text{ м}^3$$

Таким чином витрати води на приготування розчину:

$$G'_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{знж}} = 944,6 \cdot 4,6454 = 4156,24 \text{ кг} = 4,388 \text{ м}^3$$

Витрати води на приготування розчину травлення

$$\begin{aligned} C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{тр}} &= d_{\text{тр}} - (C_{\text{NaOH}} + C_{\text{Сульфонол}}) = 1135 - (75 + 0,5) \\ &= 1059,5 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Сумарні витрати розчину травлення:

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						40
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{заг}}^{\text{тр}} = 1,848 \cdot 0,8 + 3,167 = 4,6454 \text{ м}^3$$

Річні витрати води на приготування розчину:

$$G'_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{тр}} = 1059,5 \cdot 4,6454 = 4921,8 \text{ кг} = 4,92 \text{ м}^3$$

Витрати води на приготування розчину освітлення

$$C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{осв}} = d_{\text{осв}} - (C_{\text{HNO}_3} + C_{\text{HF}}) = 1339 - (730 + 105) = 504 \text{ кг/м}^3$$

Сумарні витрати розчину травлення:

$$V_{\text{заг}}^{\text{тр}} = 1,848 \cdot 0,8 + 3,167 = 4,6454 \text{ м}^3$$

Річні витрати води на приготування розчину:

$$G'_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{осв}} = 504 \cdot 4,6454 = 2341,3 \text{ кг} = 2,34 \text{ м}^3$$

Витрати води на забарвлювання неорганічними барвниками

$$\begin{aligned} C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{заб}} &= d_{\text{заб}} - (C_{(\text{NH}_4)_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]} + C_{(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4}) = 1100 - (9 + 2) = \\ &= 1089 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Сумарні витрати розчину травлення:

$$V_{\text{заг}}^{\text{заб}} = 1,848 \cdot 0,8 + 3,167 = 4,6454 \text{ м}^3$$

Річні витрати води на приготування розчину:

$$G'_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{осв}} = 1089 \cdot 4,6454 = 5058,8 \text{ кг} = 5,06 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						41
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

Витрати води на розкладання при електролізі

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

$$G''_{H_2O} = I \cdot \frac{18 \cdot T_d \cdot B_c}{2 \cdot 26,8} 10^{-5}$$

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

$$G''_{H_2O} = 271,74 \cdot \frac{18 \cdot 3650,56 \cdot 15}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} = 49,97 \text{ кг} = 0,05 \text{ м}^3$$

Витрати води на винесення 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:

$$G'''_{H_2O} = G'_{H_2O} \cdot V^t_{\Gamma},$$

де G'_{H_2O} – кількість води, що виноситься з одним м³ газів, кг/м³; V^t_{Γ} – сумарний об'єм газу з водяною парою, що виділиться з урахуванням температури анодування, м³.

Величину G'_{H_2O} визначають як:

$$G'_{H_2O} = 0,805 \frac{P_{H_2O}}{P_{\Gamma} - P_{H_2O}}$$

де P_{Γ} – сумарний тиск суміші газів та водяної пари, мм.рт.ст.; P_{H_2O} – парціальний тиск водяної пари за температурних умов анодування, 2,3368 кПа.

$P_{\Gamma}=101,32$ кПа – загальний тиск парогазової суміші.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						42
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Тоді:

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

Для визначення об'єму газів V^t_{Γ} необхідно розрахувати об'єми водню та кисню за нормальних умов:

$$\begin{aligned} V_{H_2}^O &= 0,418 \cdot I \cdot T_d \cdot B'_c \cdot 10^{-5} \\ &= 0,418 \cdot 271,74 \cdot 3650,56 \cdot 100 \cdot 10^{-5} = 414,66 \text{ м}^3 \\ V_{O_2}^O &= 0,209 \cdot I \cdot T_d \cdot B'_c \cdot 10^{-5} \\ &= 0,209 \cdot 271,74 \cdot 3650,56 \cdot 15 \cdot 10^{-5} = 31,1 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

Загальний річний об'єм газів за нормальних умов:

$$V_{\Gamma}^O = V_{H_2}^O + V_{O_2}^O = 414,66 + 31,1 = 445,96 \text{ м}^3$$

Об'єм вологого газу за температури електролізу:

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

де $t_{\text{ел}}$ – температура електролізу, 20°C.

$$V_{\Gamma}^i = \frac{445,96 \cdot 1013 \cdot (273 + 20)}{273 \cdot (1013,2 - 23,368)} = 489,83 \text{ м}^3$$

Тоді:

$$G''_{H_2O} = 0,019 \cdot 489,83 = 9,31 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						43
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту

Такі витрати води $C_{H_2O}^{III}$ (кг), розраховують за формулою:

$$C_{H_2O}^{III} = \frac{45,6 \cdot K_B \cdot S_e \cdot (P_{H_2O} - P_n) \cdot T_d \cdot n_B}{P_6}$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорційності, кг/(м² · час);

$K_B = 0,86$ – коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості руху повітря над дзеркалом електроліту;

$S_e = 1,54$ м² – поверхня дзеркала електроліту;

$n_B = 1$ – кількість ванн даного типу;

P_n – парціальний тиск водяної пари за температури та вологості навколишнього середовища, Па.

Величину P_n визначають за формулою:

$$P_n = \frac{P_s \cdot \varphi}{100}$$

де $P_s = 2337$ Па – тиск насиченої водяної пари за температури навколишнього середовища повітря;

$\varphi = 70$ % – вологість повітря в умовах цеху.

$$P_n = \frac{2336,8 \cdot 70}{100} = 1635,76 \text{ Па}$$

тоді:

$$C_{H_2O}^{III} = \frac{45,6 \cdot 0,86 \cdot 1,54 \cdot (23,368 - 16,3576) \cdot 3650,56 \cdot 1}{1013,2} = 1525,43 \text{ кг}$$
$$= 1,525 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						44
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Витрати води на промивні операції

Для розрахунку витрат води на промивні операції необхідно враховувати яким способом буде виконано промивку одноступеневим чи багатоступеневим.

При використанні одноступеневої промивки шляхом занурювання підвіски у воду витрати води на одну годину складають:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot K \cdot P_{\text{г}}$$

Для двохступеневого каскадного промивання:

$${}_2V_{\text{год}} = A_e \cdot S_{\text{год}} \cdot \sqrt{K},$$

де $A_e = 0,3 \text{ л/м}^2$ — об'єм води розчину, що виноситься з одиницею площі покриття; $P_{\text{год}} = 2,51 \text{ м}^2/\text{год}$ — продуктивність ванн на одну годину; K — критерій остаточної промивки деталей, що визначається так:

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

де C_0 - концентрація основного компонента розчину; C_k — ГДК основного компонента у воді після промивки.

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

де 1,5 - коефіцієнт врахування падіння тиску у водопроводі.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						45
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

Витрати води на промивні операції після знежирення

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

$$C_{0(Na_3PO_4)} = \frac{C_{(Na_3PO_4)}}{M_{Na_3PO_4}} \cdot 3 \cdot M_{NaOH} = \frac{40}{164} \cdot 3 \cdot 40 = 29,27 \text{ г/дм}^3,$$

де $C_{(Na_3PO_4)}$ – концентрація фосфату натрію в розчині знежирення, г/дм³;
 $M_{Na_3PO_4}$ - молярна маса фосфату натрію, г/моль; M_{NaOH} - молярна маса гідроксиду натрію, г/моль; 3 – перерахунок на еквівалентну масу.

$$C_{0(Na_2SiO_3)} = \frac{C_{(Na_2SiO_3)}}{M_{Na_2SiO_3}} \cdot 2 \cdot M_{NaOH} = \frac{40}{106} \cdot 2 \cdot 40 = 30,19 \text{ г/дм}^3$$

Сумарна лужність складає:

$$C_0^{\text{ЗНЖ}} = C_{0(Na_3PO_4)} + C_{0(Na_2SiO_3)} = 29,27 + 30,19 = 59,76 \text{ г/дм}^3$$

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

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{59,76}{0,8} = 74,7$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot 74,7 \cdot 2,51 = 56,25 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 56,25 \cdot 3650,56 \cdot 1,5 = 308 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						46
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Витрати води на промивні операції після травлення

Концентрація лугу в розчині $C_{0(NaOH)} = 75 \text{ г/дм}^3$, тоді загальна лужність складає:

$$C_0^{\text{тр}} = C_{0(NaOH)} = 75 \text{ г/дм}^3.$$

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

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{75}{0,1} = 750$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot \sqrt{750} \cdot 2,51 = 26,62 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 26,62 \cdot 3650,56 \cdot 1,5 = 113 \text{ м}^3$$

Витрати води на промивні операції після освітлення

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

$$C_{0(HNO_3)}^{\text{осв}} = \frac{C_{(HNO_3)}}{2 \cdot M_{HNO_3}} \cdot M_{H_2SO_4} = \frac{730}{63} \cdot 98 = 567,8 \text{ г/дм}^3.$$

де C_{HNO_3} – концентрація нітратної кислоти в розчині, г/дм^3 ; M_{HNO_3} – молярна маса нітратної кислоти, г/моль ; $M_{H_2SO_4}$ – молярна маса сульфатної кислоти, г/моль .

$$C_{0(HF)}^{\text{осв}} = \frac{C_{(HF)}}{2 \cdot M_{HF}} \cdot M_{H_2SO_4} = \frac{105}{20} \cdot 98 = 257,25 \text{ г/дм}^3.$$

де C_{HF} – концентрація плавикової кислоти в розчині, г/дм^3 ; M_{HF} – молярна маса плавикової кислоти, г/моль ; M_{HF} – молярна маса сульфатної кислоти, г/моль .

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						47
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Сумарна кислотність становить:

$$C_0^{\text{осв}} = C_{0(\text{HNO}_3)} + C_{0(\text{HF})} = 567,8 + 257,25 = 825,05 \text{ г/дм}^3$$

ГДК сульфатної кислоти у воді після промивання: 0,1 г/л. Отже критерій остаточного промивання для розчину освітлення:

$$K = \frac{C_0^{\text{осв}}}{C_k^{\text{осв}}} = \frac{825,05}{0,1} = 8250,5$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot \sqrt{8250,5} \cdot 2,51 = 68,4 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 68,4 \cdot 3650,56 \cdot 1,5 = 374,55 \text{ м}^3$$

Витрати води на промивні операції після анодування

Концентрація сульфатної кислоти в розчині $C_{0(\text{H}_2\text{SO}_4)}^0 = 190 \text{ г/дм}^3$, отже сумарна кислотність складає:

$$C_0^{\text{ан}} = C_{0(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 190 \text{ г/дм}^3$$

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

Тоді критерій остаточного промивання для розчину анодування:

$$K = \frac{C_0^{\text{ан}}}{C_k^{\text{ан}}} \cdot 0,4 = \frac{190}{0,1} \cdot 0,4 = 760$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot \sqrt{760} \cdot 2,51 = 20,76 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 20,76 \cdot 3650,56 \cdot 1,5 = 113,72 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						48
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Витрати води на промивні операції після забарвлювання

Оскільки рН розчину для забарвлювання становить 5,2, потрібно перерахувати його на еквівалентний вміст сульфатної кислоти.

$$pH = -\lg[C(H^+)]$$

$$C(H^+) = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ моль}$$

$$C_0^{\text{заб}} = \frac{C(H^+)}{2} \cdot M_{H_2SO_4} = \frac{6,3 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 98 = 0,00031 \text{ г/дм}^2$$

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

$$K = \frac{C_0^{\text{заб}}}{C_k^{\text{ан}}} = \frac{0,00031}{0,1} = 0,0031$$

$$V_{\text{год}} = 0,3 \cdot \sqrt{0,0031} \cdot 2,51 = 0,042 \text{ л/год}$$

$$V_{\text{сум}} = 0,042 \cdot 3650,56 \cdot 1,5 = 0,23 \text{ м}^3$$

Загальні річні витрати води на промивні операції при виконанні річної виробничої програми:

$$V = 308 + 113 + 374,55 + 113,67 + 0,23 = 909,45 \text{ м}^3$$

Витрати води на ущільнення

Річні витрати води:

$$V_1^{\text{ущ}} = 1,848 \cdot 0,8 + 3,167 = 4,6454 \text{ м}^3$$

Витрати води, що випаровується:

$$V_2^{\text{ущ}} = \frac{45,6 \cdot 0,86 \cdot 1,54 \cdot (845,25 - 16,3576) \cdot 3650,56 \cdot 1}{1013,2} = 180362,6 \text{ кг} = 180,36 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						49
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

Сумарні витрати води на ущільнення:

$$V_{\text{сум}}^{\text{ущ}} = 4,6454 + 180,36 = 185 \text{ м}^3$$

Сумарні витрати води на весь процес електролізу:

$$\begin{aligned} \sum V = & 4,227 + 4,388 + 4,92 + 2,34 + 5,06 + 0,05 + 9,31 + 1,525 + \\ & + 909,45 + 185 = 1126,27 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						50
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ АНОДНОГО ПОКРИТТЯ

Автоматизація процесів контролю та регулювання на електрохімічних виробництвах може значно покращити продуктивність процесу, оскільки таким чином можна автоматично регулювати параметри, та контролювати їх. Крім цього, за рахунок цього можна зменшити навантаження на працівників, зменшити шкідливий вплив токсичних речовин та збільшити термін експлуатації обладнання. Також за рахунок автоматизації можна значно підвищити економічну ефективність, оптимізувавши витрати електроенергії та сировини.

В даному проекті варто здійснити автоматизацію такі параметри, як температура, концентрація компонентів електроліту, сила струму та напруга, рівень електроліту. Для цього варто обладнати ванну анодування датчиками та контролюючими приладами, які здійснюють автоматичний контроль цих параметрів і повідомляють працівникам в випадку відхилення їх від норми.

Для забезпечення отримання якісного покриття потрібно:

1. Утримувати напругу та силу струму у вказаних технологією рамках.
2. Вчасно коригувати концентрацію та рівень електроліту.
3. Утримувати сталу температуру в межах вказаних технологією.

Технологічні параметри будуть дотримуватися за рахунок встановлення приладів моніторингу та контролю концентрації основного компоненту розчину – сульфатної кислоти, температури, рівню робочого електроліту та напруги з силою струму.

Параметри регулювання і контролю наведено в таблиці 3.1.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						51
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1– Параметри контролю і регулювання гальванічної ванни

№ п/п	Назва стадії процесу та місце визначення параметру	Параметр, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Стадія нанесення анодного покриття, замір параметру безпосередньо у гальванічній ванні	температура	15...25°C	контроль
2	Стадія нанесення анодного покриття, замір параметру безпосередньо у гальванічній ванні	рівень	1,06 м	Контроль регулювання
3	Стадія нанесення анодного покриття, замір параметру безпосередньо у гальванічній ванні	концентрація сульфатної кислоти	180...200 г/л	Контроль
4	Стадія нанесення анодного покриття, замір параметру безпосередньо у гальванічній ванні	сила струму, напруга	271,74 А 18...22 В	Контроль регулювання

За рахунок контуру з платинового термоперетворювачу опору 1-1 та автоматичного показувального і реєструвального приладу 1-2.

Для регулювання рівня електроліту використовується контур з буйковим рівнеміром 2-1, вторинний приладом із дистанційним керуванням 2-2, регулюючим блоком 2-3 та мембранного пневмоприводу 2-4.

В якості джерела струму застосовують випрямний агрегат ТЕ1-400/24Т, який самостійно підтримує задане значення напруги та струму. Керувати приладом можна дистанційно з пульту керування та з агрегату безпосередньо.

Контроль концентрації робочого розчину здійснюється за рахунок контуру, що містить програмований безконтактний кондуктометр-концентратомір 4-1 та електричний показувальний прилад пристрій 3-3.

В якості джерела струму застосовують випрямний агрегат ТЕ1-400/24Т, який самостійно підтримує задане значення напруги та струму. Керувати

приладом можна дистанційно з пульту керування та з агрегату безпосередньо.

Висновки. Задача щодо автоматизації контролю, регулювання та сигналізації технологічних параметрів процесу анодування алюмінієвих деталей було вирішено для наступних параметрів: температури, рівня електроліту, концентрації сульфатної кислоти, сили струму та напруги. Дана мета була досягнута обладнанням ванни анодування необхідними приладами і датчиками та складанням схеми автоматизації, за якою можна описати структуру пунктів контролю та регуляції.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						53
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

Основою організації цеху анодування є проведення техніко-економічних розрахунків показників цеху та розрахунки собівартості продукту.

Мета діяльності цеху: виробництво якісних анодованих алюмінієвих кольорових деталей для задоволення потреб машинобудівної промисловості.

КВЕД: Клас 25.61 , що включає обробку металів та нанесення на них покриття.

4.1 Класифікація виробничих процесів

Окрім основних виробничих процесів в промисловості також мають місце допоміжні, бічні та підсобні процеси, які також забезпечують функціонування виробництва.

Дане виробництво має наступні основні процеси: монтаж деталей на підвіску, знежирення, травлення, освітлення, промивка, анодування, забарвлення неорганічними барвниками, ущільнення, сушіння та демонтаж деталей з підвіски.

До допоміжних процесів можна віднести транспортування сировини (заготовок, компонентів електrolітів), обслуговування і ремонту обладнання, контроль якості деталей та покриття, корегування електrolіту.

Підсобними процесами є закупка реагентів.

Побічні процеси полягають в очищенні стічних вод.

Розподіл процесів та їх тривалість наведено у таблиці 4.1.

4.2 Оптимізація виду руху предметів праці

Річна потужність цеху, з врахуванням виправного браку деталей становить $P_p = 9180 \text{ м}^2 / \text{рік}$.

Анодування багатостадійний процес, що включає певні операції, які наведено в таблиці 4.1.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						54
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Операції нанесення захисного анодного покриття

Вид процесу	Назва операцій	Тривалість виконання, хв
Основні	1) Монтаж деталей на підвіску	5
	2) Знежирення хімічне	0,35
	3) Промивання гаряче	0,38
	4) Промивання холодне	0,38
	5) Травлення хімічне	0,55
	6) Промивання тепле	0,38
	7) Промивання холодне	0,38
	8) Хімічне освітлення	0,3
	9) Промивання холодне	0,75
	10) Анодування	45
	11) Промивання у ванні уловлювання	2
	12) Промивання холодне	0,75
	13) Забарвлювання	25
	14) Холодне промивання	0,75
	15) Ущільнення	35
	16) Сушка	18
	17) Демонтаж	5
	Разом	140
Допоміжні	1) Упакування та транспортування продукції	
	2) Ремонт та чистка обладнання	
	3) Контроль якості	
	4) Коригування електроліту	
Побічні	1) Очищення стічних вод	

Річна програма становить 9180 м². З чого розрахуємо добову програму:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_p}{T_{\text{доб}}} = \frac{9180}{249} = 36,867 \frac{\text{м}^2}{\text{добу}}$$

де $T_{\text{доб}}$ – кількість робочих днів у 2022 календарному році, P_p – річна виробнича програма підприємства з урахуванням можливого браку.

Тоді виробнича програма зміни становить:

$$P_{\text{змін}} = \frac{P_{\text{доб}}}{K} = \frac{36,867}{2} = 18,43 \frac{\text{м}^2}{\text{зміну}}$$

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

$$m = \frac{P_{зм}}{S_{03}} = \frac{18,43}{2,493} = 7,39 \approx 8 \text{ завантажень/зміну}$$

де S_{03} площа одного завантаження ванни окисдування, приведена у технологічних розрахунках.

Необхідно розрахувати випуск продукції для наступних типів ВРПП: послідовного, паралельного та синхронізованого типу.

$$\sum t_i = 5 + 0,35 + 0,38 + 0,38 + 0,55 + 0,38 + 0,38 + 0,3 + 0,75 + 45 + 2 + 0,75 + 35 + 18 + 5 = 140 \text{ хв}$$

1. Послідовний

$$V_{\text{посл}} = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{зміни}}}{\sum t_i} = \frac{16 \cdot 60}{140} = 4,57 \approx 4 \text{ завантажень/добу}$$

$$V_{\text{посл}}^{\text{Річ}} = 4 \cdot 249 \cdot 2,493 = 2483 \text{ м}^2.$$

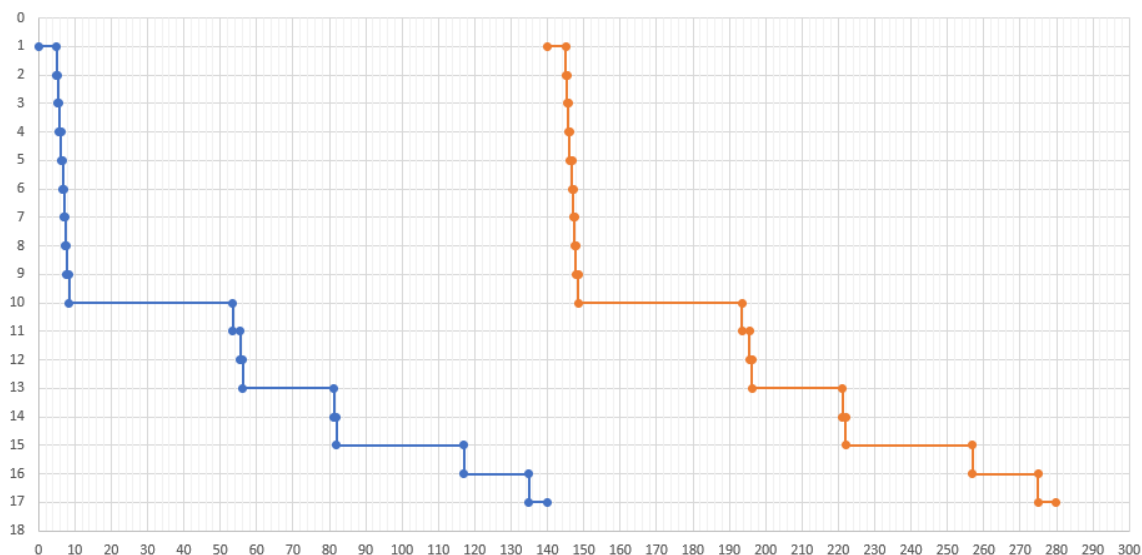


Рисунок 4.1 – Графік послідовного ВРПП

Оскільки за цим типом ВРПП неможливо задовільнити умови річної виробничої програми то послідовний ВРПП є економічно недоцільним.

2. Паралельний За формулою денний випуск продукції при використанні паралельного ВРПП складає:

$$V_{\text{пар}} = \frac{T_{\text{вц}}^{\text{пар}} + t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{max}}} = \frac{16 \cdot 60 + 45 - 140}{45} \approx 19 \text{ разів}$$

$$V_{\text{пар}}^{\text{Річ}} = 19 \cdot 249 \cdot 2,493 = 11794,38 \frac{\text{м}^2}{\text{рік}}$$

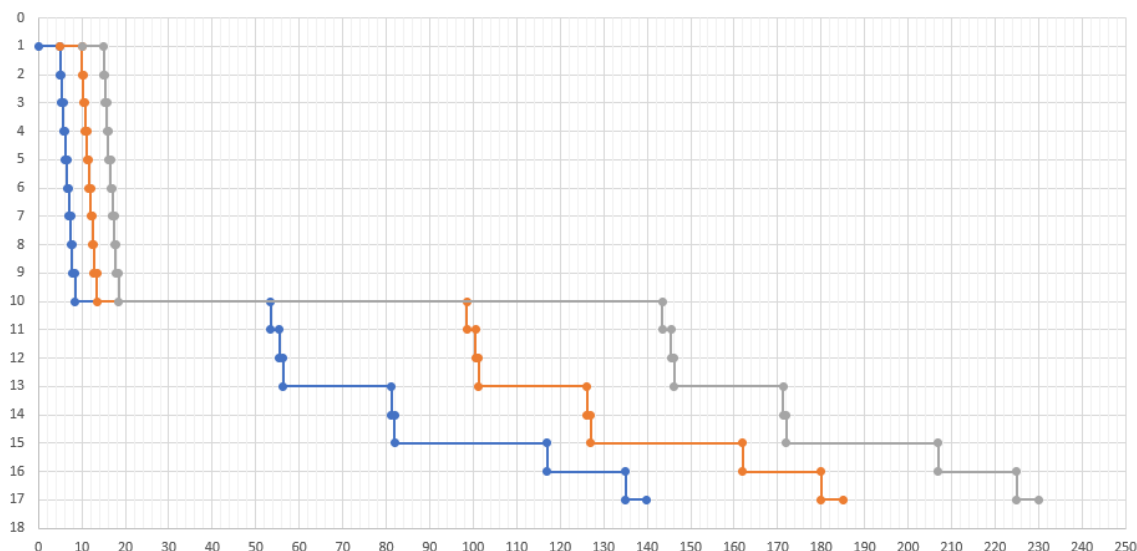


Рисунок 4.2 – графік послідовного ВРПП

Виробнича програма цеху за паралельним ВРПП є економічно доцільною.

3. Синхронізований

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

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

$$16 = \frac{16 \cdot 60 + R - 140}{R}$$

$$R = \frac{16 \cdot 60 - 140}{15} \approx 54 \text{ Хв}$$

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

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{В.Ц.}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^n ti}{R} = \frac{16 \cdot 60 + 54 - 140}{54} = 16,185 \text{ Зав/день}$$

Оскільки не може бути не ціла кількість завантажень, округляємо до 16.

$$V_{\text{синх}}^{\text{річ}} = 16 \cdot 249 \cdot 2,493 = 9932,11 \text{ м}^2$$

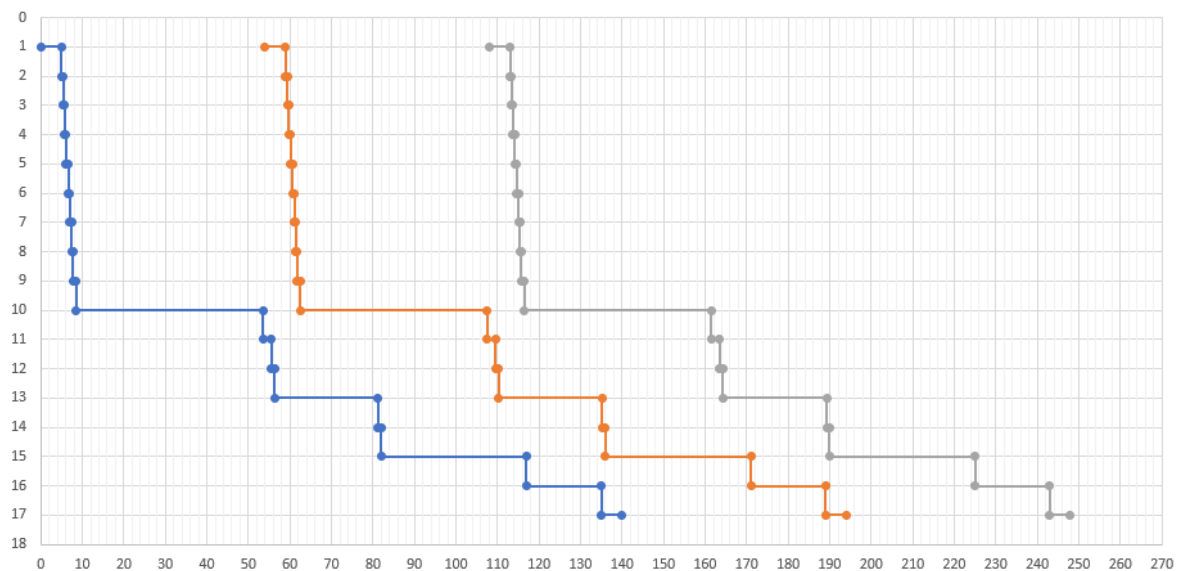


Рисунок 4.3 – графік синхронізованого ВРПП

Обираємо синхронізований ВРПП оскільки він забезпечує необхідну виробничу програму без перевиконання заданого об'єму продукції, як наприклад в паралельному. Кількість завантажень на добу – 16.

- 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.
- 1 ванна уловлювання
- 1 ванна для забарвлювання
- 1 ванна для ущільнення

Загальна кількість ванн складає 10.

4.3 Чисельність персоналу та фонд заробітної плати

До складу робочого персоналу входять:

- лаборант, відповідальний за контроль якості виробів, сировини та робочих розчинів;
- технолог, що контролює технологічний процес;
- гальваніки – для виконання основних операцій.

Оскільки процес електролізу автоматичний і гальванік виконує лише контролюючу функцію, достатньо 3 гальваніків на зміну, 1 для контролю процесів електролізу, та 2 на виконання інших операцій.

Таблиця 4.2 – Чисельність персоналу

Посада	Чисельність осіб
Гальванік	6
Лаборант	2
Технолог	2
Всього	10

Чисельність персоналу явочна. Для виконання денної норми робіт на підприємстві достатньо 5 працівників на зміну: 3 гальваніка, 1 лаборанта і 1 технолога.

$$Ч_{\text{яв.}} = 5 \text{ осіб.}$$

Режим роботи: робочий день для зміни складає 8 годин, підприємство працює в 2 зміни з 6.00 до 22.00 [7].

Чисельність за списком виробничого персоналу становить:

$$\text{Чсп.} = \text{Ч}_{\text{яв.}} \cdot K_{\text{пер.}} = \text{Ч}_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{підп.рік}}}{T_{\text{прац.рік}}} = 5 \cdot \frac{\frac{16}{24} \cdot 249}{\frac{8}{24} \cdot 249} = 10 \text{ осіб}$$

де $T_{\text{підп. рік}}$ – кількість годин які працює підприємство за рік год/рік,
 $T_{\text{прац. рік}}$ – кількість робочих годин працівника за рік.

Отже для забезпечення роботи виробництва необхідно 2 бригади.

Графік змінності підприємства

Графік змін на підприємстві: 1-а зміна: 6:00-14:00; 2-а зміна – 14:00 - 22:00.

Таблиця 4.3 – 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
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.

Розрахуємо мінімальну тарифну ставку згідно мінімальної заробітної плати:

$$TC_{\text{мін}} = \frac{6500}{\frac{30}{7} \cdot 40} = 37,9 \text{ грн/год}$$

Таблиця 4.4 – Фонд заробітної плати підприємства

Посада	Кількість осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка грн/год	Заробітна плата, грн (однієї людини)		Загальна заробітна плата
					За день	За рік	
Гальванік	6	7	1,54	58,39	467,13	117250,47	703502,80
Лаборант	2	8	1,64	62,18	497,47	124864,13	249728,27
Технолог	2	14	2,42	91,76	734,07	184250,73	368501,46
Всього	10						1321732,53

Фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} \cdot \text{Н} = 1321732,53 \cdot 1,22 = 1612513,69 \text{ грн/рік.}$$

де Н – нарахування на заробітну плату.

4.4 Вартість річних ОБЗ

Вартість сировини і матеріалів розраховується базуючись на їх витратах розрахованих вище у розділі 2.6. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.7.

Розрахуємо витрачену електрику:

$$W = \frac{I \cdot U \cdot N_{\text{завант}} \cdot T_{\text{доб}}}{1000} = \frac{271,74 \cdot 20 \cdot 16 \cdot 249}{1000} = 21652,24 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 4.5 – Вартість сировини для виконання річної програми

Найменування	Ціна	Витрата на рік, од/рік	Вартість, грн/рік
H ₂ SO ₄ , кг	50	835,83	41791,5
Na ₃ PO ₄	37	185,82	6875,34
Na ₂ CO ₃	130	185,82	24156,6
<u>Сульфоновд</u>	140	4,18	585,2
NaOH	90	348,41	31356,9
HNO ₃	70	3391,14	237379,8
HF	100	487,77	48777
(NH ₄) ₃ [Fe(C ₂ O ₄) ₃]	6900	41,81	288489
(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	180	9,29	1672,2
Стальні катоди	150	45,9	6885
Вода, м ³	21,25	1126,27	23933,24
Електроенергія, кВт	2,5	21652,24	54130,6
Всього			766032,38

Вартість оборотних засобів підприємства:

$$Обз = B_{\text{сир}} + \text{ФОП} = 766032,38 + 1612513,69 = 2378546,07 \text{ грн/рік.}$$

де $B_{\text{сир}}$ – вартість сировини та електроенергії, ФОП – фонд оплати праці підприємства.

4.5 Калькуляція на продукцію

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

Таблиця 4.6 – Розрахунок вартості придбання та монтажу нового обладнання

№	Назва обладнання	Кілька одиниць	Загальна вартість, грн
1	Ванна хімічного знежирення	1	10000
2	Ванна промивання у теплій воді	1	8000
3	Ванна промивання в гарячій воді	1	8000
4	Ванна промивання в холодній воді	1	8000
5	Ванна травлення	1	10000
6	Ванна освітлення	1	10000
7	Ванна анодування.	1	20000
8	Сушильна шафа.	1	10000
9	Ванна уловлювання	1	12000
10	Ванна для забарвлювання	1	12000
11	Ванна для ущільнення	1	12000
12	Будівлі і споруди	1	400000
13	Випрямний прилад	1	42000
14	Трубопровід	-	70000
15	Нематеріальні активи	-	20000
Загальна вартість		652000	

Для основних фондів необхідно розрахувати:

Амортизація для будівель і споруд:

$$A_{\text{буд}} = \frac{H_A^{\text{буд}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{400000}{20} = 20000 \text{ грн/рік}$$

де $H_A^{\text{буд}}$ – вартість будівель та споруд, $T_{\text{екс}}$ – період амортизації будівель та споруд.

Амортизація обладнання:

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						62
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

$$A_{\text{обл}} = \frac{H_A^{\text{обл}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{10000 \cdot 3 + 1 \cdot 20000 + 10000}{5} + \frac{8000 \cdot 3 + 1 \cdot 42000 + 12000 \cdot 3}{5} = 32400 \text{ грн/рік}$$

де $H_A^{\text{обл}}$ - вартість обладнання.

Амортизація трубопроводів:

$$A_{\text{тр}} = \frac{H_A^{\text{тр}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{70000}{10} = 7000 \text{ грн/рік}$$

де $H_A^{\text{тр}}$ - вартість трубопроводів; $T_{\text{екс}}$ – гарантія виробника.

Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{нм}} = \frac{H_A^{\text{нм}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{20000}{12} = 1666,7 \text{ грн/рік}$$

де $H_A^{\text{нм}}$ – нематеріальні активи підприємства.

Всього:

$$A = 20000 + 32400 + 7000 + 1666,7 = 61066,7 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Таблиця 4.7 – Калькуляція продукції

№	Елементи затрат	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн./м ²	
1	Амортизація	61066,7	6,15	2,5
2	Сировина і матеріали	711901,78	71,68	29,2
3	Паливо, електроенергія	54130,6	5,45	2,2
4	ЗП	1321732,53	133,08	54,2
5	Нарахування на ЗП	290781,16	29,28	11,9
6	Виробнича собівартість	2439612,77	245,64	100

4.6 Розрахунок техніко-економічних показників

Річна виробнича собівартість продукції :

$$C = O\delta 3 + A = 2378546,07 + 61066,7 = 2439612,77 \text{ грн/рік.}$$

$$C_{\text{вир}} = C + \text{Неврах. витр.} = 2439612,77 + 487\,922,554 = 2927535,32 \text{ грн/рік.}$$

де Невраховані витрати приймають як 20% від C.

$$C_{\text{пов}} = C_{\text{вир}} + \text{Накл. витр.} = 2927535,32 + 585\,507,064 = 3513042,4 \text{ грн/рік.}$$

де Накладні витрати становлять 20% від $C_{\text{виробн.}}$

Собівартість одиниці продукції:

$$C = \frac{C}{V_{\text{сінх}}^{\text{річ}}} = \frac{3513042,4}{9932,11} = 353,7 \text{ грн/м}^2$$

Прибуток:

$$П = Ц - C = 700 - 353,7 = 346,3 \text{ грн/м}^2 ,$$

де Ц – ціна на готовий продукт.

Прибуток від реалізації всієї продукції:

$$П_{\text{пов}} = П \cdot V_{\text{сінх}}^{\text{річ}} = 346,3 \cdot 9932,11 = 3439489,69 \text{ грн/рік.}$$

Рентабельність виробництва:

$$P = \frac{П}{C} = \frac{346,3}{353,7} \cdot 100\% \approx 97\%$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						64
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{3439489,69}{3030546,07} = 1,13 \text{ грн/грн.}$$

Капіталовкладення:

$$K = OЗ + OБЗ = 652000 + 2378546,07 = 3030546,07 \text{ грн.}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{1,13} = 0,885 \text{ років.}$$

Чисельність персоналу явочна: 5 осіб (на зміну).

Чисельність персоналу за списком: 10 осіб.

Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{OЗ} = \frac{\Pi \cdot B}{OЗ} = \frac{700 \cdot 9932,11}{652000} = 10,66 \text{ грн/грн.}$$

Фондоємність:

$$\Phi E = \frac{1}{\Phi} = \frac{1}{10,66} = 0,094 \text{ грн/грн}$$

Висновок: У цій частині проекту розраховуються основні техніко-економічні показники спроектованого виробництва. Термін окупності становить 0,885 років (323 дні), тому підприємство можна вважати рентабельним.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						65
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час проведення анодування алюмінію використовують різні небезпечні для здоров'я людини реактиви, крім того в зоні електролізу сконцентрована велика кількість енергії. Тому потрібно розробити заходи, які б дозволили максимально захистити працівників.

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

5.1.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99, роботи з анодування алюмінієвих сплавів віднесено до категорії середньої тяжкості ПБ.

Таблиця 5.1. Санітарні норми параметрів мікроклімату [8]

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

Задля забезпечення комфортних умов праці використовується система опалення. Зменшити шкідливий вплив на робітників з боку різних речовин можна за рахунок забезпечення місцевої та аварійної вентиляції. Ванни, в яких під час роботи можливі шкідливі викиди мають містити бортові відсмоктувачі. Дані відсмоктувачі виготовляють із сталі 12Х18Н10Т. Вміст отруйних речовин має бути близько 1 мг/м³.

Наступні заходи дозволяють знизити забруднення повітря:

1) приготування та корегування розчинів лише у спеціальних місцях з використанням вентиляції

2) перекриття простору між ваннами за допомогою фторопластових козирків та зупинка лінії для повнішого стікання розчину над електролізером забезпечує зменшення виносу електролітів

3) готувати розчини кислот, вводячи їх в холодну воду тонким струменем з використанням ретельного перемішування.

Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції

Для уловлювання шкідливих викидів з поверхні розчину, в якості вентиляції використовують бортові відсмоктувачі, які розміщують по обидва боки ванни.

Для розрахунку об'ємної витрати повітря, що відводиться бортовими відсмоктувачами, використано формулу [9]:

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

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

$$L = 1400 \cdot \left(0,53 \cdot \frac{0,7 \cdot 2,2}{0,7 + 2,2} + 0,14 \right)^{1/3} \cdot 0,7 \cdot 2,2 \cdot 1 \cdot 1,03 \cdot 1,1 =$$
$$= 1932,16 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

5.1.2 Виробниче освітлення

Задля забезпечення виконання вимог умов охорони праці в даному проекті варто використати наступні види освітлення приміщення: штучне робоче, евакуаційне, ремонтне, аварійне та охоронне. Систему природного освітлення було вирішено реалізувати за рахунок поєднання верхнього та бічного освітлення. За рахунок сполучення місцевого та загального освітлення реалізується штучна система освітлення.

Таблиця 5.2. Норми освітленості і КПО цеху згідно ДБН В.2.5-28:2018

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

Для робочої зони використовується люмінесцентне освітлення. Для евакуаційного та аварійного освітлення було вирішено використати світильники прямого типу «Альфа». Освітленість аварійного освітлення має бути не менше, ніж 5% від норми, мінімальне значення 2 лк. В разі евакуації освітлення, що при цьому використовується має розміщуватися на підлозі в основних проходах і на сходах та забезпечувати не менше 0,5 лк, або 0,2 лк для відкритих майданчиків.

Контроль системи освітлення потрібно здійснювати не рідше 1 разу на рік з використанням люксметра Ю-116.

5.1.3 Шум і вібрація у виробничій зоні

У ролі джерела сильного шуму та вібрацій в цеху може виступати різні механізми, наприклад, автооператори, вентилятори та ін. Якщо одночасно працюватимуть всі види устаткування, то у виробничих приміщеннях може утворюватися високий рівень шуму, що перевищуватиме допустиме значення.

Для забезпечення захисту працівників від шкідливого впливу високого рівня шуму можна використати звукоізоляцію механізмів або спрямовані на

звукопоглинання конструкції. Також можна забезпечити працівників засобами шумового захисту.

5.1.4 Електробезпека

Оскільки в процесі анодування використовуються агресивні речовини, підвищується вірогідність порушення струмоізоляції провідників та вірогідність ураження працівника електричним струмом. Ураження може відбутися при торканні до елементів обладнання, які знаходяться під напругою та мають неякісне заземлення. Також це може статися за рахунок електродуги або крокової напруги.

Електричне устаткування цеху підключене до трифазної чотирипровідної електричної мережі змінного струму промислової частини напруги 380/220В із глухозаземленою нейтраллю. Згідно ГОСТ 12.1.038–92 допустимі рівні напруг дотику (U_d) і струму, що проходить через тіло людини (I_L) рівні: при нормальному режимі роботи електричного встаткування $U_d = 2$ В, а $I_L = 0,3$ мА; при аварійному $U_d = 36$ В, а $I_L = 6$ мА.

Найчастіше відбувається однофазний дотик людини до мережі змінного струму. Сила струму, що проходить через людину, розраховується як:

$$I_L = U_\phi \cdot 10^3 / (R_L + R_0), \text{ мА};$$

де U_ϕ — 220 — фазна напруга, В; $R_L = 3000$ — загальний опір тіла людини, Ом;

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

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

$$U_d = I_L \cdot R_L, \text{ В}$$

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

Якщо порівняти розраховані значення і норми, наочно видно, що у випадку порушення вимог електробезпеки можливі електричні травми з

важкими наслідками. Для забезпечення електробезпеки передбачені наступні технічні способи і засоби: занулення електрообладнання, захисне відключення установок, вирівнювання потенціалів, мала напруга живлення ручних електроінструментів, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, огорожувальні пристрої, блокування, сигналізація, знаки безпеки, попереджувальні плакати. Безпека експлуатації при нормальному режимі електроустановок дотримується наступним чином: ізоляцією струмоведучих частин (опір ізоляції не менше 0,5 МОм), недоступністю струмоведучих частин, малими напругами.

В якості індивідуального захисту рекомендовано використання: діелектричних гумових рукавичок, інструменту з ізолюючими вставками на рукоятках, гумових ізолюючих підставок. Обов'язкове регулярне проведення інструктажу з правил техніки безпеки зі струмом. Також оголені дроти, апарати, що мають неізольовані струмоведучі частини, необхідно розміщувати в спеціальних ящиках, що закриваються суцільними або сітчастими огороженнями [8].

5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

Для оптимізації охорони праці в дипломному проєкті використано методи і засоби інженерної охорони праці.

Підвищена температура розчину може бути дуже небезпечним фактором під час обслуговування ванн знежирення та гарячого промивання. У процесі виробництва гарячий розчин може розбризкуватися, викликаючи опіки у працівників. Недбале виконання робіт поблизу механізмів з відкритими частинами, що обертаються, може призвести до травм. При виході з експлуатації автоматичної системи захисту може виникнути аварійна ситуація. Існує також ризик хімічних опіків через розливання агресивних речовин.

Після визначення потенційної небезпеки в технічних процесах та обладнанні передбачають заходи щодо забезпечення здорових і безпечних

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						70
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

умов праці. Ці заходи виключають вплив на працівників шкідливих речовин. Цього можна досягти лише шляхом запровадження дистанційного керування процесами, механізації цехового транспорту, завантаження та розвантаження сировини, проміжної та готової продукції.

Проект передбачає використання ефективних методів і засобів захисту працівників від шкоди у небезпечних зонах. А саме: встановлення огорожувальних пристроїв, для запобігання потрапляння людини до небезпечної зони; прилади сигналізації та інформування про активність технологічного обладнання, при змінах у процесі роботи, прилади що мають попереджати під час небезпеки та вказувати на місце несправності, якщо є необхідність, автоматично зупиняють ділянки в яких виникла небезпечна ситуація; обмеження швидкості руху транспортних засобів на території цеху до 5 км/год; всі механізми, розраховані на підйом важких грузів, періодично оглядають на наявність дефектів; по території цеху розміщено плакати попередження та інформування персоналу про можливі джерела небезпеки та способах надання першої медичної допомоги.

5.2 Пожежна безпека

У цеху можливе виникнення джерел загоряння внаслідок перевантаження електроустаткування, утворення окислів у газах, що відходять від ванни, утворення займистої суміші водню з повітрям. Причинами загорання також можуть бути: коротке замикання між частинами обладнання (шини, електроди), розряди статичної електрики, механічні пошкодження обладнання і електропроводу. Є загроза прямого удару блискавки в об'єкт та заносу високих потенціалів через надземні і підземні металічні комунікації в цех.

Основними причинами короткого замикання є пошкодження електроізоляції дротів, попадання на неізольовані дроти струмопровідних предметів, дія на дроти хімічно активних речовин. Для попередження захисту ізоляції струмовідводу від дії хімічних речовин використовують гофрований

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						71
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

металевий кожух із нержавіючої сталі, прокладання проводів у пластиковому захисному кожуху. Для попередження перевантажень і короткого замикання в електричних мережах застосовують плавкі запобіжники і спеціальні автомати, включені в мережу послідовно. Попередження перегріву проводів від перехідних опорів досягається збільшенням площі опору контактів, застосування пружних контактів.

Для надання можливості швидко відреагувати та ліквідувати виявлене джерело пожежі використовують обладнані на робочих місцях пожежні щити, вогнегасник, або ящик з піском. Кожне виробниче та складське приміщення обладнують внутрішніми пожежними кранами. Газопроводи періодично перевіряють на наявність нещільностей для запобігання вибухам.

Будівля захищена від прямих ударі блискавки блискавковідводом, який являє собою з блискавкоприймач (частина яка відтягує до себе блискавку), заземлювача і струмопровідника. Тип вертикальний стрижньовий: $H = 100\text{м}$, висота його зони захисту під землею $H_0 = 0,92 \cdot 100 = 92\text{ м}$. Радіус зони захисту на рівні землі $r_0 = 1,5 \cdot 100 = 150\text{ м}$.

В будівлі встановлено автоматичну пожежну систему. Для кабелів високої напруги використовуються спеціальні броньовані оболонки. Трубопровід для подачі та відведення електроліту до запуску анодування періодично продувається повітрям. Електроприлади та агрегати захищають від загоряння виконуючи: регулярне технічне обслуговування, використання фарб з негорючих матеріалів.

У таблиці 5.3 наведено пожежонебезпечні матеріали та речовини, що присутні на ділянці.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						72
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Гальванічний цех				Найменування ділянки	
Дерево, резина	Тканина	Вінілпласт	H ₂	Речовини використовувані в досліді	
тв	тв	тв	га	Агрегатний стан речовини	
Горюче	Займистий	Важко-займистий	Займистий	Горючість, займистість, вибухонебезпечність	
170	210	•	132	Температура спалаху, °C	Показники пожежо- і вибухонебезпечності
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

При реалізації будь-якого технологічного процесу відбувається забруднення води та навколишнього середовища різними стоками та викидами. Гальванічне виробництво в цьому плані не є виключенням. Оскільки при його реалізації відбувається безперервне забруднення води різними речовинами. При проведенні анодування алюмінію основними небезпечними речовинами у стічній воді є іони алюмінію, гідроксид натрію та мінеральні кислоти. Сам по собі алюміній не є небезпечним, але деякі сполуки алюмінію можуть дуже сильно впливати на здоров'я людей, тварин та рослин.

ГДК сполук алюмінію у водоймах побутового користування становить 0,2 мг/дм³ [10].

З промивних вод та відпрацьованого електроліту після процесів нанесення анодного покриття та освітлення збирається група кислих стічних вод. Лужні стічні води збираються з промивних вод після знежирення та травлення. Крім цього в стічних водах обох типів знаходяться іони міді, магнію та алюмінію.

Зазвичай лужні води мають значення рН близько 10-12 та містять в собі карбонати та фосфати. Кислі води мають значення рН 2-5 і містять в собі мінеральні кислоти. Іони, що містяться в цих водах мають концентрацію до 100 мг/дм³ для Al^{3+} та до 1,5 мг/дм³ для Mg^{2+} та Cu^{2+} .

При змішуванні цих груп стічних вод відбувається попередня нейтралізація. Для того, щоб воду можна було скидати в каналізацію потрібно довести значення рН до 6,5-8,5.

Варто для очистки цих стічних вод використати реагентну очистку. Це дозволить знизити концентрацію домішок до ГДК. Базується даний метод на окисленні, відновленні, нейтралізації, коагуляції та осадженні. В процесі обробки токсичні речовини руйнуються і утворюються малотоксичні, які

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						74
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

потім легко знешкоджуються. З цим методом можна здійснювати обробку води, що містить велику кількість домішок. При цьому він простий в реалізації.

Коли значення рН досягне 4 почне утворюватися гідроксид алюмінію, який випаде в осад. При рН 5,2 буде досягнута мінімальна його концентрація в розчині.

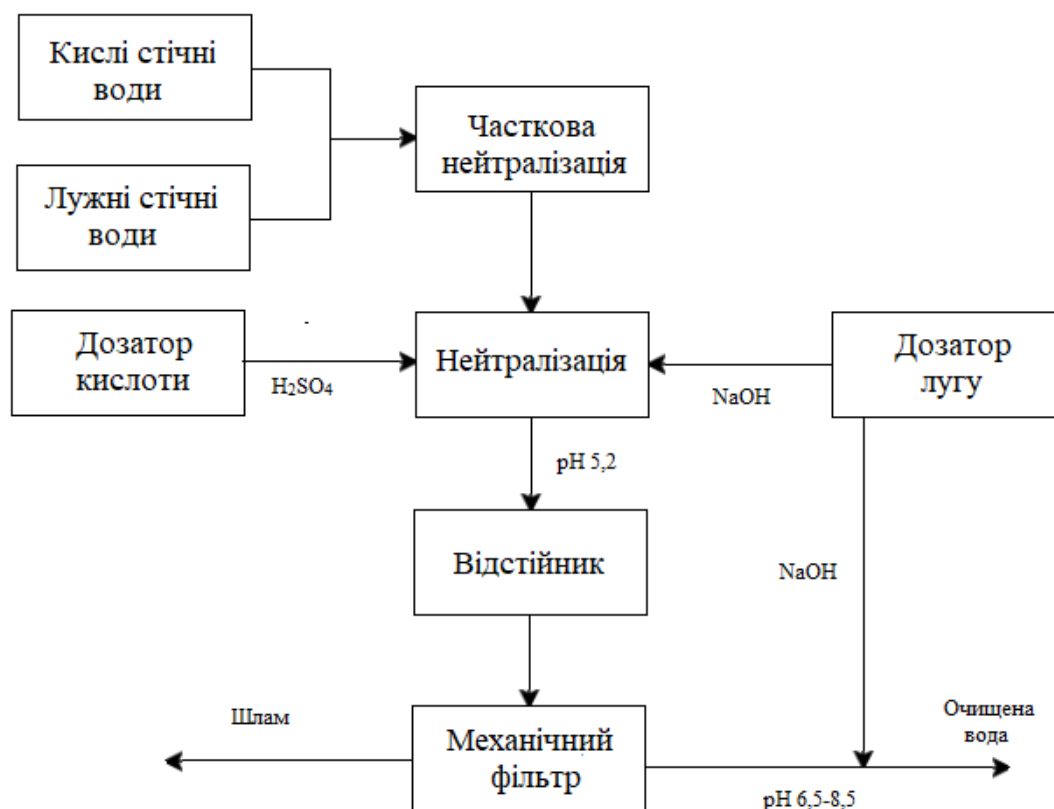


Рисунок 6.1 – Принципова схема очищення стічних вод гальванічного цеху

ВИСНОВОК

У дипломному проекті розроблено технологію декоративного анодування алюмінієвих деталей із наповненням та фарбуванням, продуктивністю 9000 м²/рік.

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

У розділі автоматизації дипломного проекту запропоновано схему автоматизації, з автоматичним контролем рівня електроліту, напруги та густини струму.

Розраховано техніко-економічні показники гальванічного цеху. Собівартість 1 м² покриття складає 245,64 грн, рентабельність підприємства складає – 97%, капіталовкладення – 3030546,07 грн, а термін їх повернення – 0,885 роки.

Проаналізовано можливі небезпечні фактори на виробництві, та розроблено системи заходів з охорони праці, для захисту від шуму та вібрації, ураження електричним струмом пожежної безпеки та спроектовано виробниче освітлення згідно діючим нормам. Також обрано заходи та засоби індивідуального захисту для працівників.

Запропоновано схему очищення стічних вод від йонів алюмінію, міді та магнію, фосфатів, карбонатів.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						76
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гальванотехника для мастеров: Справ. изд./Вирбилис С. Пер. с польск./Под. ред. А. Ф. Иванова. М.: Металургия, 1990. 208
2. Электроосаждение маталических покрытий. Справ. изд. Беленький М.А., Иванов А.Ф. М.: Металургия, 1985, 288 с.
3. Основи проектування хімічних виробництв. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів: навч. посіб. / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильєв – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85с.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту з гальванотехніки освітньо-кваліфікаційного пілля «бакалавр». Напрям 6.091600 «Хімічна технологія та інженерія». Професійна спрямованість «Технічна електрохімія». / Уклад. Л.А. Яцюк, В.П. Чвірук, В.Ф.Панасенко, Т.І. Мотронюк, О.В. Лінючева, М.І. Донченко, О.І. Букет. – К: НТУУ «КПІ», 2006. – 66с.
5. Справочник по электрохимии/Под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1981. – 488 с., ил.
6. 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.
7. Економіка, організація та управління хімічними підприємствами [конспект лекцій під ред. доц., к.т.н Підлісної О.А.] Київ, 2019.
8. 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.
9. Основи проектування хімічних виробництв. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів: навч. посіб. / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильєв – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85с.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						77
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

10. 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.

					ДП ХЕ8103.1450.000 ПЗ	Арк
						78
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 Специфікація устаткування виробів і матеріалів

По- зиція на схемі	Назва параметру	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кіль- кість	Завод- виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 – 1	Температура	Електроліт, електролітична ванна	15-25 °С	Місцевий	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 100П, діапазон вимірювання (–50) ...+60 °С, допустимий тиск Р _у = 0,4 МПа.	ТСП- 1288	1	НВО «Електротермія», м. Луцьк
1 – 2	Температура	Електроліт, електролітична ванна	15-25 °С	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М.	ДИСК- 250	1	ЗАТ «Промислова група», м. Челябінськ
2 – 1	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1,06 м	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; Р _{вих} = 0,02 – 0,1 МПа; діапазон температур: (–50) ... +100 °С діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м, клас точності 1	УБ-П	1	ВО «Теплоприбор» м. Рязань
2 – 2	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1,06 м	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування, Р _{вх} = 0,02 – 0,1 МПа	ФК 0071	2	АТ «Тизприбор», м. Москва

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 – 3	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1,06 м	Щит керування	регулятор пневматичний, пропорційно-інтегральний, $P_{\text{вих}} = 0,02 - 0,1$ МПа	ФР 0091	2	АТ «Тизприбор», м. Москва
2 – 4	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1,06 м	Місцевий	Пневмопровід мембранний	B26-41	1	АТ «Тизприбор», м. Москва
3 – 1	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 271,74$ А $U = 20$ В	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\text{max}} = 400$ А, $U_{\text{max}} = 24$ В	ТЕ1-400/24Т	1	ТЦ "Електро-модуль", м. Уфа
3 – 2	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 271,74$ А $U = 20$ В	Місцевий	Пульт дистанційного керування для випрямного агрегату ТЕ1-400/24Т	ПДУ ТЕ1	1	ТЦ "Електро-модуль", м. Уфа
4-1	H_2SO_4	Електроліт, гальванічна ванна	180-200 г/л	Місцевий	Програмований безконтактний кондуктометр – концентратомір, вихідний сигнал $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА; діапазон температур $0 \dots 100$ °С; основна похибка $\leq 2\%$.	КС-1М-3К	1	ПП «Експортпостач» м. Харків
4-2	H_2SO_4	Електроліт, гальванічна ванна	180-200 г/л	Щит керування	Автоматичний індикаторний, сигналізувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М, $I_{\text{вх}} = 4 \dots 20$ мА	ДИСК-250	1	ЗАТ «Метран», м.Челябінськ

ДОДАТОК Б

[illegible]