

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

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра технології електрохімічних виробництв

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ **Юрій ГЕРАСИМЕНКО**

«__» __ червня __2021__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

**на тему: «Гальванічні покриття в приладобудуванні. Розробка технології
нанесення молочного корозійностійкого хромового покриття»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ХЕ-72

ДЕРКАЧ Нікіта Олексійович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Мотронюк Тетяна Іванівна _____

Консультант з Охорона праці:

доц. к.т.н.

Полукаров Юрій Олексійович _____

Економічна частина

к.т.н., доц.

Підлісна Олена Анатоліївна _____

Автоматизація

ас.

Хібеба Микола Григорович _____

Рецензент:

ст. викл., к.т.н. **Крimeць Г.В.** _____

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

Студент _____

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ **Юрій ГЕРАСИМЕНКО**

«___» червня ___ 2021__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Деркачу Нікіті Олексійовичу

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття в приладобудуванні. Розробка технології нанесення молочного корозійностійкого хромового покриття», керівник проєкту к.т.н., доц. Мотронюк Тетяна Іванівна, затверджені наказом по університету від «___» _____ 2021 р.
2. Термін подання студентом проєкту 15.06.2021 р.
3. Вихідні дані до проєкту. Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Завдання з продуктивності 13000 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 молочного хромування, екологічна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо) 1) Карта технологічного процесу 2) Схема

автоматизації, 3) Очищення стічних вод, 4) Економічна частина, 5) Креслення гальванічної ванни,

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Автоматизація	ас. Хібеба М. Г		
Охорона праці	к.т.н., доц. Полукаров Ю.О.		
Економічна частина	к.т.н., доц. Підлісна О.А.		

7. Дата видачі завдання 8 травня 2021 року _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд літератури	08.05.19-15.05.19	
2	Написання теоретичної частини	16.05.19-20.05.19	
3	Написання технологічної частини	21.05.19-26.05.19	
4	Виконання розділу автоматизації	27.05.19-30.05.19	
5	Розрахунок економічної частини	31.05.19-3.06.19	
6	Написання екологічної частини і охорони праці	04.06.19-09.06.19	
7	Виконання графічної частини	10.06.19-12.06.19	
8	Написання висновків і заключне оформлення пояснювальної записки	13.06.19-15.06.19	
9	Кінцева перевірка диплому і його друк	16.06.19-19.06.19	

Студент

(підпис)

Деркач Н.О.

Керівник проєкту

(підпис)

Мотронюк Т.І.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

<i>№ з/п</i>	<i>Формат</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кількість листів</i>	<i>Примітка</i>
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХЕ7210. 1450.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	ДП ХЕ7210. 1450.001 СК	Складальне креслення гальванічної ванни для нанесення хромового покриття	1	
4	A1	ДП ХЕ7210. 1450.002 СК	Карта технологічного процесу	1	
5	A2	ДП ХЕ7210. 1450.003	Схема очистки стічних вод	1	
6	A2	ДП ХЕ7210. 1450.004 СхА	Схема автоматизації	1	
7	A2	ДП ХЕ7210. 1450.005	Плакат економічних розрахунків	1	

				ДП ХЕ7211.1450.000		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Розробн.	Нікіта ДЕРКАЧ					1
Керівн.	Тетяна МОТРОНЮК				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-72	
Консуль т.						
Н/контр.						
В.о. Зав.каф.	Юрій ГЕРАСИМЕНКО					

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Гальванічні покриття в приладобудуванні. Розробка технології
нанесення молочного корозійностійкого хромового покриття»

Реферат

«Гальванічні покриття в приладобудуванні. Розробка технології нанесення молочного корозійностійкого хромового покриття»

Деркач Н.О. – Київ: Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ХТФ, ХЕ-72

Дипломний проект, 2021 рік, кількість сторінок – , таблиць – , рисунків – , джерел – .

В проекті розроблено технологію нанесення молочного корозійностійкого хромового покриття на сталеві деталі з продуктивністю 13000 м²/рік. Проведено розрахунок технологічних параметрів процесу та вибір електролітичної ванни.

Хром осаджується з розбавленого сульфатного електроліту при густині струму 35 А/дм² і температурі 70°C впродовж 50,8 хвилин.

У проекті запропоновано заходи з техніки безпеки, автоматизації параметрів процесу, розроблено схему очистки стічних вод, проведено економічні розрахунки.

Ключові слова: гальванічна ванна, сульфатний електроліт, стічні води, автоматизація, молочне хромування, стічні води.

					Н. Контр.	ДП УБЗІО 4150 000 ПЗ	рк.
							6
мн.	рк.	докум.		Дата			

ABSTRACT

"Galvanic coatings in instrument making. Development of technology for applying milk corrosion-resistant chrome coating "

Derkach NO - Kyiv: National Technical University of Ukraine

"Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", HTF, XE-72

Diploma project, 2021, number of pages -, tables -, figures -, sources -.

The project develops the technology of applying milk-resistant corrosion-resistant chrome coating on steel parts with a capacity of 13,000 m² / year. The calculation of technological parameters of the process and the choice of electrolytic bath.

Crom is precipitated from dilute sulfate electrolyte at a current density of 35 A / dm² and a temperature of 70°C for 50.8 minutes.

The project proposes safety measures, automation of process parameters, developed a wastewater treatment scheme, conducted economic calculations.

Key words: galvanic bath, sulphate electrolyte, wastewater, automation, milk chromium plating, wastewater.

					<i>ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зміст

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Характеристика оброблювального виробу.....	11
.....	11
1.2 Призначення покриття.....	11
1.3 Порівняльна характеристика електролітів	12
1.4 Аноди.....	17
1.5 Опис технологічного процесу.....	18
1.6 Карта технологічного процесу.....	20
1.7 Контроль якості покриття	22
1.7.1 Види браку та неполадки при гальванічному хромуванні	23
1.7.2 Зняття недоброякісних хромових покриттів.....	24
РОЗДІЛ 2. Технологічні розрахунки.....	25
2.1. Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів	25
2.1.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання.....	25
2.1.2. Визначення виробничої програми обладнання	25
2.1.3. Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів.....	26
2.1.4. Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання.....	27
2.2. Баланс струму на гальванічній ванні.....	29
2.3. Баланс напруги на гальванічній ванні.....	31
1.3.3 Вибір джерела струму для гальванічної ванни.....	32
2.4. Розрахунок споживання електричної енергії та вибір джерела живлення ..	33
1.3.5 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн	34
1.3.6 Розрахунок витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму	35
1.3.7 Розрахунок витрат матеріалів.....	36
РОЗДІЛ 3. Автоматичне регулювання параметрів процесу хромування.....	42

					<i>ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4. Економіко-організаційні розрахунки	45
4.1. Визначення оптимального виду руху предметів праці	45
РОЗДІЛ 5. Охорона праці	54
5.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектованому об'єкті. Заходи з охорони праці	54
5.1.1. Повітря робочої зони	54
5.1.2. Виробниче освітлення	59
5.1.3. Виробничий шум і вібрація.....	59
5.1.4. Електробезпека	60
5.1.5. Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання.....	61
5.2. Пожежна безпека.....	62
РОЗДІЛ 6. Очищення стічних вод	65
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ	68
Список використаної літератури	71

Вступ

У сфері приладобудування гальванічні покриття наносять для захисту деталей від корозії та надання різних функціональних властивостей: підвищеної поверхневої світловідбиваючої здатності, твердості, зносостійкості, антифрикційних властивостей тощо. За механічними властивостями, корозійною стійкістю, чистотою та економічною доцільністю гальванічні покриття перевершують усі інші. Можливість регулювання товщини покриття за рахунок зміни часу та густини струму електролізу є однією з переваг гальванічного нанесення покриттів.

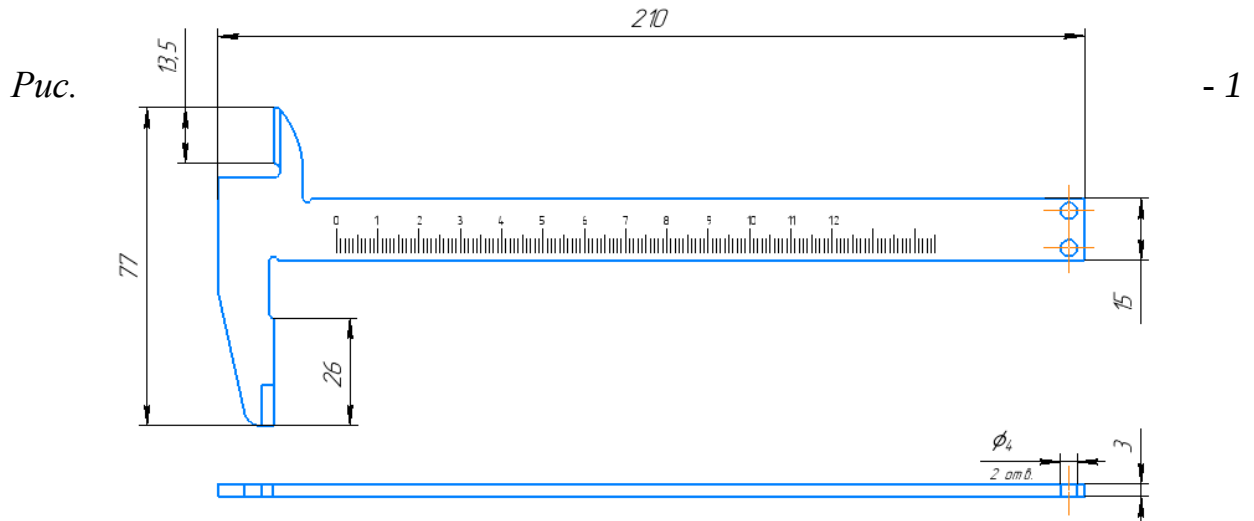
Гальванічне хромове покриття має дуже широку область використання, тому що відрізняється високою твердістю, зносостійкістю, міцністю, хімічною і термічною стійкістю. Молочне хромове покриття має високу протикорозійну стійкість завдяки надзвичайно маленькій кількості пор в покритті, воно більш пластичне, ніж інші хромові покриття. Має високі показники твердості, але значно менші ніж у інших хромових покриттів.

Метою дипломного проекту є розробка технології нанесення хромового покриття на сталеві деталі продуктивністю 13000 м² на рік. Підібрані оптимальні умови процесу, за яких отримується якісне покриття, що надійно захищає деталі від корозії та має декоративні властивості.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика оброблювального виробу



Характеристики штанги штангенциркуля

На даному рисунку зображена штанга штангенциркуля. Штангенциркуль являється приладом для вимірювання зовнішніх, внутрішніх та змішаних розмірів. Через різні умови та середовища експлуатації, штангенциркулі виготовляють з матеріалів з підвищеною зносостійкістю, та високою корозійною стійкістю. Підвищення антикорозійних властивостей поверхні штангенциркуля досягається її покриванням молочним корозійностійким хромовим покриттям; підвищена стійкість до корозії обумовлена низькою пористістю нанесеного осаду. Наносять даний тип покриття зазвичай товщиною близько 20 мкм.

1.2 Призначення покриття

В залежності від вимог до експлуатаційних характеристик деталей, розрізняють три типи гальванічних хромових покриттів:

- захисно-декоративні
 - а) блискучі ($\text{Cu} - \text{Ni} - \text{Cr} \rightarrow 0,25 \dots 1,0 \text{ мкм}$);
 - б) напівблискучі (для обробки інструментів оптичної апаратури);
 - в) чорні;
 - г) кольорові.
- захисні (корозійно-стійкі):

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

a) одношарові (малопористі покриття молочного хрому $\delta > 20 \dots 30$ мкм);

b) двошарові (захисні властивості хороші + зносостійкість), перший шар – молочний (пластичний – 20 мкм); другий шар – блискучий (твердий, зносостійкий $\delta = 30-50$ % від загальної).

- зносостійкі (щільні покриття з підвищеною твердістю);
- антифрикційні;

a) щільні (пластичні);

b) пористі, здатні утримувати на поверхні мастильні матеріали при високих температурах.[1]

Хромові покриття використовують для деталей, що працюють в умовах підвищеного тертя, в якості захисно-декоративного та корозійно-стійкого покриттів.

Корозійно стійкі покриття хромом можуть бути одно- та багатошарові:

- молочні покриття наносять для підвищення корозійної стійкості деталей. Вони мають мінімальну пористість. Товщина даного покриття складає 15-50 мкм;

- комбіновані – для захисту виробу від корозії та захисту від зносу;

- безпористі – використовуються як для підвищення зносостійкості, так і

для відновлення деталей.

- пористі мають високі антифрикційні властивості і зносостійкість.

Осади молочного хрому отримують при високих температурах електроліту (65-75 °C) і при густинах струму 25-35 А/дм². Покриття з молочного хрому в порівнянні з іншими мають невисоку твердість, значну пластичність, малу пористість і завдяки цьому велику корозійну стійкість.[2]

1.3 Порівняльна характеристика електролітів

Основним компонентом електролітів хромування є хромовий ангідрид, витрата якого (внаслідок роботи з нерозчинними анодами) має безперервно поповнюватись.

Хром осаджується з низьким виходом за струмом, через це, значна кількість струму витрачається на виділення водню, який частково проникає в

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		12

основний метал, викликаючи сильне наводнення, яке іноді призводить до відшарування покриттів або появи тріщин в основному металі. Для часткового видалення водню вироби після хромування рекомендується прогрівати в мастилі або на повітрі при температурі 170...180°C протягом 0,5...1,5 годин.

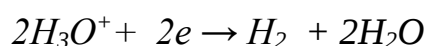
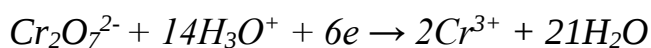
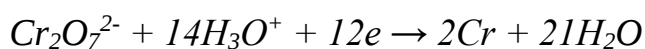
Стандартний електроліт хромування наступного складу (г/л):

CrO_3 – 220...250,

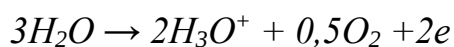
H_2SO_4 – 2,2...2,5

У стандартному електроліті хромування на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:



Густина струму - 35 А/дм², температура – 65-75 °С.

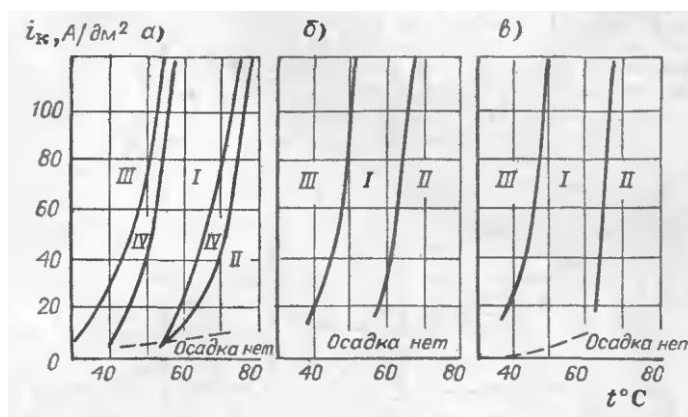


Рис. 2 – Розподіл на зони осадів хрому в сульфатних електролітах при концентрації хромового ангідриду, г/л: а-150; б-250; в-350;

Зони: 1- блискучий хром; 2-молочний хром; 3 – матовий хром; 4- перехідний дрібнозернистий, сріблистий осад

Основними електролітами для електроосадження молочного хрому являються сульфатні електроліти, з різною концентрацією хромового ангідриду.

Сульфатні електроліти. Основний електроліт для осадження хрому містить два компоненти: CrO_3 та H_2SO_4 співвідношення по масі між цими компонентами повинно бути 100:1. При цьому співвідношенні досягається максимальний вихід хрому за струмом.

Таблиця 1.3.1 Основні сульфатні електроліти хромування

Тип електроліту	Вміст, г/л		Характерні особливості
	CrO_3	H_2SO_4	
1	2	3	4
Розбавлений	150...175	1,5...1,75	Вихід за струмом 15-18%, розсіювальна здатність і твердість осадів найбільш високі. Співвідношення $CrO_3:H_2SO_4$ змінюється швидко. Схильність до утворення шорстких осадів при осадженні товстих шарів.
Стандартний	220...250	2,2...2,5	Вихід за струмом 12 – 14 %. Розсіювальна здатність середня. Широкий робочий інтервал отримання блискучих покриттів. Коливання в співвідношенні $CrO_3:H_2SO_4$ невеликі.
Концентрований	275...300	2,75...3	Вихід за струмом 8 – 10 %. Розсіювальна здатність найнижча. Широкий робочий інтервал отримання блискучих покриттів. Покриття відрізняються найменшою твердістю.

У таблиці 1.3.1 показано, як змінюються характерні особливості хромування в залежності від вмісту основних компонентів.

Основна перевага сульфатних електролітів – отримання покриттів найвищої твердості серед всіх інших. Як видно з таблиці 1.3.1 найкращим в

цьому аспекті є розбавлений сульфатний електроліт, також він має відносно високі в порівнянні з іншими наведеними електролітами: вихід за струмом хрому і розсіювальну здатність.

Недоліками сульфатних електролітів є: порівняно низький вихід за струмом хрому, погана розсіювальна здатність.

Фторидні електроліти. F^- і F – вмісні іони використовуються в електролітах холодного хромування. Однак електроліти цього типу широко використовуються для зносостійкого хромування. У порівнянні з електролітами, які містять добавку SO_4^{2-} , *фторидні електроліти мають такі переваги:*

- можливість ведення процесу за кімнатної температури;
- кращу розсіювальну і криючу здатності;
- меншу критичну густину струму, можна наносити хромові покриття при 0,5...2 А/дм²;

- більш високий вихід за струмом хрому;

Недоліки фторидних електролітів наступні:

- більш висока агресивність і формування на анодах плівки фториду свинцю, яка має великий електричний опір;
- у зв'язку з вказаною особливістю роботи анодів при осадженні хрому із фторидних електролітів, застосовуються тільки аноди, які містять Sb і Sn;
- покриття хрому, які отримуються, мають більш низьку твердість і більш пластичні, ніж осади, які отримують в сульфатному електроліті.

Осади менш тверді, але більш пластичні, мають низькі внутрішні напруження, менш пористі.

Приклад фторидного електроліту.

Склад електроліту (г/л) і режим електролізу:

CrO₃ 300-400;

KF*2H₂O 8-12;

температура 20-30°C, катодна густина струму ~10 А/дм².

Саморегулюючі електроліти. Принцип дії електролітів – автоматичне підтримання постійного співвідношення між концентраціями CrO₃ і стороннього аніону, яке забезпечується тим, що вказані аніони вводять в

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

електроліт у складі обмежено розчинних солей. Ці солі вводять в розчин у кількостях, що перевищують їх розчинність. Тому надлишок солі, який знаходиться на дні ванни, завжди знаходиться в рівновазі з іонами, що перейшли в розчин.

У якості солей каталізаторів, які забезпечують присутність в розчині сторонніх аніонів, використовуються SrSO_4 , K_2SiF_6 , CaF_2 .

Склад саморегулюючого електроліту (г/л):

Хромовий ангідрид - 250...300,

Стронцій сульфатнокислий - 6,

Кремнефтористий калій - 20;

температура 50...70°C, $i_k = 40...100 \text{ А/дм}^2$. Вихід за струмом хрому $B_c = 18...20\%$.

Переваги саморегулюючих електролітів наступні:

- стабільність складу електроліту, так як концентрація стороннього аніону підтримується автоматично;
- більш висока швидкість осадження в порівнянні зі стандартним електролітом;
- практична незалежність виходу за струмом хрому від i_k (вище 40 А/дм²) і температури (вище 50 °C);
- широкий інтервал зміни температури і катодних густин струму, що забезпечує отримання блискучих осадів;
- більш висока розсіювальна здатність у порівнянні з стандартним електролітом.

Недоліки саморегулювальних електролітів:

- їх висока агресивність,
- вища вартість,
- покриття мають нижчу твердість, ніж покриття, які осаджують з сульфатних електролітів (особливо розбавлених).

Тетрахроматні електроліти. Ці електроліти призначені виключно для отримання захисно — декоративних покриттів. Вони мають високу

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розсіювальну здатність. Вихід за струмом хрому складає більше 30%. Основна перевага вказаних електролітів – можливість ведення процесу за кімнатної температури. Але, незважаючи на всі ці переваги, дані електроліти зовсім не підходять для отримання хромового покриття з високою твердістю і зносостійкістю, оскільки мікротвердість отримуваних покриттів 300 – 500 кгс/мм². [7]

Склад тетрахроматного електроліту (г/л):

Хромовий ангідрид - 350...400,

Сульфатна кислота - 2...5,

Їдкий натрій - 40...60;

температура 18...22°C, $i_k = 40...80$ А/дм². Вихід за струмом хрому $B_c = 20...30\%$.

1.4 Аноди

При хромуванні недоцільно застосовувати розчинні аноди (з металевого хрому). Це пояснюється тим, що хром розчиняється на аноді зі значно більшим виходом за струмом, ніж осаджується на катоді, і переходить у розчин у вигляді іонів різної валентності. Крім того, хромові аноди крихкі й важко піддаються механічній обробці, тому їм не завжди можна надати потрібну форму. Внаслідок цього застосовують нерозчинні аноди, переважно зі свинцю або його сплавів, які найбільш стійкі в сульфатному електроліті.

На нерозчинних анодах відбувається виділення кисню й окиснення Cr^{3+} . У процесі електролізу їхня поверхня покривається шаром оксиду свинцю PbO_2 , який є каталізатором процесу окиснення тривалентного хрому, а також захищає свинець від подальшого руйнування. При певному співвідношенні анодної й катодної густин струму можна встановити рівновагу, при якій на аноді окиснюється така ж кількість тривалентного хрому, яка потрапляє в електроліт з катодної зони. Чим більша площа поверхні аноду (отже, чим менша анодна густина струму), тим з більшим виходом за струмом окиснюється тривалентний хром. У нормально

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

працюючих ваннах рекомендують підтримувати співвідношення анодної поверхні до катодного в межах від 1:2 до 2:3.

У даному проєкті застосовуються аноди зі свинцю марки С1, з масовим вмістом свинцю 99,98%, ГОСТ 3778-98. Аноди мають вигляд пластин.

Темно-коричнева плівка оксиду свинцю, що утворюється на аноді під час електролізу, погано проводить струм. Опір анода зростає й тому аноди варто чистити (3-4 раз на місяць).

Очищення анодів проводиться в розчині хлоридної кислоти, розбавленої водою в співвідношенні 1:1 або у 10 % розчині їдкого натрію. Потім аноди промивають водою, а оксидна плівка, що залишилася, видаляється металевими щітками.[3,4]

1.5 Опис технологічного процесу

1) *Контроль*. Контроль стану поверхні проводиться для 2...5 % деталей. На них не допускається: наявність шару мастила, емульсії, металевої стружки, пилу і продуктів корозії, проникнення частинок іншого матеріалу. Поверхня литих і кованих деталей має бути без газових раковин, шламів, спаїв, недоливів, тріщин.

2) *Монтаж*. Проводиться на монтажному столі. Деталі закріплюють на підвіску за допомогою мідного проводу.

3) *Знежирення електрохімічне*. Проводять для видалення жирових забруднень з поверхні деталей у стаціонарній ванні, яка обладнана місцевою витяжною вентиляцією.

Склад електроліту для електрохімічного знежирення (г/л):

Натрій їдкий	- 10...20,
Сода кальцинована	- 20...30,
Три натрій фосфат	- 30...50,
Скло натрієве рідке	- 3...5.

Режим електрохімічного знежирення: $t = 60...70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $i_a = 2...10\text{ А/дм}^2$, час процесу – 10...20 хв.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4) *Промивка.* Деталі промивають в стаціонарній ванні теплою проточною водою за температури – 50...60 °С, час процесу – 0,25...0,5 хв.

5) *Промивка.* Промивають деталі в стаціонарній ванні холодної проточною водою. Температура води 18...25 °С, час промивки – 0,25...0,5 хв.

6) *Травлення хімічне.* Проводять у стаціонарній ванні, яка обладнана місцевою витяжною вентиляцією (швидкість руху повітря 1...1,2 м/с). Уротропін додають в якості інгібітора корозії.

Склад розчину для травлення (г/л):

Кислота хлоридна	– 200...250,
Уротропін	– 3...5

Температура процесу – 18...25 °С, час обробки – 10-20 хв.

7) *Промивка.* Промивають деталі в стаціонарній ванні холодної проточною водою. Температура води 18...25 °С, час промивки – 0,25...0,5 хв.

8) *Хімічна анодна активація.* Ванна стаціонарна, обладнана місцевою витяжною вентиляцією (швидкість руху повітря 0,8...1 м/с). Анодна активація проводиться, щоб покращити адгезійні властивості металу основи.

Склад розчину для хімічної активації (г/л):

Кислота сульфатна	- 50...100
-------------------	------------

Температура процесу 18...25 °С, час обробки: 0,25...0,5 хв.

9) *Промивка.* Промивають деталі в стаціонарній ванні холодною проточною водою. Температура води 18...25 °С, час промивки – 0,25...0,5 хв.

10) *Хромування електрохімічне.* Проводять у стаціонарній ванні, яка обладнана місцевою витяжною вентиляцією (швидкість руху повітря 1...1,2 м/с).

Склад електроліту (г/л):

Хромовий ангідрид	- 150,
H ₂ SO ₄	-1,5.

З даного електроліту отримують покриття молочного хрому на сталі при температурі 65-75 °С й $i_k = 35$ А/дм². Вихід хрому за струмом у середньому становить 15%. Перед проведенням процесу хромування,

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

поверхня деталей катодно активується за допомогою “поштовху” струму, який має бути в 1,5 рази більшим за робочий струм.

11) *Промивка у ванні вловлювання.* Промивають деталі в стаціонарній ванні холодною водою. Температура води – 18...25 °С, час промивки – 0,25...0,5 хв.

12) *Промивка.* Промивають деталі 4...6 разовим зануренням в проточну воду при температурі 15...25 °С.

13) *Промивка.* Промивають деталі у гарячій воді з температурою 70...80 °С. Час промивки – 0,25...0,5 хв.

14) *Сушка.* Проводять у сушильній шафі. Деталі сушать сухим чистим повітрям або в сушильній шафі при 100-110 °С.

15) *Демонтаж.* Деталі демонтують на монтажному столі з пристосування.

16) *Зневоднення.* Деталі піддаються зневоднюванню при 200...230°C протягом 2...3 год в масляній ванні.[3]

17) *Знежирення в органічному розчиннику.* Знежирення таких деталей проводять Синтанолом ДС-10 – 3...5 г/л.

18) *Промивка.* Деталі промивають у стаціонарній ванні гарячою водою 70...80 °С. Час промивки – 0,25...0,5 хв.

19) *Сушка.* Проводять у сушильній шафі. Деталі сушать гарячим повітрям при температурі 70-90 °С. Якщо температура менше 70 °С, сушку виконують до повного видалення вологи.

20) *Контроль.* Проводять перевірку стану поверхні 100 % деталей згідно ГОСТ 9.301-86. Наявність непокритих місць не допускається, колір покриття має бути сріблястий з блакитним відтінком.

1.6 Карта технологічного процесу

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.6.1 – Карта технологічного процесу

№	Операція		Склад розчину і концентрація		Режим		
	Назва	Зміст	Назва хімічна формула	г/л	Час обробки, хв	t, °C	i, А/дм ²
1	2	3	4	5	6	7	8
010	Контроль	Перевірка поверхні 2-5% деталей					
020	Монтаж	Змонтувати деталі на пристосування, мідний провід					
030	Електрохімічне знежирення	Проводять катодно-анодне знежирення в лужному розчині	NaOH техн. Na ₂ CO ₃ техн. Na ₃ PO ₄ техн. Скло натрієве рідке	10...20 20...30 30...50 3...5	10	60...70	10
040	Промивка	Промивають деталі в теплій проточній воді	Вода питна		0,25...0,5	50...60	
050	Промивка	Промивають деталі в холодній проточній воді	Вода питна		0,25...0,5	18...25	
060	Травлення хімічне	Проводять травлення в розчині кислоти	HCl Уротропін	200... 250 3...5	10...20	18...25	
070	Промивка	Промивають деталі в холодній проточній воді	Вода питна		0,25...0,5	18...25	
080	Активація хімічна	Активувати в розчині кислоти	H ₂ SO ₄	50...100	0,25...0,5	18...25	
090	Промивка	Промивають деталі в холодній проточній воді	Вода питна		0,25...0,5	18...25	

Продовження таблиці 2.6.1

1	2	3	4	5	6	7	8
100	Хромування електрохімічне	Хромування в електроліті молочного хромування	CrO ₃ H ₂ SO ₄	150 1,5		65-75	35
110	Промивка у ванні вловлювання	Промивають деталі в холодній воді	Вода питна		0,25...0,5	18...25	
120	Промивка	Промивають деталі в холодній воді	Вода питна		0,25...0,5	18...25	

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ		Арк. А
Змн.З	Арк. А	№ докум. №	Підп. Підп.	Дата			21

		проточній воді					
130	Промивка	Промивають деталі в гарячій проточній воді	Вода питна		0,25...0,5	70-80	
140	Сушка	Сушать деталі сухим повітрям або в сушильній шафі			10...20	100-110	
150	Демонтаж	Демонтують деталі з пристосування					
160	Зневоднення	Видалення водню з деталей	Масло циліндрове 52		120...180	200...230	
170	Знежирення в органічному розчиннику	Видалення залишків мастила	Синтанол ДС-10	3...5			
180	Промивка гаряча	Промивають деталі в гарячій проточній воді	Вода питна		0,25...0,5	70	
190	Сушка	Сушать деталі гарячим повітрям в сушильній шафі			10...20	70...90	
200	Контроль	Перевірка поверхні 100 % деталей.					

1.7 Контроль якості покриття

Якість покриття повинна відповідати вимогам ГОСТ 9.301-86. Для контролю товщини покриття від кожної партії відбирають від 0,1 до 1 % деталей, але не менше 3 одиниць. Контроль товщини покриття визначається за допомогою ультразвукових товщиномірів – приладів, що призначені для вимірювання товщини покриттів без їх руйнування.

Принцип роботи ультразвукових товщиномірів заснований на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від границі двох середовищ, що відрізняються акустичним опором, рівним добутку щільності середовища на швидкість поширення в ній ультразвуку. Метод полягає у вимірюванні часу пробігу ультразвукових імпульсів між поверхнею основи виробу та поверхнею нанесеного покриття.

Контроль на міцність зчеплення забезпечується візуальним оглядом поверхні покриття. На контрольованій поверхні не повинне спостерігатися здуття або відшаровування покриття.

Контроль зовнішнього вигляду покриття проводиться на 100 % деталей шляхом огляду неозброєним оком. Покриття повинне бути міцно зчеплене з

основним металом, без лущення, скалок, здуття і розтріскування. На поверхні покритої деталі не є браком наступні ознаки:

- нерівномірність блиску й кольору;
- сліди від потьоків води;
- відсутність покриття в місцях контакту деталі із пристосуванням, що перебуває на неробочій поверхні деталі, крім особливих випадків, обумовлених у конструкторському документі;
- зміна інтенсивності кольору після нагрівання з метою вилучення водню й перевірки міцності зчеплення.[5]

1.7.1 Види браку та неполадки при гальванічному хромуванні

Таблиця 2.7.1– Неполадки ванн хромування та способи їх усунення [4].

Характер неполадок	Причини	Способи усунення
1	2	3
Повна або часткова відсутність покриття	Відсутність контакту між деталлю і пристосуванням або між пристосуванням і штангою	Перевірити і, якщо потрібно, зачистити контакти
Матове або пригоріле покриття, особливо на виступаючих частинах виробів	1. Висока густина струму (для даної температури). 2. Завішування деталей непрогрітими.	1. Установити правильне співвідношення між густиною струму й температурою. 2. Стежити за тим, щоб деталі перед завішуванням у ванну обов'язково були прогріті
Відсутність покриття в поглиблених місцях деталі	Надлишок сульфатної кислоти.	Понизити вміст сульфатної кислоти до нормального шляхом розведення електроліту водою й додавання хромового ангідриду.
Лускате покриття	Неправильне розташування деталей між анодами. Неправильне розташування захисних катодів	Підібрати належне взаємне розташування деталей, анодів і захисних катодів
Покриття має темний колір	1. Підвищений вміст тривалентного хрому 2. Недостатньо сульфатної кислоти 3. Низька температура електроліту	1. Проробити електроліт струмом 2. Додати сульфатну кислоту 3. Підігріти електроліт до необхідної температури
Відшаровування покриття	1. Неправильне співвідношення між температурою електроліту й густиною струму 2. Погане знежирення 3. Різке підвищення густини струму або зниження температури	1. Відрегулювати режим хромування 2. Поліпшити підготовку виробів перед хромуванням 3. Відрегулювати режим хромування

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зернистість або вздуття покриття	1. Погана підготовка перед хромуванням 2. Забруднення електроліту твердими частинками 3. Підвищений вміст тривалентного хрому	1. Поліпшити підготовку 2. Профільтрувати електроліт 3. Проробити ванну струмом
Темні смуги й крапки на покритті	Недостатньо сульфатної кислоти	Добавити кислоту
Нерівномірна товщина покриття деталей кругового перетину (поява овальності)	Присутність в електроліті сульфатної кислоти в кількості понад 1 г/л	Проробити електроліт струмом при поверхні катодів в 3 - 4 рази більше, ніж анодів. Якщо це не допоможе - змінити електроліт

1.7.2 Зняття недоброякісних хромових покриттів

Видалення дефектних хромових покриттів виконується хімічним або електрохімічним способом. Хімічний спосіб видалення полягає в розчиненні покриття в хлоридній кислоті, розбавленій у співвідношенні 1:1, при температурі розчину 25-35°C.

При електрохімічному способі хромове покриття видаляють анодним розчиненням в електроліті, який містить їдкий натрій в кількості 150-200 г/л. Режим електролізу: $t = 40 \dots 60^\circ\text{C}$, $i_a = 15 \dots 25 \text{ А/дм}^2$.

Електрохімічне розчинення покриття необхідно проводити головним чином в тих випадках, коли виникає небезпека значного наводнення деталей, наприклад при видаленні покриття з чугунних поршневих кілець або тонкостінних гартованих деталей.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 2. Технологічні розрахунки

2.1. Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів

2.1.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Зважаючи на річне виробниче завдання в 13000 м² хромового покриття, обираємо двозмінний режим роботи. Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при перервному виробництві розраховуємо виходячи з кількості календарних днів у році (365) з вирахуванням вихідних (104) і святкових (11) днів, який при п'ятиденному робочому тижні тривалістю 40 год і двозмінній роботі складає:

$$T_n = \left\{ \left(\frac{365 - 104 - 11}{5} \cdot 40 - 6 \right) \cdot 2 \right\} = 3988 \text{ год}$$

Враховуючи загальні річні витрати часу на неминучі простої обладнання (K_{np}), дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d (год) визначаємо, виходячи із T_n :

$$T_d = T_n - K_{np} \cdot T_n$$
$$T_d = T_n \cdot 0,95 = 3788,6 \text{ год}$$

Прийняли загальні витрати часу на простій обладнання – 5 % від T_n .

2.1.2. Визначення виробничої програми обладнання

Річна виробнича програма P_p повинна бути більшою від річного завдання P_z на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5...3 % ($K_{бр} = 0,005...0,03$) від P_z в одиницях, які прийняті для даного виду продукції (квадратні метри площі, штуки, кілограми ваги деталей):

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z$$
$$P_p = 13000 + 0,03 \cdot 13000 = 13390 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Добова виробнича програма $P_{доб}$ складає:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}}$$
$$P_{доб} = \frac{13390}{250} = 53,56 \text{ м}^2/\text{добу}$$

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

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

Годинна виробнича програма P_z визначається як:

$$P_z = \frac{P_p}{T_d}$$
$$P_z = \frac{13390}{3788,6} = 3,53 \text{ м}^2/\text{год}$$

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

Вид обладнання вибираємо, виходячи із розмірів оброблюваних виробів та особливостей технологічного процесу. Нанесення покриття на деталі здійснюємо у гальванічних ваннах, обладнаних підвісними пристроями

Для розрахунку обладнання маємо вихідні дані:

- річна виробнича програма: $13390 \text{ м}^2 \cdot \text{рік}^{-1}$;
- час обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіска з деталями)

з урахуванням часу на завантаження і вивантаження τ , хв;

- товщина покриття на деталях: 20 мкм;
- габаритні розміри деталі: $a = 0,21 \text{ м}$, $b = 0,075 \text{ м}$, $c = 0,003 \text{ м}$
- повна площа поверхні деталі: $S = 0,00956 \text{ м}^2$. Розрахована автоматично у програмі для проектування деталей та приладів, КОМПАС-3D v17.1

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

$$\tau = \tau_m + \tau_{об}$$

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

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_m \cdot K_e \cdot i_k}$$
$$\tau_m = \frac{20 \cdot 7,2 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,15 \cdot 0,324 \cdot 35} = 50,8 \text{ хв},$$

де $\delta_n = 20 \text{ мкм}$ – товщина покриття; $d_m = 7,2 \text{ г/см}^3$ – густина металу покриття; $B_c = 0,15$ – катодний вихід за струмом; $K_e = 0,324 \text{ з/(А} \cdot \text{год)}$ – електрохімічний еквівалент хрому; $\tau_{об} = 2 \text{ хв}$ – час обслуговування,

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

необхідний для завантаження деталей у ванну та їх вивантаження; $i_k = 35 \text{ А/дм}^2$ – середня катодна густина струму.

$$\tau = 50,8 + 2 \approx 52,8 \text{ хв}$$

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

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

$K_{об}$ – коефіцієнт, що враховує затрати часу на початковий запуск обладнання, кінцеве вивантаження ванни і на допоміжні операції;

$$n = \frac{3788,6 \cdot 60}{52,8 \cdot 1,05} = 4150$$

Тоді разове завантаження усіх ванн $Y_c, \text{ м}^2$.

$$Y_c = \frac{P_p}{n}$$

$$Y_c = \frac{13390}{4150} = 3,23 \text{ м}^2.$$

Після цього, у залежності від розмірів деталей, які передбачається обробляти, і наявного гальванічного обладнання, встановленого в цеху, розраховують кількість обладнання та його габаритні розміри.

2.1.4. Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

Внутрішні розміри ванни відповідають наступним значенням (мм):
2200×600×1100 мм. Робочий об'єм складає 1,3 м³.

$L = 2200 \text{ мм}$ – довжина ванни;

$B = 600 \text{ мм}$ – ширина ванни;

$H = 1100 \text{ мм}$ – висота ванни;

Метою цього розрахунку є встановлення можливості виконання річного виробничого завдання на існуючому обладнанні, визначення

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

величини одночасного завантаження у ванну та необхідної кількості ванн.

Визначають габаритні розміри вибраного типу ванн, встановлених у цеху за місцем практики:

Виходячи із габаритних розмірів ванни, визначають довжину l_n та висоту h_n підвісного пристрою:

$$l_n = l - 2l_1$$

$$l_n = 2,2 - 2 \cdot 0,1 = 2 \text{ м},$$

де l – внутрішня довжина ванни, 2,2 м; l_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни (приймають у межах 0,10...0,15 м).

$$h_n = h - h_1 - h_2 - h_3$$

$$h_n = 1,1 - 0,2 - 0,05 - 0,1 = 0,75 \text{ м},$$

де h – внутрішня висота ванни, 1,1 м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски, 0,2 м; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту (приймають 0,05 м); h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни (0,1 м).

Визначивши габаритні розміри підвіски і знаючи габаритні розміри деталей, визначають кількість деталей n_d , яку можна закріпити на одну підвіску (між деталями необхідно передбачити невеликі зазори, деталі не повинні екранувати одна одну).

Відстань між деталями повинна бути не менше 30 – 40 мм. Габаритні розмір деталі 210×77×3 мм. Розраховуємо кількість деталей в ряд:

$$n_d = 19 \text{ шт} = 19$$

Розраховуємо кількість деталей в висоту

$$n_d = 3,125 \text{ шт} = 3$$

Сумарна кількість деталей

$$n_d = 57 \text{ шт}$$

Площа поверхні однієї деталі 0,00956 м², тоді сумарна поверхня деталей що завантажуються на одну підвіску (м²):

$$S_n = S_d \cdot n_d$$

$$S_n = 0,00956 \cdot 57 = 0,5449 \text{ м}^2$$

Визначають поверхню одноразового завантаження у ванну S_{03} , м²:

$$S_{03} = S_n \cdot N_n$$

$$S_{03} = 0,5449 \cdot 1 = 0,5449 \text{ м}^2$$

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

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для однопозиційної ванни:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_{\pi} - 2B_a - 2B_1}{2} = 0,185 \text{ м}$$

де B – внутрішня ширина ванни, $B = 0,6$ м; B_{π} – товщина підвіски з деталями, $B_{\pi} = 0,01$ м; B_a – товщина анодів, $B_a = 0,01$ м; B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, прийmemo, $B_1 = 0,1$ м; 2 це кількість анодів для однієї ванни.

Використовуючи визначену величину одноразового завантаження ванни S_{03} , розраховуємо кількість ванн, необхідних для виконання річної виробничої програми:

$$n_B = \frac{Y_C}{S_{03}}$$

$$n_B = \frac{y_c}{S_{03}} = \frac{3,23}{0,5449} = 5,93 \approx 6 \text{ ван.}$$

Виходячи із визначеної кількості ванн, розраховують річну продуктивність вибраного обладнання, P_p' :

$$P_p' = S_{03} \cdot n_B \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}}$$

$$P_p' = 0,5449 \cdot 6 \cdot \frac{3788,6 \cdot 60}{52,8 \cdot 1,05} = 13405,2 \text{ м}^2/\text{рік.}$$

та коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_p'}$$

$$K_{зав} = \frac{13390}{13405,2} = 0,99.$$

Таким чином визначено коефіцієнт завантаження ванни

2.2. Баланс струму на гальванічній ванні

Для подальшого вибору джерела живлення проводимо розрахунок сили струму а ванні. Сила струму I , A на однопозиційній ванні визначається як добуток величини технологічної густини струму на катоді I_k , $A/\text{м}^2$ на площу деталей одноразового завантаження S_{03} , м^2 :

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{03},$$

де коефіцієнт K враховує втрати електрики на осадження металу на

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

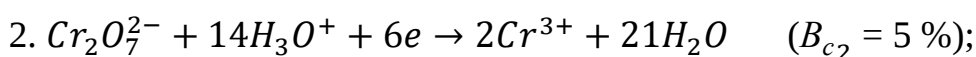
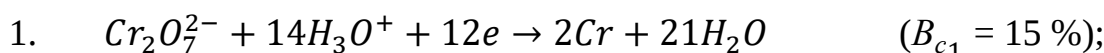
контактах підвісного пристрою, вибирають його у межах $K = 1,03...1,15$.

Сила струму на ванні хромування:

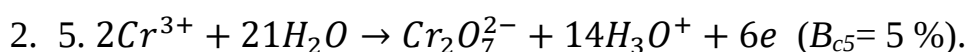
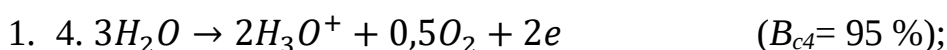
$$I = 1,03 \cdot 35 \cdot 10^2 \cdot 0,5449 = 1964,36 \text{ A}$$

У стандартному електроліті хромування на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:



Сила струму, яка витрачається на кожну реакцію:

на катоді:

$$3. \quad I_1 = \frac{I \cdot B_{c1}}{100} = \frac{1964,36 \cdot 15}{100} = 294,65 \text{ A};$$

$$4. \quad I_2 = \frac{I \cdot B_{c2}}{100} = \frac{1964,36 \cdot 5}{100} = 98,21 \text{ A};$$

$$5. \quad I_3 = \frac{I \cdot B_{c3}}{100} = \frac{1964,36 \cdot 80}{100} = 1571,5 \text{ A};$$

на аноді:

$$6. \quad I_4 = \frac{I \cdot B_{c4}}{100} = \frac{1964,36 \cdot 95}{100} = 1866,14 \text{ A};$$

$$7. \quad I_5 = \frac{I \cdot B_{c5}}{100} = \frac{1964,36 \cdot 5}{100} = 98,22 \text{ A}.$$

Таблиця 2.1– Баланс струму ванни хромування на одну годину роботи.

Надходження	Q, А·г	%	Витрати	Q, А·г	%
1	2	3	4	5	6
На катоді: від зовніш- нього джерела струму	1964,36	100	Виділення хрому за реакцією 1	294,65	15
			Відновлення Cr ⁶⁺ до Cr ³⁺ за реакцією 2	98,21	5
			Виділення водню за реакцією 3	1571,5	80
Разом	1964,36	100	Разом	1964,36	100
На аноді: від	1964,36	100	Утворення кисню за реакцією 4	1866,14	95
			Окислення Cr ³⁺ до Cr ⁶⁺ за реакцією	98,22	5

зовнішнього джерела струму			5		
Разом	1964,36	100	Разом	1964,36	100

На осадження хрому витрачається 15% підведеної електричної енергії.

2.3. Баланс напруги на гальванічній ванні

Напруга на ванні U складається із різниці електродних потенціалів анода і катода під струмом $E_a - E_k$, омичного падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, у провідниках першого роду (електродах, струмопідводах у ванні, штангах) ΔU_I та в контактах ΔU_k :

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

$$E_a - E_k = 1,8 - (-0,8) = 2,6 \text{ В}$$

Величини потенціалів електродів під струмом в електролітах, найбільш поширених у промисловості вибираємо з довідників із гальванотехніки.

Вихідні дані:

$$i_k = 3500 \text{ А/м}^2; \quad i_a = 1296,3 \text{ А/м}^2; \quad E_a = +1,80 \text{ В}; \quad E_k = -0,80 \text{ В}; \quad \chi = 1,62 \text{ См/см}; \quad l_{a-k} = 0,185 \text{ м}.$$

Омичне падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, В розраховують за формулою:

$$\Delta U_{ом} = \frac{K \cdot i_{ср} \cdot l_{a-k}}{\chi} = \frac{1,2 \cdot 2130 \cdot 0,185}{1,62 \cdot 100} = 2,92 \text{ В},$$

де $i_{ср}$ – середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м², розраховується за формулою $i_{ср} = \sqrt{i_k \cdot i_a}$; l_{a-k} – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями, χ – питома електропровідність електроліту, См · м⁻¹;

Сума падіння напруги на електродах, провідниках першого роду та в контактах ванни $\Delta U_I + \Delta U_k$ приймають у межах величини, яка не перевищує 10% загальної напруги на ванні U , В визначається як:

$$U = \frac{(E_a - E_k + \Delta U_{ом})}{0,9} = \frac{(2,6 + 2,92)}{0,9} = 6,13$$

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Delta U_l + \Delta U_k = 0,1 \cdot 6,13 = 0,613 \text{ В}$$

Мінімальна напруга джерела струму для ванни хромування:

$$U_{dc} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 6,13 = 6,743 \text{ В}$$

Таблиця 2.2 – Баланс напруги на ванні хромування

Надходження	U, В	%	Витрати	U, В	%
Напруга на ванні	6,13	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$	2,6	42,4
			Падіння напруги в електроліті ΔU_{om}	2,92	47,6
			Падіння напруги на електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + \Delta U_k$	0,613	10
Разом	6,13	100	Разом	6,13	100

1.3.3 Вибір джерела струму для гальванічної ванни

Джерело постійного струму вибирають, виходячи із сили струму і напруги на ванні із урахуванням падіння напруги в шинопроводах. Коли для нанесення гальванічного покриття передбачається використовувати декілька ванн, то для кожної ванни вибирають окремий випрямний агрегат.

Виходячи із сили струму і напруги на ванні, було вибрано джерела постійного струму, серії Flex Kraft 12В/3000А з повітряним охолодженням, який має наступні характеристики:

- номінальна напруга – 12 В;
- номінальний струм – 3000 А.

$N_{пасп} = \frac{3000 \cdot 12}{1000} = 36 \text{ кВт}$ – паспортна потужність обраного джерела струму

$$N_{dc} = U \cdot I \cdot 10^{-3} = 6,13 \cdot 1964,36 \cdot 10^{-3} = 12 \text{ кВт};$$

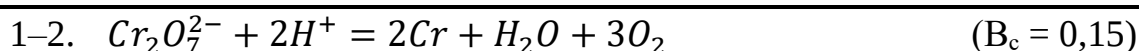
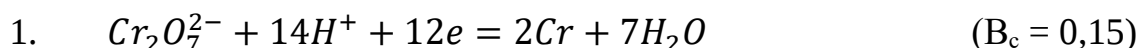
Для вибраного випрямного агрегату визначають коефіцієнт завантаження:

$$K = \frac{N_{\text{дс}}}{N_{\text{насп}}} = \frac{12}{36} = 0,33$$

де $N_{\text{дс}}$ – потужність, необхідна для виконання завданої програми.

2.4. Розрахунок споживання електричної енергії та вибір джерела живлення

Катодну і анодну реакції та сумарний процес утворення хрому можна записати у вигляді:



Зміна ентальпії для сумарної реакції 1–2 складає

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-2}^0 &= \Delta H_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}}^0 + 2\Delta H_{\text{H}^+}^0 - 2\Delta H_{\text{Cr}}^0 - \Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^0 - 3\Delta H_{\text{O}_2}^0 = \\ &= -1470 + 0 - 0 - (-286) - 0 = -1184, \text{ кДж/моль} \end{aligned}$$

Решта електрохімічних процесів пов'язана з розкладанням води



для яких

$$\Delta H_{3-4}^0 = \Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^0 - \Delta H_{\text{H}_2}^0 - 0,5\Delta H_{\text{O}_2}^0 = -286 - 0 - 0 = -286 \text{ кДж/моль}.$$

Звідки знаходимо:

$$\begin{aligned} W_{\text{дж}} &= 3,6 \cdot I \cdot \tau \cdot \left(U + \frac{\Delta H_{1-2}^0 \cdot B_{1-2}}{z_{1-2} \cdot F} + \frac{\Delta H_{3-4}^0 \cdot B_{3-4}}{z_{3-4} \cdot F} \right) = \\ &= 3,6 \cdot 1964,36 \cdot \frac{57,72}{60} \left(6,13 - \frac{1184 \cdot 0,15}{12 \cdot 96,5} - \frac{286 \cdot 0,8}{2 \cdot 96,5} \right) \\ &= 29815,7 \text{ кДж/год} \end{aligned}$$

$$W_{\text{заг}} = \frac{6,13 \cdot 1964,36 \cdot 57,72 \cdot 3600 \cdot 10^{-3}}{60} = 38147,6 \text{ кДж/год}.$$

$$W_{\text{хім}} = W_{\text{заг}} - W_{\text{дж}} = 38147,6 - 29815,7 = 8332,3 \text{ кДж/год}.$$

Таблиця 2.3 – Баланс енергії на ванні хромування

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

Прихід	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму		100	Джоулева теплота	29815,7	81
			Хімічна енергія	8332,3	19
Разом	38147,6	100	Разом	38147,6	100

1.3.5 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн

Під час нанесення гальванічних покриттів виділяється значна кількість джоулевої теплоти, що може призвести до розігріву електроліту за межі допустимої температури. Метою розрахунку є визначення максимально можливої температури, до якої може розігрітися ванна за одну годину роботи. При цьому допускається, що вся джоулева теплота витрачається тільки на розігрів ванни і не втрачається у навколишнє середовище.

Максимально можливу температуру розігріву ванни t_k °C визначається за формулою:

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

де $C_1 = 3465$ Дж/кг·К – теплоємність електроліту [11];

$d_1 = 1210$ кг/м³ – густина електроліту [12];

$V_1 = 1,16$ м³ - об'єм електроліту;

$C_2 = 1700$ Дж/кг·К – теплоємність корпусу ванни[11];

$m_2 = 70$ кг – маса ванни;

C_3 – теплоємність анодів;

m_3 – маса анодів, кг.

$$V_1 = K_{зап} \cdot V_{вани} = 0,8 \cdot (0,6 \cdot 1,1 \cdot 2,2) = 1,16 \text{ м}^3;$$

де $K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{зап} = 0,8$);

Робоча площа одного аноду складає 0,424 м², об'єм – 0,002 м³.

$$m_3 = 11300 \cdot 0,002 \cdot 2 = 45,2 \text{ кг} - \text{маса анодів у ванні};$$

$$C_3 = \frac{C_{Pb}m_{Pb} + C_{Sb}m_{Sb} + C_{Sn}m_{Sn}}{m_3}$$

C_3

$$= \frac{C_{Pb} \cdot 0,99985m_3 + C_{Bi} \cdot 0,00006m_3 + C_{Sn} \cdot 0,00005m_3 + C_{Sb} \cdot 0,00004m_3}{m_3}$$

$$C_3 = C_{Pb} \cdot 0,99985 + C_{Bi} \cdot 0,00006 + C_{Sn} \cdot 0,00005 + C_{Sb} \cdot 0,00004$$

$$C_3 = 129,8 \cdot 0,99985 + 147 \cdot 0,00006 + 226,1 \cdot 0,00005 + 302,4 \cdot$$

$$0,00004 = 129,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} - \text{теплоємність матеріалу анода};$$

$$t_k^o = 70 + \frac{38\,147\,600}{1,16 \cdot 3465 \cdot 1210 + 1700 \cdot 70 + 129,8 \cdot 36,16} = 73,95^\circ\text{C}.$$

Виходячи з розрахунків, температура до якої розігрівається електроліт за першу годину роботи, відповідає робочій температурі процесу, тому, надалі при роботі не потрібно підігрівати електроліт та підтримувати робочу температуру.

1.3.6 Розрахунок витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму

Для забезпечення теплового режиму, електроліт потрібно охолоджувати. Витрати води на одну годину роботи ванни розрахуємо за формулою:

$$G_{H_2O}^{охол.} = \frac{G_{ел-ту} \cdot C_{ел-ту} \cdot \Delta t_1}{C_{H_2O} \cdot \Delta t_2}$$

де $G_{ел-ту} = 1,16 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ - об'єм електроліту, який охолоджується;

$C_{ел-ту} = 3465 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ - теплоємність електроліту [11];

$\Delta t_1 = 73,95^\circ\text{C}$ – температура, на яку нагрівається електроліт за одну годину;

$C_{H_2O} = 4180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ - теплоємність води [11];

$\Delta t_2 = 20$ – температура, на яку нагріється теплоносіє за одну годину.

Тоді:

$$G_{H_2O}^{охол.} = \frac{1,16 \cdot 3465 \cdot 73,95}{4180 \cdot 20} = 3,55 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

1.3.7 Розрахунок витрат матеріалів

Розрахунок витрат матеріалів здійснюють з метою визначення річних потреб виробництва у вихідній сировині та матеріалах для нанесення даного виду покриття.

Розрахунок витрат анодів. Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання. Витрати розчинних та нерозчинних анодів на запуск обладнання (кг) визначаються за формулою:

$$G_{az} = n_a \cdot V_a \cdot d_a \cdot n_B,$$

де $n_a = 2$ – кількість анодних штанг у ванні;

$d_a = 11300 \text{ кг/м}^3$ – густина матеріалу анодів;

$V_a = 0,002 \text{ м}^3$ – об'єм анодів;

$n_B = 6$ – кількість ванн даного типу.

$$G_{az} = 2 \cdot 0,0016 \cdot 11300 \cdot 6 = 813,6 \text{ кг}$$

Витрати нерозчинних анодів на виконання річної виробничої програми. Такі витрати обумовлені технологічними витратами, відходами і визначаються за формулою:

$$G_{an} = S \cdot A_n \cdot 10^{-3}, \text{ кг},$$

де $S = 13390 \text{ м}^2$ – площа нанесеного покриття при виконанні річної програми $A_n = 1,6 \text{ г/м}^2$ – норма витрат нерозчинних анодів [9].

$$G_{an} = 13390 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} = 21,42 \text{ кг}.$$

Розрахунок витрат хімічних реактивів. Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання. Витрати кожного компонента електроліту G_i (кг) визначається за формулою:

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

де C_i – концентрація відповідного компонента електроліту, кг/м^3 ;

$V_B = 1,3 \text{ м}^3$ – об'єм ванни;

$K_{зан} = 0,8$ – коефіцієнт заповнення ванни [9];

$n_B = 6$ – кількість ванн даного типу.

$C_{CrO_3} = 150 \text{ кг/м}^3$;

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$C_{H_2SO_4} = 1,5 \text{ кг/м}^3.$$

$$G_{CrO_3} = 150 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 6 = 936 \text{ кг},$$

$$G_{H_2SO_4} = 1,5 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 6 = 9,36 \text{ кг}.$$

Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми.
Розрахунок витрат кожного компонента здійснюється за формулою:

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

де $V_{BT}, \text{ м}^3$ – сумарний об'єм електроліту, який виноситься із ванни при виконанні річної виробничої програми.

Величину V_{BT} можна визначити як:

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

де $S = 13390 \text{ м}^2$ – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік;

1,15 – враховує площу занурюваної частини підвісок;

$A_e = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2$ – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями;

$$V_{BT} = 1,15 \cdot 13390 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 3,0797 \text{ м}^3,$$

$$G_{CrO_3} = 150 \cdot 3,0797 = 461,95 \text{ кг},$$

$$G_{H_2SO_4} = 1,5 \cdot 3,0797 = 4,62 \text{ кг}.$$

Так, як в процесі хромування працюють із нерозчинними анодами, необхідно додатково враховувати витрати хромового ангідриду на осадження металевого хрому на катоді з розрахунком $13,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг } CrO_3$ на один м^2 поверхні при товщині осаду хрому 1 мкм . Тоді, враховуючи, що поверхня $S = 13390 \text{ м}^2$ покривається хромом товщиною $\delta = 20 \text{ мкм}$, необхідно:

$$G_{CrO_3} = 13,3 \cdot 10^{-3} \cdot 13390 \cdot 20 = 3562 \text{ кг}$$

Розрахунок витрат води. При виконанні річної виробничої програми вода витрачається на приготування електролітів та розчинів, на розкладання внаслідок електролізу, на випарування з поверхні електроліту, на промивні операції.

Витрати води на приготування електроліту. Такі витрати G'_{H_2O} (кг) визначаються за формулою:

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

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

де C_{H_2O} – вміст води в одному 1 $м^3$ електроліту, $кг/м^3$;

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

Величину C_{H_2O} можна визначити за формулою:

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

де $d_{ел} = 1,21 \cdot 10^3 \text{ кг}/м^3$ – густина електроліту [11];

$C_1, C_2, \dots, C_n$ – вміст компонентів в електролітах, $кг/м^3$.

$$C_{CrO_3} = 150 \text{ кг}/м^3$$

$$C_{H_2SO_4} = 1,5 \text{ кг}/м^3;$$

$$C_{H_2O} = 1,21 \cdot 10^3 - (150 + 1,5) = 1058,5 \text{ кг}/м^3.$$

Сумарні витрати електроліту знаходять за формулою:

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

де $V_B = 1,3 \text{ м}^3$ – об'єм ванни;

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

$n_B = 6$ – кількість ванн даного типу;

$V_{BT} = 3,0797 \text{ м}^3$ – об'єм електроліту, винесеного деталями.

$$V_{заг} = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 6 + 3,0797 = 9,32 \text{ м}^3.$$

Тоді:

$$G'_{H_2O} = 1058,5 \cdot 9,32 = 9865,22 \text{ кг}.$$

Витрати води на розкладання при електролізі. Витрати води на розкладання C''_{H_2O} (кг), розраховується за формулою:

$$C''_{H_2O} = I \cdot \frac{18 \cdot T_d \cdot B'_c}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} \cdot n_6,$$

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

$$C''_{H_2O} = 1964,36 \cdot \frac{18 \cdot 3834,2 \cdot 83}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} \cdot 6 = 12596 \text{ кг}.$$

Витрати води на винесення із газами. Витрати на винесення із газами C'''_{H_2O} (кг), визначаються за формулою:

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

$$C_{H_2O}''' = C_{H_2O}' \cdot V_{\epsilon}^t \cdot n_{\epsilon},$$

де C_{H_2O}' – вміст води, який виноситься із ванни одним 1 м³ газів, кг/м³;

V_{Γ}^t – загальний об'єм вологого газу, який виділяється за температури електролізу, м³.

Величину C_{H_2O}' визначають як:

$$C_{H_2O}' = 0,805 \cdot \frac{P_{H_2O}}{P_{\delta} - P_{H_2O}},$$

де $P_{H_2O} = 15,996$ кПа – парціальний тиск парів води за температури електролізу [12];

$P_{\delta} = 101,308$ кПа – загальний тиск парогазової суміші.

$$C_{H_2O}' = 0,805 \cdot \frac{15,996}{101,308 - 15,996} = 0,151 \text{ кг/м}^3$$

Для визначення величини V_{ϵ}^t спочатку визначають об'єми водню і кисню, приведені до нормальних умов:

$$V_{H_2}^0 = 0,418 \cdot I \cdot T_{\delta} \cdot B_c' \cdot 10^{-5} = 0,418 \cdot 1964,31 \cdot 3788,6 \cdot 80 \cdot 10^{-5} = 2488,6 \text{ м}^3,$$

$$V_{O_2}^0 = 0,209 \cdot I \cdot T_{\delta} \cdot B_c' \cdot 10^{-5} = 0,209 \cdot 1964,31 \cdot 3788,6 \cdot 90 \cdot 10^{-5} = 1399,8 \text{ м}^3,$$

і сумарний об'єм приведених до нормальних умов газів:

$$V_{\epsilon}^0 = V_H^0 + V_{O_2}^0 = 2488,6 + 1399,8 = 3888,4 \text{ м}^3.$$

Об'єм вологого газу за температури електролізу:

$$V_{\epsilon}^t = \frac{V_{\epsilon}^0 \cdot 1013 \cdot (273 + t_{\epsilon l})}{273 \cdot (P_{\delta} - P_{H_2O})},$$

де $t_{\epsilon l} = 70^{\circ}\text{C}$ – температура електролізу,

тоді:

$$V_{\Gamma}^t = \frac{3888,4 \cdot 1013 \cdot (273 + 70)}{273 \cdot (1013,08 - 159,96)} = 5977 \text{ м}^3,$$

$$C_{H_2O}''' = 0,151 \cdot 5977 \cdot 6 = 5415,16 \text{ кг}.$$

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту. Такі витрати води $C_{H_2O}^{IV}$ (кг), розраховують за формулою:

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot K_B \cdot S_e \cdot (P_{H_2O} - P_n) \cdot T_0 \cdot n_B}{P_0},$$

де $45,6$ – коефіцієнт пропорційності, $кг/(м^2 \cdot час)$;

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

$S_e = 0,96 \text{ м}^2$ – поверхня дзеркала електроліту;

$n_B = 6$ – кількість ванн даного типу;

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

Величину P_n визначають за формулою:

$$P_n = \frac{P_S \cdot \phi}{100},$$

де $P_S = 2337 \text{ Па}$ – тиск насиченої водяної пари за температури навколишнього середовища повітря;

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

$$P_n = \frac{2337 \cdot 70}{100} = 1636 \text{ Па},$$

тоді:

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot 0,86 \cdot 0,96 \cdot (159,96 - 16,36) \cdot 3981 \cdot 6}{1013,08} = 127455,4 \text{ кг}.$$

Витрати води на промивні операції. У технологічному процесі підготовки поверхні і нанесення гальванічного покриття недостатнє промивання деталей може бути причиною поганого зчеплення покриття з основним металом, появою на покритті плям та інших видів браку. З іншого боку, екологічні та економічні проблеми вимагають раціонального використання водних ресурсів.

Витрати води на промивання деталей у значній мірі залежить від кількості ступенів промивання. При триступеновому промиванні способом занурення, погодинну витрату води ${}_3V_{год}$ визначають за формулою:

$${}_3V_{год} = A_e \cdot \sqrt[3]{K} \cdot P_e, \text{ дм}^3 / год,$$

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

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$P_z = 3,53 \text{ м}^2 / \text{год}$ – годинна виробнича програма ванни;

K – критерій остаточного промивання деталей.

Його визначають за співвідношенням:

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

де $C_0 = 150 \text{ г/дм}^3$ – концентрація хромового ангідриду у ванні, після якої проводиться промивання, в перерахунку на Cr^{6+} ;

$C_k = 0,01 \text{ г/дм}^3$ – гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивки.

Коли перед промивкою деталей здійснюють уловлювання електроліту, то для розрахункових витрат води вводять коефіцієнт рівний 0,4:

$$K = \frac{150}{0,01} \cdot 0,4 = 6000;$$

$${}_3V_{\text{год}} = 0,2 \cdot \sqrt{6000} \cdot 3,53 = 54,7 \text{ дм}^3 / \text{год}.$$

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

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

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

$$V_{\text{сум}} = 54,7 \cdot 3788,6 \cdot 1,5 = 310\,854,63 \text{ дм}^3.$$

Сумарні витрати води на весь процес електролізу складають:

$$\sum V = 9,8 + 12,6 + 5,4 + 127 + 311 = 397,4 \text{ м}^3.$$

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 3. Автоматичне регулювання параметрів процесу хромування

Складність і висока швидкість протікання технологічних процесів у хімічній промисловості, їх чутливість до порушень режиму, а також їх підвищена вибухо- та вогнебезпечність і шкідливість умов роботи зумовлює підвищену увагу до питань автоматизації хіміко-технологічних процесів. Автоматичний контроль та керування технологічними процесами забезпечують високу якість продукції, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу.

У даному дипломному проекті для отримання інформації про значення основних параметрів технологічного процесу молочного хромування і автоматичного підтримання значень цих параметрів у межах, заданих нормами технологічного режиму вводиться система контрольно-вимірювальних пристроїв та засобів регулювання. Автоматичне ведення технологічного процесу анодування передбачається як з центрального пульта керування, так і за місцем встановлення приладів.

Метою автоматизації даного виробництва є нанесення хромового покриття на сталеві деталі із заданими показниками якості.

Для виконання цих вимог передбачається контроль рівня у ванні, контроль температури, контроль вмісту хромового ангідриду, контроль рН та контроль густини струму і напруги на ванні за допомогою відповідних контурів регулювання.

В автоматичних системах вимірювань зміна температури здійснюється на основі фізичних властивостей тіл, що функціонально пов'язані з температурою останніх. Процес хромування ведуть із підігрівом електроліту. Контроль та регулювання температури можна проводити різними видами термометрів.

Необхідний безперервний контроль за напругою та струмом для запобігання короткого замикання електричного кола.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

В автоматизованих системах вимірювання температури здійснюється на основі фізичних властивостей тіл, що функціонально пов'язані з температурою останніх. Процес хромування ведуть при 65...75°C. Температуру можна вимірювати різними видами термометрів.

В процесі нанесення хромового покриття може змінюватись як склад електроліту, так і його об'єм. Зміна складу електроліту може вплинути на якість осаду та вихід за струмом процесу, тому слід автоматично підтримувати постійний склад електроліту та його рівень.

В процесі нанесення хромового покриття необхідно контролювати рН електроліту один раз на день та коректувати його за допомогою добавок кислоти чи лугу. рН має бути в межах 2...2,5. [8]

Таблиця 3.1 – Параметри регулювання та контролю процесу нанесення хромового покриття

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Стадія нанесення хромового покриття, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	температура	65...75 °C	контроль, регулювання
2	Стадія нанесення хромового покриття, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	рівень	0,9 м	контроль, регулювання
3	Стадія нанесення хромового покриття, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	рН	2...2,5	контроль, регулювання
4	Стадія нанесення хромового покриття, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	Концентрація CrO ₃	150 г/л	контроль, регулювання
5	Ванна для нанесення хромового покриття	Сила струму та напруга	3928 А; 5,73 В	контроль, регулювання

3.1. Схема процесу хромування

Для контролю температури в функціональній схемі автоматизації використовуємо термоперетворювач опору (позначення 1 – 1) та автоматичний показувальний та реєструвальний вторинний прилад (позначення 1 – 2), регулювальний блок (1-3) та виконавчий механізм (1-4), який приводиться в дію магнітним пускачем МП1.

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

Для регулювання рН будемо використовувати чутливий елемент рН-метра заглибного виконання (позначення 3 – 1), а також вимірювальний перетворювач (позначення 3 – 2), вторинний прилад (позначення 3 – 3), регулятор (позначення 3 – 4), електропневматичний перетворювач (позначення 3 – 5), в якості виконавчого механізму застосовуємо мембранний пневмопривід (позначення 3 – 6).

Для регулювання концентрації електроліту використовуємо первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання якості продукту встановлений за місцем (занурений у ванну) (позначення 4 – 1), вимірювальний перетворювач (позначення 4 – 2), концентратомір встановлений на щиті (позначення 4 – 3), електричний регулятор (позначення 4 – 4), електропневматичний перетворювач (позначення 4 – 5), мембранний пневмопривід (позначення 4 – 6).

Для контролю сили струму в ванні передбачений контур 9, який складається з випрямного агрегату (5 – 1), та пульта дистанційного керування для регулювання сили струму (5 – 2).[9]

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4. Економіко-організаційні розрахунки

4.1. Визначення оптимального виду руху предметів праці

Операції з яких складається виробничий процес нанесення хромового покриття наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Операції процесу захисно–декоративного хромування

№	Назва операції	Час виконання, хв
1	2	3
1	Монтування деталей	1
2	Знежирення електрохімічне	10
3	Промивання гаряче	0,5
4	Промивання холодне	0,5
5	Травлення	10
6	Промивання холодне	0,5
7	Активація хімічна	0,5
8	Промивання холодне	0,5
9	Хромування електрохімічне	50
10	Ванна вловлювання	2
11	Промивка	0,5
12	Сушка	0,5
13	Демонтаж	0,5
14	Сушіння	5
15	Демонтування деталей	1
	Усього:	78

4.2.Визначення оптимального виду руху предметів праці (ВРПП)

Річна програма становить 13390 м². Підприємство працює цілий рік, в одну зміну в 8 годин, п'ять днів на тиждень. Кількість робочих днів

$$T_{\text{доб}} = 365 - 104 - 11 = 250 \text{ дів}$$

Тоді добова виробнича програма складає:

$$P_{\text{доб}} = \frac{13390}{250} = 53,56 \text{ (м}^2\text{/доб)}.$$

Тоді виробнича програма зміни становить:

$$P_{\text{змін}} = \frac{P_{\text{доб}}}{K} = \frac{53,56}{1} = 53,56$$

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

$$m = \frac{S_{\text{зм}}}{U_c} = \frac{53,56}{3,23} = 16,58 \approx 17 \text{ завантажень/зміна}$$

де U_c – площа разового завантаження ванни хромування.

За КВЕД – 2010 досліджуване виробництво має код 25.61, що відповідає за оброблення металів та нанесення покриття на метали.[10]

За масштабом – це масове виробництво, тому що йому характерна незмінність технології та продукції, що виготовляється. За економічним призначенням продукції, що виготовляється, підприємство належить до товарів промислового призначення.

Розрахуємо ВРПП для:

- послідовного;
- паралельного;
- синхронізованого типу.

Сумарний час всіх стадій (без врахування контролю якості, що йде паралельно до інших стадій):

$$\sum t_i = 1 + 5 + 0,5 + 0,5 + 10 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 50 + 2 + 0,5 + 0,5 + + 0,5 + 5 + 1 = 78 \text{ (хв)}$$

1. Послідовний

$$V_{\text{посл}} = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{змін}}}{\sum t_i} = \frac{480}{78} = 6,15 \approx 6 \text{ завантажень}$$

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

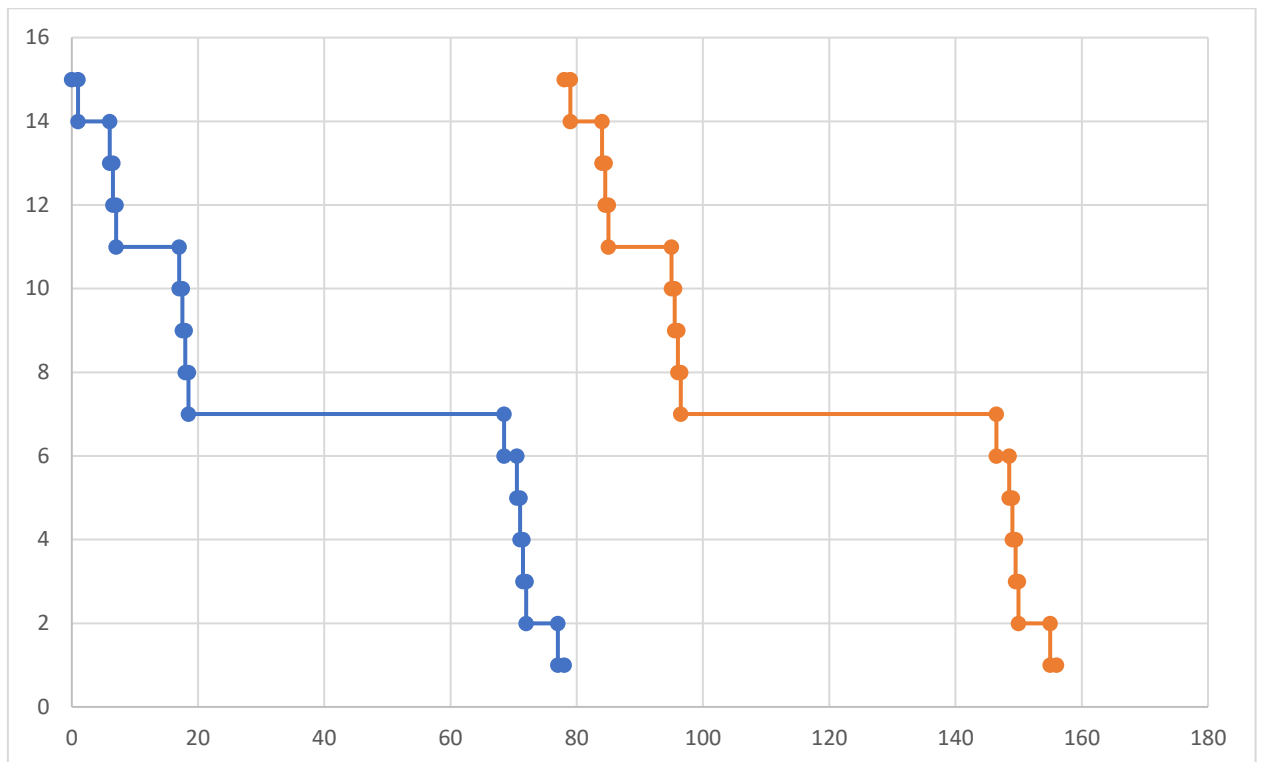


Рис.4.1. Графік послідовного ВРПП

Отже, як бачимо, при послідовному ВРПП неможливе виконання добового замовлення.

2. Паралельний

Розрахуємо денний випуск продукції при паралельному ВРПП:

$$V_{\text{пар}} = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{пар}} + t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{max}}} = \frac{480 + 50 - 78}{50} = 9,04 \approx 9 \text{ разів}$$

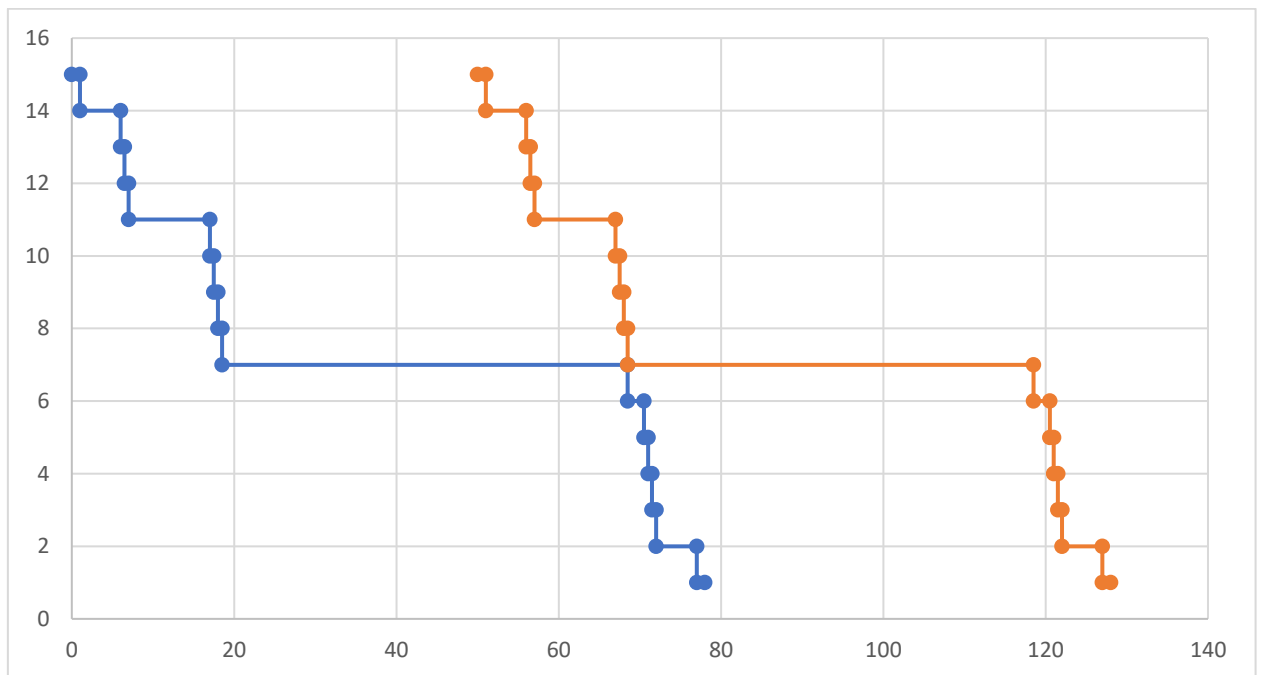


Рис. 4.2 – Графік паралельного ВРПП

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ

Арк.

47

Як бачимо, паралельне ВРПП також не задовольняє вихідних умов.

3. Синхронізований

Обираємо мінімальну необхідну кількість завантажень для забезпечення виконання річної програми. Попередньо розраховано, що необхідна кількість завантажень становить 17 завантажень/зміну. Тоді:

$$N_{\text{завант}} = 17 = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{зміни}} + R - \sum_{i=1}^{15} t_i}{R} = \frac{480 + R - 78}{R}$$

Звідси знаходимо ритм $R = 25,125$. Перевірка:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{зміни}} + R - \sum_{i=1}^{15} t_i}{R} = \frac{1480 + 25,125 - 78}{25,125} = 17 \text{ разів,}$$

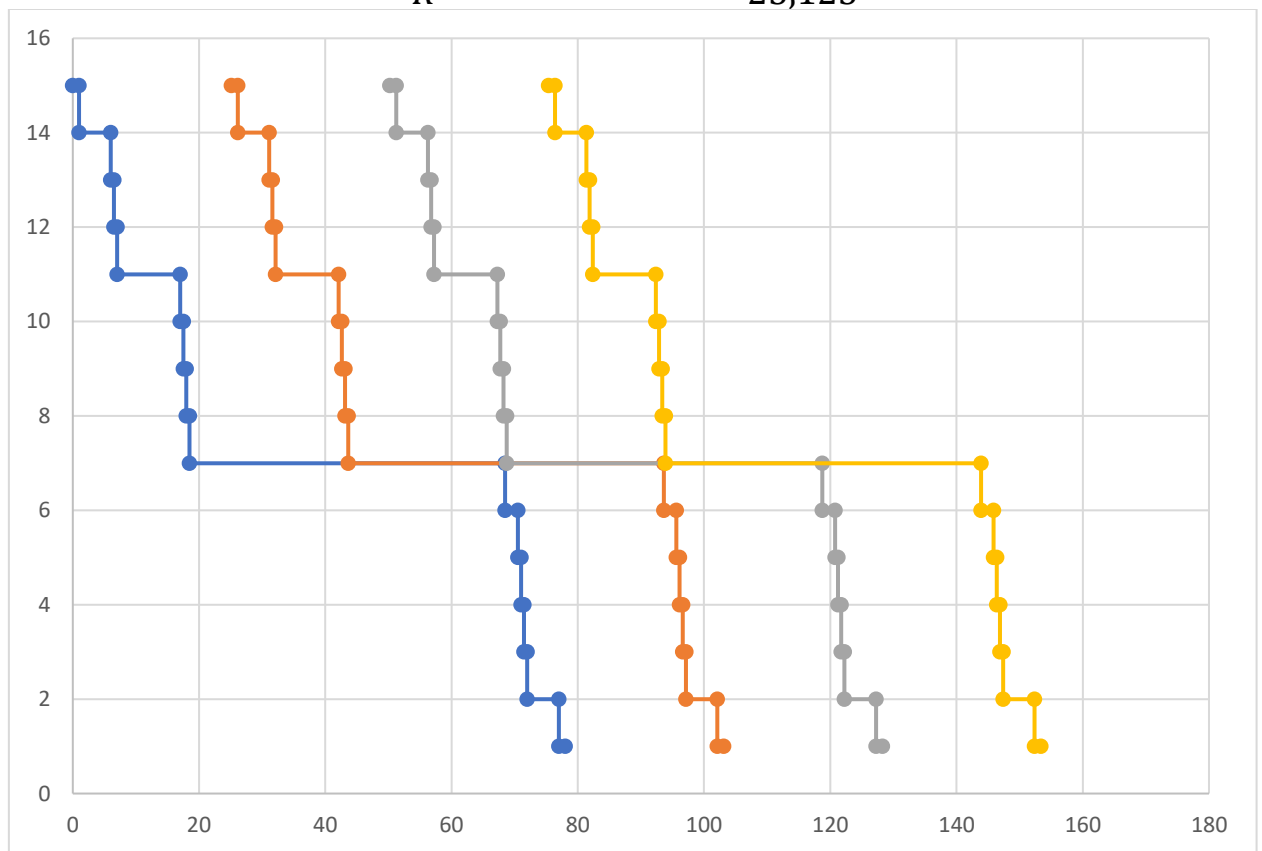


Рис. 4.3 – графік синхронізованого ВРПП

Проаналізувавши усі ВРПП бачимо, що паралельне і послідовне ВРПП не можуть бути застосовані для нашого виробництва, оскільки вони не дозволяють виконати добову програму. Єдиним варіантом, незважаючи на усі недоліки (велика кількість обладнання, а отже і обслуговуючого персоналу) є впровадження синхронізованого ВРПП з ритмом $R = 25,125$ хвилини, що дозволить виконати денну програму. З обраного ВРПП видно, що для виконання програми потрібно 15 одиниці обладнання. [10]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ

Арк.

48

4.3 Склад фондів підрозділу підприємства

Таблиця 4.2 – Склад основних фондів підприємства

№	Назва обладнання	Вартість, грн
1	Приміщення	500000
2	Ванна хромування	6·25000=150000
3	Ванна травлення	5000
4	Ванни для знежирення, промивки і вловлювання	8·2000=16000
5	Джерела струму	50000
6	Сушильна шафа	10000
7	Невитратні свинцеві аноди	25000
8	Струмopідводи, штанги	30000
9	Засоби контролю якості	5000
10	Трубопроводи	45000
11	Нематеріальні активи	27000
Всього:		863 000

Амортизація основних фондів:

1. Амортизація будівель та споруд:

$$A_{\text{б\ddot{y}\text{д}}} = H_A^{\text{б\ddot{y}\text{д}}} / T_{\text{ек}} = 500000 / 20 = 25000 \text{ грн/рік};$$

2. Амортизація приладів і обладнання:

$$A_{\text{обл}} = H_A^{\text{обл}} / T_{\text{ек}} = 286000 / 5 = 57200 \text{ грн/рік};$$

3. Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{нм..а}} = H_A^{\text{нм..а}} / T_{\text{ек}} = 27000 / 12 = 2250 \text{ грн/рік};$$

4. Амортизація трубопроводів:

$$A_{\text{тp}} = H_A^{\text{тp}} / T_{\text{ек}} = 45000 / 15 = 3000 \text{ грн/рік};$$

5. Всього:

$$A = 25000 + 40800 + 2250 + 3000 = 87450 \text{ грн/рік};$$

Таблиця 4.3 – Фонд заробітної плати цеху гальванічних покриттів

Посада	Кількість осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата, грн	
					За день	За рік
Директор	1	18	3,22	116,2742	930,2	232548,4
Головний Технолог	1	15	3	108,33	866,6	216660
Лаборант	1	11	2,5	90,275	722,2	180550
Гальванік	2	8	2,1	75,831	1213,3	303324
Вантажник	2	3	1,4	50,554	808,9	202216
Всього	7				4541,2	1135298

Примітка – мінімальна погодинна заробітна плата працівника першого розряду на 1 січня 2021 року становить – 36,11 грн.

Для виконання повного обсягу робіт на підприємстві необхідно 7 працівників: 2 гальваніка, головний технолог або директор, 1 лаборант, 2 вантажника. Тому чисельність явочна $\text{Ч}_{\text{яв}}=6$.

$$\text{Ч}_{\text{сп}} = \text{Ч}_{\text{яв}} \cdot \text{К}_{\text{пер}},$$

$$\text{К}_{\text{пер}} = T_{\text{рік}}^{\text{підпр}} / T_{\text{рік}}^{\text{прац}}$$

Тривалість роботи підприємства на рік:

$$T_{\text{рік}}^{\text{підпр}} = 250 \cdot 8 = 2000 \text{ годин};$$

Тривалість роботи працівника на рік:

$$T_{\text{рік}}^{\text{прац}} = \frac{250}{5} \cdot 40 = \frac{250}{5} \cdot 40 = 2000 \text{ годин};$$

$$\text{К}_{\text{пер}} = \frac{2000}{2000} = 1$$

$$\text{Ч}_{\text{сп}} = 6 \cdot 1 = 6 \text{ людей.}$$

Працівники працюють щоденно з 8⁰⁰ по 18⁰⁰.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Тоді нарахування на ЗП:

$$H = 0,22 \cdot ЗП = 0,22 \cdot 1135298 = 249765,56 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості річних оборотних фондів підприємства

Таблиця 4.4 – Річні оборотні фонди підприємства

Найменування	Ціна	Витрата на рік	Вартість, грн
Тринатрійфосфат технічний	27,5 грн/кг	45 кг	1237,5
Гідрооксид натрію	60 грн/кг	150 кг	9000
Кальцинована сода	12 грн/кг	40 кг	480
Кислота соляна	25 грн/л	800 л	20000
Хромовий ангідрид	125 грн/кг	936 кг	117000
Технічна сульфатна кислота	40 грн/кг	9,36 кг	374,4
Уротропін	300 грн/кг	30 кг	9000
Свинець (аноде)	160 грн/кг	80 кг	12800
Вода	25,38 грн/м ³	99350 м ³	2521503
Електроенергія	1300 грн/МВт	160 МВт	208000
Всього	2 899 394,9		

Для того, щоб угрупувати витрати підприємства і бачити складові собівартості, складено калькуляцію (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Калькуляція продукції

№	Статті затрат	Витрати на річний випуск грн/рік	% до собівартості
1	Амортизація	87 450	1,63
2	Сировина і матеріали	2 899 394,9	66,57
3	Заробітна плата виробничого та невиробничого персоналу	1 135 298	26,06
4	Нарахування на заробітну плату	249 765,56	5,74
5	Виробнича собівартість	4 371 908,46	100%

Повна собівартість (враховуючи невраховані витрати та накладні)

$$C_{\text{повна}} = C_p + 0,2 \cdot C_p + 0,4 \cdot C_p = 6\,995\,053,54 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість одиниці продукції:

$$C_v = \frac{C_{\text{повна}}}{P_p} = \frac{6\,995\,053,54}{13390} = 522 \text{ грн/м}^2$$

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

Розрахунок техніко-економічних показників

Ринкова ціна хромовання – $\Pi = 800 \text{ грн/м}^2$.

Прибуток:

$$\Pi = \Pi - C = 800 \cdot 13390 - 6\,995\,053,54 = 3\,716\,946,46 \text{ грн}$$

Капіталовкладення

$$K = O_3 + O_{63} = 863\,000 + 2\,899\,394,9 = 3\,762\,394,9 \text{ (грн.)}$$

Рентабельність виробництва

$$P = \frac{\Pi}{C} = \frac{3\,762\,394,9}{6\,995\,053,54} \cdot 100 = 53,7 \%$$

Період повернення капіталовкладень

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

$$T_{\text{пов}} = \frac{K}{\Pi} = \frac{3\,762\,394,9}{3\,716\,946,46} = 1,01 \text{ (роки)}$$

Ефективність

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{1}{T_{\text{пов}}} = 0,99$$

Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{03} = \frac{B}{O3} = \frac{6\,995\,053,54}{87450} = 80 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{B}{O63} = \frac{6\,995\,053,54}{2\,899\,394,9} = 2,4 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність основних засобів:

$$\Phi \epsilon_{03} = \frac{1}{\Phi B_{03}} = \frac{1}{80} = 0,0125 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність оборотних засобів:

$$\Phi \epsilon_{063} = \frac{1}{\Phi B_{063}} = \frac{1}{2,4} = 0,42 \text{ грн/грн}$$

РОЗДІЛ 5. Охорона праці

З технологічної частини проекту випливає, що в процесі нанесення хромового покриття, присутні шкідливі, пожежо- і вибухонебезпечні речовини й матеріали; використовується електрична, теплова енергія.

Проект було виконано з узгодженням чинних вимог охорони праці. В даному розділі на основі аналізу наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів спроектовані заходи, спрямовані на покращення умов праці та пожежної безпеки на проєктованому об'єкті.

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

5.1.1. Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99, роботи на розробленому виробництві належать до категорії середньої тяжкості Пб. У таблиці 5.1 представлені прийняті проектом санітарні норми параметрів мікроклімату.

Таблиця 5.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату

Категорія робіт	Період року	Температура повітря, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
Пб	Холодний	17–19	16–22	60–40	75	0,5	0,4
	Теплий	20–21	18–24	60–40	65	0,3	0,4

У таблиці 5.2 наведена коротка санітарна характеристика цеху.

Таблиця 5.2 – Санітарні норми параметрів мікроклімату

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

Назва виробничої дільниці, лабораторії, установки	Шкідливі речовини, що виділяються. Причини їх виділення	Група шкідливих речовин. Характеристика шкідливого впливу	Група шкідливих речовин у повітрі шкідливої зони, м/мг	Клас небезпечності шкідливої речовини	Засоби індивідуального захисту	Засоби долікарської допомоги	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Клас виробництва згідно СН-245-71	Санітарна група технологічного процесу згідно СНиП 2.09.04-87
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна хімічного та електрохімічного знежирення	NaOH	При попаданні на шкіру, слизові оболонки, очі утворюються сильні хімічні опіки	2	2	Захисні окуляри, гумові рукавички, прогумований хімічно-стійкий одяг	Промити слабким розчином оцтової кислоти	ХГА «АГАТ»	IV	3а
Ванна хромування	H ₂ SO ₄	Подразнює верхні дихальні шляхи, при потрапленні на шкіру викликає хімічні опіки	5	2	Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавиці	При потрапленні на шкіру – промити великою кількістю води, промити дихальні шляхи 2% розчином соди	ХЖ-130 хроматограф рідинний	IV	3б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна хромування	CrO ₃	Подразнює верхні дихальних шляхів, при потраплянні на шкіру викликає хімічні опіки	5	2	Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавиці	При потраплянні на шкіру – промити великою кількістю води, або розчином спирту і соляної кислоти	ХЖ-130 хроматограф рідинний	IV	36
Ванна травлення	HCl	Подразнюючі, викликає хімічні опіки	2	3	Респіратор класу А, захисні окуляри, халат	Промити великою кількістю води, 2% розчином соди	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2	IV	36

Температура поверхні ванни $t_{\text{п}} = t_{\text{опт.р.з}} + 2^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{п}} = 75 + 2 = 77^{\circ}\text{C}$. Оскільки $t_{\text{п}} > 43^{\circ}\text{C}$, поверхню ванни передбачено обшити теплоізолюючим матеріалом – пінопластом.

Нормовані параметри мікроклімату в проектованому цеху здійснюються за рахунок механізації і автоматизації важких і трудомістких робіт, раціонального розміщення і теплоізоляції устаткування, агрегатів, комунікації й інших джерел, що випромінюють на робочих місцях тепло.

Працівники будуть забезпечені засобами індивідуального захисту – респіраторами типу PROMASK, спецодягом типу "П" і гумовим взуттям. Двічі на місяць за допомогою пиломіра буде проводитися аналіз повітря робочої зони на вміст токсичних речовин. Проектом передбачена механічна загальнообмінна, місцева і комбінована система вентиляції (витяжна і припливна). Припливна вентиляція служить для подачі до приміщення чистого вентилязованого повітря замість вилученого. Припливне повітря

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					56

піддається спеціальній обробці (очищенню, нагріванню, зволоженню тощо). Витяжна вентиляція видаляє з цеху відпрацьоване повітря. Їхня продуктивність збалансована з урахуванням можливості перетікання повітря між суміжними приміщеннями. Мінімальна кратність повітрообміну не менше 5. Також на виробництві передбачена аварійна вентиляція. В цеху встановлюється установка з питною водою.

Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції

Ванни у гальванічному цеху оснащені бортовими відсмоктувачами, для відведення шкідливих парів від ванн. Для їх роботи необхідна велика витрата повітря, тому вони встановлюються тоді, коли застосування більш економічного типу відсмоктувачів неможливо. Необхідно розрахувати кількість повітря, що відводиться двосторонніми бортовими відсмоктувачами від ванни хромування.

Розміри ванн: $a = 2,2$ м, $b = 0,6$ м.

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

$$L_{omc} = 3600 \cdot a \cdot K_z \cdot K_t \cdot b \cdot \sqrt{(t_p - t_n) \cdot n \cdot b^3}, m^3 / год,$$

де a , b – довжина та ширина ванни, м;

t_p , t_n – температура розчину та навколишнього середовища;

K_z – коефіцієнт запасу (приймається 1,5);

K_t – коефіцієнт запасу для бортового відсмоктувача;

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

– для двостороннього бортового відсмоктувача;

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

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

Таблиця 5.3 – Коефіцієнти і результати розрахунків витрат повітря

Процес	$t_p, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	K_t	Кількість ванн, шт	$L_{від}, m^3/год$
--------	-----------------	-----------------	-------	--------------------	--------------------

Знежирення (NaOH)	65	20	1,09	1	7196
Хромування	75	20	1,09	2	15912,6

$$\Sigma=23108,6$$

Розрахуємо втрати тиску у трубопроводах:

$$P = \sum (R \cdot l + Z), \text{кг/м}^2$$

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

– опір одного погонного метру трубопроводу.

Для трубопроводу діаметром 560 мм, довжиною 20 м та швидкості руху повітря 1,5 м/с значення $R = 0,005 \text{ кг/м}^2$.

Втрати на місцевих опорах:

$$Z = \sum \xi \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}, \text{кг/м}^2$$

Місцеві опори:

Витяжна шахта з зонтом $\xi = 1,86$ при $h/d = 0,2$

Коліна з закругленими кромками $\xi = 0,28$ при $r/d_e = 0,4$; $\alpha = 90^\circ$

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

Відбір з колектору $\xi = 0,5$, фільтр $\xi = 148$

$$Z = 36,9 \text{ ,кг/м}^2$$

$$P = \sum (0,005 \cdot 20 + 36,9) = 37 \text{кг/м}^2$$

Згідно витрат повітря та втрат тиску вибрано вентилятор Ц4–70 №4 А4095 2а: потужність на валу 0,5 кВт; частота обертів 1400 об/хв. Двигун А02–11–6 комплектується разом з вентилятором.

Для зниження виділення шкідливих речовин в повітрі робочої зони передбачено реалізацію наступних заходів [11]:

- приготування і коректування розчинів ванн здійснюється при дії місцевої вентиляції;
- замінюються за можливістю шкідливі і горючі речовини менш токсичними і негорючими матеріалами;

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- в процесі приготування травильних розчинів кислоти вводимо тонким струменем в холодну воду при ретельному перемішуванні;
- для зменшення виносу електролітів з поверхні ванн в склад електроліту введено інгібітори, присадки, ПАР.

5.1.2. Виробниче освітлення

На проектуваному об'єкті передбачається природне, штучне і суміщене освітлення. Система природного освітлення – комбінована, тобто сполучення верхнього й бічного освітлення. Проектом передбачене використання систем штучного робочого, аварійного, евакуаційного, ремонтного і охоронного освітлення. Норми освітлення, згідно ДБН В.2.5-28:2018, наведені в табл. 5.4

Таблиця 5.4 – Норми освітленості і КПО цеху

Розряд і під-розряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, %	
	Штучне		Природне	Суміщене
	Комбіноване	Загальне	Верхнє і бічне	Верхнє і бічне
IVв	500	200	4 і 1,5	2,4 і 0,9
VIIIa	—	150	3 і 1	1,8 і 0,6

Для освітлення виробничого приміщення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ–40(G13) та ЛБ–60(G13). Для місцевого освітлення передбачене аварійне і евакуаційне освітлення, для якого використають світильники "Альфа". Для контролю освітленості в приміщеннях використовують люксметри Ю–117 з періодичністю 1 раз в рік і після ремонту освітлювальних установок і заміні ламп. Для евакуації людей передбачено освітлення на підлозі основних проходів та на сходах не менше 0,5 лк, на відкритих майданчиках – не менше 0,2 лк [9]

5.1.3. Виробничий шум і вібрація

Джерелом шуму в цеху є механізми: вентилятори, електродвигуни, компресори тощо. Рівень шуму в цеху залежить від одночасної роботи всіх видів устаткування і, за результатами вимірювання, складає 76...80 дБА при допустимому значенні, згідно ДСН 3.3.6.037–99, 80 дБА. Отже рівень шуму в цеху відповідає вимогам.

Зниження шуму в проекті досягається наступними способами:

- ізоляцією джерел шуму засобами звукоізоляції і звукопоглинання (перегородки і кожухи, перешкоджаючи розповсюдженню шуму);
- акустичною обробкою приміщень, а зокрема, приміщення звукопоглинаючих пористих матеріалів;
- зменшенням шуму в джерелі їх утворення – мінімальні допуски, ретельне балансування, демпфірування вібрації деталей, що співударяються;
- архітектурно–планувальним рішенням: відстань від стіни до обладнання з робочої сторони лінії 1,5 м, з неробочої 1,2...1,5 м; площа виробничого приміщення на одного працюючого не менше 4,5 м; мінімальна висота приміщення 5 м, при цьому площа приміщення зайнята лінією нікелювання, не перевищує 25 % загальної площі гальванічного цеху.

Для виміру і аналізу шуму і вібрації передбачені шумовимірювачі ВШВ–003 і частотні аналізатори.[12]

5.1.4. Електробезпека

Ураження людей електричним струмом може виникнути в результаті дотику до струмоведучих елементів устаткування, які опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції, а також ураження кроковою напругою і через електродугу.

Згідно ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008, допустимі рівні напруг дотику (U_d) і струму, що проходить через тіло людини (I_L): при нормальному режимі роботи електричного встаткування $U_d = 2В$, $aI_L = 0,3mA$; при аварійному (відповідно 36 В и 6 мА).

Електричне устаткування цеху живиться від трифазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти напругою 380/220В із глухозаземленою нейтраллю.

Найчастіше відбувається однофазний дотик людини до мережі змінного струму. Сила струму, який проходить через людину, розраховується за формулою:

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

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де U_{ϕ} — 220 – фазна напруга, В;

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

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

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

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

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

Розрахункові значення перевищують нормативними, а отже, при порушенні вимог ПУЕ, в цеху можуть бути ураження електричним струмом з важкими наслідками.

Даний цех відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою. Для забезпечення електробезпеки проект передбачає наступні технічні способи і засоби: занулення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, захисне відключення, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, попереджувальні плакати, огорожувальні пристрої, блокування, сигналізація, знаки безпеки. Безпека експлуатації при нормальному режимі електроустановок дотримується за рахунок наступних чинників: ізоляцією струмоведучих частин (опір ізоляції не менше 0,5 МОм), недоступністю струмоведучих частин, малими напругами (на переносних світильниках).

Проектом прийнято також електрозахисні засоби: діелектричні гумові рукавички, інструмент з ізолюючими рукоятками і струмошукачі, гумові ізолюючі підставки. Також передбачено застосування оголених дротів та апаратів з оголеними струмопровідними частинами, які потрібно розміщувати в спеціальних ящиках, що закриваються суцільними або сітчастими огороженнями.

5.1.5. Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

При обслуговуванні ванн електрохімічного нанесення особливо небезпечною може бути підвищена температура. У процесі експлуатації можливі наступні небезпечні ситуації під час протікання процесів: потрапляння гарячого електроліту на дерев'яний міст; одержання опіків працівником внаслідок дотику до ванни; обвалення ґрат насадок

					<i>ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

регенератора під час їхньої заміни і внаслідок цього одержання забитих місць. Причинами одержання травм від машини можуть бути необережне поводження з автооператорною лінією, машинами штамповки деталей, де є відкриті обертові частини, що рухаються. На підставі результатів аналізу потенційно небезпечних технологічних процесів і устаткування, проектом передбачаються чинники, що забезпечують безпечні і здорові умови праці [12]. Вони спрямовані на усунення безпосереднього контакту працюючих зі шкідливими речовинами, застосуванням дистанційних приладів керування процесами, засобів механізації на стадіях вивантаження, завантаження і транспортування вихідних матеріалів, проміжних продуктів і готової продукції.

Проектом передбачені засоби захисту працівників в небезпечних зонах. До них відносяться огорожувальні пристрої, що перешкоджають проходженню людини в небезпечну зону; прилади, що сигналізують і подають інформацію про роботу технологічного устаткування, про зміни протягом процесу, попереджають про небезпеки і повідомляють, про місце їхнього знаходження і при необхідності автоматично відключають аварійні ділянки; швидкість руху транспортних засобів (автокари, електровози) у цеху не більше 5 км/ч; всі вантажопідйомні механізми будуть піддаватися періодичному технічному огляду. По всьому цеху розміщені попереджувальні плакати та знаки для інформування працюючих про можливі небезпеки і першу допомогу при одержанні різного роду травм.[13]

5.2. Пожежна безпека

Внаслідок перевантаження електроустаткування, утворення окислів у газах, що відходять від ванни, утворення займистої суміші водню з повітрям, в цеху можливе виникнення джерел загоряння.

Причинами короткого замикання є пошкодження електроізоляції дротів, контакт неізовльованих дротів та струмопровідних предметів, дія на дроти хімічно активних речовин. Для попередження захисту ізоляції струмовідводу від дії хімічних речовин використовують гофрований

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

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, під'єднані в мережу послідовно. Попередження перегріву проводів від перехідних опорів досягається збільшенням площі опору контактів, застосування пружних контактів.

Для гасіння джерел пожежі на робочих місцях обладнуються протипожежні щити з набором засобів пожежогасіння, вогнегасники СУБ–7, пінні вогнегасники і ящики з піском. А також виробничі приміщення та склади обладнанні внутрішніми пожежними кранами – елемент внутрішнього пожежного водопроводу. Між виробничими будинками передбачені пожежні розриви 10 м. Для попередження вибухів газопроводів їх будуть періодично перевіряти на герметичність.

Будівлю буде захищено від прямого удару блискавки, у відповідності до СН 305 – 77 за допомогою блискавковідводу, що складається з блискавкоприймача, струмопровідника і заземлювача.. У цеху, окрім стаціонарної системи пожежогасінні, на ділянках наявні вуглекислотні та порошкові вогнегасники ОУБ–8–2 і ОПС–6.

Показники пожежо– та вибухонебезпечності речовин і матеріалів для процесу хромовання занесено до таблиці 5.5.

Проект передбачає охоронно–пожежну сигналізацію автономного типу. Кабелі високої напруги проведено в броньованих оболонках. Перед початком електролізу трубопроводи (подачі і відведення електроліту) передбачено продувати повітрям та аналізувати результати продувки. Для захисту електроустаткування від загоряння проводитиметься регулярне технічне обслуговування і фарбування електроустаткування негорючими матеріалами.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 5.5 – Показники пожежо– та вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Назва дільниці	Речовини, що мають об'їг у виробництві	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах	Горючість, займистість	Показники пожежо та вибухонебезпечності			Межа запалення		Вибухонебезпечні суміші з повітрям		Вогнегасні засоби	Категорія приміщення за ОНТП 24-86	Клас приміщення і зовнішніх установок згідно з ПУЕ	Категорія об'єкта і тип зони захисту і влаштуванню блискавкозахисту згідно з БН 305-77
				Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання	% об'ємних	мг/м ³	Категорія	Група				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Гальванічна ванна	Вінілпласт	Тв.	Важкозаймисті	–	580	580	–	–	–	–	Вода, піна	В	02	2Б
	H ₂	Газ	Легкогорюча	132	324	57,5	47,5	45-82,5	2с	Т1	Інертний газ			
По-міст	Дерево, гума	Тв.	Горюча	170	400	400	–	–	–	–	Вода	В	02	2Б
Ізоляція	Текстоліт	Тв.	Важкогорюча	–	358	358	–	–	–	–	Вогнегасники рідинні, вуглекислий. СУБ-7, пісок, піна			

РОЗДІЛ 6. Очищення стічних вод

Для гальванічних виробництв характерними забруднювачами стічних вод є кислоти, луги, а найбільше – солі важких металів. У даному дипломному проекті розробляється технологія нанесення захисного хромового покриття і для даного процесу основними забруднювачами є сполуки Cr^{6+} (ГДК 0,05 мг/л).

Для знешкодження хромовмістних стічних вод найбільше поширення отримали різні модифікації реагентного методу і електрофлотаційний метод очищення.

Електрохімічні методи очищення мають ряд переваг перед хімічними: спрощена технологічна схема при експлуатації виробничих установок; легка автоматизація їх роботи; менші виробничі площі, необхідні для розміщення очисних споруд; можливість обробки стічних вод без їх попереднього розбавлення; зменшення солевмісту стоків і зменшення кількості осадів після обробки стічних вод [14].

При електрофлотації електролітично отримані газові пухирці, підіймаючись в об'ємі рідини, взаємодіють з частинками забруднень, в результаті чого відбувається їх взаємне злипання, обумовлене зменшенням поверхневої енергії частинки і бульбашки газу на межі розділу фаз "рідина–газ". Густина частинок, що утворилися, менше густини води, що обумовлює їх транспорт на поверхню рідини і накопичення там флотошламу, який періодично видаляється з апарату.

Електрофлотаційні апарати випускаються двох типів: безреагентний електрохімічний модуль очищення і електрохімічний модуль глибокої доочистки стічних вод.

Безреагентний електрохімічний модуль призначений для очищення стічних вод від іонів важких та кольорових металів. Модуль складається з електрокоректора рН, двосекційного електрофлотатора, допоміжних ємностей для очищеної і промивної води, дозуючих насосів.

Робота модуля заснована на процесах утворення дисперсної фази

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

нерозчинних гідроксидів важких металів та їх електрофлотації.

Очищення стічних вод від іонів Cr^{6+} проводиться після реагентного відновлення до Cr^{3+} з використання в якості відновника Na_2SO_3 . Стічна вода, що містить іони Cr^{3+} подається в змішувач, куди також подаються попередню відфільтровані через фільтри механічної та адсорбційної очистки стоки від знежирення, травлення та нікелювання, потім стоки із змішувача подаються в катодну камеру електрокоректора рН, де за рахунок електролізу води відбувається виділення водню і підлогування середовища до рН утворення гідратів хрому. В анодній камері, відокремленій від катодної мембраною, відбувається накопичення аніонів, за рахунок чого відбувається знесолення води.

Установка працює в безперервному режимі і забезпечує вилучення іонів металу у вигляді його гідроксиду, доведення рН до оптимальних значень, отримання аноліту для переробки флотошлам. Флотошлам видаляється пінозбірним пристроєм і йде на регенерацію.

За допомогою безреагентного електрохімічного модуля очищають стічні води з початковою концентрацією іонів важких металів не більше 300 мг/л до кінцевої концентрації не більше 1,0 мг/л. Використання модуля дозволяє відмовитися від реагентного господарства, що включає реактори, відстійники, фільтри. Модуль легко поєднується з будь-яким іншим очисним обладнанням.

Електрохімічний модуль глибокого доочищення призначений для глибокого доочищення стічних вод. Робота модуля заснована на електрофлотаційному видаленні малорозчинних сполук важких кольорових металів в основному у вигляді фосфатів (розчинні фосфати вводяться окремо) при рН=7–10 за рахунок їх флотації бульбашками водню і кисню. Використання нерозчинних анодів з титану з оксидним покриттям забезпечує високу якість очищення і не призводить до вторинного забруднення води. Флотошлам (основою якого є ортофосфат хрому) видаляється з електрофлотатора пінозбірним пристроєм і використовується в інших

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

промислових галузях, наприклад як барвник для фарб. [14]

Модуль включає в себе двосекційний електрофлотаційний апарат, допоміжні ємності для флокулянта і реагенту, дозуючі насоси. Після електрофлотатора стоки подаються на установку зворотнього осмосу попередньо пропускаючи через фільтр адсорбційної очистки. Далі очищена вода може бути придатна для повторного використання.

Зважаючи на річний фонд робочого часу, який становить 1922 год та загальні витрати води 397000 л на рік, годинна витрата води становить 206,5 л/год. Тоді обираємо установку зворотнього осмосу продуктивністю 1000 л/год.

На рис.6.1 представлена принципова схема двоступеневого електрофлотаційного очищення (використано обидва модулі).

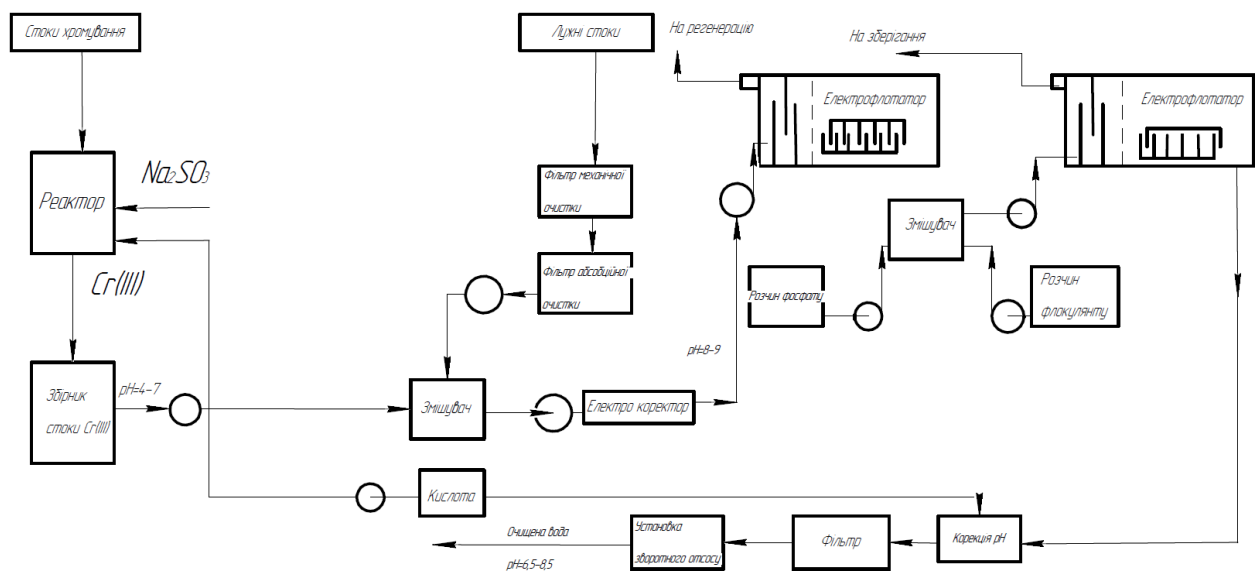


Рисунок 6.1 – Принципова схема двоступеневого електрофлотаційного очищення стічних вод

РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ

1. Працювати з ваннами хромування можна тільки при працюючій і справній бортовій вентиляції, що забезпечує повне поглинання шкідливих газів і випарів. При зупинці вентиляції в процесі хромування, роботу ванни негайно потрібно зупинити. Вентиляція повинна включатися не пізніше, ніж за 15 хв до початку роботи.

2. Хромовий ангідрид токсичний і тому, при роботі з ним необхідно дотримувати наступні запобіжні заходи:

- працювати тільки в товстих гумових рукавичках, халаті й гумових чоботах;
- категорично забороняється працювати із розчинами хромового ангідриду особам, що мають захворювання шкіри або поранення шкіри рук; уникати попадання на шкіру хромового ангідриду;
- якщо розчин хромового ангідриду потрапив на шкіру, негайно видалити струменем холодної води;
- при незначних пораненнях під час роботи, негайно захистити пошкоджене місце водонепроникним бинтом, а після закінчення роботи обов'язково звернутися до лікаря;
- для попередження вражень носової порожнини, дихальних шляхів і слизової оболонки, перед роботою її необхідно змастити чистим (аптечним) вазеліном або сумішшю, що складається із трьох частин вазеліну й однієї частини чистого ланоліну; корисно також змазувати руки вище рукавичок;
- у випадку появи яких-небудь ознак захворювання дихальних шляхів, шлунка або шкіри, слід негайно звернутися до лікаря;
- перед обідом ретельно мити руки теплою водою з милом;
- Категорично забороняється: вживати їжу, палити в цеху, а також виносити спецодяг з цеху;

— перемішувати електроліт і завантажувати хромовий ангідрид або сірчану кислоту можна тільки в захисних окулярах; при попаданні хромової кислоти в очі, їх необхідно негайно промити водою й одразу звернутися до лікаря;

— всі робітники цехів (особливо хромування) повинні періодично проходити медичний огляд;

3. Всі роботи варто проводити з дотриманням «Правил техніки безпеки при травленні металів і нанесенні на них гальванічних і хімічних покриттів».

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВОК

У даному бакалаврському проєкті був розроблений технологічний процес гальванічного нанесення молочного корозійностійкого хромового покриття товщиною 20 мкм на штангу штангенциркуля. Для цього передбачається використання поліпропіленових гальванічних ванн, що мають 1 катодну та по 2 анодні штанги.

У проєкті, для нанесення молочного хромового покриття, використовується розбавлений сульфатний електроліт. Цей електроліт характеризується простотою приготування, високою розсіювальною здатністю, твердістю та безпористістю покриття.

Для нанесення електролітичного покриття проєктом розроблено гальванічний процес продуктивністю 13390 м²/рік, що складається з операцій підготовки поверхні, хромування, дехромування.

Складено баланс струму, напруги та енергії гальванічної ванни хромування. Приведено тепловий розрахунок гальванічної ванни та витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму. Розраховано витрати матеріалів.

Обрано джерело струму для живлення гальванічної ванни.

В економічній частині проєкту розрахована собівартість нанесення покриття, а також основні техніко-економічні показники спроектованого цеху.

Проведений аналіз умов праці робітників на гальванічному виробництві і передбачені заходи, які забезпечують безпеку праці у спроектованому цеху.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Список використаної літератури

1. Богорад Л.Я. Хромирование, - Изд. 5-е, перераб. И доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1984 г. – 97 с.
2. Гальванотехника: Справ. изд. / Ф.Ф.Ажогин, М.А.Беленький, И.Е.Галль и др. – М.: Металлургия, 1987 – 736 с.
3. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению – Москва: Издательство «Техносфера», 2006 – 216 с.
4. "Гальванические покрытия в машиностроении" Справочник. В 2-х томах/Под ред. М.А. Шлугера. - Москва "Машиностроение" 1985р. 240 с
5. Справочник по электрохимии /Под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1981 – 488 с.
6. Краткий справочник физико-химических величин. Издание девятое / Под ред. А.А. Равделя и А. М. Пономаревой. – Спб.: Специальная Литература, 1998. – 232 с.
7. Мотронюк Т.І. Технології нанесення гальванічних покриттів : консп. лек. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського.
8. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с.
9. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 4,7 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с.

					<i>ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

10. Економіка, організація та управління хімічними підприємствами [конспект лекцій під ред. доц. Підлісної О.А.]/ Київ, 2017.
11. С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Векшин «Безопасность производственных процессов», издательство «Машиностроение», 1985г.
12. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
13. 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.
14. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство под ред. В.Н.Кудрявцева. – М.: Глобус, 2002.- 352 с.
15. Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб. / О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.І. Букет, С.В. Фроленкова – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 147 с.

					ДП ХЕ7210.1450.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А

Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметру	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
УСТАТКУВАННЯ ТА ПРИЛАДИ								
1 – 1	Температура	Електролітична ванна	60±5 °С	Електролітична ванна	Термоперетворювач опору з уніфікованим сигналом, діапазон вимірювання: 0...80 °С, допустимий тиск: Р _у = 25 МПа, основна похибка 1,5%, І _{вих} = 4...20 мА	ТСМУ-0288	1	НВО «Електро-термія», м. Луцьк
1 – 2	Температура	Електролітична ванна	60±5 °С	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад вхідні сигнали: 0...50 мВ, 0...100 мВ, 0...5 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М;	ДИСК-250	1	ЗАТ «Промышленная группа», «Метран», м. Челябинськ

1-3 2-3 3-4 4-4		Електролітична ванна		Щит керування	Універсальний одноканальний аналоговий ПІД-регулятор	МИК-111Н	4	ТОВ «МИКРОЛ»
1-4	Витрата	Трубопровід	24,6 м ³ /год 8,0-8,1 дм ³ /год 0,2-0,3 дм ³ /год	Трубопровід	Механізм виконавчий мембранний пневматичний прямої дії з позиціонером,, $P_{вх} = 0,02 \dots 0,1$ МПа	МІМП ПІХ 05	1	АТ «Тизприбор», м. Москва
2 – 1	Рівень	Електролітична ванна	0,90...0,92 м	Електролітична ванна	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; $P_{вих} = 0,02 \dots 0,1$ МПа, діапазон температура-тур: (-50)...100 °С; діапазон вимірювання: від 0,2 до 1,5м, клас точності 1	УБ-П	1	ВО «Тепло-прибор», м. Рязань

2 – 2	Рівень	Електролітична ванна	0,90...0,92 м	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, сигналізувальний, реєструвальний зі станцією керування, $P_{\text{вх}} = 0,02 \dots 0,1$ МПа	ФК 0071	1	АТ «Тизприбор», м. Москва
2 – 4 3 – 6 4 – 6	Рівень	Електроліт, Електролітична ванна		Щит керування	Пневмопровід мембраний	ДКС0, 6-75	3	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
3-1	Концентрація (рН)	Електролітична ванна	2,0...2,5	Електролітична ванна	Прилад рН-метр цифровий промисловий 0...14	рН101 П	1	ООО «ВП Дилис»

3-2 4-2	Концентрація	Електролітична ванна		Щит керування	Перетворювач пневмoeлектричний Основна похибка $\pm 0,25\%$ $P_{вх} = 0,02 \dots 0,1$ МПа $I_{вих} = 0 \dots 5$ мА	ПЕП-11	2	ВАТ “Мікрол” м. Івано-Франківськ
4 – 3 4 – 4	Концентрація	Електролітична ванна		Щит керування	Автоматичний індикаторний, сигналізувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М, вхідний сигнал $I_{вх} = 4 \dots 20$ мА	ДИСК-250	2	ЗАТ «Промышленная группа «Метран»», м. Челябинськ
3 – 5 4 – 5	Концентрація	Електролітична ванна		Щит керування	Перетворювач електропневматичний $I_{вх} = 4 \dots 20$ мА $P_{вих} = 0,02 \dots 0,1$ МПа Межі похибки $\pm 0,5\%$	МТМ8 10	2	«Мікротерм» м. Сєвєродонецьк

5 – 1	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 3928 \text{ A}$, $U = 5,73 \text{ В}$	Електроди	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\text{max}} = 6000 \text{ A}$, $U_{\text{max}} = 12 \text{ В}$	ВАК-6300-12У4	1	ЗАТ МДК «ЕЛАРП», м. Москва
5 – 2	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 2387 \text{ A}$, $U = 5,73 \text{ В}$	Щит керування	Пульт дистанційного керування для випрямного агенту ТЕ1-3200/12Т-ОУХЛ4	ПДУ ТЕ1	1	ЗАТ МДК «ЕЛАРП», м. Москва

Формат	Зона	Поз.	Позначення			Найменування			Кіл.	Примітки
						<u>Документація</u>				
A4			ДП ХЕ7210.1450.000			Пояснювальна записка			77	
A1			ДП ХЕ7210.1450.001 СК			Складальне креслення			1	
						<u>Складальні одиниці</u>				
		1	ХЕ7210.1450.001 – 01			Корпус			1	
		2	ХЕ7210.1450.001 – 02			Опора катодна			2	
		3	ХЕ7210.1450.001 – 03			Опора анодна			4	
		4	ХЕ7210.1450.001 – 04			Зміювик охолоджуючий			1	
		5	ХЕ7210.1450.001 – 05			Бортовий відсмоктувач			2	
						<u>Деталі</u>				
		6	ХЕ7210.1450.001 – 06			Штанга анодна			2	
		7	ХЕ7210.1450.001 – 07			Накладка струмопідвідна			6	
						<u>Стандартні вироби</u>				
		8				Гвинт М6-12 ГОСТ 17473-80			12	
										</