

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

Хіміко-технологічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології електрохімічних виробництв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. зав. кафедри

Юрій ГЕРАСИМЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

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

**спеціальності 161 – «Хімічні технології та інженерія»**

(код і назва)

на тему: Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології нанесення  
захисно – декоративного хромового покриття

Виконала: студентка IV курсу, групи ХЕ-71

(шифр групи)

Голодна Катерина Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент Косоїн О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант:

Автоматизація

(назва розділу)

ас. Хібеба М. Г.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Охорона праці

(назва розділу)

к.т.н., доц. Полукаров Ю.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Економічна частина

(назва розділу)

к.т.н., доц. Підлісна О.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2021

**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

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

Юрій ГЕРАСИМЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» червня 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

Голодній Катерині Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології нанесення захисно-декоративного хромового покриття», керівник проєкту Косогін О.В., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «26» 04 2021 р. № 1069 – с

2. Термін подання студентом проєкту 10.06. 2021 р.

3. Вихідні дані до проєкту Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт саморегулюючий. Завдання з продуктивності 10000 м<sup>2</sup>/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 хромування, екологічна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1) Креслення гальванічної ванни, 2) Схема технологічного процесу, 3) Схема автоматизації, 4) Економічна частина, 5) Очищення стічних вод

## 6. Консультанти розділів проекту

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 « 16 » квітня 2021 року.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Характеристика деталей, що підлягають обробці	До 23.05.2021	
2	Вибір виду покриття	До 23.05.2021	
3	Вибір підготовчих операцій	До 25.05.2021	
4	Вибір складу електроліту для нанесення гальванічного покриття	До 26.05.2021	
5	Вибір завершальних операцій	До 26.05.2021	
6	Складання карти технологічного процесу	До 31.05.2020	
7	Виконання технологічних розрахунків	До 05.06.2020	
8	Виконання креслень ванн	До 05.06.2020	
9	Складання схеми очищення стічних вод	До 05.06.2020	
10	Складання схеми автоматизації основного процесу	До 05.06.2020	
11	Виконання економічних розрахунків	До 05.06.2020	
12	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 05.06.2020	
13	Оформлення пояснювальної записки	До 06.06.2020	
14	Оформлення графічної частини проекту	До 06.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Катерина ГОЛОДНА

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

(підпис)

Олексій КОСОГІН

(ініціали, прізвище)

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Пояснювальна записка	112	
3	A1	ДП ХЕ7117.1450.001 СК	Складальне креслення гальванічної ванни для захисно-декоративного хромування	1	
4	A2	ДП ХЕ7117.1450.002 СхА	Схема автоматизації процесу захисно-декоративного хромування	1	
5	A1		Схема технологічного процесу захисно-декоративного хромування	1	
6	A1		Техніко-економічні показники гальванічного цеху захисно-декоративного хромування	1	
7	A1		Схема очищення стічних вод	1	

				ДП ХЕ7117.1450.000			
		ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Голодна К. О.				Відомість дипломного проєкту	Лист 1	
Керівн.	Косогін О. В.						Листів 1
Консульт.							
Н/контр.							
В. о. зав.каф.	Герасименко Ю.С.						
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. 7Е-61		

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту**

на тему: Гальванічні покриття в машинобудуванні . Розробка технології нанесення захисно-декоративного хромового покриття

Київ – 2021 року

## РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології нанесення захисно-декоративного хромового покриття»

Голодна К. О. – Київ: «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», ХТФ, ХЕ-71

Дипломний проект, 2021 рік, кількість сторінок – 113 , таблиць – 21 , рисунків – 5 , джерел – 15 .

У проекті розроблено технологію нанесення захисно-декоративного хромового покриття переднього перехідника диску автомобіля з підшаром міді, нікелю та зовнішнього шару хрому товщиною 1 мкм. Тришарове покриття сприяє підвищенню корозійної стійкості деталей, а також надає їм привабливого зовнішнього вигляду. Хром осаджується у саморегулюючому електроліті при катодній густині струму  $50 \text{ А/дм}^2$  і температурі  $55^\circ\text{C}$ . У проекті наведені технологічні розрахунки, а також схеми і креслення вибраної деталі та обладнання, розроблена схема автоматичного регулювання процесу хромування. Присутні розрахунки економічної частини організації виробництва. Розроблена схема очистки стічних вод реагентним методом, перелічені шкідливі фактори виробництва та способи уникнення їх впливу при дотриманні техніки безпеки.

Ключові слова: гальванічні покриття, хромування, гальванічна ванна, стаціонарна ванна, баланс напруги, розрахунок витрат, електроліз, стічні води.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>			
Изм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Голодна			Розробка технології нанесення захисно-декоративного хромового покриття	Лит.	Арк.	Арк.
Перев.		Косогін					1	2
						«КПІ ім. Ігоря Сікорського»,		
Н. Контр.						ХТФ, ХЕ-71		
Затв.		Герасименко						

## ABSTRACT

"Galvanic coatings in mechanical engineering. Development of technology for applying protective and decorative chrome coating "

Holodna K.O. - Kyiv: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", CTF, XE-71

Diploma project, 2021, number of pages - 113, tables - 21, figures - 6, sources -15.

The project develops the technology of applying a protective and decorative chrome coating of the front adapter of the car disk with a sublayer of copper, nickel and an outer layer of chromium with a thickness of 1 micron. The three-layer covering promotes increase of corrosion resistance of details, and also gives them attractive appearance. Chromium is deposited in the self-regulating electrolyte at a cathode current density of 50 A / dm<sup>2</sup> and a temperature of 55°C. The project provides technological calculations, as well as diagrams and drawings of the selected part and equipment, developed a scheme for automatic regulation of the chrome plating process. There are calculations of the economic part of the organization of production. The scheme of sewage treatment by the reagent method is developed, the harmful factors of production and ways of avoiding their influence at observance of safety measures are listed.

Key words: galvanic coatings, chrome plating, galvanic bath, stationary bath, voltage balance, cost calculation, electrolysis, wastewater.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>					
<i>Изм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розроб.</i>		<i>Голодна</i>			<i>Розробка технології нанесення захисно-декоративного хромового покриття</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Арк.</i>		
<i>Перев.</i>		<i>Косогін</i>					1	2		
<i>Н. Контр.</i>						<i>«КПІ ім. Ігоря Сікорського»,</i>				
<i>Затв.</i>		<i>Герасименко</i>				<i>ХТФ, ХЕ-71</i>				

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	10
РОЗДІЛ 1. Технологічна частина .....	11
1.1. Вибір виду та товщини гальванічного покриття .....	11
1.2. Вибір технологічного процесу .....	12
1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу .....	12
1.2.2. Підготовка поверхні виробів перед нанесенням гальванічного покриття .....	13
1.2.3. Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття .....	19
1.2.4. Приготування та коригування електроліту хромування .....	22
1.2.5. Анодні матеріали .....	23
1.2.6. Вибір і обґрунтування завершальних операцій .....	25
1.2.7. Контроль якості гальванічного покриття .....	26
1.2.8. Карта технологічного процесу .....	28
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ .....	32
2.1. Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів .....	32
2.1.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання .....	32
2.1.2. Визначення виробничої програми обладнання .....	32
2.1.3. Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів .....	33
2.1.4. Розрахунок нового обладнання .....	35
2.2. Розрахунки технологічних параметрів .....	38
2.2.1. Баланс струму на гальванічній ванні .....	38
2.2.2. Баланс напруги на гальванічній ванні .....	40
2.2.3. Вибір джерела струму для гальванічної ванни .....	44
2.2.4. Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії .....	44
2.3. Тепловий розрахунок гальванічних ванн .....	47
2.3.1. Тепловий розрахунок для гальванічних ванн, які працюють за підвищеної температури ....	48
2.4. Розрахунок витрат хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми ....	53
2.4.1. Витрати анодів на початковий запуск обладнання .....	54
2.4.2. Розрахунок витрат хімічних реактивів на початковий запуск .....	54
2.4.3. Розрахунок витрат хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми .....	56
2.5. Розрахунок витрат води .....	58
2.5.1. Витрати води на приготування електроліту .....	58

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

2.5.2.Витрати води на розкладання при електролізі.....	60
2.5.3.Витрати води на винесення з газами.....	60
2.5.4.Витрати води на випаровування з поверхні розчину .....	62
2.5.5.Витрати води на промивні операції. ....	63
2.5.6.Загальна витрата води .....	67
<b>РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ХРОМУВАННЯ .....</b>	<b>68</b>
3.1. Процес нанесення хромового покриття, як об'єкт автоматизації .....	69
3.2. Схема процесу хромування.....	71
3.3. Опис технологічної схеми процесу.....	71
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО – ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ.....</b>	<b>73</b>
4.1 Підприємство у промисловій структурі держави.....	73
4.2 Технологічна підготовка виробництва .....	75
4.2. Визначення середньорічної тривалості виробничого циклу, річного випуску продукції .....	80
4.3. Розрахунок необхідної кількості співробітників.....	81
4.4. Баланс використання оборотних фондів .....	82
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>88</b>
5.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів .....	88
на проєктованому об'єкті. Заходи з охорони праці .....	88
5.1.1. Повітря робочої зони .....	88
5.1.2. Виробниче освітлення .....	94
5.1.3. Виробничий шум і вібрація .....	95
5.1.4. Електробезпека .....	96
5.1.5. Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання.....	98
5.2. Пожежна безпека.....	99
<b>РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД.....</b>	<b>102</b>
6.1. Вплив гальваніки на екологічну безпеку.....	102
6.2. Спосіб очистки стічних вод внаслідок процесів виробництва гальванічного хрому.....	102
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>106</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>107</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>109</b>
<b>ДОДАТОК Б.....</b>	<b>111</b>

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		а

## ВСТУП

Нанесення гальванічних покриттів - це процес осадження частинок одного металу на інший з допомогою електролізу. Є одним із основних способів захисту металів від корозії та зміцнення деталі, одночасно може відігравати і декоративну роль. Саме тому гальванічні покриття мають досить поширені напрямки застосування. Їх наносять на деталі, що використовуються в машинобудуванні, приладобудуванні, судно- та літакобудуванні, в аерокосмічній, ювелірній та медичній областях. Гальванічний процес включає в себе: підготовку виробів, електроліт, два електроди та електричний струм.

Тип покриття, яке буде наноситись поверх заданої деталі, обирають, враховуючи його призначення, умови експлуатації та матеріал основи. До особливостей гальванічних покриттів відносять те, що їх товщину можна контролювати в процесі нанесення, регулюючи умови електролізу.

Електроосадження хрому на деталі є досить промислово важливим, тому часто застосовується в машинобудуванні для деталей паросилового обладнання, пароводяної арматури, клапанів, вентилів патрубків, а також деталей, що працюють на знос в агресивних середовищах.

Метою дипломного проекту є розробка технології нанесення пластичного хромового покриття на сталеві деталі продуктивністю 10 тис. м<sup>2</sup> на рік.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

## РОЗДІЛ 1. Технологічна частина

### 1.1. Вибір виду та товщини гальванічного покриття

Оброблювальна деталь являє собою передній перехідник колесного диска автомобіля (рис. 1.1, рис. 1.2). Гальванічне покриття покращує фізико-механічні властивості перехідника (забезпечує захист від корозії та ерозії, забезпечує підвищену стійкість сталі до газової корозії, підвищує зносостійкість, збільшує твердість поверхні) та сприяє його декоративному оздобленню.

Матеріал деталі: сталь 10. Маса: 1,17 кг. Площа: 0,04096 м<sup>2</sup>.

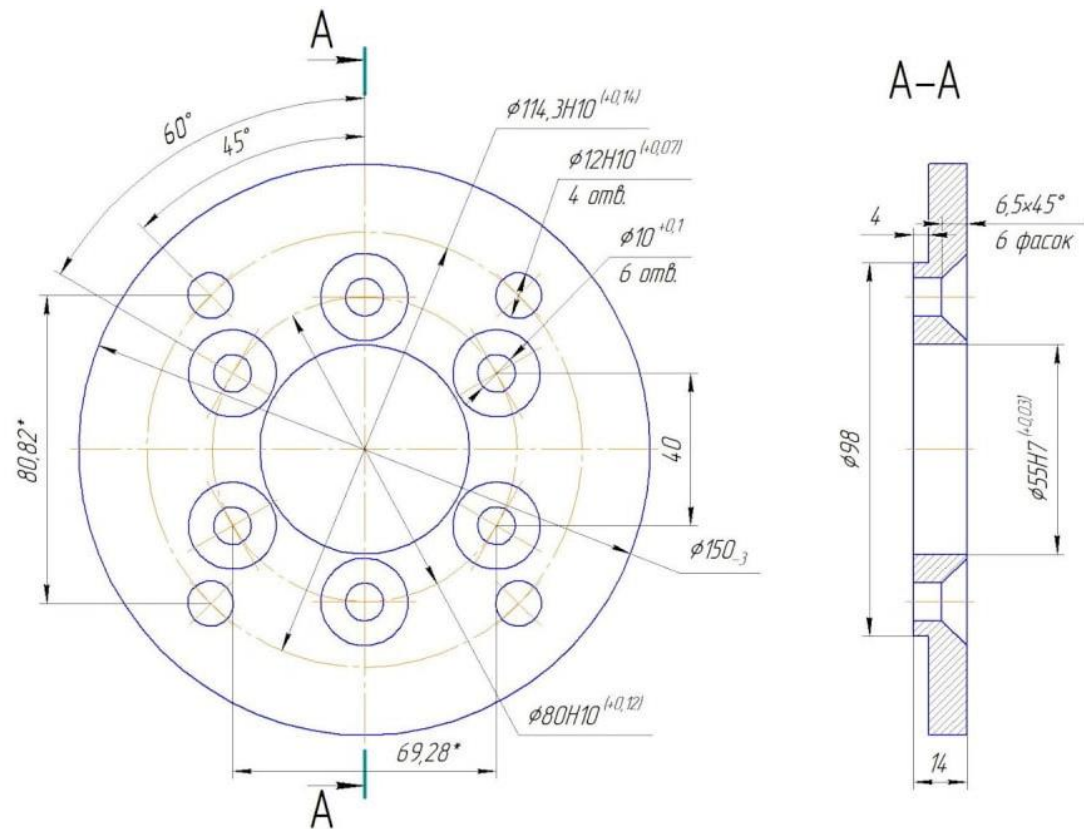


Рисунок 1.1 – Ескіз обраної деталі

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

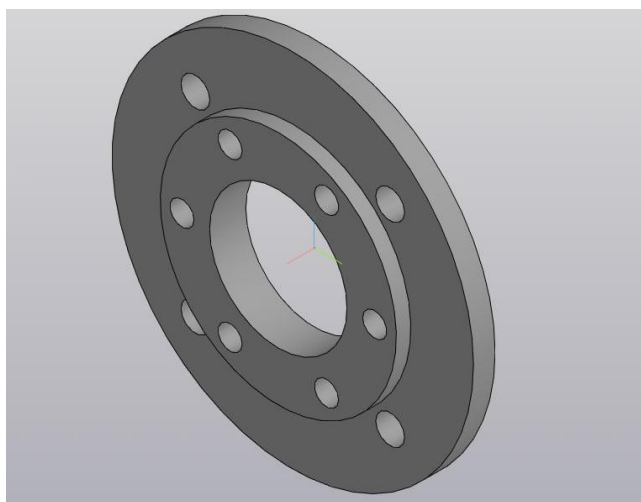


Рисунок 1.2 – Зображення 3D-моделі

Умови експлуатації деталі: механічні навантаження, агресивні середовища за рахунок впливу солей, присутніх у розчинах дощових вод і пилу. Середні температури, в яких буде працювати деталь становлять 10 - 50 °С. Деталь з часом зношується, тому періодично необхідна заміна [1].

Зважаючи на все, про що йшлося вище, обираємо тришарове захисно-декоративне покриття, рекомендоване у ГОСТ 9.303-84, згідно з яким товщина основного хромового шару становить 1 мкм. Оскільки деталь працює в атмосферних умовах суші в помірному кліматі, то обираємо підшар міді товщиною 24 мкм та підшар нікелю товщиною 12 мкм.

## 1.2. Вибір технологічного процесу

### 1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу

Хромові покриття використовують в якості захисно-декоративного та корозійно-стійкого покриття, що експлуатується в умовах тертя. Метал сріблясто-білого кольору з блакитним відтінком і має високу хімічну стійкість, твердість, зносостійкість.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

Покриття, що містять хром в якості зовнішнього захисного шару, в атмосферних умовах закономірно вкриваються тонкою і міцною оксидною плівкою, саме за рахунок цього хром відрізняється своєю високою корозійною стійкістю ( $E_{c,r} \rightarrow 0,2 \text{ В}$ ) і тривалий час зберігає колір і блиск. До особливостей хромових покриттів також відносять те, що вони не окиснюються на повітрі та зберігають свої властивості навіть при нагріванні до 450...500 °С.

Покриття мідь – нікель – хром має незначну пористість та високу корозійну стійкість [2].

Захисно-декоративному хромуванню піддаються деталі зі сталі, міді, латуні, алюмінію. Блискучий хром має високу пористість, тому зазвичай при декоративному хромуванні сталеві вироби попередньо покривають міддю і нікелем для забезпечення корозійної стійкості виробів.

Деталі, які піддаються обробці перед нанесенням покриття повинні відповідати вимогам, які конкретизовані у ГОСТ 9.301-78 та у ГОСТ 2789-73. Саме таким чином з'являється можливість отримання максимальної кількості якісних покриттів, що відповідають поставленій задачі.

### 1.2.2 Підготовка поверхні виробів перед нанесенням гальванічного покриття

Перед початком процесу гальванічного нанесення покриття, оброблювальні деталі отримують у кладовій та попередньо проводиться контроль робітником стану поверхні 2-5 % деталей. При цьому не допускається: наявність шару мастила, емульсії, металевої стружки, задирок, пилу і продуктів корозії, проникнення частинок іншого матеріалу (ГОСТ 9.301-86). Поверхня

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

кованих деталей повинна бути без газових раковин, шламів, спаїв, недоливів і тріщин.

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

**Електрохімічне знежирення.** Даний тип знежирення проводимо у лужних розчинах з метою видалення тонких жирових плівок, які залишилися після інших способів знежирення. Розчин для проведення знежирення має наступний склад (в г/дм<sup>3</sup>):

Натрій гідроксид техн..(ГОСТ 2263-79) – 10...20,

Сода кальцинована техн.. (ГОСТ 5100-73) – 20...30,

Три натрій фосфат техн.. (ГОСТ 201-76) – 30...50,

Температура розчину 70° С – 90 ° С. Тривалість обробки 15 - 20 хвилин. Зазвичай сталеві деталі знежирюють на катоді 3...10 хв., а потім на аноді 1-5 хв. при густині струму 2...10 А/дм<sup>2</sup>.

Після знежирення поверхні деталі промиваються теплою водогінною водою, що має температуру 50...60 °С. Процес відбувається впродовж 0,25...0,5 хв у ванні теплового промивання. Після чого деталі промивають ще проточною холодною водогінною водою у ванні холодного промивання впродовж 0,25...0,5 хв.

**Травлення хімічне.** Травлення – це процес видалення оксидних плівок та інших хімічних сполук з поверхні деталей в розчинах кислот, солей або лугах. При цьому відбувається виявлення структури. На поверхні чорних металів (наприклад, заліза) можуть знаходитись різні оксиди та гідроксиди.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		1 /

Розчин травлення повинен швидко розчиняти оксидну плівку, але не взаємодіяти з металом основи. Тому травлення проводять у хлоридній кислоті, Швидкість розчинення оксидів в HCl збільшується з ростом її концентрації, Склад розчину травлення (в г/дм<sup>3</sup>):

Кислота соляна (ГОСТ 857-78) – 200...250

Інгібітор катапін – 3...5.

Процес проводять за температури 18 – 25° С протягом 20 – 40 хвилин. Після цього деталі знову обов'язково промивають у холодній проточній воді за температури 18..25 °С протягом 0,25 – 0,5 хвилин.

**Активація хімічна.** Активація поверхні деталей - це процес видалення найтонших плівок оксидів або солей, які утворюються при знежиренні, промиванні, транспортуванні деталей, і виявлення кристалічної решітки металу основи перед нанесенням покриттів. Активація проводиться безпосередньо перед осадженням покриття. Склад розчину, в якому проводиться активація поверхні (в г/дм<sup>3</sup>):

Кислота сірчана (ГОСТ 2184 – 82) – 50...100.

Процес триває протягом 0,25 – 0,5 хвилин за температури 18 - 25° С. Після чого деталі треба промити в холодній проточній воді протягом 0,25 – 0,5 хвилин.

**Промивання.** Промивання здійснюється протягом 0,25 – 0,5 хвилин за температури 18 - 25° С.

**Міднення електрохімічне.** Обираємо ціанідний електроліт міднення, оскільки у даному електроліті відсутній контактний обмін, також вони мають високу розсіювальну здатність. При їх застосуванні мідь осідає безпосередньо на залізних і сталевих деталях і створюється добре зчеплення з основним металом Після утворення розчину комплексної солі міді його аналізують на вміст вільного ціаніду, коригують, вводять добавки і доливають водою до робочого рівня ванни.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Блискуче міднення деталей, виготовлених із сталі, можна здійснювати в електроліті наступного складу (г/л) і режимі роботи:

Ціанід міді (ГОСТ 19347-86) – 40...60;

Ціанід натрію вільний (ГОСТ 4207-75)– 10...15;

Гідроксид натрію (ГОСТ 2263-79) – 10...15;

Тіоціанат амонію (ГОСТ 19522-74) – 10...15;

Натрій тартрат (ГОСТ 5845-79) – 3...10 (блискоутворююча добавка);

Сульфат мангану (ГОСТ 435-77) – 0,03...0,05 (блискоутворююча добавка);

$t, ^\circ\text{C}$  – 50...60;

$i_k, \text{A}/\text{дм}^2$  – 1...3;

pH 10,7...12,8;

реверс –  $\tau_k : \tau_a = 10:1$ ;

$V_{ск} = 70...90\%$ ;

перемішування електроліту або хитання штанг; обов'язкова фільтрація електроліту, можливе використання реверсу  $\tau_k : \tau_a = 10:1$  [3].

Як аноди використовується мідь марки М0 і М1 [4].

Розрахунок тривалості процесу міднення:

$$\tau = \frac{\delta \cdot d_M \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{V_c \cdot K_e \cdot i_k}, \text{ хв}$$

$$\tau = \frac{24 \cdot 8,64 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,8 \cdot 2,38 \cdot 3} = 21,78 \text{ хв}$$

де  $\delta_{п} = 24$  мкм – товщина покриття;  $d_M = 8,64$  г/см<sup>3</sup> – густина металу покриття;  $V_c = 0,80$  – катодний вихід за струмом;

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

$K_e = \frac{64}{1 \cdot 26,8} = 2,38 \text{ г/(А} \cdot \text{год)}$  – електрохімічний еквівалент міді;  $i_k = 3 \text{ А/дм}^2$  – середня катодна густина струму.

**Промивання.** Здійснюють в збірнику непроточною холодною водою. Деталі промиваються у ванні з водою - методом занурення. Промивання проточною холодною водою. Деталі промиваються у ванні з водою - методом занурення [5].

**Активація хімічна.** Склад розчину, в якому проводиться активація поверхні (в г/дм<sup>3</sup>):

Кислота сульфатна (ГОСТ 2184 – 82) – 50...100.

Процес триває протягом 0,25 – 0,5 хвилин за температури 18 - 25° С. Після чого деталі треба промити в холодній проточній воді протягом 0,25 – 0,5 хвилин.

**Нікелювання електрохімічне.** Нікель наносимо з метою кращого зчеплення покриття з поверхнею, також він зумовлює можливість нанесення поверх даного шару основний, блискучий хромовий.

Склад електроліту нікелювання (в г/дм<sup>3</sup>):

Нікель сульфат (ГОСТ 2665 - 73) – 250...300

Борна кислота (ГОСТ 9656 – 75) – 30...40

Бутиндіол 36% розчин ( ТУ 64-5-111-74) – 0,5...1,5

Нікель двохлористий шестиводний ( ГОСТ 4038 – 79) – 40...60

Сахарин (ТУ 64-6 126-80) – 1...2

Фталамід (ГОСТ 17.2.3.01-86) – 0,08...0,1

Режим електролізу:  $i_k = 2-8 \text{ А/дм}^2$ ; температура 55-65 °С; рН 4,3...5,1.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

Сахарин додають з ціллю зниження наводнення нікелю, а бутиндіол та талімід сприяють вирівнювальну здатність електроліту та робочому інтервалу густин струму. У такому елеткроліті осади формуються блискучими та мають високу твердість.

Корегування рН електроліту здійснюють 0,3...3 % розчином NaOH або 3 % розчином H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Аноди виготовляють з нікелю марки Н-1 [5].

Розрахунок тривалості процесу нікелювання:

$$\tau = \frac{\delta \cdot d_{\text{п}} \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{V_{\text{с}} \cdot K_{\text{е}} \cdot i_{\text{к}}}, \text{ хв}$$

$$\tau = \frac{12 \cdot 8,908 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,96 \cdot 1,1 \cdot 3} = 20,24 \text{ хв}$$

де  $\delta_{\text{п}} = 12$  мкм – товщина покриття;  $d_{\text{м}} = 8,908$  г/см<sup>3</sup> – густина металу покриття;  $V_{\text{с}} = 0,96$  – катодний вихід за струмом;

$K_{\text{е}} = \frac{59}{2 \cdot 26,8} = 1,1$  г/(А · год) – електрохімічний еквівалент нікелю;  $i_{\text{к}} = 3$  А/дм<sup>2</sup> – середня катодна густина струму.

**Промивання.** Здійснюють у збірнику непроточною холодною водою.

Активація хімічна. Проводиться перед основним процесом – нанесенням хромового покриття.

Склад розчину, в якому проводиться активація поверхні (в г/дм<sup>3</sup>):

Кислота сірчана (ГОСТ 2184 – 82) – 50...100.

Процес триває протягом 0,25 – 0,5 хвилин за температури 18 - 25° С. Після чого деталі треба промити в холодній проточній воді протягом 0,25 – 0,5 хвили

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

### 1.2.3. Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття

Електроліти, що застосовуються при нанесенні хромового покриття поділяють на сульфатні, сульфатно-кремнійфторидні та тетрахроматні.

Найчастіше у гальванічному виробництві хромового покриття застосовують сульфатні електроліти так, як вони є простими у приготуванні та містять всього два основних компоненти: хромовий ангідрид 150...350 г/л і сірчану кислоту 1,5...3,5 г/л. Важливо, щоб в електролітах даного складу постійно підтримувалось стале співвідношення концентрацій  $\text{CrO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 100:1$ . Якщо концентрація оксиду хрому буде зростати, то вихід за струмом і розсіювальна здатність електроліту будуть зменшуватись. Проте в концентрованих електролітах менший опір розчину, отже, менші витрати енергії.

Цей тип електролітів є чутливим до температури. При низьких температурах ( $< 35\text{ }^\circ\text{C}$ ) утворюються крихкі матові сірі осади, які не знайшли практичного застосування. При середніх температурах ( $45\text{-}65\text{ }^\circ\text{C}$ ) утворюються блискучі осади, які при цьому є ще й твердими та зносостійкими. Саме при середніх температурах відбувається нанесення тришарового хромового захисно-декоративного покриття на сталеві деталі. Осади молочного хрому одержують при високих температурах ( $> 65\text{ }^\circ\text{C}$ ) і використовують їх в якості захисних покриттів, оскільки вони мають достатню пластичність та малу пористість.

Робочі густини струму у сульфатних електролітах перебувають у межах  $10\text{...}100\text{ А/дм}^2$ .

Сульфатно-кремнійфторидні електроліти відносять до саморегулюючих, вони містять аніони  $\text{SO}_4^{2-}$  і  $\text{SiF}_6^{2-}$ , їх вводять в надлишку у вигляді важкорозчинних солей  $\text{SrSO}_4$ , і  $\text{K}_2\text{SiF}_6$ , таким чином, підтримується постійна концентрація  $\text{CrO}_3$  і сторонніх аніонів. Переваги над сульфатними електролітами

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

полягають, у тому, що тут вищий вихід за струмом( у межах 18...25%), що дозволяє в 1,3 ... 1,5 рази збільшити продуктивність хромування. Також тут більший інтервал робочих температур, в межах яких отримують блискучі осади , їх розсіювальна здатність дещо вища, ніж в сульфатних. Недолік сульфатно-кремнійфторидних електролітів: висока корозійна агресивність до анодів внаслідок наявності аніонів  $SIF_6^{2-}$ .

Тетрахроматні електроліти відрізняються від звичайних тим, що частина хромової кислоти нейтралізується лугом і хром у розчині знаходиться у вигляді тетрахромату натрію  $Na_2Cr_4O_{13}$ . Електроліт призначений виключно для отримання захисно-декоративних покриттів. Він має високу розсіювальну здатність. Вихід хрому за струмом до 30 - 35%, діапазон робочих густин струму - 20...80 А/дм<sup>2</sup>. Основні переваги: можливість ведення хромування при кімнатній температурі. Осади виходять сірими, але завдяки своїй пластичності легко поліруються до дзеркального блиску. Осади майже безпористі, електроліти неагресивні і дозволяють наносити хром безпосередньо на латунь і цинкові сплави. До недоліків цих електролітів слід віднести сірий колір покриттів і неможливість отримувати їх блискучими безпосередньо із ванни. [7]

Для блискучого хромування найчастіше застосовуються електроліти, склад яких наведено у таблиці 1.1 [8].

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

Таблиця 1.1 – Склад електролітів блискучого хромування та режими електролізу згідно з ГОСТ 9.047–75

Компоненти і режим електролізу	Номер електроліту		
	1	2	3
$CrO_3$	150–250	300–450	300–400
$H_2SO_4$	1,5–2,5	3,0–4,5	—
$Cr^{3+}$	3–6	3–8	—
$KF$ або $NaF$	—	—	8–12
Температура, °C	45–60	35–50	20–30
Густина струму на катоді, $A/m^2 \cdot 10^{-2}$	12–55	10–15	10

Обираємо саморегулюючий електроліт хромування, оскільки в ньому постійно підтримується стале співвідношення  $CrO_3 : H_2SO_4$ , у порівнянні з іншими електролітами це відбувається автоматично завдяки наявності іонів  $SO_4^{2-}$  і  $SiF_6^{2-}$ . Також перевагами такого електроліту є порівняно високий вихід за струмом, мала пористість покриття, більш дрібнокристалічні осадки у порівнянні з сульфатними електролітами.

Тому використовуємо саморегулюючий електроліт хромування, що має наступний склад:

- $CrO_3$  - 250...300;
- $SrSO_4$  - 5,5...6,5;
- $K_2SiF_6$  - 18...20;

Режим електролізу: температура 55...65 °C, густина струму 50 А/м<sup>2</sup>.

Основні неполадки процесу хромування в саморегулюючих електролітах і шляхи їх усунення наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Основні неполадки хромування в саморегулюючих електролітах та шляхи їх усунення [9]

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

№ п/п	Недоліки	Причини появи
1	Відшарування покриття	- неякісна підготовка поверхні; - не прогріті деталі; - перерив струму;
2	Не повністю покриття покриває поверхню деталей	- не використано «поштовх струму»; - низька густина струму; - екранування іншими деталями; - невдале розташування анодів; - утворення «газових мішків»;
3	Велика напруга на ванні	- утворення щільної плівки на аноді; - багато іонів $\text{Cr}^{3+}$ або $\text{Fe}^{3+}$ ; - поганий контакт;
4	Темні осадки хрому; припинення осадження хрому; розчинення свинцевої футеровки;	- нітрат-іони в електроліті;
5	Швидке накопичення в електроліті $\text{Cr}^{3+}$	- анодна густина струму значно більша катодної;
6	Покриття матові, важко поліруються	- недостатньо $\text{CrO}_3$ ; - велика катодна густина струму або низька температура; - низька концентрація сульфатної кислоти; - надлишок $\text{Cr}^{3+}$ ; - нестача
7	Низька швидкість осадження хрому	- низька катодна густина струму; - висока концентрація $\text{CrO}_3$ ; - надлишок сульфатної кислоти; - поганий контакт; - наявність хлоридної або нітратної кислот.
8	Поява дрібних чорних точок	- несчата $\text{SrSO}_4$

#### 1.2.4. Приготування та коригування електроліту хромування

**Приготування електроліту.** Електроліт хромування готується наступним чином. Спершу розраховують кількість хромового ангідриду, яку в подальшому подрібнюють та завантажують у електролітичну ванну. Попередньо проводять аналіз хромового ангідриду на вміст сульфатіона, який необхідно видалити з електроліта, що готується, додаванням до нього карбонат барію з розрахунку на 1 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$  вводять 2,2-2,3 г  $\text{BaCO}_3$  або 1,53 г  $\text{SrCO}_3$ . Солі додають маленькими

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

порціями з метою запобігання активного спінювання розчину. Після осадження іона  $SO_4^{2-}$  у ванну додають необхідну кількість сульфату стронцію і кремнійфториду калію та нагрівають до 50-60 °С. Через кожні 2-3 години розчин слід періодично перемішувати, щоб підтримувати сталу концентрація сторонніх іонів  $A^-$  по всій товщині електроліту.

Процес якісного електроосадження хрому на покриття забезпечують, контролюючи сталий склад співвідношення  $CrO_3 : A^-$ , У готовому електроліті проводять пробне хромування. З часом хромовий електроліт треба повністю замінювати. Це роблять з періодичністю один раз в 1-2 роки в залежності від інтенсивності експлуатації ванни та забруднення електроліту домішками.

У ході процесу електроосадження концентрація  $Cr^{3+}$  може змінюватись в залежності від конфігурації деталей. Таким чином, при хромуванні деталей, площа покриття яких більше площі анода, концентрація тривалентного хрому в електроліті поступово зростає. Якщо ж площа деталі катода значно менша за площу анода, то зміст тривалентного хрому в електроліті знижується.

**Коригування електроліту.** Електроліт потрібно періодично поповнювати новими порціями  $CrO_3$  і рідше необхідно додавати сульфат стронцію та кремнійфторид калію. Їх зазвичай додають у випадку, коли поверхня хромованих деталей наближається до 1 м<sup>2</sup>/л. При цьому у ванну додають 1 г/л  $SrSO_4$  та 6 г/л  $K_2SiF_6$ .

При коректуванні електроліта хромовим ангідридом необхідно вводити разом з ним карбонат стронцію для того, щоб сульфатна кислота переходила в сульфат стронцію [10].

### 1.2.5. Анодні матеріали

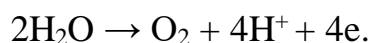
Зважаючи на те, що станатний електроліт хромування має незначний вихід за струмом (всього 17 – 18 %), при електроосадженні необхідно застосовувати

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

нерозчинні аноди. Це можуть бути аноди зі свинцю з добавками 10 % стибію, що збільшує їх хімічну стійкість. Розчинні хромові аноди не підходять, оскільки їх використання буде спричиняти накопичення йонів  $\text{Cr}^{3+}$ , в результаті чого буде формуватись крихкий осад.

Нерозчинні аноди обираємо згідно з ГОСТ 1292-81. Це свинцево-стибієві аноди марки ССУ8. Розміри анодів: ширина 50 мм, товщиною 3 мм і довжиною 700 мм.

На нерозчинних анодах протікають реакції виділення кисню та окислення йонів  $\text{Cr}^{3+}$  до йонів  $\text{Cr}^{6+}$ :



Вихід за струмом анода має дорівнювати виходу за струмом катода. Для забезпечення цього необхідно, щоб виконувалось співвідношення:  $S_k/S_a$  від 2:1 до 3:2 ( $i_a$  зменшується, вихід за струмом збільшується) [11]. З огляду на це, обираємо аноди так, щоб анодна густина лежала в межах даного співвідношення. Коефіцієнтом співвідношення є число 2,7.

Розраховуємо площу анодів:

$$S_a = 2,7 \cdot S_k = 2,7 \cdot 0,2048 = 0,55 \text{ м}^2$$

До недоліків свинцевих анодів відносять те, що частина кисню окиснює свинець і відбувається утворення перекису свинцю, який частково осідає на дні ванни, тому аноди потрібно чистити 1 раз на тиждень.

У станатних електролітах свинцеві аноди дуже швидко пасивуються. В період простою обладнання свинцеві аноди можуть взаємодіяти з хромовими кислотами. Таким чином, утворюється плівка хромовокислого свинцю на поверхні анода, що сприяє збільшенню напруги на ванній, оскільки новоутворена плівка погано проводить струм. Тому аноди зберігають опущеними у воду, а

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

перед початком роботи їх знову обов'язково протравлюють у розчині хлоридної кислоти або чистять сталюю щіткою [2]

### 1.2.6. Вибір і обґрунтування завершальних операцій

**Промивання.** Для промивання захисно-декоративних покриттів використовують конденсат, дистильовану або демінералізовану воду (жорсткість до 1,5 мг-екв/л). Промивання можна здійснювати у холодній (температура не нормована), теплій (50-60 °С) та гарячій (70-90 °С) воді

Промивання в холодній воді проводиться холодною водою при температурі 18...25 °С протягом 0,25...0,5 хвилин з використанням проточної води. Холодна промивка проводиться після нанесення покриття і після теплої та гарячої промивки.

Після операцій знежирення травлення та зняття шламу проводять промивання теплою непроточною водою протягом 0,25...0,5 хвилин.

Гарячою водою промивають перед сушінням у непроточній воді протягом 0,25...0,5 хвилин.

З ціллю відновлення втрати робочого електроліту через його виніс з деталями, використовують ванну уловлювання. З ростом концентрації йонів металу у ванні уловлювання збільшується виніс з неї електроліта у ванну промивки[12].

Промивання деталей у ванні уловлювання проводять при температурі 18...25 °С протягом 0,25...0,5 хвилин.

**Сушіння.** Процес здійснюється у сушильних шафах при температурі 70 - 90 °С. Сушіння проводять до повного висихання деталей.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

**Зневоднення.** Так як основна частина струму при хромуванні витрачається на виділення водню, відбувається наводнення сталевोї основи, що негативно впливає на її фізико-механічні властивості, оскільки водень проникає в структуру сталевого зразка. Тому необхідно проводити видалення водню з поверхні деталі.

Механізм зневодження наступний: у ванну з циліндровим мастилом 38 або 52 завантажують деталі і витримують там протягом 3-ох годин при температурі 200 – 230 °С. Після цього деталі охолоджують на повітрі до 40 – 50°С, а залишки в'язкого циліндрового мастила видаляють промивкою у веретенному маслі.

### *Демонтаж деталей з підвіски.*

## **1.2.7.Контроль якості гальванічного покриття**

**Контроль якості покриття.** Контроль стану поверхні 100% деталей перевіряється робітником згідно ГОСТ 9.301 – 86. Наявність непокритих місць не допускається, колір покриття сріблястий з блакитним відтінком.

**Візуальний контроль.** Зовнішній вигляд електролітичних покриттів контролюють візуально при денному або штучному освітленні. Освітленість повинна бути не менше 300 лк. Оцінкою зовнішнього вигляду покриття виріб відносять до однієї з наступних груп - придатні, дефектні, брак.

Дефектними вважають вироби, що вимагають зняття неякісного покриття і його повторного нанесення, а також вироби, що вимагають доопрацювання без зняття покриття (наприклад, обробка недополірованих ділянок). До браку відносять вироби з механічними пошкодженнями, з місцями корозії, дефектами лиття, а також вироби, для яких не допускається переробка зі зняттям неякісного покриття. Результати огляду оформляють документом [13].

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

**Шорсткість.** При отриманні захисно-декоративних покриттів величина шорсткості має відповідати наступним значенням:  $R_a = 2,5$  ( $R_z = 10$ ), де  $R_a$  - середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини, а  $R_z$  - сума висоти найбільшого виступу профілю і глибини найбільшої впадини профілю в межах базової довжини.

Профілограф - профілометр моделі 201 служить для визначення шорсткості і хвилястості поверхонь деталей з будь-яких матеріалів. Він дозволяє перевіряти зовнішні і внутрішні поверхні деталей, перетин яких в площині вимірювання становить пряму лінію. Дія його аналогічно дії приладу моделі 240 однак він більш досконалий. Прилад складається з двох блоків: електронного вимірювального і записуючого. На стійці розміщені вимірювальний столик, привід і датчик. Визначення величин і профілю мікронерівностей поверхні проводиться по профілограмі записаної в прямокутних координатах [13].

**Міцність зчеплення з основою.** Міцність забезпечується візуальним оглядом поверхні покриття після зневоднення. На контрольованій поверхні не повинне спостерігатися здуття або відшаровування покриття.

**Пористість покриття.** З метою визначення місць, в яких можливе виникнення пор, випробуваний зразок обробляють спеціальним розчином, який, не діючи на метал покриття, реагує через пори з металом основи і утворює добре видимі продукти реакції. Пористість покриттів з верхнім шаром хрому визначають через 30 хв після закінчення процесу хромування. При великому числі пор хромових покриттів на обмідненій сталі, міді і її сплавах червоно-бурі точки на самій деталі – це сліди пор. Сліди пір визначають неозброєним оком, без застосування спеціальних приладів.

Розчин готують наступним чином. Желатин (20 г) заливають дистильованою водою до набрякання, після чого нагрівають на водяній бані до утворення колоїдного розчину. Потім до розчину желатину додають розчин з 10

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

г железосинеродистого калію і 15 г хлористого натрію. До отриманого розчину додають воду для доведення обсягу до 1 л. Склянку з розчином зберігають в темному місці. Розчином можна користуватися до тих пір, поки він не почне темніти, що є ознакою його розкладання і необхідності заміни [14].

Допустима кількість пор на даному покритті згідно з ГОСТ 9.301-86 не більше трьох наскрізних пор на 1 см площі поверхні.

**Контроль товщини гальванічного покриття.** Товщину покриття контролюють крапельним методом. Застосовується для вимірювання місцевої товщини покриття. За допомогою спеціальної краплинної установки на покриття наносять краплі розчину, здатного розчинити метал-покриття. Час знаходження краплі на поверхні виробу фіксоване, потім краплю видаляють і наносять наступну до тих пір, поки покриття не буде повністю розчинено. Товщину визначають за калібрувальним графіком залежно від кількості крапель, що пішли на повне руйнування покриття [4].

Розчини для проведення крапельного методу:

- 1) хромовий шар покриття має бути 1 мкм. Використовують розчин, що містить  $360 \text{ см}^3/\text{дм}^3 \text{ HCl}$  (густиною  $1,19 \text{ г/см}^3$ ) та  $10 \text{ г/дм}^3 \text{ Sb}_2\text{O}_3$ ;
- 2) мідний шар покриття має бути 24 мкм. Використовують розчин, що містить  $275 \text{ г/дм}^3 \text{ CrO}_3$  та  $110 \text{ г/дм}^3 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;
- 3) нікелевий шар покриття має бути 12 мкм. Використовують розчин, що містить  $330 \text{ см}^3/\text{дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$  (густиною  $1,84 \text{ г/см}^3$ ),  $660 \text{ см}^3/\text{дм}^3 \text{ HNO}_3$  (густиною  $1,41 \text{ г/см}^3$ ),  $20 \text{ г/дм}^3 \text{ FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{SO}_4$  [15].

### 1.2.8.Карта технологічного процесу

Таблиця 1.3 – Карта технологічного процесу покриття захисно-декоративним хромом

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

№	Операція	Склад розчину і концентрація		Режим			
		Найменування та хімічна формула компонентів	г/дм <sup>3</sup>	Час обробки, хв	Температура, °С	Густина струму, аз	рН
1	2	3	4	5	6	7	8
Розроблено у відповідності ОСТ 107.460092.001-86; ГОСТ 9.305-84,ГОСТ 9.302, ГОСТ 9.301-86							
010	Монтаж деталей на пристосування (монтажний стіл)						
020	Знежирення електрохімічне.	Натрій гідроксид техн..	10-20	15-20	70-90	2-10	
		Сода кальцинована техн..	20-30				
		Три натрій фосфат техн..	30-50				
030	Промивка тепла			1 - 2	40 – 50		
	Промивка холодна			1 - 2	40 – 50		
1	2	3	4	5	6	7	8
040	Травлення хімічне	Кислота соляна ГОСТ 857-78	200-250	20-40	18-25		
		Інгібітор катапін	3-5				
050	Промивка	Вода питна		0,25-0,5	18-25		
Промити деталі в холодній проточній воді							

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>			Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				20

060	Активація хімічна	Кислота сульфатна	50-100	0,25-0,5	18-25		
070	Промивка	Вода питна		0,25-0,5	18-25		
Промити деталі в холодній проточній воді							
080	Міднення електрохімічне	Ціанід міді	40 - 60	21,8	50-60	1,5-3	
		Ціанід натрію вільний	10-15				
		Натрій гідроксид	10-15				
		Тіоціанат амонію	10-15				
		Натрій тартрат	3-10				
		Сульфат мангану	0,03-0,05				
1	2	3	4	5	6	7	8
090	Промивка	Вода питна		0,25-0,5	18-25		
	Ванна стаціонарна						
Промити деталі в холодній проточній воді							
100	Активація хімічна	Кислота сульфатна	50-100	0,25-0,5	18-25		
110	Промивка	Вода питна		0,25-0,5	18-25		
Промити деталі в холодній проточній воді							
120	Нікелювання електрохімічне	Нікель сульфат	250-300	20,24	55-65	2-8	

		Кислота борна «ч» ГОСТ 9656-75	30-40				
		Бутиндіол 36 % розчин ТУ 64-5-111-74	0,5-1,5				
		Нікель двохлористий 6-ти водний	40-60				
		Сахарин ТУ 64-6-126-80	1-2				
		Фталамід ГОСТ 17.2.3.01-86	0,08-0,1				
130	Промивка	Вода питна		0,25-0,5	18-25		
Промити деталі в холодній проточній воді							
140	Активація хімічна	Кислота сульфатна	50-100	0,25-0,5	18-25		
150	Хромування	Ангідрид хромовий	250-300	3,48	55-65	40-100	
		Сульфат стронцію	5,5-6,5				
		Кремнійфторид калію	18-20				
160	Вловлювання						
1	2	3	4	5	6	7	8
170	Промивка			0,25– 0,5	18-25		
Промити деталі в холодній проточній воді							
180	Сушка. Сушити деталі гарячим повітрям						
190	Демонтаж деталей з підвіски						
200	Зневоднення	Масло циліндрове 52	200...230		120...180		

## РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

### 2.1. Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів

#### 2.1.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання  $T_n$  при перервному виробництві приймають рівним кількості календарних днів у році  $T_k$  (365) за вирахуванням вихідних  $T_v$  (104) та святкових  $T_c$  (11) днів. Для п'ятиденного 40-годинного робочого тижня при двозмінній роботі (дані для розрахунку взяті за 2021 рік):

$$T_n = \left[ (365 - 11 - 104) \cdot \frac{40}{5} - 8 \right] \cdot 2 = 3984 \text{ год}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання  $T_d$  (год) визначаємо, виходячи із  $T_n$  з урахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання, які в гальванічному виробництві при роботі для автоматизованого обладнання у дві зміни складають 3% ( $K_{пр}$ ):

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 3984 - 0,03 \cdot 3984 = 3864,48 \text{ год.}$$

#### 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):

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z$$

$$P_p = 10000 + 0,03 \cdot 10000 = 10300 \text{ м}^2/\text{рік.}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

Підприємство працює протягом 250 робочих днів, тому добова виробнича програма  $P_{доб}$  складає:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{10300}{250} = 41,2 \text{ м}^2/\text{день}.$$

де  $T_{доб}$  – кількість робочих днів у календарному році. Годинна виробнича програма  $P_{год}$  визначається як:

$$P_{год} = P_p/T_d = 10300/3864,48 = 2,6653 \text{ м}^2/\text{год}.$$

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

Вид обладнання вибирають, виходячи із розмірів оброблюваних виробів та особливостей технологічного процесу. Для нанесення покриття на дану деталь здійснюють у гальванічних ваннах, обладнаних підвісними пристроями .

Для розрахунку обладнання необхідно знати:

- річна виробнича програма:  $10000 \text{ м}^2 \cdot \text{рік}^{-1}$ ;
- час обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіска з деталями) з урахуванням часу на завантаження і вивантаження  $\tau$ , хв;
- товщина покриття на деталях: 1 мкм;
- тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіски)  $\tau$  складається із двох величин:

$$\tau = \tau_m + \tau_{об}$$

де  $\tau_m$  — технологічний час (час обробки деталей у ванні),  $\tau_{об}$  — час обслуговування, необхідного для завантаження деталей у ванну та їх вивантаження, приймають 1...3 хвилини.

Час обробки деталі у ванні:

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

$$\tau_m = \frac{\delta \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_e \cdot i_a}, \text{ хв}$$

$$\tau_m = \frac{1 \cdot 7,2 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,18 \cdot 0,324 \cdot 50} = 1,48 \text{ хв}$$

де  $\delta_m = 1$  мкм – товщина покриття;  $d_m = 7,2$  г/см<sup>3</sup> – густина металу покриття;  $B_c = 0,18$  – катодний вихід за струмом;  $K_e = \frac{52}{6 \cdot 26,8} = 0,324$  г/(А·год) – електрохімічний еквівалент хрому;  $\tau_{об} = 2$  хв – час обслуговування, необхідний для завантаження деталей у ванну та їх вивантаження;  $i_k = 50$  А/дм<sup>2</sup> – середня катодна густина струму.

$$\tau = 1,48 + 2 = 3,48 \text{ хв}$$

На основі дійсного річного фонду часу роботи обладнання  $T_d$  та тривалості обробки одного завантаження ванни  $\tau$  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;

$$n = \frac{3864,48 \cdot 60}{3,48 \cdot 1,05} = 63456$$

Тоді разове завантаження усіх ванн  $Y_c$ , м<sup>2</sup>:

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

$$y_c = \frac{10300}{63456} = 0,162 \text{ м}^2$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		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 нового обладнання

Гальванічну ванну обирають згідно з ГОСТ 23738-85, зважаючи на розміри завантажувальних деталей, а матеріал ванни підбирають, враховуючи склад електrolіту та умови електролізу.

Основною складовою ванни для хромування є хромовий ангідрид. Крім того, необхідний так званий каталізатор, яким в традиційних ваннах є сірчана кислота.

Необхідність застосування досить високих температур і струму великої щільності вимагає обладнання ванн для хромування ефективною витяжною системою. Навіть ванни, які не перебувають під струмом, але при робочій температурі, виділяють шкідливі для людського організму пари.

Великий вміст хромового ангідриду тягне за собою значні втрати за рахунок виносу електроліту з ванни з деталями. Ванни уловлювання є неминучою необхідністю. Часто застосовують дві промивки.

Гальванічні ванни хромування футеровані зсередини полівінілхлоридом. Зовнішній матеріал ванни – сталь.

Отож, внутрішні розміри ванни відповідають наступним значенням (мм):  
 $V = 1 \text{ м}^3$  – об'єм ванни;  $B = 0,800 \text{ м}$  – ширина ванни;  $L = 1,12 \text{ м}$  – довжина ванни;  
 $H = 1,250 \text{ м}$  – висота ванни.

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

$$l_n = l - 2l_1 = 1,12 - 2 \cdot 0,12 = 0,88 \text{ м.}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

де  $l$  – внутрішня довжина ванни, м;  $l_1$  – відстань від краю підвіски до стінки ванни (приймаємо 0,12 м).

$$h_n = h - h_1 - h_2 - h_3 = 1,25 - 0,2 - 0,05 - 0,1 = 0,9 \text{ м.}$$

де  $h$  – внутрішня висота ванни, 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).

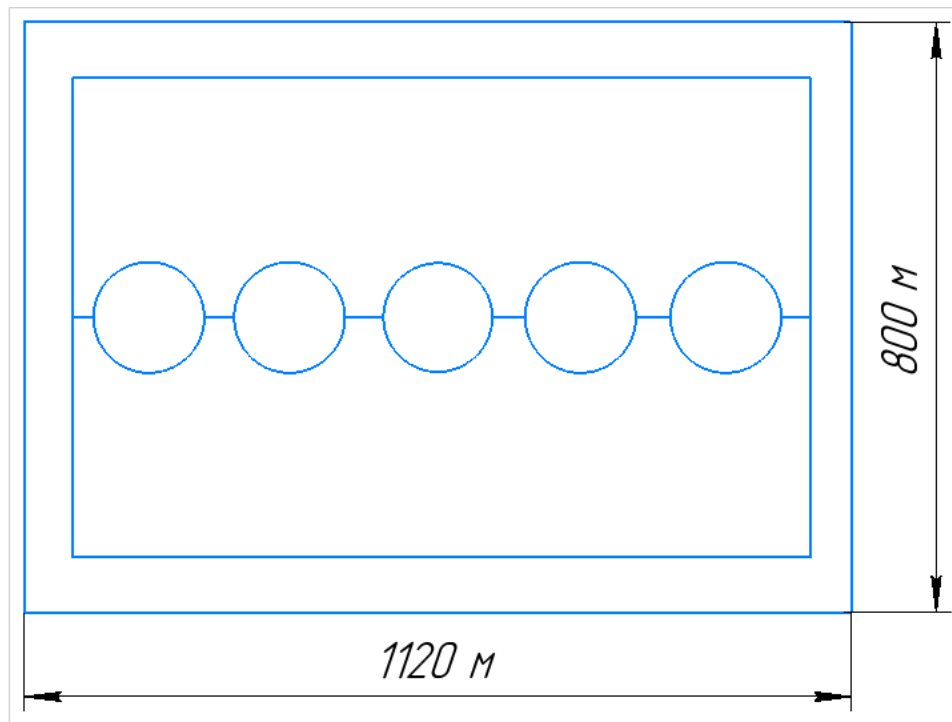


Рисунок 1.2. Розташування деталей на підвісці

$$n_d = 5 \text{ шт.}$$

Розраховують сумарну поверхню деталей  $S_n$ , які завантажують на одну підвіску ( $\text{м}^2$ ):

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

$$S_n = S_d \cdot n_d$$

$$S_n = 0,04096 \cdot 5 = 0,2048 \text{ м}^2$$

де  $S_d$  – поверхня однієї деталі  $0,04096 \text{ м}^2$ ;

$n_d$  – кількість деталей на підвісці 4.

Визначають поверхню одноразового завантаження у ванну  $S_{03}, \text{ м}^2$ :

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

$$S_{03} = 0,2048 \cdot 1 = 0,2048 \text{ м}^2$$

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

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

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

$$n_B = \frac{0,162}{0,2048} = 0,79 \approx 1 \text{ ванна.}$$

Розрахуємо відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями  $l_{a-k}$ .

Для однопозиційних ванн, які найбільш поширені в промисловості:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_n - 2B_a - 2B_1}{2}$$

де  $B$  – внутрішня ширина ванни, м;  $B_n$  – товщина підвіски з деталями, м;  $B_a$  – товщина анодів, м;  $B_1$  – відстань між анодом і боковими стінками ванни, приймають  $0,05 \dots 0,10 \text{ м}$ .

$$l_{a-k} = \frac{0,8 - 0,05 - 2 * 0,01 - 2 * 0,1}{2} = 0,265 \text{ м}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

Виходячи із визначеної кількості ванн, розраховують річну продуктивність вибраного обладнання,  $P'_p$ :

$$P'_p = S_{03} \cdot n_B \cdot \frac{T_D \cdot 60}{\tau \cdot K_{06}}$$

$$P'_p = 0,2048 \cdot 1 \cdot \frac{3864,48 \cdot 60}{3,48 \cdot 1,05} = 12995,82 \text{ м}^2/\text{рік}$$

та коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{30B} = \frac{P_p}{P'_p}$$

$$K_{30B} = \frac{10300}{12995,82} = 0,79 .$$

Таким чином визначено коефіцієнт завантаження ванни, який є трохи меншим від нормованих значень, що дозволить у випадку наявності певної кількості браку компенсувати останній і виконати вчасно програму. Більша кількість браку пов'язана з двома процесами нікелювання, які збільшують ймовірність виникнення останнього.

## 2.2. Розрахунки технологічних параметрів

### 2.2.1. Баланс струму на гальванічній 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  $S_{03}$ ,  $\text{м}^2$ :

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

де коефіцієнт  $K$  враховує втрати електрики на осадження металу на контактах підвісного пристрою, вибирають його у межах  $K = 1,03 \dots 1,15$ .

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Для розрахунків рекомендується вибирати верхнє допустиме за технологією значення катодної густини струму, що для обраного електроліту становить 5000 А/м<sup>2</sup>.

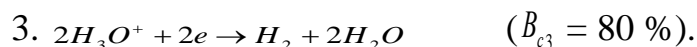
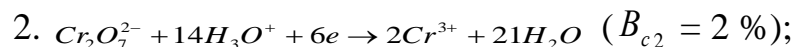
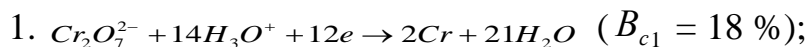
Для наступного складання балансу кількості електрики записуємо рівняння основних і побічних реакцій, які перебігають на електродах, і на основі значень виходу за струмом для цих реакцій визначають долю електрики, яка витрачається на основні та часткові процеси. Баланс електрики складаємо на одну годину роботи ванни, кількість електрики визначають в ампер–годинах.

Сила струму на ванні хромування:

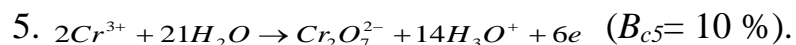
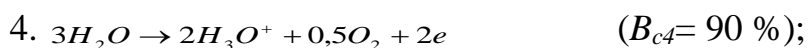
$$I = 1,12 \cdot 5000 \cdot 0,2048 = 1147 \text{ А}$$

У саморегулюючому електроліті хромування на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:



Сила струму, яка витрачається на кожну реакцію:

на катоді:

$$I_1 = \frac{I \cdot B_{c1}}{100} = \frac{1147 \cdot 18}{100} = 206 \text{ А};$$

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

$$I_2 = \frac{I \cdot B_{c2}}{100} = \frac{1147 \cdot 2}{100} = 23 \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{I \cdot B_{c3}}{100} = \frac{1147 \cdot 80}{100} = 918 \text{ A};$$

на аноді:

$$I_4 = \frac{I \cdot B_{c4}}{100} = \frac{1147 \cdot 90}{100} = 1032 \text{ A};$$

$$I_5 = \frac{I \cdot B_{c5}}{100} = \frac{1147 \cdot 10}{100} = 115 \text{ A}.$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю.

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
<b>На катоді:</b> від зовнішнього джерела струму	1147	100	Виділення хрому за реакцією 1	206	18
			Відновлення $Cr^{6+}$ до $Cr^{3+}$ за реакцією 2	22	2
			Виділення водню за реакцією 3	918	80
			Разом	1147	100
<b>На аноді:</b> від зовнішнього джерела струму	1147	100	Утворення кисню за реакцією 4	1032	90
			Окислення $Cr^{3+}$ до $Cr^{6+}$ за реакцією 5	115	10
Разом	1147	100	Разом	1147	100

На осадження хрому витрачається 18 % підведеної електричної енергії.

### 2.2.2. Баланс напруги на гальванічній ванні

Робоча напруга при заданій густині струму  $U_i$  є однією із основних енергетичних характеристик ванни. Вона визначає мінімальну величину напруги

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		/ 0

на джерелі струму  $U_{dc}$ , яка обслуговує ванну. Знаючи величину струму і напругу на джерелі струму, визначаємо електричну потужність, яка витрачається на електроліз.

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)  $\Delta U_I$  та в контактах  $\Delta U_k$ :

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

Величини потенціалів електродів під струмом в електролітах, найбільш поширених у промисловості вибираємо з довідників із гальванотехніки [6].

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

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

де  $i_{cp}$  – середня густина струму в міжелектродному просторі,  $A/m^2$ , розраховується за формулою  $i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a}$ ;  $l_{a-k}$  – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями,  $\chi$  – питома електропровідність електроліту,  $Cm \cdot m^{-1}$ ;

Коли в процесі електролізу на електродах утворюються газы, бульбашки яких заповнюють міжелектродний простір, то при визначенні падіння напруги в електроліті необхідно врахувати вплив газонаповнення на омичний опір. У цьому разі  $\Delta U_{ом}$  визначають за формулою:

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

де  $K$  – коефіцієнт, який враховує збільшення опору за рахунок газонаповнення, величина  $K$  знаходиться у межах 1,01...1,25.

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:

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		/ 1

$$U = \frac{E_a - E_k + \Delta U_{ом}}{0,9}$$

а сума

$$\Delta U_l + \Delta U_k = 0,1 \cdot U$$

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

$$U_{дс} = 1,1 \cdot U.$$

Вихідні дані:

$$i_k = 5000 \frac{A}{m^2} \text{ - середня катодна густина струму;}$$

$$i_a = 1852 \frac{A}{m^2} \text{ середня анодна густина струму (приймається, що } i_a = 5000/2,7 = 1852 \text{ A/m}^2 \text{, вибір коефіцієнта 2,7 обґрунтовано в пункті 1.2.5);}$$

$$E_a = 1,8 \text{ В - електродний потенціал анода;}$$

$$E_k = -0,8 \text{ В - електродний потенціал катода;}$$

$$\chi = 1,62 \text{ См/см - питома електропровідність електроліту;}$$

$$l_{a-k} = 0,22 \text{ м.}$$

Баланс напруги процесу хромування розраховують за формулою:

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

де різниця потенціалів:

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

При середній густині струму, яка проходить через електроліт:

$$i_{ср} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{5000 \cdot 1852} = 3043 \text{ A/m}^2,$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		/ 2

падіння напруги в електроліті становитиме:

$$\Delta U_{\text{ом}} = \frac{K \cdot i_{\text{ср}} \cdot l_{\text{а-к}}}{\chi} = \frac{1,25 \cdot 3043 \cdot 0,27}{1,62 \cdot 100} = 6,22 \text{ В},$$

оскільки  $V_{\text{CH}_2} = 80 \%$ , то коефіцієнт газонаповнення  $K$  обираємо максимальним (1,25).

Тоді напруга на ванні:

$$U = \frac{(E_a - E_k + \Delta U_{\text{ом}})}{0,9} = (2,6 + 6,22)/0,9 = 9,8 \text{ В}.$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Delta U_1 + \Delta U_k = 0,1 \cdot 9,8 = 0,98 \approx 0,98 \text{ В}.$$

Мінімальна напруга джерела струму для ванни хромування:

$$U_{\text{дс}} = 1,1 \cdot 9,8 = 10,8 \text{ В}.$$

Розраховані значення балансу напруг внесені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Баланс напруги на ванні хромування

<i>Надходження</i>	<i>U, В</i>	<i>%</i>	<i>Витрати</i>	<i>U, В</i>	<i>%</i>
Напруга на ванні	9,8	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$	2,6	27,0
			Падіння напруги в електроліті $\Delta U_{\text{ом}}$	6,2	63,0
			Падіння напруги на електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + \Delta U_k$	0,98	10,0
Разом	9,8	100	Разом	9,8	100

### 2.2.3. Вибір джерела струму для гальванічної ванни

Джерело постійного струму вибирають, виходячи із сили струму і напруги на ванні із урахуванням падіння напруги в шинопроводах.

Виходячи із сили струму і напруги на ванні, було вибрано джерело постійного струму серії В-ТПВ-1600-12-01 УХЛ4, який має такі характеристики:

- номінальна напруга – 12 В;
- номінальний струм – 1600 А.

Для вибраного випрямного агрегату визначають коефіцієнт завантаження:

$$K = \frac{N_{\text{дс}}}{N_{\text{пасп}}} = \frac{11.24}{19.2} = 0,6$$

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

$$N_{\text{дс}} = U \cdot I \cdot 10^{-3} = 9,8 \cdot 1147 \cdot 10^{-3} = 11.24 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{пасп}} = \frac{1600 \cdot 12}{1000} = 19.2 \text{ кВт} \text{ – паспортна потужність вибраного агрегату.}$$

### 2.2.4. Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії

Електрична енергія  $W_{\text{заг}}$ , яка підводиться до електролізера, перетворюється в хімічну енергію  $W_{\text{хім}}$  та в теплову енергію (джоулеву теплоту)  $W_{\text{дж}}$ :

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

Енергія  $W_{\text{хім}}$  відображає зміни матеріального стану, які відбуваються в результаті перебігу електрохімічних реакцій в електролізері, а енергія  $W_{\text{дж}}$  витрачається на розігрівання електроліту і повинна бути урахована при складанні теплового балансу.

Електрична енергія, яка витрачається на перебіг процесу в одній ванні, визначається за формулою [7]:

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		/ /

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

де  $I$  – струм на ванні, А;  $U$  – напруга на ванні, В;  $\tau$  – час роботи ванни під струмом, год. Зазвичай баланс енергії складають на одну астрономічну годину роботи ванни.

Енергію  $w_{\text{хим}}$  можна визначити за формулою:

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

де  $\sum \Delta H_i^0$  – зміна ентальпії усіх електрохімічних процесів, яка розраховується за значеннями ентальпії вихідних та кінцевих продуктів реакції за температури, яка відповідає технологічному процесу із урахуванням стехіометричних коефіцієнтів  $\nu_i$  та виходу за струмом  $B_{ci}$ ;  $z_i$  – число електронів, які приймають участь у реакції. При розрахунку  $\sum \Delta H_i$  для усіх процесів, які перебігають одночасно, приймають однакову направленість реакції. Тоді

$$\sum \Delta H_i = \sum \nu_{i_{\text{вих}}} \cdot \Delta H_{i_{\text{вих}}} - \sum \nu_{i_{\text{кін}}} \cdot \Delta H_{i_{\text{кін}}}$$

Коли в сумарній електродній реакції приймають участь розчинні речовини, а у довідковій літературі відсутні дані для  $\Delta H_i$  з урахуванням теплоти їх розчинення, то при розрахунку  $\Delta H_i$  необхідно до  $\Delta H_i$  утворення речовини додати  $\Delta H_i'$  її розчинення. Коли ж окисно-відновна реакція перебігає в протилежних напрямках на катоді і аноді, то для неї  $\Delta H = 0$ , так як ця реакція не призводить до зміни матеріального стану системи.

При одночасному перебігу декількох електрохімічних процесів необхідно врахувати витрати хімічної енергії на всі процеси, що мають місце в системі, яку розглядають:

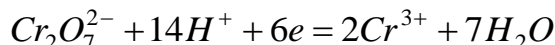
$$W_{\text{хим}} = -I \cdot \sum 10^{-2} \frac{\sum \nu_i \cdot \Delta H_i \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F} \cdot \tau, \text{ кДж}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		/ 5

тоді

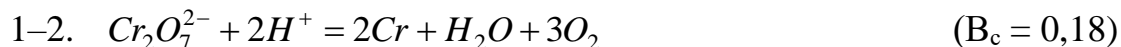
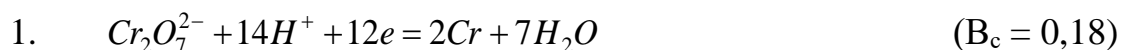
$$W_{дж} = W_{заг} - W_{хім} = 3,6 \cdot I \cdot \tau \cdot \left( U_i + \sum \frac{10^{-2} \cdot \sum \nu_i \cdot \Delta H_i \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F \cdot 10^{-3}} \right) \text{ кДж}$$

Визначаємо кількість джоулевої теплоти і складаємо баланс енергії на одну годину роботи ванни хромування за таких умов: сила струму  $I=1147 \text{ А}$ ; напруга на ванні  $U=9.8 \text{ В}$ ; на катоді перебігають реакції утворення хрому ( $B_c=0,18$ , виділення водню ( $B_c=0,8$ ) та утворення іонів  $Cr^{3+}$  ( $B_c=0,02$ ; на аноді відбувається розклад води ( $B_c=0,95$ ) та окиснення іонів  $Cr^{3+}$  до  $Cr_2O_7^{2-}$  ( $B_c=0,05$ ). Отже, перебіг реакції



у прямому напрямі на катоді та в зворотному на аноді з виходами за струмом  $0,05$  в стаціонарних умовах не змінює складу системи, тобто для цих процесів  $W_{хім} = 0$ .

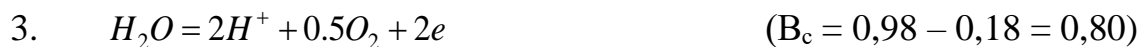
Катодну і анодну реакції та сумарний процес утворення хрому можна записати у вигляді:



Зміна ентальпії для сумарної реакції 1–2 складає

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-2}^0 &= \Delta H_{Cr_2O_7^{2-}}^0 + 2\Delta H_{H^+}^0 - 2\Delta H_{Cr}^0 - \Delta H_{H_2O}^0 - 3\Delta H_{O_2}^0 = \\ &= -1470 + 0 - 0 - (-286) - 0 = -1184, \text{ кДж/моль} \end{aligned}$$

Решта електрохімічних процесів пов'язана з розкладанням води



					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		4.6

для яких

$$\Delta H_{3-4}^0 = \Delta H_{H_2O}^0 - \Delta H_{H_2}^0 - 0.5\Delta H_{O_2}^0 = -286 - 0 - 0 = -286 \text{ кДж/моль.}$$

Звідки знаходимо:

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

$$= 3,6 \cdot 1147 \cdot \frac{3,48}{60} \left( 9,8 - \frac{1184 \cdot 0,18}{12 \cdot 96,5} - \frac{286 \cdot 0,8}{2 \cdot 96,5} \right) = 2019 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

$$W_{заг} = \frac{9,8 \cdot 1147 \cdot 3,48 \cdot 3600 \cdot 10^{-3}}{60} = 2347,4 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

$$W_{хім} = W_{заг} - W_{дж} = 8060,2 - 6809,8 = 328 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

Таблиця 2.3 – Баланс енергії на ванні хромування

Прихід	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	2347.4	100	Джоулева теплота	2019.4	86
			Хімічна енергія	328	14
Разом	2347.4	100	Разом	2347.4	100

### 2.3. Тепловий розрахунок гальванічних ванн

Оскільки деякі технологічні операції виконуються за підвищеної температури, то при розробці дипломного проекту необхідно розрахувати параметри нагрівних пристроїв для ванн, в яких виконують ці операції, та витрати енергоносіїв для забезпечення їх теплового режиму.

Параметри нагрівних пристроїв та витрати енергоносіїв визначають на основі даних теплового розрахунку відповідних ванн.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		/ 7

### 2.3.1. Тепловий розрахунок для гальванічних ванн, які працюють за підвищеної температури

Тепловий розрахунок проводять з ціллю визначення кількості теплової енергії (теплоти), яку необхідно витратити для розігріву ванни до робочої температури, і кількість теплової енергії (теплоти), яку витрачають на підтримування необхідного теплового режиму під час електролізу з урахуванням джоулевої теплоти, яка при цьому виділяється. За результатами цих розрахунків потім визначають параметри нагрівного пристрою і витрати енергоносія. Тепловий розрахунок проводять за такою схемою.

#### 1. Визначення витрат теплової енергії (теплоти) на розігрів ванни

Кількість теплової енергії  $Q_{роз}$ , яка необхідна для розігріву ванни, складається із витрат теплоти  $Q_1$  на розігрів електроліту, матеріалу та футеровки ванни, анодів і витрат теплоти  $Q_2$  на компенсацію втрат у навколишнє середовище.

$$Q_{роз} = Q_1 + \frac{Q_2}{2},$$

де  $Q_2$  – теплові втрати при робочій температурі за час розігріву, приймають, що в процесі розігріву теплові втрати у два рази нижчі.

Величину  $Q_1$  визначають як

$$Q_1 = (V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3 + C_4 \cdot m_4) \cdot (t_k - t_n),$$

де  $V_1 = 1 \text{ м}^3$  – об'єм електроліту, який нагрівається;

$C_1 = 3465 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – питома масова теплоємність електроліту;

$d_1 = 1,2 \text{ кг}/\text{дм}^3$  – густина електроліту;

$C_2 = 480 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – теплоємність матеріалу корпусу ванни (сталь);

$m_2 = 505 \text{ кг}$  – маса ванни;

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		1,8

$C_3 = 1630 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – теплоємність матеріалу футеровки (вініпласт);

$m_3 = 60 \text{ кг}$  – маса футеровки;

$C_4 = 129,8 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – теплоємність матеріалу анода (свинець);

$m_4 = 18,71 \text{ кг}$  – маса анодів у ванні;

$t_{\text{к}} = 55^\circ\text{C}$  – кінцева температура електроліту;

$t_{\text{п}} = 18^\circ\text{C}$  – початкова температура електроліту.

$$Q_1 = (1000 \cdot 3465 \cdot 1,2 + 505 \cdot 480 + 1630 \cdot 129,8 \cdot 18,71) \cdot (55 - 18) = \\ = 309281133 \text{ Дж}$$

Кількість теплоти на компенсацію теплових втрат у навколишнє середовище  $Q_2$  складається із втрат теплоти нагрітим електролітом через стінки ванни  $Q_3$  і втрати теплоти через дзеркало електроліту  $Q_4$

$$Q_2 = Q_3 + Q_4.$$

Значення  $Q_3$  и  $Q_4$  можна вирахувати наближено за допомогою таких рівнянь:

$$Q_3 = q_3 \cdot F_{\text{к}} \cdot \tau_p,$$

$$Q_4 = q_4 \cdot F_3 \cdot \tau_p,$$

де  $F_{\text{к}}$  – площа поверхні корпусу ванни,  $\text{м}^2$ ;

$F_3$  – площа поверхні дзеркала електроліту,  $\text{м}^2$ ;

$\tau_p$  – час розігріву ванни, приймаємо 1 год;

$q_3$  – величина питомих витрат теплоти через стінки ванни,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$q_4$  – величину питомих витрат теплоти через дзеркало електроліту,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Значення коефіцієнтів  $b_0$  і  $b_1$  наведені в таблиці 2.1.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		/о

Таблиця 2.1. - Значення коефіцієнтів  $b_0$  і  $b_1$  у рівнянні

Коефіцієнт	Товщина теплоізолюючого шару корпусу ванни, мм			
	0	25	50	75
$b_0$	-397	-40,54	-24,85	-13,92
$b_1$	15,23	2,435	1,357	0,909

Величину  $q_3$  можна вирахувати за емпіричним рівнянням:

$$q_3 = b_0 + b_1 \cdot t,$$

де  $b_0 = -24,85$ ;

$$b_1 = 1,357$$

$$q_3 = -24,85 + 1,357 \cdot 55 = 49,785 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

тоді

$$Q_3 = 49,785 \cdot 4,832 \cdot 3600 = 866 \text{ кДж}.$$

Величину  $q_4$  можна вирахувати за емпіричним рівнянням:

$$q_4 = 82 + 0,0115 \cdot t^3,$$

$$q_4 = 82 + 0,0115 \cdot 55^2 = 1995,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$Q_4 = 1995,3 \cdot 1,136 \cdot 3600 = 8159,9 \text{ кДж}.$$

Тоді кількість тепла  $Q_{\text{роз}}$ , яка необхідна для розігріву ванни складає:

$$Q_{\text{роз}} = 309281,133 + \frac{(866 + 8159,9)}{2} = 309285646 \text{ кДж}.$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		ЄО

## 2. Визначення витрат теплоти на підтримання робочої температури ванни

Кількість теплоти  $Q_{роб}$  для підтримування робочої температури у ванні є сумою теплоти на компенсацію теплових втрат у навколишнє середовище  $Q_2$  і теплоти  $Q_5$  на підігрів підвісок з періодично оброблюваними деталями за вирахуванням величини джоулевого тепла  $Q_{дж}$ :

$$Q_{роб} = Q_2 + Q_5 - W_{дж}$$

Величина  $Q_{дж}$  відповідає  $W_{дж}$ , визначеній у розділі 2.2.4. А величини  $Q_2$  і  $Q_5$  вираховують за формулами:

$$Q_2 = (q_3 \cdot F_k + q_4 \cdot F_3) \cdot 3600, \text{ Дж}$$

$$Q_5 = (C_5 \cdot m_5 + C_6 \cdot m_6) \cdot (t_k - t_n) \cdot n_{оз},$$

де  $C_5 = 385,2$  Дж/(кг · К) – питома масова теплоємність матеріалу підвіски;

$C_6 = 480$  Дж/(кг · К) – питома масова теплоємність матеріалу оброблювальних деталей;

$m_5 = 1,17$  кг – маса підвісного пристрою;

$m_6 = 7,02$  кг – маса оброблюваних деталей на одній підвісці;

$n_{оз}$  – кількість підвісок з деталями, які обробляються у ванні за одну годину.

Величину  $n_{оз}$  можна вирахувати як:

$$n_{оз} = \frac{60}{18} = 3,3 \approx 3.$$

$$Q_2 = (49,785 \cdot 4,832 + 1995,3 \cdot 1,136) \cdot 3600 = 9026 \text{ кДж}$$

$$Q_5 = (385,2 \cdot 1,17 + 480 \cdot 7,02) \cdot (55 - 18) \cdot 3 = 4240,5 \text{ кДж}$$

$$Q_{роб} = 9026 + 4240,5 - 2023,8 = 6456,7 \text{ кДж}$$

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

Таблиця 2.4 – Тепловий баланс ванни хромування

<i>Надходження</i>		<i>кДж</i>	<i>%</i>	<i>Витрати</i>		<i>кДж</i>	<i>%</i>
Кількість джоулевої теплоти	$Q_{дж}$	6809,8	51	Кількість теплоти на компенсацію витрат у навколишнє середовище	$Q_2$	9026	68
Кількість теплоти, яка підводиться	$Q_{роб.}$	6456,7	49	Кількість теплоти на компенсацію витрат на підігрів підвісок	$Q_5$	4240,5	32
Разом		13266,5	100	Разом		13266,5	100

### 3. Тепловий розрахунок 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:

$$t_k^o = 55 + \frac{W_{дж}}{V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3 + C_4 \cdot m_4},$$

$$t_k^o = 55 + \frac{2019400}{(1 \cdot 3465 \cdot 1.2 + 480 \cdot 505 + 1630 \cdot 55 + 129.8 \cdot 18,71)} = 60.96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де 55 – температура за якої працює ванна, °C; інші позначення такі ж, як у пункті 1. Розрахована величина  $t_k$ °C не перевищує допустиму за технологією температуру електроліту, тому ванна не потребує охолодження.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

#### 4. Розрахунок витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму

У гальванічних цехах для нагрівання ванн найчастіше використовують електричні нагрівачі.

Витрати електроенергії на розігрів ванни протягом однієї години визначаються як, кВт·год/год:

$$W_{\text{роз}} = (Q_{\text{роз}}/3600) \cdot 10^{-3}$$
$$W_{\text{роз}} = \left(\frac{Q_{\text{роз}}}{3600}\right) \cdot 10^{-3} = \left(\frac{161702,75}{3600}\right) \cdot 10^{-3} = 44,91.$$

Обираємо 8 ТЕНів із сталі (MSP) потужністю по 6 кВт [16].

Загальні витрати теплової енергії на підтримування теплового режиму ванн при виконанні річної виробничої програми:

$$W_{\text{заб}} = (W_{\text{роз}} \cdot T_{\text{доб}}) \cdot n_{\text{в}}, \text{кВт} \cdot \text{год}$$
$$W_{\text{заб}} = (44,91 \cdot 250) \cdot 1 = 11227,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де  $T_{\text{доб}} = 250$  – кількість робочих діб у календарному році;  $n_{\text{в}} = 1$  – кількість ванн даного типу.

#### 2.4. Розрахунок витрат хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми

Розрахунки проводяться з ціллю визначення річної кількості витратних матеріалів, які будуть задовольняти потреби виробництва в повній мірі, щоб виробництво могло працювати з заданою продуктивністю.

Розрахунок здійснюється для усіх технологічних операцій згідно карти технологічного процесу.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

### 2.4.1. Витрати анодів на початковий запуск обладнання

Витрати розчинних та нерозчинних анодів на запуск обладнання  $G_{AZ}$ , кг, визначаються за формулою:

$$G_{AZ} = S_a \cdot \delta_a \cdot d_a = 0,55 \cdot 0,003 \cdot 11340 = 18,71 \text{ кг}$$

$\delta_a$  – товщина анодів, м ( $\delta_a=0,0012$ );

$d_a$  – густина матеріалу анода, кг/м<sup>3</sup> ( $d_a=11340$ ) [14].

### *Витрати нерозчинних анодів на виконання річної виробничої програми*

Такі витрати обумовлені технологічними витратами, відходами і визначаються за формулою:

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

де  $S=10300 \text{ м}^2$  – площа нанесеного покриття при виконанні річної програми;

$A_n = 3,32 \text{ г/м}^2$  — норма витрат нерозчинних анодів.

$$G_{ан} = 10300 \cdot 3,32 \cdot 10^{-3} = 32,96 \text{ кг}$$

### 2.4.2. Розрахунок витрат хімічних реактивів на початковий запуск

Витрати кожного компонента електроліту на початковий запуск  $G_i$  (кг) визначаються за формулою:

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

де  $C_i$  – концентрація відповідного компонента електроліту, кг/м<sup>3</sup>;  $V_B = 1 \text{ м}^3$  –

об'єм ванни;  $K_{зан} = 0,8$  – коефіцієнт заповнення ванни;  $n_B = 1$  – кількість ванн даного типу.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		Є/

### ***Хромування***

$$G_{CrO_3} = 300 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 240 \text{ кг}$$

$$G_{K_2SiF_6} = 20 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 16 \text{ кг}$$

$$G_{SrSO_4} = 6.5 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 5.2 \text{ кг}$$

де  $C_{CrO_3} = 300 \text{ кг/м}^2$ ;  $C_{K_2SiF_6} = 20 \text{ кг/м}^2$ ;  $C_{SrSO_4} = 6.5 \text{ кг/м}^2$

### ***Електрохімічне знежирення***

$$G_{NaOH} = 20 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 16 \text{ кг},$$

$$G_{Na_2CO_3} = 30 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 24 \text{ кг},$$

$$G_{Na_3PO_4} = 50 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 40 \text{ кг},$$

де  $C_{NaOH} = 20 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{Na_2CO_3} = 30 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{Na_3PO_4} = 50 \text{ кг/м}^3$ .

### ***Травлення хімічне***

$$G_{HCl} = 40 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 32 \text{ кг},$$

$$G_{\text{катапін}} = 5 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 4 \text{ кг},$$

де  $C_{HCl} = 40 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{\text{катапін}} = 5 \text{ кг/м}^3$ ;

### ***Активация хімічна***

$$G_{H_2SO_4} = 100 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 2 = 180 \text{ кг},$$

де  $C_{H_2SO_4} = 100 \text{ кг/м}^3$ .

### ***Міднення електрохімічне***

$$G_{Cu(CN)} = 60 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 48 \text{ кг},$$

$$G_{NaOH} = 15 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 12 \text{ кг}$$

$$G_{NaCN} = 15 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 12 \text{ кг},$$

$$G_{NaSCN} = 15 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 12 \text{ кг},$$

$$G_{C_4H_4Na_4O_6} = 10 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 8 \text{ кг},$$

$$G_{MnSO_4} = 0.05 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 0.04 \text{ кг},$$

де  $C_{CuCN} = 60 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{NaCN} = 15 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{NaSCN} = 15 \text{ кг/м}^3$ ;

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		СГ

$$C_{C_4H_4Na_4O_6} = 10 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; C_{MnSO_4} = 0,05 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

### ***Нікелювання електрохімічне***

$$G_{NiSO_4} = 300 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 240 \text{ кг},$$

$$G_{H_3BO_3} = 40 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 32 \text{ кг},$$

$$G_{NiCl_2} = 60 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 48 \text{ кг},$$

$$G_{H_3BO_3} = 40 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 32 \text{ кг},$$

де  $C_{NiSO_4} = 300 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{H_3BO_3} = 40 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{NiCl_2} = 60 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{H_3BO_3} = 40 \text{ кг/м}^3$ .

### **2.4.3. Розрахунок витрат хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми**

Розрахунок витрат кожного компонента на виконання річної виробничої програми 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  $S = 10300 \text{ м}^2$  – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік;

1,15 – коефіцієнт, що враховує площу занурюваної частини підвісок;

$A_e = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{м}^2$  – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями при хромуванні.

$$V_{BT} = 1,15 \cdot 10300 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,32 \text{ м}^3,$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

### ***Хромування***

$$G_{CrO_3} = 300 \cdot 2,32 = 696 \text{ кг}$$

$$G_{K_2SiF_6} = 20 \cdot 2,32 = 46,4 \text{ кг}$$

$$G_{SrSO_4} = 6,5 \cdot 2,32 = 15,08 \text{ кг}$$

### ***Електрохімічне знежирення***

$$G_{NaOH} = 20 \cdot 2,32 = 46,4 \text{ кг},$$

$$G_{Na_2CO_3} = 30 \cdot 2,32 = 69,6 \text{ кг},$$

$$G_{Na_3PO_4} = 50 \cdot 2,32 = 116 \text{ кг}.$$

### ***Травлення хімічне***

$$G_{HCl} = 40 \cdot 2,32 = 98,2 \text{ кг},$$

$$G_{\text{катапін}} = 5 \cdot 2,32 = 11,6 \text{ кг},$$

### ***Активация хімічна***

$$G_{H_2SO_4} = 100 \cdot 2,32 = 232 \text{ кг}.$$

### ***Міднення електрохімічне***

$$G_{CuCN} = 60 \cdot 2,32 = 139,2 \text{ кг},$$

$$G_{NaCN} = 15 \cdot 2,32 = 34,8 \text{ кг},$$

$$G_{NaOH} = 15 \cdot 2,32 = 34,8 \text{ кг}$$

$$G_{NaSCN} = 15 \cdot 2,32 = 34,8 \text{ кг},$$

$$G_{C_4H_4Na_4O_6} = 10 \cdot 2,32 = 23,2 \text{ кг},$$

$$G_{MnSO_4} = 0,05 \cdot 2,32 = 0,116 \text{ кг}.$$

### ***Нікелювання електрохімічне***

$$G_{NiSO_4} = 300 \cdot 2,32 = 696 \text{ кг},$$

$$G_{H_3BO_3} = 40 \cdot 2,32 = 92,8 \text{ кг},$$

$$G_{NiCl_2} = 60 \cdot 2,32 = 139,2 \text{ кг},$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

$$G_{H_3BO_3} = 40 \cdot 2,32 = 92,8 \text{ кг},$$

Ванна хромування працює з нерозчинними анодами, тому треба ще додатково врахувати їх витрати на осаджування металевих покриттів. Для ванни хромування необхідно додатково урахувати витрати хромового ангідриду на виділення металевого хрому на катоді із розрахунку  $13,3 \cdot 10^{-3}$  кг  $CrO_3$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхні за товщини осаду хрому  $1 \text{ мкм}$ :

$$G'_{CrO_3} = 13,3 \cdot 10^{-3} \cdot 10300 \cdot 1 = 137 \text{ кг}$$

## 2.5. Розрахунок витрат води

При виконанні річної виробничої програми вода витрачається для приготування розчинів, на розкладання внаслідок електролізу, на випарування з поверхні розчинів, на промивні операції, для охолодження та ін. Розрахунок витрат води здійснюють для всіх технологічних операцій згідно карти технологічного процесу.

### 2.5.1. Витрати води на приготування електроліту

Розрахунок витрат води на приготування електролітів і розчинів  $G'_{H_2O}$  визначається за формулою:

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

де  $C_{H_2O}$  – вміст води в  $1 \text{ м}^3$  розчину, кг;

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

Величину  $C_{H_2O}$  можна визначити як

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

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		Є8

$$C_{H_2O} = 1,2 \cdot 10^3 - (250 + 5,5 + 18) = 926,5 \text{ кг/м}^3.$$

де  $d_{el}$  – густина електроліту або розчину,  $\text{кг/м}^3$  ( $d_{el} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ),

$C_1, C_2, \dots, C_n$  – вміст компонентів в розчині,  $\text{кг/м}^3$   $C_{CrO_3} = 250 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{SrSO_4} = 5,5 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{K_2SiF_6} = 18 \text{ кг/м}^3$ ).

Сумарні витрати розчину знаходять за формулою:

$$V_{заг} = V_в \cdot K_{зан} \cdot n_в + V_{вт},$$

$$V_{заг} = 1 \cdot 0,7 \cdot 1 + 2,32 = 3,02 \text{ м}^3.$$

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

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

$n_в$  – кількість ванн ( $n_в = 1$ );

$V_{вт}$  – об'єм електроліту або розчину, витраченого для виконання річної виробничої програми ( $V_{вт} = 2,32$ ).

Отже, витрати води на приготування для електроліту хромування становлять:

$$G'_{H_2O} = 926,5 \cdot 3,02 = 2798.$$

Розраховуємо також витрати води на приготування електроліту міднення:

$$C1_{H_2O} = d_{el} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n),$$

де  $d_{el}$  – густина електроліту або розчину,  $\text{кг/м}^3$  ( $d_{el} = 1,13 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ),

$C_1, C_2, \dots, C_n$  – вміст компонентів в розчині,  $\text{кг/м}^3$ ;  $C_{CuCN} = 60 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{NaCN} = 15 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{NaOH} = 15 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{NaSCN} = 15 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{C_4H_4Na_4O_6} = 10 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{MnSO_4} = 0,05 \text{ кг/м}^3$ .

$$C1_{H_2O} = 1,13 \cdot 10^3 - (60 + 15 + 15 + 15 + 10 + 0,05) = 1014,95$$

$$G_{H_2O}^1 = 1014,95 \cdot 3,02 = 3065,2.$$

А також враховуємо витрати води на нікелювання:

$$C2_{H_2O} = d_{el} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n),$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		ЄО

де  $d_{el}$  – густина електроліту або розчину,  $\text{кг/м}^3$  ( $d_{el}=1,17 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ),

$C_1, C_2, \dots, C_n$  – вміст компонентів в розчині,  $\text{кг/м}^3$ ; де  $C_{NiSO_4} = 300 \text{ кг/м}^3$ ;  
 $C_{H_3BO_3} = 40 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{NiCl_2} = 60 \text{ кг/м}^3$ ;  $C_{H_3BO_3} = 40 \text{ кг/м}^3$ .

$$C_{H_2O} = 1.17 \cdot 10^3 - (300 + 40 + 60 + 40) = 730$$

$$G_{H_2O}^{2'} = 730 \cdot 3,02 = 2204,6.$$

### 2.5.2. Витрати води на розкладання при електролізі

Розрахунок виконується для ванн електрохімічного знежирення. Витрати води на розкладання  $C_{H_2O}''$  розраховується за формулою, кг:

$$C_{H_2O}'' = I \cdot \frac{18 \cdot \Gamma_d \cdot V_c'}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5},$$

де  $V_c'$  – вихід за струмом для побічного процесу розкладання води, %.

$$C_{H_2O}'' = 1147 \cdot \frac{18 \cdot 3864,48 \cdot 100}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} = 1488,5 \text{ кг.}$$

Також розрахуємо витрати води для хромування:

$$C_{H_2O}^{xp} = 1147 \cdot \frac{18 \cdot 3864,48 \cdot 80}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} = 1190,8 \text{ кг.}$$

### 2.5.3. Витрати води на винесення з газами

Розрахунок виконується для ванн, в яких може перебігати побічний процес розкладання води та для ванн електрохімічного знежирення. Витрати на винесення із газами  $C_{H_2O}'''$ , визначаються за формулою, кг:

$$C_{H_2O}''' = C_{H_2O}' \cdot V_{\Gamma}^t$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

де  $C'_{H_2O}$  – маса води, яка виноситься із ванни одним м<sup>3</sup> газів, кг/м<sup>3</sup>;

$V_2^t$  – загальний об'єм вологого газу, який виділяється при температурі електролізу, м<sup>3</sup>.

Величину  $C'_{H_2O}$  визначають як:

$$C'_{H_2O} = 0,805 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_{H_2O}}{P_6 - P_{H_2O}},$$

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

де  $P_6$  – загальний тиск паро-газової суміші, гПа ( $P_6 = 101,308$  кПа);

$P_{H_2O}$  – парціальний тиск пари води при температурі електролізу, кПа ( $P_{H_2O} = 15,996$ ).

Для визначення величини  $V_2^t$  спочатку визначають об'єми водню і кисню, приведені до нормальних умов, м<sup>3</sup>:

$$V_{H_2}^0 = 0,418 \cdot I \cdot T_d \cdot B'_C \cdot 10^{-5},$$

$$V_{O_2}^0 = 0,209 \cdot I \cdot T_o \cdot B'_C \cdot 10^{-5},$$

$$V_{H_2}^0 = 0,418 \cdot 1147 \cdot 3864,48 \cdot 80 \cdot 10^{-5} = 1482 \text{ м}^3,$$

$$V_{O_2}^0 = 0,209 \cdot 1147 \cdot 3864,48 \cdot 80 \cdot 10^{-5} = 741 \text{ м}^3$$

і сумарний об'єм приведених до нормальних умов газів, м<sup>3</sup>:

$$V_r^0 = V_{H_2}^0 + V_{O_2}^0$$

$$V_r^0 = 1482,1 + 741 = 2223 \text{ м}^3.$$

Об'єм вологого газу за температури електролізу, м<sup>3</sup>:

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

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

$$V_{\Gamma}^t = \frac{2223 \cdot 101,3 \cdot (273 + 55)}{273(101,3 - 15,996)} = 31718,9 \text{ м}^3,$$

де  $t_{el}$  – температура електролізу, °С.

$$C'''_{H_2O} = 0,151 \cdot 31718,9 = 4789,6.$$

#### 2.5.4. Витрати води на випаровування з поверхні розчину

Такі витрати води  $C^{IV}$  при відповідній температурі можна розрахувати за формулою, кг:

$$C^{IV} = T_{\text{д}} \cdot S_e \cdot q_{H_2O} \cdot n_{\text{в}},$$

де  $S_e$  – поверхня дзеркала розчину, м<sup>2</sup> ( $S_e=0,96 \text{ м}^2$ );

$n_{\text{в}}$  – кількість ванн даного типу ( $n_{\text{в}}=1$ )

$q_{H_2O}$  – швидкість випаровування води за 1 годину при відповідній температурі знаходимо методом інтерполяції з таблиці 4. Розраховане значення  $q_{H_2O}$  при температурі 55 °С складає 3,01.

Таблиця 2.5. Орієнтовні значення швидкості випаровування води із ванн для різних температур розчину

Температура розчину, °С	30	40	50	60	70	80	90
Швидкість випаровування води з 1 м <sup>2</sup> дзеркала розчину, л/год.	0,39	1,05	2,10	3,91	5,87	8,32	13,5

$$C^{IV} = 3864,48 \cdot 0,96 \cdot 3,01 \cdot 1 = 11166,8 \text{ кг}$$

Витратами води на випаровування із ванн, які працюють за цехової

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

температури, можна знехтувати.

### 2.5.5. Витрати води на промивні операції.

Витрати води на промивні операції залежить від кількості ступенів промивки.

При одноступеневій промивці способом занурювання погодинні витрати води складають:

$$V_{год} = A_e \cdot K \cdot P_e,$$

де:  $A_e = 0,2$  — норма виносу розчину з ванни поверхнею деталей;

$P_{год} = 2.66 \text{ м}^2/\text{год}$  – годинна програма ванни;  $K$  – критерій остаточної промивки деталей:

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

де:  $C_0$  - концентрація основного компонента в ванні;  $C_k$  — гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивки.

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

де,  $1,5$  - коефіцієнт який враховує падіння тиску води у водопроводі.

### Витрати води на промивні операції після знежирення

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, для ванн знежирення:  $0,8 \text{ г/л}$ .

Концентрація основного компоненту (NaOH) —  $20 \text{ г/л}$ , молярна маса  $-40 \text{ г/моль}$ ,

Розчин знежирення містить також інші лужні компоненти:

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

- $Na_3PO_4$  :

$C_{Na_3PO_4} = 50$  г/л,  $M_{Na_3PO_4} = 163,94$  г/моль,  $C_M = 50/163,94 = 0,305$  моль/л; у перерахунку на NaOH:  $0,305 \cdot 3 = 0,915$  моль/л або ж  $0,915 \cdot 40 = 36,6$  г/л;

- $Na_2CO_3$ :

$C_{Na_2CO_3} = 30$  г/л,  $M_{Na_2CO_3} = 106$  г/моль,  $C_M = 30/106 = 0,28$  моль/л; у перерахунку на NaOH:  $0,28 \cdot 2 = 0,56$  моль/л або ж  $0,56 \cdot 40 = 22,4$  г/л

$$K = \frac{C_0}{C_K} = \frac{71}{0,8} = 88,75$$

$$V_{год} = 0,2 \cdot 88,75 \cdot 2,66 = 47,2 \text{ (л/год)}$$

$$V_{сум} = V_{год} \cdot T_{д} \cdot 1,5 = 47,2 \cdot 3\ 864,48 \cdot 1,5 = 273692 \text{ (м}^3\text{)}$$

### Витрати води на промивні операції після травлення

Концентрація основного компоненту (HCl) — 200 г/л. молярна маса – 36,5 г/моль,  $C_M = 200/36,5 = 5,5$  моль/л. Перерахунок на сульфатну кислоту:  $5,5 \cdot 0,5 = 2,75$  моль/л або ж  $2,75 \cdot 98 = 269,5$  г/л.

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, для ванн травлення: 0,1 г/л.

$$K = \frac{C_0}{C_K} = \frac{269,5}{0,1} = 2695$$

$$V_{год} = 0,2 \cdot 2695 \cdot 2,66 = 1434 \text{ (л/год)}$$

$$V_{сум} = V_{год} \cdot T_{д} \cdot 1,5 = 1435 \cdot 3\ 864,48 \cdot 1,5 = 8310989 \text{ (м}^3\text{)}$$

### Витрати води на промивні операції після хромування

Концентрація основного компоненту  $CrO_3$  — 300 г/л.  $M(CrO_3) = 100$  г/моль.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ

Адк.

64

Робимо перерахунок на іон  $Cr^{3+}$ :

$$\frac{C(CrO_3)}{M(CrO_3)} \cdot M(Cr^{3+}) = \frac{300}{100} \cdot 52 = 156 \text{ г/л,}$$

при цьому отримуємо:

$$K = \frac{C_0}{C_K} = \frac{156}{0,01} = 15600$$

Після хромування і перед промиванням здійснюють уловлювання електроліту, тому величину  $K$  зменшують введенням коефіцієнту 0,4 для однієї ванни уловлювання:

$$K = 15600 \cdot 0,4 = 6240.$$

Робимо перерахунок на іон  $Sr^{2+}$ :

$$\frac{C(SrSO_4)}{M(SrSO_4)} \cdot M(Sr^{2+}) = \frac{6,5}{184} \cdot 88 = 3,01 \text{ г/л,}$$

при цьому отримуємо:

$$K = \frac{C_0}{C_K} \cdot 0,4 = \frac{3,01}{0,01} \cdot 0,4 = 301 \cdot 0,4 = 120,4$$

Робимо перерахунок на 6 іонів  $F^-$ :

$$\frac{C(K_2SiF_6)}{M(K_2SiF_6)} \cdot 6 \cdot M(F^-) = \frac{20}{104} \cdot 6 \cdot 19 = 22 \text{ г/л,}$$

при цьому отримуємо:

$$K = \frac{C_0}{C_K} \cdot 0,4 = \frac{22}{0,01} \cdot 0,4 = 2200 \cdot 0,4 = 880.$$

За критерій остаточної промивки деталей обираємо 6240. Тоді:

$$V_{год} = 0,2 \cdot 6240 \cdot 2,66 = 3320 \text{ (л/год)}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 3320 \cdot 3\,864,48 \cdot 1,5 = 19245110 \text{ (м}^3\text{)}$$

**Витрати води на промивні операції після міднення**

$$C_{\text{CuCN}} = 60 \text{ г/л, } M_{\text{CuCN}} = 90 \text{ г/моль; } M(\text{CN}^-) = 26 \text{ г/моль.}$$

$$C_{\text{NaCN}} = 15 \text{ г/л; } M_{\text{NaCN}} = 49 \text{ г/моль.}$$

$$C_{\text{NaOH}} = 15 \text{ г/л, } M_{\text{NaOH}} = 40 \text{ г/моль; } M(\text{OH}^-) = 17 \text{ г/моль.}$$

$$C_{\text{NaSCN}} = 15 \text{ г/л, } M_{\text{NaSCN}} = 81 \text{ г/моль; } M(\text{SCN}^-) = 58 \text{ г/моль.}$$

$$C_{\text{C}_4\text{H}_4\text{Na}_2\text{O}_6} = 10 \frac{\text{г}}{\text{л}}, M_{\text{C}_4\text{H}_4\text{Na}_4\text{O}_6} = 194 \text{ г/моль; } M(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}) \\ = 148 \text{ г/моль.}$$

$$C_{\text{MnSO}_4} = 0,05 \text{ г/л.}$$

Перерахунок на іони будемо рахувати для йонів ціаніду та натрій гідроксиду.

Робимо перерахунок на іон  $\text{CN}^-$ :

- для  $\text{CuCN}$ :  $60/90 \cdot 26 = 17,3 \text{ г/л.}$

- для  $\text{NaCN}$ :  $15/49 \cdot 26 = 8 \text{ г/л.}$

Сумарна концентрація іона  $\text{CN}^-$ :  $17,3 + 8 = 25,3 \text{ г/л.}$

$$K = \frac{25,3}{0,015} = 1687$$

Робимо перерахунок також для іона  $\text{Cu}^+$ :  $60/90 \cdot 64 = 42,7 \text{ г/л}$

$$K = \frac{42,7}{0,002} = 21350$$

$$V_{\text{год}} = 0,2 \cdot 21350 \cdot 2,66 = 11358,2 \text{ (л/год)}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 11358,2 \cdot 3\,864,48 \cdot 1,5 = 65840305 \text{ (м}^3\text{)}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66

### Витрати води на промивні операції після нікелювання

$$C_{Ni_2SO_4} = 300 \text{ г/л}, M_{Ni_2SO_4} = 155 \text{ г/моль}; M(Ni^{2+}) = 59 \text{ г/моль}.$$

Робимо перерахунок також для іона  $Ni^{2+}$ :  $300/155 \cdot 59 = 114 \text{ г/л}$

$$K = \frac{C_0}{C_K} = \frac{114}{0,01} = 11419$$

$$V_{год} = 0,2 \cdot 11419 \cdot 2,66 = 6075 \text{ (л/год)}$$

$$V_{сум} = V_{год} \cdot T_d \cdot 1,5 = 6075 \cdot 3864,48 \cdot 1,5 = 35215635 \text{ (м}^3\text{)}$$

### 2.5.6. Загальна витрата води

Загальну витрату води за рік (кг) знаходимо додаванням всіх вище розрахованих витрат:

$$\begin{aligned} \sum V(H_2O) &= 35215635 + 65840305 + 19245110 + 8310989 + 273692 + 11166,8 + \\ &+ 4789,6 + 1190,8 + 1488,5 + 2204,6 + 2798 = 128909369,3 \text{ кг.} \end{aligned}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		67

### РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ХРОМУВАННЯ

Автоматизація виробництва є одним із найважливіших факторів забезпечення якісного, продуктивного та безпечного забезпечення продуктом з мінімальним використанням фізичної праці. Завдяки цьому з'являється можливість реалізації безпечного робочого процесу навіть за умов роботи з агресивними речовинами та в екстремальних умовах (високі температури, напруга, струм, небезпечні випари і т.д.). До того ж автоматизація всіх процесів та апаратів дозволяє скоротити загальні витрати електроенергії, основних реактивів та чисельність персоналу.

Гальванічні ванни представляють собою автоматичні лінії, які обладнані приладами для контролю та регулювання основних параметрів: густини струму, контролю рівня, рН, температури та концентрації компонентів в електроліті.

Схема автоматизації процесу є технічним документом у вигляді креслення, який містить всі вузли автоматизованого виробництва. Її ефективність забезпечується за умови врахування цілісності та правильності роботи обладнання, вчасного поповнення гальванічної ванни реактивами, контролю та реєстрації технологічних параметрів.

Ці параметри можна контролювати, проаналізувавши умови роботи технологічного обладнання на базі встановлених законів та критеріїв керування об'єктом.

Мета автоматизації даного виробництва: нанесення захисно-декоративного хромового покриття на сталеві деталі із заданими показниками якості.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

### 3.1. Процес нанесення хромового покриття, як об'єкт автоматизації

В автоматичних системах вимірювань зміна температури здійснюється на основі фізичних властивостей тіл, що функціонально пов'язані з їх температурою. Процес нанесення захисно-декоративного хромового покриття проводять з підігрівом електроліту. Тому у ванні хромування слід постійно підтримувати сталу температуру, при якій ведуть процес (53 – 60 °С), оскільки виділяється велика кількість джоулевої енергії внаслідок процесів хромування, що може призводити до нагрівання ванни. Контроль та регулювання температури здійснюють з використанням різних видів термометрів.

Необхідний безперервний контроль струмом та напругою для запобігання короткого замикання.

У процесі нанесення хромового покриття можлива зміна складу та об'єму електроліту. Об'єм електроліту може змінюватись в результаті втрати його під час вивантаження деталей. Зміна компонентного складу електроліту може призвести до погіршення структури осаду, його рівномірності і, як результат, погана якість покриття. Тому необхідно автоматично підтримувати постійний склад електроліту та його рівень у гальванічній ванні.

Важливим показником також є контроль рН електроліту. Його проводять один раз на день та підтримують у межах 2...2,5 за допомогою добавок кислоти чи лугу.

Струм на ванні має бути завжди в межах, встановлених у технологічній частині процесу, оскільки він відповідає за пористість покриття, яке має бути мінімальним при нанесенні захисно-декоративного покриття.

Параметри регулювання та контролю нанесення хромового покриття згруповані у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри регулювання та контролю процесу нанесення хромового покриття

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6а

№ 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	53...60 °С	контроль
2	Стадія нанесення хромового покриття, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	рівень	0,7 м	контроль, регулювання
3	Ванна для нанесення хромового покриття	Сила струму та напруга	9317 А; 15,3 В	контроль, регулювання

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

### 3.2. 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) (Додаток А).

Для підтримання температури режиму процесу хромування, регламентованого в технологічній схемі використовується змійовик.

Для регулювання рівня використовуємо передавальний перетворювач рівня з пневматичним вихідним сигналом (позначення 2 – 1). 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 сили струму в ванні передбачений контур 6, який складається з випрямного агрегату (3 – 2).

### 3.3. Опис технологічної схеми процесу

Нанесення захисно-декоративного хромового покриття здійснюється на сталеву деталь переднього перехідника диску автомобіля. Гальванічне покриття покращує фізико-механічні властивості перехідника (забезпечує захист від корозії та ерозії, забезпечує підвищену стійкість сталі до газової корозії, підвищує зносостійкість, збільшує твердість поверхні) та сприяє його декоративному оздобленню.

Процес будемо проводити в електроліті, що містить:

$C(\text{CrO}_3) - 200 \dots 300 \text{ г/дм}^3$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

$C(\text{SrSO}_4) - 5,5 \dots 6,5 \text{ г/дм}^3$

$C(\text{K}_2\text{SiF}_6) - 18 \dots 20 \text{ г/дм}^3$

Режим електролізу:

температура –  $53 \dots 58^\circ\text{C}$

сила струму – 4128,88 А

напруга – 8,63 В

pH –  $2 \dots 2,5$

Поставлені в роботі задачі щодо автоматизації вимірювання, регулювання та реєстрації параметрів температури ( $53 \dots 60^\circ\text{C}$ ), рівня, концентрації ( $C(\text{CrO}_3) = 250 \text{ г/л}$ ) вдалося вирішити шляхом складання функціональної схеми автоматизації, яка є основним технічним документом, що визначає функціональну структуру окремих вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання технологічного процесу та оснащення об'єкта керування (в даному випадку електролітичної ванни процесу нанесення хромового покриття) приладами і засобами автоматизації.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		72

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО – ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

### 4.1 Підприємство у промисловій структурі держави

Для організації гальванічного цеху, відповідно до діючої «Галузевої інструкції з планування, обліку виробництва та калькуляції собівартості на підприємствах хімічної промисловості», необхідно розрахувати техніко-економічні показники цеху з нанесення гальванічного покриття та повну собівартість продукції.

На підставі проведених розрахунків проводиться аналіз техніко-економічних показників, на підставі якого роблять висновки про доцільність створення виробничого цеху для підприємства.

Організаційно-правова форма: фізична особа підприємець.

Класифікаційні ознаки підприємства:

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

КВЕД: код 24.45 що включає нанесення хрому на недорогочінні метали [15].

Мета діяльності: задоволення потреб машинобудівної промисловості у електрохімічному виробництві корозійно стійких захисно-декоративних

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		72

хромових покриттів на сталеві деталі з метою збільшення терміну експлуатації цих деталей та надання їм гарного світло-сірого з блакитним відтінком зовнішнього вигляду.

Основні завдання, які вирішує підприємство:

1. забезпечення споживачів певною кількістю якісної продукцією у строго відведений період;
2. недопущення збоїв у роботі підприємства (зупинки робочого процесу через несправність обладнання чи недотримання технологій виробництва, наявність бракованого (забрудненого більше норми) продукту, різкого скорочення обсягів виробництва і зниження рентабельності);
3. забезпечення персоналу підприємства заробітною платою, нормальними умовами праці;
4. отримання доходу за рахунок реалізації продукту.

*Відділ обладнання та матеріалів:* здійснює контроль і регулювання процесу, забезпечує цех сировиною, якісним обладнанням та реактивами, сприяє правильній ергономіці виробництва.

*Відділ економіки:* здійснює організацію економічних розрахунків в цеху, готує та впроваджує перспективні проекти та створює річний план цеху, проводить аналіз техніко-економічних показників роботи цеху, виявляє можливості збільшення випуску продукції, підвищення продуктивності праці і рентабельності виробництва, зниження собівартості продукції, більш раціонального використання виробничих потужностей.

*Технологічний відділ:* здійснює виробничий процес та займається вдосконаленням діючих технологічних процесів з метою підвищення продуктивності праці в цеху, зниження трудомісткості виготовлення продукції,

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

економії матеріалів, поліпшення організації робочих місць, ліквідації браку. Відділ займається складанням технічних завдань на проектування технологічних процесів, нестандартного устаткування, оснащення, інструментів, виготовлення засобів механізації та автоматизації виробництва. Забезпечення виробничих ділянок необхідною технічною документацією, контроль внесення в неї змін у зв'язку з коригуванням технологічних процесів також входить в обов'язки.

## 4.2 Технологічна підготовка виробництва

Класифікація виробничих процесів підприємства.

Нанесення хромового покриття на сталеві деталі здійснюється за технологічною схемою, що складається з операцій наведених в таблиці 4.1

Таблиця 4.1. Класифікація виробничих процесів

Вид виробничого процесу	Найменування операції	Тривалість, хв
Основні	1. монтаж деталей	10
	2. знежирення електрохімічне	20
	3. промивка тепла	1
	4. промивка холодна	1
	5. травлення хімічне	20
	6. промивка холодна	0,25
	7. активація хімічна	0,5
	8. промивка холодна	0,5
	9. міднення електрохімічне	21,8
	10. промивка холодна	0,5
	11. активація хімічна	0,5
	12. промивка холодна	0,5
	13. нікелювання електрохімічне	20.24

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		75

	14. промивка холодна	0,5
	15. активація хімічна	0,5
	16. хромування	4
	17. вловлювання	0,5
	18. промивка холодна	0,5
	19. висушування	15
	20. демонтаж деталей з підвіски	15
	21. зневоднення	180
	22. контроль якості	5
	<i>Загальна тривалість основного процесу</i>	317,85
Допоміжні	1. упакування та відправлення продукції на склад	
Побічні	1. очищення стічних вод	

Визначення оптимального виду руху предметів праці. Річна програма становить 10300 м<sup>2</sup>. За один виробничий цикл, який триває 317,85 хв, наноситься покриття на 5 деталей загальною площею 0,162 м<sup>2</sup>. Підприємство працює цілий рік, у дві зміни по 8 годин, п'ять днів на тиждень. Кількість робочих днів у 2021 році:

$$T_{\text{доб}} = T_p - T_v = 365 - 104 - 11 = 250 \text{ діб}$$

Тоді добова виробнича програма складає:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_{\text{рік}}}{T_{\text{доб}}} = \frac{10300}{250} = 41,2 \frac{\text{м}^2}{\text{день}}$$

де  $T_{\text{доб}} = 250$  доби – кількість робочих днів у календарному році.

Тоді виробнича програма зміни становить:

$$P_{\text{змін}} = \frac{P_{\text{доб}}}{K} = \frac{41,2}{2} = 20,6$$

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

$$m = \frac{P_{\text{змін}}}{U_c} = \frac{20,6}{0,162} = 128 \text{ завантажень/зміну,}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		76

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

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

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.

Розрахуємо випуск для різних

ВРПП:

1. Для послідовного (рис.4.1):

Тривалість виробничого циклу для разового завантаження:

$$\sum_{i=1}^{22} t_i = 10+20+1+1+20+0,25+0,5+0,5+21,8+0,5+0,5+0,5+20,3+0,5+0,5+4+0,5+0,5+180+15+10 = 317,85 \text{ хв} = 5,3 \text{ год}$$

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{посл}}}{\sum_{i=1}^{22} t_i} = \frac{8 * 60}{317,85} = 1,5 \text{ раз} \approx 1 \text{ рази,}$$

$$V_{\text{посл}}^{\text{Річ}} = 1 \cdot 250 \cdot 2 \cdot 0,162 = 90 \text{ м}^2;$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		77

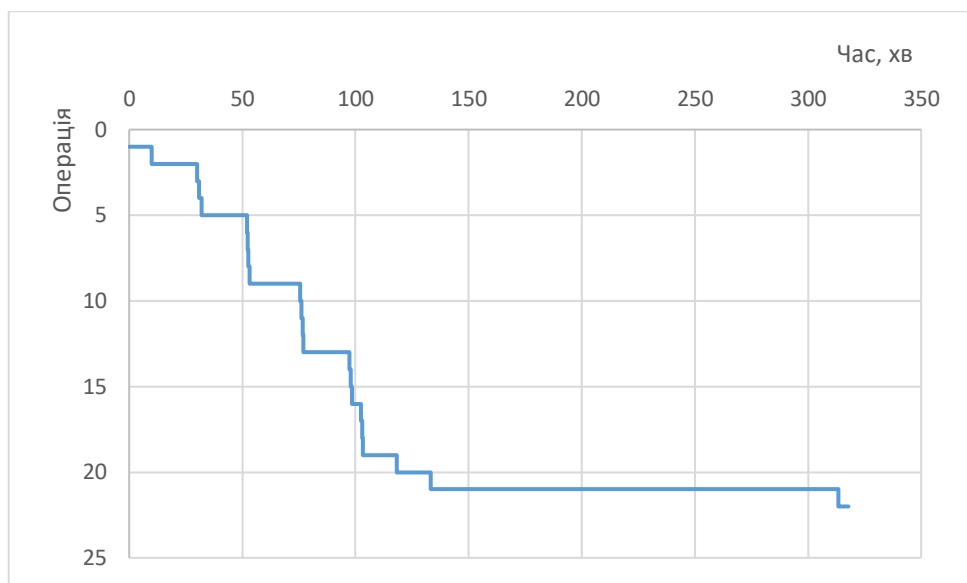


Рисунок. 4.1. Графік послідовного ВРПП

2. Для паралельного :

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{пар}} + t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^{22} t_i}{t_{\text{max}}} = \frac{8 \cdot 60 + 180 - 317,85}{180} + 1 = 2,9 \approx 2 \text{ раз,}$$

$$V_{\text{пар}}^{\text{річ}} = 2 \cdot 250 \cdot 0,162 \cdot 2 = 162 \text{ м}^2;$$

3. Для синхронізованого:

Розрахуємо ритм для синхронізованого ВРПП із співвідношення:

$$8 \cdot 60 = 317,85 + (128-1) \cdot R,$$

$$R = 1,$$

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^{22} t_i}{R} = \frac{8 \cdot 60 + 1 - 317,85}{1} = 163 \text{ раз,}$$

$$V_{\text{синх}}^{\text{річ}} = 163 \cdot 250 \cdot 0,162 \cdot 2 = 13203 \text{ м}^2$$

Тоді за рік випускають таку

кількість деталей хромового покриття:

$$V_{\text{рік}} = \frac{V_{\text{синх}}^{\text{річ}}}{S_{\text{д}}} = \frac{13203}{0,04096} = 322338 \text{ одиниць.}$$

Зважаючи на попередні розрахунки, робимо висновок про те, що

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		78

рекомендується використання синхронізованого ВРПП для даного виробництва з ритмом 1 хв з ціллю виконання річного плану. Таким чином, річна продуктивність виробництва буде навіть дещо вища за задану і становить 13203 м<sup>2</sup>. При цьому кількість завантажень становить 163.

Кількість ванн, яка необхідна для роботи виробництва у режимі синхронізованого ВРПП з заданим ритмом:

$$n_1 = \frac{t_2}{R} = \frac{10}{1} = 10 \text{ шт}$$

$$n_{3,4} = \frac{t_{3,4}}{R} = \frac{1}{1} = 1 \text{ шт}$$

$$n_{2,5} = \frac{t_2}{R} = \frac{20}{1} = 20 \text{ шт}$$

$$n_6 = \frac{t_6}{R} = \frac{0,25}{1} = 1 \text{ шт}$$

$$n_{7,8,10,11,12,14,15,17,18} = \frac{t_{7,8,10,11,12,14,15,17,18}}{R} = \frac{0,5}{1} = 1 \text{ шт}$$

$$n_9 = \frac{t_9}{R} = \frac{21,8}{1} = 22 \text{ шт}$$

$$n_{16} = \frac{t_{16}}{R} = \frac{4}{1} = 4 \text{ шт}$$

$$n_{13} = \frac{t_{13}}{R} = \frac{20,3}{1} = 21 \text{ шт}$$

$$n_{19,20} = \frac{t_2}{R} = \frac{15}{1} = 15 \text{ шт}$$

$$n_{21} = \frac{t_{21}}{R} = \frac{180}{1} = 180 \text{ шт}$$

$$n_{22} = \frac{t_{22}}{R} = \frac{5}{1} = 5 \text{ шт}$$

					<i>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</i>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

Операція 21 – це операція зневоднення, вона відбувається після зняття деталей із підвіски і завантажується у ємність із спеціальним маслом на 180 хв по 50 деталей. Тобто достатньо буде 4-ох ванн.

Операція 9, 16 та 13 – це операції відповідно міднення, нікелювання та хромування. З метою зменшення витрат на кількість обладнання беремо по одній ванні на процес. Для міднення це буде ванна великого розміру по 22 підвіски, для нікелювання по 21-й підвісці, а для хромування по 4.

Загальна кількість обладнання на підприємстві:

$$\sum n = \sum_{i=1}^n n_i$$

$$= 10 + 2 + 2 \cdot 40 + 1 + 1 \cdot 9 + 22/22 + 21/21 + 4/4 + 15 \cdot 2 + 4 + 5 = 74 \text{ одиниці}$$

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  $R = 1$  хвилини, що дозволить виконати денну програму.

#### 4.2. Визначення середньорічної тривалості виробничого циклу, річного випуску продукції

Гальванічний цех працює в дві зміни – 16 год/день, 5 днів на тиждень. Кількість робочих днів у році – 250. Тривалість одного виробничого циклу = 16 год. Середньорічна тривалість виробничого циклу:

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		80

$$\tau_{\text{сер.р.}} = \frac{D_k \cdot T_d}{D_p \cdot T_p} \cdot \tau = \frac{365 \cdot 24}{250 \cdot 16} = 35,04 \text{ год,}$$

де  $D_k$  — кількість днів у році;  $T_d$  — кількість годин у добі;  $D_p$  — кількість робочих днів у році;  $T_p$  — кількість робочих годин у добі;  $\tau$  — тривалість одного виробничого циклу.

Загальна площа деталей, які обробляються в одній партії = 41,2 м<sup>2</sup>.

Кількість виробничих циклів на протязі року :

$$n_{\text{вц}} = \frac{250 \cdot 16}{16} = 250 \text{ циклів.}$$

Річний випуск продукції:

$$V_{\text{річн}} = 41,2 \cdot 250 = 10300 \text{ м}^2.$$

#### 4.3. Розрахунок необхідної кількості співробітників

Кількість працюючих на виробництві визначимо, використовуючи схему оптимального ВРПП та необхідних операцій на підприємстві:

- технолог (2 людини);
- гальванік (2 людини);
- лаборант (2 людини);
- вантажник (2 людини).

Кількість працюючих за списком:  $\text{Ч}_{\text{яв}} = 4$ .

*Режим роботи підприємства:* підприємство працює з понеділка по п'ятницю у дві зміни по 8 годин. Перша зміна з 7:00 до 16:00, друга зміна – з 16:00 до 01:00. Відповідно до цього формується дві бригади, які працюють безпосередньо на виробничій лінії у дві зміни. До складу бригади в одну зміну входить: 1 технолог, 1 гальванік, 1 лаборант, 1 вантажник. Графік роботи підприємства: понеділок – п'ятниця: 7.00 – 01.00

Графік змінності для бригад представлений в табл. 4.2.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		81

Таблиця 4.2. Графік змінності

Дата Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1
2	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2

Чисельність явочна – максимально допустима чисельність працівників, необхідна для виконання відповідного обсягу робіт та повної комплектації робочих місць у кожному підрозділі протягом робочого дня.

Чисельність за списком характеризує потребу підприємства у кадрах, включає штатних і додаткових працівників для заміщення тих, хто знаходиться у відпустці, хворіють або відсутні з інших причин.

Чисельність за списком:

$$Ч_{СП} = Ч_{ЯВ} \cdot \frac{T_{підпр}^{факт}}{T_{прац}^{факт}},$$

де  $T_{підпр}^{факт}$  – фактичний час роботи підприємства, год.;  $T_{прац}^{факт}$  – фактичний час роботи працівника, год.

$$T_{підпр}^{факт} = 250 \cdot 8 \cdot 2 = 4000 \text{ год}$$

$$T_{прац}^{факт} = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (9 - 1) = 2014,86 \text{ год}$$

$$Ч_{СП} = 4 \cdot \frac{4000}{2014,86} = 7,941 \approx 8 \text{ осіб.}$$

#### 4.4. Баланс використання оборотних фондів

До оборотних фондів відносяться: сировина, електроенергія, заробітна плата.

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		82

Таблиця 4.3. Вартість ОФ підприємства

№	Назва обладнання	Вартість, грн
1	Приміщення	600000
2	Ванна хромування	37400
3	Ванна нікелювання	7300
4	Ванни для знежирення, травлення і промивки	52·2500=130000
5	Джерела струму	50000
6	Сушильна шафа	14000
7	Невитратні свинцеві аноди	25000
8	Ванна для термодифузійного зневоднення	4·2000=8000
9	Струмопідводи, штанги	40500
10	Засоби контролю якості	7000
11	Нематеріальні активи	15000
	<b>Всього:</b>	<b>943420</b>

**Розрахунок зносу основних фондів через амортизацію.**

Розрахуємо амортизацію ОФ.

Амортизація=20%, оскільки більшість основних фондів є обладнання, на яке рекомендований державою термін експлуатації становить 5 років, тоді:

$$A_{\text{буд}} = \frac{H_A^{\text{буд}}}{T_{\text{ек}}} = 600000/5 = 120000 \left( \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \right)$$

Амортизація приладів і обладнання:

$$A_{\text{обл}} = \frac{H_A^{\text{обл}}}{T_{\text{вк}}} = \frac{(37400+7300+69000+50000+28000+25000+64000+40500+7000)}{5} = 63840(\text{грн./рік})$$

Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{нм.а}} = \frac{H_A^{\text{нм.а}}}{T_{\text{ек}}} = 15000/12 = 1250(\text{грн./рік})$$

Всього

$$A=65640+120000+1250=185090 \text{ (грн./рік)}$$

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		82

## Розрахунок витрати електроенергії

Середня витрата потужності цехом = 29,5 кВт/год.

Оскільки потужність більше 27,5 кВт маємо I клас напруги. Роздрібні тарифи для споживачів електричної енергії у місті Києві з урахуванням ПДВ становлять: 1 кВт = 296 копійок (2,96 грн). Для двозонних тарифів диференційованих за періодами часу встановлюються такі тарифні коефіцієнти: нічний період - 0,4 ; денний період - 1,5.

Цех працює 16 години на добу 250 днів на рік в денний час(8.00-23.00), а також 2 годину вночі (23.00–01.00).

Сумарні витрати на електроенергію:

$$V_{\text{рік}}^{\text{В/В}} = 250 \cdot 14 \cdot 29,5 \cdot 2,96 \cdot 1,5 + 250 \cdot 2 \cdot 29,5 \cdot 2,96 \cdot 0,4 = 475894 \text{ грн/рік}$$

### Витрати сировини на покриття однієї партії деталей

Таблиця 4.4 – Річні оборотні фонди підприємства

Найменування	Закупка		
	Ціна	Витрата на рік	Вартість, грн
1	2	3	4
Гідрооксид натрію	223,7 грн/кг	146,3	32672,31
Кальцинована сода	693 грн/кг	22	15247
Кислота соляна	35,39 грн/л	800	28316
Технічна сульфатна кислота	49 грн/кг	710	34850,46

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		<b>84</b>

1	2	3	4
Хромовий ангідрид	2761 грн/кг	7,1	19603,4
Лімеда Х-3	396 грн/кг	22	8712,6
Свинець (анооди)	660,8 грн/кг	32,96	21781,5
Вода	10,98 грн/м <sup>3</sup>	5759	56632
Електроенергія	2,96 грн/кВт	475894	
<b>Всього</b>			<b>693709</b>

### Витрати на нарахування заробітної плати

Таблиця 4.5. Заробітна плата персоналу за місяць

Посада	Кількість	ЗП <sub>мін</sub> грн./міс	Тарифний коефіцієнт	Доплата за нічний час	Загальні витрати на ЗП
Технолог	2	6000	5,5	-	66000
Гальванік	2	6000	4,7	-	56400
Лаборант	2	6000	3,1	-	37200
Вантажник	2	6000	2,1	-	25200
Заробітна плата					184800
<b>Нарахування</b>					<b>40656</b>

ЗП за рік :  $184800 \cdot 12 = 2217600$  грн/рік.

ФОП: ЗП + Нарахування (22%)=  $2217600 + 487872 = 2705472$  грн/рік.

Для того, щоб угрупувати витрати підприємства та складові собівартості, складено калькуляцію (таблиця 4.6).

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		85

Таблиця 4.6. Калькуляція продукції

№	Статті затрат	Витрати на річний випуск грн/рік	% до собівартості
1	Амортизація	185090	5
2	Сировина і матеріали	693709	19
3	Заробітна плата виробничого та невиробничого персоналу	2217600	62
4	Нарахування на заробітну плату	487872	14
5	Виробнича собівартість	3585271	100%

Повна собівартість (враховуючи невраховані витрати та накладні)

$$C_{\text{повна}} = C_p + 0,2 \cdot C_p + 0,4 \cdot C_p = 5736434,24 \text{ грн/рік}$$

Виробнича собівартість одиниці продукції:

$$C_v = \frac{C_{\text{повна}}}{P_p} = \frac{5736434,24}{10300} = 556,9 \text{ грн/м}^2$$

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

#### Розрахунок техніко-економічних показників

Ринкова ціна хромовання –  $\text{Ц} = 720 \text{ грн/м}^2$ .

Прибуток:

$$\text{П} = \text{Ц} - C = 720 \cdot 10300 - 5736434,24 = 1679565,8 \text{ грн/м}^2$$

Капіталовкладення:

$$K = O_3 + O_{63} = 1200000 + 500000 = 1700000 \text{ (грн.)}$$

Рентабельність виробництва:

$$P = \frac{\text{П}}{C} = \frac{1679565,8}{5736434,24} \cdot 100 = 29,27 \%$$

Період повернення капіталовкладень:

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		86

$$T_{\text{пов}} = \frac{K}{\Pi} = \frac{1700000}{5736434,24} = 1,01 \text{ (рік)}$$

Ефективність:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{1}{T_{\text{пов}}} = 0,98$$

Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{03} = \frac{B}{O3} = \frac{10300000}{1200000} = 0,85 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{B}{O63} = \frac{10300000}{500000} = 20,6 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність основних засобів:

$$\Phi E_{03} = \frac{1}{\Phi B_{03}} = \frac{1}{0,85} = 1,16 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність оборотних засобів:

$$\Phi E_{063} = \frac{1}{\Phi B_{063}} = \frac{1}{20,6} = 0,0485 \text{ грн/грн.}$$

					<i>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</i>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		87

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

У дипломному проекті розроблено технологію нанесення хромового покриття, яка несе небезпечний характер для здоров'я людини. Внаслідок використання ряду шкідливих речовин, які утворюють отруйні випари і є причиною забруднення повітря робочої зони у цеху, створюються ризики захворювань для працівників.

Всі проектні рішення прийнято з урахуванням встановлених у нормативно-правових актах вимог з охорони праці.

У даному розділі запропоновано технічні рішення, спрямовані на забезпечення здорових і безпечних умов праці.

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

#### **5.1.1. Повітря робочої зони**

Згідно з ДСН 3.3.6.042 – 99, роботи в проектуваному цеху відносяться до категорії середньої тяжкості Пб. У таблиці 5.1 представлені прийняті проектом санітарні норми параметрів мікроклімату.

					<i>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		88

Таблиця 5.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату

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

Таблиця 5.2 – Санітарні норми параметрів мікроклімату

1	Назва виробничої дільниці, лабораторії, установки
2	Шкідливі речовини, що виділяються. Причини їх виділення
3	Група шкідливої речовини. Характеристика шкідливого впливу
4	Група шкідливої речовини у повітрі шкідливої зони, м/мг
5	Клас небезпечності шкідливої речовини
6	Засоби індивідуального захисту
7	Засоби долікарської допомоги
8	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони
9	Клас виробництва згідно СН-245-71
10	Санітарна група технологічного процесу згідно СНиП 2.09.04-87

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна електрохімічного знежирення	NaOH	При потраплянні на ділянки шкіри, слизові оболонки утворюються сильні опіки	2	2	Захисні окуляри, гумові рукавички, прогумований хімічно-стійкий одяг	Промити слабким розчином оцтової кислоти	ХГА «АГАТ»	IV	3а
Ванна хромування	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Подразнює верхні дихальні шляхи, при потраплянні на шкіру викликає хімічні опіки	5	2	Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавиці	При потраплянні на шкіру – промити великою кількістю води, промити дихальні шляхи 2% розчином соди	ХЖ-130 хроматограф рідинний	IV	3б
Ванна хромування	CrO <sub>3</sub>	Подразнює верхні дихальні шляхи, 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	3б

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ

Адк.

ао

Продовження табл. 5.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна травлення і ванна активації	НСІ	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	V	16

Небезпеку у гальванічних цехах становлять технологічні процеси підготовки поверхні перед нанесенням покриття, при готування розчинів знежирення, травлення та електролітів для осадження. Методи очищення поверхонь характеризуються підвищеною запиленістю, шумом і вібрацією. Розчини лугів, кислот та солей при впливі на організм під час приготування до процесу електролізу можуть викликати отруєння або профзахворювання. Наявність великої кількості промивних ванн у приміщенні створює підвищену вологість. Нормальні для роботи умови забезпечуються припливно-витяжною вентиляцією і підтримкою нормальної температури повітря в цеху.

Передбачено забезпечення робітників цеху засобами індивідуального захисту, а саме – респіраторами типу "Пелюсток" та спецодягом типу "П" і взуттям. Два рази на місяць за допомогою пиломіра заплановано проводити контроль вмісту в повітрі робочої зони шкідливих речовин і їх параметрів.

У процесі гальванічного виробництва повітря забруднюється за рахунок роботи обладнання за рахунок бризок та пилу хімікатів, пилу абразивів, парів розчинників і т.п. Для того, щоб їх концентрація не перевищила допустиму межу, застосовується припливно-витяжна вентиляція, призначена для відсмоктування забрудненого і подачі свіжого повітря, за рахунок чого,

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		01

підтримуватиметься вміст шкідливих речовин у повітрі гальванічного цеху на допустимому рівні.

Вентиляція повітря може відбуватися за рахунок різниці його температур всередині і зовні приміщення, через відкриті вікна. Значно більш ефективна примусова промислова вентиляція, при якій повітря відсмоктується або подається вентилятором з силовим приводом. Примусова вентиляція дозволяє відсмоктувати повітря з потрібною інтенсивністю безпосередньо з місць шкідливих виділень і подавати свіже повітря, раціонально розподіляючи його по приміщенню.

### *Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції*

В якості місцевої витяжної вентиляції, для уловлювання шкідливих виділень з поверхні розчинів, в цеху прийняті двосторонні бортові відсмоктувачі.

Відповідно до технологічної схеми установка бортових відсмоктувачів необхідна на ваннах, з поверхні яких можливе виділення шкідливих і небезпечних речовин. Виділення таких речовин можливе при електрохімічному знежиренні ( $t = 70 \dots 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ), хромуванні ( $t = 50 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Таким чином, є 2 ділянки з яких необхідне видалення повітря через місцеві бортові відсмоктувачі.

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

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

де  $a$  - довжина ванни (1,6 м);

$b$  - ширина ванни (0,71 м);

$t_p$  - температура розчину;

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		02

$t_n$  – температура навколишнього середовища;

$K_3$  – коефіцієнт запасу (1,5);

$K_t = (1 + \frac{b}{8 \cdot a})^2$  - коефіцієнт запасу для двохстороннього бортового відсмоктувача;

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

$n$  – кількість прямих кутів між границями потоку повітря ( $n = 3$  для вільного розташування ванн).

Таблиця 5.3 Коефіцієнти і результати розрахунків витрат повітря

Процес	$t_p, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	$K_t$	Кількість ванн, шт	$L_{отс}, м^3/год$
Знежирення (NaOH)	80	19	1,114	1	5193,1
Травлення(HCl)	20	19	1,114	1	664,9
Активация(HCl)	20	19	1,114	1	664,9
Хромування	55	19	1,114	2	3989,4
Сумарно					10512,4

Розрахуємо втрати тиску у трубопроводах:

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

де  $R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}$  – опір одного погонного метру трубопроводу.

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

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		02

## Втрати на місцевих опорах

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

### Місцеві опори:

1. витяжна шахта з зонтом  $\xi = 1,83$  при  $h/d = 0,2$ ;
2. коліна з закругленими кромками  $\xi = 0,26$  при  $r/d_e = 0,4; \alpha = 90^\circ$ ;
3. дросельний клапан  $\xi = 118$  при  $\alpha = 90^\circ$ ;
4. відбір з колектору  $\xi = 0,5$ ;
5. фільтр  $\xi = 148$ .

$$Z = 37,06 \text{ кг/м}^2$$

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

Виходячи з витрати 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.

### 5.1.2. Виробниче освітлення

На проектуваному об'єкті передбачається природне, штучне і суміщене освітлення. Система природного освітлення – комбінована. Вона являє собою сполучення верхнього й бічного освітлення. Передбачене використання систем

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		о/

штучного робочого, аварійного, евакуаційного, ремонтного і охоронного освітлення. Норми освітлення, КПО, 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	2,4
VIIIa	–	75	1	0,7

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 прямого типу "Альфа". Для виміру і контролю освітленості в приміщеннях використовують люксметри Ю–117 з періодичністю 1 раз на рік і після ремонту освітлювальних установок і заміні ламп. Для підвищення рівномірності розподілу яскравості для поля зору, стелі і стіни пофарбовані в креманий колір. Виробниче устаткування пофарбоване в яскраво-зелений колір, частини, що рухаються в яскраво-жовтий, відкриті механізми – у яскраво-червоний колір.

При аварійному освітленні мінімальна освітленість складає 5 % від нормованої, але не менше 2 лк. Для евакуації людей передбачається освітлення на підлозі основних проходів та на сходах не менше 0,5 лк, на відкритих майданчиках – не менше 0,2 лк.

### 5.1.3. Виробничий шум і вібрація

Джерелом вібрації та шуму в цеху є барботери, автооператори, вентилятори, електродвигуни, компресори тощо. Рівень шуму на даному

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		05

виробництві залежить від одночасної роботи всіх видів устаткування і може сягати 76...92 дБА за даними лабораторних вимірів, що перевищує допустимий рівень звуку на робочих місцях, згідно ДСН 3.3.6.037–99 (80 дБА).

Зниження шуму в проекті досягається наступними способами:

- ізоляцією джерел шуму засобами звукоізоляції і звукопоглинання (перегородки і кожухи, які перешкоджають розповсюдження шуму); використання глушників, які встановлюються на повітроводах;
- акустичною обробкою приміщень, а зокрема, приміщення звукопоглинаючих пористих матеріалів;
- зменшенням шуму в джерелі їх утворення – мінімальні допуски, ретельне балансування, демпфірування вібрації деталей що співударяються;
- використанням засобів захисту (беруші, тампони з ультратонкого волокна, навушники, шлеми, каски);
- 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<sup>2</sup>; мінімальна висота приміщення 5 м, при цьому площа приміщення зайнята лінією хромовання, не перевищує 25 % загальної площі гальванічного цеху.

В цеху, що проектується, передбачено прилад ИШВ-003 для вимірювання рівня шуму і контролю рівня вібрації.

#### 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 ГОСТ 12.1.038–92, допустимі рівні напруг дотику ( $U_0$ ) і струму, що проходить через тіло людини ( $I_L$ ) рівні: при нормальному режимі

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		а6

роботи електричного встаткування  $U_d = 2В$ , а  $I_l = 0,3мА$ ; 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:

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

де  $U_{\phi}$  — 220 – фазна напруга, В;

$R_l = 3000$  – загальний опір тіла людини. Ом;

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

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

$$U_d = I_l \cdot R_l, \text{ В}$$

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

Порівнюючи, розрахункові значення з нормативними, бачимо, що при порушенні вимог ПУЕ в цеху можуть бути травми з ураженням електричним струмом з важкими наслідками.

Даний цех відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою. Для забезпечення безпеки праці передбачені 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 Ом), недоступністю струмоведучих частин, малими напругами (на переносних світильниках).

Проектом прийнято такі захисні засоби: діелектричні гумові рукавички, інструмент з ізолюючими рукоятками і струмошукачі, гумові ізолюючі

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		07

підставки. Також передбачено розміщення оголених дротів та апаратів з оголеними струмопровідними частинами в спеціальних ящиках, що закриваються суцільними або сітчастими огороженнями.

### 5.1.5. Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

У процесі гальванічного виробництва може статися відхилення від нормального режиму роботи обладнання, внаслідок перевантаження електроустаткування, утворення окислів у газах, що відходять від ванни, утворення займистої суміші водню з повітрям. Можливе коротке замикання між частинами обладнання (шини, електроди), механічні пошкодження обладнання і електропроводу.

Основними причинами короткого замикання є пошкодження електроізоляції дротів, попадання на неізольовані дроти струмопровідних предметів, дія на дроти хімічно активних речовин. Необхідно забезпечити ізоляцію струмовідводу від дії хімічних речовин використовують гофрований металевий кожух із нержавіючої сталі, прокладання проводів у пластиковому захисному кожуху. Для попередження перевантажень і короткого замикання в електричних мережах застосовують плавкі запобіжники і спеціальні автомати, включені в мережу послідовно. Попередження перегріву проводів від перехідних опорів досягається збільшенням площі опору контактів, застосування пружних контактів.

При обслуговуванні ванн електрохімічного нанесення особливо небезпечною може бути висока температура. Причинами одержання травм від можуть бути необережне поводження з автооператорною лінією, машинами штамповки деталей, де є відкриті обертові частини, що рухаються.

Усунення безпосереднього контакту працюючих зі шкідливими речовинами досягається дистанційним керуванням процесами, застосуванням засобів

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		а8

механізації на стадіях вивантаження, завантаження і транспортування вихідних матеріалів, проміжних продуктів і готової продукції.

Проектом передбачені заходи і засоби для захисту працюючих від травмування в небезпечних зонах. До них відносяться огорожувальні пристрої, що перешкоджають проходженню людини в небезпечну зону (до розподільних пристроїв електроустаткування, корпусам електродвигунів, травмонебезпечним ділянкам); 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 періодичним оглядам і технічному огляду. По всьому цеху розміщені попереджувальні плакати для інформування працюючих про можливі небезпеки і першу допомогу при одержанні різного роду травм.

## 5.2. Пожежна безпека

В електрохімічному цеху можливе виникнення джерел загорання внаслідок перевантаження електроустаткування, утворення окислів у газах, що відходять від ванни, утворення займистої суміші водню з повітрям.

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

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		00

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

На робочих місцях обладнано протипожежні щити з набором засобів пожежогасіння (вогнегасники СУБ–7, пінні вогнегасники і ящики з піском). 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.

Будівля захищена від прямого удару блискавки одиночним блискавковідводом стрижньового типу.

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

Передбачено встановлення охоронно–пожежної сигналізації автономного типу. Кабелі високої напруги проведені в броньованих оболонках. Перед початком електролізу трубопроводи (подачі і відведення електроліту) передбачено продувати повітрям та аналізувати результати продувки. Для захисту електроустаткування від загоряння заплановано регулярне технічне обслуговування і фарбування електроустаткування негорючими матеріалами.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 5.5 Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Ізоляція	Поміст	Гальванічна ванна		Назва дільниці	Показники пожежо- та вибухонебезпечності	Межа за-па-лення	Вибухо-небезпечні суміші з повітря м							
		Н <sub>2</sub>	Вініпласт				Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання	% об'ємних	мг/м <sup>3</sup>	Категорія	Група	
Текстоліт	Дерево, гума			Речовини, що мають об'їг у виробництві ГОСТ										
Тв.	Тв.	Газ	Тв.	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах										
Важкогорюча	Горюча	Легкогорюча	Важкозайми-сті	Горючість, займистість										
-	170	132	-		Температура спалаху									
358	400	324	580		Температура займання									
358	400	57,5	580		Температура самозаймання									
-	-	47,5	-		% об'ємних									
-	-	45-82,5	-		мг/м <sup>3</sup>									
-	-	2с	-		Категорія									
-	-	Т1	-		Група									
Вогнегасники	Вода	Інертний газ	Вода, піна	Вогнегасні засоби										
В	В	В	В	Категорія приміщення за ЗНТП 24-86										
02	02	02	02	Клас приміщення і зовнішніх установок згідно з ПУЕ										
2Б	2Б	2Б	2Б	Категорія об'єкта і тип зони захисту і влаштуванню блискавкозахисту згідно з БН 305-77										

## **РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД**

Реалізація екологічно чистого виробництва – це одна з основних задач будь-якої галузі промисловості. Особлива роль в результаті роботи гальванічних ванн відіграє очистка стічних вод. Їх класифікують як промислові.

### **6.1. Вплив гальваніки на екологічну безпеку**

Гальванічне виробництво займає одне з перших місць серед інших галузей промисловості, які призводять до значного забруднення екосистеми важкими металами, що несе загальносоматичний, подразнювальний, сенсibiliзуючий, канцерогенний та мутагенний вплив у залежності від міри накопичення цих металів у ґрунтах, водоймах та повітрі.

Під час нанесення хромового покриття у стічні води разом з технічною водою потрапляють іони таких важких металів: хром, нікель. Вони потрапляють з травильних розчинів, з розчинів знежирення, після проведення електроосадження, під час промивки деталей та обладнання.

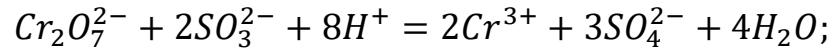
### **6.2. Спосіб очистки стічних вод внаслідок процесів виробництва гальванічного хрому**

Досить поширеним методом очистки стічних вод від важких металів є реагентний метод, який відносять до хімічних. За рахунок проведення окисно-відновних реакцій токсичні іони  $\text{Cr}^{6+}$  переводять у менш токсичні  $\text{Cr}^{3+}$ .

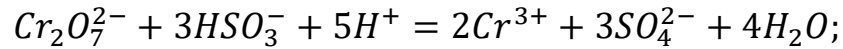
У якості відновника використовують солі сульфітної кислоти:

					<b>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</b>	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

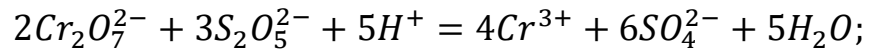
- сульфiт натрiю (3,63 мг/1 мг Cr<sup>6+</sup>):



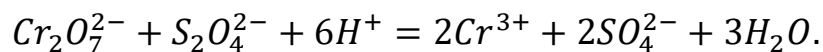
- бiсульфiт натрiю (3 мг/1 мг Cr<sup>6+</sup>):



- пiросульфiт натрiю (2,88 мг/1 мг Cr<sup>6+</sup>):

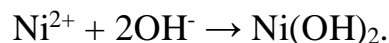


- дитiонiт натрiю (1,67 мг/1 мг Cr<sup>6+</sup>):



Солi вищевказаних сполук додають у виглядi десятивiдсоткових розчинiв у стiчнi води. Швидкiсть вiдновлення та кiлькiсть вiдновника залежать вiд вихiдних концентрацiй Cr<sup>6+</sup> та величини рН. Тому стiчнi води необхідно пiдкислювати 15%-им розчином сульфатної кислоти до значення рН = 2...2,5. Це умови, за яких швидкiсть осадження найбільша.

Стiчнi води також очищують вiд йонiв нiкелю. Пiсля нiкелювання та активацiї воду подають у реактор з Ca(OH)<sub>2</sub>. Тут вiдбувається утворення гiдроксидiв нiкелю при рН =9-10:



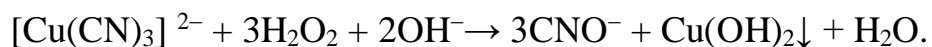
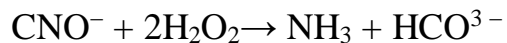
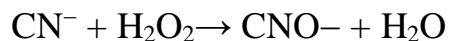
Далi гiдроксиди подаються в усереднювач, тут стiчнi води фiльтруються та при досягнення допустимих концентрацiй ГДК (для Ni – 0,1 мг/л<sup>-1</sup>, для Cr<sup>3+</sup>=0,6мг/л<sup>-1</sup>) iх направляють у каналiзацiю.

Також слiд очищувати стiчнi води вiд цiанiдiв пiсля мiднення (ГДК для цiанiдiв не бiльше 0,035 мг/л<sup>-1</sup>). Це роблять наступним чином: високотоксичнi цiанiди перетворюють у нетоксичнi продукти окисненням цiанiдiв у лужному середовищi до цiанатiв iз подальшим iх гiдролiзом до карбонатiв i амонiю. В якостi реагентiв-окиснювачiв можуть використовуватися сполуки, що мiстять

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Пiдп.	Дата		

активний хлор (хлорне вапно, гіпохлорит кальцію, гіпохлорит натрію, рідкий хлор), а також озон, перманганат калію, пероксид водню.

Будемо використовувати метод окиснення пероксидом водню. Окиснення здійснюється за наступними реакціями:



pH = 10...11. Час осадження приблизно становить 30 хв для простих ціанідів, але він значно прискорюється в присутності сполук міді.

Кислотні та лужні залишки нейтралізуються додаванням CaO та H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Схема очистки стічних вод зображена на рисунку 6.1.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

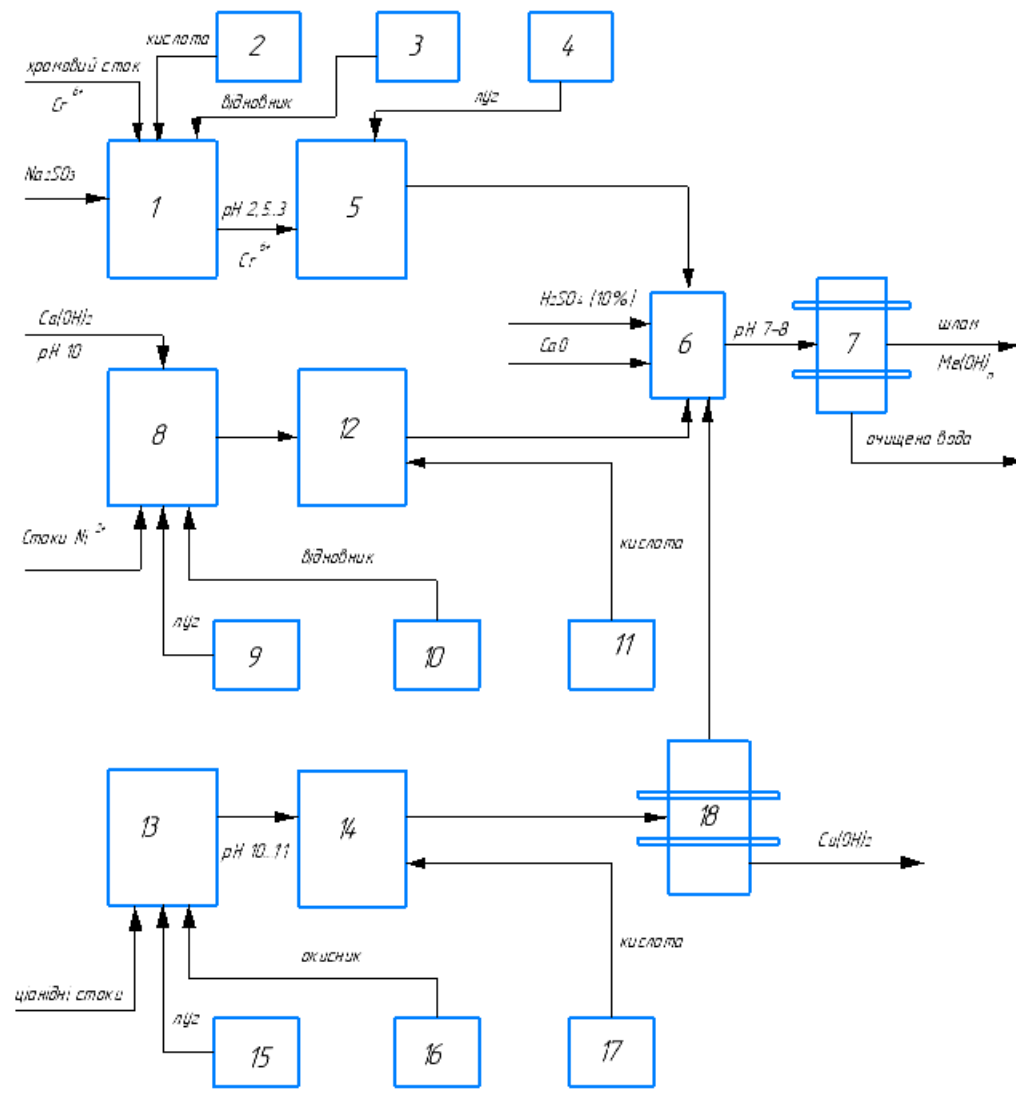


Рисунок 6.1. Схема очистки стічних вод: 1,8,13- реактор-накопичувач стоків; 2,11,17 – дозатор кислоти; 4,9,15 – дозатор луку; 3,10,16 – відновник; 5,12,14 – відстійник; 6-усереднювач; 7- реактор-нейтралізатор; 18 - фільтр

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було розглянуто процес нанесення захисно-декоративного хромового покриття, яке являє собою 24 мкм шару міді, 12 мкм шару нікелю та 1 мкм шару хрому. У подальшому такі покриття застосовуються у машинобудуванні.

Проведені розрахунки балансів напруги, струму, теплової енергії. Розраховані витрати води, електроенергії, анодних матеріалів та компонентів електроліту.

З економічної точки зору були розглянуті способи організації виробництва з заданою річною продуктивністю 10000 м<sup>2</sup>. Враховані витрати на сировину, обладнання, електроенергію та визначена собівартість продукту.

У результаті обладнання гальванічних ванн спеціальними датчиками, вдалось автоматизувати виробництво, що дозволяє вчасно регулювати температуру, напругу та струм на ванні.

Розглянуті технологічні правила безпеки на виробництві та розроблена схема очистки стічних вод.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гальванические покрытия. Справочник по применению/ Ю.Д. Гамбург. – М.: Техносфера, 2006. – 216с.
2. Электроосаждение металлических покрытий/ М.А. Беленький, А.Ф. Иванов. – М.: Металлургия, 1985. – 288с.
3. Технология электрохимических покрытий: Учеб. для средних специальных учебных заведений/ М.А. Дасоян, И.Я. Пальмская, Е.В. Сахарова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 391 с.
4. Электронний ресурс: <https://uapatents.com/5-121564-elektrolit-midnennyu.html>
5. Основи проектування хімічних виробництв. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів: навч. посіб. / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильев – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85с.
6. Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб. / О.В. Ліночева, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.І. Букет, С.В. Фроленкова – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 147 с.
7. "Гальванические покрытия в машиностроении" Справочник. Москва "Машиностроение" 1985р.
8. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справочник / Под ред. П.М. Вячеславова. – Л.: Машиностроение, 1987 – 309 с.
9. Технология гальванотехники: Гингберг А.М., 1962-275с.
10. Шлугер М.А. Ускорение и усовершенствование хромирования деталей машин. М.: Машгиз, 1961. 140 с.
11. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению – Москва: Издательство «Техносфера», 2006 – 216 с.

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

12. Справочник химика. – Т.3. – М.–Л.: Химия, 1964. – 705 с
13. Технологічні та енергетичні розрахунки з гальванотехніки при дипломному проектуванні. Навчальний посібник. для студентів спеціальності 7.091603 - Технічна електрохімія /Уклад. Л.А.Яцюк, В.П.Чвірук, В.Ф.Панасенко, І.Ф.Хірх-Ялан, Т.І.Мотронюк, М.І.Донченко, О.І. Букет, О.В.Ліночева.– К.:НТУУ"КПІ", 2008. - 100с.
14. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении/ П.С. Мельников – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
15. Кубасов В. Л. Электрохимическая технология неорганических веществ : [учеб. для техникумов] / В. Л. Кубасов, В. В. Банников. – М. : Химия, 1983. – 288 с.

					<i>ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1- Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметру	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-1	Температура	Електроліт, електролітична ванна	50-60 °С	Місцевий	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 100П, діапазон вимірювання (-50)...+60 °С, допустимий тиск $P_y = 0,4$ МПа	ТСП-1288	1	НВО «Електротермія», м. Луцьк
1-2	Температура	Електроліт, електролітична ванна	50-60 °С	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК-250	1	ЗАТ «Промышленная группа «Метран», м. Челябинськ
1-3	Температура	Електроліт, електролітична ванна	50-60°С	Щит керування	Регулятор електронний пропорційно інтегральний $I_{вих} = 0-5$ мА	РП2-Т	1	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ
1-4	Температура	Електроліт, електролітична ванна	50-60 °С	Місцевий	Тиристорний підсилювач для керування електронагрівачем	У13Н	2	НВО «Електротермія», м. Луцьк

2-1	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	0,64 м	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; $P_{\text{вих}} = 0,02-0,1$ МПа; діапазон температур: $(-50)\dots+100^{\circ}\text{C}$ діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м, клас точності 1	УБ-П	1	ВО «Теплоприбор», м. Рязань
2-2	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	0,64 м	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування, $P_{\text{вх}} = 0,02-0,1$ МПа	ФК 0071	2	АТ «Тизприбор», м. Москва
2-3	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	0,64 м	Щит керування	Регулятор пневматичний, пропорційно-інтегральний, $P_{\text{вих}} = 0,02-0,1$ МПа	ФР 0091	2	АТ «Тизприбор», м. Москва
2-4	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	0,64 м	Місцевий	Пневопривід мембранний, $P_{\text{вих}} = 0,02-0,1$ МПа	В26-41	1	АТ «Тизприбор», м. Москва
3-1	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 9317$ А, $U = 15,3$ В	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\text{max}} = 12500$ А, $U_{\text{max}} = 24$ В	ВАКР-12500-24 У4	1	ЗАТ МДК «ЕЛАРП» м. Москва
3-2	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 9317$ А, $U = 15,3$ В	Щит керування	Пульт дистанційного керування для випрямного агрегату ВАКР-12500-24 У4	ПДУ ВАК	1	ЗАТ МДК «ЕЛАРП» м. Москва



Розроб.	Голодна			Ванна гальванічна Складальне креслення	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Косогін						1
Н.Контр	Букет				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, гр. ХЕ-71		
Утв.	Герасименко						

					ДП ХЕ7117.1450.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

