

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

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ О. В. Косогін

« ___ » _____ червень _____ 2024 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
зі спеціальності 161 Хімічна технологія та інженерія
на тему: «Гальванічні покриття в авіабудуванні.
Розробка технології кадмування сталевих кріпильних деталей»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ХЕ-02

Мазур Аліна Ярославівна _____

Керівник:

доц., к.т.н., Фроленкова С.В. _____

Консультант з автоматизації: доц., к.т.н., Жураковський Я.Ю. _____

Консультант з охорони праці: доц. к.т.н. Полукаров Ю.О _____

Консультант з економічної частини:

доц., к.екон.н. Підлісна О.А. _____

Рецензент: Доцент кафедри ТНР, В та ЗХТ _____

доц., к.т.н. Толстопалова Н.М

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

Студент _____

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 161 Хімічна технологія та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувач кафедри
_____ О.В. Косоїн

« ____ » _____ червень 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студентці

Мазур Аліні Ярославівні

1. Тема проєкту *«Гальванічні покриття у авіабудуванні. Розробка технології кадмування сталевих кріпильних деталей»*, керівник проєкту *Фроленкова Світлана Василівна, доцент, к.т.н.*, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2024р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 07 червня 2024 року
3. Вихідні дані до проєкту *Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт сульфатний. Продуктивність 16000м²/рік.*
4. Зміст пояснювальної записки: складання технологічної карти, розрахунок балансів струму, напруги, енергії, обґрунтування і вибір покриття, розрахунок організаційно-економічних показників, заходи охорони праці, автоматизація процесу нанесення покриття, екологічна безпека.
5. Перелік графічного матеріалу 1.Креслення гальванічної ванни, 2.Схема технологічного процесу, 3.Схема автоматизації, 4.Економічна частина, 5.Схема очищення стічних вод.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання 06 травня 2024р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Характеристика деталей, що підлягають обробці.	До 11.05.2024	
2.	Вибір виду покриття	До 13.05.2024	
3.	Вибір підготовчих операцій	До 20.05.2024	
4.	Вибір складу електроліту для анодування алюмінієвих деталей з подальшим фарбуванням	До 20.05.2024	
5.	Складання карти технологічного процесу	До 25.05.2024	
6.	Виконання технологічних розрахунків	До 29.05.2024	
7.	Виконання креслень	До 01.06.2024	
8.	Складання схеми очищення стічних вод	До 03.06.2024	
9.	Складання схеми автоматизації основного процесу.	До 03.06.2024	
10.	Виконання економічних розрахунків	До 03.06. 2024	
11.	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 03.06.2024	
12.	Оформлення пояснювальної записки	До 05.06.2024	
13.	Оформлення графічної частини проєкту	До 07.06.2024	
14.	Подача оформленого проєкту на перевірку на плагіат	До 07.06.2024	

Студент

Аліна МАЗУР

Керівник

Світлана ФРОЛЕНКОВА

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ДП ХЕ0204.2705.000 ПЗ			Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ХЕ0204.2705.000 ПЗ			Пояснювальна записка	80	
3	A1	ДП ХЕ0204.2705.001 СК			Креслення гальванічної ванни	1	
4	A1	ДП ХЕ0204.2705.002 СА			Схема автоматизації процесу	1	
5	A2	ДП ХЕ0204.2705.003			Схема очищення стічних вод	1	
6	A2	ДП ХЕ0204.2705.004			Техніки-економічні показники цеху	1	
7	A1	ДП ХЕ0204.2705.005			Схема технологічного процесу	1	
					ДП ХЕ0204.2705.000		
		ПІБ	Підп.	Дата			
Розроб.		Мазур А.Я.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник		Фроленкова С.В.				1	1
Консульт.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-02	
Н/контр.							
В.о. зав. кафедри		Косогін О.В.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Гальванічні покриття в авіабудуванні.

Розробка технології кадмування сталевих кріпильних деталей»

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в авіабудуванні. Розробка технології кадмування сталевих кріпильних деталей»

Мазур А.Я. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-02

Дипломний проєкт, 2024 рік, кількість сторінок – 80, таблиць – 20, рисунків – 8, джерел – 21.

У проєкті розроблено технологію кадмування сталевих кріпильних деталей. Осадження виконується в сульфатному електроліті за катодної густини струму 2 А/дм^2 і температури $18 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

У проєкті проведено конструктивні та технологічні розрахунки, розроблено схему автоматичного регулювання процесу кадмування сталевих деталей. Також виконані техніко-економічні розрахунки, запропоновано схему очищення стічних вод реагентним методом, проаналізовані шкідливі та небезпечні виробничі фактори й запропоновано заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: кадмування сталі, баланс струму, баланс напруги, сульфатний електроліт, реагентний метод.

					<i>ДП ХЕ0204.2705.000 ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Мазур А.Я.				<i>Розробка технології кадмування сталевих кріпильних деталей</i>	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перев.</i>	Фроленкова С.В.							
<i>Нконтр.</i>					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-02</i>			
<i>Затв.</i>	Косогін О.В.							

ABSTRACT

"Galvanic coatings in aircraft manufacturing. Development of steel fasteners cadmium plating technology"

Mazur A.Ya. – Kyiv: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"- CTF, HE-02

Diploma project, 2024 year, amount of pages – 80, tables – 20, pictures – 8, sources – 21.

In the project, a technology for cadmiing steel fasteners has been developed. Deposition is carried out in a sulfate electrolyte at a cathode current density of 2 A/dm² and a temperature of 18 – 25 °C.

The project carried out constructive and technological calculations, developed a scheme for automatic regulation of the process of cadming steel parts. Also, technical and economic calculations were carried out, a scheme for cleaning wastewater by the reagent method was proposed, harmful and hazardous production factors were analyzed and measures were proposed on safety and occupational health.

Keywords: cadmium plating of steel, current balance, voltage balance, sulfate electrolyte, reagent method.

					<i>ДП ХЕ 0204.1450.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Технологічний процес нанесення кадмієвого покриття	11
1.1.1 Ескіз та характеристика деталі.....	11
1.1.2 Вибір виду та товщини гальванічного покриття	12
1.1.3 Вибір підготовчих операцій	13
1.1.4 Вибір складу електроліту для гальванічного кадмування	14
1.1.5 Характеристика кадмієвих анодів.....	17
1.1.6 Вибір завершальних операцій	18
1.1.7 Методи контролю якості покриття	19
1.1.8 Видалення недоброякісного покриття	20
1.1.9 Карта технологічного процесу.....	21
1.2 Основні технологічні розрахунки.....	22
1.2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання	22
1.2.2 Визначення виробничої програми обладнання.....	22
1.2.3 Розрахунок середньої товщини покриття та часу обробки однієї завантажувальної одиниці.....	23
1.2.4 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні.....	25
1.2.5 Баланс напруги на гальванічній ванні.....	27
1.2.6 Розрахунок споживання електричної енергії.....	29
1.2.7 Вибір джерела живлення	29
1.2.8 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн	30
1.2.8 Розрахунок витрат матеріалів	30
1.2.9 Розрахунок витрат води	34
2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА	39

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

3. ЕКОНОМІКО - ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ.....	44
3.1 Підприємство у промисловій структурі держави	44
3.2 Технологічна підготовка виробництва.....	45
3.3 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна	52
підготовка виробництва.....	52
3.4 Техніко-економічні показники	56
Індивідуальне завдання.....	57
4. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ.....	62
ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ	62
4.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації	62
4.2 Опис розробленої схеми автоматизації технологічного процесу	63
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	65
5.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих	65
факторів на проєктованому об'єкті. Заходи з охорони праці.....	65
5.1.1 Повітря робочої зони.....	65
5.1.2 Виробниче освітлення.....	68
5.1.3 Захист від шуму та вібрації	70
5.1.4 Електробезпека	71
5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання.....	72
5.2 Пожежна безпека.....	72
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТОК А	77
ДОДАТОК Б	79

ВСТУП

Сталь – основна складова більшості існуючих деталей, її основні переваги – це міцність та твердість. Однак основним недоліком є низька корозійна стійкість, через яку деталі зі сталі втрачають свої властивості. Для того щоб запобігти цьому явищу, на сталь наносять захисні покриття. В умовах промислового масштабу використовують такі види покриття, як: цинкування, хромування та кадмування.

Кадмування – це хіміко-технічний метод нанесення кадмієвого покриття на сталеву деталь, метою якого є захист металу від корозії.

Основними перевагами кадмієвого покриття є:

- 1) Захист деталі в умовах морського клімату;
- 2) Висока пластичність;
- 3) Збільшення строку придатності деталі;
- 4) Усунення контактну корозії між мідними та алюмінієвими сплавами;
- 5) Має високі антифрикційні властивості.

Метою даного проєкту є розробка технологічного процесу нанесення кадмієвого покриття на кріпильні деталі зі сталі 40ХН2МА, які широко використовуються в авіабудуванні, з продуктивністю 16000 м²/рік.

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічний процес нанесення кадмієвого покриття

1.1.1 Ескіз та характеристика деталі

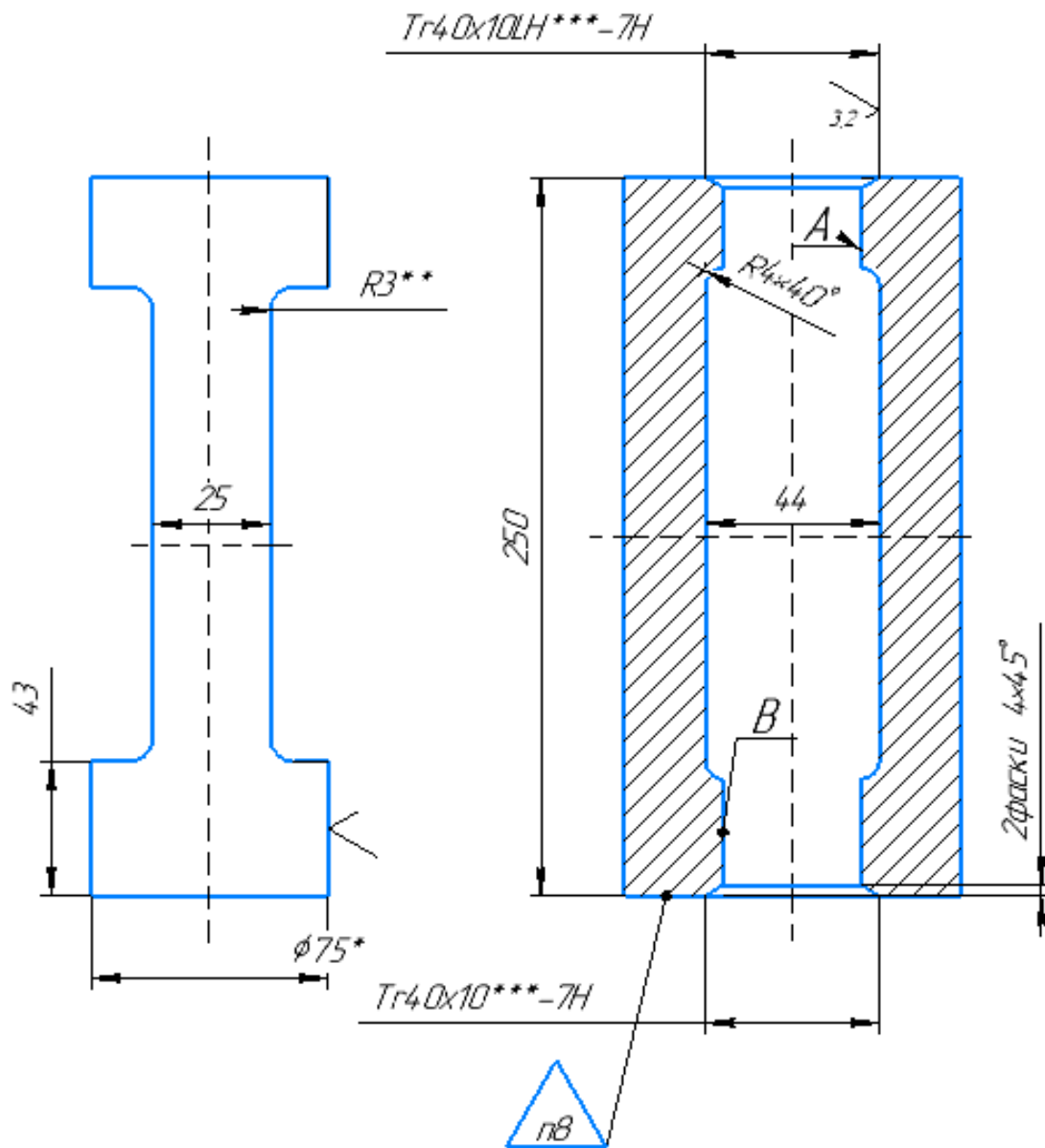


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі

Деталь представляє собою муфту виготовлену зі сталі марки 40ХН2МА. Покриття наноситься на всю поверхню муфти згідно КД, 15 мкм за ТТП, що дії в гальванічному цеху, вага деталі: 2750 грам. Дана деталь використовуються в якості інструменту у сфері авіабудування у помірних кліматичних умовах при відносній волостї до 80%.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ

Арк.

11

1.1.2 Вибір виду та товщини гальванічного покриття

Оскільки деталь використовується в авіабудівній сфері, важливо підібрати оптимальне за товщиною покриття.

Кадмієве покриття захищає сталь від корозії електрохімічно. Воно застосовується для захисту деталей в морських умовах, усунення контактної корозії між мідними та алюмінієвими сплавами [1].

Для підвищення корозійної стійкості кадмієве покриття піддають фосфатуванню або хромуванню [2].

Вплив кадмієвого покриття на механічні властивості сталі залежить від способу його нанесення. При електрохімічному кадмуванні із кислих електролітів проходить наводнювання та пов'язана із цим крихкість сталі. Для деталей зі сталі з міцністю вище 140 кгс/мм² наноситься кадмієве покриття із сульфатних електролітів, які не викликають істотного наводнювання та змін механічних властивостей металу основи [1].

Кадмієве покриття має високі антифрикційні властивості, добре витримує розвальцьовування, запресовування, штампування, згвинчування. Допустима робоча температура експлуатації кадмієвого покриття до 250°C, а мікротвердість покриття становить 35-40 кгс/мм²[1].

В залежності від конфігурації деталі, покриття може бути товщиною від 10 до 130 мкм, оскільки муфта це деталь простої форми, то обираємо товщину нашого покриття в 15 мкм.

Також слід враховувати дефіцит кадмію та використовувати його тільки у випадках, коли застосування цинкових покриттів є неприпустимим [1].

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.1.3 Вибір підготовчих операцій

1. Знежирення хімічне

Після механічної обробки поверхня деталі містить на собі жирові забруднення, тому для уникнення дефектів при проведенні операції кадмування проводимо операцію хімічного знежирення. Для даної операції використовуємо наступний розчин, г/л:

Тринатрій фосфат 12-водний ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) – 30 – 70,

Натрій вуглекислий (Na_2CO_3) – 20-25,

Їдкий натр (NaOH) – 5-15,

Скло натрієве рідке ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$) – 10-20 [2].

Процес триває до моменту повного знежирення (20–40 хв) деталі при температурі розчину 60-90°C при перемішуванні стисненим чистим повітрям. Для перевірки якості знежирення на поверхні проливаємо дистильовану воду та спостерігаємо, у випадку якщо краплі перестають формуватися на поверхні то знежирення відбулось.

2. Промивання каскадне

Проводимо даний процес для того щоб змити з поверхні розчин знежирення. Першим етапом промивання є 3-5 кратне протягом 20-60 секунд занурення деталі у ванну з теплою водою (40-59°C), а другим етапом - 3-5 кратне протягом 20-60 секунд занурення деталі у ванну з холодною водою.

3. Активація

Для видалення пасивної плівки з поверхні деталі проводимо активацію у розчині соляної кислоти (H_2SO_4 – 40-60 г/л) при температурі 18-25°C протягом 1-2 хвилин [2].

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

4. Промивання холодне

Проводимо дану операцію для змивання з поверхні розчину активації шляхом 3-5 кратного занурення деталі у ванну з водопровідною холодною водою протягом 20-60 секунд.

1.1.4 Вибір складу електроліту для гальванічного кадмування

При виборі електроліту слід керуватися вимогами, які обґрунтовуються його складом та властивостями. Основні вимоги до електроліту залежать від виду покриття та результату, який потрібно отримати:

- 1) Висока розсіювальна здатність для забезпечення рівномірного розподілу металу.
- 2) Міцність зчеплення з поверхнею деталі на яку наноситься покриття.
- 3) Безпечність складу електроліту.
- 4) Ступінь наводнення поверхні.

Електроліти для кадмування поділяють на дві групи: прості (кислі) та комплексні. До простих кислих електролітів, широко застосовуваних в промисловості, відносяться сульфатні, фторборатні; до комплексних – ціаністі, сульфатноамонійні, пірофосфатні, аміакатні, а також електроліти на основі складних органічних комплексів (поліетиленполіаміновий, гліколевий електроліт та ін.) [3].

1. Ціаністий електроліт:

Ціаністий електроліт має найбільшу розсіювальну здатність в порівнянні з іншими електролітами. Покриття в цьому електроліті виходить рівномірне за товщиною та дрібнозернисте.

Недоліком ціаністого електроліту є його токсичність та значне наводнення сталі при кадмуванні. Тому деталі з цементованими поверхнями не слід кадмувати в ціаністому електроліті [3].

2. Сульфатноамонійний електроліт

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Сульфатноамонійний електроліт кадмування з добавкою диспергатора НФ має більш високу розсіювальну здатність в порівнянні з сірчаноокислим електролітом кадмування.

При кадмуванні в цьому електроліті сталь наводнюється в меншій мірі ніж в ціанистому та сірчаноокислому [3].

3. Хлористо-амонійний електроліт

Хлористо-амонійний електроліт кадмування є мало наводнюваним. При застосуванні цього електроліту стандартні механічні властивості сталі практично не змінюються [2;3].

Тому деталі з цементованими поверхнями слід кадмувати в хлористоамонійному електроліті.

5. Сульфатний електроліт [2].

Основним компонентом сульфатних електролітів є сульфат кадмію. В електролітах кадміювання концентрація вказаної солі досягає не більше 60 г/л. Це пояснюється тим, що солі кадмію дорогі та токсичні. Оскільки розряд іонів кадмію проходить при низькій катодній поляризації, в електроліт для покращення структури додають ПАР⁴. Дуже часто в якості буферів додають сульфати алюмінію або амонію. Також при менших концентраціях іонів кадмію, що відновлюється, перенапряга виділення металу буде більшою, при цьому збільшується розсіювальна здатність і формуються більш дрібнокристалічні осадки кадмію. [2].

Дуже важливо підтримувати рН у вказаному діапазоні 2 – 5,5; тому що при його підвищенні відбувається залужування електроліту в прикатодній зоні та утворення гідроксиду кадмію, що негативно впливає на якість осаджуваного покриття. При занадто низькому значенні рН на катоді починає утворюватися водень в зв'язку з чим – вихід за струмом зменшується.

Для пришвидшення осадження можна підвищити густину струму, температуру та перемішувати електроліт, але слід притримуватись допустимого значення температури та не нагрівати вище 40°C, оскільки знижується ефективність введених у розчин ПАР. [3].

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Склад електроліту, г/л:

Сульфат кадмію	35 – 50
Сульфат натрію	35 – 50
Сульфатна кислота	35 – 50
ОП – 10	3 – 5

Режим: температура 18 – 25 °С, густина струму 1 – 3 А/дм², рекомендується проводити перемішування електроліту рН 2-5,5. Швидкість осадження 0,4 – 1,2 мкм/хв. [2].

Сульфатний електроліт кадмування має аналогічну розсіювальну здатність, як і хлористо-амонійний електроліт, що дозволяє отримувати якісні покриття при високих значеннях густини струму. При кадмуванні в сульфатному електроліті відбувається більш сильне наводнення ніж при кадмуванні в хлористоамонійному електроліті, тому для уникнення наводнення в електроліт вводять ПАР. [4].

Приготування електролітів. Солі, що входять до складу електролітів, розчиняють у теплій воді в окремих ємностях, після чого декантацією зливають у робочу ванну. В останню чергу вводять добавки. Перед експлуатацією електроліт проробляють струмом при 0,5-0,8 А/дм² протягом 8-10 год. [2; 4].

Таблиця 1.1 – Неполадки у роботі електроліту та способи їх усунення [1].

Неполадки	Причина неполадок	Спосіб їх усунення
1	2	3
Поява на анодах білого нальоту	Наявність свинцю в анодах	Раз у зміну чистити аноди і вивантажувати їх з ван після завершення кадмування
Покриття темне губчате	Підвищена густина струму, наявність домішок	Знизити густина струму; проробити електроліт під струмом
Блискучі смуги на покриттях	Надлишковий вміст в електроліті Ni, Co, що потрапляють в ванну з деталями або вихідними реактивами	Пропрацювати електроліт під струмом

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Крихке покриття	Підвищене значення рН; Наявність органічних домішок	Знизити значення рН; Видалити домішки
Здуття і відшаровування покриття	Погана підготовка поверхні деталі; Наводнювання деталей в процесі підготовки	Поліпшити якість підготовки; Електрохімічне знежирення на аноді

1.1.5 Характеристика кадмієвих анодів

Аноди для кадмування в кислих електролітах виготовляють з чистого електролітичного кадмію. Аноди марки Кд0, Кд1, розміри анодів: довжина 500 мм, ширина 300мм, товщина 12мм [5] .

В усіх електролітах кадмієві аноди розчиняються з високим (~100%) виходом за струмом [5].

Хімічний склад анодів марки Кд0 [6].:

Cd–99,96%;

Zn–0,004%;

Pb–0,02%;

Cu–0,01%;

Fe–0,002%;

Tl–0,04%.

1.1.6 Вибір завершальних операцій

- 1. Уловлювання.** Після завершення кадмування проводять промивання шляхом 4 – 6 кратного занурення в ванну з холодною непроточною водою з метою уловлювання електроліту. Розчин сполук кадмію з ванни уловлювання доцільно використовувати для поповнення об'єму робочої ванни кадмування [2].
- 2. Промивання** в холодній воді являє собою 3 – 5 кратне протягом 20 – 60 секунд занурення деталі у ванну з водопровідною проточною водою без підігріву. Деталі повинні бути ретельно промиті до повного видалення з поверхні деталі електроліту.
- 3. Освітлення** проводиться в розчині азотної кислоти, концентрація якої становить 10 – 30 г/л при температурі 18 – 25 °С [4].
- 4. Промивання** каскадне відбувається в холодній воді методом почергового промивання деталі у каскадній ванні.
- 5. Оксидне фосфатування.** Проводиться в УФФ (універсальна ванна фосфатування) протягом 10 – 60 секунд при кімнатній температурі за інструкцією № 1046-75; ПИ 1.2-084-79 [2].
- 6. Промивання каскадне.** Проводимо даний процес для того щоб змити з поверхні розчин фосфатування. Першим етапом промивання є 3-5 кратне протягом 20-60 секунд занурення деталі у ванну з теплою водою (40-59°C), а другим етапом промивання є 3-5 кратне протягом 20-60 секунд занурення деталі у ванну з холодною водою.
- 7. Обробка в солях хроміку.** Проводимо дану операцію для підвищення захисних якостей плівки, яка утворилась при фосфатуванні, розчин біхромату калію (50-80 г/л) при температурі розчину 70 – 80 °С протягом 5 – 10 хвилин [2].

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

8. **Уловлювання.** Після завершення обробки проводять промивання шляхом 4 – 6 кратного занурення в ванну з холодною непроточною водою з метою уловлювання електроліту. Розчин з ванни уловлювання використовувати для поповнення об'єму ванн хромування [2].
9. **Промивання** в теплій воді являє собою 3 – 5 кратне протягом 20 – 60 секунд занурення деталі у ванну з водопровідною проточною водою при температурі 40 – 59 °С.
10. **Сушіння** деталей проводиться шляхом обдуву сухим стиснутим повітрям. Чистота повітря, що використовується повинна відповідати [7]. Повітря перевіряють на наявність вологи та масла за допомогою дзеркала.
11. **Зневоднення** проводиться в шафі зневоднення при температурі 180 – 200 °С протягом 2 – 3 годин, деталі потрібно погрузити так щоб забезпечити рівномірний прогрів усієї поверхні [8].
12. **Контроль якості.** За зовнішнім виглядом кадмієве покриття повинно бути гладким, дрібнокристалічним, світло-сірого кольору. На поверхні деталі не повинно бути шорсткості, здуття або бульбашок.

1.1.7 Методи контролю якості покриття

1. Метод візуального контролю

Метод заснований на виявленні дефектів поверхні покриття зовнішнім оглядом та застосовується для деталей будь-якої форми та габаритних розмірів.

Контроль проводять оглядом деталей неозброєним оком з віднесенням 25 см від контрольованої поверхні при природному чи штучному освітленні.

Оцінку якості зовнішнього вигляду покриттів допускається проводити на відповідність зразкам-еталонам, форма, розміри та зовнішній вигляд. Оцінюючи зовнішній вигляд покриттів необхідно враховувати стан поверхні деталі перед нанесенням покриттів [9].

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2. Метод визначення товщини покриття:

Металографічний метод - заснований на вимірюванні товщини покриття на металографічному шліфі поперечного розрізу зразка деталі [9].

Його застосовують для одношарових та багатошарових покриттів товщиною понад 5 мкм.

Для покриттів товщиною до 20 мкм збільшення має бути 500—1000X. Товщину вимірюють за допомогою металографічних мікроскопів.

Слід проводити не менше п'яти вимірів на відрізьку довжиною 5 мм у встановленому місці шліфу [9].

Відносна похибка методу становить $\pm 0,8$ мкм.

3. Метод визначення адгезії покриття

Метод нанесення сітки подряпин (метод рисок) - застосовують для покриттів товщиною не більше 20 мкм [9].

На поверхні контрольованого покриття вістрям (твердість матеріалу вістря повинна бути вище твердості покриття) наносять не менше трьох паралельних рисок з відстанню між ними від 2 до 3 мм та перпендикулярно до них також не менше трьох паралельних рисок. Риски наносять в одному напрямку вістрям, встановленим під кутом 30° , глибиною до основного металу.

Після контролю не повинно бути відшаровування покриття між лініями та у сітці квадратів [9].

1.1.8 Видалення недоброякісного покриття

Недоброякісне кадмієве покриття видаляти з поверхні деталей у розчині наступного складу:

Азотнокислий амоній 100 г

Вода (водопровідна) 1000 мл

Режим: температура розчину кімнатна, час – до повного видалення покриття.

Застосування інших розчинів для зняття кадмієвого покриття категорично забороняється.

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дозволяється одноразове перекадмування деталей [2].

1.1.9 Карта технологічного процесу

Наведена в додатку А

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.2 Основні технологічні розрахунки

1.2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при перервному виробництві розрахований за кількістю календарних днів у році (366) за вирахуванням вихідних (104), що при п'ятиденному робочому тижні тривалістю 40 год і однозмінній роботі складає:

$$T_n = \left(\frac{(366 - 104 - 0) \cdot 40}{5} \right) \cdot 1 = 2096 \text{ год}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d визначений, виходячи із номінального фонду часу, враховуючи витрати на простої обладнання ($K_{пр}$). При роботі неавтоматизованого, немеханізованого обладнання і стаціонарних ванн загальні витрати часу на простої обладнання, яке працює в одну зміну, складає 2 %:

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 2096 - (0,02 \cdot 2096) = 2054,08 \text{ год}$$

1.2.2 Визначення виробничої програми обладнання

Для визначення річної виробничої програми P_p річне виробниче завдання P_z , що складає 16000 м²/рік, збільшується на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 2 % ($K_{бр} = 2\%$) [5] від P_z :

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 16000 + (0,02 \cdot 16000) = 16320 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Тоді добова виробнича програма складає:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_p}{T_p} = \frac{16320}{262} = 62,29 \text{ м}^2/\text{рік}$$

де T_p — кількість робочих днів у 2024 році.

Годинна виробнича програма:

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\Gamma} = \frac{P_p}{T_d} = \frac{16320}{2054,08} = 7,95 \text{ м}^2/\text{ГОД}$$

1.2.3 Розрахунок середньої товщини покриття та часу обробки однієї завантажувальної одиниці

Тривалість електрохімічного осадження покриття:

$$\tau_T = \frac{\delta_n \cdot d_{Cd} \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{V_c \cdot K_e \cdot i_k} = \frac{15 \cdot 4,69 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,95 \cdot 2,1 \cdot 2} = 10,58 \text{ хв}$$

де δ_n – товщина покриття, мкм;

d_m – густина металу покриття, г/см³;

V_c – катодний вихід за струмом;

K_e – електрохімічний еквівалент кадмію, г/А год;

i_k – середня катодна густина струму, А/дм².

Час обробки однієї завантажувальної одиниці:

$$\tau = \tau_T + \tau_{об} = 10,58 + 3 = 13,58 \text{ хв}$$

де $\tau_{об}$ – час обслуговування: завантаження деталей у ванну та їх вивантаження, хв.

Кількість оброблюваних завантажень розраховується з урахуванням коефіцієнту затрат часу для однозмінного виробництва $K_{об} = 1,1$ [5]. і становить:

$$\sum N = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = \frac{2054,08 \cdot 60}{13,58 \cdot 1,1} = 8250,42$$

де $K_{об}$ – коефіцієнт, що враховує витрати часу на початковий запуск обладнання, кінцеве вивантаження ванни та на допоміжні операції [5].

Разове завантаження усіх ванн:

$$N_{оз} = \frac{P_p}{\sum N} = \frac{16320}{8250,42} = 1,97 \text{ м}^2$$

Відносно габаритних розмірів ванни (1250×1000×1000) довжина підвісного пристрою складає:

$$l_n = l - 2l_1 = 1,25 - 2 \cdot 0,1 = 1,05 \text{ м.}$$

де l – внутрішня довжина ванни, м;

l_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни, м.

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Висота підвісного пристрою складає:

$$h_n = h - h_1 - h_2 - h_3 = 1 - 0,15 - 0,05 - 0,2 = 0,6 \text{ м,}$$

де h – внутрішня висота ванни, м;

h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски;

h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту;

h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни [5].

$$S_d = 0,25 \cdot 0,075 = 0,01875 \text{ м}^2$$

Визначивши, що габаритні розміри ванни – $1,0 \times 1,25$ м, деталі – $0,25 \times 0,075$ м, підвіски – $1,05 \times 0,6$ м, відстань між деталями на підвісному пристрої – $0,005$ м, виходить, що на підвісному пристрої прогнозовано розміщення одночасно 28 деталей [5].

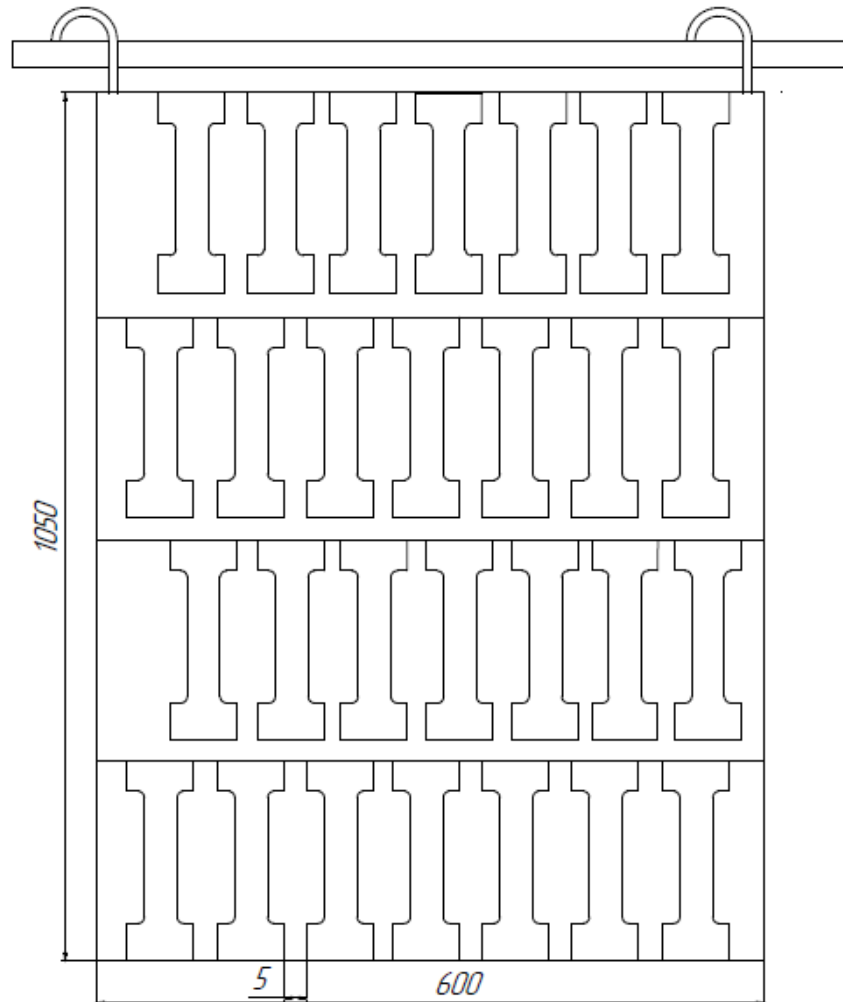


Рисунок – 1.2 Ескіз підвісного пристрою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ

Арк.

24

$$S_n = S_d \cdot n_d = 0,0375 \cdot 28 = 1,05 \text{ м}^2$$

де S_d – площа поверхні однієї деталі, м^2 ;

n_d – кількість деталей на підвісі.

Поверхня одноразового завантаження у ванну, враховуючи, що кількість одночасно завантажених підвісок у ванну дорівнює 1:

$$S_{oz} = S_n \cdot N_d = 1,05 \cdot 1 = 1,05 \text{ м}^2,$$

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

Відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_n - 2B_a - 2B_1}{2} = \frac{1 - 0,025 - 2 \cdot 0,012 - 2 \cdot 0,1}{2} = 0,37 \text{ м}$$

де b – внутрішня ширина ванни, м;

B_n – товщина підвіски з деталями, м;

B_a – товщина анодів, 0,012 м;

B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, м.

Кількість ванн, необхідних для виконання виробничої програми:

$$\sum n_B = \frac{N_{oz}}{S_{oz}} = \frac{1,97}{1,05} = 1,85 = 2;$$

Річна продуктивність обладнання:

$$P'_p = \sum n_B \cdot S_{oz} \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = 2 \cdot 1,05 \cdot \frac{2054,08 \cdot 60}{13,58 \cdot 1,1} = 17325,9 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P'_p} = \frac{16320}{17325,9} = 0,94$$

1.2.4 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні

$$S = 2 \cdot N_{oz} \cdot a \cdot b = 2 \cdot 28 \cdot 0,25 \cdot 0,075 = 1,05 \text{ м}^2$$

де N_{oz} – кількість деталей на підвісі; a і b – габаритні розміри деталі, м.

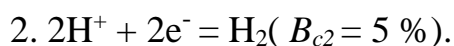
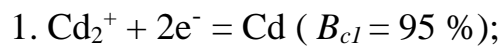
					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Тоді приймаючи, що коефіцієнт врахування втрат електрики на осаджування металу на контактах підвіски, дорівнює 1,15, а технологічна катодна густина струму $i_k = 200 \text{ А/м}^2$, катодна сила струму на одній ванні становить [5]:

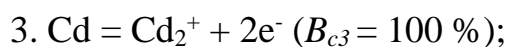
$$I = K_k \cdot i \cdot S = 1,15 \cdot 200 \cdot 1,05 = 241,5$$

При кадмуванні у сульфатному електроліті на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:



Кількість електрики визначають, виходячи з дійсного часу проведення електролізу. Дійсний час проведення електроосадження визначається як різниця часу обробки однієї підвіски і часу технічного обслуговування ванни, на кількість підвісок, що можна обробити за 1 годину [5]:

$$n = 60/13,58 = 4,42$$

Таким чином:

$$\tau_d = (\tau - \tau_{об}) \cdot n = (13,58 - 3) \cdot 4,42 = 46,76 \text{ хв} = 0,78 \text{ год}$$

Кількість електрики, що витрачається на кожну реакцію, складає:

на катоді:

$$Q_{k(осн)} = \frac{I \cdot \tau \cdot B_{c_k}}{100} = \frac{241,5 \cdot 0,78 \cdot 95}{100} = 178,95 \text{ А} \cdot \text{год}$$

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$Q_{k(\text{поб})} = \frac{I \cdot \tau \cdot V_{c_k}}{100} = \frac{241,5 \cdot 0,78 \cdot 5}{100} = 9,42 \text{ А} \cdot \text{год}$$

на аноді:

$$Q_a = \frac{I \cdot \tau \cdot V_{c_k}}{100} = \frac{241,5 \cdot 0,78 \cdot 100}{100} = 188,37 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Розраховані значення для балансу електрики зводять у таблицю 1.2

Таблиця 1.2 – Баланс кількості електрики для ванни кадмування за годину

Надходження	Q, А·год	Витрати			
		На катоді	Q, А·год	На аноді	Q, А·год
Від зовнішнього джерела струму	188,37	На осадження кадмію	178,95	На розчинення кадмію	188,37
		На виділення водню	9,42		
Всього	188,37	Всього	188,37	Всього	188,37

1.2.5 Баланс напруги на гальванічній ванні

Напруга на ванні складається з різниці електродних потенціалів під струмом, омичного падіння напруги в електроліті, у провідниках першого роду та в контактах.

Баланс напруги процесу кадмування розраховують за формулою:

$$\begin{aligned} U_B &= iE_a - iE_k + \Delta U_{\text{ом Ел-т}} + \Delta U_{\text{ом Ір}} + \Delta U_{\text{омк}} \\ &= \Delta E + \Delta U_{\text{ом Ел-т}} + \Delta U_{\text{ом Ір}} + \Delta U_{\text{омк}} \end{aligned}$$

Різниця потенціалів:

$$\Delta E = iE_a - iE_k = -0,3 - (-0,48) = 0,18 \text{ В,}$$

де E_a – потенціал аноду під струмом, В;

E_k – потенціал катоду під струмом, В[9].

Омічне падіння напруги в електроліті розраховують за формулою [5]:

$$\Delta U_{\text{Ом Ел-т}} = K_k \cdot i_{\text{ср}} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_{\text{Ел-т}} = 1,15 \cdot \sqrt{100 \cdot 200} \cdot 0,37 \cdot 12,5 \cdot 10^{-2} \\ = 7,52 \text{ В,}$$

де $\rho_{\text{Ел-т}}$ – питомий електричний опір електроліту, Ом·м[9].

Тоді напруга на ванні:

$$U_B = (\Delta E + \Delta U_{\text{Ом Ел-т}}) / 0,9 = (0,18 + 7,52) / 0,9 = 8,56 \text{ В}$$

Тоді припускають, що:

$$\Sigma \Delta U_{\text{Ом}} = \Delta U_B \cdot 0,1 = 8,56 \cdot 0,1 \approx 0,86 \text{ В}$$

Мінімальна напруга джерела струму для гальванічної ванни:

$$U_{\text{дс}} = 1,1 \cdot U_B = 1,1 \cdot 8,56 = 9,42 \text{ В.}$$

Розраховані значення для балансу електрики зводять у таблицю 2

Таблиця 1.3 – Баланс напруги на ванні кадмування.

Надходження	Значення		Витрати	Значення	
	В	%		В	%
Напруга на ванні, U_B	8,56	100	Різниця потенціалів електродів під струмом, $E_a - E_k$	0,18	2,1
			Падіння напруги в електроліті, $\Delta U_{\text{Ом Ел-т}}$	7,52	87,85
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках, $\Sigma \Delta U_{\text{Ом}}$	0,86	10,05
Всього	8,56	100	Всього	8,56	100

1.2.6 Розрахунок споживання електричної енергії

Електрична енергія, що підводиться до електролізера, перетворюється в хімічну та теплову і дорівнює сумі цих складових:

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

Тоді розрахунок електричної енергії, яка витрачається на протікання процесу в одній гальванічній ванні, матиме вигляд:

$$W_{\text{заг}} = U_{\text{в}} \cdot I \cdot \frac{\tau_{\text{д}}}{60} = 8,56 \cdot 241,5 \cdot \frac{46,87}{60} = 1614,86 \text{ кДж}$$

Середній вихід за струмом на процес осадження покриття на катоді та аноді складає:

$$\frac{W_{\text{ск}} + W_{\text{са}}}{2} = \frac{100 + 95}{2} = 97,5 \%$$

$$W_{\text{дж}} = 1614,86 \cdot 0,975 = 1574,49 \text{ кДж}$$

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

$$W_{\text{хім}} = 1614,86 - 1574,89 = 39,97 \text{ кДж}$$

В таблицю 1.4 вносять проведені розрахунки для балансу енергії.

Таблиця 1.4 – Баланс електричної енергії на ванні кадмування

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	1614,86	100	Джоулеве тепло	1574,89	97,5
			Хімічна енергія	39,97	2,5
Разом	1614,86	100	Разом	1614,86	100

1.2.7 Вибір джерела живлення

Аналізуючи розраховані значення сили струму та напруги на ванні, обирають джерело струму «TE1-400/12Т» з такими характеристиками: напруга – до 12 В, сила струму – до 400 А[9].

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Враховуючи потужність, необхідну для виконання річної програми, та паспортну потужність випрямляча, його коефіцієнт завантаження становить:

$$K_3 = \frac{N_{дс}}{N_{пасп}} = \frac{U \cdot I \cdot 10^{-3}}{U_{пасп} \cdot I_{пасп} \cdot 10^{-3}} = \frac{8,56 \cdot 241,5 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = 0,43$$

1.2.8 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн

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

де $C_1 = 3960$ Дж/кг·К – теплоємність кадмієвого електроліту [9].

$d_1 = 1100$ кг/м³ – густина електроліту кадмію [9].;

V_1 – об'єм електроліту, м³;

$C_2 = 1700$ Дж/кг·К – теплоємність корпусу ванни [10].;

$m_2 = 207$ кг – маса гальванічної ванни;

$C_3 = 233$ Дж/кг·К – теплоємність кадмієвих анодів;

$m_3 = 10,368$ – маса анодів з кадмію, кг

$$V_1 = K_{зап} \cdot V_{ванн} = 0,8 \cdot (1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0) = 1 \text{ м}^3;$$

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

$$t_k = 20 + \frac{1574490}{1 \cdot 3960 \cdot 1,1 + 1700 \cdot 207 \cdot 233 \cdot 20,736} = 20,00093 = 20^\circ \text{С.}$$

В результаті розрахунку температури отримане значення мінімально відрізняється від початкового, тому охолодження не потрібно.

1.2.8 Розрахунок витрат матеріалів

Витрати розчинних анодів на виконання річної виробничої програми.

Витрати розчинних анодів на запуск обладнання визначаються за формулою [5]:

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$G_{аз} = 0,48 \cdot n_{аш} \cdot l_{в} \cdot h_{в} \cdot \delta_{а} \cdot d_{а} \cdot n_{в}$$

де $n_{аш} = 2$ – кількість анодних штанг, що розташовані у ванні;

$h_{в} = 0,96$ – внутрішня висота ванни

$l_{в} = 1,17$ м – внутрішня довжина ванни;

$d_{а} = 8639,98$ кг/м³ – густина анодів;

$\delta_{а} = 0,012$ м – товщина анодів з металічного кадмію;

$n_{в} = 2$ – кількість ванн даного типу.

$$G_{аз} = 0,48 \cdot 2 \cdot 1,17 \cdot 0,96 \cdot 0,012 \cdot 8639,98 \cdot 2 = 223,6 \text{ кг}$$

Витрати розчинних анодів на виконання річної виробничої програми

Витрати розчинних анодів $G_{АР}$, кг, визначають за формулою:

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

де S – сумарна площа поверхні нанесеного покриття при виконанні річної програми, м²; δ_n – товщина покриття в мікрометрах; A_p – норма витрат розчинних анодів для нанесення покриття товщиною один мікромметр, кг/м².

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

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

де d_m – густина металу покриття, кг/м³.

$$A_p = 8639,98 \cdot (1+0,06) \cdot 10^{-6} = 0,0092 \text{ кг/м}^2,$$

тоді, розраховуємо витрату розчинних анодів $G_{АР}$:

$$G_{АР} = 16320 \cdot 0,0092 \cdot 15 = 2252,16 \text{ кг.}$$

Розрахунок витрат хімічних реактивів

Для ванн хімічної обробки та для ванн із розчинними анодами загальні витрати хімічних реактивів на проведення технологічного процесу визначаються кількістю реактивів, необхідних для приготування розчину на початковий запуск

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

обладнання і втратами реактивів на виконання річної програми: винесення електроліту з деталями, винесення електроліту у вентиляційні канали, корегування електроліту, заміна електроліту та ін.

Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Розрахунок здійснюють для усіх операцій технологічного процесу.

Витрати кожного компонента розчину або електроліту G_i визначають за формулою, кг:

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

де C_i – концентрація кожного компонента електроліту, кг/м³; V_B – об'єм ванни, м³; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни, $K_{\text{зап}} = 0,8$; n_e – кількість ванн даного типу.

Склад електроліту, кг/м³:

CdSO ₄	35
Na ₂ SO ₄	35
H ₂ SO ₄	35
ОП – 10	3

розраховуємо витрати кожного компонента електроліту:

$$G_{\text{CdSO}_4} = 35 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 2 = 56 \text{ кг},$$

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 35 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 2 = 56 \text{ кг},$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 35 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 2 = 56 \text{ кг},$$

$$G_{\text{ОП-10}} = 3 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 2 = 4,8 \text{ кг}.$$

розраховуємо витрати кожного компонента розчину знежирення:

$$G_{\text{NaOH}} = 15 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 12 \text{ кг},$$

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}} = 70 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 56 \text{ кг},$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 25 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 20 \text{ кг},$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SiO}_3} = 20 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 16 \text{ кг}.$$

розраховуємо витрати розчину активації:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 60 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 32 \text{ кг}.$$

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

розраховуємо витрати розчину освітлення:

$$G_{\text{HNO}_3} = 25 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 20 \text{ кг.}$$

розраховуємо витрати кожного компонента розчину оксидного фосфатування:

$$G_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4} = 15 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 12 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Mg}(\text{NO}_3)_2} = 100 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 80 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4} = 2 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 1,6 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Fe}(\text{NO}_3)_2} = 2 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 1,6 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Миючий засіб}} = 4 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 3,2 \text{ кг.}$$

розраховуємо витрати розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$:

$$G_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 80 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 64 \text{ кг.}$$

Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми

Витрати розраховують для всіх операцій технологічного процесу.

Розрахунок витрат здійснюють за формулою, кг [5]:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вт}},$$

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

Величину $V_{\text{вт}}$, м^3 , можна визначити як:

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 16320 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 1,877 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 16320 \cdot 0,24 \cdot 10^{-3} = 4,5 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 16320 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 7,5 \text{ м}^3.$$

де S – сумарна поверхня деталей, які обробляються за рік, м^2 ; коефіцієнт 1,15 ураховує площу занурюваної частини підвісок; A_e – норма витрат розчину, $\text{м}^3/\text{м}^2$, величина якої не залежить від товщини покриття, розраховуємо витрати кожного компонента електроліту:

$$G_{\text{CdSO}_4} = 35 \cdot 1,877 = 65,7 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 35 \cdot 1,877 = 65,7 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 35 \cdot 1,877 = 65,7 \text{ кг,}$$

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$G_{\text{ОП-10}} = 3 \cdot 1,877 = 5,6 \text{ кг.}$$

розраховуємо витрати кожного компонента розчину знежирення:

$$G_{\text{NaOH}} = 15 \cdot 4,5 = 67,5 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}} = 70 \cdot 4,5 = 315 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 25 \cdot 4,5 = 112,5 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SiO}_3} = 20 \cdot 4,5 = 90 \text{ кг.}$$

розраховуємо витрати кожного компонента розчину оксидного фосфатування:

$$G_{\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4} = 15 \cdot 4,5 = 67,5 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Mg}(\text{NO}_3)_2} = 100 \cdot 4,5 = 450 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4} = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{Fe}(\text{NO}_3)_2} = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{Миющий засіб}} = 4 \cdot 4,5 = 18 \text{ кг.}$$

розраховуємо витрати розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$:

$$G_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 80 \cdot 4,5 = 360 \text{ кг.}$$

розраховуємо витрати розчину активації:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 60 \cdot 7,5 = 450 \text{ кг.}$$

розраховуємо витрати розчину освітлення:

$$G_{\text{HNO}_3} = 25 \cdot 4,5 = 112,5 \text{ кг.}$$

1.2.9 Розрахунок витрат води

Розрахунок витрат води на приготування електролітів і розчинів $G'_{\text{H}_2\text{O}}$ визначається за формулою [5]:

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

де $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – вміст води в 1 м^3 розчину, кг; $V_{\text{заг}}$ – сумарні витрати розчину на виконання річної виробничої програми, м^3 .

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Величину C_{H_2O} можна визначити як

$$C_{H_2O} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n) = 1100 - (35 + 35 + 35 + 3) = 992 \text{ кг/м}^3,$$

де $d_{\text{ел}}$ – густина електроліту, кг/м^3 ,

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

Сумарні витрати розчину знаходять за формулою [5]:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зан}} \cdot n_{\text{в}} + V_{\text{ем}} = 1 \cdot 0,8 \cdot 2 + 1,877 = 3,477 \text{ м}^3,$$

де $V_{\text{в}}$ – об'єм ванни, м^3 ; $K_{\text{зан}}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{\text{зан}} = 0,8$);

Тоді:

$$G'_{H_2O} = 992 \cdot 3,477 = 3449 \text{ кг.}$$

Витрати води на розкладання при електролізі

Витрати води на розкладання C''_{H_2O} розраховується за формулою [5]:

$$C''_{H_2O} = I \cdot \frac{18 \cdot T_{\text{д}} \cdot V_{\text{с}}}{2 \cdot 26,8} = 241,5 \cdot \frac{18 \cdot 2054,08 \cdot 5}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} = 8,3 \text{ кг,}$$

$V_{\text{с}}$ – вихід за струмом для побічного процесу розкладання води, %.

Витрати води на винесення із 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 :

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

де C'_{H_2O} – маса води, яка виноситься із ванни одним м^3 газів, кг/м^3 ; $V_{\text{г}}^t$ – загальний об'єм вологого газу, який виділяється при температурі електролізу, м^3 .

Величину C'_{H_2O} визначають як:

$$C'_{H_2O} = 0,805 \cdot \frac{P_{H_2O}}{P_{\text{б}} - P_{H_2O}} = 0,805 \cdot \frac{23,4}{1013 - 23,4} = 0,02 \text{ кг/м}^3,$$

де $P_{\text{б}}$ – загальний тиск паро-газової суміші, гПа ; P_{H_2O} – парціальний тиск пари води при температурі електролізу, гПа .

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Для визначення величини V_2^t спочатку визначають об'єми водню, приведені до нормальних умов, м³:

$$V_{H_2}^0 = 0,418 \cdot I \cdot T_d \cdot Bc',$$

$$V_{H_2}^0 = 0,418 \cdot 241,5 \cdot 2054,08 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 10,4 \text{ м}^3$$

$$V_{O_2}^0 = 0 \text{ м}^3$$

і сумарний об'єм приведених до нормальних умов газів, м³:

$$V_{\Gamma}^0 = V_{H_2}^0 + V_{O_2}^0 = 10,4 + 0 = 10,4 \text{ м}^3$$

Об'єм вологого газу за температури електролізу, м³:

$$V_{\Gamma}^t = \frac{V_{\Gamma}^0 \cdot 1013 \cdot (273 + t_{\text{ел}})}{273(P_{\Gamma} - P_{H_2O})} = \frac{10,4 \cdot 1013 \cdot (273 + 20)}{273(1013 - 23,4)} = 11,43 \text{ м}^3$$

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

$$C'''_{H_2O} = 0,02 \cdot 12,7 = 0,23 \text{ кг.}$$

Витрати води на випаровування з поверхні розчину

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

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot K_B \cdot S_e \cdot (P_{H_2O} - P_n) \cdot T_d \cdot n_b}{P_{\Gamma}},$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорційності, кг/(м²· час), $S_e = 1,25 \text{ м}^2$ – поверхня дзеркала електроліту, м²; $n_b = 2$ – кількість ванн даного типу; $K_B = 0,86$ – коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості руху повітря над дзеркалом електроліту; P_n – парціальний тиск водяної пари за температури та вологості навколишнього середовища, Па .

$$P_n = \frac{P_s \cdot \varphi}{100} = \frac{2337 \cdot 75}{100} = 1752,75 \text{ Па}$$

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

$\varphi = 75 \%$ – вологість повітря в умовах цеху.

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot 0,86 \cdot 1,25 \cdot (2340 - 1752,75) \cdot 2054,08 \cdot 2}{101325} = 1167,2 \text{ кг.}$$

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Витрати води на промивні операції

Витрати води на промивні операції у значній мірі залежать від кількості ступенів промивання.

При двохступеневому промиванні способом занурювання погодинні витрати води визначаються за формулою $\text{дм}^3/\text{год}$ [5]:

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

де $A_e = 0,1$ – норми виносу розчину із ванни поверхнею деталей, $\text{дм}^3/\text{м}^2$; P_r – годинна виробнича програма ванни $7,95$, $\text{м}^2/\text{год}$; K – критерій остаточної промивки деталей. Його визначають за співвідношенням [5]:

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

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

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

де $1,5$ – коефіцієнт, що враховує можливе падіння тиску води у водопровідній мережі

Витрати води на промивні операції після знежирення

Концентрація основного компоненту (NaOH) — 15 г/л

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

$$K = \frac{15}{0,8} = 18,75;$$

$$V_{\text{год}} = 0,1 \cdot \sqrt{18,75} \cdot 7,95 = 3,44 \text{ (л/год)},$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,5 = 3,44 \cdot 2054,08 \cdot 1,5 = 10599 = 10,6 \text{ (м}^3\text{)}.$$

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Витрати води на промивні операції після активації

Концентрація основного компоненту (H₂SO₄) — 60 г/л.

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

$$K = \frac{60}{0,1} = 600;$$

$$V_{\text{год}} = 0,1 \cdot \sqrt{600} \cdot 7,95 = 20,42 \text{ (л/год)}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 20,42 \cdot 2054,08 \cdot 1,5 = 62916,5 = 62,9 \text{ (м}^3\text{)}$$

Витрати води на промивні операції після кадмування

Концентрація основного компоненту — 35 г/л.

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, для ванн кадмування: 0,015 г/л.

$$K = \frac{35}{0,015} \cdot 0,4 = 932,2;$$

$$V_{\text{год}} = 0,1 \cdot \sqrt{932,2} \cdot 7,95 = 24,27 \text{ (л/год)}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 24,27 \cdot 2054,08 \cdot 1,5 = 74778 = 74,8 \text{ (м}^3\text{)}$$

Загальна витрата води

Загальну кількість промивної води за рік знаходимо додаванням всіх вище розрахованих витрати::

$$V = 10,6 + 62,9 + 74,8 = 148,3 \text{ м}^3$$

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Гальванічна промисловість відіграє значну роль у забрудненні навколишнього середовища токсичними речовинами, особливо важкими металами. Це забруднення проявляється у трьох основних формах [10]:

Рідкі відходи:

Відпрацьовані стічні води, що утворюються при очищенні деталей, обладнання та заміні електролітів.

Тверді відходи:

Осади, що утворюються при очищенні стічних вод або концентрованих електролітів.

Газоподібні відходи:

Токсичні гази, пари, аерозолі та газові суміші, що виділяються в гальванічних процесах та на очисних спорудах.

Найбільш поширені процеси нанесення гальванічних покриттів – цинкування, нікелювання, хромування, кадміювання,.

Під час промислових процесів перелічені метали потрапляють в тверді та рідкі відходи. У стічних водах зазвичай присутня велика кількість заліза, оскільки вони утворюються при обробці сталевих деталей. Залізо та алюміній також можуть додаватися в стічні води для їх очищення [10].

До металів з високою екологічною небезпекою слід віднести кадмій та хром (VI) [10].

Кадмій, один з високотоксичних елементів, вкрай шкідливий для живих організмів. Летальна доза для теплокровних тварин становить всього 150 мг/кг. В організмі кадмій накопичується в нирках, печінці, підшлунковій та щитовидній залозах, завдаючи їм серйозної шкоди.

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Крім того, кадмій володіє тератогенним (викликає вроджені дефекти) і мутагенним (викликає зміни в ДНК) ефектом. Він негативно впливає на роботу станцій очищення стічних вод і токсичний для рослин при поливі водою з концентрацією кадмію від 20 до 50 мг/л. Допустима концентрація кадмію в ґрунті становить 1-2 мг/кг.

Cr⁶⁺ надзвичайно токсичний, аналогічно кадмію, але додатково володіє окислювальними властивостями. Він чинить на живі організми загальнотоксичну, накопичувальну, алергенну, канцерогенну та мутагенну дію.

Згубний вплив хрому на навколишнє середовище призводить до порушення процесів самоочищення. Він ускладнює утворення осадів у відстійниках і сприяє утворенню плівок на біофільтрах [10].

Хром накопичується у рослинах, негативно впливаючи на їх ріст і розвиток. Особливо небезпечна комбінація хрому та нікелю, яка посилює шкоду для сільськогосподарських культур [10].

Використання води зі слідами хрому неприпустиме для поливу рослин.

Окрім важких металів, також не менш небезпечними для навколишнього середовища є кислоти, луги, аніони кислот.

Небезпека лугів і кислот для довкілля пов'язана з їхнім рН. Для нетоксичності стоків для водних організмів потрібен рН від 5 до 9. Тому допустимий діапазон рН у воді становить від 6,5 до 8,5 [10].

Для кислот небезпека визначається й токсичністю їхніх аніонів. Азотна кислота особливо небезпечна через утворення оксидів азоту при корозії металів.

Серед інших аніонів порівняно нешкідливими є сульфати та хлориди. Однак сульфати можуть руйнувати бетон, а хлориди сприяють корозії металів, що також негативно впливає на довкілля [10].

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Гальванічне кадмування супроводжується виділенням шкідливих речовин, у вигляді забруднених реактивами стічних вод, що містять у складі кислоти, луки та солі. Концентрація токсичних речовин, які виділяються в процесі, не мають перевищувати ГДК.

Для захисту середовища та водойм від потрапляння шкідливих викидів виробництва гальванічного кадмування повинні бути розділені на потоки: кислотно-лужні та хромвмісні.

При впровадженні технологічних процесів необхідно передбачити заходи, що направлені на економію природних ресурсів, наприклад:

- 1) з метою скорочення видатку води застосовувати струминні і каскадні промивання замість промивки в проточній воді;
- 2) заміна шкідливих речовин на більш безпечні.

Реагентний метод очищення стічних вод

Реагентний метод знешкодження та нейтралізації стічних вод заснований на дозуванні в стоки гідроксиду натрію, що вступає в реакцію з катіонами важких металів і утворюються гідроксиди цих металів, які випадають в осад. Отриманий осад пропускають через фільтр-прес [7].

З точки зору економії та якості очищення слід зменшувати кількість стічних вод і підвищувати концентрації речовин забруднювачів. Чим вище концентрація, та більша повнота та швидкість хімічних реакцій, тим менше потрібно реагентів на одиницю ваги речовини, що видаляється.

Водний розчин після додаткового розбавлення і контролю на ГДК зливається в міську систему стоків.

Кислотовмісні, лужні та стічні води, що містять катіони Cr збираються у цеху самостійно і потім мережею подаються на заводські очисні споруди гальванічного цеху, призначені для завершального очищення стічних вод, що містять хром.

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Для знешкодження забруднених стічних вод зазначених категорій передбачаються такі пристрої [7]:

- усереднювач для кислих, лужних стоків і стоків, які містять катіони важких металів;
- камера реакції;
- ємності для приготування та зберігання реагентів;
- дозувальні пристрої;
- прилади контролю та автоматичного керування процесом знешкодження;
- пристрій для ручного керування та відбору проб;
- відстійник для просвітлення очищених стоків;
- установка для зневоднення осаду (шламу).

Об'єм усереднювача слід приймати відповідно до графіку надходження стічних вод, але не менше двохгодинної розрахункової витрати стоків. Корисну ємність камери реакції рекомендується приймати рівною 30-хвилинній розрахованій витраті води з урахуванням кількості знешкоджених стоків, що містять Cr^{3+} [7].

Камера реакції повинна бути обладнана пристроями механічного, гідравлічного або повітряного перемішування. Для підтримки оптимального значення рН стоків, що дорівнює 8,0-9,0, камера повинна бути обладнана автоматичним рН-метром з дозаторами лужних та кислотних реагентів [7].

Відстійники можуть бути горизонтального або вертикального типу. Найчастіше застосовуються відстійники горизонтального типу. Для розрахунку відстійників рекомендується приймати:

- тривалість відстоювання не менше двох годин;
- розрахункову швидкість руху води до 5 м/с;
- об'єм нейтрального шару та частини, що осаджується не менше 30% від обсягу відстійної частини;
- вологість осаду 98-99% [7].

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

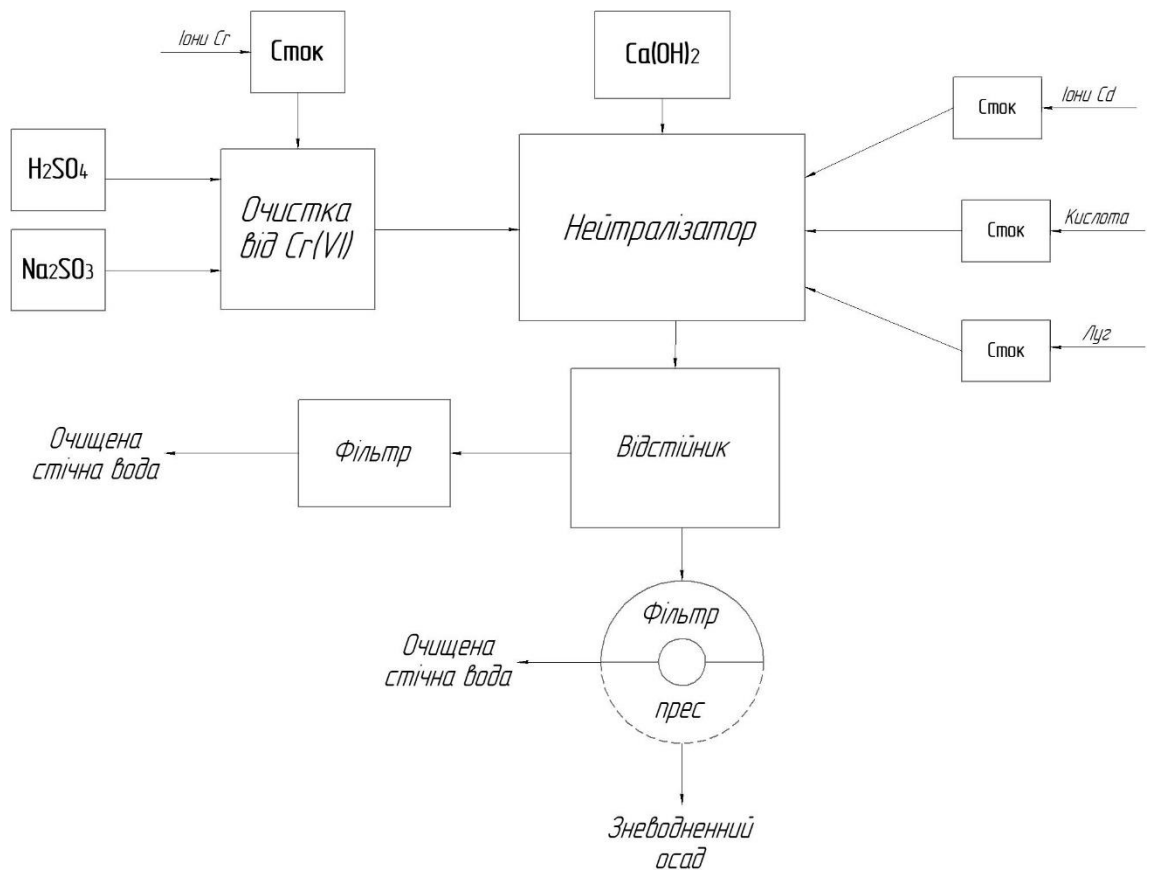


Рисунок 2.1 – Схема очищення стічних вод після процесу кадмування [7;10]

3. ЕКОНОМІКО - ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Підприємство у промисловій структурі держави

Для того щоб виконувалася організаційно-економічна частина завдання згідно «Галузевої інструкції з планування, обліку виробництва та калькуляції собівартості на підприємствах хімічної промисловості», необхідно розрахувати техніко-економічні показники цеху кадмування [11].

На підставі проведених розрахунків проводиться аналіз техніко-економічних показників, на підставі якого роблять висновки про економічний ефект від застосування запропонованої технології [11]:

Назва підприємства «АНТОНОВ».

Організаційно-правова форма: акціонерне товариство.

Класифікаційні ознаки підприємства:

1. за спеціалізацією виробництва – вузькоспеціалізоване;
2. за масштабом виробництва – масове;
3. за ресурсами – матеріало- та енергомістке;
4. за потужністю – велике;
5. за чисельністю персоналу – велике;
6. за сферою діяльності – виробниче;
7. згідно мети діяльності – комерційне;
8. за режимом роботи протягом року – позасезонне.

КВЕД: код 25.61, що включає гальванічне нанесення кадмію на сталь.

Мета діяльності: задоволення потреб авіабудівної промисловості у нанесенні захисних кадмієвих покриттів на деталі простої конфігурації [12]:.

Основні завдання, які вирішує підприємство [11] :

1. Забезпечення споживачів відмінною продукцією в поставленні строки;
2. Отримання доходу за рахунок реалізації виготовленої продукції

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

споживачам;

3. Забезпечення працівників підприємства заробітною платою та оптимальними умовами праці;
4. Внесення запобіжних методів для недопущення збоїв у роботі підприємства.

Схема організаційної структури підрозділу хімічного виробництва по гальванічному нанесенню кадмієвого покриття: лінійна структура

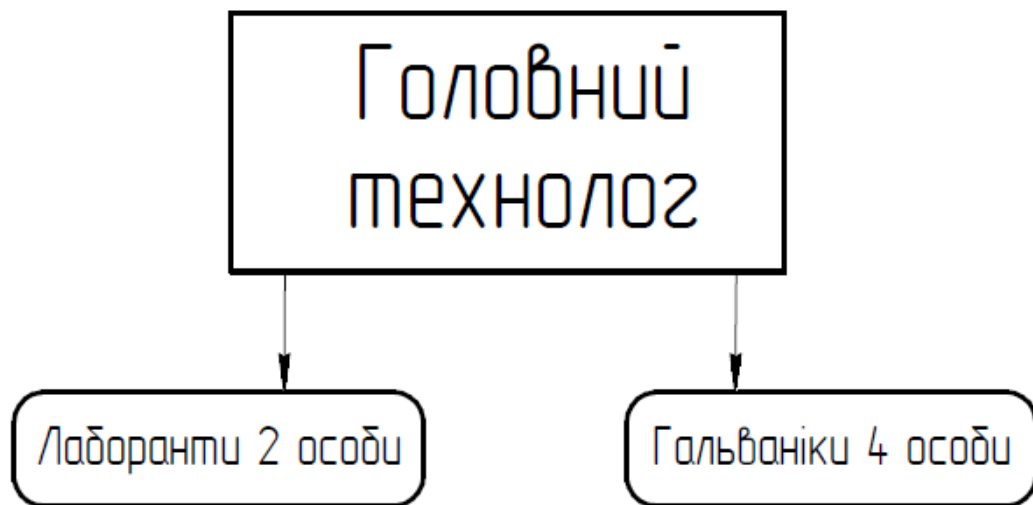


Рисунок 3.1 - Організаційна структура підрозділу хімічного виробництва по гальванічному нанесенні кадмію.

3.2 Технологічна підготовка виробництва

Технологічний процес гальванічного кадмування складається з операцій, що наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Класифікація виробничих процесів

Вид виробничого процесу	Операції	Тривалість, хв
Основні	1. Монтаж деталей на підвіску	1,5
	2. Знежирення хімічне	40
	3. Промивання в теплій воді	1
	4. Холодне промивання	1
	5. Активація	2
	6. Холодне промивання	1
	7. Кадмування електрохімічне	10,58
	8. Уловлювання	2
	9. Холодне промивання	1
	10. Освітлення	0,08
	11. Холодне промивання	1
	12. Оксидне фосфатування	20
	13. Промивання в теплій воді	1
	14. Холодне промивання	1
	15. Обробка в солях хромпіку	10
	16. Уловлювання	2
	17. Промивання в теплій воді	1
	18. Сушіння	10
	19. Зневоднення	120
	20. Демонтаж деталей	1,5
	21. Контроль якості	5
	Загальна тривалість основного процесу	232,66
Допоміжні	1. Упакування та відправлення продукції на склад	
	2. Закупівля та транспортування сировини	
Побічні	1. Очищення стічних вод	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ

Арк.

46

Для визначення річної виробничої програми P_p річне виробниче завдання P_z , що складає $16000 \text{ м}^2/\text{рік}$, збільшується на величину браку виробів, який складає 2% ($K_{бр} = 2\%$) від P_z , $P_p = 16320 \text{ м}^2/\text{рік}$, тоді добова виробнича програма становить $P_{доб} = 62,29 \text{ м}^2/\text{день}$, а площа разового завантаження $S_{оз} = 1,05 \text{ м}^2$. Також у технологічних розрахунках було визначено необхідну кількість ванн кадмування = 2.

Необхідна кількість завантажень за день складає:

$$N_{завант} = \frac{P_p}{T_{доб} \cdot S_{оз}} = \frac{16320}{262 \cdot 1,05} = 60 \text{ завантажень},$$

де $T_{доб}$ — кількість робочих днів у 2024 році, 262 робочі дні, P_p — річна програма з урахуванням браку, $16320 \text{ м}^2/\text{рік}$; $S_{оз}$ — площа разового завантаження, $1,05 \text{ м}^2$.

Розраховуємо випуск для різних ВРПП:

1. Для послідовного:

Робітники працюють за 8-годинним робочим днем в 1 зміну.

Кількість завантажень за один день становить [11]::

$$N_{завант} = \frac{T_{в.ц.}^{посл}}{\sum_{i=1}^{21} t_i} = \frac{8 \cdot 60}{232,66} = 2,06 \approx 2 \text{ рази},$$

де $T_{в.ц.}^{посл}$ — кількість робочих годин у хвиликах, $\sum_{i=1}^{21} t_i$ — час основних процесів

Кількість виготовленої продукції за рік становить:

$$V_{посл}^{Річ} = N_{завант} \cdot T_p \cdot N_{оз} = 2 \cdot 262 \cdot 1,05 = 550,2 \text{ м}^2;$$

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

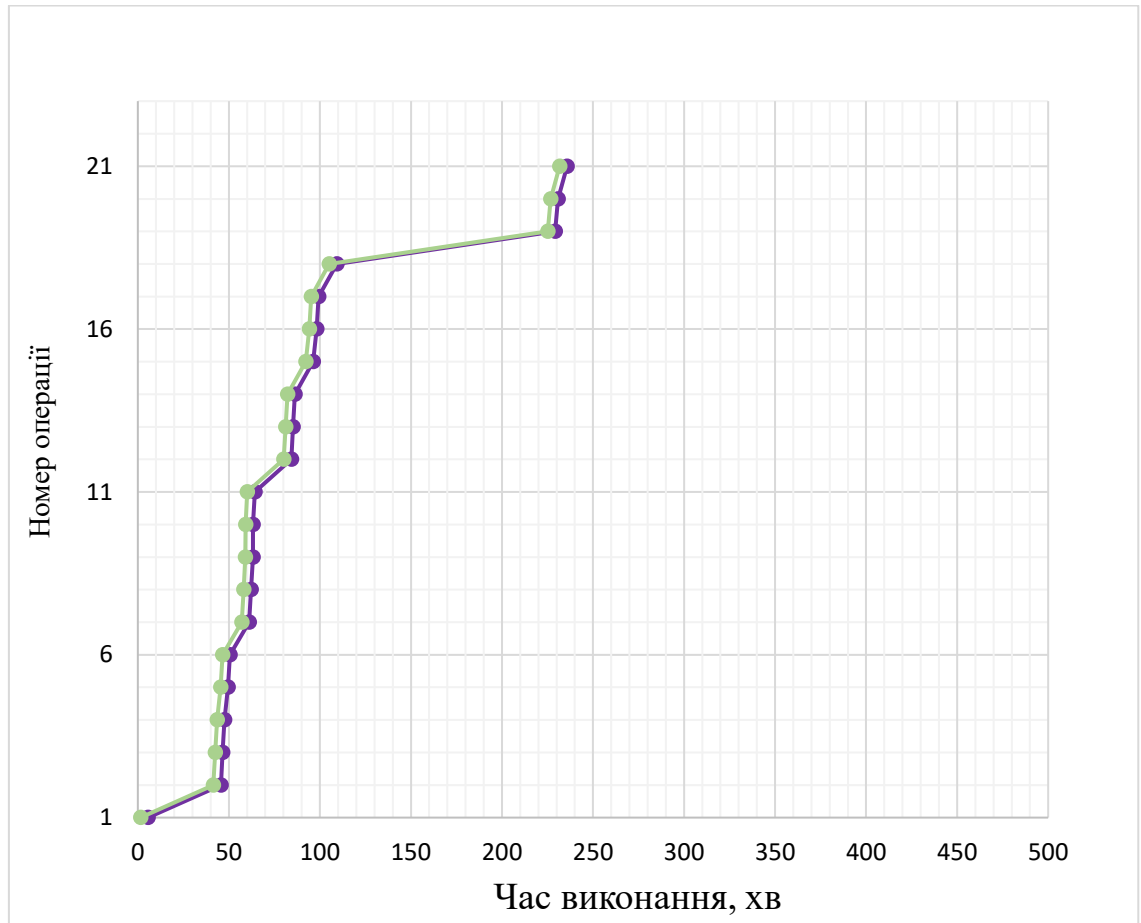


Рисунок 3.2 – Графік послідовного ВРПП

Для паралельного ВРПП [11]:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{пар}} + T_{\text{мах}} - \sum_{i=1}^{21} t_i}{T_{\text{мах}}} = \frac{8 \cdot 60 + (120 - 232,66)}{120} = 3,07$$

≈ 3 рази

$$V_{\text{пар}}^{\text{Річ}} = 3 \cdot 262 \cdot 1,05 = 825,3 \text{ м}^2;$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

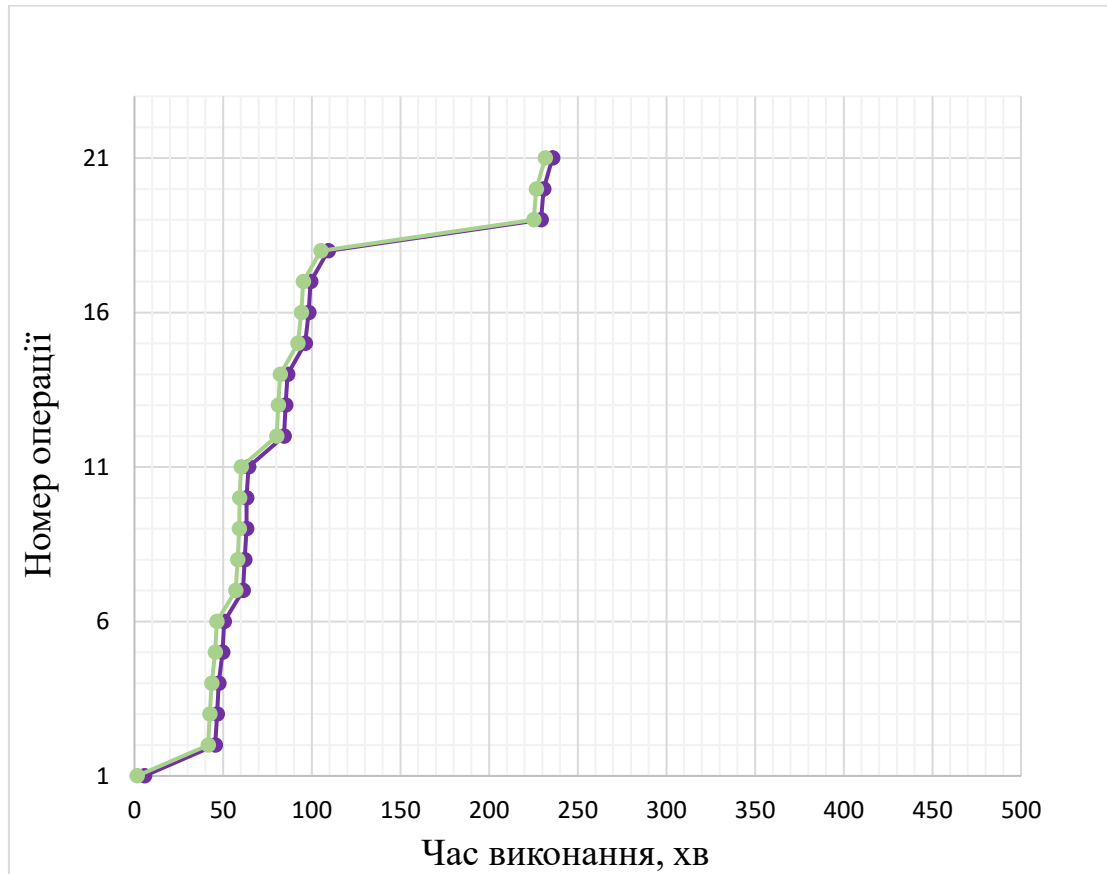


Рисунок 3.3 - Графік паралельного ВРПП

Для синхронізованого ВРПП [11]:

Розраховуємо кількість потрібних завантажень за добу:

$$N_{\text{завант}} = \frac{P_{\text{доб}}}{N_{\text{оз}}} = \frac{62,29}{1,05} = 60 \text{ завантажень,}$$

де $N_{\text{оз}}$ – разове завантаження усіх ванн, м^2 ; $P_{\text{доб}}$ – добова виробнича програма.

Розрахуємо ритм для синхронізованого ВРПП із співвідношення:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^{21} t_i}{R} = \frac{8 \cdot 60 + (4,19 - 232,66)}{4,19} = 60 \text{ разів,}$$

$$V_{\text{синх}}^{\text{річ}} = 60 \cdot 262 \cdot 1,05 = 16\,506 \text{ м}^2.$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

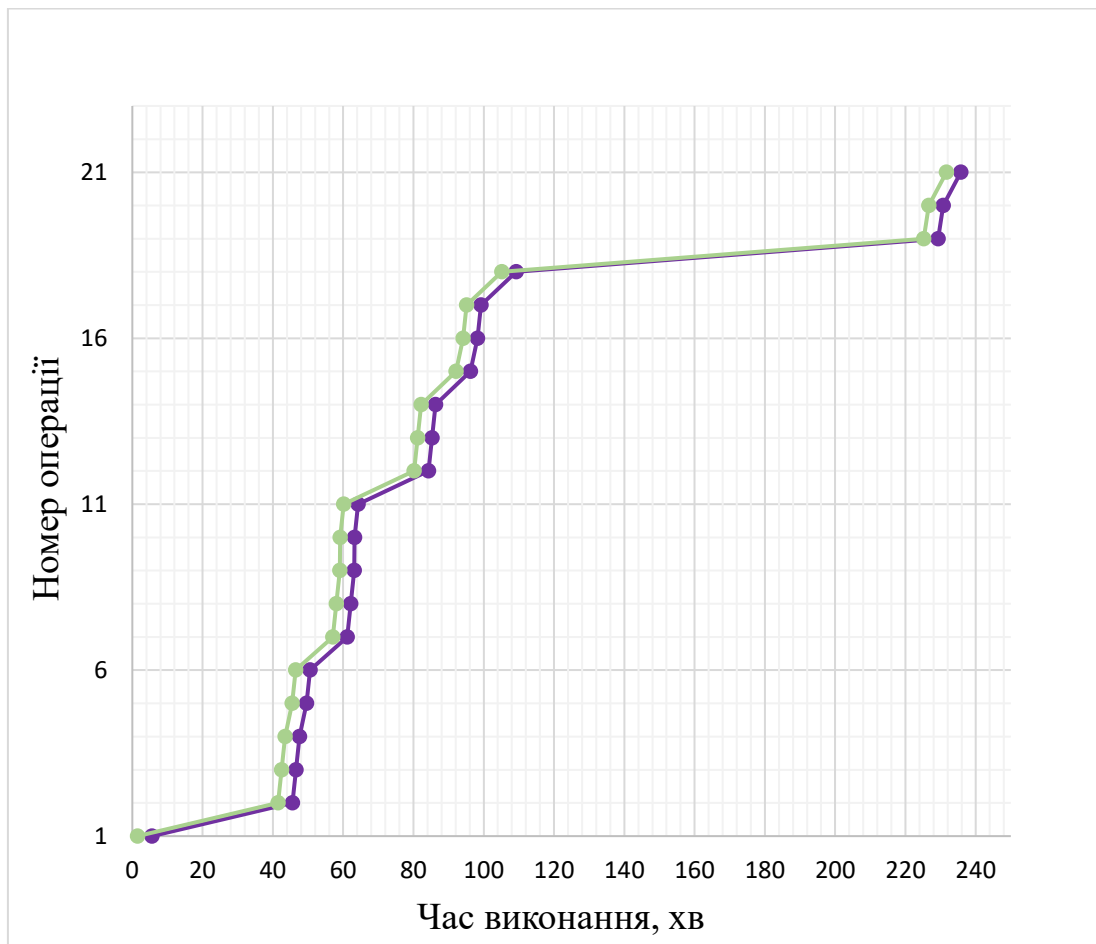


Рисунок 3.4 - Графік синхронізованого ВРПП

Виходячи з попередніх розрахунків для виконання річної програми, яка становить 16320 м²/рік оптимально використовувати синхронізований ВРПП з ритмом 4,19 хв. Кількість завантажень деталей за робочу добу при синхронізованому ВРПП становить 60 раз.

Для повного виконання річної програми з ритмом 4,19 хв, потрібна наступна кількість ванн: 9 шт. хімічного знежирення., 1 шт. теплої промивки, 1 шт. активації, 1 шт. освітлення, 1 шт. холодної промивки, 2 шт. електрохімічного кадмування, 2 шт. уловлювання каскадного типу, 5 шт. універсальна ванна фосфатування, 2 шт. з солями хроміку, 31 шт. сушильні шафи.

Отже, сумарна кількість одиниць обладнання становить 56 одиниць. Перелік обладнання наданий у таблиці 3.3.

Чисельність персоналу явочна. Для виконання повного обсягу робіт на підприємстві необхідно 7 працівників на один робочий день: 1 головний технолог, 2 лаборанти і 4 гальваніка.

Чисельність персоналу за списком: 7 осіб

Графік роботи підприємства:

Понеділок – п'ятниця: 9.00 – 17.00

До складу бригади входить: 2 лаборанти, 4 гальваніки.

Таблиця 3.2 – Графік роботи

Прац	Дні тижня																			
	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	НД	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	НД	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ
Бриг	Р	Р	Р	Р	Р	В	В	Р	Р	Р	Р	Р	В	В	Р	Р	Р	Р	Р	В

Умовні позначення: «Р» - робочий день, «В» - вихідний день.

3.3 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна

підготовка виробництва

Таблиця 3.3 – Склад основних фондів підприємства

№	Найменування обладнання	Кількість одиниць	Ціна, грн	Вартість, грн
1	2	3	4	5
1	Ванна теплового промивання	1	9 800	9 800
2	Ванна холодного промивання	1	9 800	9 800
3	Ванна освітлення	1	13 500	13 500
4	Ванна хімічного знежирення	9	17 400	156 600
5	Ванна кадмування	2	47 300	94 600
6	Ванна уловлювання	2	33 000	66 000
7	Ванна активації	1	19 700	19 700
8	УВФ	5	37 000	185 000
9	Ванна з солями хромпіку	2	34 600	69 200
10	Система автоматизації	1	17 000	17 000
11	Сушильна шафа	31	32 700	1 013 700
12	Підвіски	56	2 100	117 600
13	Будівлі і споруди	-	1800000	1800000
14	Трубопроводи	-	68 500	68 500
15	Нематеріальні активи	-	110 000	110 000
Всього:	-	112	-	3 751 000

Термін експлуатації згідно рекомендацій із Податкового кодексу України. Для обладнання – 5 років, меблів – 4, будівлі – 20 років, інвентарна тара – 6 років, трубопроводів – 15 років [13].

Затрати на ремонт обладнання = $0,05 \cdot \text{ціна обладнання/термін експлуатації (5 років)} = 0,05 \cdot 3\,751\,000/5 = 37\,510$ грн/рік

Таблиця 3.4 – Тарифна сітка підприємства

ТР	ТК	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти
1	1	6	1,45	11	1,97	16	2,79
2	1,09	7	1,54	12	2,12	17	3
3	1,18	8	1,64	13	2,27	18	3,21
4	1,27	9	1,73	14	2,42	19	3,42
5	1,36	10	1,82	15	2,58	20	3,64

Умовні позначення: «ТР» - Тарифні розряди, «ТК» - Тарифні коефіцієнти.

З урахуванням того, що тарифна ставка однієї години роботи працівника першого розряду – 48 грн[14], обчислимо фонд заробітної плати цеху.

Таблиця 3.5 – Фонд заробітної плати цеху гальванічних покриттів

Посада	Кількість осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата, грн		
					За день	За рік	Загальна
Головний технолог	1	16	2,79	133,92	1071,36	280 696,32	280 696,32
Гальванік	4	7	1,54	73,92	591,36	154 936,32	619 745,28
Лаборант	2	11	1,97	94,56	756,48	198197,76	396 395,52
Всього	7						1 296 837,12

Тоді нарахування на ЗП [11]:

$$H = 0,22 \cdot \text{ЗП} = 0,22 \cdot 1\,296\,837,12 = 285\,304,17 \text{ грн/рік}$$

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + H = 1\,296\,837,12 + 285\,304,17 = 1\,582\,141,29 \text{ грн/рік}$$

Амортизація основних фондів [11]:

1. Амортизація будівель та споруд:

$$A_{\text{буд}} = H_{\text{а}}^{\text{буд}}/T_{\text{ек}} = 1\,800\,000 / 20 = 90\,000 \text{ грн/рік}$$

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

2. Амортизація приладів і обладнання:

$$A_{\text{буд}} = N_{\text{а}}^{\text{обл}} / T_{\text{ек}} = 1\,654\,900 / 5 = 330\,980 \text{ грн/рік}$$

3. Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{н.м.а.}} = N_{\text{а}}^{\text{н.м.а.}} / T_{\text{ек}} = 110\,000 / 3 = 36\,667 \text{ грн/рік}$$

4. Амортизація трубопроводів:

$$A_{\text{тр.}} = N_{\text{а}}^{\text{тр.}} / T_{\text{ек}} = 68\,500 / 15 = 4567 \text{ грн/рік}$$

5. Всього:

$$A = 90\,000 + 330\,980 + 36\,667 + 4567 = 462\,214 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 3.6 – Річні оборотні фонди підприємства

Найменування	Ціна, грн	Витрата на рік	Вартість, грн
1	2	3	4
Сульфат кадмію	810	65,7	53 217
Сульфат натрію	50	65,7	3 285
ОП-10	75	5,6	420
Гідроксид натрію	125	67,5	8 438
миючий засіб	385	18	6 930
Ортофосфат натрію	345	315	108 675
Карбонат натрію	80	112,5	9 000
Силікат натрію	110	90	9 900
Сульфатна кислота	55	515,7	28 364
Нітратна кислота	150	112,5	16 875
Нітрат заліза	157	9	1 413
Нітрат марганцю	365	450	164 250
Біхромат калію	238	360	85 680
Щавлева кислота	170	9	1 530
Амофос	110	67,5	7 425

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4
Вода	30,5	155	4 728
Електроенергія, грн/кВт	5,5	23 847	131 158,5
Всього	641 287		

Таблиця 3.7 - Калькуляція продукції

№	Елементи	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн./м2	
1	Амортизація	461 214	28,26	16,3
2	Оборотні фонди	641 287	39,29	22,6
3	Заробітна плата	1 296 837,12	79,46	45,8
4	Нарахування на ЗП	285 304,17	17,48	10,1
5	Нематеріальні активи	110 000	6,74	3,9
6	Затрати на ремонт	37 510	2,3	1,3
7	Виробнича собівартість	2 832 152	173,54	100
8	Невраховані витрати	566430	34,71	20

Повна собівартість розраховується з урахуванням неврахованих витрат, які складають 20% від виробничої собівартості.

$$C_{\text{неврах. витр.}} = (20 \cdot C_{\text{вир}}) / 100 = (20 \cdot 2\,832\,152) / 100 = 566\,430 \text{ грн/рік}$$

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

3.4 Техніко-економічні показники

Повна собівартість з урахуванням накладних складає [11]:

$$C_{\text{заводська}} = C_{\text{цехова}} \cdot 1,8 = 208,25 \cdot 1,8 = 374,85 \text{ грн /м}^2$$

1. Прибуток складає:

$$\Pi = \text{Ц} - C_{\text{заводська}} = 400 - 339,48 = 60,52 \text{ грн/м}^2,$$

де Ц – середня ринкова ціна за 1 м² кадмієвого покриття, 400 грн/м².

2. Рентабельність складає [11]:

$$P = \frac{\Pi}{C_{\text{заводська}}} \cdot 100 = \frac{60,52}{374,85} \cdot 100 = 16,15 \%$$

3. Капіталовкладення складає [11]:

$$K = \text{ОФ} + \text{Обз} + (C_{\text{заводська}} - C_{\text{виробнича}}),$$

де $C_{\text{з.р.}}$ – повна собівартість з урахуванням накладних помножена на річну продуктивність

$$K = 3\,571\,000 + 641\,287 + (6\,133\,872 - 2\,832\,152) = 7\,520\,007 \text{ грн}$$

4. Коефіцієнт економічної ефективності складає [11]:

$$E = \frac{\Pi \cdot P_p}{K} = \frac{60,52 \cdot 16320}{7520007} = 0,1313$$

5. Період повернення капіталовкладень [11]:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,1313} = 7,6 \approx 8 \text{ років.}$$

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Індивідуальне завдання

Оцінка економічного ефекту від застосування запропонованої технології

Для оцінки економічного ефекту використання технології кадмування, порівняємо його з іншим електролітом.

Сульфатний електроліт дозволяє отримати малонаводненні покриття, аналогом даного рішення може бути використання хлор-амонійного електроліту кадмування.

В хлор-амонійному електроліті низький відсоток виходу за струмом водню, цей факт суттєво впливає на швидкість нанесення покриття, проте у нього є суттєвий недолік – його ціна, що більше за обрану технологію в 1,25 рази, при цьому значно збільшуються витрати на електроенергію через більшу густину струму, що за розрахунками збільшиться в 2,5 рази.

Складемо порівняльну таблицю витрат на оборотні фонди.

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 3.8 – Порівняння оборотних фондів

Найменування	Ціна, грн	Витрата на рік	Вартість, грн	Найменування	Ціна, грн	Витрата на рік	Вартість, грн
Сульфат кадмію	810	65,7	53 217	Хлорид кадмію	810	94,4	76 424
Сульфат натрію	50	65,7	3 285	Хлорид натрію	80	75,5	6 038
ОП-10	75	5,6	420	Клей мездровий	1271	3,8	4 797
Гідроксид натрію	125	67,5	8 438	Гідроксид натрію	125	67,5	8 438
миючий засіб	385	18	6 930	Ортофосфат натрію	345	315,0	108 675
Ортофосфат натрію	345	315	108 675	Карбонат натрію	80	112,5	9 000
Карбонат натрію	80	112,5	9 000	Силікат натрію	110	90,0	9 900
Силікат натрію	110	90	9 900	Нітратна кислота	90	225,0	20 250
Сульфатна кислота	55	515,7	28 364	Тіосечовина	365	18,8	6 851
Нітратна кислота	150	112,5	16 875	Соляна кислота	98	750,0	73 500
Нітрат заліза	157	9	1 413	Біхромат натрію	245	46,9	11 497
Нітрат марганцю	365	450	164 250	Сульфат натрію	50	37,5	1 877
Біхромат калію	238	360	85 680	Хлорид амонію	90	525,6	47 300
Щавлева кислота	170	9	1 530	Вода	30,5	320,0	9 760
Амофос	110	67,5	7 425	Електроенергія, грн/кВт	5,5	59617,5	327896,25
Вода	30,5	155	4 728				
Електроенергія, грн/кВт	5,5	23 847	131158,5	Всього			722 202
Всього			641 287				

Синхронізований використовується як для сульфатного, так і для хлор-амонійного електроліту. ВРПП для хлор-амонійного тоді:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц.}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^{21} t_i}{R} = \frac{8 \cdot 60 + (4,1 - 238,08)}{4,1} = 60 \text{ разів,}$$

$$V_{\text{синх}}^{\text{річ}} = 60 \cdot 262 \cdot 1,05 = 16 506 \text{ м}^2.$$

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

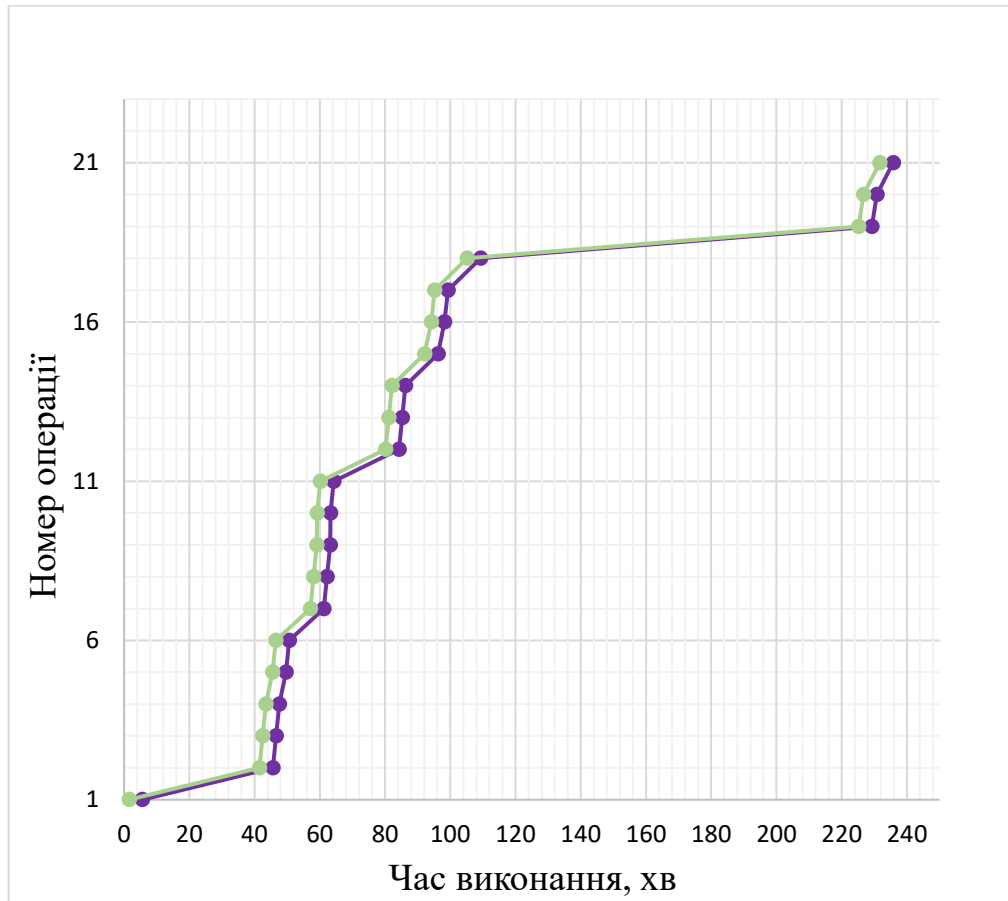


Рисунок 3.5 - Графік синхронізованого ВРПП для хлор-амонійного електроліту

У порівнянні із сульфатним електролітом для кадмування потрібно використати на 9 гальванічних ванн більше для того щоб виконати річну програму.

Тоді затрати на ремонт обладнання [13] = 0,05 · ціна обладнання/термін експлуатації (5 років) = 0,05 · 4 176 700 / 5 = 41 767 грн/рік

Амортизація приладів і обладнання з урахуванням збільшення кількості ванн хлор-амонійного кадмування становить:

$$A_{\text{буд}} = N_{\text{а}}^{\text{обл}} / T_{\text{ек}} = 2\,080\,600 / 5 = 416\,120 \text{ грн/рік}$$

Загальна амортизація складає:

$$A = 90\,000 + 416\,120 + 36\,667 + 4567 = 547\,354 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 3.9 - Калькуляція продукції для хлор-амонійного електроліту

№	Елементи	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн./м2	
1	Амортизація	547 354	33,54	18,2
2	Оборотні фонди	722 202	44,25	24,0
3	Заробітна плата	1 296 837,12	79,46	43,2
4	Нарахування на ЗП	285 304,17	17,48	9,5
5	Нематеріальні активи	110 000	6,74	3,7
6	Затрати на ремонт	41 767	2,56	1,4
7	Виробнича собівартість	3 003 464	184,04	100
8	Невраховані витрати	600692,9	36,81	20

Повна собівартість розраховується з урахуванням неврахованих витрат, які складають 20% від виробничої собівартості [11]:

$$C_{\text{неврах.витр.}} = 0,2 \cdot C_{\text{вир}} = 0,2 \cdot 3\,003\,464 = 600\,692,9 \text{ грн/рік}$$

$$C_{\text{цехова}} = C_{\text{вир}} + C_{\text{неврах.}} = 3\,003\,464 + 600\,692,9 = 3\,604\,156,9 \text{ грн/рік}$$

$$C_{\text{заводська}} = C_{\text{цехова}} \cdot 1,8 = 3\,604\,156,9 \cdot 1,8 = 6\,487\,482,42 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо економічний ефект річної програми від впровадження нового електроліту [11]:

$$EФФ = C_{\text{хлор-амонійний}} - C_{\text{сульфатний}} = 6\,487\,482,42 - 3\,398\,582 = 3\,088\,900,42 \text{ грн.}$$

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таким чином можемо зробити висновок, що сульфатний електроліт кадмування більш вигідний для промислового підприємства. Для того щоб виконати річну програму яка складає 16320 м² при кадмуванні в хлорамонійному електроліті необхідно на 9 ванн кадмування більше, а також витратити більше коштів на реактиви, амортизацію та ремонт.

В той час як кадмування в сульфатному електроліті в загалом на 3 088 900,42 грн вигідніше, ці заощаджені кошти можна реінвестувати у виробництво.

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

4. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Основною функцією автоматичного регулювання параметрів гальванічного процесу в промисловому виробництві — є спрощення та пришвидшення основних або допоміжних процесів за рахунок приладів різних класифікацій.

4.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

Процес гальванічного кадмування із сульфатного електроліту характеризується зміною рН та наводнюванням під час електролізу. Для отримання якісного покриття, що відповідає вимогам, необхідно постійно підтримувати заданий режим.

Для мінімізації браку та підвищення продуктивності, в умовах промислового гальванічного кадмування, доцільно автоматизувати основний процес [16].

Таблиця 4.1– Параметри регулювання та контролю процесу нанесення кадмієвого покриття

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Електроліт, Гальванічна ванна	Рівень електроліту	0,8 м	Контроль регулювання
2	Електроліт	рН електроліту	2...5,5	Контроль
3	Електроліт	Температура	18...25°C	Контроль регулювання
4	Гальванічна ванна	Сила струму, Напруга	241,5 А; 8,56 В	Контроль керування
5	Бак з електролітом	Рівень	0,45...0,50 м	Контроль
6	Бак з кислотою	Рівень	0,45...,0,50 м	Контроль

4.2 Опис розробленої схеми автоматизації технологічного процесу

Параметри, що підлягають контролю в процесі гальванічного кадмування [15]:

1. Рівень електроліту у ванні (0,80 м)

Рівень електроліту в ванні підтримується за допомогою першого, четвертого та п'ятого контурів. Для вимірювання рівня у ванні розміщено прилади: 1-1; 4-1; 5-1 з пневматичним вихідним сигналом, від них ці покази передаються на щит керування, відповідно на показувальні та реєструвальні прилади: 1-2, 4-2; 5-2, що з'єднані з регулюючими приладами 1-3 та 5-3, що передають сигнал на місцеві прилади 1-4; 5-4 з клапаном на трубопроводі 28 від баку з розчином кислоти та 29 від баку з розчином електроліту [15].

2. Рівень рН (2...5-5)

Для регулювання рН передбачено чутливий елемент рН-метра заглибного виконання 2-1, сигнал якого надходить на автономний показувальний та реєструвальний прилад 2-3. Також маємо перетворювач високоомний 2-2 [15].

3. Температура (18...25 °С),

Для автоматичного регулювання температури передбачено термоперетворювач опору 3-1, який в свою чергу передає сигнал на щит керування на пропорційно інтегральний електронний регулятор 3-2.

4. Регулювання струму та напруги на гальванічній ванні (241,5 А; 8,56 В),

Струм та напруга на ванні регулюються за допомогою шостого контуру. На джерелі постійного струму встановлено випрямний агрегат 6-1 та покази від якого передаються на пульт дистанційного керування 6-2, розміщений на місцевому приладі.

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Висновок:

Завдяки автоматизації процесу гальванічного кадмування ризик утворення браку значно зменшується, що в свою чергу впливає на продуктивність.

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

На гальванічному виробництві з покриттям кадмієм використовується широкий спектр небезпечних речовин. Під час роботи задіяні різноманітні енергоносії: теплова, електрична та механічна енергія. У проекті враховано чинні закони і правила охорони праці.

Цей розділ містить план заходів, спрямований на підтримку безпечних умов праці та забезпечення протипожежного захисту у виробничому цеху.

5.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих

факторів на проектуваному об'єкті. Заходи з охорони праці

5.1.1 Повітря робочої зони

Види робіт, що виконуються у цеху, відносяться до II-б категорії (фізичні роботи середньої тяжкості). Встановлені оптимальні умови в робочій зоні, представлено в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень[17].

Період року	Категорія робіт	Температура, °С					Відносна вологість %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Допустима на робочих місцях				Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
			Верхня межа		Нижня межа					
			П	Н	П	Н				
Х	IIб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	До 0,4
Т		20-22	27	29	15	15	40-60	70	0,3	0,2-0,5

Умовні позначення: «Х» – холодний «Т» – теплий «П-б» – середньої тяжкості «П» – постійні «Н» – непостійні

Таблиця 5.2 – Коротка санітарна характеристика цеху[17]

Ванна кадміювання	Ванна активації	Ванна хімічного знежирення	1	Назва виробничої дільниці, лабораторії, установки
Cd Випаровування, вдихання	H ₂ SO ₄ Випаровування з поверхні електроліту, пролив	NaOH Випаровування з поверхні розчину	2	Шкідливі речовини, що виділяються. Причини їх виділення
Небезпека пов'язана з канцерогенністю Cd	Подразнюючі, вражає верхні дихальні шляхи.	Подразнюючі, при попаданні на шкіру, слизові оболонки, очі, утворюються сильні хімічні опіки	3	Група шкідливої речовини. Характеристика шкідливого впливу
1	2	2	4	Група шкідливої речовини у повітрі шкідливої зони, м/мг
2	3	2	5	Клас небезпечності шкідливої речовини
Рукавиці гумові, респіратор класу В, халат для захисту одягу	Респіратор класу А, халат для захисту одягу, гумові рукавиці, захисні окуляри, що тісно прилягають	Рукавички гумові, окуляри захисні, хімічностійкий прорезинений одяг	6	Засоби індивідуального захисту
Необхідно корегувати технологічний процес	При потраплянні на шкіру – промити великою кількістю води; 2% розчином соди	Промити великою кількістю проточної води, потім слабким розчином оцтової кислоти (5%-им)	7	Засоби доікарської допомоги
Фотометричний метод	Нефелометричний метод з хлоратом калію УГ- 2	ХГА «АГАТ»	8	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони
1	V	IV	9	Клас виробництва згідно СН-245-71
3б	1б	3а	10	Санітарна група технологічного процесу згідно СНиП 2.09.04-87

Для зменшення виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони передбачається запровадити та забезпечити роботу загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції на робочих місцях, де відбувається виділення шкідливих речовин, відповідно до ДСТУ Б А.3.2-12:2009 [18]. Ця система забезпечує видалення шкідливих парів і аерозолів з робочої зони до концентрацій нижче гранично допустимих (ГДК). Встановлено двосторонні бортові відсмоктувачі та терморегулятори, які підтримують стабільний температурний режим у ваннах з концентрованими розчинами кислот, що працюють при підвищених температурах. Крім цього, персонал буде забезпечений засобами індивідуального захисту (бавовняні халати з кислотозахисним просоченням, прогумовані фартухи з нагрудниками, гумові чоботи, захисні окуляри, гумові рукавиці) [18].

Для забезпечення циркуляції повітря в цеху планується [18]:

- Робота загальної припливної вентиляції для подачі свіжого повітря до приміщення, яке піддається термічній обробці для нагріву та очищення.
- Використання витяжної вентиляції для видалення забрудненого повітря з приміщення.
- Забезпечення оптимальної продуктивності вентиляції з урахуванням циркуляції повітря між приміщеннями.
- Наявність аварійної вентиляції, яка активується сигналом датчиків газоаналізаторів у разі перевищення норм ГДК шкідливих речовин у повітрі, а також може запускатися вручну. Кратність повітрообміну для аварійної вентиляції становить 8 разів на годину, включаючи робочу.
- Встановлення бортових відсмоктувачів на ванни, що містять токсичні речовини, для запобігання потрапляння їх парів до дихальних шляхів працівників.

Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Для уловлювання шкідливих і небезпечних парів, ванни хімічного знежирення, активації, освітлення, фосфатування, з солями хромпіку та гальванічного кадмування оснащені двосторонніми бортовими відсмоктувачами.

Об'ємні витрати повітря, що видаляється завдяки бортовим відсмоктувачам, розраховуємо за формулою: [19]

$$L = 3600 \cdot a \cdot 0,07 \cdot k_t \cdot k_3 \cdot \sqrt{(t_p - t_n) \cdot n \cdot b^3}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

a – довжина ванни (1,25 м);

b – ширина ванни (1 м);

t_p – температура розчину;

t_n – температура навколишнього середовища;

K₃ – коефіцієнт запасу (1,5);

$$K_t = \left(1 + \frac{b}{a \cdot 8}\right)^2 = \left(1 + \frac{1}{1,25 \cdot 8}\right)^2 = 1,21$$

Таблиця 5.3 Об'ємні витрати повітря

Процес	t _p	t _n	K _t	Кількість ванн	L, м ³ /год
Знежирення	60	19	1,21	9	57066,63
Активація	40	19	1,21	1	4537,93
Кадмування	20	19	1,21	2	1980,51
Освітлення	30	19	1,21	1	3284,31
Фосфатування	20	19	1,21	5	4951,28
Обробка в солях хромпіку	70	19	1,21	2	14143,70
Сума					85964,36

5.1.2 Виробниче освітлення

Проектом передбачено використання системи суміщеного освітлення, де природне комбіноване освітлення доповнюється загальним штучним. Крім того, залежно від функціонального призначення, передбачено робоче, охоронне, ремонтне, аварійне та евакуаційне освітлення [17].

Таблиця 5.4 Норми освітлення, визначені [19]

Розряд і під розряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО,%	
	Штучне		Природне	Суміщене
	Комбіноване	Загальне	Верхнє та бічне	Верхнє та бічне
IV в	400	200	4 та 1,5	2,4 та 0,9
VIII а	-	200	3 та 1	1,8 та 0,6

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, у даному цеху передбачено використання систем природного, штучного та суміщеного освітлення. Загальна освітленість робочих поверхонь повинна становити не менше 200 лк. Штучне освітлення забезпечується люмінесцентними лампами типу Kanlux MAH PLUS-236/4LED/PC.

Також передбачено автоматичне включення аварійного освітлення у разі раптового відключення робочого освітлення на ділянках, де неможливе швидке припинення роботи, та на ділянках, де раптове припинення технологічного процесу пов'язане з небезпекою для життя людини. Освітленість робочої поверхні при аварійному освітленні становитиме не менше 10 лк при використанні люмінесцентних ламп і не менше 7 лк при лампах розжарювання [17].

Для вимірювання рівня освітленості на робочому місці використовуються люксметри Venetech GM 1010. Контроль освітлення проводиться не менше одного разу на рік, а також після заміни ламп.

Приміщення цеху обладнано люмінесцентними світильниками низького тиску типу Kanlux MAH PLUS-236/4LED/PC зі світловим потоком 22800 лм.

Габаритні розміри цеху складають:

- Довжина – 35 м;
- Ширина – 27 м;
- Висота – 12 м.

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Площа приміщення становить [17]:

$$S = 35 \cdot 27 = 945 \text{ м}^2$$

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{h_c \cdot (a + b)} = \frac{945}{12(35 + 27)} = 2,63$$

Розраховуємо кількість світильників за наступною формулою:

$$N = \frac{S \cdot k_z \cdot z \cdot E_H}{F_l \cdot n \cdot \eta}$$

де $k_z = 1,5$ – коефіцієнт запасу; $z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності; $E_H = 200$ лк – нормоване значення освітленості; F_l – світловий потік; n – кількість ламп у світильнику.

$$N = \frac{S \cdot k_z \cdot z \cdot E_H}{F_l \cdot n \cdot \eta} = \frac{945 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 200}{22800 \cdot 2 \cdot 1} = 6,8 \approx 7 \text{ штук}$$

5.1.3 Захист від шуму та вібрації

Механізми, що працюють у цеху, є джерелами шуму та вібрації. Рівень шуму залежить від кількості одночасно увімкненого обладнання і коливається в межах 76–92 дБА при нормі 80 дБА, згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [19].

Для зниження шуму проектом передбачено застосування засобів звукоізоляції та звукопоглинання, встановлення глушників на повітропроводах, а також зменшення шуму в джерелі його утворення через налаштування балансування приладів. Працівникам видаються засоби захисту (наушники DeltaPlus або силіконові беруші Tyg Soft).

Також для зменшення шуму обладнання розміщено таким чином, щоб мінімізувати відбиття шуму від стін: відстань від робочого боку обладнання до

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

стіни становить 1,5 м, від не робочого боку — 1,2–1,5 м, площа приміщення на одного працівника не менше 4,5 м², висота приміщення не менше 5 м [17].

Вимірювання рівня шуму здійснюється за допомогою приладу СЕМ ДТ-8052.

5.1.4 Електробезпека

Живлення електричного обладнання на виробництві здійснюється від трифазної чотирьохпровідної мережі змінного струму промислової частоти з напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю.

Розрахуємо силу струму, що може проходити через людину:

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

де U_{ϕ} – фазна напруга, В;

$R_{л}$ – загальний опір тіла людини, Ом;

R_0 – опір робочого заземлення нейтралі, Ом.

Напруга, що проходить через людину [19]:

$$U_{д} = I_{л} \cdot R_{л} \cdot 10^{-3}$$

$$I_{л} = \frac{220 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 73,2 \text{ мА}$$

$$U_{д} = 73,2 \cdot 3000 \cdot 10^{-3} = 219,7 \text{ В.}$$

При порівнянні отриманих значень з регламентованими, можна побачити, що порушення вимог ПУЕ може призвести до електричних травм працівників з важкими наслідками.

У цеху буде запроваджено захисне відключення установок, занулення електрообладнання, ізоляція електропровідних частин обладнання,

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання малих напруг, аварійна сигналізація, а також встановлення знаків безпеки.

Персонал буде забезпечений діелектричними гумовими рукавицями та гумовими ізолюючими підставками.

5.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

На кожному етапі гальванічного покриття деталей можливі відхилення від нормального протікання процесів та виникнення небезпечних факторів, зокрема: потрапляння гарячого розчину на дерев'яний місток, отримання працівниками термічних опіків тощо.

Також можливі травми від обладнання через необережне поводження з відкритими частинами, що обертаються. Однією з причин аварійної ситуації може бути відмова автоматики. Існує ризик отримання хімічних опіків внаслідок розливу кислот або лугів [17]. Проектом передбачено застосування сигналізуючого обладнання та аварійних вимикачів [19].

5.2 Пожежна безпека

Причинами виникнення пожежі у цеху гальванічного нанесення покриттів можуть бути необережне поводження з легкозаймистими речовинами, удар блискавки, а також коротке замикання в електричних системах [21].

Заходами безпеки передбачено наявність протипожежних щитів з комплектом засобів пожежогасіння, включаючи вогнегасники ВВК-3,5 і ВП-5, ящики з піском та пожежні гідранти. Приміщення цеху обладнане внутрішніми пожежними кранами [21]. Проектом передбачено запровадити пожежні розриви між цехами шириною 10 метрів. Газопроводи будуть підлягати перевіркам на герметичність. Буде встановлено автономну пожежну сигналізацію з автоматичними датчиками типу Артон, що реагуватимуть на підвищення температури і появу диму. Розроблено план евакуації. Захист від блискавки здійснюватиметься блискавковідводом стрижньового типу [21].

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті було розроблено технологію процесу нанесення гальванічного кадмієвого покриття на сталеву кріпильну деталь, з продуктивністю 16000 м²/рік. Обрана товщина кадмієвого покриття складає 15 мікрметрів, для ефективного виконання заданої виробничої програми обрано сульфатний електроліт через достатньо високу розсіювальну здатність та оптимальні умови режиму роботи.

При обчисленні індивідуального економічного завдання було оцінено економічний ефект від впровадження технології кадмування із сульфатного електроліту.

Важливою складовою при розробці є екологічна безпека, оскільки іони кадмію дуже токсичні для навколишнього середовища, важливо правильно очищати стічні води.

Для забезпечення зручності та швидкості осадження важливо автоматизувати гальванічні процеси.

Підприємство розроблено за усіма необхідними вимогами та правилами безпеки.

					ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ОСТ 1 90171-83. Покриття металеві та неметалеві неорганічні. Вибір видів та товщин
2. Гальванічні покриття деталей зі сталей, міді та мідних сплавів. Виробнича інструкція ВІ 1.2.056 – 77. Р.Е. Шалін.
3. Технологія нанесення гальванічних покриттів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спец. 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. І. Мотронюк, О. В. Косогін, М. В. Бик, С. В. Фроленкова, Д. Ю. Ущиповський. – Електронні текстові дані (1 файл: 3.21 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 111 с. – Назва з екрана.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62955>
4. Основи процесів осадження і розчинення металів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. І. Мотронюк, Д. Ю. Ущиповський, О. В. Лінючева, С. В. Фроленкова, М. В. Бик. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,49 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 116 с. – Назва з екрана.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48690>
5. ГАЛЬВАНОТЕХНІКА. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб. / О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.І. Букет, С.В. Фроленкова – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 147 с
6. Хімічна структура сплаву з кадмію КД0 [Електронний ресурс]
<https://cvetprokat.com.ua/uk/kadmiy/>
7. Довідник з нейтралізації стічних вод. АТ «АНТОНОВ»
8. Карта типового технологічного процесу. Операція Зневоднення. АТ «АНТОНОВ».

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Ю. О. Полукаров, Т. Є. Луц. За ред. К. Н. Ткачука. – К. : Основа, 2014. – 456 с.

18. ДСТУ 7237:2011. Гранично допустимі значення напруг дотику та струмів в електроустановках. [Електронний ресурс].
<https://online.budstandart.com/ua>
19. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Електронний ресурс] <https://online.budstandart.com/ua>
20. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс].
<https://online.budstandart.com/ua>
21. Причини пожеж електротехнічного характеру. [Електронний ресурс]
<https://euroservis.com.ua>

					<i>ДП ХЕ 0204.2705.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 Карта технологічного процесу

№ п/п	Операція	Матеріали		Режими			Примітки
		Назва	Кількість, г/л	Температура, °С	Густина струму, А/дм ²	Час, хв	
1	2	3	4	5	6	7	8
10	Монтаж деталей на підвіску					1,5	
20	Знежирення хімічне	NaOH	5...15	60...90	–	20...40	–
		Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	30...70				
		Na ₂ CO ₃	20...25				
		Na ₂ SiO ₃	10...20				
30	Промивання в теплій воді	H ₂ O	–	40...59	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі
40	Холодне промивання	H ₂ O проточна	–	–	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі
50	Активация	H ₂ SO ₄	40...60	19...25	–	1...2	–
60	Холодне промивання	H ₂ O проточна	–	–	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі
70	Кадмування електрохімічне	CdSO ₄	35...50	18...25	1...3	10...15	рН = 2 ...5,5
		Na ₂ SO ₄	35...50				
		H ₂ SO ₄	35...50				
		ОП–10	3...5				
80	Уловлювання	H ₂ O	–	кімнатна	–	1...2	4–6 кратне занурення деталі
90	Холодне промивання	H ₂ O проточна	–	–	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі
100	Освітлення	HNO ₃	10...30	18...25	–	0,05...0,08	–
110	Холодне промивання	H ₂ O проточна	–	–	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	
120	Оксидне фосфатування	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	10...15	70...85	–	5...20	–	
		$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	70..100					
		$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$	1,7...2					
		$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	1,7...2					
		Миючий засіб	4					
130	Промивання в теплій воді	H_2O	–	40...59	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі	
140	Холодне промивання	H_2O проточна	–	–	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі	
150	Обробка в солях хромпіку	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	50...80	70...80	–	5...10	–	
160	Уловлювання	H_2O	–	кімнатна	–	1...2	4–6 кратне занурення	
170	Промивання в теплій воді	H_2O	–	40...59	–	0,25...1	3–5 кратне занурення деталі	
180	Сушіння	–	–	100...110	–	10	–	
190	Зневоднення	–	–	180...200	–	120	–	
200	Демонтаж деталей	1,5	–					
210	Контроль якості						5	Перевірка на відповідність вимогам

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 Специфікація устаткування, виробів і металів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Завод-виробник	К-сть
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-1	Рівень	Електроліт, гальванічна ванна	0,8 М	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; Рвих = 0,02 – 0,1 МПа; діапазон температур: (–50) ... +100 °С; діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м; клас точності 1	УБ-П	ТОВ «ТД ТЕК Україна» м. Київ	1
1-2	Рівень	Електроліт, гальванічна ванна	0,8 М	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування, Рвих = 0,02 – 0,1 МПа	ФК 0071	АТ „Хімавтоматика”, м. Северодонецьк	2
1-3	Рівень	Електроліт, гальванічна ванна	0,8 М	Щит керування	Регулятор пневматичний, пропорціонально-інтегральний, Рвих = 0,02 – 0,1 МПа	ФР 0091	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	2
1-4	Рівень	Бак з електролітом	0,8 М	Місцевий	Пневмопровід мембранний	В26-41	АТ „Хімавтоматика”, м. Северодонецьк	1
2-1	pH	Електроліт, гальванічна ванна	2...5,5	Місцевий	Чутливий елемент рН-метра заглибного(магістрального) виконання з електродами скляними ЭСП-01-14 і регулятором тиску РДС-1; глибина занурення 1600 мм	ДПг-4М	АТ „Хімавтоматика”, м. Северодонецьк	1
2-2	pH	Електроліт, гальванічна ванна	2...5,5	Місцевий	Перетворювач високоомний; клас точності 1; Івих = 0...5 мА; цифрова індикація; інтерфейс RS-232/485	П-215М	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	2
2-3	pH	Електроліт, гальванічна ванна	2...5,5	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; Івх = 0...5 мА	А543	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	1

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3-1	Температура	Електроліт, гальванічна ванна	18...25 °С	Місцевий	Термоперетворювач опору платиновий НСХ-50П, діапазон вимірювання (-50)...+60 °С, допустимий тиск Р _у = 25 МПа; клас допуску 2	ТСП-1288	ТОВ «ТД ТЕК Україна» м. Київ	1
3-2	Температура	Щит керування	18...25 °С	Щит керування	Регулятор електронний, пропорційно інтегральний; I _{вих} = 0–5 мА	РП2-Т	Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	1
4-1	Рівень	Електроліт, гальванічна ванна	0,45...0,5 М	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; Р _{вих} = 0,02 – 0,1 МПа; діапазон температур: (-50) ... +100 °С; діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м; клас точності 1	УБ-П	ТОВ «ТД ТЕК Україна» м. Київ	1
4-2	Рівень	Щит керування	0,45...0,5 М	Щит керування	Регулятор пневматичний показувальний, сигналізаційний, Р _{вих} = 0,02 – 0,1 МПа	ФР 0081	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	2
5-1	Рівень	Електроліт, гальванічна ванна	0,45...0,5 М	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; Р _{вих} = 0,02 – 0,1 МПа; діапазон температур: (-50) ... +100 °С; діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м; клас точності 1	УБ-П	ТОВ «ТД ТЕК Україна» м. Київ	1
5-2	Рівень	Щит керування	0,45...0,5 М	Щит керування	Регулятор пневматичний показувальний, сигналізаційний, Р _{вих} = 0,02 – 0,1 МПа	ФР 0081	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	1
5-3	Рівень	Щит керування	0,45...0,5 М	Щит керування	Пневмопровід мембранний	В26-41	АТ „Хімавтоматика”, м. Северодонецьк	1
5-4	Рівень	Бак з кислотою	0,45...0,5 М	Місцевий	Пневмопровід мембранний	В26-42	АТ „Хімавтоматика”, м. Северодонецьк	1
6-1	Сила струму та напруга	Електроліт, гальванічна ванна	241,5 А; 8,56 В	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, I _{max} = 400 А, U _{max} = 12 В	ТЕ1-400/12Т	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	1
6-2	Сила струму та напруга	Електроліт, гальванічна ванна	241,5 А; 8,56 В	Місцевий	Пульт дистанційного керування для випрямного агрегату іРТЗ-380/12-400	ПДУ ВАК	«Інститут Силової Електроніки, ТОВ».м.Київ	2