

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

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Юрій ГЕРАСИМЕНКО

«__» _____ 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»

на тему: «Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології
нанесення захисного кадмієвого покриття на сталеві пружинні деталі»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ХЕ-71

Зінова Дарина Олександрівна _____

Керівник:

к.т.н., ас.

Васильєва С.М. _____

Консультант з Охорона праці:

доц. к.т.н.

Полукаров Ю.О. _____

Економічна частина

к.т.н., доц.

Підлісна О.А. _____

Автоматизація

ас.

Хібеба М.Г. _____

Рецензент:

ктн., доц. Косогіна І. В. _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

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

Кафедра технології електрохімічних виробництв

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 161 «Хімічні технології та інженерія»

Освітньо-професійна програма «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ **Юрій ГЕРАСИМЕНКО**

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Зіновій Дарині Олександрівні

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології нанесення захисного кадмієвого покриття на сталеві пружинні деталі», керівник проєкту Васильєва С.М., ас., затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Завдання з продуктивності 11000 м²/рік.
4. Зміст пояснювальної записки Обґрунтування і вибір покриття, складання технологічної карти, розрахунок балансів струму, напруги, розрахунок організаційно-економічних показників, заходи охорони праці, автоматизація процесу кадмування, екологічна безпека, розробка схеми очистки стічних вод.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1) Креслення гальванічної ванни, 2) Схема технологічного процесу, 3) Схема автоматизації, 4) Економічна частина, 5) Схема очищення стічних вод.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Характеристика деталей, що підлягають обробці	До 22.05.2021	
2	Вибір виду покриття	До 22.05.2021	
3	Вибір підготовчих операцій	До 24.05.2021	
4	Вибір складу електроліту для нанесення гальванічного покриття	До 24.05.2021	
5	Вибір завершальних операцій	До 25.05.2021	
6	Складання карти технологічного процесу	До 25.05.2021	
7	Виконання технологічних розрахунків	До 26.05.2021	
8	Виконання креслень ванн, барабанів	До 28.05.2021	
9	Складання схеми очищення стічних вод	До 29.05.2021	
10	Складання схеми автоматизації основного процесу	До 29.05.2021	
11	Виконання економічних розрахунків	До 29.05.2021	
12	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 29.05.2021	
13	Оформлення пояснювальної записки	До 03.06.2021	
14	Оформлення графічної частини проєкту	До 08.06.2021	
15	Перевірка ДП на антиплагіат	До 10.06.2021	

Студент _____

Дарина ЗІНОВА

Керівник проєкту _____

Світлана ВАСИЛЬЄВА

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХЕ7107.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	99	
3	A1	ДП ХЕ7107.01.000 ТК	Складальне креслення гальванічної ванни для нанесення кадмієвого покриття	1	
4	A2	ДП ХЕ7107.02.000 ТК	Схема автоматизації процесу нанесення кадмієвого покриття	1	
5	A1	ДП ХЕ7107.03.000 ТК	Схема технологічного процесу нанесення кадмієвого покриття	1	
6	A1	ДП ХЕ7107.04.000 ТК	Техніко-економічні показники	1	
7	A1	ДП ХЕ7107.05.000 ТК	Схема очищення стічних вод	1	

				ДП ХЕ7107 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Зінова			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Васильєва				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-71	
Н/контр.	Букет					
В.о.Зав.каф.	Герасименко					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Гальванічні покриття в машинобудуванні.
Розробка технології нанесення захисного кадмієвого
покриття на сталеві пружинні деталі»**

Київ – 2021 року

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в машинобудуванні. Розробка технології нанесення захисного кадмієвого покриття на сталеві пружинні деталі».

Зінова Д.О. – Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ХТФ, група ХЕ-71.

Дипломний проект, 2021 рік, кількість сторінок –99 , таблиць –21, рисунків –7, джерел –16 .

У дипломному проекті розроблено технологію нанесення захисного кадмієвого покриття на сталеві пружинні деталі для захисту їх від корозії в умовах морського клімату. Осадження покриття проводиться із хлорамонійного електроліту кадмування у електролізері при катодній густині струму 100 А/дм². Річна продуктивність гальванічного цеху складає 11 000 м².

Для гальванічного підприємства було розроблено схему автоматизації гальванічної лінії процесу кадмування, очистку стічних вод, розраховано основні техніко-економічні показники. Проаналізовані шкідливі та небезпечні виробничі фактори й запропоновано заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: гальванічні покриття, захисне покриття, кадмій, корозія, електроліз, обладнання, гальванічна ванна, хлорамонійний електроліт, схема автоматизації, техніко-економічні показники, стічні води.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ						
Изм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата							
Розроб.		Зінова			Розробка технології нанесення кадмієвого покриття на сталеві деталі			Лит.	Арк.	Арк.	
Перев.		Васильєва								6	
								«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ХТФ, ХЕ-71			
Н. Контр.		Букет									
Затв.		Герасименко									

ABSTRACT

«Electroplating in machine building. The development of cadmium coating technology on a steel spring parts».

Zinova D. O. Kyiv: National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», CTF, group HE-71.

Diploma project, 2021. Number of pages –99, tables –21, pictures -7 and literature-16 .

In the diploma project was developed process of galvanic cadmium coating technology on a steel spring parts was developed to protect them from corrosion in a marine environment. The deposition of the coating is made from a chlorammonium electrolyte of cadmium in an electrolyzer at a cathode current density of 100 A /dm². The annual output of the galvanic workshop is 11000 sq m/year.

For the galvanic enterprise the scheme of automation of the galvanic line, purification of waste water were developed, the basic technical and economic indicators were calculated. Analyzed harmful and hazardous production factors and proposed measures for engineering and occupational safety and health.

Key words: galvanic coatings, galvanic sheeting coatings, cadmium, corrosion, electrolysis, equipment, galvanic bath, chlorammonium electrolyte, scheme of automation, technical and economic indicators, wastewater.

					<i>ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	12
<i>1.1 Характеристика деталі, що підлягає обробці</i>	<i>12</i>
<i>1.2 Вибір виду покриття</i>	<i>14</i>
<i>1.3 Вибір підготовчих операцій</i>	<i>16</i>
<i>1.4 Вибір складу електроліту для нанесення захисного кадмієвого покриття</i>	<i>17</i>
<i>1.5 Вибір аноду.....</i>	<i>21</i>
<i>1.6 Вибір завершальних операцій</i>	<i>22</i>
<i>1.7 Методи контролю якості гальванічного покриття</i>	<i>23</i>
<i>1.7.1 Виправлення дефектного покриття</i>	<i>25</i>
<i>1.8 Технологічна карта процесу кадмування сталей</i>	<i>26</i>
2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	28
<i>2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання</i>	<i>28</i>
<i>2.2 Визначення виробничої програми обладнання</i>	<i>28</i>
<i>2.3 Вибір обладнання для нанесення гальванічного покриття та розрахунок його кількості</i>	<i>29</i>
<i>2.4. Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання</i>	<i>30</i>
<i>2.5. Баланс кількості електрики на гальванічній ванні.....</i>	<i>33</i>
<i>2.6. Баланс напруги на гальванічній ванні</i>	<i>34</i>
<i>2.7. Вибір джерела струму для гальванічної ванни</i>	<i>37</i>
<i>2.8 Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії.....</i>	<i>37</i>
<i>2.9 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн.....</i>	<i>38</i>
<i>2.10. Розрахунок витрат матеріалів.....</i>	<i>39</i>
<i>2.10.1. Розрахунок витрат анодів</i>	<i>39</i>
<i>2.10.2 Витрати хімічних реактивів</i>	<i>41</i>
<i>2.10.3. Розрахунок витрат води</i>	<i>42</i>
3. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ	47

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

3.1 Автоматичне регулювання параметрів процесу нанесення кадмієвого покриття	47
3.2 Аналіз процесу нанесення захисного кадмієвого покриття як об'єкта автоматизації.....	48
3.3 Розробка схеми автоматизації процесу кадмування	49
4. ЕКОНОМІКО – ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ	51
4.1 Підприємство у промисловій структурі держави.....	51
4.2 Технологічна підготовка виробництва	52
4.3 Оптимізація виду руху предметів праці.....	53
4.4 Кадрові показники.....	57
4.5 Контроль якості на виробництві.....	57
4.6 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва	59
4.7 Заробітна плата	62
4.8 Техніко-економічні показники	63
4.9. Новизна проєкту цеха	66
4.10. Індивідуальне завдання	66
5. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД	71
5.1 Призначення процесу очищення стічних вод	71
5.2 Методи очищення стічних вод після гальванічного покриття кадмієм.	72
5.3 Реагентна очистка кислоотно-лужних стоків.....	74
5.4 Реагентна очистка хромовмісних стічних вод	75
5.5 Технологічна схема очистки стічних вод	75
6. ОХОРОНА ПРАЦІ	78
6.1. Виявлення шкідливих та небезпечних факторів на проєктованому об'єкті, їх аналіз. Заходи з охорони праці на виробництві	78
6.1.1. Повітря у робочій зоні	78
6.1.2 Виробниче освітлення	83
6.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрації	84
6.1.4 Електробезпека.....	85

6.1.5 Безпека технологічних процесів, обслуговування виробничого обладнання	86
6.2 Пожежна безпека.....	87
7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	91
ВИСНОВОК	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	94
ДОДАТОК А.....	96
ДОДАТОК Б.....	99

					<i>ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ</i>	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Процес гальванічної обробки металічних виробів є одним з найбільш затребуваних процесів у багатьох галузях промисловості. Гальванічні покриття сприяють покращенню якості матеріалу, а саме: запобігають корозійному впливу на метал, надають зносостійкість, твердість, а в ювелірній справі застосовуються в якості декоративних і захисних покриттів.

Особливе місце серед гальванічних процесів займає кадмування. Кадмій за своїми властивостями дуже схожий з цинком, але його стійкість до дії кислих, нейтральних і лужних розчинів набагато вище.

Затребуваність кадмієвих покриттів обумовлена такими їх унікальними властивостями, як висока еластичність, здатність до пайки після тривалого зберігання, хороша захисна здатність в поєднанні з високою корозійною стійкістю, особливо в морському кліматі.

У сухому повітрі при кімнатній температурі Cd майже не змінюється. А в атмосфері вологого повітря він покривається тонкою плівкою окису, яка при 200°C набуває солом'яно-жовтий колір і оберігає метал від подальшого руйнування.

Метою даного проєкту є розробка технологічного процесу нанесення кадмієвого покриття на пружинні деталі зі сталі 60С2ХФА, що широко застосовується в машинобудуванні, з продуктивністю 11000 м²/рік.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика деталі, що підлягає обробці

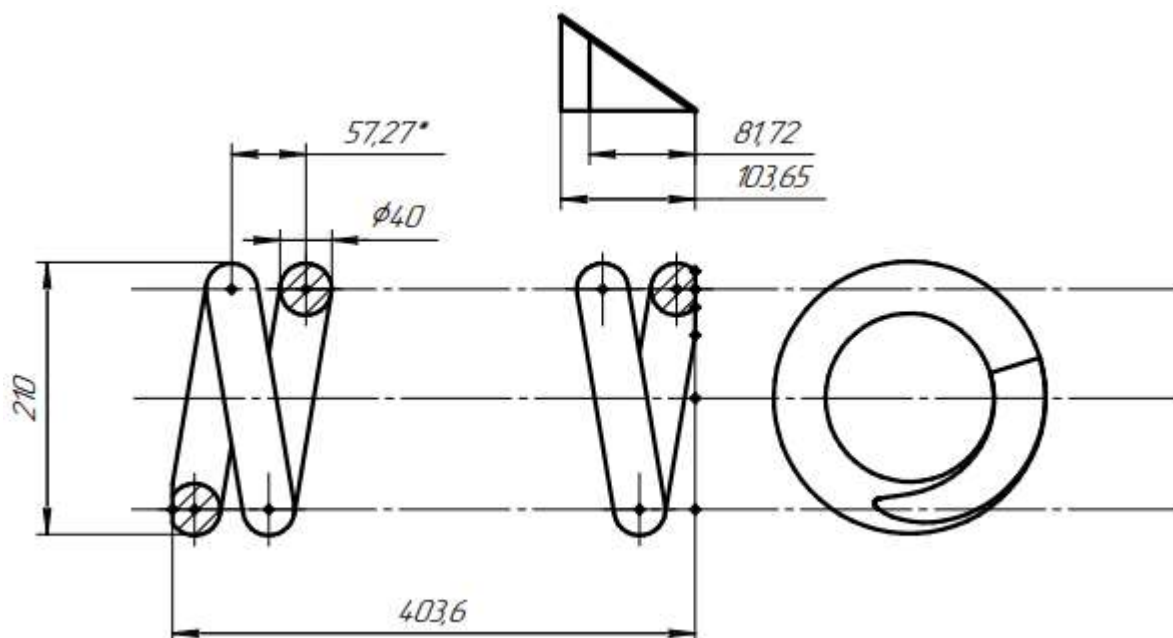


Рисунок 1.1 – Ескіз сталеві деталі

Покриття наносять на сталеву пружину 60С2ХФА (ГОСТ 18793-73). Такі пружини використовуються в суднобудуванні для зменшення шуму та вібрацій. Деталь експлуатується в тропічному і помірно-холодному морському кліматі, може контактувати з морською водою. Враховуючи категорію розміщення та кліматичні умови, деталь відноситься до групи особливо жорстких умов експлуатації. Даний виріб допускається експлуатувати в усіх районах суші і на морі в помірно-холодних макрорайонах.

Покривна площа складає 47,2385 дм². Маса однієї деталі складає 35,58 кг.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

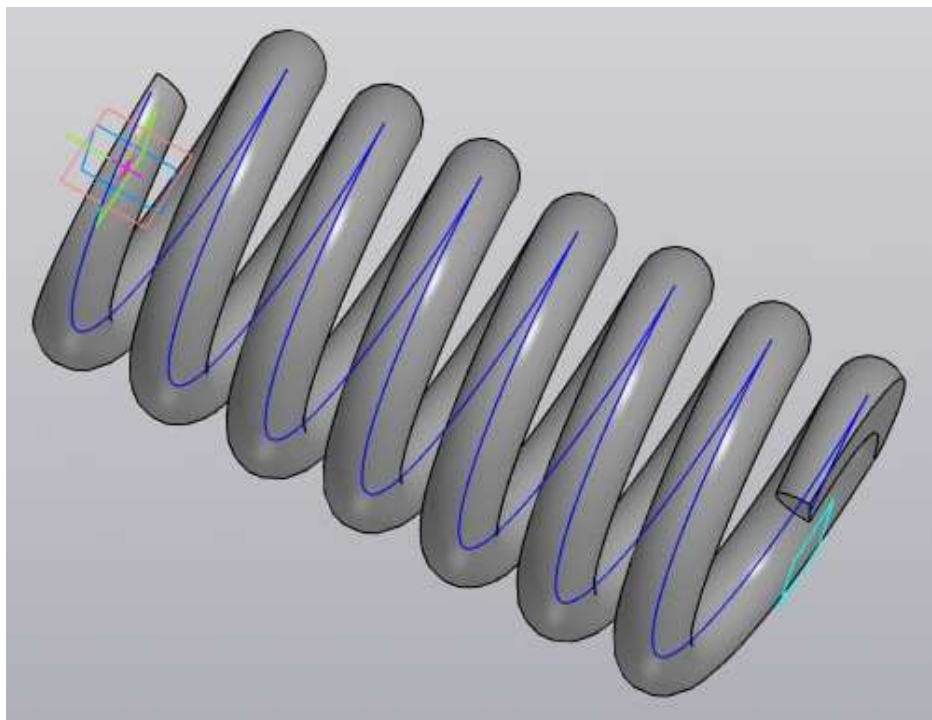


Рисунок 1.2 – Пружина

Після виготовлення і обробки пружини, які поступають в гальванічний цех, можуть мати незначні жирові забруднення, пил.

Отримання покриттів, які будуть міцно зчеплені з основним металом, не будуть відшаровуватись і мати гарний зовнішній вигляд, неможливе без якісної підготовки поверхні металу. Перед нанесенням покриттів деталі повинні бути очищені від бруду, окалини, іржі, окислів та жирових забруднень. Навіть абсолютно чисті, на перший погляд, деталі слід знежирити і піддати травленню.

Очистку можуть проводити механічно, хімічно та електрохімічно. При механічній обробці видаляються нерівності, подряпини, задирки з метою отримання блискучих поверхонь. Для цього використовують галтовку, крацювання, полірування, піскоструйну обробку, шліфування.

Хімічна та електрохімічна обробка включає знежирення, декапірування, травлення, електрохімічне полірування.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

1.2 Вибір виду покриття

Оскільки деталь буде контактувати з навколишнім середовищем в температурному діапазоні $-40^{\circ}\text{C} \dots +45^{\circ}\text{C}$ з періодичним потраплянням бризок та випарів морської води або атмосферних осадів без наявності хімічних агресивних речовин, то в якості металу покриття доцільно обрати кадмій. Кадмієві покриття відносяться до захисних, їх використовують для:

1. Захисту металів від корозії в умовах вологого тропічного або морського клімату.
2. Захисту від корозії електричних контактів, тому що кадмій піддається пайці і має низький перехідний опір.
3. Захисту деталей кораблів, літаків, машин, різьбових та пружинних деталей та виробів, які експлуатуються в зовнішній атмосфері з неагресивним корозійним середовищем та в закритому приміщенні з помірною або сильною вологістю.

Із-за пластичності та здатності зберігати свої властивості при підвищених температурах кадмування є основним видом корозійного захисту пружин та інших деталей, які працюють на вигин і стиск при циклічних навантаженнях. Кадмій можуть наносити на сталь, алюміній, мідь та їх сплави.

В сухій атмосфері кадмієве покриття довгий час зберігає свій зовнішній вигляд. При наявності вологи він швидко тьмяніє, вкриваючись тонкою оксидною плівкою, яка захищає його від подальшого руйнування.

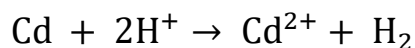
Для підвищення корозійної стійкості і покращення декоративного вигляду кадмієві покриття хроматують.

Хроматування полягає в тому, що при контакті кадмію з хромовоокислим розчином відбувається відновлення шестивалентного хрому до тривалентного за такою реакцією:



					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Одночасно з цим відбувається часткове розчинення кадмію:



Внаслідок зниження кислотності розчину і гідролізу сірчаноокислого тривалентного хрому $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ на поверхні металу утворюються гідроокис хрому і основні хромати, які створюють на поверхні кадмію тонку плівку нерозчинних сполук з загальною формулою $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{CrO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Крім цих продуктів, у складі плівки можуть бути в малих кількостях Cd^{2+} , SO_4^{2-} . Хроматна плівка, що утворюється таким способом являє собою з'єднання хрому та кадмію (хромати) жовтого і зеленого кольорів, покриття набуває райдужного золотисто-жовтого забарвлення. В результаті такої обробки корозійна стійкість покриттів при зберіганні і транспортуванні значно підвищується.

До недоліків такого покриття відноситься токсичність, висока вартість, нестійкість кадмію по відношенню до масел і нафтопродуктів, в склад яких входять сірчисті сполуки. В атмосфері промислових міст, яка має в своєму складі сульфіді, кадмій вкривається плівками сульфиду кадмію, які добре розчиняються у воді і легко змиваються дощем, таким чином підсилюючи подальше руйнування металу. Швидкість корозії кадмію в цих умовах у 1,5 – 2 рази більша, ніж у цинка. Як наслідок, не рекомендується наносити кадмієві покриття на деталі, які використовуються в атмосфері робочих міст, а також у контакті з паливом, синтетичними маслами, масляними лаками.

В мінеральних кислотах кадмій розчиняється повільніше, ніж цинк. Найшвидше кадмій розчиняється в HNO_3 . На відміну від цинку, кадмій не розчиняється в лугах. [1]

Так як пружинні деталі будуть використовуватись в особливо жорстких умовах, товщину кадмієвого покриття обираємо 12 мкм з подальшим хроматуванням.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.3 Вибір підготовчих операцій

Електрохімічне знежирення

Для отримання якісних покриттів перед електролізом потрібно здійснити серію операцій, які направлені на очищення поверхні металу основи. Тому що, від якості очистки поверхні деталей в значній мірі залежить і якість гальванічних покриттів.

Спосіб очистки деталей від жирових забруднень визначається їх природою. На пружині наявні незначні жирові забруднення рослинного та тваринного походження, які не розчиняються у воді, але взаємодіють з розчинами лугів або солей лужних металів, утворюючи розчинні в воді мила. Тому для видалення жирових забруднень з поверхні деталі проводиться електрохімічне знежирення в лужному розчині, призначене для остаточного видалення залишків жирів з поверхні деталей, пор, внутрішніх частин виробів. Склад розчину для електрохімічного знежирення:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1) Na_2CO_3 | 20-25 г/дм ³ |
| 2) $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ | 30-70 г/дм ³ |
| 3) NaOH | 5- 15 г/дм ³ |
| 4) Скло натрієве рідке | 10- 20 г/дм ³ |

Режим для електрохімічного знежирення: $t = 60-80^\circ\text{C}$, $i = 2-10 \text{ А/дм}^2$

Аноди корозійностійкі.

Час обробки деталей: 3 - 10 хв. Деталі завішують в якості катодів, а в кінці процесу на 30–60с. перемикають на анод. Для повного видалення жирів після електрохімічного знежирення деталей слід промити 3...5 разовим зануренням в теплу воду при температурі 40 - 59°C з наступним промиванням у холодній проточній воді.

Хімічне травлення

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

Дана операція призначена для видалення оксидів, гідроксидів, солей металу, які утворюються на поверхні металу, коли він піддається зовнішньому впливу. Оксидні плівки, які утворюються неоднорідні як за складом, так і по товщині. Зовнішня частина шару насичена вищими оксидами – Fe_2O_3 , Fe_3O_4 . Внутрішня – нижчим оксидами (FeO). Ці оксиди поглинають вологу та вуглекислий газ повітря, утворюючи гідроксиди та солі. При хімічному травленні утворені продукти корозії можуть розчиняти в кислотах, лугах, солях. Травлення сталевих пружин проводять в розчині наступного складу:

HCl (густина 1,19)	1л
Катапін К-І-1	3-5г/дм ³

Обробку проводять при кімнатній температурі до повного видалення оксидів. Після травлення деталей промивають в холодній проточній воді 3...5 разовим зануренням.

Активування

Наступною операцією є активування, яка забезпечує міцність зчеплення металу-покриття з металом основи. При активуванні поверхня деталі злегка підтравлюється і видаляються найтонші плівки оксидів, які утворюються на поверхні деталі перед звантаженням в гальванічну ванну.

Склад розчину для активації деталей:

H_2SO_4	50 – 100 г/дм ³ ;
-------------------------	------------------------------

Час активування деталей 1-2 хв. Після цього деталь промивається в холодній воді 3...5 разовим зануренням.

1.4 Вибір складу електроліту для нанесення захисного кадмієвого покриття

Деталь експлуатується в особливо жорстких умовах і має складний профіль, тому кадмієве покриття має бути дрібнозернистим та наноситися з електроліту, що має високу розсіювальну здатність.

Для нанесення кадмієвого покриття використовують два види електролітів:

- Прості кислоти – фторборатні, сульфатні, перхлоратні;

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

- Комплексні - ціанідні, пірофосфатні, аміакатні (амонійні), на основі амінопохідних.

Прості електроліти

Для кислих електролітів характерний високий вихід за струмом, однак в таких електролітах мала розсіювальна здатність, для отримання осадів задовільної структури потрібно додавати в електроліт спеціальні добавки – ПАР. Прості електроліти не придатні для використання при нанесенні кадмію на складнопрофільовані деталі. Тому, такі електроліти часто використовують для кадмування кріпильних деталей. Основні компоненти таких електролітів - сірчаноокислий кадмій або солі борфторводневої кислоти. Щоб інтенсифікувати процес осадження температуру та густину струму слід підвищувати одночасно з перемішуванням електроліту. [1]

Недоліком простих кислих електролітів кадмування є низька розсіювальна здатність та залуговування їх в прикатодній зоні, в результаті чого утворюються рихлі, губчасті та шорсткі покриття.

Комплексні електроліти

У комплексних електролітах кадмій перебуває у вигляді складних катіонів або аніонів, розряд яких супроводжується значною катодною поляризацією. Тому ці електроліти мають високу розсіювальну здатність і дають осад дрібнокристалічної структури.

Ціанідні електроліти

Основним компонентом в ціаністих електролітах є комплексна ціаніста сіль $\text{Na}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$, де кадмій знаходиться у вигляді аніону $[\text{Cd}(\text{CN})_4]_2^-$. Внаслідок високої стійкості комплексного іона і великої катодної поляризації ціаністих електроліти кадмування мають гарну розсіювальну здатність. Чим більше іонів CN^- в розчині тим більша перенапруга виділення кадмію і поляризованість (розсіювальна здатність), але тим менший вихід за струмом кадмію і більше наводнення сталі. Даним електролітам властива менша чутливість до забруднень,

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

дрібнокристалічний осад, через що ціаністі електроліти широко використовуються в промисловості для покриття деталей складного профілю.

Недоліками ціанідних електролітів є менший вихід за струмом, в порівнянні з простими електролітами, висока токсичність та нестабільність при накопиченні карбонатів, пасивація анодів при недостатній кількості ціаніду натрію, ускладнена очистка стічних вод. Також, ціанідні електроліти схильні до наводнення кадмуючих сталейних виробів, що особливо критично для високоміцних сталей.

Амонійні електроліти

Найбільш ефективними заміниками токсичних ціаністих електролітів є аміакатні електроліти, в яких кадмій знаходиться у вигляді комплексних катіонів $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$. Однак, кадмій виділяється на катоді з меншою поляризацією, ніж з ціанідних. По значенню розсіювальної здатності вказані електроліти займають проміжне положення між простими і ціанідними електролітами.

Хлор-амонійні електроліти прості за складом, стійкі в роботі, мають високу електропровідність і поляризованість. На сучасних гальванічних виробництвах хлористо-амонійний електроліт, який характеризується низьким наводнюванням виробів, що покриваються в ньому, використовують, як правило, для кадмування високоміцних пружинних сталей, а сульфатно-амонійний або сульфатний електроліти - для кадмування вуглецевих сталей. При застосуванні хлористоамонійного електроліту стандартні механічні властивості сталі практично не змінюються.

З огляду на вище викладене, доцільно обрати хлор-амонійний електроліт кадмування, оскільки він має високий вихід за струмом, хорошу розсіювальну здатність та характеризується низьким наводнюванням, що особливо важливо для пружинних деталей.

Приготування хлор-амонійного електроліту

Електроліт кадмування зі складом(г/л):

$\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	40-50
NH_4Cl	30-40
Тіосечовина	7-10

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

готують в ванні на 2/3 заповненої гарячою водою, в якій розчиняють хлористий амоній. Окремо розчиняють хлористий кадмій і вводять в розчин хлористого амонію. Після повного розчинення компонентів розчин відфільтровують, щоб не було осаду, каламуті, пластівців.

Тіосечовину розчиняють в окремій ємності в гарячій воді і вводять в робочу ванну при перемішуванні. Клей мездровий виконує роль ПАР, його вводять для покращення структури покриття. Спочатку клей попередньо замочують на 24 год. у великому обсязі холодної води для набухання, після чого клейову масу підігрівають при постійному перемішуванні і розчиняють у воді. Потім розчин клею в гарячому стані вводять в робочу ванну, ретельно перемішуючи електроліт. Вводити клей слід в останню чергу. Ванну доливають водою до робочого рівня, відкориговують рН і пропрацьовують постійним струмом при катодній густині струму від 0,25 до 0,30 А/дм² до отримання світлих покриттів.

Основні неполадки процесу кадмування в амонійних електролітах та шляхи їх усунення наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Основні неполадки кадмування в амонійних електролітах та шляхи їх усунення

Характер неполадок	Причина	Спосіб усунення
Утворення темних покриттів при оптимальному вмісті компонентів	Електроліт довгий час не використовувався або завищена густина струму	Опрацювати електроліт постійним струмом до отримання доброякісних осадів. Знизити густину струму
Темне покриття при нормальному вмісті клею	Недостатній вміст хлористого амонію	Відкоригувати електроліт хлористим амонієм

Зняття недоброякісних кадмієвих покриттів зі сталених деталей виконують в розчинах такого складу (г/л):

- | | | |
|----|--------------------------|-----------|
| 1) | NH_4NO_3 | 100 – 200 |
| | t, °C | кімнатна |
| 2) | HCl | 10 – 12 |
| | NH_4NO_3 | 100 – 150 |

Для зняття покриття зі сталевих деталей можна використовувати також розчин, до складу якого входять HCl та SbCl_3 .

1.5 Вибір аноду

Для процесу кадмування використовують розчинні аноди, які мають анодний вихід за струмом 100%. Шкідливими домішками є свинець, олово, сурьма та миш'як. Однак, через те, що чистий кадмій піддається окисленню на повітрі, то в результаті поверхня аноду тьмяніє, створюючи поверхневу плівку. Тому для підвищення стійкості та збільшенню терміну служби використовують кадмій у вигляді сплаву, який по ГОСТу 1467-93 має наступний склад:

- Cd – 99,99%;
- Pb – 0,02%;
- Cu – 0,01%;
- Zn – 0,004%;
- Fe – 0,002%;
- Tl – 0,003%.

Домішки цинку, заліза та нікелю має бути не більше 0,5%. Такі аноди повинні містити добавки в мінімальній кількості та на 99% складатися із самого металу. Завдяки добавкам сплаву кадмієві аноди набувають важливих властивостей: механічну міцність, пластичність, високу електропровідність, кислотну стійкість, легкість механічної обробки, корозійну стійкість. Кількість стибію,

арсену, стануму в своєму складі не повинні бути більше ніж 0,003% в загальній масі сплаву.

Залежно від якості виготовлення, методу виробництва, методу оброблення, габаритних параметрів змінюється і вартість кадмієвих анодів. Виготовляються КД0 аноди з кадмію шляхом холодної або гарячої прокатки. Товщина профілей становить від 5 до 15 мм, ширина – 100-300 мм, довжина 400-1000мм. Кадмієві аноди за своїми фізичними та механічними властивостями відповідають ГОСТу 1468-90, в якому параметри виділені окремо для кожного сплаву.

1.6 Вибір завершальних операцій

Після нанесення кадмієвого покриття деталі промивають в непроточній воді у ванні уловлювання для того, щоб зменшити винесення дорогоцінного кадмію. Потім деталь промивається в холодній проточній воді 3...5 разовим зануренням.

Пасивування

Для отримання хроматної плівки використовують розчин складу(г/л):

Біхромат натрію	100-150
H ₂ SO ₄	8-10

Хроматування проводять протягом 0,1-0,5 хвилин. Температура складає 18-25°C. Пасивування слід проводити при перемішуванні стисненим повітрям.

Після нанесення хроматної плівки деталь промивають в холодній, а потім теплій воді 3...5 разовим зануренням.

Висушування

Спочатку деталі піддаються обдуванню сухим стисненим повітрям. Після чого їх демонтують і висушують в сушильних шафах при температурі 50-60°C. Сушіння здійснюється до повного видалення вологи з поверхні деталі.

Міжопераційна промивка деталей є дуже важливою операцією, оскільки від якості промивання деталей залежить зовнішній вигляд і якість покриттів.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

Особливу увагу необхідно приділяти тому, щоб в гальванічні ванни не потрапляли реагенти знежирюючих, травильних розчинів. Також, промивання необхідно проводити протягом 0,25-0,5 хвилини після попередньої операції, щоб видалити з пор та важкодоступних місць залишки попередніх реактивів.

Холодна промивка. Проводиться в холодній проточній воді при температурі 18...25°C. Час витримки 0,25...0,5 хв.

Тепла промивка. Проводиться в теплій проточній воді при температурі 40...59 °C. Час витримки 0,25...0,5 хв.

Гаряча промивка. Проводиться в гарячій проточній воді при температурі 60...90 °C. Час витримки 0,25...0,5 хв.

1.7 Методи контролю якості гальванічного покриття

Якість отриманого покриття повинна відповідати вимогам ГОСТ 9.301-86 та ГОСТ 9.302-88. Для контролю якості покриття відбираються від кожної партії від 0,1 до 1 % деталей, але не менше 3 одиниць.

Кадмієве покриття необхідно контролювати по зовнішньому вигляду, міцності зчеплення з основним металом та по товщині шару покриття.

На поверхні покритої деталі не є браком наступні ознаки: нерівномірність блиску й кольору; сліди від капель води; відсутність покриття в місцях контакту деталі із пристосуванням, що перебуває на неробочій поверхні деталі, крім особливих випадків, обумовлених у конструкторському документі; зміна інтенсивності кольору після нагрівання.

Візуальний контроль

Зовнішній вигляд покриття контролюють візуальним оглядом деталей при нормальному денному або штучному освітленні. Освітленість має бути не менше 300 лк. В результаті оцінки візуального контролю по зовнішньому вигляду деталей відносять до придатних, дефектних та до браку.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Дефектними вважають деталі, які потребують зняття недоброякісних покриттів і його повторного нанесення, а також деталі, що потребують доопрацювання без зняття покриття. До браку відносяться перетравлені деталі; деталі, що мають сліди корозії; деталі, що не допускають переробки зі зняттям неякісного покриття.

Методи визначення адгезії

До зовнішніх ознак низької адгезії відноситься: здуття, локальне відшарування покриття, бульбашки.

Для кадмієвого покриття використовують метод протирання. Покриття вручну протирають білим папером або гумкою протягом 2-3 с. Контроль проводять не раніше, ніж через 24 годин після хроматування. Після випробувань не повинно бути зміни кольору плівки або її видалення з покриття.

Методи корозійних випробувань

Для визначення корозійної стійкості зразок поміщають в сольову камеру, в якій розпилюється 5%-вий розчин NaCl. Температура 20-25°C. Розпилення зазвичай проводять протягом 15-30 хв через кожні 15-45 хв. Критерієм оцінки корозійної стійкості зразків приймають час до утворення продуктів «білої» корозії і площу ураженої ділянки. Про захисні здатності кадмієвого покриття судять за кількістю вогнищ корозії основного металу, що з'являються на 1 м² поверхні або, в разі випробувань дроту або труб, на 10 см їх довжини. Після випробувань в камері соляного туману протягом 96 год на зразку допускається не більше 2 вогнищ корозії на 10 см довжини пружини. Кадмове покриття, що витримало такі випробування, забезпечує протикорозійний захист деталей протягом 10-12 років.

Контроль товщини покриття

Для перевірки контролю товщини покриття від кожної партії відбираються від 0,1 до 1 % деталей, але не менше 3 одиниць із завантаження стаціонарної ванни.

Для деталей, що надходять на покриття малосерійно, допускається встановлювати вибірку менше ніж 0,1% деталей, але не менше 3 одиниць.

Перед контролем товщини покриття слід витримати деталі до температури

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

приміщення.

Товщину кадмієвих покриттів визначають по ГОСТ 3003-58. Цим стандартом встановлені хімічні (струї, краплі), фізичні (радіоактивний, магнітний) і механічні методи контролю товщини покриття.

Зважаючи на складну конфігурацію деталі було обрано індукційний магнітний метод визначення товщини.

Індукційний магнітний метод заснований на зміні магнітного потоку, що проходить в осерді електромагніту. Даний метод підходить для визначення кадмієвого покриття, оскільки основа, що покривається феромагнітна (стальна пружина), а покриття являється діамагнетиком(кадмій). Сила притягування магніту залежить від товщини покриття. Чим більше товщина покриття, тим менше сила відриву магніту. Однак строго пропорційній залежності тут немає, так як на результати вимірювання впливають структура основного металу, чистота поверхні, форма виробу та інші фактори. Тому за допомогою спеціальних еталонів, товщина покриття яких відома, отримують градувальну залежність показань приладу від товщини покриття.

Максимальна похибка вимірювання 3-10%. Тривалість одного вимірювання 2-10 с.

1.7.1 Виправлення дефектного покриття

Деталі з дефектним покриттям підлягають перепокриттю. Для цього необхідно спочатку видалити дефектне покриття(розчини для видалення кадмієвих покриттів наведені вище), провести зневоднення в пічі при температурі 180-200°C протягом 2-3 годин, а потім – повторне кадмування.

Неякісну хроматну плівку, яка має коричневе забарвлення, видаляють зануренням деталі на 3-5 с. у водний розчин сульфатної кислоти – 30-50 г/л. при кімнатній температурі. Після видалення неякісної хроматної плівки деталі повторно пасивують.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

1.8 Технологічна карта процесу кадмування сталей

Таблиця 1.2 – Технологічна карта процесу

№	Операція		Склад розчину і концентрація		Режим			Примітка
	Назва	Зміст	Назва хімічна формула	г/дм ³	Час обробки, хв	t, °C	i, А/дм ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
010	Контроль	Перевірка поверхні 2-5% деталей						Контроль стану поверхні деталей за ГОСТ 9.301-86
020	Монтаж	Змонтувати деталі на спеціальні пристосування						
030	Електрохімічне знежирення	Знежирення	Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O Na ₂ CO ₃ NaOH Скло натрієве рідке	30-70 20-30 5-15 3-5	3-10	60-80	2-10	Завішують деталі в якості катодів. в кінці процесу на 30-60 с перемикають на анод. Знежирення проводять до повного змочування поверхні водою. Можна проводити знежирення у вказаному розчині хімічним способом протягом 10-15 хв.
040	Промивання у теплій воді	Промити деталі в теплій проточній воді	Вода водопровідна		0,25-0,5	40-59		
050	Промивання	Промити деталі в холодній проточній воді	Вода водопровідна		0,25-0,5	18-25		
060	Травлення	Травлення деталей у соляній кислоті	HCl (густина 1,19) Катапін К-І-1	1 л 3-5	0,5-1,0	18-25		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
070	Промивання	Промити деталі в холодній проточній воді	Вода водопровідна		0,25-0,5	18-25		
080	Контроль	Перевірка рівномірності змочування поверхні	Вода водопровідна					Проводити візуально
090	Активування	Активувати в розчині кислоти	H ₂ SO ₄	50-100	1-2	18-25		
100	Промивання	Промити деталі в холодній проточній воді	Вода водопровідна		0,25-0,5	18-25		
110	Кадмування електрохімічне	Кадмування в хлорамонійном у електроліті	CdCl ₂ · 2H ₂ O NH ₄ Cl Тіосечовина Клей мездровий	40-50 30-40 7-10 1-2		20-40	0,8-1,2	
120	Промивання у збірнику	Уловлювання в непроточній воді			2-3	18-25		
130	Промивання	Промити деталі в холодній проточній воді	Вода водопровідна		0,25-0,5	18-25		
140	Пасивування	Хроматування	Біхромат натрію H ₂ SO ₄	100-150 8-10	0,1-0,5	18-25		
150	Промивання	Промити деталі в холодній проточній воді	Вода водопровідна		0,25-0,5	18-25		
160	Промивання у теплій воді	Промити деталі в теплій проточній воді	Вода водопровідна		0,25-0,5	40-59		
170	Обдування стисненим повітрям	Обдування сухим, чистим стисненим повітрям			2-3			
180	Демонтаж	Демонтувати деталі з пристосування та видалити ізоляційні матеріали						
190	Сушіння	Просушити деталі у сушильній шафі			До повного висихання	50-60		Сушити до повного видалення вологи
200	Контроль	Перевірка поверхні 100 % деталей.						Контроль стану поверхні деталей за ГОСТ 9.301-86

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ

Арк.

27

2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Час роботи обладнання, яке проєктується, визначається режимом роботи підприємства, технологічною схемою процесу та особливостями технологічного обладнання.

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при перервному виробництві розраховують з кількості календарних днів у році (365) за вирахуванням вихідних (104) і святкових (11) днів. Враховуючи, що кількість днів, що передують святковим та неробочим, у які тривалість робочого дня(зміни) при 40-годинному тижні зменшується на 1 годину складає 6, то номінальний річний фонд часу роботи обладнання при п'ятиденному робочому тижні і двозмінній роботі складає приблизно (дані для розрахунку на 2021 рік):

$$T_n = [(365 - 104 - 11) \cdot 40/5 - 6] \cdot 2 = 3988 \text{ год.}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d (год.) визначають, виходячи із T_n з врахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання ($K_{пр}$), які в гальванічному виробництві можуть складати від 2 до 10%. Приймаємо $K_{пр}=3\%$, тобто:

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 3988 - 0,03 \cdot 3988 = 3868,36 \text{ год.}$$

2.2 Визначення виробничої програми обладнання

Щоб визначити річну виробничу програму P_p , річне виробниче завдання P_z необхідно збільшити на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5...3 % ($K_{бр}= 0,005...0,03$) від P_z в одиницях, які прийняті для даного виду продукції:

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

$$P_p = P_z + K_{\text{бр}} \cdot P_z$$

$$P_p = 11000 + 11000 \cdot 0,03 = 11330 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Добова виробнича програма $P_{\text{доб}}$ складає:

$$P_{\text{доб}} = P_p / T_{\text{доб}}$$

$$P_{\text{доб}} = \frac{11330}{250} = 45,32 \text{ м}^2/\text{добу}$$

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

Годинна виробнича програма $P_{\text{г}}$ складає:

$$P_{\text{г}} = P_p / T_{\text{д}}$$

$$P_{\text{г}} = \frac{11330}{3868,36} = 2,93 \text{ м}^2/\text{год.}$$

2.3 Вибір обладнання для нанесення гальванічного покриття та розрахунок його кількості

Щоб розрахувати необхідну кількість обладнання, необхідно знати:

- річну виробничу програму, $P_p = 11000 \text{ м}^2/\text{рік}$;
- з урахуванням браку $11330 \text{ м}^2/\text{рік}$;
- товщину покриття на деталях, $\delta = 12 \text{ мкм}$;
- Площа деталі, $S_{\text{д}} = 47,2385 \text{ дм}^2$; $0,472 \text{ м}^2$;
- маса однієї деталі $35,58 \text{ кг}$.

На основі дійсного річного фонду часу роботи обладнання $T_{\text{д}}$ та тривалості обробки одного завантаження ванни τ визначають кількість оброблюваних завантажень n :

$$n = \frac{T_{\text{д}} \cdot 60}{\tau \cdot K_{\text{об}}}$$

Тривалість обробки однієї завантажувальної підвіски τ розраховується за формулою:

					<i>ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

$$\tau = \tau_m + \tau_{об}$$

де $\tau_{об}$ - час обслуговування, необхідний для завантаження деталей у ванну та їх вивантаження, приймаємо 2 хв; τ_m - технологічний час (час обробки деталей у ванні) за формулою:

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_e \cdot i_k}$$

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

$$\tau_m = \frac{12 \cdot 8,65 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,98 \cdot 2,097 \cdot 1} = 30,305 \approx 31 \text{ хв.}$$

Тому тривалість обробки становить:

$$\tau = 31 + 2 = 33 \text{ хв.}$$

Затрати часу на початковий запуск обладнання, на допоміжні операції враховуємо за допомогою коефіцієнта $K_{об}$, який для роботи у дві зміни становить 1,05. Кількість оброблюваних завантажень n :

$$n = \frac{3868,36 \cdot 60}{33 \cdot 1,05} = 6698,46$$

Разове завантаження усіх ванн розраховуємо за формулою, м²:

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

$$y_c = \frac{11330}{6698,46} = 1,7 \text{ м}^2$$

2.4. Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

Для прикріплення деталей вибрано підвіску рамного типу з горизонтальним розташуванням стрижнів(рис 2.1).[5]

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

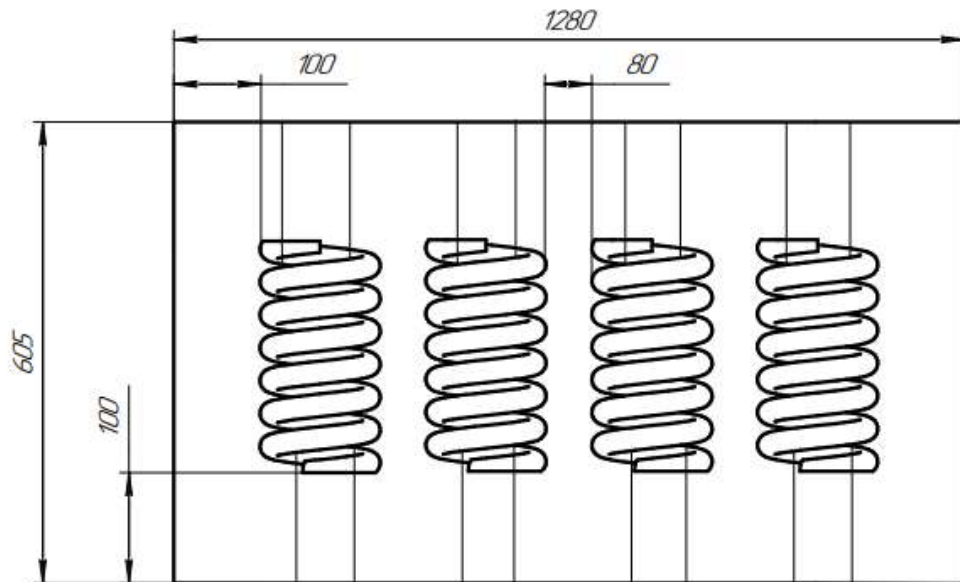


Рисунок 2.1 – Ескіз підвіски з деталями

Розраховуємо сумарну поверхню деталей S_n , які завантажують на одну підвіску (м^2):

$$S_n = S_d \cdot n_d$$

$$S_n = 0,472385 \cdot 4 = 1,88 \text{ м}^2$$

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

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

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

$$S_{03} = 1,88 \cdot 1 = 1,88 \text{ м}^2$$

де N_n – кількість підвісок, які одночасно завантажують у ванну. Оскільки використовуємо підвіски рамкової конструкції для однопозиційної ванни, то $N_n = 1$.

На основі габаритних розмірів підвіски, розраховуємо внутрішні розміри ванни.

Внутрішня довжина ванни:

$$l = l_n + 2l_1$$

$$l = 1,28 + 2 \cdot 0,15 = 1,58 \text{ м},$$

де l_n – довжина підвісного пристрою, м; l_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Внутрішня ширина ванни:

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

$$B = 0,21 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,008 + 2 \cdot 0,05 = 0,626 \text{ м},$$

де B_n – товщина підвіски з деталями; l_{a-k} – відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями, приймають в межах 0,10...0,25 м; B_a – товщина анодів; B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, її приймають в межах 0,05...0,10 м.

Внутрішня висота ванни:

$$h = h_n + h_1 + h_2 + h_3$$

$$h = 0,605 + 0,15 + 0,05 + 0,3 = 1,205 \text{ м},$$

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

Визначивши розміри ванни, за каталогом вибираємо стандартизовану ванну потрібного типу, її розміри складають:

$L=1600$ мм – довжина ванни;

$B=630$ мм – ширина ванни;

$H=1250$ мм – висота ванни;

Кількість ванн, необхідних для виконання річної виробничої програми:

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

$$n_B = \frac{1,7}{1,88} = 0,9 \approx 1$$

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

$$P_p' = S_{03} \cdot n_B \cdot n,$$

$$P_p' = 1,88 \cdot 1 \cdot 6698,46 = 12593,1$$

і коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_p'}$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_{\text{зав}} = \frac{11330}{12593,1} = 0,89$$

2.5. Баланс кількості електрики на гальванічній ванні

Розрахунок сили струму на ванні необхідний для подальшого вибору джерела живлення постійним струмом. Сила струму I , А на однопозиційній ванні розраховується, як добуток величини технологічної густини струму на катоді i_k , А/м² на площу деталей одноразового завантаження S_{03} , м²:

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

де коефіцієнт K враховує втрати електрики на осадження металу на контактах підвісного пристрою, Беремо $K = 1,15$.

За технологією необхідно проводити кадмування при густині струму 1 А/дм².

Сила струму на ванні кадмування становить:

$$I = 1,15 \cdot 100 \cdot 1,88 = 216,2 \text{ А}$$

на катоді:



на аноді:



Сила струму, яка витрачається на кожну реакцію:

на катоді:

$$I_1 = \frac{I \cdot B_{c1}}{100} = \frac{216,2 \cdot 98}{100} = 211,88 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{I \cdot B_{c2}}{100} = \frac{216,2 \cdot 2}{100} = 4,32 \text{ А}$$

на аноді:

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

$$I_3 = \frac{I \cdot Bc3}{100} = \frac{216,2 \cdot 100}{100} = 216,2 \text{ A}$$

Результати розрахунків заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Баланс струму на ванні кадмування

Надходження	I,А	%	Витрати	I,А	%
На катоді:	216,2	100	Виділення кадмію за реакцією 1	211,88	98
Від зовнішнього джерела струму			Виділення водню за реакцією 2	4,32	2
Разом	216,2	100	Разом	216,2	100
На аноді:	162,978	100	Окислення Cd до Cd^{2+} за реакцією 3	216,2	100
Від зовнішнього джерела струму					
Разом	216,2	100	Разом	216,2	100

2.6. Баланс напруги на гальванічній ванні

Робоча напруга при завданій густині струму U_i є однією із основних енергетичних характеристик ванни. Вона визначає мінімальну величину напруги на джерелі струму $U_{дс}$, яке обслуговує ванну. Знаючи величину струму і напруги на джерелі струму, визначають електричну потужність, яка витрачається на електроліз. Методика розрахунку величини напруги на ванні залежить від способу завантаження деталей в електроліт.

$i_k = 100 \text{ A/m}^2$ – середня катодна густина струму;

$i_a = 50 \text{ A/m}^2$ – середня анодна густина струму;

$E_a = -0,3 \text{ В}$ – потенціал анода[3];

$E_k = -0,48 \text{ В}$ – потенціал катода[3];

$\rho_e = 12,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – питомий електричний опір електроліту;

$l_{a-k} = 0,2 \text{ м}$ – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями.

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

Баланс напруги процесу кадмування розраховують за формулою:

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

де різниця потенціалів

$$E_a - E_k = -0,3 - (-0,48) = 0,18 \text{ В.}$$

При середній густині струму, яка проходить через електроліт:

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{100 \cdot 50} = 70,71 \text{ А/м}^2$$

Падіння напруги в електроліті становитиме:

$$\Delta U_{om} = K \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e = 1,25 \cdot 70,71 \cdot 0,2 \cdot 12,5 \cdot 10^{-2} = 2,209 \text{ В.}$$

де K – коефіцієнт, який враховує збільшення опору за рахунок газонаповнення, величина K знаходиться у межах 1,01...1,25; i_{cp} – середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м^2 ; l_{a-k} – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями, ρ_e – питомий електричний опір електроліту, $\text{Ом} \cdot \text{м}$. (вибираємо в довідковій літературі з гальванотехніки)[4]

Тоді напруга на ванні:

$$U = \frac{(E_a - E_k + \Delta U_{om})}{0,9} = \frac{(0,18 + 2,209)}{0,9} = 2,65 \text{ В.}$$

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

$$\Delta U_I + \Delta U_k = 0,1 \cdot U = 0,1 \cdot 2,65 = 0,265 \text{ В.}$$

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

$$U_{min} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 2,65 = 2,921 \text{ В.}$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

Результати розрахунків зводимо у таблицю 2.2.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.2 Баланс напруги на ванні кадмування

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ванні	2,65	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$	0,18	6,7
			Падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$	2,209	83,3
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + \Delta U_k$	0,265	10
Разом	2,65	100	Разом	2,65	100

2.7. Вибір джерела струму для гальванічної ванни

Джерело постійного струму вибираємо, виходячи із сили струму і напруги на ванні із врахуванням падіння напруги в шинопроводах. Оскільки, сила струму $I=216,2$ А , напруга на ванні $U=2,65$ В, було обрано випрямний агрегат, серії ТЕ1-400/12Т, який має наступні характеристики:

- номінальна напруга – 12 В;
- номінальний струм – 400 А.

Для вибраного випрямного агрегату визначають коефіцієнт завантаження:

$$K = \frac{N_{дс}}{N_{пасп}} = \frac{216,2 \cdot 2,65}{100 \cdot 12} = 0,48$$

де $N_{дс}$ – потужність, необхідна для виконання завданої програми; $N_{пасп}$ – паспортна потужність вибраного агрегату.

2.8 Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії

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

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

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

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

Електричну енергію, яка витрачається на перебіг процесу в ванні, визначаємо за формулою:

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

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

Баланс енергії складаємо на одну годину роботи ванни.

Електрична енергія, яка витрачається на перебіг процесу в одній ванні складає:

$$W_{\text{заг}} = 2,65 \cdot 216,2 \cdot 31 \cdot 60 \cdot 0,001 = 1065,6 \text{ кДж}$$

Для гальванічних процесів, які ідуть із розчинними анодами з виходом за струмом на катоді, близьким до 100 % $W_{\text{заг}} \approx W_{\text{дж}}$. Результати заносимо у таблицю .

Надходження	W, кДж	%	Витрати	W, кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	1065,6	100	Джоулеве тепло	1065,6	100
Разом	1065,6	100	Разом	1065,6	100

2.9 Тепловий розрахунок для гальванічних ванн

Визначимо кількість теплоти, яку витрачають на підтримування необхідного теплового режиму (18-20°C) під час електролізу з урахуванням джоулевої теплоти, яка при цьому виділяється.

Тепловий розрахунок гальванічних ванн, які працюють за кімнатної температури

Під час нанесення гальванічних покриттів виділяється значна кількість джоулевої теплоти, що може призвести до розігріву електроліту за межі

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

допустимої температури. Метою розрахунку є визначення максимально можливої температури, до якої може розігрітися ванна за одну годину роботи. При цьому допускається, що вся Джоулева теплота витрачається тільки на розігрів ванни і не втрачається у навколишнє середовище.

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

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

де $C_1 = 3960$ Дж/кг·К – теплоємність електроліту [15];

$d_1 = 1100$ кг/м³ – густина електроліту [16];

V_1 – об'єм електроліту, м³;

$C_2 = 1700$ Дж/кг·К – теплоємність корпусу ванни [15];

$m_2 = 300$ кг – маса ванни;

$C_3 = 230,3$ Дж/кг·К – теплоємність матеріалу анодів;

$m_3 = 5,53$ кг – маса анодів у ванні.

$$V_1 = K_{зап} \cdot V_{вани} = 0,75 \cdot (1,6 \cdot 0,63 \cdot 1,25) = 0,945 \text{ м}^3;$$

де $K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{зап} = 0,75$);

$$t_k^{\circ} = 20 + \frac{1065,6 \cdot 10^3}{0,945 \cdot 3960 \cdot 1100 + 1700 \cdot 300 + 5,53 \cdot 230,3} = 20,23$$

Виходячи з розрахунків, розігрів електроліту незначний, отже обладнання для охолодження не потрібно, процес кадмування проходить без підведення тепла ззовні за кімнатної температури.

2.10. Розрахунок витрат матеріалів

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

2.10.1. Розрахунок витрат анодів

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання

Витрати розчинних та нерозчинних анодів на запуск обладнання (кг) визначаємо за формулою:

$$G_{аз} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{ан} \cdot l_B \cdot h_B \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot n_B,$$

де $K_1 = 0,6$ – коефіцієнт, який враховує співвідношення сумарної довжини анодів до довжини ванни;

$K_2 = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує співвідношення висоти анодів та висоти ванни;

$n_{ан} = 2$ – кількість анодних штанг у ванні;

$l_B = 1,6$ м – внутрішня довжина ванни;

$h_B = 1,25$ м – внутрішня висота ванни;

$d_a = 8640$ кг/м³ – густина матеріалу анодів;

$\delta_a = 0,008$ м – товщина анодів;

$n_B = 1$ – кількість ванн даного типу.

$$G_{аз} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 1,25 \cdot 8640 \cdot 0,008 \cdot 1 = 132,71 \text{ кг.}$$

Витрати анодів на виконання річної програми

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

$$G_{ан} = S \cdot A_p \cdot \delta_n = 11330 \cdot 0,00917 \cdot 9 = 935,0649 \text{ кг}$$

де $S = 11330$ м² – сумарна площа нанесеного покриття при виконанні річної програми; A_n – норма витрат розчинних анодів Кд0 для нанесення покриття товщиною один мікрометр, кг/м². , δ_n – товщина покриття в мікрометрах;

Величину A_p визначають, виходячи із чистої маси покриття,

технологічних втрат анодного матеріалу та відходів, кг/м²:

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

де d_m – густина металу покриття, кг/м³.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

$$A_p = 8650(1+0,06) \cdot 10^{-6} = 0,00917$$

2.10.2 Витрати хімічних реактивів

Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати кожного компонента електроліту G_i (кг) визначаються за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_v \cdot K_{зан} \cdot n_v$$

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

$V_v = 1,26 \text{ м}^3$ – геометричний об'єм ванни; $K_{зан}$ – коефіцієнт заповнення ванни, $K_{зан} = 0,75$; $n_v = 1$ – кількість ванн даного типу.

$$C_{CdCl_2} = 45 \cdot 1,26 \cdot 0,75 \cdot 1 = 42,525 \text{ кг}$$

$$C_{NH_4Cl} = 35 \cdot 1,26 \cdot 0,75 \cdot 1 = 33,075 \text{ кг}$$

$$C_{\text{Тіосечовина}} = 8 \cdot 1,26 \cdot 0,75 \cdot 1 = 7,56 \text{ кг}$$

$$C_{\text{Клей мездровий}} = 1,5 \cdot 1,26 \cdot 0,75 \cdot 1 = 1,4175 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми

Розрахунок витрат кожного компонента здійснюється за формулою, кг:

$$G_{ip} = C_i \cdot V_{em}$$

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

Величину V_{em} можна визначити як:

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

де $S = 11330 \text{ м}^2$ – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік; коефіцієнт 1,15 – враховує площу занурюваної частини підвісок;

$A_e = 0,12$ – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями середньої складності форми, $дм^3/м^2$.

$$V_{em} = 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} = 1,5635 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

$$G_{CdCl_2} = 45 \cdot 1,5635 = 70,3 \text{ кг}$$

$$G_{NH_4Cl} = 35 \cdot 1,5635 = 54,7 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Тіосечовина}} = 8 \cdot 1,5635 = 12,5 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Клей мездровий}} = 1,5 \cdot 1,5635 = 2,3 \text{ кг}$$

2.10.3. Розрахунок витрат води

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

Витрати води на приготування електроліту

Такі витрати G'_{H_2O} (кг) визначаємо за формулою:

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

де C_{H_2O} — вміст води в одному 1 м³ електроліту, кг / м³;

$V_{\text{заг}}$ — сумарні витрати електроліту на виконання річної виробничої програми, м³

Величину C_{H_2O} можна визначити за формулою:

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

де $d_{\text{ел}} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ — густина електроліту;

$C_1, C_2, \dots, C_n$ — вміст компонентів в електроліті, кг / м³.

$$C_{H_2O} = 1,1 \cdot 10^3 - (45 + 35 + 8 + 1,5) = 1010,5 \text{ кг/м}^3.$$

Сумарні витрати електроліту знаходимо за формулою:

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

де $V_B = 1,26 \text{ м}^3$ — геометричний об'єм ванни;

$K_{\text{зан}} = 0,75$ — коефіцієнт заповнення ванни;

$n_B = 1$ — кількість ванн даного типу.

$V_{\text{БТ}} = 1,5635 \text{ м}^3$ — об'єм електроліту, винесеного деталями.

$$V_{\text{заг}} = 1,26 \cdot 0,75 \cdot 1 + 1,5635 = 2,5085 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

Тоді

$$G'_{H_2O} = 1010,5 \cdot 2,5085 = 1013,0085 \text{ кг}$$

Витрати води на розкладання при електролізі

Витрата води на розкладання при електролізі G''_{H_2O} (кг) розраховується за формулою:

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

де 18 – Mr_{H_2O} ; B'_c – вихід за струмом для побічного процесу розкладання води; $I = 162,978 \text{ А}$ – сила струму;

$$G''_{H_2O} = \frac{162,978 \cdot 18 \cdot 3868,36 \cdot 2}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} = 0,441 \text{ кг}$$

Витрати води на винесення з газами

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

$$G'''_{H_2O} = C'_{H_2O} \cdot V^t$$

де C'_{H_2O} – вміст води, який виноситься із ванни 1 м^3 газів, $\text{кг}/\text{м}^3$; V^t – загальний об'єм вологого газу, який виділяється за температури електролізу, м^3 .

Величину C'_{H_2O} визначають як:

$$C'_{H_2O} = 0,805 \frac{P_{H_2O}}{P_o - P_{H_2O}}$$

де $P_o = 760 \text{ мм.рт.ст}$ – загальний тиск парогазової суміші;

$P_{H_2O} = 17,54 \text{ мм.рт.ст}$ – парціальний тиск парів води за температури 20°C .

$$C'_{H_2O} = 0,805 \cdot \frac{17,54}{760 - 17,54} = 0,019 \left(\text{кг}/\text{м}^3 \right)$$

Для визначення величини V^t визначемо об'єм водню приведений до нормальних умов:

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

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$= 0,418 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot 162,978 \cdot 3868,36 = 5,27 \text{ м}^3$$

Об'єм вологого газу за температури електролізу:

$$V_z^t = \frac{V_z^0 \cdot 1013 \cdot (273 + t_{el})}{273 \cdot (P_0 - P_{H_2O})},$$

де $t_{el} = 20$ – температура електролізу,

тоді:

$$V_{\Gamma}^t = \frac{5,27 \cdot 1013 \cdot (273 + 20)}{273 \cdot (760 - 17,54)} = 7,717 \text{ м}^3,$$

$$C_{H_2O}''' = 0.019 \cdot 7,717 = 0,146 \text{ кг}$$

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту

Такі витрати води $G_{H_2O}^{IV}$ (кг) розраховують за формулою:

$$G_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot K_B \cdot S_e \cdot (P_{H_2O} - P_n) \cdot T_d \cdot n_e}{P_0}$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорційності, кг/(м²·год); $K_B = 0,86$ — коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості руху повітря над дзеркалом електроліту; S_e - площа дзеркала електроліту 0,504 м²; n_B - кількість ванн даного типу; T_d – дійсний річний фонд робочого часу, 3868,36 год; P_n — парціальний тиск водяної пари за температури 20°C, 17,54 кПа, відносна вологість повітря в умовах цеху – 75%.

$$P_n = \frac{P_s \cdot \varphi}{100} = \frac{17,54 \cdot 75}{100} = 13,16 \text{ (кПа)}$$

$$G_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot 0,86 \cdot 1,26 \cdot (17,54 - 13,16) \cdot 3868,36 \cdot 1}{760} = 1101,593 \text{ кг}$$

Витрати води на промивні операції

Витрати води на промивні операції залежить від кількості ступенів промивки.

При одноступеневій промивці способом занурювання погодинні витрати води складають:

$$V_{zod} = A_e \cdot K \cdot P_e,$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

де: $A_e = 0,12$ — норма виносу розчину з ванни поверхнею деталей; $P_{год} = 2,93 \text{ м}^2/\text{год}$ — годинна виробнича програма ванни; K — критерій остаточної промивки деталей:

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

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

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

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

Витрати води на промивні операції після знежирення

Концентрація основного компоненту ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) — 50 г/л

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

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{50}{0,8} = 62,5$$

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 62,5 \cdot 2,93 = 21,975 \text{ (л/год)}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 21,975 \cdot 3868,36 \cdot 1,5 = 127\,510,8 \text{ (дм}^3\text{)}$$

Витрати води на промивні операції після травлення

Концентрація основного компоненту (HCl) — 100 г/л.

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

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{100}{0,1} = 1000$$

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 1000 \cdot 2,93 = 351,6 \text{ (л/год)}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 351,6 \cdot 3868,36 \cdot 1,5 = 2040173 \text{ (дм}^3\text{)}$$

Витрати води на промивні операції після активування

Концентрація основного компоненту (H_2SO_4) — 75 г/л.

					<i>ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

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

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

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 750 \cdot 2,93 = 263,7 \text{ (л/год)}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 263,7 \cdot 3868,36 \cdot 1,5 = 152824,7 \text{ (м}^3\text{)}$$

Витрати води на промивні операції після кадмування

Концентрація основного компоненту — 45 г/л.

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{45}{0,015} = 3000$$

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 3000 \cdot 0,4 \cdot 2,93 = 421,9 \text{ (л/год)}$$

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 421,9 \cdot 3868,36 \cdot 1,5 = 2448091,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Загальна витрата води

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

$$\begin{aligned} \sum V_{\text{H}_2\text{O}} &= 1013,0085 + 0,441 + 0,146 + 1101,593 + 127510,8 + 2040173 + 152824,7 = 2322623,6 \text{ (м}^3\text{)} \\ &= 23226,236 \text{ (м}^3\text{)} \end{aligned}$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

3. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ

3.1 Автоматичне регулювання параметрів процесу нанесення кадмієвого покриття

В галузі електрохімії дуже важливо, щоб постійно підтримувались параметри нанесення гальванічного покриття. Тому використання автоматизації електрохімічних виробництв значно полегшує процес, та дозволяє збільшити продуктивність гальванічних ліній, оскільки не потрібно робити перерв для визначення складу електроліту та його корегування.

Автоматичні контроль та керування технологічними процесами забезпечують високу якість продукції, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу.

У даному дипломному проєкті для організації автоматичної лінії гальванічного кадмування і автоматичного підтримання значень технологічних параметрів заданих технологічним режимом вводиться система контрольно-вимірювальних пристроїв та засобів регулювання. Автоматичне управління процесом кадмування забезпечується як з центрального пульта управління, так і з місця установки приладів [14].

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

Вирішення поставленої мети досягається виконанням наступних вимог:

1. Відповідність витрати електроліту технологічному регламенту.
2. Відповідність заданої температури у ванні технологічному регламенту.
3. Відповідність концентрації компонентів електроліту технологічному регламенту.
4. Відповідність режиму електролізу технологічному регламенту.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

Основними параметрами з якими пов'язане налагодження автоматичної лінії є: регулювання і контроль рівня у ванні, температури, рН, густини струму і напруги на ванні за допомогою відповідних приладів регулювання.

3.2 Аналіз процесу нанесення захисного кадмієвого покриття як об'єкта автоматизації

В процесі нанесення кадмієвого покриття може змінюватися склад електроліту та його об'єм. Об'єм електроліту може змінюватись через його розбризкування під час завантаження та розвантажування деталей. Зміна складу електроліту може призвести до погіршення структури осаду та його рівномірності, що негативно вплине на якість. Тому слід автоматично підтримувати постійний склад електроліту та його рівень у ванні.

Режим проведення електролізу:

- Напруга на клеммах ванни під час процесу складає 2,65 В.
- рН електроліту знаходиться в межах 4-4,5
- Температура електроліту знаходиться в межах 18-25°C.

Знаючи режим проведення процесу нанесення кадмієвого покриття, можна зробити висновки, які саме параметри слід контролювати. По-перше, необхідно контролювати температуру електролізу. Густина струму будемо контролювати через силу струму, яку буде завдавати технолог, в залежності від завантаження електролізеру. Напругу регулюємо випрямлячем струму. Корегування рН, рівня електроліту та концентрації Cd^{2+} виконується перекачуванням корегуючого розчину з баків, тому необхідно контролювати і кількість розчину в них, з метою вчасного їх заповнення, щоб не було потреби зупиняти лінію раніше запланованого терміну.

Параметри контролю та регулювання процесом нанесення кадмієвого покриття наведено у таблиці 3.1.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

Таблиця 3.1– Параметри регулювання та контролю гальванічної ванни кадмування

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Стадія кадмування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	Температура	18...25°C	контроль
2	Стадія кадмування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	Рівень	624 мм	контроль регулювання
3	Стадія кадмування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	Концентрація Cd^{2+}	40...50 г/дм ³	контроль регулювання
4	Стадія кадмування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	pH	4...4,5	контроль регулювання
5	Стадія кадмування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	сила струму та напруга на ванні	216,2 А. 2,65В.	контроль регулювання
6	Стадія кадмування, замір параметру проводиться в баці CdCl_2	Рівень	440...450 мм.	контроль регулювання
7	Стадія кадмування, замір параметру проводиться в баці NH_4Cl	Рівень	440...450 мм.	контроль регулювання

3.3 Розробка схеми автоматизації процесу кадмування

Контроль, реєстрування та регулювання температури електроліту у ванні забезпечує контур 1, який включає термоелектричний перетворювач (1-1), вторинний показувальний і реєструвальний прилад (1-2), та нормувальний перетворювач (1-3).

Контур 2 застосовують для контролю, реєстрування та регулювання рівня електроліту у ванні. Контур містить рівнемір буйковий з пневматичним передавальним перетворювачем (2-1), вторинний пневматичний показувальний і реєструвальний прилад (2-2), пневмоелектричний перетворювач (2-3), електропневматичний перетворювач (2-5), пневмодвигун (2-6).

Для контролю, реєстрування та регулювання рН розроблено контур 4, що складається з чутливого елементу (3-1), пневмоелектричного перетворювача (3-2), вторинного показувального і реєструвального приладу (3-3), електронного регулятора (3-4), і електропневматичного перетворювача (3-5).

Контроль, реєстрування та регулювання концентрації іонів кадмію здійснює контур 6 за схемою аналогічною контролю рН.

Контроль сили струму та напруги на клеммах ванни забезпечує контур 8 за допомогою випрямного апарату для гальванічних ванн ТЕ1- 400/12Т (5-1) та пульта дистанційного керування (5-2).[14]

У контурах 5,7 відбувається відстеження рівня розчинів в баках з NH_4Cl , CdCl_2 за допомогою буйкових рівнемірів розташованих в баках (7-1, 6-1), з яких сигнал надходить на відповідний пневмоелектричний перетворювач (7-3, 6-3).

Специфікація на використані технічні засоби наведена у додатку А.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4. ЕКОНОМІКО – ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

4.1 Підприємство у промисловій структурі держави

Для виконання організаційно-економічної частина завдання згідно «Галузевої інструкції з планування, обліку виробництва та калькуляції собівартості на підприємствах хімічної промисловості», необхідно розрахувати техніко-економічні показники цеху кадмування та повну собівартість продукції.

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

Захисне кадмієве покриття є затребуваним у стратегічно важливих галузях промисловості – космічній, авіа- і кораблебудуванні, військовій техніці та інших. Незважаючи на високу вартість, дефіцитність та токсичність кадмію, буде доцільно створити дане підприємство, оскільки такому покриттю до сих пір не знайшли заміну.

На даному підприємстві буде використовуватись технологія нанесення захисного кадмієвого покриття на сталеві деталі.

Мета діяльності підприємства – виготовлення продукції для задоволення потреб суднобудівної промисловості у виробництві кадмієвого захисного покриття для пружин з захисними властивостями та отримання, завдяки цьому, максимально можливого прибутку. За КВЕД – 2010 даний цех має код 28.51, що відповідає за оброблення металів та нанесення покриття на метали.

Класифікаційні ознаки цеху:

Організаційно-правова форма: юридична особа.

- 1) За формою власності – приватне.
- 2) Товариство з обмеженою відповідальністю.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

- 3) За масштабом виробництва – мале;
- 4) За структурою виробництва – вузькоспеціалізоване;
- 5) За ресурсами – негромадське та матеріаломістке;
- 6) За потужністю – мале;
- 7) За чисельністю персоналу – мале;
- 8) За режимом роботи протягом року – позасезонне;
- 9) За призначенням продукції – товари промислового призначення.

Організаційна структура цеху має наступний вигляд:



Рис. 4.1 – Схема організації хімічного цеху по гальванічному нанесенню кадмія

4.2 Технологічна підготовка виробництва

Деталі, які поступають в цех, проходять обробку за описаною вище технологічною схемою, яка складається з операцій наведених в таблиці 3.1.

Таблиця 4.1 Класифікація виробничих процесів

Вид виробничого процесу	Найменування операції	Тривалість, хв
1	2	3
	1. монтаж деталей на підвісний пристрій;	3
	2. електрохімічне знежирення;	5
	3. тепла промивка деталей;	0,5
	4. холодна промивка деталей;	0,5
	5. травлення хімічне;	0,7
	6. холодна промивка деталей	0,5
	7. активація хімічна;	1,5

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
	8. холодна промивка деталей	0,5
	9. кадмування електрохімічне;	31
	10. промивання в збірнику;	2
	11. холодна промивка деталей	0,5
	12. пасивування;	0,3
	13. холодна промивка деталей	0,5
	14. тепла промивка деталей	0,5
	15. обдування стисненим повітрям;	10
	16. демонтаж;	3
	17. висушування;	5
	18. вихідний контроль якості.	5
	Загальний час основних процесів	70
Допоміжні	1. Упакування та відправка продукції на склад 2. Закупівля сировини 3. Приготування та коректування електроліту	
Побічні	1. Очистка стічних вод	

4.3 Оптимізація виду руху предметів праці

Добова виробнича програма складає:

$$P_{\text{доб}} = \frac{11330}{(365 - 104 - 11)} = 45,32 \text{ м}^2/\text{добу},$$

де $T_{\text{доб}} = 250$ доби – кількість робочих діб у календарному році. Виробничий режим підрозділу дві зміни на день по 8 годин на день.

Тоді виробнича програма зміни становить:

$$P_{\text{змін}} = \frac{P_{\text{доб}}}{K} = \frac{45,32}{2} = 22,66 \text{ м}^2/\text{зміну}.$$

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

$$m = \frac{P_{\text{зм}}}{U_c} = \frac{22,66}{1,7} = 13,3 \approx 14 \text{ завантажень/зміну},$$

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

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

$$T_{\text{вц}} = 3 + 5 + 0,5 + 0,5 + 0,7 + 0,5 + 1,5 + 0,5 + 31 + 2 + 0,5 + 0,3 + 0,5 + 0,5 + 10 + 3 + 5 + 5 = 70 \text{ хв.} = 1,16 \text{ год.}$$

Знайдемо тривалість виробничого циклу та річний випуск продукції для послідовного, паралельного та синхронізованого видів руху предметів праці (ВРПП). Підібравши оптимальний (ВРПП), розрахуємо для нього кількість обладнання та чисельність робочих місць.

Тривалість виробничого циклу для послідовного виду руху предмету праці (ВРПП)

Графік послідовного ВРПП зображено на рис.4.2.

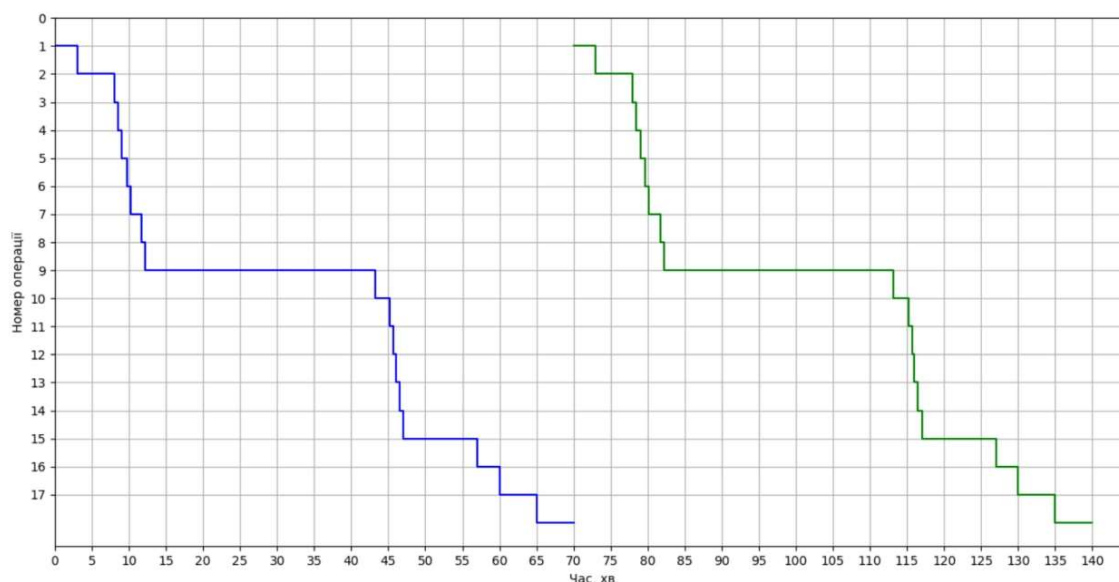


Рисунок 4.2 – Графік послідовного ВРПП

Цех працює 16 годин на добу (дві зміни по 8 годин). Розрахуємо кількість завантажень за один робочий день:

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц. посл}}}{\sum_{i=1}^{18} t_i} = \frac{16 \cdot 60}{70} = 13,7 \text{ разів,}$$

$$B_{\text{посл}}^{\text{Річ}} = 13,7 \cdot 250 \cdot 1,7 = 5828,57 \text{ м}^2;$$

Отже, при послідовному ВРПП неможливе виконання добового замовлення.

Тривалість робочого циклу для паралельного ВРПП

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{В.Ц.}}^{\text{пар}} + t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^{18} t_i}{t_{\text{max}}} = \frac{16 \cdot 60 + 31 - 70}{31} = 30 \text{ разів},$$

$$B_{\text{пар}}^{\text{річ}} = 30 \cdot 250 \cdot 1,7 = 12750 \text{ м}^2;$$

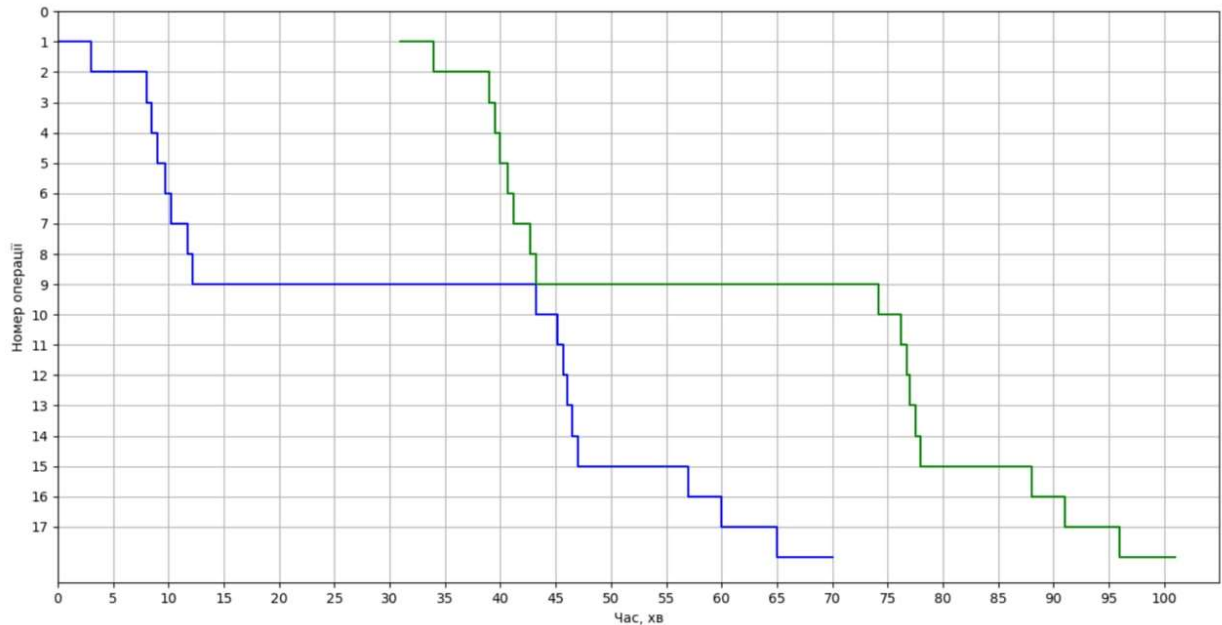


Рисунок 4.3 – Графік паралельного ВРПП

Річне завдання підприємства становить $P_p = 11330 \text{ м}^2/\text{рік}$, отже виробнича програма цеху за паралельним ВРПП економічно не доцільна.

Тривалість робочого циклу для синхронізованого ВРПП

Синхронізований ВРПП характеризується запуском предметів праці в обробку через певний інтервал часу, тобто кожна наступна операція виконується з певним визначеним заздалегідь ритмом (R).

За значення ритму обираємо час, при підстановці якого буде можливо виконати добову програму з найменшою кількістю необхідного обладнання. Знаходимо ритм з рівності:

$$16 \cdot 60 = 70 + (28-1) \cdot R$$

$$R = 33$$

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{В.Ц.}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^{18} t_i}{R} = \frac{16 \cdot 60 + 33 - 70}{33} = 28 \text{ разів},$$

$$B_{\text{синх}}^{\text{річ}} = 28 \cdot 250 \cdot 1,7 = 11900 \text{ м}^2$$

Час, який затрачається на виконання добового замовлення для синхронізованого ВРПП з $R = 33$:

$$T_{\text{синх}}^{\text{в.ц.}} = \sum_{i=1}^n t_i + (28-1) \cdot R = 70 + (28-1) \cdot 33 = 961 \text{ хв} = 16 \text{ год}$$

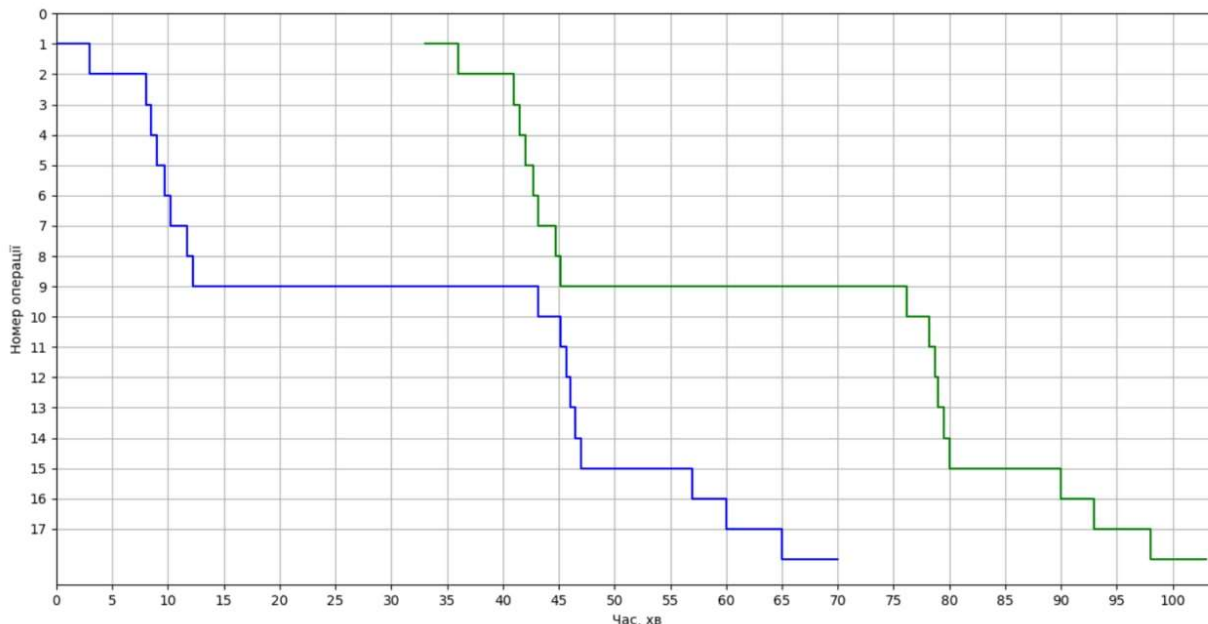


Рисунок 4.4 – Графік синхронізованого ВРПП

Річне завдання підприємства становить $R_p = 11330 \text{ м}^2/\text{рік}$, отже для виконання річної програми цеху доцільно обрати синхронізований ВРПП з ритмом $R=33$ хвилин, оскільки він відповідає виробничій програмі.

При послідовному ВРПП неможливе виконання добової норми, а при паралельному ВРПП норма перевищена, тому найбільш оптимальним є синхронізований ВРПП, який забезпечує виконання добової норми з використанням мінімальної кількості обладнання (по одиниці обладнання на кожній операції) і працівників.

Для повного виконання програми потрібна наступна кількість ванн: електророхімічного знежирення 1 шт, ванна травлення 1 шт, ванна хімічної активації 1 шт, теплої промивки 2 шт, , холодної промивки 5 шт, ванна електророхімічного кадмування 1 шт, ванна уловлювання 1 шт, ванна хроматування 1 шт. Сумарна кількість обладнання становить 13 одиниць.

1. сировина і матеріали;
2. обладнання і технологічні процеси;
3. готова продукція;
4. напівфабрикати власного виготовлення;
5. тара, транспорт;
6. допоміжні виробничі процеси (ремонт, зберігання).

Суб'єкт контролю:

1. технолог, гальванік, лаборант.

Види контролю:

1. за рівнем технічного контролю – ручний;
2. за параметрами, що визначаються – геометричний, якісний;
3. за стадіями процесу – вхідний, поточний, вихідний;
4. за охопленням об'єктів контролю – груповий;
5. за обсягом – вибірковий.

Об'єктом технологічного контролю якості є сировина і матеріали, технологічний процес, деталі на проміжних стадіях обробки та готова продукція. Проводиться вхідний, проміжний та кінцевий контроль деталей.

Вхідний контроль передбачає перевірку якості деталей, що надходить на підприємство як сировина. На даному підприємстві - це визначення чистоти та якості механічної обробки. Цей контроль проводить технолог. Він зобов'язаний вести журнал вхідного контролю.

Проміжний контроль передбачає перевірку технологічної дисципліни при виконанні технологічного процесу та якості виконання робітниками окремих робочих операцій. Виконується гальваніком, який веде журнал проміжного контролю.

Заключний контроль передбачає оцінку якості захисного кадмієвого покриття. Деталі підлягають зовнішньому огляду, перевірці товщини покриття, шорсткості поверхні, пористості. Контроль даного покриття проводиться по ГОСТ 9.301-86, ГОСТ 9.302-88. Заключний контроль

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

проводиться лаборантом. Покриття повинно бути гладеньким, рівномірним по товщині. Не допускається наявність дендритів, здуття, відшаровування.

Основною метою всього контролю є виявлення браку. Результати заключного контролю заносять до журналу заключного контролю, на підставі якого технологом оформлюється паспорт на продукцію.

4.6 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

Амортизація основних фондів:

Амортизація будівель та споруд:

$$A_{\text{буд}} = \frac{H_A^{\text{буд}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{600000}{20} = 30000 \text{ грн/рік};$$

Амортизація приладів і обладнання:

$$A = \frac{H_A^{\text{обл}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{9000}{5} + \frac{5000}{5} + \frac{12500}{5} + \frac{9000}{5} + \frac{9000}{5} + \frac{18000}{5} + \frac{9000}{5} + \frac{18000}{5} + \frac{10000}{5} + \frac{10000}{5} + \frac{24000}{5} + \frac{10000}{10} + \frac{8000}{10} + \frac{20000}{10} + \frac{20000}{5} + \frac{5000}{5} = 33700 \text{ грн/рік};$$

Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{нм}} = \frac{H_A^{\text{нм}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{9000}{12} = 750 \text{ грн/рік};$$

Амортизація трубопроводів:

$$A_{\text{тр}} = \frac{H_A^{\text{тр.}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{50000}{10} = 5000 \text{ грн/рік};$$

Всього:

$$A = 30000 + 33700 + 750 + 5000 = 69\,450 \text{ грн/рік};$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 4.3 – Склад основних фондів підприємства

№	Найменування обладнання	Кількість одиниць	Вартість, грн	Термін експлуатації, років
1	Ванна електрохімічного знежирення	1	9000	5
2	Ванна теплої промивки	2	5000	5
3	Ванна холодної промивки	5	12500	5
4	Ванна хімічного травлення	1	9000	5
5	Ванна хімічної активації	1	9000	5
6	Гальванічна ванна кадмування (1600x630x1250 мм)	1	18000	5
7	Ванна уловлювання	1	9000	5
8	Ванна пасивування	1	18000	5
9	Сушильна шафа	1	10000	5
10	Приміщення цеху	-	600000	20
11	Струмопідводи, штанги	-	10000	5
12	Джерела струму ТЕ1-400/12Т	1	24000	5
13	Вентиляційна система	-	10000	10
14	Трубопроводи	-	50000	10
15	Система водозабезпечення	-	8000	10
16	Система очистки стічних вод	-	20000	10
17	Система автоматизації	-	20000	5
18	Лабораторний інвентар(засоби контролю якості)	-	5000	5
19	Нематеріальні активи	-	9000	12
Всього		855 500		-

До оборотних засобів відносяться:

- Сировина та реагенти для нанесення покриття.
- Електроенергія, вода
- Запасні частини та матеріали.
- Заробітна плата.

Розчини, якими заповнені ванни, з часом змінюють свій склад, тому їх потрібно коректувати. Зважаючи на це, складемо таблицю річної витрати та вартості електролітів та дообавок.

Таблиця 4.4 – Річні оборотні фонди підприємства

Найменування	Ціна	Витрата на рік	Вартість, грн
$\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	510 грн/кг	70,3	35 853
NH_4Cl	25 грн/кг	54,7 кг	1367,5
Тіосечовина	76 грн/кг	12,5 кг	950
Клей мездровий	84 грн/кг	2,3 кг	193,2
$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	45 грн/кг	78,175 кг	3517,875
Натрію карбонат	14 грн/кг	39,0875 кг	547,225
H_2SO_4	26,8 грн/кг	131,334 кг	3519,75
Гідроксид натрію	85 грн/кг	15,635 кг	1328,975
Скло натрієве рідке	55 грн/кг	6,254 кг	343,97
Біхромат натрію	75 грн/кг	195,4375 кг	14 657,81
HCl	45 грн/кг	156,35 кг	7035,75
Катапін KI-1	40 грн/кг	6,254 кг	250,16
Кадмієві аноди Кд0	200 грн/кг	935,0649	187 012,98
Вода	21,15 грн/м ³	25 000 м ³	528 750
Електроенергія	2,07144 кВт·год	665 000	1 377 507,6
Додаткові матеріали	-	-	8000
Всього			2 170 836

4.7 Заробітна плата

Таблиця 4.5- Тарифна сітка підприємства

Тарифні розряд	Тарифні коефіцієнти	Тарифні Розряд	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряд	Тарифні коефіцієнти	Тарифні Розряд	Тарифні коефіцієнти
1	1	6	1,45	11	1,97	16	2,79
2	1,09	7	1,54	12	2,12	17	3,0
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

Таблиця 4.6 – Фонд заробітної плати цеху гальванічного кадмування

Посада	Кількість осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год.	Заробітна плата, грн	
					За день	За рік
Технолог	2	13	2,27	81,97	1311,5	327875
Гальванік	4	10	1,82	65,72	2103,04	525760
Лаборант	4	7	1,54	55,6	1779,2	444800
Всього	10				5193,74	1298435

Згідно закону про Держбюджет на 2021 рік розмір мінімальної заробітної плати становить 36,11 грн (погодинна).

Нарахування на ЗП:

$$\text{Нарах.} = \text{ЗП} \cdot 0,22 = 1298435 \cdot 0,22 = 285655,7 \text{ грн./рік}$$

Фонд оплати праці становитиме

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + \text{Нарах.} = 1\,298\,435 + 285\,655,7 = 1\,584\,090,7 \text{ грн./рік}$$

Адміністративно-управлінські витрати:

$$\text{Вадм} = 0,2 \cdot \text{ФОП} = 0,2 \cdot 1\,584\,090,7 = 316\,818,14 \text{ грн/рік.}$$

Вартість оборотних засобів підприємства:

$$\text{Обз} = \text{Всир} + \text{ФОП} + \text{Вадм} = 2\,170\,836 + 1\,584\,090,7 + 316\,818,14 = 4\,071\,744,84 \text{ грн/рік.}$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

Таблиця 4.7 Калькуляція продукції

№	Елементи затрат	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/м ²	
1	Амортизація	69 450	6,13	1,67
2	Реагенти та матеріали	2 170 836	191,6	52,3
3	Заробітна плата	1 298 435	114,6	31,28
4	Нарахування на ЗП	285 655,7	25,21	6,89
5	Адміністративно-управлінські витрати	316 818,14	27,96	7,63
6	Нематеріальні активи	9000	0,79	0,23
7	Виробнича собівартість	4 150 195	366,3	100

Для визначення повної цехової собівартості слід врахувати непередбачені витрати, які складають 20% від виробничої собівартості.

4.8 Техніко-економічні показники

Середня ринкова ціна за 1 м² для данного виду кадмування складає Ц=875 грн/м². За рік покривається 11330 м² деталей.

Річна собівартість продукції без накладних:

$$C_p = O\&B3 + A + \text{Немат. акт} = 4\,071\,744,84 + 69\,450 + 9000 = 4\,150\,195 \text{ грн/рік.}$$

Виробнича собівартість з неврахованими витратами:

$$C_{\text{вир}} = C_p + 0,2 \cdot C_p = 4\,150\,195 + 0,2 \cdot 4\,150\,195 = 4\,980\,234 \text{ грн/рік}$$

Повна собівартість з накладними:

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{вир}} + 0,8 \cdot C_{\text{вир}} = 4\,980\,234 + 0,8 \cdot 4\,980\,234 = 8\,964\,421,2 \text{ грн/рік}$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

Вартість продукції за рік:

$$\text{Цзаг} = \text{Ц} \cdot P_p = 875 \cdot 11330 = 9\,913\,750 \text{ грн/рік}$$

Собівартість одиниці продукції:

$$C = \frac{C_{\text{повна}}}{P_p} = \frac{8964421,2}{11330} = 791,2$$

1. Прибуток:

$$\Pi = \text{Ц} - C = 875 - 791,2 = 83,8 \text{ грн/м}^2$$

2. Рентабельність:

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100 = \frac{83,8}{791,2} \cdot 100 = 10,6 \%$$

3. Капіталовкладення:

$$K = (C_{\text{повна}} - A) + \text{ОФ} = (8\,964\,421,2 - 69\,450) + 855\,500 = 9\,750\,471,2 \text{ грн}$$

4. Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{83,8 \cdot 11330}{9\,750\,471,2} = 0,097 \text{ грн/грн}$$

5. Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,099} = 10,2 \text{ років}$$

6. Чисельність персоналу явочна: 5 осіб на одну зміну.

7. Чисельність персоналу за списком: 10 осіб.

8. Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{03} = \frac{B}{O3} = \frac{11330 \cdot 791,2}{855\,500} = 10,478 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}$$

9. Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{B}{O63} = \frac{11330 \cdot 791,2}{2\,170\,836} = 4,13 \text{ грн/грн}$$

10. Фондоємність основних засобів:

$$\Phi \epsilon_{03} = \frac{1}{\Phi B_{03}} = \frac{1}{10,478} = 0,095 \text{ грн/грн}$$

11. Фондоємність оборотних засобів

$$\Phi \epsilon_{063} = \frac{1}{\Phi B_{063}} = \frac{1}{4,13} = 0,24 \text{ грн/грн}$$

Висновок: в даному розділі розраховано основні техніко-економічні показники цеху з отримання захисного кадмієвого покриття на сталі пружинні деталі та повна собівартість продукції.

Рентабельність спроектованого цеху становить 10,6 %, при продуктивності 11330 м²/рік із собівартістю 791,2 грн/м². Період повернення капіталовкладень становить 10,2 років, що є середнім терміном для подібного підприємства.

Отримані результати розрахунків свідчать про доцільність створення підприємства, оскільки вироблена продукція спроектованого цеху здатна задовольняти потреби споживачів і при цьому забезпечувати отримання прибутку.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

4.9. Новизна проєкту цеха

Одним із завдань дипломного проєкту є відображення способів, які дозволяють поліпшити технологію нанесення покриттів для зниження витрати металів, солей, електроенергії, води і т. д. Мета - створення маловідходного, екологічно безпечного технологічного процесу та отримання продукту з одночасною утилізацією відходів виробництва.

В даному проєкті впроваджена новітня технологія з очистки стічних вод іонообмінним методом. При використанні такої технології впродовж 5 років витрати води зменшаться в 2,5 рази. Це дозволить очистити стоки до норм ГДК та зекономити на споживанні води.

4.10. Індивідуальне завдання

Розрахунок економії від використання іонообмінного методу очистки води при роботі впродовж 5 років:

Таблиця 4.8 – Річні оборотні фонди підприємства(з використанням очисної споруди)

Найменування	Ціна	Витрата за 1 рік	Витрата на 5 років	Вартість,грн
1	2	3	4	5
$\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	510 грн/кг	70,3 кг	351,5 кг	179265
NH_4Cl	25грн/кг	54,7 кг	273,5 кг	6837.5
Тіосечовина	76грн/кг	12,5 кг	62,5 кг	4750
Клей мездровий	84 грн/кг	2,3 кг	11,5 кг	966
$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	45 грн/кг	78,175 кг	390,875 кг	17589.375
Натрію карбонат	14 грн/кг	39,0875 кг	195,4375 кг	2736.125
H_2SO_4	26,8 грн/кг	131,334 кг	656,67 кг	17598.75
Гідроксид натрію	85 грн/кг	15,635 кг	78,175 кг	6644.875

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5
Скло натрієве рідке	55 грн/кг	6,254 кг	31,27 кг	1719.85
Біхромат натрію	75 грн/кг	195,4375 кг	977,1875 кг	73289.05
HCl	45 грн/кг	156,35 кг	781,75 кг	35178.75
Катапін KI-1	40 грн/кг	6,254 кг	31,27 кг	1250.8
Кадмієві аноди Кд0	200 грн/кг	935,0649	4675,3245 кг	935064.9
Вода	21,15 грн/м ³	25 000 м ³	50 000 м ³	1 057 500
Електроенергія, кВт·год	2,07144	665 000	3325000	6 887 538
Додаткові матеріали	-	-	-	40 000
Всього				9267928,975

Витрати води за 5 років без застосування очисної споруди – 125 000 м³ - 2 643 750 грн. Витрати води за 5 років при використанні очисної споруди – 50 000 м³ - 1 057 500 грн. Тобто, при використанні очисної споруди за 5 років буде економія в 1 586 250 грн.

Таким чином при перерахунку калькуляції продукції отримаємо нову ціну за кв. м. покриття:

Таблиця 4.9 Калькуляція продукції без використання очисної споруди

№	Елементи затрат	Витрати		% від собівартості
		На 5-ти річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/м ²	
1	2	3	4	5
1	Амортизація	347250	6.13	1.67
2	Реагенти та матеріали	10854180	191.60	52.31
3	Заробітна плата	6492175	114.60	31.29

Продовження таблиці 4.9

1	2	3	4	5
4	Нарахування на ЗП	1428278.5	25.21	6.88
5	Адміністративно-управлінські витрати	1584090.7	27.96	7.63
6	Нематеріальні активи	45000	0.79	0.22
7	Виробнича собівартість	20750974.2	366.30	100.00
8	Невраховані витрати	4150194,84	67,6	20
9	Повна цехова собівартість	24901169,04	439,56	120
10	Повна цехова собівартість з накладними витратами	44822104,27	791,2	216

Таблиця 4.10 Калькуляція продукції з використанням очисної споруди

№	Елементи затрат	Витрати		% від собівартості
		На 5-ти річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/м ²	
1	2	3	4	5
1	Амортизація	347250	6.13	1.81
2	Реагенти та матеріали	9267928.975	163.60	48.36
3	Заробітна плата	6492175	114.60	33.88
4	Нарахування на ЗП	1428278.5	25.21	7.45

Продовження таблиці 4.10

1	2	3	4	5
5	Адміністративно-управлінські витрати	1584090.7	27.96	8.27
6	Нематеріальні активи	45000	0.79	0.23
7	Виробнича собівартість	19164723.18	338.30	100.00
8	Невраховані витрати	3832944,6	67,6	20
9	Повна цехова собівартість	22 997 667,7	405,96	120
10	Повна цехова собівартість з накладними витратами	41395801,86	730,73	216

Річна собівартість продукції без накладних:

$$C_p = 19164723.18 \text{ грн/рік.}$$

Виробнича собівартість з неврахованими витратами:

$$C_{\text{вир}} = C_p + 0,2 \cdot C_p = 19164723.18 + 0,2 \cdot 19164723.18 = 22\,997\,667,7 \text{ грн/рік}$$

Повна собівартість з накладними:

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{вир}} + 0,8 \cdot C_{\text{вир}} = 22\,997\,667,7 + 0,8 \cdot 22\,997\,667,7 = 41395801,86 \text{ грн/рік}$$

Собівартість одиниці продукції:

$$C = \frac{C_{\text{повна}}}{P_p} = \frac{41395801,86}{566500} = 730,73$$

1. Прибуток:

$$\Pi = \Pi - C = 875 - 730,73 = 144,27 \text{ грн/м}^2$$

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. Рентабельність:

$$P = \frac{П}{С} \cdot 100 = \frac{144,27}{730,73} \cdot 100 = 19,7 \%$$

3. Капіталовкладення:

$$K = (C_{\text{повна}} - A) + O\Phi = (8\,964\,421,2 - 69\,450) + 855\,500 = 9\,750\,471,2 \text{ грн}$$

4. Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{П}{K} = \frac{144,27 \cdot 11330}{9\,750\,471,2} = 0,167 \text{ грн/грн}$$

5. Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,167} = 6 \text{ років}$$

6. Чисельність персоналу явочна: 5 осіб на одну зміну.

7. Чисельність персоналу за списком: 10 осіб.

8. Фондовіддача основних засобів:

$$\Phi B_{03} = \frac{B}{O3} = \frac{11330 \cdot 730,73}{855\,500} = 9,6 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}$$

9. Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{B}{O63} = \frac{11330 \cdot 730,73}{1853585,795} = 4,46 \text{ грн/грн}$$

10. Фондоємність основних засобів:

$$\Phi E_{03} = \frac{1}{\Phi B_{03}} = \frac{1}{9,6} = 0,10 \text{ грн/грн}$$

11. Фондоємність оборотних засобів

$$\Phi E_{063} = \frac{1}{\Phi B_{063}} = \frac{1}{4,46} = 0,22 \text{ грн/грн}$$

З наведених вище розрахунків можна побачити, що при використанні очисної споруди собівартість 1м² кадмієвого покриття знизилась на 60,47 грн. Це дає нам перевагу в економічному та екологічному плані, оскільки очищена вода буде повертатись на гальванічний цех.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

5. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД

5.1 Призначення процесу очищення стічних вод

Внаслідок стрімкого розвитку хімічних галузей промисловості очистка стічних вод після гальванічних процесів є важливим процесом.

Стічні води гальванічного виробництва розрізняють за складом забруднень, режимом скидання і концентрацією.

За складом забруднень стоки поділяють на:

1) **кислото – лужні** – а) від підготовчих операцій хімічного та електрохімічного знежирювання, травлення; б) від операцій нанесення покриттів з кислих або лужних неціанистих електролітів: міднення, нікелювання, кадміювання, цинкування, олов'янування, оксидування (за виключенням хромвмісних розчинів) тощо;

2) **ціанідні** – від процесів ціанистого міднення, цинкування, кадміювання, золочіння, сріблення;

3) **хромвмісні** – від процесів хромування, пасивування, освітлення, травлення деталей із міді та її сплавів, анодування і електрополірування деталей;

4) **фторидні** – від операцій травлення корозійно – стійких сталей, нанесення гальванопокриттів свинцю та його сплавів (олово-свинець).[6]

По режиму скидання і концентрації стічні води діляться на постійно поступаючі розбавлені води після промивання деталей і періодично скидаючі з основних ванн відпрацьовані концентровані електроліти.[7]

Промивні води і відпрацьовані електроліти після процесів нанесення електролітичних покриттів, знежирення, травлення зазвичай змішуються перед очищенням і утворюють групу кислих, лужних і з вмістом іонів важких металів стічних вод.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

Кислі води забруднені кислотами (рН 2 - 5). Лужні води характеризуються високими значеннями рН 10 - 12.

Концентрація іонів важких металів для Fe^{2+} і Fe^{3+} 1,5 г/л, для Cd^{2+} до 100 мг/л.

При змішуванні вод різних технологічних ліній досягається попередня часткова нейтралізація. Для скидання стічних вод в міські каналізаційні мережі проводять корегування рН середовища до допустимої нормативно - технічними документами величини 6,5 - 8,5. Нейтралізація і очистка кислотно - лужних стоків з іонами важких металів може бути здійснені реагентним методом.

На даному підприємстві слід передбачити очистку стічних вод від таких основних забруднень:

- Сполуки кадмію
- Сполуки Cr^{6+}
- Сполуки заліза - майже в усіх процесах (особливо при травленні) у стічні води попадає значна кількість заліза, тому що обробці підлягають в основному сталеві деталі.
- Луги і кислоти

Кадмій та хром (VI) відносяться до металів з високою екологічною небезпекою. Навіть в невеликих кількостях сполуки кадмію і хрому можуть мати шкідливий вплив на екологію, а саме на мешканців водоймищ, тому необхідно ретельно підходити до питання очищення стічних вод на виробництві.

5.2 Методи очищення стічних вод після гальванічного покриття кадмієм

Методи очищення стічних вод поділяються на:

- 1) Механічні;
- 2) Хімічні;
- 3) Фізико-хімічні;
- 4) Біологічні;

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		72

5) Комбіновані.

Розглянемо найбільш розповсюджені методи для очистки.

Мембранний метод. Для видалення тяжких металів в основному застосовують барометричні процеси, а саме нанофільтрацію (НФ) і зворотній осмос (ЗО). Селективність НФ і ЗО мембран достатньо висока: (НФ) – 87%, (ЗО) – 97%. Однак, навіть високі значення селективності не дозволяють досягти норм ГДК в одну ступінь очистки. Крім цього, при здійсненні процесу початковий потік розділяється на два: очищений (цільовий) та ретантат (концентрат), в якому сконцентрована основна маса солей. Відповідно, додається ще одна задача, яка передбачить утилізацію цього концентрату, що в свою чергу призводить до додаткових затрат.

Сорбційна очистка. Суть методу полягає в поглинанні іонів тяжких металів адсорбентами, які повинні відповідати таким критеріям:

- хороші сорбційні властивості
- хімічна стійкість
- механічна міцність

Основним недоліком цього процесу є необхідність застосування високих температур для регенерації адсорбента, що тягне за собою додаткові капітальні та експлуатаційні затрати. Крім того, даний метод не забезпечує очистку стоків до норм ГДК – залишковий вміст іонів кадмію в промивних стоках перевищує 0,5 мг/л.

Даний метод використовується для знешкодження що не містять хромисті з'єднань кислотно-лужних стічних вод з іонами важких металів до гранично допустимих концентрацій.

Реагентна очистка. Суть даних методів полягає в переводі розчинених солей в дисперсну (нерозчинну) фазу з подальшим видаленням осаду. Наприклад, можливе осадження кадмію у вигляді малорозчинних з'єднань – гідроксиду кадмію ($\text{Cd}(\text{OH})_2$) і сульфіда кадмію (CdS).

Переваги методів – відносна простота і можливість реалізації у широкому діапазоні вимірювання концентрації речовин в розчині.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		73

Однак, знешкодження реагентним методом відпрацьованих концентрованих електролітів кадмування на основі хлористого амонію і відповідних промивних вод утруднено через утворення стійких комплексних сполук кадмію($[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$).

Іонний обмін. Являє собою процес взаємодії компонентів між рідиною (розчином) і твердою фазою (іонообмінною смолою). Оскільки, перенесення іонів між фазами відбувається на поверхні твердої фази, іонний обмін може розглядатися як сорбційний процес і має загальні закономірності з процесом адсорбції, але його механізм визначається, в основному, електростатичними силами. Електростатичні сили затримують іони заряджених функціональних груп на поверхні іоніту.

Процес іонного обміну ефективно діє для тонкого очищення стічних вод від іонів важких та кольорових металів, регулювання мінерального складу очищених стічних вод (пом'якшення, зниження загального солевмісту), селективного видалення ряду органічних і неорганічних речовин. Іонообмінна технологія дозволяє очищати стічну воду до норм ГДК з подальшим її застосуванням у промислових підприємствах.[8]

Зважаючи на це, кадмієві стічні води будемо очищати *іонообмінним методом*. Перевагами даного методу є висока ступінь очистки в одну стадію, компактність та простота. Для хлорамонійного електроліту кадмування найбільшою статичною обмінною ємністю характеризується хелатна кадмійселективна іонообмінна смола (80-100%).[9]

Максимально допустимий вміст кадмію в промивних водах не має перевищувати 0,05 мг/л.

Для знешкодження хромовмістних стічних вод найбільшого поширення знайшли різні модифікації реагентного методу, що відрізняються реагентами-відновниками ($\text{Na}_2\text{SO}_3, \text{FeSO}_3$) та електрокоагуляційні методи.

5.3 Реагентна очистка кислотно-лужних стоків

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		74

Реагентна очистка кислотно-лужних стічних вод полягає у взаємній нейтралізації кислих і лужних стоків при їх змішуванні і доведення реакції до рН 8,5 - 9,5 сірчаною кислотою.

Хімічна нейтралізація кислих (рН <6,9) і лужних (рН > 8,5) стічних вод відбувається за реакцією:



Нейтралізація мінеральних кислот досягається добавками лужних реагентів.

5.4 Реагентна очистка хромовмісних стічних вод

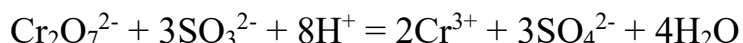
З'єднання Cr^{6+} відносяться до класу токсичних, надзвичайно небезпечних речовин. У стічних водах Cr^{6+} знаходиться у вигляді іонів $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

Стічні води обробляються в два етапи:

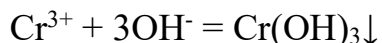
1. Відновлення шестивалентного хрому до трьохвалентного;
2. Осадження трьохвалентного хрому у вигляді гідроксиду.

В якості реагенту-відновлювача найбільше застосування отримав сульфід натрію Na_2SO_3 .

Відновлення Cr^{6+} до Cr^{3+} відбувається за реакцією:



Після закінчення реакції відновлення Cr^{6+} в кислому середовищі, стічні води піддають нейтралізації з метою осадження Cr^{3+} у вигляді гідроксиду по реакції:



5.5 Технологічна схема очистки стічних вод

В процесі кадмування утворюються стічні води міжопераційних промивок, що містять значну кількість лужних солей і компонентів кислого розчину травлення та активації. Ці води збирають і передають на локальну очистку.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		75

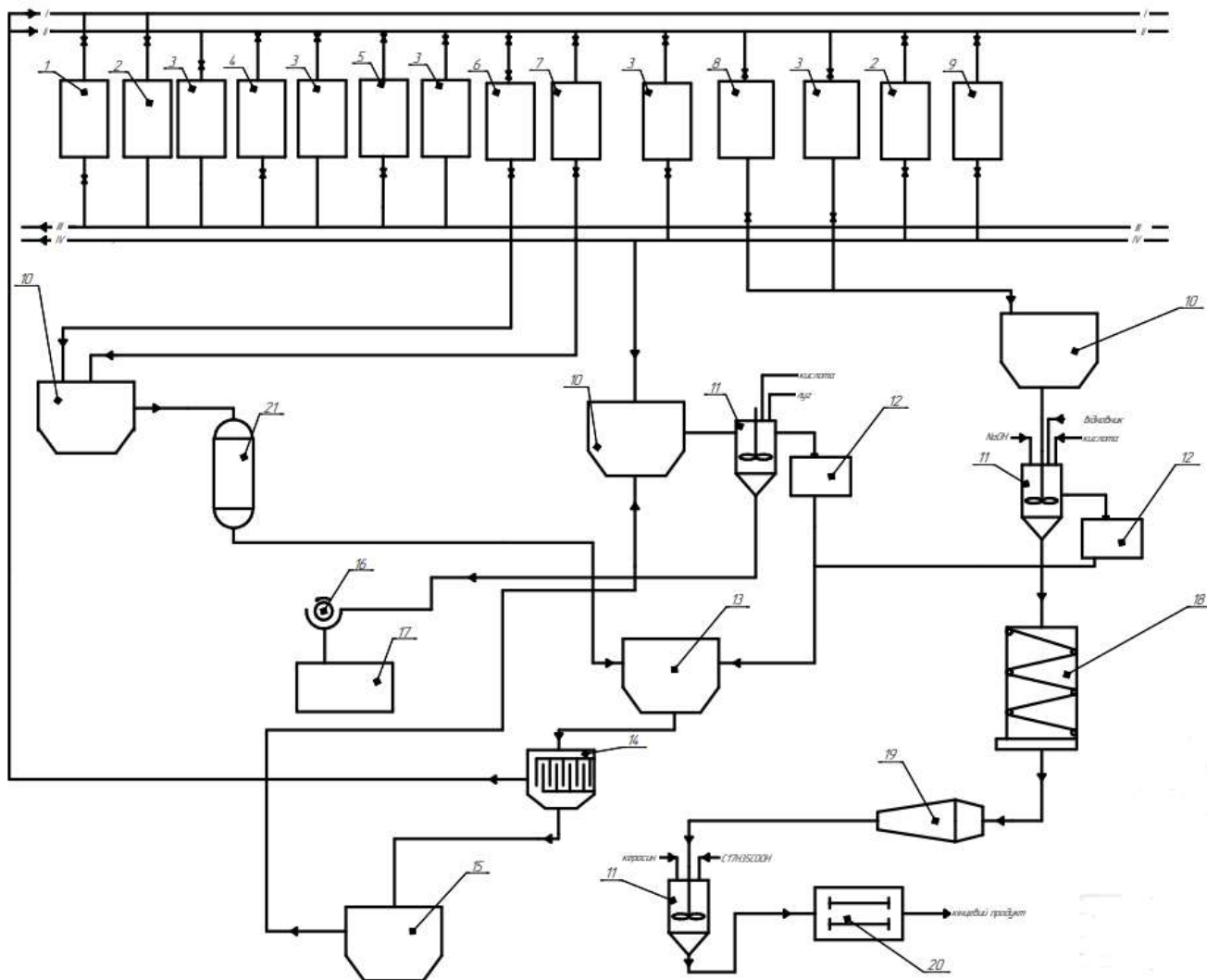


Рисунок 5.1 – Технологічна схема очистки стічних вод :

1 - ванна електрохімічного знежирення; 2 - ванна теплої промивки; 3 - ванна холодної промивки; 4 – ванна травлення; 5 - ванна активації; 6 - ванна кадмування; 7 - ванна уловлювання; 8 - ванна пасивації; 9 - сушильна шафа; 10 - резервуар-накопичувач; 11 - реактор - змішувач; 12 - відстійник; 13 - накопичувач; 14 - електрокоагулятор; 15 - накопичувач; 16 - барабанний вакуум-фільтр; 17 - шламонакопичувач; 18 - фільтр прес; 19 - млин; 20 - сушильна камера, 21 – іонообмінна колонка.

Кадмієві стоки поступають в резервуар-накопичувач 10, звідки самопливом надходять в іонообмінну колонку 21. Після цього очищена вода подається в накопичувач 13, звідти в електрокоагулятор 14 для подальшого очищення.

Кислотно - лужні стоки подаються в резервуар - накопичувач 10, звідки самопливом надходять в реактор-змішувач 11. Туди ж подається сірчана кислота,

для нейтралізації лугу. Після змішування кислих стоків з лужними утворюється стічна вода, що має кисле середовище, її нейтралізують вапняним молоком. Далі знешкоджений стік подається в відстійник 12 для освітлення. Освітлена вода надходить на подальше очищення в накопичувач 13, туди ж поступають освітлені води з кадмієвих та хромовмісних стоків. Далі води проходять через електрокоагулятор 14, пульпа, що утворилася надходить в накопичувач 15, а далі проходить в резервуар - накопичувач 10 кадмієвих стоків і повертається в технологічний процес. Осади з реакторів 11 за допомогою барабанного вакуум-фільтра подаються в шламонакопичувач 17, звідки у міру накопичення утилізуються.

Хромовмісні стоки надходять в резервуар-накопичувач 10, звідки самопливом надходять в реактор-змішувач 11. Крім стоків, в реактор подається сульфід натрію, а також сірчана кислота для створення середовища (рН 2-3), в якому відбувається відновлення шестивалентного хрому в тривалентний сульфідом натрію. Для осадження $\text{Cr}(\text{OH})_3$ додають вапняне молоко. Знешкоджений стік надходить у відстійник 12, далі в накопичувач 13 і звідти в електрокоагулятор 14. $\text{Cr}(\text{OH})_3$ надходить у фільтр-прес 18. Зневоднений $\text{Cr}(\text{OH})_3$ надходить в млин 19, де відбувається його подрібнення, далі надходить в реактор-змішувач 11, куди подається гас і стеаринова кислота. Після цього $\text{Cr}(\text{OH})_3$ надходить в сушильну камеру 20, де відбувається його осушення, а потім він надходить на металургійне виробництво.

Очищена вода з електрокоагулятора 14, надходить назад на технологічну лінію.

Локальна очистка стічних вод дозволяє уникнути конструкцію дорогих загальнозаводських очисних споруд. Поєднання локального очищення із замкнутим водообігом вважається одним з найбільш перспективних шляхів охорони гідросфери.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		77

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

На підприємстві з гальванічного нанесення кадмію застосовується ряд шкідливих матеріалів і речовин, використовується електрична, теплова та механічна енергія.

Проектування виконано з врахуванням норм і вимог охорони праці та пожежної безпеки.

В цьому розділі було розроблено систему заходів, спрямовану на створення та підтримання безпечних умов праці та забезпечення пожежної безпеки на виробництві.

6.1. Виявлення шкідливих та небезпечних факторів на проєктованому об'єкті, їх аналіз. Заходи з охорони праці на виробництві

6.1.1. Повітря у робочій зоні

ДСН 3.3.6.042-99 відносить роботи у цеху до категорії середньої важкості Па та Пб. За таких умов, прийняті показники параметрів (оптимальні та допустимі норми) мікроклімату у робочій зоні виробничих приміщень для двох періодів року наведено в таблиці 6.1.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		78

Таблиця 6.1 – Вимоги до показників параметрів мікроклімату робочої зони виробничих приміщень

Періоди року	Категорії робіт	Температура, °С			Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Фактична		Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
			Нижня межа	Верхня межа				
Теплий	Па	21-23	17-18	27-29	40-60	75	0,3	0,2-0,4
	Пб	20-22	16-17	27-29	40-60	75	0,3	0,2-0,5
Холодний	Па	18-20	15-17	23-24	40-60	75	0,2	<0,3
	Пб	17-19	13-15	21-23	40-60	75	0,2	<0,4

Температура стелі, стін, підлоги, зовнішньої поверхні обладнання та сировини не може перевищувати більше ніж на 2°С оптимальні показники температури повітря на робочих місцях:

$$t_{\text{пов}} = t_{\text{опт}} + 2^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{пов}} = 19 + 2 = 21^{\circ}\text{C},$$

де $t_{\text{пов}}$ – температура зовнішньої поверхні обладнання, $t_{\text{опт}}$ – температура повітря робочої зони у теплий період року.

Для приведення параметрів мікроклімату до нормативних величин передбачено реалізацію наступних заходів:

- 1) Розміщення обладнання, що виділяє тепло в ізольованих приміщеннях;
- 2) Підтримання функціонування вентиляційних устаткувань, опалення та кондиціювання;
- 3) Впровадження технології, що дозволяє зменшити кількість виділень тепла в цехове приміщення;
- 4) Раціональне використання режимів праці й відпочинку.

В таблиці 6.2. наведено санітарну характеристику виробничого приміщення, що проектується.

Таблиця 6.2 – Санітарна характеристика цеху

Виробнича ділянка, лабораторія, установка	1	Ванна електрохімічного знежирення	Ванна травлення	Ванна активації	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шкідливі речовини, що виділяються. Причини виділення таких речовин.	2	Na_3PO_4	HCl	H_2SO_4									
Група шкідливої речовини. Характеристика шкідливого впливу	3	Утворюються при попаданні на шкіру або слизові оболонки сильні хімічні опіки	Подразнює верхні дихальні шляхи, викликає хімічні опіки	Викликає опіки і подразнення слизових оболонок	2	1	2	3	Захисні окуляри, гумові рукавиці, прорезинений хімічно-стійкий одяг	Промити місце великою кількістю води, потім слабким розчином оцтової кислоти (5%-вим)	ХГА «АГАТ»	IV	36
ГДК шкідливої речовини в повітрі робочої зони, м/мг	4	2	1	2									
Клас небезпечності шкідливих речовин	5	2	2	3									
Засоби індивідуального захисту	6	Захисні окуляри, гумові рукавиці, прорезинений хімічно-стійкий одяг	Резиновий спецодяг, фартухи, рукавиці, чоботи, захисні окуляри, респіратор	Респіратор класу А, захисні окуляри, халат, гумові чоботи та рукавиці									
Засоби долікарської допомоги	7	Промити місце великою кількістю води, потім слабким розчином оцтової кислоти (5%-вим)	Промити місце ураження проточною водою, нейтралізувати розчином питної соди, звернутися до лікаря	Промити великою кількістю води, розчином соди (2%)									
Метод контролю вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони	8	ХГА «АГАТ»	Експрес-метод. Метод неперервної автоматичної реєстрації	Нефелометричний з хлоратом калію УГ-2									
Клас виробництва згідно з СН-245-71	9	IV	IV	V									
Санітарна група технологічного процесу за СНиП 2.09.04-87	10	36	36	16									

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

ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ

Арк.

80

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ванна кадмування	Випадання Cd в осад, вдихання частинок пилу	Канцерогенність кадмію	1	2	Спеціальний одяг, рукавички, респіратор класу В	Корегування технологічного процесу, оснащення хорошою вентиляцією	Фотометричний метод	I	36
Ванна пасивування	CrO ₃	Подразнює верхні дихальні шляхи, при потраплянні на шкіру викликає хімічні опіки	5	2	Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавиці	При потраплянні на шкіру – промити великою кількістю води, або розчином спирту і соляної кислоти	ХЖ-130 хроматограф рідинний	IV	36

Для зменшення виділення шкідливих речовин в повітря робочої зони, передбачено впровадити та забезпечити:

- загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію на робочих місцях, де є виділення шкідливих речовин, у відповідності з ГОСТ 12.4.021-75, яка забезпечує видалення із робочої зони шкідливих парів і аерозолів до концентрації нижче гранично допустимих (ГДК), встановлених ГОСТ 12.1005-88.
- двосторонні бортові відсмоктувачі і терморегулятори, які забезпечать постійність температурного режиму в ваннах з концентрованими розчинами кислот, що працюють за підвищених температур.
- рівень розчину в ваннах підтримувати на 200-300 мм нижче края ванни для уникнення попадання електроліту на працюючих.
- індивідуальні засоби захисту: халат бавовняний з кислотозахисним

просочуванням, фартух прогумований з нагрудником, чоботи гумові, окуляри захисні, рукавиці гумові;

Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції

Для уловлювання шкідливих і небезпечних парів, ванни електрохімічного знежирення ($t=70\pm 10^{\circ}\text{C}$) та кадмування ($t=20-40^{\circ}\text{C}$) оснащені двосторонніми бортовими відсмоктувачами.

Розміри ванн: $a = 1,6 \text{ м}$, $b = 0,63 \text{ м}$.

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

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

де a , b – довжина і ширина ванни, м;

t_p , t_n – температура розчину й навколишнього середовища;

K_3 – коефіцієнт запасу (прийнято 1,5);

K_t – коефіцієнт запасу бортового відсмоктувача

$K_t = (1 + \frac{b}{8 \cdot a})^2$ – для двостороннього бортового відсмоктувача;

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

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

Таблиця 6.3 – Коефіцієнти й результати розрахунків витрат повітря

Процес	$t_p, ^{\circ}\text{C}$	$t_n, ^{\circ}\text{C}$	K_t	Кількість ванн, шт	$L_{\text{від}}, \text{ м}^3/\text{год}$
Знежирення (Na_3PO_4)	70	19	1,0024	1	5668,65
Кадмування	20	19	1,0024	1	793,77
Травлення (HCl)	20	19	1,0024	1	793,77
Активация (H_2SO_4)	20	19	1,0024	1	793,77
Сумарно					8049,96

Розраховуємо втрати тиску в трубопроводах:

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

$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}$ – опір 1-го погонного метру трубопроводу.

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

Втрати на місцевих опорах:

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

Місцеві опори:

Витяжна шахта з зонтом $\xi = 1,83$ при $h/d = 0,2$

Коліна з закругленими кромками $\xi = 0,26$ при $r/d_e = 0,4$; $\alpha = 90^\circ$

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

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

$$Z = 37,06, \text{ кг/м}^2$$

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

Враховуючи витрати повітря та втрати тиску обрано вентилятор Ц4–70 №4
А4095 2а: з потужністю на валу 0,5 кВт; частотою обертів 1400 об/хв.

Двигун А02–11–6 комплектується разом із вентилятором.

6.1.2 Виробниче освітлення

Для забезпечення нормальної роботи виробничого процесу проектом передбачено застосування систем штучного робочого, охоронного, ремонтного, аварійного і евакуаційного освітлення.

Передбачено комбіновану систему природного освітлення, представлену поєднанням верхнього та бічного освітлення. Норми освітлення, визначені ДБН В.2.5-28:2018, наведено в таблиці 6.4.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 6.4 – Норми освітленості цеху

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

Штучне освітлення є комбінованим.

Для того щоб забезпечити штучним освітленням підприємство гальванічних покриттів необхідно 50 газорозрядних люмінесцентних ламп типу ЛБ40 (Л– люмінесцентна, Д – білої гами кольорів, потужністю 40 Вт) та світловим потоком 3200 лм (ГОСТ 6825-74).

Для виміру й контролю рівня освітленості виробничих приміщень використовують люксметри Ю–117 з періодичністю 1 раз на рік та після ремонту освітлювальних установок або заміни ламп. З метою підвищення рівномірності розподілу яскравості для поля зору, стелі та стіни пофарбовано в кремовий колір. Виробниче устаткування яскраво-зеленого кольору, а частини, що рухаються - жовтого, відкриті механізми пофарбовано в яскравий червоний колір.

В разі евакуації передбачено евакуаційне освітлення, яке забезпечить світлом людей при вимкненні основного виду освітлення. Для цього використовують світильники прямого типу "Альфа". Мінімальне значення освітленості на сходах при евакуаційному освітленні та на підлозі основних проходів повинна бути не менше 0,5 лк, а на відкритих майданчиках - не менше 0,2 лк.[11]

6.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрації

Рівень шуму на підприємстві залежить від одночасної роботи різних видів устаткування, і за результатами вимірювання досягає 76-80 дБА, що відповідає нормам (допустиме значення згідно з ДСН 3.3.6.037-99 - 80 дБА).

Зниження шуму заплановано завдяки: зміні напрямку випромінювання від джерела шуму; зменшення шуму на шляху його розповсюдження; використання у цеху засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

Для ручної роботи з зонами локальної вібрації та шуму, згідно з ГОСТ 12.4.002-74, на виробництві передбачено:

- 1) Правильну організацію (чергування) праці і відпочинку;
- 2) Заміну пневматичної клепки зварюванням;
- 3) Застосування еластичних прокладок для зменшення вібрацій, що передаються сидіннями;
- 4) Використання м'яких рукавиць, які ослабляють удари.

6.1.4 Електробезпека

Живлення електричного обладнання на виробництві передбачено від трифазної чотирьохпровідної мережі змінного струму промислової частоти, з напругою 380/220 В з нейтраллю, що глухозаземлена.

Розраховано силу струму, що може проходити через людину:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot 10^3}{R_1 + R_0} = \frac{380 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 126,5 \text{ мА}$$

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{л}} \cdot R_1 = 126,5 \cdot 3000 \cdot 10^{-3} = 379,5 \text{ В}$$

де $U_{\text{ф}}$ — 220 — фазна напруга, В; R_1 — опір тіла людини (2-4 кОм); R_0 — опір заземленої нейтралі (≈ 4 Ом), $U_{\text{дот}}$ — напруга дотику.

Враховуючи гранично допустимі значення ГОСТ 12.1.038-82, порівняння розрахованих значень струму і напруги свідчить, що порушення вимог правил електробезпеки може викликати тяжкі наслідки здоров'ю та життю людини. Отже, дане підприємство відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		85

Тому під час роботи на гальванічному виробництві використовується апаратура з заземленням I класу, тобто заземлення відбувається автоматично, одночасно з контактом вилки й розетки.

Для попередження ураження електричним струмом буде забезпечено:

1. Надійне заземлення (занулення) всіх неструмоведучих металічних частин обладнання, які можуть виявитись під напругою.
2. Ізоляцію струмоведучих частин (опір ізоляції не менше 0,5 МОм). Укриття всіх електричних кабелів і сполучних проводів, для виключення пошкодження ізоляції.
3. Огородження робочих місць або струмоведучих частин, що перебувають під напругою, та вивішування плакатів безпеки на огороженнях;
4. Блокування, яке вимкне живлення сушильної шафи і гальванічної ванни, які працюють при змінному струмі частотою 50 Гц і напрузі більше 42 В, при завантаженні та вивантаженні деталей.
5. Сигнальний пристрій для всіх електролітичних ванн, який вказує на наявність або відсутність напруги.
6. Інструменти орієнтації в електроустановках — наліпки, інформаційні покажчики, маркування, попереджувальні таблички.

На даному підприємстві також будуть в наявності такі захисні засоби: діелектричні гумові рукавиці, взуття, килими, що унеможливають поширення напруги, інструмент з ізолюючими рукоятками, гумові ізолюючі

6.1.5 Безпека технологічних процесів, обслуговування виробничого обладнання

З метою створення в травільному відділенні безпечних умов праці передбачено потужну бортову вентиляцію. Завдяки влаштуванню бортових відсмоктувачів швидкість руху повітря в щілинах відсмоктування буде не менше 9-10 м/с, а у робочих отворах вентиляційних шаф – 1,5 м/с.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		86

Для уникнення опіків кислотою завантаження і вивантаження деталей з ванн будуть механізованими.

Працівники, зайняті приготуванням кислотних розчинів, будуть працювати у спецодязі, спецвзутті та з використанням засобів захисту очей та незахищених частин тіла.

При переливанні кислоти з пляшки у ванну на горлечко пляшки передбачено надягати насадки, що запобігають розбризкуванню кислоти.

При обслуговуванні гальванічних ванн знежирення і гарячого промивання потрібно не забувати про високу температуру розчинів.

Основні заходи з безпеки під час роботи в гальванічному цеху:

- Трубопровідні системи знаходяться нижче рівня гальванічної лінії;
- ванни з агресивними, шкідливими або токсичними речовинами обладнано бортовими відсмоктувачами;
- для екстреної зупинки усіх частин, що рухаються, передбачені кнопки "Стоп загальний" та "Аварійний стоп";
- запобігання переливанню електроліту через край ванни забезпечено завдяки дотриманню відстані не менше 180...200 мм між верхнім краєм ванни і дзеркалом електроліту при зануренні підвісок;
- для запобігання потрапляння розчинів на підлогу між ваннами встановлено козирки.

6.2 Пожежна безпека

На підприємстві є ризик виникнення пожежі внаслідок перевантаження електроустаткування, утворення займистої суміші водню з повітрям або утворення окислів у газах, що відходять від ванни. До пожежонебезпечних місць на підприємстві відносять місця, де розташована сушильна шафа, столи, стільці, віконні рами та двері.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		87

Крім того, причинами загорання можуть бути: розряди статичної електрики, коротке замикання між частинами обладнання (шини, електроди), механічні пошкодження обладнання чи електропроводу. Наявна загроза прямого удару блискавки в об'єкт, проникнення в цех високих потенціалів через надземні і підземні металічні комунікації.

Проаналізовано основні причини короткого замикання: пролиття хімічних речовин на проводи, пошкодження ізоляції дротів, контакт неізольованих дротів й струмопровідних предметів. Захист ізоляції струмовідводу від дії хімічних речовин забезпечено шляхом використання гофрованого металевого кожуха із нержавіючої сталі, прокладанням проводів у пластиковому захисному кожусі. Для попередження перевантажень і короткого замикання у електричних мережах застосовують плавкі запобіжники та спеціальні автомати, що під'єднані у мережу послідовно. Попередження перегріву проводів від перехідних опорів досягається застосуванням пружних контактів та збільшенням площі опору контактів.

На випадок потреби гасіння джерел пожежі біля робочих місць передбачено протипожежні щити, обладнані набором засобів пожежогасіння, вогнегасники СУБ–7, пінні вогнегасники та ящики з піском. Виробничі приміщення та склади також обладнані внутрішніми пожежними кранами – елемент внутрішнього пожежного водопроводу. Між виробничими будинками передбачено пожежні розриви розміром 10 м. Для попередження вибухів газопроводів заплановано періодичну перевірку на герметичність.

Будівля є захищеною від прямого удару блискавки блискавковідводом стрижньового типу, що складається з блискавкоприймача, заземлювача і струмопровідника. [12]

Крім стаціонарної системи пожежогасіння на дільницях підприємства наявні вуглекислотні та порошкові вогнегасники ОУБ–8–2 та ОПС–6.

Для гасіння пожежі на підприємстві передбачено стаціонарну систему пожежогасіння з повітряно-механічною піною, та водопровідну мережу, обладнану у вигляді системи стояків, на яких встановлено пожежні крани. Пожежні крани розташовані один від одного на відстані 20 м, на висоті 1,35 м.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		88

Згідно СНиП 20102-85 витрати води на гасіння пожежі всередині будівлі прийнято з розрахунку на два струмені продуктивністю 2,5 м/с кожен. Для пожежного зв'язку і сигналізації на виробництві передбачено сповіщувачі типу ПК та ГА і телефонний зв'язок. Підприємство обладнане охоронно-пожежною сигналізацією.[10]

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		89

Таблиця 6.5 – Показники пожежо- й вибухонебезпечності речовин та матеріалів

Назва ділянки	Речовини, що мають обіг у виробництві ГОСТ	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах	Горючість, займистість	Показники пожежо та вибухонебезпечності			Межа заpalення		Вибухо–небезпечні суміші з повітрям		Вогнегасні засоби	Категорія приміщення за ОНТП 24-86	Клас приміщення і зовнішніх установок згідно з ПУЕ	Категорія об'єкта і тип зони захисту і влаштування блискавкозахисту згідно з СН 305-77
				Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання	% об'ємних	мг/м³	Категорія	Група				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Гальванічна ванна	Вініпласт	Тв.	Важкозаймисті	–	580	580	–	–	–	–	Вода, піна	В	2	2А
	H ₂	Газ	Легкогорюча	132	324	57,5	47,5	45–82,5	2с	Т1	Інертний газ			
По-міст	Дерево, гума	Тв.	Горюча	170	400	400	–	–	–	–	Вода	В	2	2А
Ізоляція	Текстоліт	Тв.	Важкогорюча	–	358	358	–	–	–	–	Вогнегасники рідинні,			

7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Загальні правила з техніки безпеки при роботі в гальванічних цехах

1. До роботи в гальванічному цеху і відділеннях допускаються працівники віком від 18 років, що пройшли спеціальне навчання, медичний огляд та інструктаж з техніки безпеки.
2. Підприємство забезпечує робітників гальванічних цехів спецодягом: окулярами, прогумованим фартухами і халатами, гумовими чоботами та рукавичками. Забороняється відносити спецодяг додому В обідню перерву та після закінчення робочого дня спецодяг необхідно зберігати в спеціальній шафі.
3. Забороняється допускати на робочі місця сторонніх осіб, приймати їжу, зберігати харчові продукти, палити в робочому приміщенні, засмоктувати розчини ротом через скляні трубки або шланги, ремонтувати обладнання при включеній силовій мережі.
4. Витяжна вентиляція повинна бути справною, її необхідно ввімкнути не пізніше, ніж за 15 хвилин до початку роботи, а вимкнути - не раніше ніж через 15 хвилин після закінчення зміни. По закінченню роботи, ванни, що виділяють шкідливі речовини, слід закрити кришками.
5. Готувати, коригувати та фільтрувати електроліти потрібно при активованій вентиляції. В процесі розведення кислот треба обов'язково лити кислоту у воду, а не навпаки. Кислоти та солі додають в електроліт дрібними порціями. У всіх таких випадках слід користуватися захисними окулярами, щоб в очі не потрапили речовини.
6. Кислоту, випадково пролиту на підлогу або обладнання, необхідно негайно змити водою, після чого залишки кислоти нейтралізують сухою кальцинованою содою до припинення реакції. Пролитий луг необхідно змити водою.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		91

7. У разі попаданні кислоти, лугу чи електроліту на відкриті ділянки тіла або в очі уражені місця необхідно негайно промити струменем води. Потім уражені кислотою або кислим електролітом місця слід промити розчином питної соди (2..3%), а уражені лугом - розчином оцтової кислоти (1%), і знову промити водою.
8. При отриманні опіків, травм, отруєнь потерпілому потрібно негайно надати першу медичну допомогу та направити його в медичний пункт.
9. Скляні балони та бутлі з кислотами і лугами слід зберігати в корзинах або дерев'яній обрешітці. Бутлі переносять носилками або перевозять на спеціальних візках. Ємності мають бути герметично закупорені. Заборонено зберігати луги чи кислоти у відкритих ємностях.
10. Шланги, аноди і підвіски можна чистити тільки мокрим способом, змочуючи водою шліфувальне полотно або металеві щітки, оскільки пил кольорових металів шкідливий і його вдихання може викликати отруєння.
11. Деталі, які впали в ванну, треба діставати спеціальними пристосуваннями (совками). Громіздкі чи великовагові деталі та підвіски слід переміщувати електротельфером.
12. Електротехнічне обладнання заземлюють. Необхідно попереджати випадки короткого замикання в ваннах, що може призвести до опіків робітників і викликати вибух газів, що виділяються під час електролізу.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВОК

Розроблено технологічний процес нанесення захисного кадмієвого покриття з виробничою продуктивністю 11000 м²/рік.

Описані призначення і області застосування кадмієвих покриттів. Розглянуті найбільш поширені склади електролітів та режими їх роботи. Обрано товщину кадмієвого покриття та відповідний склад електроліту для пружинної деталі.

Проведено конструктивний розрахунок ванни, а також технологічні розрахунки: складені баланси струму, напруги, енергії, проведено тепловий розрахунок, розраховані витрати анодів, хімічних реактивів та води на виконання річної виробничої програми.

Досліджено способи контролю якості нанесених покриттів та технологію зняття недоброякісних покриттів; вивчено шкідливі та небезпечні виробничі фактори й розглянуто заходи з техніки безпеки.

Обрано та спроектовано схему очистки стічних вод від іонів кадмію та хрому.

					ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении/ П.С. Мельников – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
2. Процессы коррозионной деструкции и защиты металлов: учебное пособие / В.Е. Румянцева. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – 156 с.
3. Прикладная электрохимия: Справ.изд. Н.П. Федотьев, А.Ф. Албышев, А.П. Ротинян – Л.: Госхимиздат, 1962. – 624с.
4. 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.
5. Основи проектування хімічних виробництв. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів: навч. посіб. / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильєв – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85с.
6. Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.
7. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография/ Долина Л.Ф.. – Дн-вск.: Континент, 2008. - 254 с.
8. Разработка технологии очистки сточных вод от тяжелых металлов методами нанофильтрации и ионного обмена: Диссертация/Лин Маунг Маунг, 2018. – 117 с.
9. Удаление кадмия из стоков промывных ванн гальванообработки / А. В. Лойко, Г. Г. Каграманов, Е. Н. Фарносова, Е. Ю. Балашова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 5(125). – С. 34-38.
10. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0764-19#Text>

					<i>ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		94

11. Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах, составитель А.Т. Орленко, КПИ 2007г.
12. СН 305-77 Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений.
13. Разработка научно обоснованных технологических решений для регенерации растворов на основе электромембранных процессов и анода из диоксида свинца: Докторская диссертация/ Тураев Д.Ю., 2019. - 340 с.
14. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: У 2 кн. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 336 с.
15. Краткий справочник физико-химических величин. Издание девятое / Под ред. А.А. Равделя и А. М. Пономаревой. – Спб.: Специальная Литература, 1998. – 232 с.
16. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту з гальванотехніки освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр”. Напрямок 6.091600 “Хімічна технологія та інженерія”. Професійна спрямованість “Технічна електрохімія”. / Уклад. Л.А. Яцюк, В.П. Чвірук, В.Ф. Панасенко, Т.І. Мотронюк, О.В. Лінючева, О.І. Букет. – К: НТУУ "КПІ", 2019. – 54 с.

					<i>ДП ХЕ7107.00.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		95

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-1	Температура	Електролізер	18...25 °С	Місцевий	Термоелектричний перетворювач, НСХ 50П, діапазон вимірювання (-50)...60 °С; довжина монтажної частини 200...3150 мм; Р _{мах} = 25 МПа; інерційність 30 с; клас допуску 2	ТСП–1288	1	НВО «Електротермія», Приладобудівний завод, м. Луцьк
1-2, 4-2, 6-2, 7-2	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: ТП НСХ В, К, L, S та ТО НСХ 50П,100П, 50М, 100М	ДИСК–250	4	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ
1-3	— " —	— " —	— " —	Щит керування	Перетворювач нормувальний, I _{вх} = 0...5 мА, вихідні сигнали ТП НСХ В, К, L, S, R та ТО НСХ 50П, 100П, 50М. 100М	П282	1	НВО «Електротермія», Приладобудівний завод, м. Луцьк

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-2, 3-3	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Прилад вторинний показувальний, реєструвальний (система СТАРТ), Рвх= 20...100 кПа, граничнодопустима основна похибка $\pm 0,5$; Ржив= 140 кПа	ФК0071	2	АТ «ТИЗПРИБОР», м. Москва
2-3, 3-2, 6-3, 7-3	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Перетворювач пневмoeлектриний, Рвх= 20...100 кПа, граничнодопустима основна зведена похибка $\pm 0,5$; Івих= 0...5 (0...20 мА, 4...20 мА); Рмах = 400 кПа	МТМ40 00РІ-ДЗ	4	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк
2-4, 3-4, 4-3	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Регулятор електронний, пропорційно-інтегральний, Івих = 0...5 мА	РП2-Т	3	АТ «Тизприбор», м. Москва
2-5, 3-5 4-4	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Перетворювач електропневматичний, Івх=0...5 мА; Рвих= =20...100 кПа; граничнодопустима основна зведена похибка $\pm 0,5$; Ржив= 140 кПа	МТМ81 0	3	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк
3-1	рН розчину	Електролізер	4...4,5	Місцевий	Чутливий елемент рН-метра заглибного виконання з електродами скляними ЭСП-31-06 і регулятором тиску РДС-1	ДПг – 4М	1	«Гомельський завод измерительных приборов», м. Гомель

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4-1	Концентрація	Електролізер	40...50 г/л	Місцевий	Іономір універсальний межі вимірювання pCd^{2+} від -1 до 19 діапазон $Eh \pm 100$ до ± 1900 мВ похибка $\pm 5\%$, $I_{вих} = 0...5$ мА	ЭВ - 74	1	ВО «Измеритель», (Білорусія)
5-1	Сила струму та напруга	Електроди електролізеру	216,2 А, 2,65 В	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{вх\ max} = 400$ А, $U_{вх\ max} = 12$ В	ТЕ1-400/12Т	1	ЗАТ «Межгосударственный концерн “ЭЛАРП”», м. Москва
5-2	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Пульт дистанційного керування для випрямного агрегату ТЕ-100/12Т-0УХЛ4	ПДУ ТЕ1	1	ЗАТ «Межгосударственный концерн “ЭЛАРП”», м. Москва
6-1, 7-1	Рівень	Бак 4, 5	440...450 мм	Локальне	Рівнемір буйковий з пневматичним передавальним перетворювачем, $L_{max} = 16$ м; клас точності 1,5; $P_{доп} = 4$ МПа; $P_{вих} = 20...100$ кПа	УБ-ПА	2	ВО «Теплоприбор», м. Рязань
2-6, 3-6, 4-5	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Трубопроводи 29, 30	Пневмодвигун поворотний кут повороту 90°	ППР-1,6	3	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ

ДОДАТОК Б

[illegible]