

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

**Хіміко-технологічний факультет**

**Кафедра технології електрохімічних виробництв**

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Олексій КОСОГІН

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2023 \_\_ 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 приладобудуванні. Розробка  
технологічного процесу нанесення сплаву олово-вісмут на сталеві  
деталі»**

Виконав :

студент (-ка) Толстопятов Арсеній Олександрович

IV курсу, групи ХЕ 92

Керівник: доц., к.х.н.

Бик Михайло Володимирович

Консультант з

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

Економічна частина: Ткаченко Тетяна Петрівна доц., к.екон.н.

Автоматизація: Сазонов Артем Юрійович доц., к.т.н.

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

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2023 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

\_\_\_\_\_ Олексій Косогін

«\_\_» \_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2023 \_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Толстопятову Арсенію Олександровичу**

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття в приладобудуванні. Розробка технологічного процесу нанесення сплаву олово-вісмут на сталеві деталі», керівник проєкту Бик Михайло Володимирович, доцент, к.х.н., затверджені наказом по університету від «\_25\_» \_\_05\_2023\_\_ р. №\_1945-с
2. Термін подання студентом проєкту 16 червня 2023 року \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проєкту: Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт сульфатний для гальванічного нанесення сплаву олово-вісмут. Продуктивність 15000 м<sup>2</sup>/рік.
4. Зміст пояснювальної записки Складання технологічної карти, розрахунок балансів струму, напруги, енергії, обґрунтування і вибір покриття, розрахунок організаційно-економічних показників, заходи охорони праці, автоматизація процесу нанесення покриття, екологічна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Креслення гальванічної ванни, 2. Схема технологічного процесу, 3. Схема автоматизації, 4. Економічна частина, 5. Схема очищення стічних вод.

6. Консультанти розділів проєкту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Полукаров Ю.О. доц.,к.т.н.		
Економічна частина	Ткаченко Т.П.доц.,к.екон.н.		
Автоматизація	Сазонов А.Ю. доц.,к.т.н.		

7. Дата видачі завдання 15 травня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Характеристика деталей ,що підлягають обробці.	До 20.05.2023	виконано
2.	Вибір виду покриття	До 22.05.2023	виконано
3.	Вибір підготовчих операцій	До 24.05.2023	виконано
4.	Вибір складу електроліту для покриття деталі	До 24.05.2023	виконано
5.	Складання карти технологічного процесу	До 25.05.2023	виконано
6.	Складання схеми очищення стічних вод	До 29.05.2023	виконано
7.	Складання схеми автоматизації основного процесу.	До 30.05.2023	виконано
8.	Виконання економічних розрахунків	До 05.06. 2023	виконано
9.	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 06.06.2023	виконано
10.	Оформлення пояснювальної записки	До 07.06.2023	виконано
11.	Оформлення графічної частини проєкту	До 08.06.2023	виконано

Студент

Толстопятов Арсеній

Керівник

Бик Михайло

---



**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Гальванічні покриття в приладобудуванні.**  
**Розробка технологічного процесу нанесення сплаву**  
**олово-вісмут на сталеві деталі»**

Київ – 2023 року

## РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в приладобудуванні. Розробка технології нанесення покриття сплаву олово – вісмут на сталеві деталі»

Толстопятов А.О. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-92

Дипломний проект, 2023 рік, кількість сторінок - 73, таблиць - 14, рисунків - 9, джерел - 18.

У проєкті розроблено технологію нанесення покриття сплавом олово – вісмут на сталеві деталі, обґрунтовано доцільність використання електроліту, описано призначення деталі.

У проєкті наведено технологічні розрахунки для гальванічних ван і підвісок на них, обрано відповідне додаткове обладнання, розроблена схема автоматизації процесу нанесення покриття. Виконано розрахунок техніко-економічних показників. Виконано креслення гальванічної ванни. Розроблено схему очищення стічних вод. Розроблено заходи з охорони праці.

Ключові слова: олово; вісмут; покриття; сила струму; сульфатний електроліт; гальванічна ванна; технологічний розрахунок; техніко-економічні показники; автоматизація; охорона праці; конструктивні креслення.

ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ

Пояснювальна  
записка

Лит.	Арк.	Аркушів
	6	72

«КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
ХТФ, ХЕ-92

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Толстопятов А.О.		
Перев.		Бик М.В.		
Н. Контр.				
Затв.		Косогін О.В.		

## ABSTRACT

"Galvanic Coatings in Instrument Engineering. Development of a Technology for Applying a Tin-Bismuth Alloy Coating on Steel Parts"

Tolstopyatov A.O. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Chemical Technology, Group HE-92

Diploma Project, 2023, Number of Pages - 73, Tables - 14, Figures - 9, References - 18.

The project presents a technology for applying a tin-bismuth alloy coating on steel parts, substantiates the feasibility of using the electrolyte, and describes the purpose of the parts.

The project provides technological calculations for galvanic baths and their suspensions, selects appropriate additional equipment, and develops a scheme for automating the coating application process. Technical and economic indicators are calculated. Drawings of the galvanic bath are executed. A scheme for wastewater treatment is developed. Measures for occupational safety are developed.

Keywords: tin-bismuth; coating; current strength; sulfate electrolyte; galvanic bath; technological calculation; technical and economic indicators; automation; occupational safety; technical drawings.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>10</b>
<b>1.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>11</b>
1.1Характеристика деталі .....	11
1.2Опис покриття.....	12
1.3Елетроліти для нанесення сплаву олово- вісмут.....	13
1.4Основні технологічні процеси .....	16
1.5Брак та неполадки при електролізі.....	20
1.6Контроль якості покриття .....	22
1.7Технологічна карта .....	23
1.8Основні технологічні розрахунки.....	24
1.8.1 Виробнича робоча програма цеху і режим його роботи. Визначення дійсного фонду .....	25
1.8.2 Визначення виробничої програми цеху .....	25
1.8.3 Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів.....	26
1.8.4 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання .....	27
1.8.5 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні .....	29
1.8.6 Баланс напруги.....	30
1.8.7 Вибір джерела живлення електричним струмом для .....	31
електрохімічних ванн.....	31
1.8.8 Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії на електрохімічних ваннах.....	32
1.8.9 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної .....	32
виробничої програми .....	32
1.8.10 Розрахунок витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму ..	33
1.8.11 Розрахунок витрат анодів .....	34
1.8.12 Витрати анодів на виконання річної виробничої програми .....	34
1.8.13 Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання .....	35
1.8.14 Витрати компонентів на виконання річної виробничої програми.....	36
1.8.15 Розрахунок витрат води.....	37
1.8.17 Витрати води на промивні операції .....	38
1.8.18 Витрати води на промивні операції після електрохімічного знежирення .....	39
1.8.19 Витрати води на промивні операції після травлення .....	39

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	Лист
						8
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

1.8.20	Витрати води на промивні операції після олов'янування	39
1.8.21	Загальна витрата води	40
<b>2.</b>	<b>АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ</b>	<b>41</b>
2.1	Аналіз технологічного процесу нанесення покриття сплавом олово-вісмут як об'єкта автоматизації	41
2.2	Опис розробленої схеми автоматизації	41
2.3	Розрахунок похибок вимірювального каналу[4]	43
2.4	Загальна схема автоматизації	45
<b>3.</b>	<b>ЕКОНОМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПІДПРИЄМСТВА</b>	<b>46</b>
3.1	Загальні відомості	46
3.2	Оптимізація виду руху предметів праці	47
3.3	Чисельність персоналу та фонд заробітної плати	51
3.4	Вартість річних ОбЗ	52
3.5	Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва, калькуляція на продукцію	53
3.6	Техніко- економічні показники	55
<b>4.</b>	<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<b>57</b>
4.1	Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проєктованому об'єкті. Заходи з охорони праці	57
4.1.1	Повітря робочої зони	57
4.1.2	Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції	59
4.1.3	Виробниче освітлення	60
4.1.4	Захист від виробничого шуму та вібрацій	60
4.1.5	Електробезпека	61
4.1.6	Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання	62
4.2	Пожежна безпека	63
<b>5.</b>	<b>ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА</b>	<b>65</b>
5.1	Схема очистки стічних вод	66
<b>6.</b>	<b>ЕСКІЗИ ОСНОВНОГО ТА СУПУТНЬОГО ОБЛАДНАННЯ</b>	<b>69</b>
6.1	Ескіз та опис гальванічної ванни	69
6.2	Ескіз підвіски з деталями	70
	Додаток А	74

## ВСТУП

Гальванічні покриття відіграють вирішальну роль у різних галузях промисловості, зокрема в приладобудуванні, де вони забезпечують захист від корозії, покращують естетичний вигляд і підвищують функціональні характеристики компонентів і деталей. Розробка передових технологій нанесення покриттів стає надзвичайно важливою для задоволення вимог сучасного ринку та вдосконалення якості виробів.

У рамках даного дипломного проекту розглядається технологія нанесення покриття сплавом олово – вісмут на сталеві деталі. Використання цього типу покриття має на меті підвищити захист деталей від корозії, забезпечити покращення здатності до паяння.

У процесі роботи над проектом було проведено аналіз існуючих методів нанесення гальванічних покриттів, обґрунтовано переваги сплаву олово – вісмут в порівнянні зі звичайними олов'яними покриттями, а також обґрунтовано його використання в приладобудуванні. Відповідно до цього, була розроблена технологія нанесення покриття, з урахуванням особливостей сплаву та вимог щодо якості та стійкості деталей.

Також у проекті були виконані технологічні розрахунки для гальванічних ванн і підвісок на них, вибір необхідного додаткового обладнання та розробка схеми автоматизації процесу нанесення покриття. Крім того, були враховані аспекти охорони праці та розроблено заходи щодо очищення стічних вод.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	Лист
						1
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# 1.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Характеристика деталі

Покриття наноситься на деталь зі сталі Ст0. Деталь являє собою штамповану пластину із простим профілем, яку використовують в якості кришки для корпусу, де буде знаходитись друкована плата, тобто виконує роль захисту плати від зовнішніх елементів впливу, а також виконує роль доступу до плати в корпусі. Використовується така деталь в приладобудуванні та радіоелектроніці. Товщина деталі разом із бортами становить 20 мм, маса 260 г. Площа покриття на деталь становить 32,44 дм<sup>2</sup>. Покриття відповідає ДСТУ ГОСТ 9.101:2004 [7].

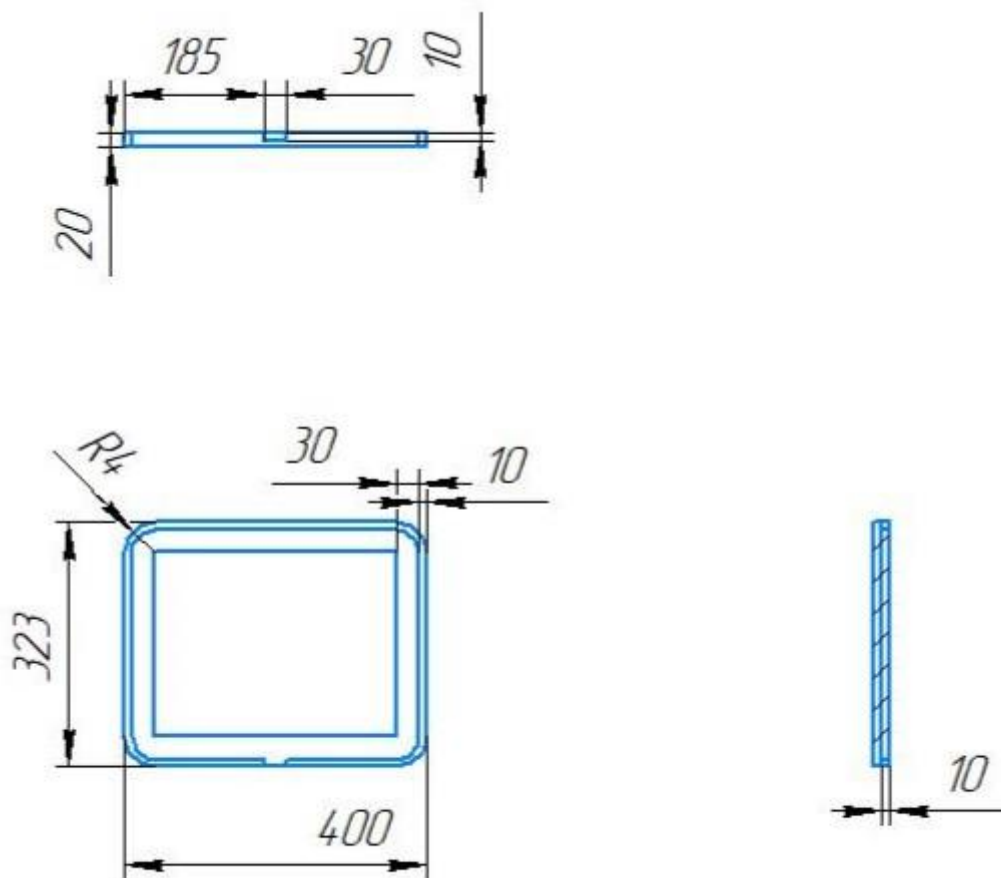


Рисунок 1.1 - Креслення деталі, яка покривається

					ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		1

Оброблена деталь має матову поверхню сірого кольору.



Рисунок 1.2 – Покрита деталь

### 1.2 Опис покриття

Товщина покриття визначається за ДСТУ 8280:2015, в якому наведені умови експлуатації деталі та рекомендовані відповідні товщини покриттів. Відповідно до цього стандарту, ця деталь відноситься до 3 групи, бо вона використовується в середніх умовах (максимальна температура 40°C, мінімальна -40°C)[8], отже рекомендована товщина покриття олово-вісмут становить 12 мкм. Але для того, щоб покриття добре трималось на сталі (була добра адгезія), на деталь наносять підшар міді, товщиною до 9 мкм, щоб запобігти перебіганню контактного обміну між залізом та оловом.

Призначення покриття олово-вісмут для такого роду деталей полягає в покращенні їх паяльних властивостей, захисті їх від корозії, захисту від агресивного середовища. Основна перевага сплаву олово-вісмут, в порівнянні із суто олов'яним полягає в тому, що добавка вісмуту дуже

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						1
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

вагомо знижує швидкість росту віскерів на покритті, що збільшує робочий температурний діапазон деталі та термін її зберігання у робочому стані.

### 1.3 Електроліти для нанесення сплаву олово- вісмут

Вибір електроліту для нанесення покриття залежить від наступних факторів, а саме:

- Від форми деталі. Складно профільовані деталі вимагають високої розсіювальної здатності, для того, щоб покриття осаджувалось рівномірно та без локальних дефектів.
- Від режиму електролізу. Вибір може бути обумовлений неможливістю працювати за високих густин струму, або потребою в максимально швидкому нанесенню покриття
- Від екологічних причин. Деякі електроліти мають дуже високу токсичність, тому працювати з ними без наявності відповідних засобів захисту та очисних споруд – неможливо
- Від економічних причин. Електроліт – основний витратний матеріал в процесі нанесення гальванічного покриття, тому його ціна є одною з основних витрат в процесі виробництва, а її значення і обумовлює доцільність або недоцільність використання саме цього електроліту

Комплексні електроліти олов'янування розповсюджені, але їх використання є не зовсім доцільним, оскільки вони мають дуже вагомні недоліки порівняно із сульфатним. Розглянемо станатний електроліт.

Олово в таких електролітах знаходиться у вигляді комплексу  $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$

Ступінь окиснення олова в цьому комплексі у вигляді йона зі ступенем окиснення 4+. Цей комплекс досить стійкий, виділення олова відбувається із значною поляризацією, внаслідок чого осад отримується дрібнокристалічним і рівномірним за товщиною. Отже, переваги станатного електроліту:

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						1
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

- Простота приготування та складу. При використанні готових компонентів: станат розчиняють в підлогуваній воді, а потім додають розчинений ацетат натрію, або отримують станат із SnCl<sub>4</sub>:

$\text{SnCl}_4 + 6 \text{NaOH} = \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + 4\text{NaCl}$ , розчин фільтрують, потім додають інші компоненти

- Висока якість отриманих покриттів

Недоліками виступають наступні властивості електроліту:

- Низька продуктивність, робоча густина струму становить 0,5...1,5 А/дм<sup>2</sup>, а вихід за струмом 60...75%, це пов'язано з активним виділенням водню на катоді
- Необхідне нагрівання електроліту. Режим електролізу станатного електроліту передбачає нагрівання до 60...80°C. При кімнатній температурі вихід за струмом ще менше.
- В електроліті наявні станітні іони, вони не міцні, концентрація їх невелика, але їх відновлення на катоді, при граничній густині струму, погіршує структуру осаду, він становиться крупнокристалічним і губчастим. Також станітні комплекси можуть викликати утворення в електроліті порошкоподібного олова та його оксиду, які можуть заноситися на катод.
- Пасивація анодів, потреба в їх формуванні. При зануренні олова в електроліт і незначній анодній поляризації іде утворення  $[\text{Sn}(\text{OH})_4]^{2-}$ , при збільшенні поляризації (густини струму) утворюється  $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$  при цьому анод покривається жовтувато-зеленою плівкою, тому що він частково пасивується ( $i_a = 3...4 \text{ А/дм}^2$ ). Якщо ще збільшувати густину струму, то утворюється плівка чорного кольору – анод повністю пасивується і на його поверхні перебігає реакція:  $4\text{OH}^- = \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$ . Для запобігання пасивації, напругу витримують у діапазоні 3,5...4В.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	Лист
						1
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Для нанесення сплаву олово-вісмут використовують сульфатний електроліт. Вісмут в електроліті потрібен для того, щоб запобігати переходу олова в іншу модифікацію, із наступним його руйнуванням. Також добавка вісмуту збільшує корозійну стійкість покриття та знижує швидкість росту віскерів. Використання саме сульфатного електроліту, а не інших, по типу фторборатних, фенол-сульфонових або комплексних, зумовлено тим, що із сукупності характеристик – сульфатний має майже всі переваги, та не має особливих недоліків. Додаткове обмеження у виборі електроліту накладає вісмут. Солі вісмуту утворюють нерозчинні гідроксиди у лужних електролітах, тому їх використання при нанесенні сплаву – неможливе.

Переваги сульфатного електроліту для нанесення сплаву олово-вісмуту наступні:

- Високий вихід за струмом, що становить 90...98%;
- Низька собівартість електроліту, порівняно із фторборатним і комплексними;
- Простий склад, із доступними компонентами, легкий в приготуванні
- Стабільний
- Блискучі покриття, отримані з такого електроліту мають більш високі захисні властивості порівняно з матовими
- Блискучі покриття зберігають здатність до пайки після тривалого часу зберігання
- Достатньо екологічний.

Але недоліки також присутні, а саме:

- Низька допустима густина струму (до 2 А/дм<sup>2</sup>), при оптимальній густині струму в 1 А/дм<sup>2</sup>, швидкість осадження дорівнює 0,43 мкм/хв.
- Висока залежність якості покриття від ПАР. Це пов'язано з тим, що перенапряга виділення олова дуже низька (до 10 мВ), тому осади без

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						1
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПАР утворюються крупнокристалічними та губчастими. Із додаванням ПАР типу клею, синтанолу, або ОС-20 – перенапряга значно зростає, тому структура осаду покращується, покриття осаджується щільним і дрібнокристалічним.

#### 1.4 Основні технологічні процеси

Технологічний процес нанесення покриття починається із попередньої обробки та підготовки поверхні деталі до осадження. На різних підприємствах, деякі операції можуть відрізнитись, але основні процеси усюди однакові.

Підготовка поверхні відбувається механічними, хімічними та електрохімічними способами. Обробка поділяється на наступні типи:

- Обробка поверхні, щодо видалення об'ємних поверхневих дефектів, пов'язаних із порушеннями матеріальної цілісності деталі (окаліни, тріщини, глибокі царапини, вм'ятини та інше), або коригування мікрорельєфу.
- Обробка поверхні, щодо видалення жирових забруднень, які могли залишитись після зберігання (мастил, консервантів), або попередньої обробки (від рук)
- Обробка поверхні, щодо видалення оксидних плівок з деталі

Попередня обробка потрібна для того, щоб покриття мало кращу адгезію, для збільшення витривалості та терміну придатності деталі. Обробка поверхні - одна з основних складових нанесення покриття, тому виконують наступні операції:

Механічна обробка – виконується додатковим обладнанням або вручну [11]. Сутність процесу полягає в видаленні поверхневих дефектів з деталі. Може бути виконано шліфуванням, крацюванням, струминною обробкою Шліфування може виконуватись як грубо (великий абразив) так і м'яке

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						1
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

(полірування). Різниця полягає у використанні абразивів різної шорсткості, у легкому шліфуванні використовується дрібнодисперсний абразив, який усуває дуже малі подряпини, сколи, а при грубому використовується крупнозернистий абразив, що знімає верхній шар поверхні. Вибір типу шліфування залежить від характеру поверхневого стану деталі.

При крацюванні використовують щітки на шліфувально-полірувальних станках або ручний інструмент. Щітки можуть бути виготовлені з металічного дроту, капрону або інших волокон. Цей метод підготовки поверхні часто використовують для покращення механічних характеристик поверхні.

Метод струминної обробки полягає у випусканні абразивного матеріалу із великою швидкістю на поверхню деталі (піскоструменева обробка).

На підприємстві, механічною обробкою деталі займаються в спеціалізованих цехах, тому на процес нанесення покриття, деталь надходить обробленою.

Видалення жирових забруднень може відбуватись як хімічно, так і електрохімічно. Хімічний метод полягає у зануренні деталі в спеціальний розчин, де буде проходити реакція омилення, внаслідок якої з поверхні деталі будуть видалятися жирові забруднення [9]. Хімічний метод використовується для видалення великої кількості жирових забруднень, наприклад для консерваційних мастил, якщо деталь не має великої забрудненості, використання цього методу є недоцільним. Для деталей, попередньо механічно оброблених, використовують електрохімічне знежирення. Це зумовлено тим, що разом із механічною обробкою, деталь проходить цикл повного видалення крупних органічних забруднень. При катодній чи анодній поляризації знижується поверхневий натяг на межі фаз, жирова плівка руйнується і збирається у вигляді окремих крапель

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						1
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

жиру, які легше видаляються з поверхні. Водень чи кисень, які виділяються на відповідних електродах, сприяють відриву крапель жиру від поверхні деталей. Водню на катоді виділяється вдвічі більше, ніж кисню на аноді, тому швидкість знежирення на катоді значно вища. Але водень в атомарному стані може проникати в поверхневий шар металу і викликати водневу крихкість, тому для сталі використовують катодно-анодну обробку: спочатку катодну, для того, щоб швидко видалити велику кількість забруднень, а після – анодну, щоб запобігти адсорбуванню водню. Електроліт для знежирення має наступний склад:

$\text{NaOH} - 10 \dots 20 \text{ г/дм}^3$

$\text{Na}_2\text{CO}_3 - 20 \dots 30 \text{ г/дм}^3$

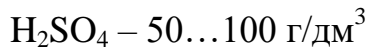
$\text{Na}_3\text{PO}_4 - 30 \dots 50 \text{ г/дм}^3$

Знежирення проводять за густини струму  $i = 2 \dots 10 \text{ А/дм}^2$ , температура  $t = 60 \dots 80 \text{ }^\circ\text{C}$ , час обробки  $\tau = 15 \dots 25 \text{ хв.}$  (катодне  $3 \dots 15 \text{ хв.}$ , анодне  $1 \dots 10 \text{ хв.}$ ) За такий проміжок часу, із поверхні знімаються майже усі жирові забруднення, що дуже покращує подальшу адгезію покриття.

Наступною операцією після знежирення є травлення або активація. Цей процес потрібен для зняття оксидних плівок з поверхні деталі. Наявність цих плівок погіршує адгезію покриття, а іноді навіть може повністю завадити осадженню, тому процес травлення є також обов'язковим в процесі нанесення олово-вісмут. Травлення, як і знежирення, може виконуватись як хімічно, так і електрохімічно. Процес хімічного травлення полягає у розчиненні оксидів металів з поверхні деталі в кислоті, найчастіше в хлоридній чи сульфатній. Сульфатна кислота більш розповсюджена, тому що вона дешевша за хлоридну та не летка. При електрохімічному травленні сутність аналогічна, але виділення водню під час електролізу – інтенсифікує процес розчинення та винесення оксидів. При цьому треба пам'ятати, що кожен електрохімічний процес, на відміну від хімічного, вимагає додаткових витрат енергії. На підприємстві,

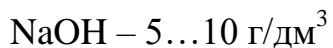
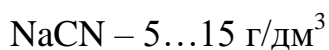
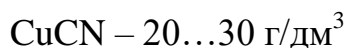
					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						1
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

такі витрати енергії недоцільні, тому травлення виконується хімічним методом. Склад розчину травлення:



Травлення відбувається за кімнатної температури  $t = 18 \dots 25^\circ\text{C}$ , час обробки  $\tau = 1 \dots 2$  хв.

Для нанесення сплаву олово-вісмут на сталеві деталі, спочатку наносять підшар міді. Це потрібно для кращої адгезії основного покриття. При нанесенні міді на сталеві деталі може відбуватись контактний обмін, що може повністю зруйнувати покриття із часом. Для запобігання цього використовують ціаністий електроліт міднення. В ціаністих електролітах, потенціал міді зміщується в бік більш негативних значень, внаслідок знаходження міді у складі комплексних іонів, ступінь дисоціації яких є дуже малою, тому потенціал виділення міді від'ємніший за потенціал у сульфатному електроліті приблизно на  $0,9 \dots 1,2$  В. Велика катодна поляризація дозволяє отримати дрібнокристалічний осад. Склад електроліту для нанесення підшару міді:



Режим електролізу: густина струму  $i = 0,7 \dots 2 \text{ А/дм}^2$ , температура  $t = 18 \dots 25^\circ\text{C}$ , швидкість осадження  $1 \text{ мкм}$  покриття дорівнює  $6$  хв. при  $i = 0,5 \text{ А/дм}^2$ .

Нанесення сплаву олово-вісмут супроводжується деякими особливостями. Перше – використання поштовху струму. В перші  $10\text{с}$  густина струму повинна бути у два рази більшою за розраховану. Друге – не залишати в електролізері деталі та аноди без проходження струму. Це зумовлено тим, що вироби з олова потребують подальшої пасивації. Третє – аноди повинні бути в чохлах із тканини. Це потрібно для запобігання пасивації та непотрапляння анодного шламу в об'єм електроліту. Четверте

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	Лист
						1
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

– формування анодів. Попередня обробка анодів потрібна для правильної роботи електролізера. Склад електроліту для нанесення покриття олово - вісмут:

$\text{SnSO}_4 - 40 \dots 60 \text{ г/дм}^3$

$\text{H}_2\text{SO}_4 - 95 \dots 140 \text{ г/дм}^3$

$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 - 0,5 \dots 1,5 \text{ г/дм}^3$

$\text{NaCl} - 0,3 \dots 0,8 \text{ г/дм}^3$

$\text{OC-20} - 3 \dots 5 \text{ г/дм}^3$

Режим електролізу: густина струму  $i=0,5 \dots 2 \text{ А/дм}^2$ , температура  $t=20 \dots 25^\circ\text{C}$ , швидкість осадження 1 мкм покриття дорівнює 2,3 хв. при  $i=1 \text{ А/дм}^2$ .

Промивання - операція видалення залишків електролітів, пилу, сторонніх частинок із поверхні деталі. Виконується після кожної операції. Буває 3 типів: холодне, тепле та гаряче. Холодне ( $0^\circ\text{C} \dots 35^\circ\text{C}$ ), тепле ( $35^\circ\text{C} \dots 55^\circ\text{C}$ ), гаряче ( $55^\circ\text{C} \dots 100^\circ\text{C}$ ). Після знежирення промивання виконується спочатку теплою водою, потім холодною. На підприємстві, де проходила практика, промивання виконується лише холодною водою температурою  $18^\circ\text{C} \dots 25^\circ\text{C}$

Сушіння деталі потрібно для видалення вологи та залишків електроліту з її поверхні. Виконується як завершальна операція шляхом пропускання гарячого повітря.

### 1.5 Брак та неполадки при електролізі

Брак – наявність критичного дефекту на деталі, що унеможлиблює її використання у звичайному режимі. Брак може з'являтися і у найсучаснішому виробництві, тому що ідеальних механізмів, методів обробки, методів контролю якості не існує, тому дуже важливо мінімізувати наявність браку на підприємстві. Бракована може бути як

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						2
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

деталь, так і електроліт або будь-яка інша складова підприємства задіяна у виконанні певних операцій під час нанесення покриття. Брак деталі, як правило, може бути виправлений її заміною, тому що її локальний ремонт на стадії обробки, зумовить подальшу невідповідність заявлених характеристик, але якщо дефекти незначні, то деяка обробка може відновити її задану якість. Брак покриття, на відміну від браку деталі, можливо легко виправити шляхом його зняття і наступним його нанесенням за інших умов, попередньо усунувши фактори його браку, таких як невідповідність концентрацій складових електроліту, несправність джерела струму або струмопідводів, забруднення ванни сторонніми речовинами.

Неполадки в сульфатних електролітах нанесення олово-вісмут бувають наступні:

- Покриття наноситься темним. Причиною є домішки солей міді та/або арсену. Усунути це можна опрацюванням деталі при 3...4 А/дм<sup>2</sup> та додаванням до електроліту порошку олова.
- Покриття осаджується губчастим, крупнокристалічним, дендритоподібним. Причиною є недостатня кількість поверхнево активних речовин в електроліті. Усувається додаванням ПАР (ОС-20).
- Осад має велику шорсткість. Причиною є наявність механічних забруднень в електроліті. Усувається фільтруванням електроліту.
- Покриття осаджується рихлим, на кутах з'являється підгар. Причиною є висока густина струму, мала концентрація Sn<sup>2+</sup>, великий вміст домішок нітрат йонів. Усувається корегуванням режиму електролізу, підвищенням концентрації олова.
- Помутніння електроліту та утворення осаду на дні ванни. Причиною є мала концентрація кислоти в електроліті. Усувається додаванням відповідної кількості кислоти.

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		2

- Почорніння та газовиділення на анодах. Причиною є їх пасивація або наявність домішок свинцю. Усувається заміною анодів.
- Неоднорідний колір покриття на деталях одного підвісного пристрою. Причиною є розшарування електроліту та як наслідок неоднорідністю концентрації олова в на різних глибинах ванни. Усувається перемішуванням електроліту.

Видалення покриття олово-вісмут із підшару міді здійснюється наступними способами:

- Хімічним. Шляхом занурення в розчин із наступним складом:

$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  75...100 г/л;

$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  135...160 г/л;

$\text{CH}_3\text{COOH}$  175г/л;

Видалення покриття відбувається за температури 20...35°C.

- Електрохімічним. Виконується шляхом електролізу на аноді в розчині лугу.

Концентрація  $\text{NaOH}$  120г/л. Режим електролізу:  $i_a = 5...10 \text{ А/дм}^2$ ;  $t^\circ = 20...80^\circ\text{C}$ ;  $U = 6\text{В}$ .

## 1.6 Контроль якості покриття

Контроль якості може проводитись як безпосередньо під час нанесення покриття так і після завершальної обробки. Контроль якості поділяють на руйнівний та неруйнівний методи. Руйнівні методи полягають в нанесенні ушкоджень деталі із нанесеним покриттям із метою визначення міцності зчеплення покриття із поверхнею, шляхом завдання шкоди поверхні деталі за допомогою спеціальних пристроїв. До руйнівних методів відноситься крацювання, нанесення сітки подряпин, та вигину (якщо деталь у вигляді тонкої пластини, дріт, тонкий стрижень). Неруйнівні методи полягають у

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						2
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

визначені якості та товщини покриття без ушкоджень деталі, тобто без приведення обробленої деталі до непридатного для експлуатації стану.

Види неруйнівних методів бувають наступні:

- Візуальний – огляд обробленої деталі без спеціальних приладів. Можна здійснювати постійно під час роботи. Допомагає усунути неполадки та визначити брак на стадії нанесення, що допоможе зберегти та не перероблювати інші деталі
- Інструментальний – вимірювання характеристик, таких як товщина, шорсткість, за допомогою спеціальних приладів. Так для виміру товщини можна використовувати штангенциркуль, а для шорсткості – профілометр.

При нанесенні сплаву олово-вісмут, візуальний контроль якості здійснюється гальваніком постійно під час його обробки. Кінцевий контроль якості виконується працівником спеціалізованого відділу візуально, пристроями (мікрометром або вихровим товщиноміром ТП-1) вимірюють характеристики товщини та шорсткості (пілометром), міцність зчеплення перевіряють методом крацювання металевими щітками 5% оброблених деталей(але не менше 3-х із циклу). В основі роботи товщиноміру лежить вихрострумний метод контролю, що передбачає генерацію зовнішнього електромагнітного поля, що наводить вихрові струми в об'єкті контролю. Інформація про товщину контрольованого виробу надходить на основі аналізу взаємодії зовнішнього та наведеного поля.

### 1.7 Технологічна карта

Таблиця 1.1 – Технологічна карта процесу гальванічного нанесення сплаву олово-вісмут

№		Склад розчину і концентрація	Режим електролізу
---	--	------------------------------	-------------------

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		2

	Операція	Найменування та хімічна формула компонентів	г/дм <sup>3</sup>	Час обробки, хв	Температура, °С	Густина струму, А/дм <sup>2</sup>
010	Монтаж					
020	Електрохімічне знежирення	NaOH Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10...20 20...30 30...50	10...20	60...80	2...10

Продовження таблиці 1.1

030	Промивка теплою водою			0,25...0,5	40...59	
040	Промивка холодною проточною водою			0,25...0,5	18...25	
050	Травлення	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	50...100	2...5	18...25	
060	Промивка холодною проточною водою			0,25...0,5	18...25	
070	Активація	KCN	30...50	0,5...1	18...25	
080	Нанесення підшару міді	CuCN NaCN NaOH	20...30 5...15 5...10	20	18...25	0,7...2
090	Промивка водою в ванні уловлювання			0,25...0,5	18...25	
100	Промивка холодною проточною водою			0,25...0,5	18...25	
110	Нанесення покриття олово-вісмут	SnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> NaCl OC-20	40...60 95...140 0,5...1,5 0,3...0,8 3...5	21	18...25	0,5...2
120	Промивка водою в ванні уловлювання			0,25...0,5	18...25	
130	Промивка холодною проточною водою			0,25...0,5	18...25	
140	Промивка теплою водою			0,25...0,5	40...59	
150	Сушіння			10...20	50...70	
160	Демонтаж					
170	Контроль якості поверхні					

### 1.8 Основні технологічні розрахунки

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						2
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## 1.8.1 Виробнича робоча програма цеху і режим його роботи.

### Визначення дійсного фонду

Вихідними даними для визначення фонду часу роботи обладнання є режим роботи підприємства і неминучі втрати часу на ремонт і наладку обладнання[10]. Розрізняють номінальний річний фонд часу роботи обладнання ( $T_n$ ) і дійсний річний фонд часу роботи обладнання ( $T_d$ ).

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання  $T_n$  при переривчастому виробництві приймають рівним кількості календарних днів у році  $T_k$  за вирахуванням вихідних  $T_v$  та святкових  $T_c$  днів[10]. Для п'ятиденного 40-годинного робочого тижня при однозмінній роботі, годин:

$$T_n = \left( \frac{365 - (104 + 11) \cdot 40}{5} \right) \cdot 1 = 1992 \text{ год} \quad (1.1)$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання  $T_d$  визначають, виходячи із  $T_n$  з урахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання:

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 1992 - 0,02 \cdot 1992 = 1952,16 \text{ год} \quad (1.2)$$

При роботі немеханізованого, неавтоматизованого обладнання і стаціонарних ванн загальні втрати часу на простої обладнання, яке працює в одну зміну, складає 2%[10].

### 1.8.2 Визначення виробничої програми цеху

Для визначення річної виробничої програми  $P_p$  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[10]:

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 15000 + 0,01 \cdot 15000 = 15150 \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						2
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

Добова виробнича програма складає:

$$P_{\text{доб}} = P_p / T_{\text{доб}} = 15150 / 250 = 60,6 \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Годинна виробнича програма  $P_{\text{год}}$  визначається як:

$$P_{\text{год}} = P_p / T_d = 15150 / 1952,16 = 7,76 \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

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

Середня товщина покриття, яка приймається для проектних розрахунків:

$$\delta_n = 12 \text{ мкм}$$

Густина сплаву олово-вісмут (якщо концентрації солей металів приймати 50 г/л та 1 г/л відповідно):

$$d_{\text{Sn-Bi}} = \frac{100}{\frac{98}{7.3} + \frac{2}{9.79}} = 7.34 \text{ г/см}^3$$

Електрохімічний еквівалент олово-вісмут, г/А•год;

$$K_{\text{е.сп}} = \frac{1}{q_{\text{е.сп}}} = \frac{1}{\frac{98}{100 \cdot 2,21} + \frac{2}{100 \cdot 2,6}} = 2,22 \quad (3.1)$$

Тривалість електрохімічного осадження покриття:

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_{\text{Sn-Bi}} \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{V_c \cdot K_e \cdot i_k} = \frac{12 \cdot 7.34 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,95 \cdot 2,22 \cdot 1,2} = 21 \text{ хв} \quad (3.2)$$

Час обробки однієї завантажувальної одиниці:

$$\tau = \tau_m + \tau_{\text{об}} = 21 + 9 = 30 \text{ хв} \quad (3.3)$$

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

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						2
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

На основі дійсного річного фонду часу роботи обладнання  $T_d$  та тривалості обробки одного завантаження ванни  $\tau$  визначають кількість оброблюваних завантажень  $n$  [10]:

$$n = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = \frac{1952,16 \cdot 60}{30 \cdot 1,1} = 3549$$

(3.4)

де  $K_{об}$  – коефіцієнт, що враховує затрати часу на початковий запуск обладнання, кінцеве вивантаження з ванни і на допоміжні операції: для роботи в одну зміну  $K_{об} = 1,06 \dots 1,1$  [10].

Разове завантаження усіх ванн  $U_c$ , м<sup>2</sup>:

$$U_c = P_p / n = 15150 / 3549 = 4,269$$

(3.5)

#### 1.8.4 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

Знаючи габаритні розміри підвіски з деталями розраховуємо габаритні розміри гальванічної ванни.

Внутрішня довжина ванни  $l$ , м:

$$l = l_n + 2 \cdot l_1 = 1000 + 2 \cdot 250 = 1500 \text{ мм} = 1,5 \text{ м},$$

(4.1)

де  $l_n$  – довжина підвіски;

$l_1$  – відстань від краю підвіски до борта ванни

Внутрішня ширина ванни  $B$ , м:

$$B = B_n + 2 \cdot l_{a-n} + 2 \cdot B_a + 2 \cdot B_1 = 70 + 2 \cdot 100 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot 70 =$$

$$460 \text{ мм} = 0,46 \text{ м}$$

(4.2)

де  $l_{a-n}$  – відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями;

$B_n$  – товщина підвіски з деталями, м;

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		2

$V_a$  – товщина анодів, м (олов'яні аноди виливаються за потрібними розмірами у цеху – 8 мм);

$V_1$  – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, м.

Внутрішня висота ванни  $h$ , м:

$$h = h_n + h_1 + h_2 + h_3 = 800 + 150 + 50 + 100 = 1200 \text{ мм} = 1,2 \text{ м}$$

(4.3)

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.

Обираємо наступні параметри ванни:

- довжина –  $l = 1600$  мм
- ширина –  $B = 500$  мм
- висота –  $h = 1200$  мм

Поверхня однієї деталі:

$$S_{\text{дет}} = 0,3244 \text{ м}^2$$

Сумарна поверхня деталей, які завантажують на одну підвіску.

Кількість деталей, для разового завантаження:

$$S_n = S_{\text{дет}} * 8 = 0,3244 * 8 = 2,6 \text{ м}^2$$

(4.4)

$$S_{\text{оз}} = S_n * N_n = 2,6 * 1 = 2,6 \text{ м}^2$$

(4.5)

Кількість необхідних ван:

$$n_v = Y_c / S_{\text{оз}} = 4,269 / 2,6 = 1,64 \text{ шт} = 2 \text{ шт}$$

(4.6)

Річна продуктивність обладнання:

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						2
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$P'_p = n_b \cdot S_{oz} \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{ob}} = 2 \cdot 2,6 \cdot \frac{1952,16 \cdot 60}{30 \cdot 1,06} = 19153,27 \frac{M^2}{\text{рік}}$$

(4.7)

Коефіцієнт завантаження обладнання:

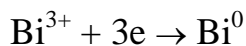
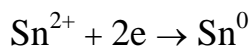
$$K_{зав} = \frac{P_p}{P'_p} = \frac{15150}{19153,27} = 0,8$$

(4.8)

### 1.8.5 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні

При нанесенні сплаву олово-вісмут у сульфатному електроліті на електродах перебігають наступні електрохімічні реакції:

На катоді:



На аноді:



За годину роботи можна повністю обробити 4 підвісок, звідси дійний час електролізу складає  $(30-9) * 4 = 84 \text{ хв} = 1,4 \text{ год}$

Сила струму на клемах олов'янування:

$$I = K * i_k * S_n = 1,03 * 1,2 * 260 = 321 \text{ А} \quad (5.1)$$

Питомі витрати електрики для сплаву:

$$q_{сп} = 1/ke_{Sn} * P_{Sn} + 1/ke_{Bi} * P_{Bi} = ((1 / 2,21) * 0,98) + ((1 / 2,6) * 0,02) = 0,45$$

(А\*год)/Г

(5.2)

Частка струму на нанесення олов'яного компоненту:

$$V_{c_{Sn}} = ([1/2,21] * 0,98) / 0,45 * 100\% = 98,54\%$$

(5.3)

$$V_{c_{Bi}} = 100 - 98,54 = 1,46\%$$

(5.4)

Дійсний час електролізу 2 підвісок за годину 0.7 год

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		2

На катоді:

$$Q_{kSn} = (I \cdot \tau \cdot V_c) / 100 = 321 \cdot 1,4 \cdot 0,98 = 440,41 \text{ А} \cdot \text{год} \quad (5.5)$$

$$Q_{kBi} = (I \cdot \tau \cdot V_c) / 100 = 321 \cdot 1,4 \cdot 0,02 = 8,99 \text{ А} \cdot \text{год} \quad (5.6)$$

На аноді:

$$Q_{kBi} = (I \cdot \tau \cdot V_c) / 100 = 321 \cdot 1,4 \cdot 1 = 449,4 \quad (5.7)$$

Таблиця 1.2. – Баланс кількості електрики

Надходження	Q; А • год	%	Витрати	Q; А • год	%
Від зовнішнього джерела на катоді	449,4	100	На відновлення олова	440,41	97,99
			На відновлення вісмуту	8,99	2,01
Разом	449,4	100	Разом	449,4	100
Від зовнішнього джерела на аноді	449,4	100	Окиснення олова	449,4	100
Разом	449,4	100	Разом	449,4	100

### 1.8.6 Баланс напруги

Напруга на ванні складається з різниці електродних потенціалів під струмом, омичного падіння напруги в електроліті, у провідниках першого роду (електродах, струмопідводах у ванні, штангах) та в контактах[10].

Баланс напруги процесу розраховують за формулою:

$$U_B = E_a - E_k + \Delta U_{Om \text{ Ел-т}} + \Delta U_{Om \text{ Ір}} + \Delta U_{Om \text{ к}} = \Delta E_i + \Sigma \Delta U_{Om} \quad (6.1)$$

Різниця потенціалів:

$$\Delta E = E_a - E_k = 0,15 - (-0,5) = 0,65 \text{ В}$$

(6.2)

Середня густина струму:

$$i_{cp} = \sqrt{i_k * i_a} = \sqrt{1,2 * 3} = 1,9 \text{ А/дм}^2 \quad (6.3)$$

Омічне падіння напруги:

$$\Delta U_{om} = i_{cp} * l_{a-k} / \chi = 1,9 * 1 / 0,44 = 4,14 \text{ В} \quad (6.4)$$

Сума падіння напруги на електродах та контактах:

$$\Delta U_1 + \Delta U_k = 0,1(E_a - E_k + \Delta U_{om}) = 0,1 * (0,65 + 4,14) = 0,479 \text{ В}$$

(6.5)

$$U = 1,1(E_a - E_k + \Delta U_{om}) = 1,1 * (0,65 + 4,14) = 5,269 \text{ В}$$

(6.6)

Мінімальна напруга  $U_{dc}$

$$U_{dc} = 1,1 U = 1,1 * 5,269 = 5,8 \text{ В}$$

(6.7)

Таблиця 1.3. – Баланс напруги

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ваннах	5,269	100	Різниця потенціалів	0,65	12,34
			Омічне падіння	4,14	78,57
			Падіння в електродах і контактах	0,479	9,09
Разом	5,269	100	Разом	5,269	100

### 1.8.7 Вибір джерела живлення електричним струмом для електрохімічних ванн

$$N_{dc} = UI 10^{-3} = 5,269 * 321 * 10^{-3} = 1,69 \text{ кВт} \quad (7.1)$$

Враховуючи потрібну силу струму і напругу, за заданими параметрами обираємо випрямляч ТЕ1-400/12Т

$$\text{Потужність приладу} = 400 * 12 * 10^{-3} = 4,8 \text{ кВт}$$

$$K = 1,69 / 4,8 = 0,35 \quad (7.2)$$

### 1.8.8 Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії на електрохімічних ваннах

$$W_{\text{заг}} = U * I * \tau * 3600 * 10^{-3} = 5,269 * 321 * 0,35 * 3600 * 10^{-3} = 2131 \text{ кДж} \quad (8.1)$$

Для гальванічних процесів, які ідуть із розчинними анодами з виходом за струмом на катоді і аноді, близьким до 100%, я перетворюється в теплову енергію[10]:

$$W_{\text{заг}} \approx W_{\text{Дж}}$$

Таблиця 1.4. – Баланс енергії

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	2131	100	Джоулева теплота	2131	100
			Хімічна енергія	0	0
Разом	2131	100	Разом	2131	100

### 1.8.9 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної виробничої програми

$$W = W_e + W_{\text{об}} + W_c + W_g \quad (9.1)$$

де  $W_e$  – витрати електроенергії на електроліз, кВт·год;

$W_{\text{дв}}$  – витрати електроенергії на живлення двигунів барабанних електролізерів та пристроїв хитання катодних штанг, кВт·год;

$W_c$  - витрати електроенергії сушильної камерою, кВт·год;

$W_e$  - витрати електроенергії двигуном загальної вентиляції, кВт·год.

$$W_e = \frac{I \cdot U_i \cdot \tau \cdot N_{\text{ОЗ}}}{1000 \cdot 0,82} = \frac{321 \cdot 5,269 \cdot 0,35 \cdot 3255,96}{1000 \cdot 0,82} = 2350,53 \text{ кВт*год} \quad (9.2)$$

### 1.8.10 Розрахунок витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму

Визначимо кількість теплоти, яку витрачають на підтримування необхідного теплового режиму (18-25 °С) під час електролізу з урахуванням джоулевої теплоти, яка при цьому виділяється.

Деякі параметри гальванічної ванни олов'янування

- довжина – 1,6 м;
- ширина – 0,5 м;
- висота – 1,2 м;
- Об'єм ванни – 0,9 м<sup>3</sup>;
- густина поліпропілену  $\rho_B = 1,4 \text{ г/см}^3$  або 1400 кг/м<sup>3</sup>;
- товщина стінок ванни 40 мм або 0,04 м.

$$m_2 = ((1,6 \cdot 0,5) \cdot 0,04) + ((1,2 \cdot 1,1 \cdot 2) \cdot 0,04) + ((0,5 \cdot 1,1 \cdot 2) \cdot 0,04) \cdot 1400 = 257,32 \text{ кг}$$

(10.1)

Об'єм електроліту:

$$V_1 = K \cdot V_B = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72 \text{ м}^3$$

Максимально можлива температура розігріву:

$$T_k = 293 + \frac{W_{\text{Дж}}}{V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3}$$

(10.2)

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де,  $V_1$ ,  $C_1$ ,  $d_1$  – відповідно об'єм, питома масова теплоємність (4030 Дж/(кг·К)) і густина (1,14 кг/дм<sup>3</sup>) електроліту;  $C_2$  - теплоємність матеріалу корпусу ванни, для вініпласту близько 1470 Дж/(кг·К);  $C_3$  – теплоємність матеріалу анода (127,5 Дж/(кг·К));  $m_2$ ,  $m_3$ , - маса ванни і анодів у ванні.

Співвідношення площі аноду до катоду 1:1,5, отже  $S_a = 6,4 \text{ м}^2$ ;  $m_3 = 7,8 \text{ кг}$

$$T_k = 293 + \frac{2131000}{0,72 \cdot 4030 \cdot 1140 + 1470 \cdot 257,32 + 127,5 \cdot 7,8} = 293,57 \text{ К}$$

(10.3)

### 1.8.11 Розрахунок витрат анодів

Витрати анодів на запуск нового обладнання:

$$G_{аз} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_v \cdot h_v \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot n_v$$

(11.1)

де  $K_1$  – коефіцієнт, який враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймаємо  $K_1 = 0,6$ );  $K_2$  – коефіцієнт, який враховує співвідношення анодів та висоти ванни (приймаємо  $K_2 = 0,8$ );  $n_{аш}$  – кількість анодних штанг у ванні (2 шт);  $l_v$  – внутрішня довжина ванни, 1,6 м;  $h_v$  – внутрішня висота ванни, 1,2 м;  $d_a$  – густина олов'яних анодів, 7310 кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_a$  – товщина катодів, 0,02 м;  $n_v$  – кількість ванн даного типу, 2 шт.

$$G_{аз} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 1,1 \cdot 0,02 \cdot 7310 \cdot 2 = 494,04 \text{ кг}$$

(11.2)

### 1.8.12 Витрати анодів на виконання річної виробничої програми

Витрати розчинних анодів  $G_{ар}$  визначають за формулою:

$$G_{ар} = S \cdot A_p \cdot \delta_{п}$$

(12.1)

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де  $S$  – сумарна площа нанесеного покриття при виконанні річної програми,  $\text{м}^2$ ;  $\delta_{\text{п}}$  – товщина покриття в мікрометрах;  $A_{\text{р}}$  – норма витрат нерозчинних катодів,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;

$$A_{\text{р}} = 7200 \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6} = 0,0076 \text{ кг}/\text{м}^2 \quad (12.2)$$

Величину  $S$  визначають за формулою:

$$S = P_{\text{р}} \cdot S_{\text{покp}} = 15150 \cdot 0,3244 = 4914,66 \text{ м}^2 \quad (12.3)$$

Витрати розчинних анодів:

$$G_{\text{ар}} = 4914,66 \cdot 0,0076 \cdot 12 = 448,22 \text{ кг} \quad (12.4)$$

Сумарна витрата анодів:

$$\Sigma G_{\text{р}} = \Sigma G_{\text{аз}} + G_{\text{ар}} \quad (12.5)$$

$$\Sigma G_{\text{р}} = 741,06 + 448,22 = 1189,28 \text{ кг}$$

### 1.8.13 Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати компонента електроліту  $G_i$  (кг) визначається за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} \quad (13.1)$$

де  $C_i$  – концентрація відповідного електроліту,  $\text{кг}/\text{м}^3$  або  $\text{л}/\text{м}^3$ ;  $V_{\text{в}} = 0,72 \text{ м}^3$  – об'єм ванни,  $\text{м}^3$ ;  $K_{\text{зап}} = 0,8$  – коефіцієнт заповнення ванни;  $n_{\text{в}} = 2$  – кількість ванн даного типу.

Для запуску обладнання електроосадження покриття олово-вісмут витрати реагентів складають:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 120 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 = 172,8 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Bi(NO}_3)_3} = 1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 = 1,44 \text{ кг}$$

$$G_{\text{SnSO}_4} = 50 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 = 72 \text{ кг}$$

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		3

$$G_{\text{NaCl}} = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 = 0,58 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Препарат ОС-20 марки "В"}} = 4 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 = 5,76 \text{ кг}$$

Для запуску обладнання електрохімічного знежирення витрати реагентів складають:

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ техн.}} = 25 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 18 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}} = 40 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 28,8 \text{ кг}$$

$$G_{\text{NaOH}} = 15 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 10,8 \text{ кг}$$

Для запуску обладнання травлення витрати реагентів складають:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 100 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 72 \text{ кг}$$

### 1.8.14 Витрати компонентів на виконання річної виробничої програми

Розрахунок витрат компонента здійснюється за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вТ}} \quad (14.1)$$

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

Величину  $V_{\text{вТ}}$  можна визначити як:

$$V_{\text{вТ}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 15150 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 1,74 \text{ м}^3 \quad (14.2)$$

де  $S$  – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік,  $\text{м}^2$ ; коефіцієнт 1,15 – враховує площу занурюваної частини підвісок;  $A_e$  – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ .

Для річної програми електроосадження покриття олово-вісмут витрати реагентів складають:

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 120 \cdot 1,74 = 208,8 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3} = 1 \cdot 1,74 = 1,74 \text{ кг}$$

$$G_{\text{SnSO}_4} = 50 \cdot 1,74 = 87 \text{ кг}$$

$$G_{\text{NaCl}} = 0,4 \cdot 1,74 = 0,696 \text{ кг}$$

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$G_{\text{Препарат ОС-20 марки "В"}} = 4 \cdot 1.74 = 6.96 \text{ кг}$$

Для річної програми електрохімічного знежирення витрати реагентів складають:

$$G_{Na_2CO_3 \text{ техн.}} = 25 \cdot 1.74 = 43.5 \text{ кг};$$

$$G_{Na_3PO_4 \cdot 12H_2O} = 40 \cdot 1.74 = 69.6 \text{ кг};$$

$$G_{NaOH} = 15 \cdot 1.74 = 26.1 \text{ кг}.$$

Для річної програми травлення витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 100 \cdot 1.74 = 174 \text{ кг};$$

### 1.8.15 Розрахунок витрат води

При виконанні річної виробничої програми вода витрачається на приготування електролітів та розчинів, на розкладання внаслідок електролізу, на випаровування з поверхні електроліту, на промивні операції[10].

Витрати води  $G'_{H_2O}$  (кг) визначаються за формулою:

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

(15.1)

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

Величину  $C_{H_2O}$  можна визначати за формулою:

$$C_{H_2O} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n), \quad (15.2)$$

де  $d_{\text{ел}}$  – густина електроліту, 1120 кг/м<sup>3</sup>;  $C_1, C_2 \dots C_n$  – вміст компонентів в електролітах, кг/м<sup>3</sup>.

Вміст води в одному м<sup>3</sup> електроліту олов'янування:

$$C_{H_2O} = 1120 - (120 + 1 + 50 + 0,4 + 4) = 944.6 \text{ кг/м}^3.$$

Сумарні витрати електроліту знаходять за формулою:

$$V_{\text{заг}} = V_B \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_B + V_{\text{вт}} \quad (15.3)$$

де  $V_B$  – об'єм ванни, 0,9 м<sup>3</sup>;

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$n_{\text{в}}$  – кількість ванн, 2 шт;

$V_{\text{вт}}$  – об'єм електроліту, винесеного деталями,  $1,74 \text{ м}^3$ .

$$V_{\text{заг}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 + 1,74 = 3,18 \text{ м}^3.$$

Тоді витрати води на приготування електроліту олов'янування олово-вісмутом:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 944,6 \cdot 3,18 = 3003,8 \text{ кг} = 3003,8 \text{ л}$$

### 1.8.16 Витратами води на випаровування з поверхні електроліту

Знехтуємо, оскільки ванна працює за температури, яка не перевищує  $25 \text{ }^\circ\text{C}$   
[10]

### 1.8.17 Витрати води на промивні операції

Витрати води на промивні операції залежить від кількості ступенів промивки.

При одноступеневій промивці способом занурювання погодинні витрати води складають:

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

(16.4)

де  $A_e = 0,12$  – норма виносу розчину з ванни поверхнею деталей;  
 $P_{\text{год}} = 7,76 \text{ м}^2/\text{год}$  – годинна програма ванни;  $K$  – критерій остаточної промивки деталей.

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

(16.5)

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де  $C_0$  – концентрація основного компонента в ванні, після якої проводиться промивка, г/дм<sup>3</sup>;  $C_k$  – гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивки, г/дм<sup>3</sup>.

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,5, \text{ дм}^3$$

(16.6)

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

### 1.8.18 Витрати води на промивні операції після електрохімічного знежирення

Концентрація основного компоненту  $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$  – 40 г/л

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

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{40}{0,1} = 400$$

(17.1)

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 400 \cdot 7,76 = 372,48 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 372,48 \cdot 1952,16 \cdot 1,5 = 1090710,83 \text{ дм}^3.$$

### 1.8.19 Витрати води на промивні операції після травлення

Концентрація основного компоненту ( $H_2SO_4$ ) — 100г/л.

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

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

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 1000 \cdot 7,76 = 931,2 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 931,2 \cdot 1952,16 \cdot 1,5 = 2726777,09 \text{ дм}^3.$$

### 1.8.20 Витрати води на промивні операції після олов'янування

Концентрація основного компоненту ( $SnSO_4$ ) — 50 г/л.

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання: 0,01 г/л.

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{50}{0,01} = 5000$$

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 5000 \cdot 7.76 = 4656 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 4656 \cdot 1952.16 \cdot 1,5 = 13633885.44 \text{ дм}^3.$$

### 1.8.21 Загальна витрата води

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

$$V_{\text{загал. сума}} = 13633885.44 + 2726777.09 + 1090710.83 + 3003,828 = 17454376.08 \text{ дм}^3 = 17454,8 \text{ м}^3$$

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						4
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2.АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ

### 2.1 Аналіз технологічного процесу нанесення покриття сплавом олово-вісмут як об'єкта автоматизації

На підставі аналізу технологічного процесу нанесення покриття сплавом олово – вісмут на сталеві деталі необхідно забезпечити наступний рівень автоматизації відділення:

- Контроль температури розчину електроліту в гальванічній ванні;
- Контроль та регулювання рівня електроліту в гальванічній ванні;
- Контроль рівня розчину електроліту в ємності розчину електроліту;
- Контроль сили струму та напруги в гальванічній ванні.

Кількісні значення параметрів контролю та керування занесено до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Параметри контролю та керування відділенням

№	Назва стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Назва контрольованого чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	Гальванічна ванна	Температура	18...25 °С	контроль,
2	Ємність розчину електроліту	Рівень	0,8 м	контроль,
3	Гальванічна ванна	Рівень	0,8 м	контроль, регулювання
4	Гальванічна ванна	Сила струму та напруга	I = 321 А; U = 6 В	контроль

### 2.2 Опис розробленої схеми автоматизації

Схема контролю та керування процесом нанесення покриття сплавом олово – вісмут містить контури автоматичного контролю та регулювання параметрів.

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						4
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Контроль температури розчину в ємності з електролітом здійснюють за допомогою контуру 1, що складається з електричного термодетектора опору (1-1), автоматичного показувального та реєструвального вторинного приладу (1-2).

Контроль та регулювання рівня розчину електроліту в ванні здійснюють за допомогою контуру 2, що складається з електричного буйкового рівнеміра (2-1), автоматичного показувального та реєструвального вторинного приладу (2-2). мікропроцесорного регулятора (2-3) та сідельного клапану (2-4)

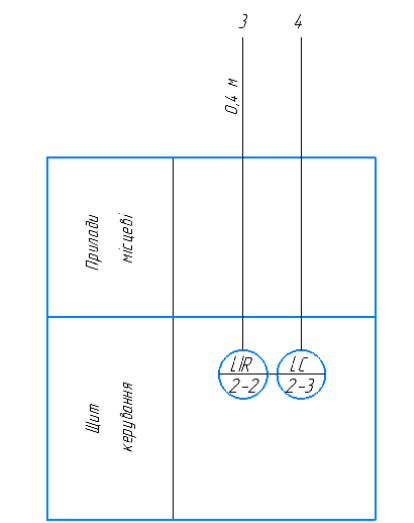
Контроль рівня розчину електроліту в баку розчину електроліту здійснюють за допомогою контуру 3, що складається з електричного буйкового рівнеміра (3-1), автоматичного показувального та реєструвального вторинного приладу (3-2).

Контроль сили струму та напруги на ванні здійснюють за допомогою контуру 4, що складається з випрямного пристрою (4-1)

Специфікацію устаткування, виробів і матеріалів наведено в додатку А.

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						4
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2.3 Розрахунок похибок вимірювального каналу[4]



**Комплект технічних засобів:** 2-1 – рівнемір буйковий електричний УБ-Е; 2-2 – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад А100-Н.

1. Структурну схему розробленого контура представимо у вигляді:



Використані позначення: РБ – рівнемір буйковий; ЛЗ – лінія зв'язку; ПРВП – показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

2. Виходячи з умов завдання, структурні елементи схеми виберемо з такими характеристиками:

- рівнемір буйковий електричний УБ-Е з допустимою основною похибкою 1,5 %;
- лінії зв'язку (ЛЗ) класу точності 0,4;
- автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад А100-Н з похибкою  $\pm 0,5\%$ .

2.1. Граничнодопустима основна похибка рівнеміра УБ-Е[4]:

$$\Delta h_{\text{доп.УБ-Е}} = \frac{\gamma_{\text{зв.доп}} \cdot \text{ДВ}}{100} = \frac{1,5 \cdot 0,4}{100} = 0,006 \text{ м.}$$

Визначимо середньо-квадратичну похибку для рівнеміра:

$$\sigma_{УБ-Е} = \frac{\Delta h_{\text{доп}УБ-Е}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{0.006}{1.96} = 0.003 \text{ м.}$$

2.2. Визначимо граничнодопустиму абсолютну похибку для лінії зв'язку[6]:

$$\Delta_{\text{доп}ЛЗ} = \frac{K_{ТЛЗ} \cdot ДВ}{100} = \frac{0,4 \cdot 0,4}{100} = 0.0016 \text{ м.}$$

$$\sigma_{ЛЗ} = \frac{\Delta_{\text{доп}ЛЗ}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{0.0016}{1.96} = 0.0008 \text{ м.}$$

2.3. Визначимо граничнодопустиму абсолютну похибку для автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу А100-Н[4]:

$$\Delta_{\text{доп}ПРВП} = \frac{K_{ТПРВП} \cdot ДВ}{100} = \frac{0,5 \cdot 0,4}{100} = 0.002 \text{ м.}$$

$$\sigma_{ПРВП} = \frac{\Delta_{\text{доп}ПРВП}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{0.002}{1.96} = 0.001 \text{ м.}$$

3.4. Розрахуємо середньо-квадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу[5]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ВК} &= \sqrt{\sigma_{УБ-Е}^2 + \sigma_{ЛЗ}^2 + \sigma_{ПРВП}^2} = \sqrt{0.003^2 + 0.0008^2 + 0.001^2} \\ &= 0.003 \text{ м.} \end{aligned}$$

3.5. Розрахуємо граничнодопустиму абсолютну похибку вимірювального каналу[5]:

$$\Delta_{\text{доп}ВК} = \pm K_{H_{0,95}} \sigma_{ВК} = \pm 1.96 \cdot 0.003 = \pm 0.006 \text{ м.}$$

та граничнодопустиму зведену похибку вимірювального каналу[5]:

$$\gamma_{\text{доп}ВК} = \pm \frac{\Delta_{\text{доп}ВК}}{ДВ} \cdot 100\% = \pm \frac{0,006}{0,4} \cdot 100\% = \pm 1,5\%.$$

Таким чином, аналізований вимірювальний канал контролю рівня відповідає класу точності 1,5, а дійсне значення вимірюваного рівня  $h_{д} = h_{\text{вим}} \pm 0,006\text{м}$  з імовірністю  $P_{д} = 0,95$

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	Лист
						4
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

## 2.4 Загальна схема автоматизації

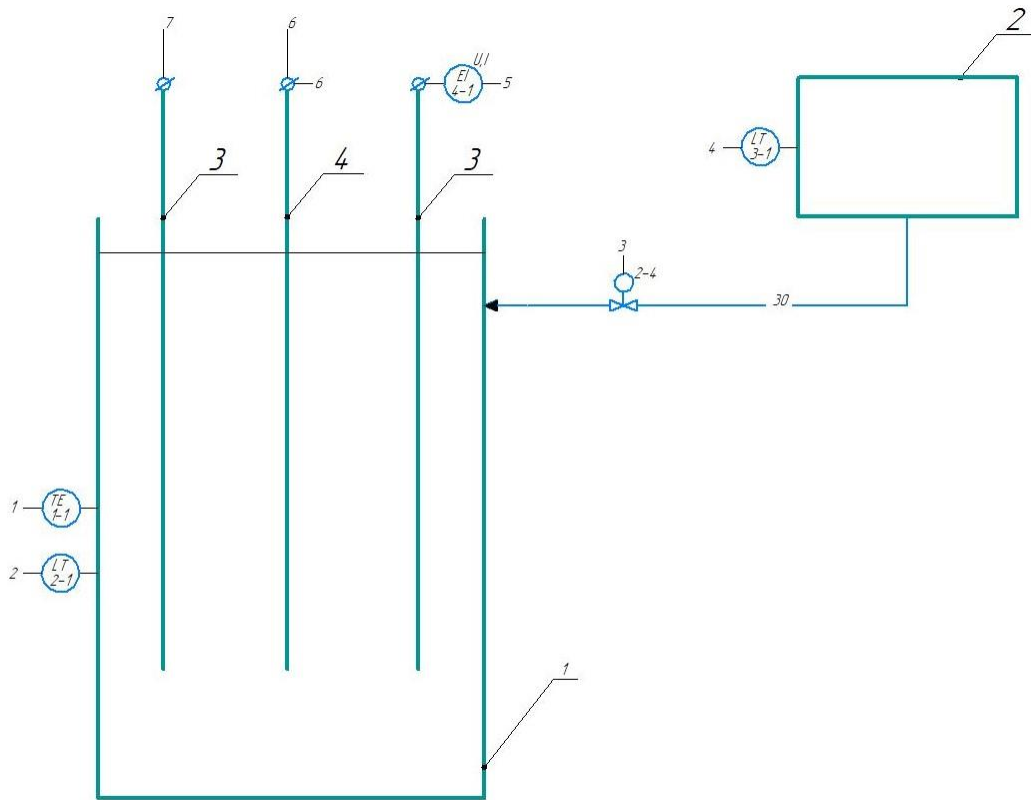


Рисунок 2.1 – Технологічна схема процесу нанесення покриття сплавом олово – вісмут

					ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		4

## 3. ЕКОНОМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПІДПРИЄМСТВА

### 3.1 Загальні відомості

Для організації цеху обробки металів та нанесення покриття, відповідно до діючих інструкцій з планування, обліку виробництва та калькуляції собівартості на підприємствах хімічної промисловості, потрібно розрахувати техніко-економічні показники цеху з нанесення гальванічного покриття та повну собівартість продукції.

Після проведення розрахунків проводиться аналіз техніко-економічних показників, на підставі яких роблять висновки щодо доцільності створення виробничого цеху для підприємства.

Мета діяльності: задоволення потреб машинобудівної промисловості у сталевих деталях з антифрикційними та зносостійкими властивостями.

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

Розподіл процесів та їх тривалість наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Класифікація виробничих процесів

Вид виробничого процесу	Найменування операції
1	2
Основні	1. монтаж деталей;
	2. знежирення електрохімічне;
	3. промивання тепле;
	4. промивання холодне;
	5. травлення та активація хімічна;
	6. промивання холодне;
	7. Електроосадження покриття олово-вісмут;
	8. промивання холодне;

Продовження таблиці 3.1

	9. промивання тепле;
	10. сушіння;
	11. демонтаж;
	Загальна тривалість основного процесу
Допоміжні	1.Пакування та відправлення продукції на склад.
	2.Приготування робочих розчинів;
	3.Закупівля та транспортування сировини.
Підсобні	1. Відвантаження продукції замовнику;
	2. Укладання вантажів;
	3. Приготування електролітів;
Побічні	1. Очищення стічних вод.

### 3.2 Оптимізація виду руху предметів праці

Річна потужність цеху, з врахуванням виправного браку деталей становить  $P_p = 15150 \text{ м}^2 / \text{рік}$ .

Нанесення гальванічного покриття це багатостадійний процес, що включає операції, які наведено в таблиці.3.2

Весь технологічний процес складається з 5 етапів. Для того, щоб не порушувалась його неперервність, кожна з них повинна виконуватись певний проміжок часу.

Таблиця 3.2 - Розподіл процесів та їх тривалість

№	Операція	Час.,хв.
1	Електрохімічне знежирення	15
2	Травлення та активація	7
3	Електроосадження покриття олово-вісмут	21
4	Промивання	3
5	Сушіння	5

Розрахуємо можливість застосування паралельного, послідовного та синхронізованого ВРПП на даному підприємстві гальванічного нанесення покриття олово- вісмут.

Для визначення річної виробничої програми  $P_p$  річне виробниче завдання  $P_z$  необхідно збільшити на величину виправного браку виробів, який складає 1% ( $K_{бр} = 0,01$ ) від  $P_z$ .

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 15000 + 0,01 \cdot 15000 = 15150 \text{ м}^2$$

Добова виробнича програма складає:

$$P_{доб} = P_p / T_{доб} = 15150 / 249 = 60,84 \text{ м}^2$$

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

$$P_{год} = P_p / T_d = 15150 / 1952,16 = 7,76 \text{ м}^2$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання  $T_d$  визначають, виходячи із  $T_n$  з урахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання, які в гальванічному виробництві при роботі автоматизованому обладнання у одну зміну складають 2% ( $K_{пр}$ )

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 1992 - 0,02 \cdot 1992 = 1952,16 \text{ год}$$

$P_p$  – річна виробнича програма підприємства з урахуванням можливого браку.

Тоді виробнича програма зміни становить:

$$P_{змін} = \frac{P_{доб}}{K} = \frac{60,84}{1} = 60,84 \frac{\text{м}^2}{\text{змін}}$$

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

$$m = \frac{P_{зм}}{n} = \frac{60,84}{4,269} = 15 \text{ завантажень/зміну.}$$

n- кількість деталей на разове завантаження;

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

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	Лист
						4
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

$$\sum t_i = 15 + 7 + 21 + 3 + 5 = 51 \text{ хв.}$$

### 1. Послідовний

$$V_{\text{посл}} = \frac{T_{\text{зміни}}^{\text{ВЦ}}}{\sum t_i} = \frac{8 \cdot 60}{51} = 9,41 \approx 10 \text{ завантажень/добу}$$

$$V_{\text{посл}}^{\text{Річ}} = 10 \cdot 249 \cdot 1 = 2490 \frac{\text{зав}}{\text{рік}}$$

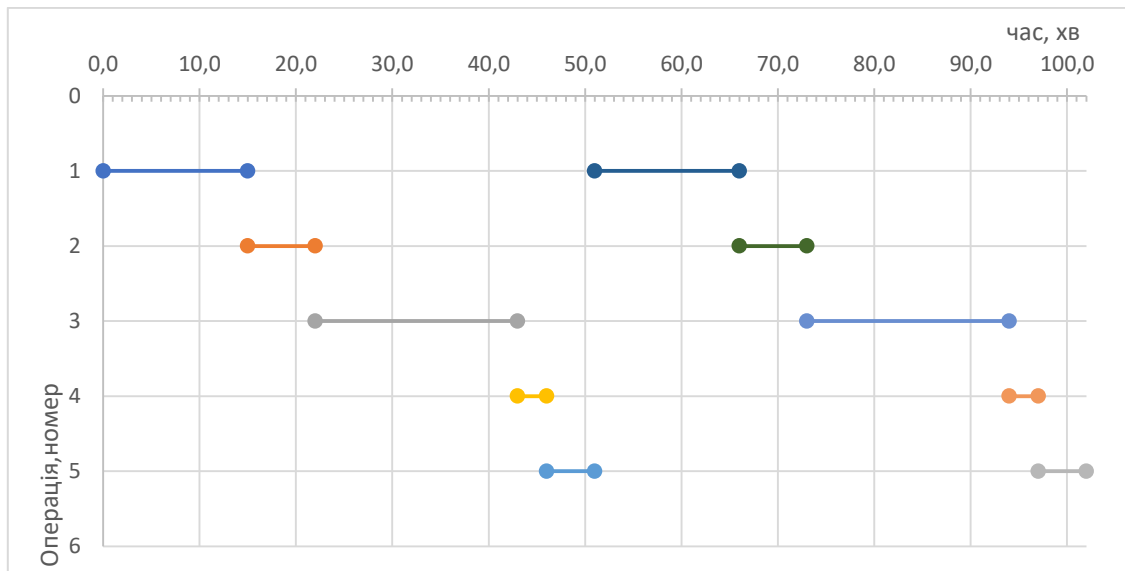


Рисунок 3.1 – Графік послідовного ВРПП

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

$$V_{\text{пар}} = \frac{T_{\text{ВЦ}}^{\text{пар}} + t_{\text{max}} - \sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{max}}} = \frac{8 \cdot 60 + 21 - 51}{21} \approx 22 \text{ разів}$$

$$V_{\text{пар}}^{\text{Річ}} = 22 \cdot 249 \cdot 1 = 5478 \frac{\text{зав}}{\text{рік}}$$

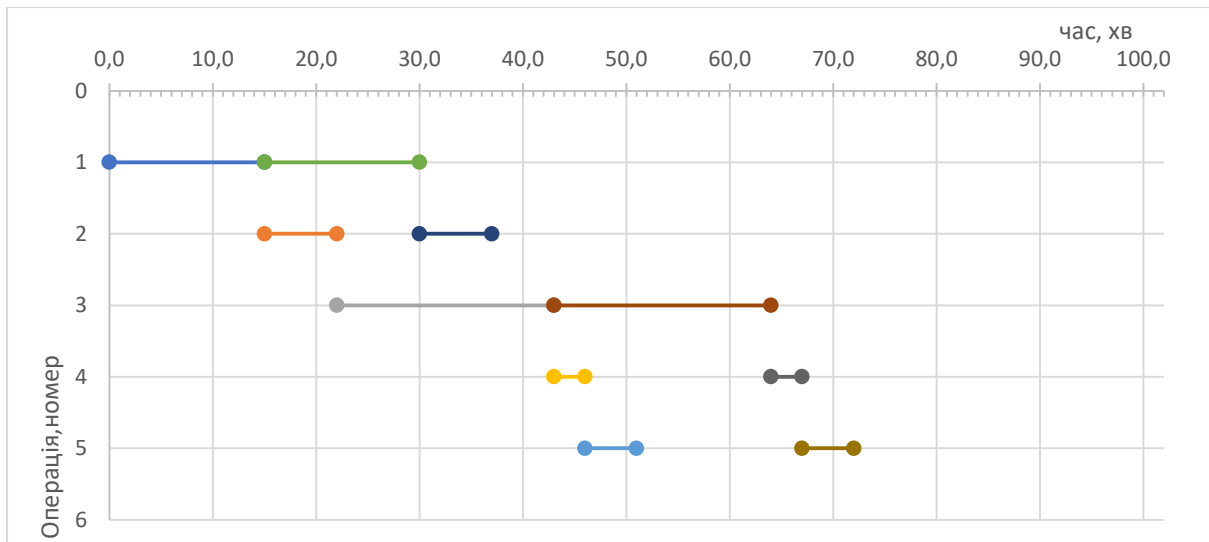


Рисунок 3.2 – Графік паралельного ВРПП

### 3. Синхронізований

Розрахуємо річний випуск з урахуванням отриманого ритму.

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{В.Ц.}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^n ti}{R} = \frac{8 \cdot 60 + 3 - 51}{3} = 144 \text{ Зав/день}$$

$$V_{\text{синх}}^{\text{річ}} = 144 \cdot 249 \cdot 1 = 35856 \frac{\text{зав}}{\text{рік}}$$

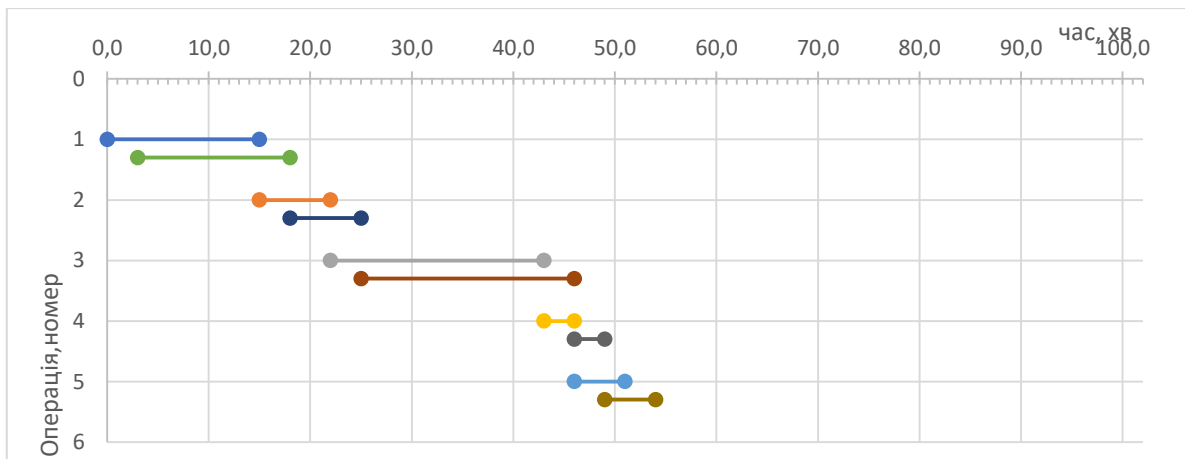


Рисунок 3.3 – графік синхронізованого ВРПП

При такому ВРПП забезпечення річної програми надмірне

Обираємо паралельний ВРПП оскільки він забезпечує потрібну кількість продукції для виконання річної норми

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ

Лист

5

- 1 ванна електрохімічного знежирення
- 2 ванни промивання у теплій воді
- 4 ванни промивання в холодній воді
- 1 ванна травлення
- 2 ванни уловлювання
- 1 ванна нанесення міді
- 3 ванни осадження олово-вісмут .

Всього 14 ванн

### 3.3 Чисельність персоналу та фонд заробітної плати

До складу робочого персоналу входять:

- технолог, для контролю технологічного процесу.
- гальваніки – для виконання основних операції з нанесення покриття .

Оскільки процес електролізу автоматичний, достатньо 2 гальваніків на зміну, та 1 технолог для контролю процесів електролізу, тобто явочна кількість обслуговуючого персоналу

$$Ч_{\text{яв.}} = 3 \text{ осіб}$$

Чисельність персоналу за списком:

$$Ч_{\text{сп.}} = Ч_{\text{яв.}} \cdot K_{\text{пер.}} = Ч_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{рік підп.}}}{T_{\text{рік прац.}}} = 3 \cdot \frac{\frac{8}{24} \cdot 249}{\frac{4}{24} \cdot 249} = 6 \text{ осіб}$$

Режим роботи підприємства: 1 зміна по 8 годин з 8.00 до 16.00

2 бригади в кожній по 2 гальваніки і 1-у технологи

Таблиця 3.3 Графік змінності

Дні Прац	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Бриг. 1	Р	Р	Р	Р	Р	В	В	В	В	В	В	В	В	В	Р	Р	Р	Р	Р	В
Бриг. 2	В	В	В	В	В	В	В	Р	Р	Р	Р	Р	В	В	В	В	В	В	В	В

Примітки: «Р» - робочий день, «В» - вихідний день.

Графік змін на підприємстві наступний: 1-а зміна: 8:00-16:00, бригади працюють тиждень через тиждень.

Розрахуємо мінімальну тарифну ставку згідно мінімальної заробітної плати:

$$TC_{\text{мін}} = \frac{6700}{\frac{30}{7} \cdot 40} = 40,46 \text{ грн/год}$$

Таблиця 3.4 – Фонд заробітної плати підприємства

Посада	Кількість осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата, грн (На одну людину)		Заробітна плата За рік
					За день	За рік	
Технолог	2	13	2,27	91.84	734.72	182945.28	365890.6
Гальванік	4	10	1,82	73.64	589.12	146690.88	586763.52
Всього	6				1323.84	329636.16	952654.12

Фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} \cdot \text{Н} = 952654.12 \cdot 1,22 = 1162238.03 \text{ грн/рік.}$$

де Н – нарахування на заробітну плату

### 3.4 Вартість річних ОбЗ

Вартість сировини і матеріалів розраховується виходячи з їх витрат обрахованих вище. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.5.

Витрати електроенергії були розраховані в основних технологічних розрахунках і їх значення становить  $W = 467,9 \text{ кВт*год}$

Таблиця 3.5 – Вартість сировини для річної програми

Найменування	Ціна\ у.о.	Витрата на рік, у.о.\рік	Вартість грн\рік
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	80	43.5	3480
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	280	69.6	19488

Продовження таблиці 3.5

NaOH	252	26.1	6577,2
H <sub>2</sub> O	35,52	17453,7	619955,424
Олов`яні Аноди	1189,28	457,23	543780
електроенергія	0,44	932056,8	90288,3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	130	382.8	431688,932
NaCl	90	0,696	62,64
SnSO <sub>4</sub>	1412	87	122844
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1300	1.74	2262
Препарат ОС-20	400	6.96	2784
Всього			1843210,496

Вартість оборотних засобів підприємства:

$$\text{ОбЗ} = V_{\text{сир}} + \text{ФОП} = 1843210,496 + 1162238.03 = 3005448 \text{ грн/рік.}$$

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

### 3.5 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва, калькуляція на продукцію

Таблиця 3.6 - Склад основних фондів цеху гальванічних покриттів

№	Найменування обладнання	Кількість одиниць	Вартість, грн
1	Ванна електрохімічного знежирення	1	10000
2	Ванна промивання у теплій воді	2	9000
3	Ванна промивання у холодній воді	4	9000
4	Ванна травлення	1	10000
5	Ванна міднення	1	10000
6	Випрямний прилад	1	22000

## Продовження таблиці 3.6

8	Ванна осадження олова-вісмут	3	10000
9	Ванна уловлювання	2	10000
10	Ванна активації	1	10000
11	Сушильна шафа	1	10000
12	Будівлі і споруди	-	350000
13	Трубопровід	-	55 000
14	Планові витрати	-	20000
<b>Всього:</b>		12	601000

Для підрахунку основних фондів підприємства треба розрахувати амортизацію будівель і споруд

$$A_{\text{буд}} = \frac{H_A^{\text{буд}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{350000}{20} = 17500 \text{ грн/рік}$$

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

Амортизація обладнання:

$$A_{\text{обл}} = \frac{H_A^{\text{обл}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{166\,000}{5} = 33200 \text{ грн/рік}$$

де  $H_A^{\text{обл}}$  – вартість обладнання

Амортизація трубопроводів:

$$A_{\text{тр}} = \frac{H_A^{\text{тр}}}{T_{\text{екс}}} = \frac{65000}{10} = 6500 \text{ грн/рік}$$

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

Амортизація нематеріальних активів:

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

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

Всього:

$$A = 17500 + 33200 + 6500 + 1666,7 = 58\,866,7 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Таблиця 3.7 - Вартість ОБЗ

№	Елемент затрат	Вирати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн./м <sup>2</sup>	
1	Амортизація	58 866,7	3,89	1,39
2	Фонд оплати праці	1162238.03	76,71	27,37
3	Планові витрати	20000	1,32	0,47
4	Оборотні засоби	3005448	198,38	70,77
5	Собівартість виробничого процесу	4246552	280,3	100

$$C = \text{ОБЗ} + A = 3005448 + 58866,7 = 3064314,7 \text{ грн/рік.}$$

### 3.6 Техніко- економічні показники

Річна виробнича собівартість продукції :

$$C_{\text{вир}} = C + \text{Неврах. витр.} = 3064314,7 + 3064314,7 * 0,2 = 3677177,64 \text{ грн/рік.}$$

де Невраховані витрати приймають як 20% від С.

$$C_{\text{пов}} = C_{\text{вир}} + \text{Накл. витр.} = 3677177,64 + 3677177,64 * 0,2 = 4412613,17 \text{ грн/рік.}$$

де Накладні витрати становлять 20% від С<sub>виробн.</sub>

Собівартість одиниці продукції:

$$C = \frac{C}{V_{\text{річ синх}}} = \frac{4412613,17}{15150} = 291,26 \text{ грн/м}^2$$

Прибуток:

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						5
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Pi = \text{Ц} - \text{С} = 350 - 291,26 = 58,74 \text{ грн/м}^2,$$

де Ц – ціна на готовий продукт.

Прибуток від реалізації всієї продукції:

$$\Pi_{\text{пов}} = \Pi \cdot V_{\text{сінх}}^{\text{річ}} = 58,74 \cdot 15000 = 881100 \text{ грн/рік.}$$

Рентабельність виробництва:

$$P = \frac{\Pi}{\text{С}} = \frac{58,74}{291,26} \cdot 100\% \approx 20\%$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{\text{К}} = \frac{881100}{3606448} = 0,24 \text{ грн/грн.}$$

Капіталовкладення:

$$\text{К} = \text{ОЗ} + \text{ОбЗ} = 601000 + 3005448 = 3606448 \text{ грн.}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,24} = 4,16 \text{ років.}$$

Чисельність персоналу явочна: 3 осіб.

Чисельність персоналу за списком: 6 осіб.

Фондовіддача основних засобів:

$$\text{ФВ}_{\text{ОЗ}} = \frac{\text{Ц} \cdot \text{В}}{\text{ОЗ}} = \frac{350 \cdot 15150}{601000} = 8,82 \text{ грн/грн.}$$

Фондоємність:

$$\text{ФЄ} = \frac{1}{\text{Ф}} = \frac{1}{8,82} = 0,11 \text{ грн/грн.}$$

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						5
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## 4.ОХОРОНА ПРАЦІ

Технологічна складова проекту передбачає, що під час нанесення сплаву олово-вісмуту в гальванічному цеху перебувають небезпечні речовини та матеріали, так і виробничі залишки. У проекті використовується теплова, електрична та механічна енергія.

Для забезпечення транспортування використовується нерейковий транспорт (вантажівки), а також конвеєрний і трубопровідний транспорт. Проект було зроблено з урахуванням законів про захист працівників.

Було розроблено ряд методів для покращення умов праці на основі наявності шкідливих і небезпечних факторів у виробництві.

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

#### 4.1.1 Повітря робочої зони

Всі види робіт, що відносяться до цеху, належать до категорії П-б (фізичні роботи середньої важкості). Згідно ДСН 3.3.6.042-99, встановлено оптимальні умови в робочій зоні[13], які наведені в таблиці 4.1.

Нормальні умови в цеху використовуються для розрахунку механізації та автоматизації обладнання, приладів, комунікацій та інших джерел.

Надаються засоби індивідуального захисту (респіратор, спецодяг «П», рукавиці та взуття). Також двічі на місяць перевіряється вміст повітря та параметри в робочій зоні з небезпечними речовинами за допомогою пиломіра.

Гальванічний цех має наступне обладнання для видалення шкідливих речовин з повітря та забезпечення безпечних умов.

1. Загальна механічна вентиляція служить для подачі в приміщення свіжого повітря. Спеціальна транспортна обробка повітря при необхідності (очищення, підігрів тощо).

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

2. Витяжна вентиляція для видалення шкідливих випаровувань із приміщення

Установка вентиляції працює постійно, так як випаровування із ван відбувається на протязі всього часу. Вона керується вручну та датчиком газового детектора, встановленим на значення ГДК контрольованої речовини. Для аварійної вентиляції передбачені кілька повітрообмінників підвищеної потужності.

Для зменшення вмісту небезпечних речовин у робочій зоні рекомендуються такі заходи:

1. Зниження концентрації шкідливих речовин в повітрі, регулювання ванн відповідно до норм ГДК.

2. При приготуванні розчину, що містить кислоту, розчин кислоти слід ретельно розмішати в холодній воді і повільно додавати до основного розчину.

3. Для зниження концентрації шкідливих речовин в ємності каналізації встановлюється дренаж для води.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

Таблиця 4.1 – Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень.

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

#### 4.1.2 Розрахунок системи місцевої механічної вентиляції

Для уловлювання шкідливих парів з поверхні розчину, в якості вентиляції використовують бортові відсмоктувачі, які розміщують по обидва борта ванни[11].

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

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

де  $V_p$  – внутрішня ширина ванни, м;  $l$  – внутрішня довжина ванни, м;  $H_p$  – проектна відстань від краю ванни до поверхні електроліту, м;  $K_1$  –

коефіцієнт, що залежить від конструкції відсмоктувача ( $K_1 = 1$ );  $K_{\Delta t}$  – температурний коефіцієнт ( $K_{\Delta t} = 1,03$ );  $K_T$  – коефіцієнт токсичності речовин, які викидаються з дзеркала розчину у ванні, прийнятий в залежності від складу розчину.

$$L = 1400 \cdot \left( 0,53 \cdot \frac{0,426 \cdot 1,5}{0,426 + 1,5} + 0,1 \right)^{1/3} \cdot 0,42 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1,03 \cdot 1,1 = 599 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

#### 4.1.3 Виробниче освітлення

Передбачено використання систем штучного робочого, аварійного, евакуаційного, ремонтного і охоронного освітлення. Система природного освітлення – комбінована (сполучення верхнього та бічного освітлення).

Таблиця 4.2 – Норми освітлення для категорій IV та VIIIб

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

Рівень освітлення на виробничому майданчику перевіряють не рідше одного разу на рік. Якщо рівень освітлення незадовільний – лампи підлягають ремонту або заміненню. Основним приладом для вимірювання освітлення є світломір Ю-116[14].

Рекомендовано вживати сучасні діодні лампи із низьким енергоспоживанням.

#### 4.1.4 Захист від виробничого шуму та вібрацій

Джерелами вібрації та шуму в цехах є такі механізми, як вентилятори, електродвигуни, компресори та ін. Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, допустимий рівень шуму в цеху не повинен перевищувати 80 дБА[15].

Фактичне значення становить 70 дБА, що відповідає поточним вимогам. Контролюйте шум за допомогою шумоміра.

Для зниження рівня вібрацій рекомендовано вживати гумові підкладки.

Для захисту персоналу від шумних ділянок передбачені вушні затички та звукоізоляційні навушники.

#### 4.1.5 Електробезпека

Напруга може призвести до ураження електричним струмом. Компоненти струмопровідного обладнання, через погану ізоляцію та додаткові ступінчасті напруги, можуть завдати шкоди працівникові. Електрообладнання цеху підключається до 3-провідної трифазної мережі змінного струму виробничого блоку через нульове заземлення 380/220В. Допустимі рівні контактної напруги ( $U_d$ ) і струму через тіло людини згідно з ГОСТ 12.1.038-92[16]:  $U_d = 2$  В і  $I_L = 0,3$  мА при нормальній роботі електрообладнання; В аварійному випадку  $U_d = 36$  В і  $I_L = 6$  мА.

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

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

$$U_d = I_L \cdot R_L, \text{ В};$$

де  $R_L$  – опір тіла людини,  $R_L = 2$  кОм;

$R_0$  – опір заземлення нейтралі джерела струму,  $R_0 = 4$  Ом;

$I_L$  – електричний струм, який проходить через людину;

$U_\phi = 220$  В – фазова напруга.

$$I_L = \frac{220 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 73 \cdot 10^3 \text{ А} = 73 \text{ мА};$$

$$U_d = 0,073 \cdot 3000 = 219 \text{ В}.$$

Порівнюючи розрахункові значення з нормативними, можна

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						6
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

зробити висновок, що в даному випадку ураження електричним струмом, яке не відповідає вимогам ПБЕ, може призвести до серйозних наслідків. При використанні джерела живлення враховуються такі методи та технічні засоби: занулення електрообладнання, вирівнювання потенціалів, низьке живлення ручного інструменту, ізоляція струмопровідних частин, відключення мережі, сигналізація, знак безпеки. Робота в електричному режимі така: ізоляція струмовідної частини (опір ізоляції не менше 0,5 МОм) [16], струмоведуча частина, низька напруга.

Рекомендуються такі засоби захисту: діелектричні гумові рукавички, ізоляційне обладнання, ізольована гумова опора, мультиметр [17]. Важливе значення має регулярне навчання чинним правилам безпеки. Крім того, оголені кабелі та пристрої з неізольованими струмопровідними частинами необхідно розміщувати в окремих закритих ящиках із суцільними перегородками або сіткою.

#### **4.1.6 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання**

Використовуються два методи та засоби забезпечення безпеки на виробництві.

1. Автоматизація виробничого процесу, знижує ризики для здоров'я працівника, мінімізуючи його вплив на процес і безпосередній контакт із ним

2. Постійна інспекція робочих місць і нагадування правил безпеки працівникам.

Знежирення та очищення ванн за високих температур може бути особливо небезпечним внаслідок випаровування органічних розчинників. Робота на вологій дерев'яній підлозі може спричинити травмування працівника.

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

Збій автоматизації може призвести до надзвичайних ситуацій. Існує ризик опіків через витік кислоти.

За результатами аналізу обладнання щодо шкідливих процесів у технологічних проектах виявляються фактори, які дуже впливають на працівників. Для запобігання завданню шкоди працівникам, здійснюється постійний контроль стану обладнання, стану повітря, очисних споруд.

#### 4.2 Пожежна безпека

Джерела займання в цехах можуть виникнути через перевантаження електрообладнання, утворення легкозаймистих речовин в повітрі. Іншими причинами пожежі є коротке замикання між обладнанням (рейками, електродами), електростатичний розряд, механічні пошкодження обладнання та ліній електропередач, порушення техніки безпеки працівниками. Існує ризик ударів струмом в високовольтних установках.

Основними причинами короткого замикання є пошкодження електричної ізоляції проводів, проникнення струмопровідних матеріалів через неізольовані дроти та вплив хімічних речовин. Контактна пружина використовується для збільшення опорної поверхні, щоб запобігти перегріву дроту через тимчасовий опір контакту.

Пожежні екрани оснащені різноманітними вогнегасниками, вогнегасниками СБ-7 та протипожежною піною при роботі, піском. Виробничі приміщення та склади обладнанні внутрішніми пожежними гідрантами[17].

Між виробничими корпусами є простір 10 м[18]. Перевірте наявність витоків, щоб запобігти вибуху газових труб. Будівлі захищені від прямих ударів блискавки (згідно СН 305 - 77) за допомогою приймача, що складається з автоматичного приймача (від блискавки), заземлювального вимикача та струмопровідника. Тип вертикальної балки: Н = 100 м, висота

					<b>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</b>	Лист
						6
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

підземної заповідної зони  $H_0 = 0,92 \cdot 100 = 92$  метри. Радіус заповідної зони від землі  $\eta_0 = 1,5 \cdot 100 = 150$ м.

Крім стаціонарних систем пожежогасіння в цеху є вуглекислотні та порошкові вогнегасники ОУБ-8-2 та ОПС-6. Небезпека пожежі та вибуху матеріалів наведена в таблиці 5.5.

Встановлено автономну охоронну та пожежну сигналізацію.

Таблиця 4.2 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Поміст	Гальванічна ванна		Горючість, займистість	Показники пожежо- та вибухонебезпечності			Межа запалення		Вибухонебезпечні суміші з повітрям		Вогнегасні засоби	Категорія приміщення за ЗНТП 24–86	Клас приміщення і зовнішніх установок згідно з ПУЕ	Категорія об'єкта і тип зони захисту і влаштуванню блискавкозахисту згідно з БН 305–
	Дерево, гума	Тв.		Важкозаймісті	Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання	% об'ємних	мг/м <sup>3</sup>	Категорія				
Дерево, гума	Н <sub>2</sub>	Газ	Легкогорюча	132	324	57,5	47,5	45–82,5	2с	T1	Вода, піна	В	02	2Б
Тв.	Вінпласт	Тв.	Важкозаймісті	–	580	580	–	–	–	–	Вода, піна	В	02	2Б
Горюча	Легкогорюча	Тв.	Важкозаймісті	170	400	400	–	–	–	–	Вода	В	02	2Б

77

Продовження таблиці 4.2

Ізоляція													
Текстоліт													
Тв.													
Важкогорюча													
-													
358													
358													
-													
-													
-													
-													
Вогнегасники рідинні, вуглекислий. СУБ-7, пісок піна													

## 5. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

### 5.1 Схема очистки стічних вод

Гальванічне виробництво, за своєю сутністю не є безумовно безпечним виробництвом, тому що там напряду використовуються хімічні реактиви, які за своєю сутністю не бувають гарантовано безпечними для кожної людини. Новітні розробки електролітів та очисного обладнання дають змогу гальванічним виробництвам працювати майже не завдаючи шкоди навколишньому середовищу, але все одно стан сучасних систем очистки та фільтрації в Україні, не гарантують повного очищення відходів і не потрапляння їх у навколишнє середовище. Екологічна безпека є одним із головних факторів підприємства і є показником її сучасності. Неякісна очистка спричиняє багато проблем для виробництва, тому що може витрачатись сировина, яка після обробки могла ще бути використана, а для міста наслідком може бути отруйна вода із каналізації, токсичне повітря та інше.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документу</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

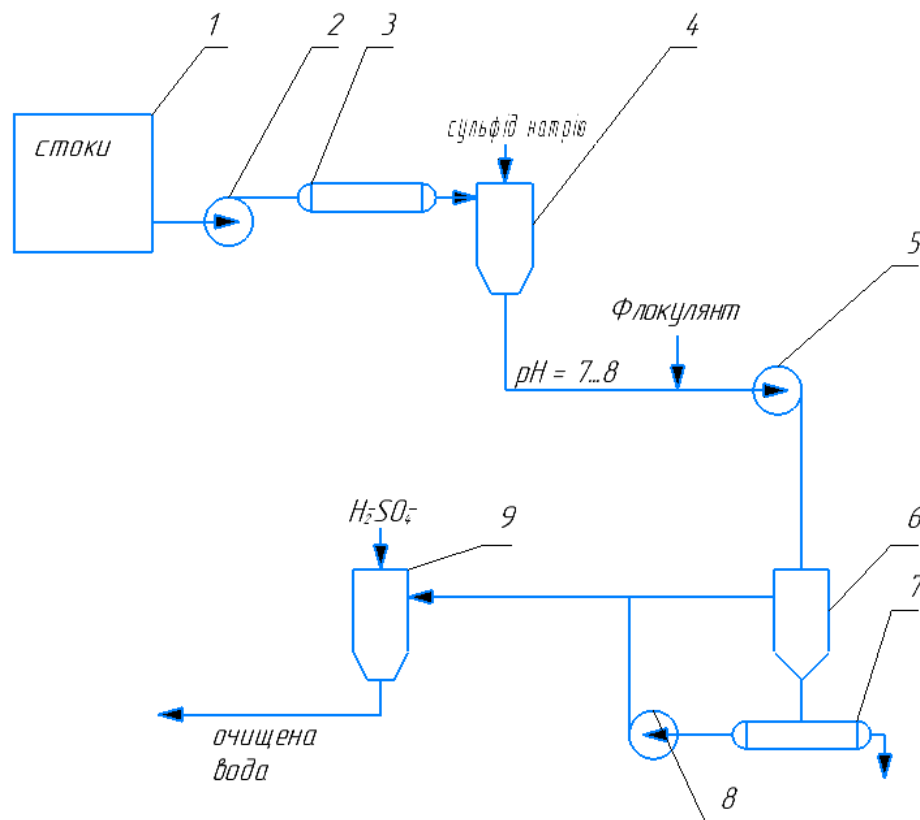


Рисунок 5.1 – Загальна схема очищення стічних вод

1 – збірний бак, 2 – насос, 3 – фільтр грубої очистки, 4 – відстійник для утворення сульфідів, 5 – насос, 6 – відстійник, 7 – фільтр грубої очистки, 8 – насос, 9 – відстійник регулювання рН

Відходи надходять до спеціального баку по каналізаційному трубопроводу. В збірнику усі солі змішуються, самі солі олова та вісмуту гідролізують. Після змішування відбувається груба фільтрація, великі частинки залишаються на фільтрі. Після грубої фільтрації, відходи потрапляють у відстійник, де відбувається переведення олова та вісмуту у нерозчинні сульфіди. Як реагент використовується сульфід натрію, через те, що він підлогує розчин після осадження. Після того, як осадження відбулось, залишки олова та вісмуту видаляють фізично, залишки стоків надходять до резервуара регулювання рН, де його значення доводиться до приблизного значення звичайної води шляхом нейтралізації. Остаточо

відбувається тонка фільтрація і як підсумок очищена вода повертається в технологічний процес.

Для очистки стічних вод від ціанідів, які в процесі представлені на операціях активації та нанесенні підшару міді, використовують реагентний метод очистки із використанням вапняного молока та хлор-вмісних реагентів (рідкий хлор, гіпохлорити). Попередньо зі стоків екстрагують мідь шляхом електролізу, потім стоки попадають в реактор де відбувається нейтралізація сумішшю вапняного молока та гіпохлориту натрію, або кальцію при рН 10.5 – 11.

Очистка стічних вод від розчинів знежирення та травлення відбувається шляхом змішування стоків від 2ух процесів в 1, де відбувається фільтрація та нейтралізація до рН звичайної води.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

## 6. ЕСКІЗИ ОСНОВНОГО ТА СУПУТНЬОГО ОБЛАДНАННЯ

### 6.1 Ескіз та опис гальванічної ванни

До основного обладнання гальванічних виробництв відносять гальванічні ванни. Вони являють собою прямокутні ємності з розчинами, в яких виконують основні операції, такі як підготовку до нанесення покриття, нанесення покриття.

Через те, що операцію нанесення покриття проводять за кімнатної температури, основна гальванічна ванна не вимагає додаткового підігріву або охолодження при нормальних умовах. Зовнішні розміри ванни складають (мм): 1600x500x1200.

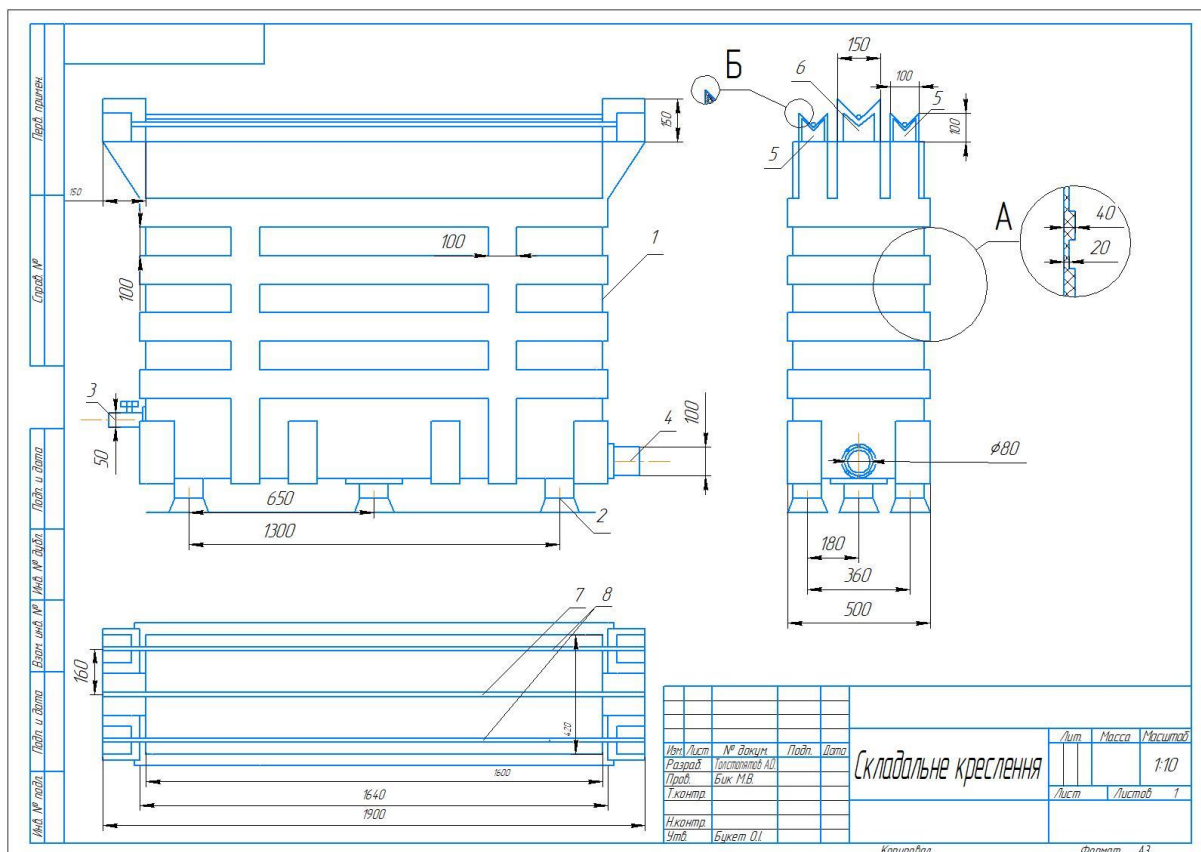


Рисунок 6.1 – Креслення основної гальванічної ванни



## ДЖЕРЕЛА

1. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. “Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості”. К.: Аграрна освіта, 2001

2. Бабіченко А. К. Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; за заг. ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХП», 2003. – Ч. 1. Вимірювальні пристрої. – 470 с. : іл. – Бібліогр.: с. 467. – 500 пр. – ISBN 966-593-232-2.

3. Бабіченко А. К. Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; За заг. ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХП», 2003 р. – Ч. 2. Регульовальні і виконавчі пристрої. – 658 с. : іл. – Бібліогр.: с. 644–645. – 500 пр. – ISBN 966-593-292-6.

4. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2007. – 436 с. Гриф МОН України.

5. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2. Гриф МОН України.

6. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.: У 2 кн. Книга 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Хімічна технологія та інженерія». – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2012. – 336 с. : іл. – Бібліогр.: с. 328–330. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-530-9. – Гриф МОН України.

ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ

Лист

7

Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

7. ДСТУ ГОСТ 9.101:2004 Єдина система захисту від корозії та старіння. Основні положення

8. ДСТУ 8280:2015 Вироби електротехнічні. Методи випробовування на тривкість до дії зовнішніх кліматичних чинників

9. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Караткий справочник гальванотехника. – Л.: Машиностроение, 1981.– 269 с.

10. 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. Мотрошнюк, О.В. Лінючева, О.І. Букет. – К: НТУУ “КПІ”, 2019. – 54 с.

11. Якименко Г Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія. Ч. 3. Гальванічні виробництва: Підручник / За ред. Б.І. Байрачного. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – 272с.

12. Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання: навч. посібник / Г. Я. Якименко, В. М. Артеменко ; за ред. Б. І. Байрачного. — Х. : НТУ «ХП», 2009. — 148 с.

13. ДСН 3.3.6.042 – 99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

14. ДБНВ 2.5-28-06 "Природне і штучне освітлення".

15. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

16. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартів безпеки праці.Електробезопасность.

17. Метод, вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах бакалаврів / Уклад.: Н.А. Праховнік, Ю.О. Полукаров, Л.О. Мітюк - К.: НТУУ «КПІ», 2017. - 31 с.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	Лист
						7
Зм.	Лист	№ документу	Підпис	Дата		

18. СН 305-77 Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений.

					<i>ДП ХЕ9207.1450 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

## Додаток А

### Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

1	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	Кількість
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>УСТАТКУВАННЯ ТА ПРИЛАДИ</b>									
1-1	Температура	Розчин електроліту	18...30°C	Гальванічна ванна	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 100П, діапазон вимірювання (-50)...60°C, допустимий тиск $P_y = 0,4$ МПа	ТСП-1288		НВО «Електротермія», м. Луцьк	1
1-2	-//-	-//-	-//-	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний прилад; вхідні сигнали: 0...10 мВ, 0...100 мВ, 0...1 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ ТП – В, К, L, S, А-1; НСХ ТО – 50П, 100П, 50М, 100М; вихідні сигнали: $I_{вих} = 4...20$ мА, граничнодопустима основна похибка показань	Диск-250		ТОВ «Промприбор», м. Харків	1

## Продовження додатку А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3-1	Рівень	Електроліт	0,8 м	Ємність з розчином електроліту	Рівнемір буйковий електричний, матеріал буйка та підвіски – Сталь 12Х18Н10Т, $L_{\max} = 0,02 \dots 16$ м, $p_{\text{доп}} = 4$ МПа, температура $(-50) \dots 50$ °С, відносна вологість 98–100 % (при 35 °С), $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5, 0 \dots 20$ мА, допустима основна похибка 1,5 %	УБ-Е		Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	2
2-1	–	Електроліт	0,8м	Гальванічна ванна					
2-2, 3-2	–//–	–//–	–//–	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: $I_{\text{вх}} = 0 \dots 5$ (0...20 мА, 4...20 мА), похибка $\pm 0,5\%$ , час швидкодії – 1 с	A100-Н		ТОВ «Промприбор», м. Харків	2
2-3	–//–	–//–	–//–	Щит керування	Регулятор мікропроцесорний. Реалізує двота трипозиційне регулювання. Кількість входів: аналогових – 2 (0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В), максимальна похибка АЦП $\pm 0,2\%$ ; кількість виходів: дискретних або імпульсних – 4, аналогових – 1 (0...5 мА, 0(4)...20 мА), максимальна похибка ЦАП $\pm 0,5\%$	МІК-21		ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ», м. Івано-Франківськ	1
2-4	–//–	–//–	–//–	Трубопровід	Регулювальний сідельний клапан з 2- і 3 ходовим виконанням. Температура регульованого середовища: GV2: $+2 \dots +94$ °С, тиск – до 16 бар; корпус литий латунний, характеристика рівнопропорційна. Електропривод EVA2: напруга живлення 24 В. Ступінь захисту: IP 40. Температура довкілля: 2...55 °С, гранична вологість 90 %. Керувальний сигнал: 0...10 В або 4...20 мА	GV2		ТзОВ "Кам'янець-Подільський електромеханічний завод", м. Кам'янець-Подільський	1

## Продовження додатку А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4-1	Сила струму та напруга	Гальванічна ванна	$I = 321$ А; $U = 6$ В	Гальванічна ванна	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\max} = 400$ А, $U_{\max} = 12$ В	ТЕ1-400/12Т		ТзОВ "Кам'янець-Подільський електромеханічний завод", м. Кам'янець-Подільський	1

