

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра технології електрохімічних виробництв

До захисту допущено:

В.о. завідувач кафедри

_____ Олексій КОСОГІН

«__» _____ 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 у радіоелектронній промисловості. Розробка
технології нанесення гальванічного олов'яного металорезисту у виробництві
плат друкованого монтажу»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ХЕ-91

Лісовська Ольга Ярославівна _____

Керівник: Кушмирук Андрій Іванович, ст. викладач, к.т.н. _____

Консультант

Охорона 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: доц. кафедри ТНР, В та ЗХТ, к.т.н., Косогіна Ірина Володимирівна

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

Студентка _____

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

«__» ____ 05 _____ 2023_р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студентці

Лісовській Ользі Ярославівні

1. Тема проєкту «Гальванічні покриття у радіоелектронній промисловості. Розробка технології нанесення гальванічного олов'яного металорезисту у виробництві плат друкованого монтажу», керівник проєкту Кушмирук Андрій Іванович, старший викладач, к.т.н., затверджені наказом по університету від «25» травня 2023р. № 1945 – С
2. Термін подання студентом проєкту 16 червня 2023року
3. Вихідні дані до проєкту Матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Продуктивність 3000 шт/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 30 травня 2023р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Характеристика деталей, що підлягають обробці.	До 31.05.2023	
2.	Вибір виду покриття	До 31.05.2023	
3.	Вибір підготовчих операцій	До 01.06.2023	
4.	Вибір складу електроліту для покриття плат	До 01.06.2023	
5.	Складання карти технологічного процесу	До 02.06.2023	
6.	Виконання технологічних розрахунків	До 05.06.2023	
7.	Виконання креслень	До 05.06.2023	
8.	Складання схеми очищення стічних вод	До 05.06.2023	
9.	Складання схеми автоматизації основного процесу.	До 05.06.2023	
10.	Виконання економічних розрахунків	До 05.06. 2023	
11.	Виконання розділу «Охорона праці та техніка безпеки»	До 05.06.2023	
12.	Оформлення пояснювальної записки	До 09.06.2023	
13.	Оформлення графічної частини проєкту	До 09.06.2023	
14.	Подача оформленого проєкту на перевірку на плагіат	До 14.06.2023	

Студентка

Ольга ЛІСОВСЬКА

Керівник

Андрій КУШМИРУК

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Пояснювальна записка	82	
3	A1	ДП ХЕ9111.1450.001 СК	Складальне креслення гальванічної ванни для олов'янування	1	
4	A2	ХЕ9111.1450.002 СхА	Схема автоматизації процесу нанесення металорезисту	1	
5	A1		Схема технологічного процесу олов'янування	1	
6	A1		Техніко-економічні показники ділянки нанесення металорезисту	1	
7	A1		Схема очищення стічних вод	1	

				ДП ХЕ9111.1450.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Лісовська О.Я.			Відомість дипломного проєкту	Лист 1	Листів 1
Керівн.	Кушмирук А.І.					
Консульт.						
Н/контр.						
В.о. зав.каф.	Косогін О.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТЕХВ Гр. ХЕ-91	

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Гальванічні покриття у радіоелектронній промисловості. Розробка технології нанесення гальванічного олов'яного металореzystу у виробництві плат друкованого монтажу»

Київ – 2023 року

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття у радіоелектронній промисловості. Розробка технології нанесення гальванічного олов'яного металореzystу у виробництві плат друкованого монтажу»

Лісовська О.Я. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-91

Дипломний проєкт, 2023 рік, кількість сторінок – 82, таблиць – 21, рисунків – 6, джерел – 15.

В рамках проєкту була розроблена технологія нанесення олов'яного металореzystу на плати друкованого монтажу. Для нанесення покриття використано сульфатний електроліт олов'янування з добавки фірми Atotech GmbH. (Федеративна республіка Німеччина) – STH Zusatz та Suffotech SP Zusatz, який працює за температури 18...25 °C та катодною густиною струму 1 - 2 А/дм².

Проведено конструктивні та технологічні розрахунки та їх основі обрано відповідне обладнання та реактиви. Проєкт включає розробку схеми автоматичного регулювання процесу гальванічного олов'янування. Проведено економіко-технологічні розрахунки виробництва.

У проєкті запропонована схема очищення стічних вод реагентним методом. Розроблено заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: друкована плата, металореzyst, гальванічне олов'янування, сульфатний електроліт, гальванічна ванна, стічні води.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розробка технології нанесення олов'яного металореzисту у виробництві плат друкованого монтажу	Лит.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Лісовська						6	103	
Перев.	Кушмирук					«КПІ ім. Ігоря Сікорського»,			
						ХТФ ХЕ-91			
Н. Контр.									
Затв.	Косогін								

ABSTRACT

«Galvanic coatings in the radio-electronic industry. Development of tin metalloresist application technology in the technology of printed circuit boards production»

Lysovska O.Ya. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, XTF, XE-91
Diploma project, 2023, number of pages - 82 , tables -21 , figures - 6, sources -15.

As part of the project, a technology for applying tin metal resist to printed circuit boards was developed. To apply the coating, tin sulfate electrolyte with additives from Atotech GmbH was used. (Federal Republic of Germany) – STH Zusatz and Suffotech SP Zusatz, which operates at a temperature of 18...25 oC and a cathode current density of 1 - 2 A/dm².

Constructive and technological calculations were carried out and appropriate equipment and reagents were selected based on them. The project includes the development of a scheme for automatic regulation of the galvanic tinning process. Economic and technological production calculations were carried out.

The project proposes a scheme for wastewater treatment using a reagent method. Safety and occupational health and safety measures have been developed.

Key words: printed circuit board, metal resist, galvanic tinning, sulfate electrolyte, galvanic bath, waste water.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зміст

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	13
1.1 Основні характеристики друкованих плат	13
1.1.1 Вибір і обґрунтування методу виготовлення двобічних друкованих плат з металізованими отворами.....	14
1.1.2 Вибір виду і товщини гальванічного покриття	15
1.1.3 Опис технологічного процесу	16
1.1.4 Вибір підготовчих операцій.....	17
1.1.5 Вибір електроліту та режиму нанесення олов'яного покриття.....	18
1.1.5 Вибір завершальних технологічних операцій	26
1.1.6 Контроль якості гальванічного покриття	27
1.2 Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів..	28
1.2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання	28
1.2.2 Визначення виробничої програми обладнання.....	28
1.2.3 Розрахунок середньої товщини покриття та часу обробки однієї завантажувальної одиниці.....	29
1.2.4 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання.....	30
1.2.5 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні.....	32
1.2.6 Баланс напруги на гальванічній ванні.....	33
1.2.7 Вибір джерела струму для гальванічній ванні	35
1.2.8 Визначення теплової енергії, складання балансу енергії.....	35

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2.9	Тепловий розрахунок гальванічних ванн	37
1.2.10.	Розрахунок витрат хімікатів, матеріалів та води для виконання річної виробничої програми.....	38
РОЗДІЛ 2	АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ	47
2.1	Опис технологічної осадження олов'яного металорезисту	47
2.2	Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації	48
2.3	Опис розробленої схеми автоматизації	49
РОЗДІЛ 3	ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ.....	51
3.1	Технологічна підготовка виробництва.....	52
3.2	Визначення виробничої програми обладнання	53
3.3	Кадрова підготовка виробництва	57
3.4	Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва	59
3.5	Техніко-економічні показники	62
РОЗДІЛ 4	ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА. ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	64
РОЗДІЛ 5	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	68
5.1	Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проєктованому об'єкті. Заходи з охорони праці.....	68
5.1.1	Повітря робочої зони	68
5.1.2	Виробниче освітлення	72
5.1.3	Виробничий шум і вібрація	73
5.1.4	Електробезпека	74
5.1.5	Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання	75

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5.2 Пожежна безпека	76
ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	81
ДОДАТОК А КАРТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
ДОДАТОК Б СПЕЦИФІКАЦІЯ УСТАТКУВАННЯ, МАТЕРІАЛІВ І	
ВИРОБІВ.....	
ДОДАТОК В СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ	
ГАЛЬВАНІЧНОЇ ВАННИ	

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Друкована плата є основним елементом будь-якого електронного виробу. Її поява понад сто років тому дала величезний поштовх розвитку виробництва радіоелектронної апаратури. Мініатюрна, але настільки значуща деталь використовується для створення, як простих пристроїв, наприклад, дверного дзвінка, так і складних комп'ютерних систем.

Друкована плата є пластиною з ізоляційного матеріалу, на поверхні або в об'ємі якої створена за індивідуальним проєктом схема, що проводить електричний струм та поєднує різні компоненти пристроїв в єдиний функціональний виріб. Друковані плати випускаються у кількох видових варіантах:

однобічні – струмопровідний малюнок нанесений лише на один бік діелектрика;

двобічні – на діелектричну основу схему нанесено з обох сторін;

багатошарові - провідники і на видимій частині пластини, і у внутрішніх шарах основи.

Основою друкованих плат може виступати анодований алюміній, армований склотканиною флоропласт, але найпоширенішими матеріалами – гетинакс (папір, просочений фенольною смолою) та стеклотекстоліт (скловолокно, просочене епоксидною або фенольною смолами).

Для виготовлення друкованих плат використовуються різні методи, які мають свої переваги та недоліки. На даний час найпоширенішою технологією є виготовлення двобічних плат з паяльною маскою. При виготовленні плат за цією технологією використовується комбінований позитивний метод в якому в якості захисного покриття провідного рисунку при травленні пробільних місць використовують металорезист. Найпоширенішими металорезистами є гальванічні осади олова або сплаву олово-свинець (ПОС-61). У зв'язку з тим, що такий металорезист, як сплав ПОС-61, містить шкідливий свинець, то виходячи із

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

екологічних вимог, на сучасних виробництвах друкованих плат в якості металореzystу використовується олово, яке наноситься гальванічним способом.

Завдання дипломного проєкту – є розробка технологічного процесу нанесення гальванічного олов'яного металореzystу у виробництві плат друкованого монтажу продуктивністю 3000 плат/рік.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Основні характеристики друкованих плат

Друкована плата - це механічна платформа, яка використовується для монтажу та електричного з'єднання електронних компонентів. Вона складається з ізолюваного основного матеріалу на якому розташовані шари міді або інших провідних матеріалів.

Друковані плати використовують у багатьох електронних пристроях, від простих пристроїв, як світлодіодні лампи, до складних систем, наприклад, комп'ютерів і мобільних телефонів. Вони забезпечують механічну підтримку для компонентів і забезпечують електричні з'єднання між ними.

Процес виготовлення друкованих плат включає нанесення струмопровідного рисунку на ізоляційну основу. На струмопровідники проводять монтаж, кріплення і з'єднання радіоелектронних елементів та обладнання, в тому числі модулів та інтегральних схем.

Друковані плати можуть забезпечити надійне з'єднання компонентів, зменшити розміри та вагу пристроїв, спростити монтаж та експлуатацію електронних пристроїв. Вони є ключовим елементом багатьох сучасних технологій та пристроїв, що використовують у нашому повсюдному житті.

Двобічна друкована плата – це друкована плата з твердою діелектричною основою, на якій з обох сторін розташована струмопровідна топологія схеми, яка закінчується контактною площиною з отвором чи без. З'єднання провідників між двома сторонами ДП здійснюється через металізовані отвори або за відсутності металізації – через виводи електронних компонентів [1].

Двобічна друкована плата має деякі переваги порівняно з одnobічною платою, де провідні доріжки розташовані лише на одній боці основи. А саме: завдяки наявності іншого боку для розташування провідних доріжок та компонентів, двостороння плата дозволяє збільшити щільність компонентів на

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

площі плати. Це особливо корисно у випадку, коли необхідно розмістити багато компонентів на обмеженій площі.

Двобічна друкована плата з металізованими отворами має переваги, такі як висока міцність з'єднання електронних компонентів і здатність до високої щільності монтажу.

Саме двобічні друковані плати з металізованими отворами користуються найбільшою популярністю у виготовленні радіоелектронних пристроїв.

1.1.1 Вибір і обґрунтування методу виготовлення двобічних друкованих плат з металізованими отворами

Серед різних методів виготовлення ДП в промисловості найбільш використовують такі:

- **субтрактивний**, назва методу походить від латинського слова subtract - віднімати, так як формування рисунку відбувається внаслідок витравлення (віднімання) металу на пробільних ділянках рисунку;
- **адитивний**, назва якого походить від латинського слова additio, що означає додавати; - **напіваадитивний** (іноді називають його **напівсубтрактивний**), який об'єднав переваги субтрактивного та адитивного методів;
- **комбінований** [1].

В *субтрактивному методі* використовується фольговані діелектрики, на які наносять захисний шар, такий як фоторезист або металорезист. За допомогою хімічного травлення фольги з пробільних ділянок формується струмопровідний рисунок [2].

Адитивний метод. Цей метод ґрунтується на осадженні струмопровідного рисунка на нефольгований діелектрик, такий як склотекстоліт. Спочатку наноситься шар напівзатверділого клейового матеріалу, що покращує адгезію шару міді. Після цього шляхом хімічного або гальванічного осадження формується струмопровідний шар. [1]

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Комбінований метод. Цей метод базується на основі інших технологій вище перерахованих методів виготовлення Травлення струмопровідного рисунку відбувається після металізації отворів. У позитивному методі використовують фоторезист з органічних кислот, який руйнується під впливом світла. У негативному – фоторезист з неорганічних кислот, які полімеризуються та стають кислотостійкими. [2]

Кожен метод має свої переваги та недоліки, і вони залежать від конкретних вимог і характеристик проекту друкованої плати.

Для дипломного проєкту було обрано позитивний комбінований метод виробництва друкованих плат з паяльною маскою. При виготовленні плат даним методом як металорезист виступає олово.

1.1.2 Вибір виду і товщини гальванічного покриття

Останнім часом в промисловості стали популярні технології виготовлення друкованих плат з використанням паяльної маски. Ця маска наноситься разом на середні провідники плати і захищає їх від негативного впливу навколишнього середовища. У таких технологіях металорезист використовується тільки для захисту струмопровідного малюнка від травильних розчинів, а потім видаляється.

Оскільки поширений металорезист ПОС-61 містить шкідливий свинець, у нових технологіях його замінили оловом. Олово, що носить на провідниках гальванічним способом, дозволяє уникнути використання свинцю. Цей підхід став більш екологічно безпечним і відповідає сучасним стандартам.

Олов'яні покриття пластичні, легко витримують механічну обробку тиском. В подальшій обробці покриття олова видаляється.

Тому з одного боку товщина олов'яного покриття має бути достатньою для захисту шару міді, а з іншого – покриття не має бути за товстим, адже це збільшить витрати олова.

Тож оптимальною товщиною для олов'яних металорезистів вважається 5-7мкм. [2].

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.1.3 Опис технологічного процесу

Основними етапами виготовлення двобічних плат є [2]:

1. Вхідний контроль фольгованого діелектрика.
2. Виготовлення заготовок друкованих плат.
3. Виготовлення базових або фіксуючих отворів.
4. Свердлення отворів, які підлягають металізації на верстатах з числовим програмним керуванням.
5. Хіміко–механічна підготовка поверхні заготовки та гідроабразивна очистка отворів.
6. Хімічне міднення отворів до товщини 1 мкм.
7. Попереднє гальванічне міднення поверхні отворів (гальванічна затяжка) до товщини 5...7 мкм.
8. Нанесення захисного рельєфу на пробільні місця заготовки, методом фотохімічного або трафаретного друку.
9. Гальванічне міднення струмопровідного рисунка до товщини 25 мкм в отворах.
10. Гальванічне нанесення олова товщиною 5...7 мкм як металорезисту.
11. Видалення захисного рельєфу з пробільних ділянок.
12. Травлення міді з пробільних ділянок.
13. Хімічне травлення олова із струмопровідного рисунка.
14. Нанесення паяльної маски на всю поверхню плати за виключенням місць паяння.
15. Нанесення сплаву олово-вісмут гарячим способом з вирівнюванням покриття стисненим нагрітим повітрям.
16. Обробка плати за контуром
17. Контроль якості друкованих плат.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.1.4 Вибір підготовчих операцій

Знежирення-травлення хімічне. Операція проводиться в стаціонарній ванні в розчині складу, (г/дм³):

H₂SO₄ 80...100,

Синтанол ДС-10 5...10,

Хімічне суміщене знежирення-травлення проходить за температури 20...45.
Час обробки 3...6 хв.

Промивання. Двоступеневе струменеве промивання протягом 0,5...1 хв.

Травлення хімічне. Операція проводиться в стаціонарній ванні за температури 20...40 °С, протягом 0,5...4 хв в розчині складу, (г/дм³):

Персульфат натрію 20...25,

Гідросульфат натрію 20...25,

Промивання. Двоступеневе струменеве промивання протягом 0,5...1 хв.

Активація. Операція проводиться в стаціонарній ванні в розчині складу (г/дм³):

H₂SO₄ 100...110,

Режим роботи:

Температури 18...25. Час обробки 0,5...1 хв

Гальванічне міднення Cupracid TP. Проводиться у сульфатному електроліті. У стандартній ванні (г/дм³):

H₂SO₄ 200...260,

CuSO₄ 30...60,

Cupracid TP 8...18 мл/ дм³,

Cupracid Glanzzusatz 0,2...0,8 мл/ дм³,

NaCl 0,1...0,15

Режим роботи:

Густина струму 1...3 А/дм². Температури 22...2. Час обробки 60 хв.

Промивання у ванні уловлювання. Ванна стаціонарна. Вода питна ДСТУ 7525:2014. Для забезпечення ефективного використання електроліту та

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

відновлення втрат розчину використовується спеціальна ванна уловлювання, яка запобігає втратам електроліту міднення.

Промивання. Двоступеневе струменеве промивання протягом 0,5...1 хв.

Активація. Операція проводиться в стаціонарній ванні в розчині складу, (г/дм³):

H₂SO₄ 50...100

Режим роботи:

Температура розчину 18-25 °С

Час обробки – 0,6-1,0 хв.

1.1.5 Вибір електроліту та режиму нанесення олов'яного покриття

До електролітів для гальванічного нанесення олова на друковані плати ставлять такі вимоги:

- - висока розсіювальна здатність;
- - робоча температура в межах (18...25) °С;
- - простота в приготуванні і експлуатації;
- - вихід за струмом близький до 100 %;
- - невелика вартість і доступність компонентів електроліту. [1]

Для гальванічного нанесення олова в гальванотехніці використовують лужні (станатні), кислі (сульфатні, фенолсульфонові, фтор боратні та галогенідні) та комплексні (пірофосфатні).

Станатні електроліти олов'янування

Олово в станатних електролітах знаходиться у вигляді гідроксокомплексів [Sn(OH)₆]²⁻. Ступінь окиснення олова +4. Ці комплексні іони міцні, а тому електроосадження олова відбувається зі значною поляризацією та поляризованістю, внаслідок чого осади олова формуються дрібнокристалічні, щільні і більш рівномірні за товщиною, ніж із простих електролітів. До переваг вказаних електролітів можна віднести також простоту їх складу та приготування.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Але станатні електроліти мають ряд недоліків:

1) менш продуктивні, ніж прості; робочі густини струму складають 0,5...1,5 А/дм², ВC_{Sn} = 60...75%; електрохімічний еквівалент (Sn⁴⁺) в 2 рази менший, ніж (Sn²⁺);

2) необхідне нагрівання електроліту до 60...80⁰С, тому що при кімнатній температурі низький вихід за струмом олова;

3) наявність в електроліті (Sn + 4ОН⁻ = [Sn(ОН)₄]²⁻ + 2е) станітних комплексних іонів [Sn(ОН)₄]²⁻, які менш міцні, ніж станатні; концентрація станітних іонів незначна в електроліті, їх відновлення на катоді перебігає при граничній густині струму, а тому олово осаджується рихлим, губчастим. Крім цього, в електроліті можуть утворюватися порошкоподібні Sn та SnO, які заносяться на катод, погіршується структура, властивості та шорсткість олова, яке осаджується [3].

1. Склад станатного електроліту (г/дм³) та режим електролізу[4]:

Na ₂ [Sn(ОН) ₆] * 3 Н ₂ О	30...90; (в перерахунку на Sn)
NaОН _{вільн.}	7...15;
CH ₃ COONa	10...20;
i _к	0,5...1,5 А/дм ² ,
t	60-80 ⁰ С;
ВC _к	70-50 %.

2. Склад станатного електроліту на основі іонів К⁺: (г/дм³) та режим електролізу[4]:

К ₂ Sn(ОН) ₆	150...165;
КОН	20...25;
i _к	3...10 А/дм ² ;
t	80...90 ⁰ С;
ВC _к	до 80...90%.

Можна виділити певні переваги електролітів на основі іонів К⁺. Ці електроліти порівняно із іншими станатними електролітами мають більшу

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розчинність та електропровідність, більший інтервал робочих густин струму і більший вихід за струмом. Стабільніші в роботі.

Пірофосфатні електроліти олов'янування

Іон пірофосфату утворює комплекси з іонами Sn^{2+} та Sn^{4+} , але в гальваностегії в основному використовують пірофосфатні комплекси на основі Sn^{2+} .

Пірофосфатні електроліти мають високу розсіювальну здатність, проте через наявність дорогих компонентів ці електроліти не набули широкого використання у промисловості.

Для того, щоб отримати олов'яні покриття хорошої якості в більш широкому інтервалі густин струму в розчин додають добавки декстрину, желатини, β -нафтолу[3].

Склад пірофосфатного електроліту (г/дм³) та режим електролізу[5]:

$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	130...160
$\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$	500... 570
Солянокислий гідразин	15 ...40
Змочувач 133	0,9...1,1
Клей	1-2 мл/л
Миючий засіб «Прогрес»	3-6 мл/л

Режими роботи:

температура 16 – 25 °С;

густина струму 1 – 3 А/дм².

Фторборатні електроліти олов'янування

Фторборатні електроліти дають змогу осаджувати олово при значно вищих густинах струму. Але вони дорогі, більш складні в приготуванні, агресивні,

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

потребують додаткових засобів щодо охорони праці та захисту устаткування від корозійного руйнування.

Склад фторборатного електроліту (г/дм³) та режиму електролізу[4]:

Sn(BF ₄) ₂	180 ...250;
HBF ₄ вільна	45...60;
H ₃ BO ₃ вільна	25...30;
Інгібітор И-1-А	2...3;
i _k	3...10 А/дм ² ;
температура	20...40°C;
BC _к =95-96 %.	

Можуть бути додатково використані різні поверхнево активні речовини: β-нафтол; пірокатехін, желатин.

Сульфатні електроліти олов'янування

Для електроосадження олова широко використовують сульфатні електроліти, які містять ~ 30...60 г/дм³ SnSO₄. За більшої концентрації солі швидше пасивується анод. Для збільшення електропровідності електроліту, зменшення гідролізу, окиснення Sn²⁺ до Sn⁴⁺ та шорсткості до його складу вводять 20...120 г/дм³ сульфатної кислоти. Через велику перенапругу виділення водню на олові його виділення незначне [4].

За рахунок не високої ціни компонентів та стабільності в роботі та легкості приготування електроліту сульфатні електроліти широко використовуються в промисловості. Без введення до електроліту поверхнево активних добавок олово утворює крупнокристалічні або навіть губчасті осади. Для запобігання цього вводять такі добавки: препарат ОС-20; крезол, β-нафтол, фенол, клей столярний, синтанол ДС-10, желатин.

При введенні однієї або декількох добавок перенапруга виділення олова значно зростає і олово осаджується дрібнокристалічним, щільним, гладеньким.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

При цьому збільшується поляризованість, що сприяє одержанню більш рівномірних за товщиною осадів. Розсіювальна здатність сульфатних електролітів досить висока.

Склад сульфатного електроліту (г/дм³) та режиму електролізу[5]:

SnSO₄ 40...50;

H₂SO₄ 50...80;

Na₂SO₄ 30...50;

Препарат ОС-20 2...5;

$i_k = 1 \text{ А/дм}^2$ при кімнатній температурі;

$i_k = 2 \text{ А/дм}^2$ при підвищенні температури до 40...50⁰С;

Для отримання блискучих покриттів в електроліт вводять блискоутворювачі: ацетилацетон, формалін, Лімеда Sn-2[5].

Високими експлуатаційними характеристиками відрізняється сульфатний електроліт олов'янування, який містить добавки, розроблені фірмою «Atotech» (Німеччина) і має такий склад (г/дм³) [1]:

H₂SO₄ 160...200

SnSO₄ 30...60

STH Zusatz 30...60 мл/ дм³

Suffotech SP Zusatz 30...80 мл/ дм³

Температура 18...25 ⁰С

Катодна густина струму 1...2 А/дм²

Вихід за струмом ≈ 100 %

Аноди розчинні із олова марки О1 або О1пч. чистоти 99,9 %. Для запобігання потрапляння в електроліт шламу аноди розміщені в чохла із хімічно стійкої тканини.

Електроліт відрізняється високою розсіювальною здатністю, простотою обслуговування і все більше використовується в промисловості. Обраний електроліт є кислим електролітом для матового олов'янування. Операція проводиться в стаціонарній ванні протягом – 7,5 хв.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Приготування електроліту

Ванну на три четверті наповнюють деіонізованою водою. Обережно ввести розраховану кількість сульфатної кислоти. При ретельному перемішуванні ввести розраховану кількість сульфату олова.

Перед введенням добавок електроліт слід охолодити до кімнатної температури. Потім поступово ввести добавки Sulfoteach SP Zusatz та STH Zusatz.

Довести об'єм електроліту до рівня деіонізованою водою. Пропрацювати електроліт при $i = 1 \text{ А/дм}^2$.

Зробити аналіз на вміст олова та сірчаної кислоти.

Аналіз електроліту олов'янування

Визначення загального вмісту олова. В конічну колбу місткістю 250 мл додають 3-5 мл електроліту та 100 мл HCl (1:1), потім кидають 10-15 очищених пластинок свинцю розміром 5*10 мм, в колбу встановлюють лійку та кип'ятять протягом 30 хвилин для відновлення чотирьохвалентного олова. Перед завантаженням свинець очищують шляхом його кип'ятіння в HCl (густина 1,19). Після чого колбу знімають з плитки та охолоджують протягом 5 хвилин. Після повного охолодження в розчин кидають шматочок мармуру та швидко титрують 0,1Н розчином йоду за наявності крохмалю до появи синього забарвлення. Загальна концентрація олова (г/дм³)

$$Sn_{\text{заг}} = \frac{59,35an}{n};$$

де а - кількість розчину йоду, яка пішла на титрування, мл; н – нормальність розчину йоду; n – кількість електроліту взятого на аналіз; 59,35 – коефіцієнт перерахунку на Sn.

Визначення двовалентного олова. В конічну колбу місткістю 250 мл додають 3-5 мл електроліту та 20 мл HCl (густина 1,19), 20 мл насиченого розчину NaHCO₃ і титрують 0,1Н розчином йоду, як описано вище.

Визначення вільної сірчаної кислоти. Електроліт об'ємом 10 мл розбавляють водою до 50 мл в конічній колбі місткістю 250 мл, додають 5 крапель 0,1%-го

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

тропеоліну 00 і титрують 1 н. розчином NaOH до зміни забарвлення з червоного на жовтий. Концентрацію срічаної кислоти розраховують за формулою:

$$H_2SO_4 = \frac{49a_n}{n};$$

де а - кількість розчину NaOH, яка пішла на титрування, мл; н – нормальність розчину NaOH; n – кількість електроліту взятого на аналіз; 49 – коефіцієнт перерахунку на H₂SO₄.

Підрахунок загального вмісту олова (г/дм³) здійснюють за формулою:

$$Sn_{\text{заг}} = \frac{a0,787 * 1000}{n};$$

де а - маса осадка SnO₂,г; n – кількість електроліту взятого на аналіз; 0,787 – коефіцієнт перерахунку на Sn.

Види браку і способи їх усунення

Таблиця 1.1 – Основні неполадки процесу олов'янування в сульфатному електроліті[5].

№	Вид дефекту	Причина	Спосіб усунення
1	Темні кольори при високих густинах струму	1. Низький вміст олова; 2. Низька температура електроліту; 3. Погане механічне перемішування; 4. Висока густина струму; 5. Наявність міді в електроліті; 6. Висока концентрація Sulfoteach part A.	1. Підвищити вміст олова в електроліті; 2. Підвищити температури електроліту; 3. Відрегулювати частоту циклів погойдування (15-20 циклів на хвилину); 4. Відрегулювати густину струму, а саме перевірити площу металізації; 5. Пропрацювати електроліт струмом або додати порошкоподібне олово, після чого електроліт відфільтрувати; 6. Знизити вміст Sulfoteach part A.
2	Темний пухкий осад за високих та середніх густинах струм	1. Наявність в електроліті органічних домішок.	1. Відфільтрувати електроліт та замінити вугільний фільтр.

Продовження таблиці 1. 1

№	Вид дефекту	Причина	Спосіб усунення
3	Відсутнє покриття при низьких густинах струму	1. Високий вміст СГ. 2. Високий вміст олова. 3. Висока температура. 4. Електроліт забруднений органічними домішками. 5. Низька концентрація Suffotech SP Zusatz.	1. Замінити електроліт. 2. Проробити ванну. 3. Понизити температуру. 4. Замінити вугільний фільтр і фільтрувати електроліт протягом 3 - 4 годин.
4	Нерівномірний розподіл товщини металізації	1. Неправильне відношення площі катод-анод. 2. Відсутність контакту анодів. 3. Неполадки в роботі електричної ванни. 4. Висока густина струму. 5. Високий вміст олова. 6. Низький вміст кислоти.	1. Відкорегувати. 2. Зачистити контакт. 3. Усунути неполадки. 4. Понизити густину струму. 5. Відкоригувати по результатам аналізу. Підвищити концентрацію кислоти.
5	Виділення газу на аноді	1. Висока анодна густина струму. 2. Підвищена концентрація олова або кислоти. 3. Брудні чохли.	1. Очистити анодну поверхню й додати аноди 2 А/дм ² . 2. Відкоригувати по результатам аналізу. 3. Почистити чохли.
6	Бурі кільця на місцях переходу контактна площадка-отвір.	1. Забруднення розчину органічними домішками	1. Почистити ванну активованим вугіллям.
7	Маленька товщина або темний осад біля фоторезисту	1. Знелужування фоторезисту під час електролітичного процесу	1. Перевірити час проявлення та час після проявлення.
8	Осади олова грубі, по краях спостерігається утворення наростів	1. Нестача в електроліті ПАР; 2. Зависока густина струму.	1. Додати ПАР; 2. Зменшити густину струму
9	Шорсткість осадів	1. Забруднення електроліту механічними домішками.	1. Відфільтрувати електроліт.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ

Арк

25

Продовження таблиці 1.1

№	Вид дефекту	1. Причина	1. Спосіб усунення
10	Неоднорідна структура осаду по поверхні деталей	2. Розшарування електроліту.	2. Перемішати електроліт.

Зняття недоброякісних покриттів. Для зняття олов'яних покриттів із мідного підшару використовується хімічний спосіб за температури 15-25°C в розчині, що має склад [1]:

соляна кислота ($d = 1,18 \text{ кг/м}^3$)	20 ... 40 мл/л;
кислота оцтова (80 %)	100...120 мл/л;
залізо хлорне	160...180 г/дм ³ ;
кислота оксалатна	50 ... 70 г/дм ³ .

1.1.5 Вибір завершальних технологічних операцій

Після нанесення олов'яного покриття плати поступають до ванни уловлювання.

Промивання у ванні уловлювання. Ванна стаціонарна. Вода питна ДСТУ 7525:2014. Для забезпечення ефективного використання електроліту та відновлення втрат розчину використовується спеціальна ванна уловлювання, яка запобігає втратам електроліту олов'янування.

Промивання. Ванна стаціонарна. Вода питна ДСТУ 7525:2014. Двоступеневе струменеве промивання протягом 0,5...1 хв.

Сушіння. Операція проводиться у відповідній сушильній камері в яку подається під напором повітря з температурою 60...70 °C. Операція триває до повного висушування вологи з поверхні плати (протягом ~ 3 хв).

Демонтаж заготовок друкованих плат

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Штанга з висушеними заготовками друкованих плат подається автоматично на позицію секції загрузки – вигрузки. Після демонтажу деталей слідує операція контролю якості отриманого гальванічного покриття.

1.1.6 Контроль якості гальванічного покриття

Контроль якості гальванічних матових олов'яних покриттів визначається згідно ГОСТ 9.306-85 по їх зовнішньому виду та товщини.

До олов'яного металорезисту висуваються наступні вимоги:

- рівномірність покриття на бічній поверхні та в отворах плат,
- мінімальна пористість,
- стійкість до розчинів травлення,
- висока адгезія міді,
- легкість видалення поверхні струмопровідного рисунка,
- безпечність сполук металу-покриття з компонентами травильних розчинів та їх висока розчинність,
- легкість вилучення зі стічних вод.[1]

Контроль зовнішнього вигляду покриття проводиться шляхом видимого огляду поверхні всіх деталей без використання додаткового обладнання. Огляд слід проводити на відстані 25 см з освітленням не менше 300 лк, використовуючи лампи розжарювання. Отримане покриття повинно бути сріблясто-сірим з молочно-матовим відтінком відповідно до вимог стандарту ДСТУ 9.306-85. Крім того, покриття повинне бути однорідним, непористим, суцільним, без пригару чи здуттів.

Контроль товщини покриття виконується за допомогою вихреструменевого товщиноміру. Для здійснення контролю відбирається випадковим числом від 0,1 до 1% деталей, але не менше трьох штук.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2 Вибір і розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів

1.2.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при перервному виробництві розрахований за кількістю календарних днів у році (365) за вирахуванням вихідних (105), що при п'ятиденному робочому тижні тривалістю 40 год і однозмінній роботі складає [1]:

$$T_n = \left(\frac{(365 - 105) \cdot 40}{5} \right) \cdot 1 = 2080 \text{ год}$$

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

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 2080 - 0,02 \cdot 2080 = 2038 \text{ год}$$

1.2.2 Визначення виробничої програми обладнання

Для визначення річної виробничої програми P_p річне виробниче завдання P_z , що складає 3000 плат/рік, збільшується на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5...3 % ($K_{бр} = 0,005...0,03$) від P_z [1]:

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 3000 + 3000 \cdot 0,02 = 3060 \frac{\text{плат}}{\text{рік}}$$

Тоді добова виробнича програма складає:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{3060}{260} = 12 \frac{\text{плат}}{\text{доба}}$$

де $T_{доб}$ — кількість робочих днів у 2023 році.

Годинна виробнича програма [1]:

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$P_r = \frac{P_p}{T_d} = \frac{3060}{2038} = 2 \frac{\text{плат}}{\text{год}}.$$

1.2.3 Розрахунок середньої товщини покриття та часу обробки однієї завантажувальної одиниці

Середня товщина покриття δ_n , яку приймають для проектних розрахунків, визначаємо за формулою [1]:

$$\delta_n = \delta \cdot k + \delta_{zn},$$

де δ – завдана товщина покриття, мкм; δ_{zn} – товщина покриття, яка знімається при наступній хімічній або механічній обробці, мкм; k – коефіцієнт, що враховує нерівномірність покриття, залежить від розсіювальної здатності електроліту і знаходиться в межах 1,1...1,4 [6].

Середня товщина олов'яного покриття, яка приймається для проектних розрахунків становить:

$$\delta_n = \delta \cdot k = 6 \cdot 1,25 = 7,5 \text{ мкм}$$

де δ – обрана товщина олов'яного покриття 6 мкм.

Тривалість електрохімічного осадження покриття [1]:

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_{Sn} \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{V_c \cdot K_e \cdot i_k} = \frac{7,5 \cdot 7,28 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 2,215 \cdot 2} = 7,4 \text{ хв}$$

де δ_n – товщина покриття, мкм;

d_m – густина металу покриття, г/см³ ($d_{\text{олова}} = 7,28 \text{ г/см}^3$ [6]);

V_c – катодний вихід за струмом;

K_e – електрохімічний еквівалент олова, г/А·год ($K_e = 2,215 \text{ г/А·год}$ [6]);

i_k – середня катодна густина струму, А/дм².

Час обробки однієї завантажувальної одиниці:

$$\tau = \tau_T + \tau_{ob} = 7,4 + 3 = 10,4 \text{ хв}$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

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

Кількість оброблюваних завантажень розраховується з урахуванням коефіцієнту затрат часу для однозмінного виробництва $K_{об} = 1,06...1,1$ і становить [1]:

$$\sum N = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = \frac{2038 \cdot 60}{10,4 \cdot 1,06} = 11092$$

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

Разове завантаження усіх ванн [1]:

$$N_{оз} = \frac{P_p}{\sum N} = \frac{3060}{11092} = 0,275 = 1 \text{ плата.}$$

1.2.4 Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання

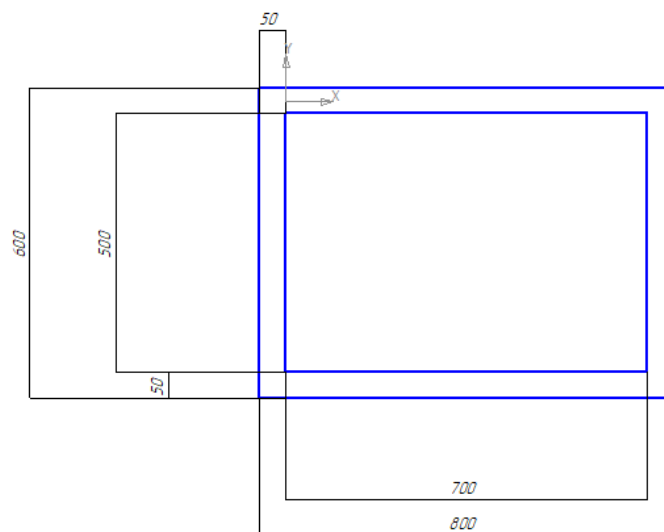


Рисунок 1.1 – Розміщення деталі на підвісі.

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

Внутрішня довжина ванни l , м [1]:

$$l = l_n + 2 \cdot l_1 = 800 + 2 \cdot 150 = 1100 \text{ мм} = 1,1 \text{ м,}$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де l_n – довжина підвіски;

l_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни (приймають у межах 0,10...0,15 м).

Внутрішня ширина ванни B , м [1]:

$$B = B_n + 2 \cdot l_{a-n} + 2 \cdot B_a + 2 \cdot B_1 = 15 + 2 \cdot 200 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot 50 = 535 \text{ мм} = 0,535 \text{ м},$$

де l_{a-n} – відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями (унормоване значення, яке повинно складати 0,10...0,25 м, що необхідно для забезпечення максимальної рівномірності покриття);

B_n – товщина підвіски з деталями, м;

B_a – товщина анодів, м (10 мм)[1];

B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни (приймають 0,05...0,10 м[1]), м.

Внутрішня висота ванни h , м [1]:

$$h = h_n + h_1 + h_2 + h_3 = 600 + 150 + 50 + 300 = 1100 \text{ мм} = 1,1 \text{ м},$$

де h_n – висота підвіски;

h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски (0,15...0,20 м, більший розмір приймають за наявності на дні ванни зміювика[1]);

h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту (приймають 0.05 м);

h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни (0,10...0,15 м, більший розмір приймають за наявності перемішування електроліту, а при використанні бортових відсмоктувачів величину h_3 збільшують до 0,15...0,30 м[1]).

За проведеними розрахунками обираємо внутрішні габаритні розміри гальванічної ванни олов'янування:

- довжина – 1,1 м;
- ширина – 0,55 м;
- висота – 1,1 м;
- Об'єм ванни – 0,665 м³;

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Поверхня однієї деталі:

$$S_d = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ м}^2$$

Сумарна покриваємо поверхня деталей, які завантажують на одну підвіску з урахуванням того, що площа струмопровідного рисунку складає 30 % від усієї площі плати:

$$S_n = S_d \cdot n_d = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,30 = 0,21 \text{ м}^2$$

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

Поверхня разового завантаження:

$$S_{оз} = S_n \cdot N_n = 0,21 \cdot 1 = 0,21 \text{ м}^2$$

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

Сумарна кількість плат, що одноразово завантажуються у ванну:

$$N_{озв} = n_{під} \cdot N_n = 1 \cdot 1 = 1 \text{ плата}$$

Кількість необхідних ван [1]:

$$n_B = \frac{N_{оз}}{N_{озв}} = \frac{1}{1} = 1;$$

$$\sum n_B^* = 1 \text{ шт.}$$

Річна продуктивність обладнання [1]:

$$P'_p = \sum n_B^* \cdot N_{озв} \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{2038 \cdot 60}{10,4 \cdot 1,06} = 11092 \frac{\text{плат}}{\text{рік}}$$

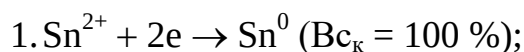
Коефіцієнт завантаження обладнання [1]:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P'_p} = \frac{3060}{11092} = 0,275$$

1.2.5 Баланс кількості електрики на гальванічній ванні

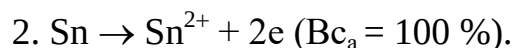
При олов'януванні у сульфатному електроліті на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Сила струму на клемах олов'янування [1]:

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{\text{оз}} = 1,03 \cdot 200 \cdot 0,21 = 43,26 \text{ А}$$

де коефіцієнт К, який ураховує втрати електрики на осаджування металу на контактах підвісного пристрою, його вибирають в межах $K = 1,03 \dots 1,15$ [6].

За одну астрономічну годину можна обробити: $60/10,4 = 5,8$ підвісок. Округляємо до 5 підвісок. Звідси дійсний час проведення електролізу в ванні складає $(10,4 - 3) \times 5 = 37$ хв., або 0,6 години.

Кількість електрики, що витрачається на кожний електродний процес в продовж 0,6 години складає [1]:

на катоді:

$$1. Q_k = \frac{I \cdot \tau \cdot \text{Вс}_k}{100} = \frac{43,26 \cdot 0,6 \cdot 100}{100} = 25,96 \text{ А} \cdot \text{год}$$

на аноді:

$$2. Q_a = \frac{I \cdot \tau \cdot \text{Вс}_k}{100} = \frac{43,26 \cdot 0,6 \cdot 100}{100} = 25,96 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Таблиця 1.2 – Баланс кількості електрики на ванні олов'янування.

Надходження	Q, А·год	Витрати			
		На катоді	Q, А·год	На аноді	Q, А·год
Від зовнішнього джерела струму	25,96	На осадження олова	25,96	На розчинення олова	25,96
Всього	25,96	Всього	25,96	Всього	25,96

1.2.6 Баланс напруги на гальванічній ванні

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.

Баланс напруги процесу олов'янування розраховують за формулою [1]:

$$U_B = E_a - E_k + \Delta U_{OM \text{ Ел-т}} + \Delta U_{OM \text{ Ір}} + \Delta U_{OMk} = \Delta E_i + \Sigma \Delta U_{OM}$$

Різниця потенціалів [1]:

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

де E_a – потенціал аноду під струмом, В; [6]

E_k – потенціал катоду під струмом, В. [6]

Середня густина струму [1]:

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{200 \cdot 100} = 141,4 \text{ А/м}^2$$

Падіння напруги в електроліті [1]:

$$\Delta U_{OM \text{ Ел-т}} = K_{ГН} \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_{Ел-т} = 1 \cdot 141,4 \cdot 0,2 \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 2,26 \text{ В}$$

де $K_{ГН}$ – коефіцієнт, який ураховує збільшення опору за рахунок газонаповнення;

$\rho_{Ел-т}$ – питомий електричний опір електроліту, Ом·м. [1].

Тоді напруга на ванні:

$$U_B = (E_a - E_k + \Delta U_{OM \text{ Ел-т}}) / 0,9 = (0,65 + 2,26) / 0,9 = 3,23 \text{ В}$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Sigma \Delta U_{OM} \leq 0,1 \cdot U_B = 0,1 \cdot 3,23 \approx 0,32 \text{ В}$$

Таблиця 1.3 – Баланс напруги на ванні олов'янування.

Надходження	Значення		Витрати	Значення	
	В	%		В	%
Напруга на ванні, U_B	3,23	100	Різниця потенціалів електродів під струмом, $E_a - E_k$	0,65	20,13
			Падіння напруги в електроліті, $\Delta U_{OM \text{ Ел-т}}$	2,26	69,97
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках, $\Sigma \Delta U_{OM}$	0,32	9,9
Всього	3,23	100	Всього	3,23	100

1.2.7 Вибір джерела струму для гальванічній ванні

Мінімальна напруга на джерелі струму, враховуючи додаткових 10 % від неї на падіння напруги в шинопроводах від джерела струму до ванни олов'янування складає [1]:

$$U_{\text{дс}} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 3,23 = 3,55 \text{ В}$$

Необхідна потужність джерела струму для процесу олов'янування складе:

$$N_{\text{дс}} = U_{\text{дс}} \cdot I \cdot 10^{-3} = 3,55 \cdot 43,26 \cdot 10^{-3} = 0,15 \text{ кВт},$$

Обираємо джерело постійного струму ГИТ4000-300х12Р-380-В3, з технічними характеристиками [14]:

- Вихідна напруга – 1 – 12 В;
- Діапазон струму – 20 – 300 А.

Звідси максимальна паспортна потужність складає:

$$N_{\text{пасп}} = 12 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ кВт}.$$

Тоді коефіцієнт завантаження обраного випрямного агрегату в процесі олов'янування складає:

$$K = \frac{N_{\text{дс}}}{N_{\text{пасп}}} = \frac{0,15}{3,6} = 0,04.$$

1.2.8 Визначення теплової енергії, складання балансу енергії

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

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

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Електрична енергія, яка витрачається на перебіг процесу в одній гальванічній ванні [1]:

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

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

Тоді, для однієї ванни олов'янування величина електричної енергії в розрахунку на одну астрономічну годину складе:

$$W_{\text{заг}} = 3,23 \cdot 43,26 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 302 \text{ кДж}.$$

Енергію $W_{\text{хім}}$ можна визначити за формулою [1]:

$$W_{\text{хім}} = -3,6 \cdot I \cdot \sum 10^{-2} \frac{\sum v_i \cdot \Delta H_i \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F} \cdot \tau$$

де $\sum \Delta H_i^0$ - зміна ентальпії усіх електрохімічних процесів, яка розраховується за значеннями ентальпії вихідних та кінцевих продуктів реакції за температури, яка відповідає технологічному процесу із урахуванням стехіометричних коефіцієнтів v_i та виходу за струмом B_{ci} ; z_i - число електронів, які приймають участь у реакції. При розрахунку $\sum \Delta H_i$ для усіх процесів, які перебігають одночасно, приймають однакову направленість реакції. Тоді [1]:

$$\sum \Delta H_i = \sum v_{i\text{вих}} \cdot \Delta H_{i\text{вих}} - \sum v_{i\text{кін}} \cdot \Delta H_{i\text{кін}}$$

При процесі олов'янування окисно-відновна реакція перебігає в протилежних напрямках на катоді і аноді, то для неї $\Delta H=0$, так як ця реакція не призводить до зміни матеріального стану системи.

Тому для гальванічних процесів, які ідуть із розчинними анодами з виходом за струмом на катоді і аноді, близьким до 100%, електрична енергія витрачається на розігрівання електроліту (джоулева теплота) перетворюючись в теплову енергію:

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

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

Таблиця 1.4 – Баланс енергії на ванні олов'янування.

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	302	100	Джоулева теплота	302	100
			Хімічна енергія	0	0
Разом	302	100	Разом	302	100

1.2.9 Тепловий розрахунок гальванічних ванн

Розрахунок витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму

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

Деякі параметри гальванічної ванни олов'янування:

- довжина – 1,1 м;
- ширина – 0,55 м;
- висота – 1,1 м;
- Об'єм ванни – 0,665 м³;
- густина поліпропілену $\rho_{\text{в}} = 1,4 \text{ г/см}^3$ або 1400 кг/м³[1];
- товщина стінок ванни 20 мм або 0,02 м.

Маючи вище перераховані дані, розрахуємо масу ванни:

$$m_2 = (1,1 \cdot 0,55 + 1,1 \cdot 1,1 \cdot 2 + 1,1 \cdot 0,55 \cdot 2) \cdot 0,02 \cdot 1400 = 118,6 \text{ кг}$$

Об'єм електроліту розраховується за формулою:

$$V_1 = K_{\text{зап}} \cdot V_{\text{ванни}} = 0,75 \cdot 0,665 = 0,5 \text{ м}^3$$

де $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{\text{зап}} = 0,75$ [1]);

Максимально можливу температуру розігріву ванни T_k , К, визначається за формулою [1]:

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

де, V_1 , C_1 , d_1 – відповідно об'єм, питома масова теплоємність (4030 Дж/(кг·К) [1]) і густина (1,12 кг/дм³[1]) електроліту, що нагрівається; C_2 - теплоємність матеріалу корпусу ванни, для пропілену близько 1470 Дж/(кг·К) [1]; C_3 – теплоємність матеріалу анода (226,1 Дж/(кг·К) [1]; m_2 , m_3 , - маса ванни і анодів у ванні.

Співвідношення площі аноду до катоду має бути не менше 2:1, а також для нормального розподілу струму геометричні розміри анодів відповідати як мінімум геометричним розмірам плати $S_a = 0,7 \text{ м}^2$

$$m_3 = 7280 \cdot 0,7 \cdot 0,01 = 51 \text{ кг}$$

$$T_k = 293 + \frac{302000}{0,5 \cdot 4030 \cdot 1120 + 1470 \cdot 118,6 + 226,1 \cdot 51} = 293,12 \text{ К}$$

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

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

Розрахунок витрат анодів

Витрати анодів на запуск нового обладнання[1]:

$$G_{аз} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_b \cdot h_b \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot n_b$$

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_b – внутрішня довжина ванни, 1,1 м; h_b – внутрішня висота ванни, 1,1 м; d_a – густина олов'яних анодів, 7310 кг/м³[1]; δ_a – товщина катодів, 0,01 м; n_b – кількість ванн даного типу, 1 шт.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$G_{аз} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,01 \cdot 7280 \cdot 1 = 84,6 \text{ кг}$$

Витрати анодів на виконання річної виробничої програми

Витрати розчинних анодів $G_{ар}$ визначають за формулою [1]:

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

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

Значення A_p визначають, виходячи з чистої маси покриття, технологічних витрат та відходів[1]:

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

де $d_{п}$ – густина металу покриття, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$A_p = 7280 \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6} = 0,0077 \text{ кг}/\text{м}^2$$

Величину S визначають за формулою:

$$S = P_n \cdot S_n = 3060 \cdot 0,21 = 642,6 \text{ м}^2$$

.

$$G_{ар} = 642,6 \cdot 0,0077 \cdot 7,5 = 37,1 \text{ кг}$$

Сумарна витрата анодів:

$$\Sigma G_p = G_{аз} + G_{ар}$$

$$\Sigma G_p = 84,6 + 37,1 = 121,7 \text{ кг}$$

Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати компонента електроліту G_i (кг) визначається за формулою [1]:

$$G_i = C_i \cdot V_1 \cdot n_b$$

де C_i – концентрація відповідного електроліту, $\text{кг}/\text{м}^3$ або $\text{дм}^3/\text{м}^3$;
 V_1 – об'єм електроліту, м^3 ; $n_b = 1$ – кількість ванн даного типу.

Для запуску ванни гальванічного олов'янування витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 200 \cdot 0,5 \cdot 1 = 100 \text{ кг}$$

$$G_{SnSO_4} = 60 \cdot 0,5 \cdot 1 = 30 \text{ кг}$$

$$G_{STH-Zusatz} = 60 \cdot 0,5 \cdot 1 = 30 \text{ дм}^3$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$G_{\text{Suffotech_SP_Zusatz}} = 80 \cdot 0,5 \cdot 1 = 40 \text{ дм}^3$$

Для запуску ванни гальванічного міднення витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 260 \cdot 0,5 \cdot 1 = 130 \text{ кг}$$

$$G_{CuSO_4} = 60 \cdot 0,5 \cdot 1 = 30 \text{ кг}$$

$$G_{\text{Cupracid_TP}} = 18 \cdot 0,5 \cdot 1 = 9 \text{ дм}^3$$

$$G_{\text{Cupracid_Glanzzusatz}} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,4 \text{ дм}^3$$

$$G_{NaCl} = 0,15 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,075 \text{ кг}$$

Для запуску ванни знежирення-травлення витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 100 \cdot 0,5 \cdot 1 = 50 \text{ кг}$$

$$G_{\text{синтанол-ДС-10}} = 10 \cdot 0,5 \cdot 1 = 5 \text{ кг}$$

Для запуску обладнання травлення витрати реагентів складають:

$$G_{Na_2S_2O_8} = 25 \cdot 0,5 \cdot 1 = 12,5 \text{ кг}$$

$$G_{NaHSO_4} = 25 \cdot 0,55 \cdot 1 = 12,5 \text{ кг}$$

Для запуску обладнання активації витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 100 \cdot 0,5 \cdot 1 = 50 \text{ кг}$$

Витрати компонентів на виконання річної виробничої програми

Розрахунок витрат компонента здійснюється за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вт}},$$

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

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

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot P_p \cdot S_d = 1,15 \cdot 3060 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 0,25 \text{ м}^3$$

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

Для річної програми гальванічного олов'янування витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 200 \cdot 0,25 \cdot 1 = 50 \text{ кг}$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$G_{SnSO_4} = 60 \cdot 0,25 \cdot 1 = 15 \text{ кг}$$

$$G_{STH-Zusatz} = 60 \cdot 0,25 \cdot 1 = 15 \text{ дм}^3$$

$$G_{Suffotech_SP_Zusatz} = 80 \cdot 0,25 \cdot 1 = 20 \text{ дм}^3$$

Для річної програми гальванічного міднення витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 260 \cdot 0,25 \cdot 1 = 65 \text{ кг}$$

$$G_{CuSO_4} = 60 \cdot 0,25 \cdot 1 = 15 \text{ кг}$$

$$G_{Cupracid_TP} = 18 \cdot 0,25 \cdot 1 = 4,5 \text{ дм}^3$$

$$G_{Cupracid_Glanzzusatz} = 0,8 \cdot 0,25 \cdot 1 = 0,2 \text{ дм}^3$$

$$G_{NaCl} = 0,15 \cdot 0,25 \cdot 1 = 0,038 \text{ кг}$$

Для річної програми знежирення-травлення витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 100 \cdot 0,25 \cdot 1 = 25 \text{ кг}$$

$$G_{\text{синтанол-ДС-10}} = 10 \cdot 0,25 \cdot 1 = 2,5 \text{ кг}$$

Для річної програми травлення витрати реагентів складають:

$$G_{Na_2S_2O_8} = 25 \cdot 0,25 \cdot 1 = 6,25 \text{ кг}$$

$$G_{NaHSO_4} = 25 \cdot 0,25 \cdot 1 = 6,25 \text{ кг}$$

Для річної програми активації витрати реагентів складають:

$$G_{H_2SO_4} = 100 \cdot 0,5 \cdot 1 = 50 \text{ кг}$$

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.

Витрати води G'_{H_2O} (кг) визначаються за формулою [1]:

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

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

Величину C_{H_2O} можна визначати за формулою [1]:

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

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де $d_{\text{ел}}$ – густина електроліту, 1120 кг/м^3 [1]; $C_1, C_2 \dots C_n$ – вміст компонентів в електроліті, кг/м^3 .

Вміст води в одному м^3 електроліту олов'янування:

$$C_{H_2O} = 1120 - (200 + 60) = 860 \text{ кг/м}^3.$$

Сумарні витрати електроліту знаходять за формулою [1]:

$$V_{\text{заг}} = V_1 \cdot n_B + V_{\text{вт}},$$

де V_B – об'єм електроліту, м^3 ;

n_B – кількість ванн,

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

$$V_{\text{заг}} = 0,5 \cdot 1 + 0,25 = 0,75 \text{ м}^3.$$

Тоді витрати води на приготування електроліту олов'янування:

$$G_{H_2O} = 860 \cdot 0,75 = 645 \text{ кг} = 645 \text{ дм}^3$$

Вміст води в одному м^3 електроліту міднення ($d_{\text{ел.міднення}} = 1100 \text{ кг/м}^3$ [1]):

$$C_{H_2O} = 1100 - (260 + 60) = 780 \text{ кг/м}^3.$$

Сумарні витрати електроліту

$$V_{\text{заг}} = 0,5 \cdot 1 + 0,25 = 0,75 \text{ м}^3$$

Тоді витрати води на приготування електроліту міднення:

$$G_{H_2O} = 780 \cdot 0,75 = 585 \text{ кг} = 585 \text{ дм}^3$$

Вміст води в одному м^3 електроліту для ванн знежирення-травлення та активації ($d_{\text{ел.активації}} = 1060 \text{ кг/м}^3$ [1]):

$$C_{H_2O} = 1060 - 100 = 960 \text{ кг/м}^3.$$

Сумарні витрати електроліту для ванн знежирення-травлення та активації

$$V_{\text{заг}} = (0,5 \cdot 1 + 0,25) \cdot 2 = 1,5 \text{ м}^3$$

Тоді витрати води на приготування електроліту міднення:

$$G_{H_2O} = 960 \cdot 1,5 = 1440 \text{ кг} = 1440 \text{ дм}^3$$

Вміст води в одному м^3 електроліту травлення ($d_{\text{ел.травлення}} = 1040 \text{ кг/м}^3$ [1]):

$$C_{H_2O} = 1040 - (25 + 25) = 990 \text{ кг/м}^3.$$

Сумарні витрати електроліту

$$V_{\text{заг}} = 0,5 \cdot 1 + 0,25 = 0,75 \text{ м}^3$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Тоді витрати води на приготування електроліту травлення:

$$G_{H_2O} = 990 \cdot 0,75 = 742,5 \text{ кг} = 742,5 \text{ дм}^3$$

Тоді загальні витрати води на приготування електролітів складуть

$$G_{H_2O} = 645 + 585 + 1440 + 742,5 = 3412,5 \text{ кг або } 3412,5 \text{ дм}^3$$

Витратами води на випаровування з поверхні електроліту знехтуємо, оскільки ванна працює за температури, яка не перевищує 25 °С

Витрати води на промивні операції

Витрати води на промивні операції залежить від кількості ступенів промивки. Використовуємо двоступеневий струминний метод промивання для якого погодинні витрати води ${}_1V_{\text{год}}$ визначають за формулою [1]:

$${}_2V_{\text{год}} = 0,7 \cdot A_e \cdot P_r \cdot \sqrt{K}, \text{ дм}^3/\text{год.}$$

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

$$K = C_0 / C_k,$$

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

Після ванн міднення та олов'янування додатково встановлюємо ванни уловлювання. При цьому величину K зменшують введенням коефіцієнту 0,4 для однієї ванни уловлювання.

Сумарні витрати води на промивку при виконанні виробничої програми визначаються як [1]:

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

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

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

Витрати води на промивні операції після суміщеного знежирення-травлення

Концентрація основного компоненту (H_2SO_4) – 100 г/дм³

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, для ванн знежирення: 0,1 г/дм³

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

$$V_{\text{год}} = 0,7 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{1000} \cdot 2 \cdot 0,7 = 3,1 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 3,1 \cdot 2038 \cdot 1,5 = 9474 \text{ дм}^3.$$

Витрати води на промивні операції після травлення

Концентрація основного компоненту ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) — 25 г/дм³.

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, для ванн травлення: 0,1 г/дм³.

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{25}{0,1} = 250$$

$$V_{\text{год}} = 0,7 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{250} \cdot 2 \cdot 0,7 = 1,55 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 1,55 \cdot 2038 \cdot 1,5 = 4737 \text{ дм}^3.$$

Витрати води на промивні операції після суміщеного активації

Концентрація основного компоненту (H_2SO_4) – 100 г/дм³

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, для ванн знежирення: 0,1 г/дм³

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

$$V_{\text{год}} = 0,7 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{1000} \cdot 2 \cdot 0,7 = 3,1 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 3,1 \cdot 2038 \cdot 1,5 = 9474 \text{ дм}^3.$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Витрати води на промивні операції після міднення

Концентрація основного компоненту (CuSO_4) — 60 г/дм^3 .

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання: $0,02 \text{ г/дм}^3$.

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{60}{0,002} 0,4 = 12000$$

$$V_{\text{год}} = 0,7 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{12000} \cdot 2 \cdot 0,7 = 10,7 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 10,7 \cdot 2038 \cdot 1,5 = 32710 \text{ дм}^3.$$

Окрім того, витрати води для ванни уловлювання після ванни міднення складуть

$$V_{\text{улов.}} = 0,5 \cdot 1 + 0,25 = 0,75 \text{ м}^3$$

Витрати води на промивні операції після олов'янування

Концентрація основного компоненту (SnSO_4) — 60 г/дм^3 .

Гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання: $0,01 \text{ г/л}$.

$$K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{60}{0,01} 0,4 = 2400$$

$$V_{\text{год}} = 0,7 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{2400} \cdot 2 \cdot 0,7 = 4,8 \text{ дм}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{сум}} = 4,8 \cdot 2038 \cdot 1,5 = 14677 \text{ дм}^3.$$

Окрім того, витрати води для ванни уловлювання після ванни олов'янування складуть

$$V_{\text{улов.}} = 0,5 \cdot 1 + 0,25 = 0,75 \text{ м}^3$$

Тоді загальні витрати води на промивання складуть

$$V_{\text{промив.}} = 9474 + 4737 + 32710 + 750 + 14677 + 750 = 72\,572 \text{ дм}^3$$

Загальна витрата води

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

$$V_{\text{загал.сума}} = 3412,5 + 72\,572 = 75984,5 \text{ дм}^3 = 76 \text{ м}^3.$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.5 Витрати матеріалів та води на річну програму

Найменування речовин	Витрати на річну програму, кг
Сульфатна кислота	190
Синтанол ДС-10	2,5
Персульфат натрію	6,25
Гідросульфат натріюг	6,25
Сульфат міді	15
Хлорид натрію	0,038
Добавка STH-Zusatz	15, дм ³
Сульфат олова	15
Добавка Suffotech_SP_Zusatz	20, дм ³
Добавка Cupracid_Glanzzusatz	0,2, дм ³
Добавка Cupracid_TP	4,5, дм ³
Аноди міднення	120
Аноди олов'янування	121,7
Вода	79397, дм ³

РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Опис технологічної осадження олов'яного металорезисту

В усіх методах виготовлення друкованих плат отримання захисного рисунка є важливою операцією. Захисні покриття, які наносяться на струмопровідний рисунок друкованих плат, забезпечують дві основні функції: захищають провідники під час витравлювання міді, тобто виступають як металорезист, і забезпечують пайку вихідних радіоелементів. Як металорезист можна використовувати сплави, такі як олово-свинець, олово-вісмут, олово-нікель, срібло, золото або чисте олово.

Останнім часом у промисловості набули широкого поширення технології виготовлення друкованих плат з використанням паяльної маски, яка наноситься безпосередньо на мідні друковані провідники і захищає їх від дії навколишнього середовища. У таких технологіях металорезист використовують олово.

Під час нанесення олов'яного покриття відбуваються зміни як у складі електроліту, так і в його об'ємі. Зміна складу електроліту пояснюється зміною концентрації окремих компонентів, після чого вони осаджуються на поверхню деталі під час нанесення олов'яного покриття. Хоча зміна концентрації компонентів під час цього процесу незначна, вона може негативно вплинути на структуру покриття. Працівники цеху коригують склад електроліту, використовуючи результати хімічного аналізу.

Зміна об'єму електроліту здійснюється через винесення електроліту під час завантаження та вивантаження деталей.

Нанесення гальванічного олов'яного металорезисту проводять за температури 18...25°C, яку контролюють автоматично. Оскільки значне відхилення може спричинити погіршення структури покриття.

Катодну густину струму підтримують в межах 1- 2 А/дм². Контроль даного параметру дозволяє уникнути утворення недоброякісних покриттів.

Контроль значень рН електроліту не регулюється.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таким чином, гальванічні ванни в автоматичній лінії оснащені датчиками та пристроями для контролю та регулювання величин параметрів.

2.2 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

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

Отже, на основі аналізу технологічної схеми та норм технологічного режиму визначається необхідний рівень автоматизації процесу нанесення олов'яного металореzystу, який представлений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Параметри регулювання та контролю процесу олов'янування

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму, допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації
1	Стадія олов'янування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	температура	18...25 °C $\pm\Delta = 0,1 \pm 0,0017 t $	контроль, сигналізація
2	Стадія олов'янування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	рівень	0,46 м $\pm\Delta = \pm 0,005 h $	контроль, регулювання
3	Стадія олов'янування, замір параметру проводиться в баці з електролітом	рівень	0,46...0,5 м $\pm\Delta = \pm 0,005 h $	контроль, регулювання, сигналізація

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметру	Назва параметру, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму, допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації
4	Стадія олов'янування, замір параметру проводиться в електролітичній ванні	сила струму та напруга	43 А 2,08 В $\pm\Delta = 0,001 i $	контроль, регулювання

2.3 Опис розробленої схеми автоматизації

Процес олов'янування відбувається при температурі близькій до кімнатної температури, тому регулювання температури не є необхідним. Однак у випадку аварії встановлена система контролю, яка використовує сталевий термоперетворювач опори (1-1). Додатково, в процесі присутній показувальний і реєструючий вторинний прилад (1-2) і нормувальний перетворювач (1-3).

Рівень електроліту в гальванічному розрахунку контролюється за допомогою буйкового рівноміру (2-1), який видає пневматичний сигнал. Для цього встановіть вторинний пневматичний показувальний реєструючий прилад (2-2), з якого електричний сигнал передається на пневматичний пропорційно-інтегральний регулятор (2-3). Потім електричний сигнал з регулятора передається на електропневматичний перетворювач (2-4), а далі на виконавчий механізм - пневмодвигун (2-5).

Для контролю рівня електроліту у баці використовується буйковий рівномір (3-1), який надсилає сигнал на пневматичний показувальний регулятор (3-2). Також наявний пневмоелектричний перетворювач (3-3), який забезпечує перетворення сигналу з пневматичного на електричний.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Сила струму і напруга контролюються випрямним агрегатом ГИТ4000-300х12Р-380-ВЗ (4-1), який передає сигнал на прилад, яким ми створюємо струм (4-2).

Детальну інформацію про використані технічні засоби можна знайти у додатку Б, де наведена специфікація

Специфікацію на використані технічні засоби наведено у додатку Б.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

Дипломний проєкт можна здійснити у цеху на території ПАТ «Київський завод «Радар». Цех забезпечено всіма необхідними ресурсами для виробництва двосторонніх друкованих плат.

КВЕД: код 26.12 – Виробництво змонтованих друкованих схемних плат.

КВЕД: код 25.61 – Оброблення металів та нанесення покриття на метали.

Організаційно-правова форма: фізична особа підприємець.

Класифікаційні ознаки підприємства:

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

Метою діяльності цеху є задоволення потреб приладобудівної промисловості у виготовленні якісних двосторонніх друкованих плат з металізованими отворами.

Підприємство вирішує такі основні завдання:

- Забезпечення споживачів якісним напівпродуктом для виробництва.
- Забезпечення персоналу виробництва відповідними умовами праці та заробітною платою.
- Дотримання стабільного виробництва і вчасне виконання замовлень з уникненням зривів поставок або випуску бракованої продукції.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Отримання прибутку шляхом реалізації готової продукції споживачам.

Розраховуємо чисельність персоналу на зміні. Для виконання повного обсягу робіт на підприємстві мінімально необхідно 4 працівника за зміну: 1 лаборант і 2 гальваніків. Та 1 інженера-технолога, який контролює весь процес. Згідно з наданим списком робочих місць, у кожену зміну необхідно мати:

- 1 інженер-технолог
- 2 гальванік
- 1 лаборант

3.1 Технологічна підготовка виробництва

Покриття олов'яним металорезистом друкованих плат відбувається за технологічною схемою, операції якої перелічені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. – Класифікація виробничих процесів

Виробничі процеси	Тривалість, хв
Основні	
1. Монтаж деталей на підвіски	10
2. Хімічне суміщене знежирення-травлення	5
3. Двоступеневе струменеве промивання в очищеній воді	1
4. Травлення мідної поверхні	1
5. Двоступеневе струменеве промивання в очищеній воді	0,5
6. Активація	0,5
7. Міднення	60
8. Промивання в ванні уловлювання	1
9. Двоступеневе струменеве промивання в очищеній воді	1
10. Активація	0,5
11. Олов'янування	7,5
12. Промивання в ванні уловлювання	1
13. Двоступеневе струменеве промивання в очищеній воді	0,5
14. Висушування теплим повітрям	3
15. Демонтаж друкованих плат	10
Сума	102,5

3.2 Визначення виробничої програми обладнання

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при перервному виробництві розрахований за кількістю календарних днів у році (365) за вирахуванням вихідних (105), що при п'ятиденному робочому тижні тривалістю 40 год і однозмінній роботі складає:

$$T_n = \left(\frac{(365 - 105) \cdot 40}{5} \right) \cdot 1 = 2080 \text{ год}$$

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

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 2080 - 0,02 \cdot 2080 = 2038 \text{ год}$$

Для визначення річної виробничої програми P_p річне виробниче завдання P_z , що складає 3000 плат/рік, збільшується на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5...3 % ($K_{бр} = 0,005...0,03$) від P_z :

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 3000 + 3000 \cdot 0,02 = 3060 \frac{\text{плат}}{\text{рік}}$$

Тоді добова виробнича програма складає:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{3060}{260} = 12 \frac{\text{плат}}{\text{доба}}$$

де $T_{доб}$ — кількість робочих днів у 2023 році.

Годинна виробнича програма:

$$P_{г} = \frac{P_p}{T_d} = \frac{3060}{2038} = 2 \frac{\text{плат}}{\text{год}}$$

Отже, для виконання замовлення у розмірі 3060 плат протягом року, цех на годину має випуск у 12 плат. Розрахуємо тепер скільки часу у цеху потрібно виділити на виконання цього замовлення.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Послідовний ВРПП

Послідовний рух предметів праці – це такий рух, під час якого обробка продукції проводиться послідовно на кожній стадії з наступною передачею на чергову стадію цієї партії предметів, що обслуговується.

Робітники працюють за 8-годинним робочим днем в одну зміну (465 хв).

$$T_{вц}^{пар} = B \cdot \sum_{i=1}^N t_i = 3060 \cdot (102,5) = 313650 \text{ хв} = 5227,5 \text{ год}$$

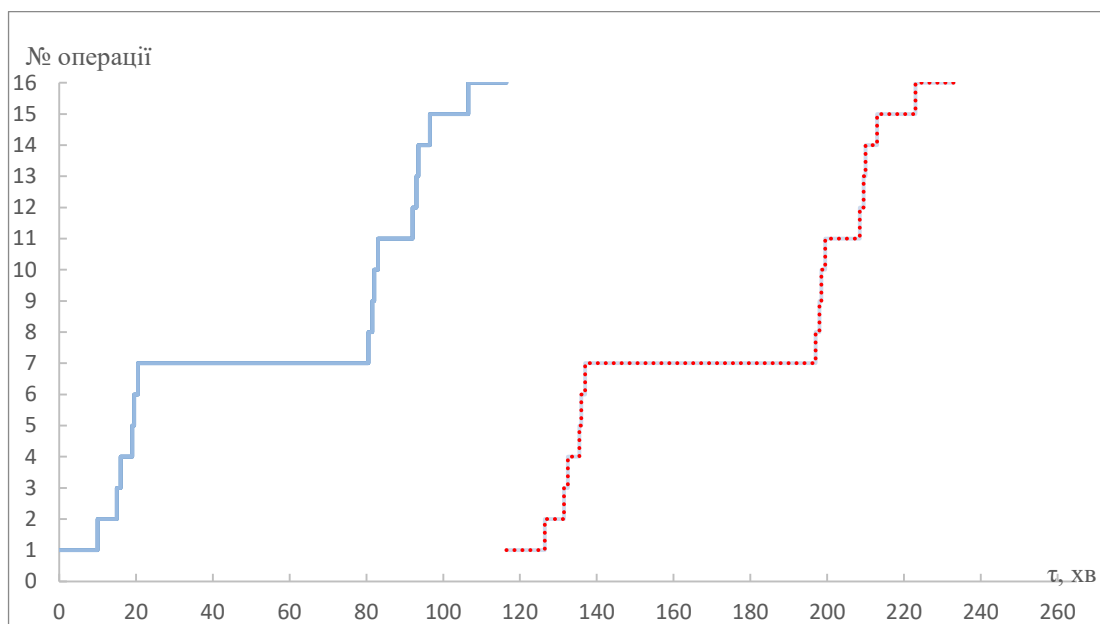


Рисунок 4.1 – Графік послідовного ВРПП.

Паралельний ВРПП

Паралельний рух предметів праці використовується безпосередньо в безперервних процесах при масовому виробництві продукції. Продукція передається з попередньої на наступну операцію, не очікуючи закінчення обробки всієї партії.

Паралельний ВРПП

$$T_{вц}^{пар} = \sum_{i=1}^N t_i + (B - 1) \cdot t_{max} = 102,5 + (3060-1) \cdot 60 = 183642,5 \text{ хв} = 3060,7 \text{ год.}$$

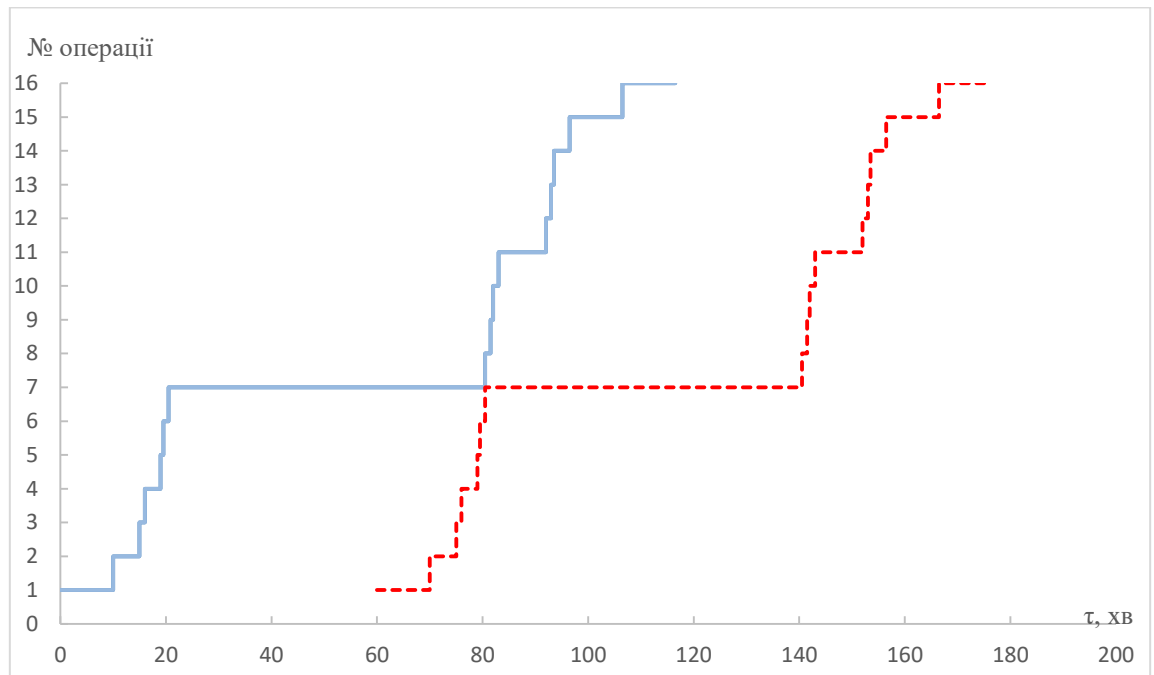


Рисунок 4.2 – Графік паралельного зі зміщенням ВРПП.

Синхронізований ВРПП

При синхронізованому ВРПП кожна наступна операція виконується через певний проміжок часу.

$$R = \frac{T_{\text{в.ц}} - \sum_{i=1}^{16} t_i}{N-1} = \frac{2038 \cdot 60 - 102,5}{3060-1} = 39,94 \text{ хв}$$

$$T_{\text{в.ц}}^{\text{синх}} = \sum_{i=1}^N t_i + (B-1) \cdot R = 102,5 + (3060-1) \cdot 39,94 = 122278,9 \text{ хв} = 2138,8 \text{ год.}$$

$$N_{\text{завант}} = \frac{T_{\text{в.ц}}^{\text{синх}} + R - \sum_{i=1}^{16} t_i}{R} = \frac{2038 \cdot 60 + 39,94 - 102,5}{39,94} = 3060 = 3060 \text{ разів/рік}$$

Порівнявши усі види руху предметів праці (ВРПП), доходимо до висновку, що синхронізований ВРПП з ритмом $R = 39,94$ хв виявився найвигіднішим. Саме за цього ВРПП досягається добова норма продукції за найменший час, та можливість виконати замовлення.

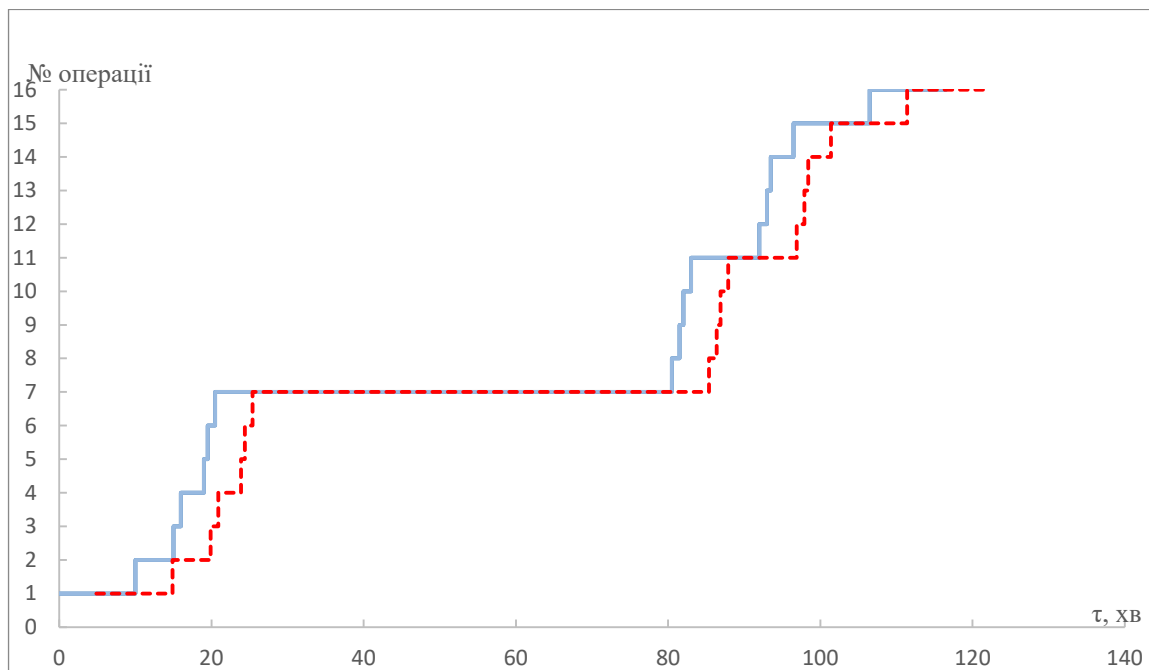


Рисунок 4.3 – Графік синхронізованого ВРПП.

Визначаємо кількість обладнання на кожну операцію (враховуючи те, що використовується автоматична лінія з автооператором, ванни для операцій з однаковим режимом і розчином будуть використовуватись для декількох операцій):

$$N = \frac{t_{\text{опер}}}{R}$$

Таблиця 3.2 – Кількість ванн у лінії виробництва.

Номер операції	Вид операції	Кількість ванн
2	Знежирення-травлення хімічне	1
3, 5, 9, 13	Промивання у проточній воді	4
4	Травлення хімічне	1
6, 10	Активація	2
7	Міднення гальванічне	1
8, 12	Промивання у ванні уловлювання	2
11	Олов'янування гальванічне	1

3.3 Кадрова підготовка виробництва

На виконання повного обсягу виробництва для зміни достатньо 4 особи: 1 інженер-технолог, 1 лаборант та 2 гальваніки. Явочна кількість персоналу 4 особи за зміну.

Чисельність персоналу за списком:

$$\text{Ч}_{\text{сп.}} = \text{Ч}_{\text{яв.}} \cdot K_{\text{пер.}} = \text{Ч}_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{рік підп.}}}{T_{\text{рік прац.}}} = 4 \cdot \frac{\frac{8}{24} \cdot 260}{\frac{8}{24} \cdot 260} = 4 \text{ осіб}$$

Графік роботи цеху:

Понеділок – п'ятниця: 8.00 – 17.00

До складу бригади входить 1 інженер-технолог, 1 лаборант і 2 гальваніки.

Таблиця 3.3 – Графік змінності.

Бригада \ Дні	Дні													
	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд
1	І	І	І	І	І	В	В	І	І	І	І	І	В	В

3.5 Контроль якості на виробництві

Об'єкти контролю:

1. Сировина
2. Обладнання
3. Технологічний процес
4. Готова продукція
5. Пакування

Суб'єкти контролю:

1. Гальванік

Види контролю:

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

Таблиця 3.4 – Контроль якості

Вид контролю за стадійністю процесу	Об'єкт контролю	Операції, що здійснюються	Вид/метод контролю	Виконавець контролю
Вхідний	Сировина	Перевірка якості вихідної сировини	Візуальний, вибірковий, якісний	Лаборант
	Обладнання	Перевірка справності обладнання	Візуальний, автоматичний	Інженер-технолог
Поточний	Технологічний процес	Виявлення дефектів деталей	Ручний, візуальний, вибірковий	Гальванік
Заключний	Готова продукція	Заключний контроль отриманого покриття	Ручний, візуальний, якісний, суцільний.	Інженер-технолог

3.4 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

Таблиця 3.5 – Склад основних фондів.

Найменування основного засобу	Кількість	Вартість одиниці обладнання, грн	Вартість всіх одиниць обладнання, грн
Ванна холодного промивання	4	12 000	48 000
Ванна хімічного травлення-знежирення	1	25 000	25 000
Ванна хімічного травлення	1	25 000	25 000
Ванна активації	2	20 000	40 000
Ванна міднення	1	25 000	25 000
Ванна олов'янування	1	25 000	25 000
Підвіски	1	1 500	1 500
Ванна уловлювання	2	25 000	50 000
Система автоматизації	2	10 000	20 000
Сушильна шафа	1	25 000	25 000
Будівлі і споруди	-	-	500 000
Трубопроводи	-	-	70 000
Нематеріальні активи	-	-	30 000
Всього			811 500

Амортизація будівель та споруд:

$$A_{\text{б\ddot{y}д}} = H_A^{\text{б\ddot{y}д}} / T_{\text{ек}} = 500\,000 / 20 = 25\,000 \text{ грн/рік.}$$

Амортизація приладів і обладнання:

$$A_{\text{обл}} = H_A^{\text{обл}} / T_{\text{ек}} = 211\,500 / 5 = 42\,300 \text{ грн/рік.}$$

Амортизація нематеріальних активів:

$$A_{\text{нм..а}} = H_A^{\text{нм..а}} / T_{\text{ек}} = 30\,000 / 12 = 2\,500 \text{ грн/рік.}$$

Амортизація трубопроводів:

$$A_{mp} = H_A^{mp} / T_{ek} = 70000 / 15 = 4\,667 \text{ грн/рік.}$$

Всього:

$$A = 25000 + 42300 + 2500 + 4667 = 74467 \text{ грн/рік.}$$

Таблиця 3.6 – Тарифна сітка підприємства.

Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти	Тарифні розряди	Тарифні коефіцієнти
1	1	6	1,45	11	1,97	16	2,79
2	1,08	7	1,54	12	2,12	17	3
3	1,19	8	1,64	13	2,27	18	3,21
4	1,27	9	1,73	14	2,42	19	3,42
5	1,36	10	1,82	15	2,58	20	3,64

Проводимо розрахунок фонду заробітної плати цеху

Таблиця 3.7 – Фонд заробітної плати цеху гальванічних покриттів

Посада	Кількість осіб	Тарифний розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата, грн	
					За день	За рік
Інженер-технолог	1	17	3	108,33	866,64	225 326,4
Лаборант-технолог	1	12	2,12	76,55	612,4	159 224
Гальванік	2	18	3,21	118,4	1895,04	492 710,4
Всього	5				3986,48	877 260,8

Тоді нарахування на ЗП:

$$H = 0,22 \cdot \text{ЗП} = 0,22 \cdot 877\,260,8 = 192\,997,4 \text{ грн}$$

Тоді фонд оплати праці становить:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + H = 877\,260,8 + 192\,997 = 1\,070\,258,2 \text{ грн}$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.8 – Річні оборотні фонди цеху гальванічних покриттів.

Найменування	Ціна, грн/кг (л)	Витрата на рік, кг (л)	Вартість, грн
Сульфатна кислота, кг	42	330	13 860
Синтанол ДС-10	100	5	500
Персульфат натрію	250	12,5	3125
Гідросульфат натрію	30	12,5	375
Сульфат міді	240	30	7200
Хлорид натрію	60	0,075	4,5
Добавка STN-Zusatz	130	30	3900
Сульфат олова	1500	30	45 000
Добавка Suffotech_SP_Zusatz	150	40	6000
Добавка Supracid_Glanzzusatz	120	0,4	48
Добавка Supracid_TP	120	9	1080
Аноди міднення	200	120	24 000
Аноди олов'янування	300	121,7	36510
Вода, м ³	21,25	3412,5	72 515,6
Електроенергія, кВт	2,5	7800	19 500
Всього			230 818,1

Адміністративно-управлінські витрати:

Таблиця 3.9 - Калькуляція продукції

№	Елементи	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/шт.	
1	Амортизація	74 467	24,3	5,6
2	Реагенти та матеріали	230 818,1	75,4	17,3
3	Нематеріальні активи	30 000	9,8	2,3
4	Виробнича собівартість	1 331 076,3	435	100
5	Невраховані активи	266 215,3	87	20

№	Елементи	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/шт.	
7	Цехова собівартість	1 597 291,6	522	120

3.5 Техніко-економічні показники

1. Повна собівартість містить в собі ще 20% неврахованих витрат від виробничої собівартості:

$$C_{\text{невр.витр}} = 0,2 \cdot C_{\text{вир}} = 1331076,3 \cdot 0,2 = 266\,215,3 \text{ грн/шт.}$$

2. Цехова собівартість з 80 % накладних:

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{цех}} \cdot 1,8 = 522 \cdot 1,8 = 939 \text{ грн/шт.}$$

4.6 Розрахунок техніко-економічних показників

Прибуток:

$$П = Ц - С = 1000 - 939 = 61 \text{ грн/шт.}$$

Рентабельність:

$$P = \frac{П}{С} \cdot 100\% = \frac{61}{939} \cdot 100\% = 6,5\%$$

Капіталовкладення:

$$K = (C_{\text{заводська}} - A) + ОФ = (1\,597\,291,6 - 74\,467) + 230\,818,1 = 1\,753\,642,7 \text{ грн}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{П}{K} = \frac{61 \cdot 3060}{1\,753\,642,7} = 0,11 \text{ грн/грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,11} = 9,1 \text{ роки}$$

Фондовіддача основних засобів:

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\Phi B_{03} = \frac{B}{O3} = \frac{3060 \cdot 522}{811\,500} = 1,97 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача оборотних засобів:

$$\Phi B_{063} = \frac{B}{O63} = \frac{3060 \cdot 522}{230\,818,1} = 6,9 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність основних засобів:

$$\Phi E_{03} = \frac{1}{\Phi B_{03}} = \frac{1}{1,97} = 0,51 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність оборотних засобів:

$$\Phi E_{063} = \frac{1}{\Phi B_{063}} = \frac{1}{6,9} = 0,15 \text{ грн/грн}$$

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА. ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

При виготовленні друкованих плат гальванічні відходи можна поділити на 4 категорії:

1. Шлами
2. Тверді відходи.
3. Стічні та технологічні води.
4. Викиди в атмосферу [8].

Відходи у вигляді шламів є токсичними, токсичність яких залежить від технології процесу та технології очищення стічних вод. До складу шламів входять сполуки важких металів, тому зберігання їх у відходах може призводити до негативних наслідків впливу на довкілля та здоров'я людей.



Рисунок. 4.1. Схема впливу гальванічних відходів на довкілля[8]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ

Арк

64

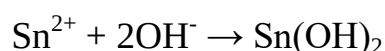
Мідь при потраплянні в організм людини до 10 – 30 мг/кг маси не справляє токсичної дії. Але за деякими відомостями має мутагенні властивості. Мідь є дуже небезпечною для водоймищ. При концентрації 0,4 – 0,5 мг/л вона згубно впливає на мікрофлору і гальмує біологічну очистку води. ОДК міді для рослин складає 30 – 130 мг/кг ґрунту. Мідь є одним з екологічно небезпечних важких металів як для довкілля, так і для живих організмів. Забруднення довкілля міддю призводить до деструкції природних екосистем та викликає ряд небезпечних хвороб у живих організмів – онкологічні захворювання кісткової системи, гемолітична анемія, ідіопатична мідна інтоксикація та ін. Катіон Cu^{2+} є металом комбінованої дії за своїм негативним ефектом на клітини мікроорганізмів. [9].

Олово не відноситься до особливо токсичних металів, проте надлишок олова в організмі може супроводжуватися неприємними відчуттями (металевий присмак). При надлишковому надходженню олово накопичується в печінці, нирках, скелеті та м'язах. Органічні сполуки олова при потраплянні до шлунково-кишкового тракту виявляють виражений кумулятивний ефект з подальшим розвитком хромосомних аберацій у клітинах кісткового мозку. ГДК олова у водоймах побутового використання становить 0,03 мг/дм³[9].

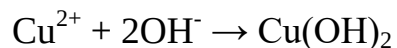
У виробництві, де присутні стічні води з важкими металами, для очищення часто використовують реагентні методи. Однак, на виробництві з великим обсягом стічних вод використовують електрохімічні та мембранні методи очищення. Незважаючи на це, реагентний метод залишається перспективним. Його можна повністю автоматизувати і він простий у використанні.

Реагентний метод очищення стічних вод має дві основні стадії.

Перша стадія включає нейтралізацію кислотних стоків шляхом додавання реагентів, які сприяють утворенню гідроксидів. Цей процес перетворює іони олова та міді на гідроксиди цих металів за допомогою реакцій:



					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Для нейтралізації кислих стоків як реагент найчастіше застосовують розбавлений (20–30 %) їдкий натр (NaOH) завдяки простоті його дозування, швидкості розчинення та реакції, відсутності шламу, незважаючи на високу вартість. Для нейтралізації великих кількостей стічних вод застосовують дешевий гідроксид кальцію у вигляді вапняного молока. Недолік застосування вапна – велика кількість шламу, що утворюється [9].

Осадження металів проводиться, як правило, одночасно з нейтралізацією. У якості реагентів застосовують їдкий натр, вапно, соду. Важкі метали осідають у вигляді гідроксидів або важкорозчинних основних солей [8]

На другій стадії відбувається відділення утворених гідроксидів, які знаходяться у вигляді осаду. Цей осад може бути відокремлений від стічних вод для подальшої утилізації або обробки.

Для відділення твердої фази застосовують відстійники, просвітлювачі, фільтри. Процесу седиментації, як правило, передують флокуляція і коагуляція, тобто обробка розчину різними реагентами, що сприяють утворенню великих пластівців і швидкому їх осадженню. В зарубіжній практиці перевага надається тільки флокуляції, оскільки для коагуляції потрібно багато реагентів і утворюється велика кількість осаду [9].

Отже, реагентний метод включає нейтралізацію кислотних стоків та зв'язування іонів олова та міді у гідроксиди, які потім виділяються у вигляді осаду.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

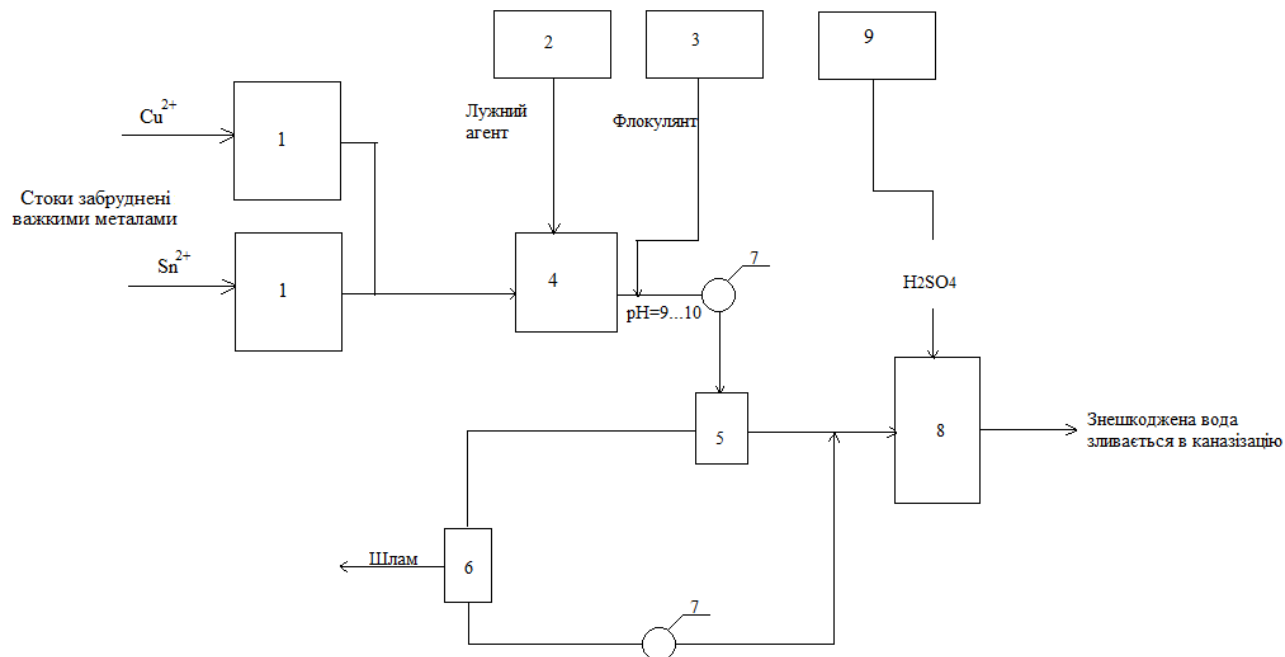


Рисунок. 4.2 – Схема очищення стічних вод від важких металів.

1-бак-накопичувач стоків, 2-дозатор лужного агента, 3-дозатор флокулянту, 4-реактор-нейтралізатор стоків, 5-відстійник, 6 прес-фільтр, 7-насос, 8-нейтралізатор очищеної води, 9-дозатор розчину кислоти

Стоки з виробництва збирають в накопичувачах, потім подаються в реактор нейтралізатор, туди ж додають лужний агент та перемішують. Операція триває 3-5 хвилин.

Перед надходженням стічних вод до відстійнику додають флокулянт. Як флокулянт можна використати 0,1% розчин флокулянту-поліакриламідну.

Після цього стічні води надходять до відстійника де мають провести не більше 30 хвилин. Далі вода з верхньої частини відстійника відводиться до нейтралізатора очищеної води для доведення рН до унормованих величин, а з нижньої частини відстійнику осад для зниження вологості подається до прес-фільтру. Зневоднений осад (шлам) відводиться, а вода подається до нейтралізатора.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ

Арк

67

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Виконання процесу нанесення гальванічного олов'яного металорезисту на підприємстві з виробництва друкованих плат передбачає використання хімічно агресивних, шкідливих, вибухо- і пожежонебезпечних речовин та матеріалів. Також в гальванічному цеху передбачено використання електричної енергії.

Проектування виконано з урахуванням вимог охорони праці.

В даному розділі розроблено заходи, які спрямовані на створення безпечних умов праці і забезпечення пожежної безпеки на проєктованому об'єкті.

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

5.1.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99, роботи в цеху належать до категорії середньої тяжкості Пб, санітарні норми мікроклімату для якої, наведено в таблиці 5.1[10]

Таблиця 5.1 – Оптимальні та допустимі норми параметрів мікроклімату у робочій зоні

Період року	Категорія	Температура, °С			Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Фактична		Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
			Нижня межа	Верхня межа				
Холодний	Па	18–20	15–17	23–24	40–60	75	0,2	<0,3
	Пб	17–19	13–15	21–23	40–60	75	0,2	<0,4
Теплий	Па	21–23	17–18	27–29	40–60	65	0,3	0,2–0,4
	Пб	20–22	16–17	27–29	40–60	70	0,3	0,2–0,5

Нижче, в таблиці 5.2, наведені коротку санітарну характеристику цеху.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 5.2 – Коротка санітарна характеристика цеху, що проєктується

Назва виробничої ділянки	1	Ванна хімічного знежирення-травлення, активації	Ванна травлення
Шкідливі речовини, що виділяються, причини їх виділення	2	Сірчана кислота, випаровування з поверхні розчину, пролив.	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ та NaHSO_4 , випаровування з поверхні розчину, пролив.
Група шкідливих речовин, характеристика шкідливого впливу	3	Подразнюючі. Подразнює шкіру та слизові оболонки, викликає опіки.	Подразнююча. Подразнює шкіру, очі та дихальні шляхи. Пожежонебезпечні речовини.
ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м ³	4	1	0,1
Клас небезпечності шкідливої речовини	5	2	2
Засоби індивідуального захисту	6	Захисні окуляри, рукавички, гумові, хімічно-стійкий одяг, респіратор РПГ-67.	Захисні окуляри, рукавички, гумові, хімічно-стійкий одяг, респіратор РПГ-67.
Засоби до лікарняної допомоги	7	При попаданні на шкіру промити водою, обробити 2-5% р-м соди При вдиханні – свіже повітря, промити дихальні шляхи 2% р-м соди.	Промити місця пошкодження великою кількістю води. При оральному отруєнні – випити 1-2 стакани води.
Методи контролю вмісту ШР у повітрі робочої зони	8	Фотометричний метод	Фотометричний метод
Клас виробництва згідно ДСП 173-96	9	IV	IV
Санітарна група виробничого процесу згідно ДБН В.2.2-28-2010	10	3а	3а

Продовження таблиці 5.2

Ванна електрохімічного міднення		Ванна електрохімічного міднення
Ванна електрохімічного нанесення олова	Ванна електрохімічного міднення	Ванна електрохімічного міднення
SnSO ₄ , чистка анодних і катодних штанг	Сульфат міді, випаровування з поверхні електролізу, пролив.	Сірчана кислота, випаровування з поверхні розчину, пролив.
Загальноотоксичний. Викликають зміни в реактивній здатності організму.	Подразнюючі. Викликає набряки легень при частому вдиханні, біль у горлі, діарею, нудоту, помутніння в очах.	Подразнюючі. Подразнює шкіру та слизові оболонки, викликає опіки.
0,5	1	1
2	2	2
Рукавички гумові	Захисні окуляри, рукавички, гумові, хімічно-стійкий одяг, респіратор РПГ-67.	Захисні окуляри, рукавички, гумові, хімічно-стійкий одяг, респіратор РПГ-67.
При оральному отруєнні – викликати блювоту, потім – прийняти активоване вугілля.	Вражені ділянки шкіри промивають великою кількістю проточної води. Дають випити оди н або два стакана води.	При попаданні на шкіру промити водою, обробити 2-5% р-м соди або фурациліном (1:500). При вдиханні – свіже повітря, промити дихальні шляхи 2% р-м соди.
ХГА хроматограф газовий аналітичний «АГАТ»	Флюорометричний метод	Фотометричний метод
IV	IV	IV
3а	3б	3б

У виробничих приміщеннях цеху з виготовлення друкованих плат використовують системи механічної вентиляції та місцевої витяжної системи, які забезпечені фільтрами, циклонами для уловлювання пилу, газів та аерозолів.

Додатково встановлено систему припливної вентиляції, яка забезпечує подачу свіжого повітря до виробничих приміщень. У цеху також існує аварійна вентиляційна система на випадок викиду токсичних газів. Вона автоматично спрацює за допомогою датчиків, налаштованих на виявлення шкідливих речовин у повітрі, а може активуватися вручну.

Гальванічна лінія, яка включає ванну знежирення, активації та травлення, забезпечена бортовими системами відсмоктування для ефективного видалення шкідливих парів. Приготування електrolітів здійснюється під витяжкою.

Розрахунок витрати повітря, що видаляється бортовими відсмоктувачами

У результаті роботи ванн утворюються газоподібні речовини. Їх об'ємні витрати, що видаляються завдяки бортовим відсмоктувачам, розраховуємо за формулою:

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

де a - довжина ванни (0,59 м); b - ширина ванни (0,46 м); t_p - температура розчину; t_n - температура навколишнього середовища; K_z - коефіцієнт запасу (1,5); $K_t = \left(1 + \frac{b}{8 \cdot a}\right)^2$ - коефіцієнт запасу для двостороннього бортового відсмоктувача; b - безрозмірна характеристика (1/15 - для двостороннього бортового відсмоктувача); n - кількість прямих кутів між границями потоку повітря ($n = 3$ для вільного розташування ванн).

Таблиця 5.3 – Коефіцієнти й результати розрахунків витрат повітря.

Процес	$t_p, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	K_t	Кількість ванн, шт	$L_{\text{отс}}, \text{ м}^3/\text{год}$
Знежирення-травлення	30	19	1,0077	1	3163,54
Травлення	30	19	1,0077	1	3163,54
Активація	20	19	1,0077	2	1907,68
Міднення	20	19	1,0077	5	4769,21

Процес	$t_p, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	K_t	Кількість ванн, шт	$L_{\text{отс}}, \text{м}^3/\text{год}$
Олов'янування	20	19	1,0077	1	953,84
Сумарно					13957,81

5.1.2 Виробниче освітлення

В гальванічному цеху застосовуються комбіновані методи освітлення – природне та штучне. Аварійне освітлення використовується лише у випадках відключення основної системи освітлення.

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018, за зоровими умовами роботи у відділенні, цех відносяться відповідно до розрядів IV та VIIIб. У таблиці 5.4 вказано норми освітлення для цих розрядів.

Таблиця 5.4 – Норми освітлення для категорій IV та VIIIб

Характер зорових робіт	Розряд та підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк		Значення КПО, е _н , %			
		Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення	
		Комбіноване	Загальне	При верхньому або комбінованому освітленні	При бічному освітленні	При верхньому або комбінованому освітленні	При бічному освітленні
Середньої точності	IV	750-300	300-200	4	1,5	2,4	0,9
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу	VIIIб	-	100	0,3		0,2	

Освітленість у виробничому приміщенні буде перевірятись щонайменше один раз на рік. Також проектом передбачено очищення плафонів та заміну витрачених ламп. Для вимірювання освітленості використовується головний пристрій – люксметр Ю-116.

Для загального освітлення робочої зони використовуються багатолампові світильники з газорозрядними лампами низького тиску DULUX L BLUE 18W/71 2G11, що забезпечують рівномірне освітлення.

5.1.3 Виробничий шум і вібрація

У даному цеху вібрацію та шум створюють:

- рух води по трубопроводу;
- вентиляція;
- рух автооператора;
- генератори постійного струму;
- насос та сопла ежекторного перемішування.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99, допустимий рівень шуму в цеху не повинен перевищувати 80 дБА. Рівень шуму на виробництві становить 72 дБА, що відповідає чинним вимогам. Контроль шуму здійснюють шумомірами, а вібрації – вібраторами.

З метою зниження впливу вібрації та шуму застосовуються динамічні віброгасники, а електродвигуни обладнуються шумозахисними прокладками або кожухами для шумоізоляції. Електронасоси встановлюються на віброізолятори. При монтажі обладнання передбачається жорстке кріплення, для уникнення вібрації.

Для робочих зон з високим рівнем шуму працівникам надаються звукозахисні навушники та беруші. Для захисту від вібрації використовуються спеціальні рукавиці з віброзахисними вкладками та взуття на гумовій подошві.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5.1.4 Електробезпека

Це, де виробляють друковані плати, віднесені до класу особливо небезпечених через хімічну активність середовища, що може призвести до руйнування електроізоляції та створення небезпеки для працівників, які можуть дотикатися до металевих конструкцій обладнання, під'єднаних до землі або струмопровідними частинами апаратів.

Електропостачання обладнання проводиться через трифазну чотирьохпровідну мережу змінного струму промислової частоти з напругою 380/220 В і глухозаземленою нейтраллю.

Основними заходами з електробезпеки, передбаченими в об'єкті, є заземлення, занулення (захист від утворення електричного струму при установці трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю з напругою до 1000 В) та захисне відключення.

Заряди статичної електрики користуються за допомогою матеріалів з низькою електропровідністю.

Сила струму, що проходить через людину, розраховується як:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_0}, \text{ мА};$$

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

де $R_{\text{л}}$ – опір тіла людини, $R_{\text{л}} = 2 \text{ кОм}$;

R_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму, $R_0 = 4 \text{ Ом}$;

$I_{\text{л}}$ – електричний струм, який проходить через людину;

$U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ – фазова напруга.

$$I_{\text{л}} = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 109,8 \text{ мА};$$

$$U_{\text{д}} = 109,8 \cdot 2000 = 219,6 \text{ В}.$$

Електричний струм, який проходить через людину, відповідно до ДСТУ 12.1.038:2008, становить:

– при контакті більше 1 с: $U_{\text{д}} = 36 \text{ В}$, $I_{\text{л}} = 6 \text{ мА}$;

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- при дії до 10 хвилин на добу: : $U_d = 2 \text{ В}$, $I_d = 0,3 \text{ мА}$.

З аналізу результатів розрахунків випливає, що фактичні значення сили струму і напруги дотику перевищують нормативні межі. Це свідчить про те, що приміщення належить до групи з підвищеною небезпекою.

Для забезпечення електробезпеки передбачені наступні заходи:

1. Надання працівникам спеціальних діелектричних рукавичок, взуття з гумовою підошвою, гумових килимків та інструментів з ізолюючими ручками.
2. Перевірка цілісності ізоляції.
3. Укриття всіх електричних кабелів і з'єднувальних проводів в коробах.
4. Захисне відключення електроустановок.
5. Регулярні інструктажі щодо правил поводження з електроустановками[4].

5.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

Оскільки в основній гальванічній ванні відсутнє нагрівання, основну небезпеку становить транспортування агресивних речовин, таких як сульфатна кислота по трубопроводах. Це може призвести до пошкодження системи та викликати опіки внаслідок розливу. Тому, проектом передбачено, що трубопроводи будуть герметичними, а технологічний процес – регламентований.

Для запобігання розливу електроліту встановлюється мінімальна відстань в 100 мм між рівнем електроліту і краєм ванни. Також для захисту підлоги від потрапляння електроліту під час переміщення підвіски з однієї ванни до іншої, між ваннами розміщуються захисні фторопластові козирки.

Механічні фільтри працюють під високим тиском до 70 МПа. Робота за такими умовами вимагає особливої обережності.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5.2 Пожежна безпека

Пожежі в цеху можуть виникнути внаслідок:

1. невиконання правил пожежної безпеки.
2. перенавантаження електрообладнання.
3. загоряння пожежонебезпечних речовин.
4. короткого замкнення між шинами або електродами.
5. відсутність контакту або пошкодження з'єднання електропроводки через окиснення, що може спричинити місцеве нагрівання.

Основними причинами короткого замикання є пошкодження електроізоляції дротів, контакт зі струмопровідними предметами та вплив хімічно активних речовин на провідники. Для запобігання перенавантажень і коротких замикань, в електричних мережах використовують запобіжники і спеціальні автомати, які встановлені в мережі.

У зв'язку з тим, що процеси в цьому місці відбуваються за кімнатної температури, підвищення температури повітря та предметів можливо лише влітку без зовнішніх факторів.

Будівля цеху виготовлено з негорючого матеріалу, такого як цегла, що дає класифікувати її як будівлю II категорії вогнестійкості. Проте, наявність у ній високої вологості та пари кислот і лугів може призвести до прискореного пошкодження ізоляції електропроводів, що може спричинити коротке замикання та загоряння проводів.

Для запобігання пожеж та їх ліквідації в цьому передбачені такі заходи:

1. наявність комплекту засобів пожежогасіння.
2. Влаштування контурного заземлення.
3. регулярний технічний огляд електроустаткування цеху.
4. Заземлення та подвійна ізоляція з постійним їх контролем.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Засоби для гасіння пожежі розташовані в доступних місцях, позначених червоним кольором. Плани евакуації з позначенням аварійних виходів та місця розташування засобів гасіння пожежі розміщені на видному місці. Будівля цеху матиме не менше 4 виходів.

На підприємстві присутня стаціонарна система пожежогасіння з повітряно-механічною піною та водопровідна мережа з пожежними кранами. Пожежні крани розташовані на відстані 20 м один від одного на висоті 1,35 м[12].

Крім стаціонарної системи пожежогасіння, на ділянках підприємства присутні також вуглекислотні та порошкові вогнегасники ОУБ-8-2 та ОПС-6. Згідно вимог ДСТУ 62305:2012, споруди мають захист від прямого удару блискавки за допомогою блискавковідводу, тип вертикальний стрижньовий: $H = 100$ м, висота його зони захисту під землею $H_0 = 0,92 \cdot 100 = 92$ м. Радіус зони захисту на рівні землі $= 1,5 \cdot 100 = 150$ м[12].

Характеристики пожежо- і вибухонебезпечних речовин і матеріалів, які використовують на підприємстві, наведені в таблиці 5.5.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 5.5 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Поміст	Гальванічна ванна		Назва ділянки
	Водень	Вініпласт	
Дерево, гума	Газ	Тв.	Речовини, що мають оббіг у виробництві ГОСТ
Тв.	Легкогорюча	Важкозаймисті	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах
Горюча	Горючість, займистість		
170	132	—	Показники пожежо та вибухонебезпечності
400	324	580	Температура спалаху
400	57,5	580	Температура займання
—	47,5	—	Температура самозаймання
—	45–82,5	—	% об'ємних
—	2с	—	мг/м ³
—	Т1	—	Категорія
Вода	Інертний газ	Вода, піна	Група
В	В	В	Вогнегасні засоби
2	2	2	Категорія приміщення за НАПБ Б.03.002-2007
2А	2А	2А	Клас приміщення і зовнішніх установок згідно з ПУЕ
			Категорія об'єкта і тип зони захисту і влаштуванню блискавкозахисту згідно з ДСТУ 62305:2012

Ізоляція	Текстоліт	Тв.	Важкогорюча	—	358	358	—	—	—	—	Вогнегасники рідинні, пісок			
----------	-----------	-----	-------------	---	-----	-----	---	---	---	---	--------------------------------	--	--	--

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті проведена розробка технології нанесення олов'яного металореzystу на плати друкованого монтажу для виробничої програми 3000 плат/рік. Гальванічне нанесення олов'яного металореzystу проводиться із сульфатного електроліту з добавкою поверхнево активних речовин STH Zusatz та Suffotech SP Zusatz виробництва фірми Atotech GmbH. (ФРН). Електроліт працює за температури 18-25 С та густини струму 1-2 А/дм², стабільний у роботі, має високу продуктивність і меншу агресивність у порівнянні з іншими електролітами.

Проведено технологічні розрахунки, що включають енергетичний, тепловий баланси, баланс струму та напруги. Розраховано витрати реагентів, електрики та води для забезпечення технологічного процесу.

Складено схему автоматизації для даного процесу, яка передбачає контроль та регулювання основних технологічних параметрів: рівня електроліту, температури, сили струму та напруги.

Наведено схему очищення стічних вод реагентним способом, яка дозволяє забезпечити екологічну безпеку виробництва.

Проведено аналіз умов праці на дільниці гальванічного нанесення олов'яного металореzystу та передбачено заходи безпеки для працівників.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лінючева О.В. Гальванічні покриття у виробництві друкованих плат. Дипломне проектування Навч. посіб / О. В. Лінючева, Л. А. Яцюк, Ю. Ф. Фатєєв; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 145 с.
2. Якименко Г.Я. 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.
3. Кунтий О. І. Гальванотехніка: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2004. - 236 с.
4. Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія. Ч.3. Гальванічні виробництва: Підручник / За ред.. Б.І. Байрачного. - Харків: НТУ “ХП”, 2006. – 272 с.
5. Лінючева О. В. Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб. / О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.І. Букет, С.В. Фроленкова; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. 147 с.
6. Лінючева О. В. Теоретична електрохімія: Ч.2 Рівноважні і нерівноважні явища в розчинах електролітів: навч. посіб./ О.В. Лінючева, С.В Фроленкова, Ю.С.Мірошніченко; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 63 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни: «Економіка, організація і менеджмент хімічних виробництв». Лектор: ктн, доц. Підлісна О.А
8. Нестер А.А., “Очистка стічних вод виробництва друкованих плат”, Монографія, Хмельницький, ХНУ, 219 с., 2016.
9. Донченко М.І. Екологічна безпека гальванотехніки. Ч.1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.
10. ДСН 3.3.6.042 – 99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Чинний від 01-12-1999]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1999. 18 с.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

11. ДСН 3.3.6.037-99. Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука [Чинний від 01-12-1999]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1999. 20 с.
12. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Чинний від 01.06.2017]. Вид. офіц. Київ : Держпожбезпека України, 2016. 47 с.
13. Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія. Ч.3. Гальванічні виробництва: Підручник / За ред.. Б.І. Байрачного. - Харків: НТУ "ХП", 2006. – 272 с.
14. Лукінюк, М.В. Контроль і керування хіміко-технологічними. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія»; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». Київ : Політехніка, 2012. 336 с.
15. Яцюк Л. А. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу: підручник. / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущаповський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв. -Київ: «КПІ». Київ : Політехніка, 2018. 330 с.

					ДП ХЕ9111.1450.000 ПЗ	Арк
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А КАРТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Таблиця А.1. Карта технологічного процесу нанесення олов'яного металорезисту на плати друкованого монтажу

№	Операція		Склад розчину і концентрація		Режим			Примітка
	Назва	Зміст	Назва компонентів, хімічна формула	г/л	Час обробки, хв	t, °C	i, А/дм ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
010	Монтаж деталей на підвіски -				10	-	-	На заготовки вже нанесено захисний рисунок
020	Знежирення-травлення	Хімічне суміщене знежирення-травлення	Сульфатна кислота Синтанол ДС-10	80...100 5...10	3...6	20...45	-	-
030	Двоступеневе струменеве промивання в очищенній воді				0,5...1	-	-	-
040	Травлення	Травлення мідної поверхні	Персульфат натрію Гідросульфат натрію	20...25 20...25	0,5...4,0	20...40	-	-
050	Двоступеневе струменеве промивання в очищенній воді				0,25...0,5	-	-	-
060	Активація	Активація мідної поверхні	Сульфатна кислота	50...100	0,5...1,0	18...25	-	-
070	Міднення	Основне гальванічне міднення	CuSO ₄ H ₂ SO ₄ Supracid TP Supracid Glanzzusatz Хлорид натрію	30...60 200...260 8...18 мл/л 0,2...0,8 мл/л 0,1...0,15	60	22...28	1...3	Аноди марки АМФ. Безперервна фільтрація електроліту

Продовження таблиці А.1. Карта технологічного процесу нанесення олов'яного металореzystу на плати друкованого монтажу

080	Промивання в ванні уловлювання				0,5...1,0	-	-	-
090	Двоступеневе струменеве промивання в очищенній воді				0,5...1,0	-	-	-
100	Активация	Активация мідної поверхні	Сульфатна кислота	50...100	0,5...1,0	18...25	-	-
110	Олов'янування	Гальванічне олов'янування	H_2SO_4 $SnSO_4$ Добавка STH Zusatz Добавка Suffotech SP Zusatz	160...200 30...60 30...60 мл/л 30...80 мл/л	7,5	18...25	1,0...2,0	Аноди марки О1.
120	Промивання в ванні уловлювання				0,5...1,0	-	-	-
130	Двоступеневе струменеве промивання в очищенній воді				0,5...1,0	-	-	-
140	Висушування теплим повітрям				3	65...70	-	-
150	Демонтаж друкованих плат					-	-	-

ДОДАТОК Б Специфікація устаткування, матеріалів і виробів

Таблиця В.1 - Специфікація устаткування, матеріалів і виробів

Позиція на схемі	Назва параметру	Середовище місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	Кількість, од.	Маса оди-ниці, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 – 1	Температура	Електроліт, електролітична ванна	18...25 °С	Місцевий	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 1 00П, діапазон вимірювання (-50)...+60°С, допустимий тиск $P_y = 0,4$ МПа. Довжина монтажно-ї частини 120...3150 мм; діаметр захисної арматури 10 мм; матеріал захисної арматури – сталь 12 Х18 Н10 Т; інерційність 20 с; клас допуску В.	ТСМ-1288	-	НВО «Електротермія», м. Луцьк	1	4
1 – 2	Температура	Електроліт, електролітична ванна	18...25 °С	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50 П, 100 П, 50 М, 100 М.	ДИСК-250	-	ЗАО «ТЕРМОРЕКС» м. Харків	1	13
1 – 3	Температура	Електроліт, електролітична ванна	18...25 °С	Місцевий	Нормувальний перетворювач, $I_{вих} = 0...5$ мА, клас точності 0,4; основна похибка 0,5%; 1%	П282	-	АТ «Хімавтоматика» м. Харків	1	3
2 – 1	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1.1 м	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; $P_{вих} = 0,02 - 0,1$ МПа; діапазон температур: (-50)...+100 °С; діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м, клас точності 1.	РБ-П	-	ТОВ «ТД ТЕК Україна» м. Київ	1	15

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2 – 2	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1.1 м	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний показувальний, реєструвальний (система СТАРТ) зі станцією керування; $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100$ кПа, граничнодопустима основна похибка 0,5 %; $P_{\text{живл}} = 140$ кП	ФК 0071	-	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	1	7,5
2 – 3	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1.1 м	Щит керування	Регулятор пневматичний пропорційно-інтегральний (система СТАРТ); витрата повітря живлення 4,5 л/хв, граничнодопусти-ма основна похибка 0,5 %; $P_{\text{живл}} = 140$ кПа, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа.	ФР 0091	-	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	1	2
2 – 4	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1.1 м	Місцевий	Перетворювач пневмоелектричний, $P_{\text{вх}} = 4 \dots 200$ кПа, $I_{\text{вих}} = 0(4) \dots 20$ мА. Похибка $\pm 0,5$	ППЕ-ДУ	-	АТ «Хімавтоматика», м. м. Харків	1	3,5
2 – 5	Рівень	Електроліт, електролітична ванна	1.1 м	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, $I_{\text{вх}} = 0(4) \dots 20$ мА, $P_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ кПа. Похибка $\pm 0,5$	ЕП-3211	-	АТ «Хімавтоматика», м. м. Харків	1	1,4
3-1	Рівень	Бак з електролітом	0,46 м	Місцевий	Рівнемір буйковий з пневматичним вихідним сигналом; $P_{\text{вих}} = 0,02 - 0,1$ МПа; діапазон температур: (-50)...+100°C. Діапазон вимірювання: від 0,02 до 1 м, клас точності 1.	РБ-П	-	ТОВ «ТД ТЕК Україна» м. Київ	1	15
3 – 2	Рівень	Бак з електролітом	0,46 м	Щит керування	Регулятор пневматичний показувальний, сигналізаційний, $P_{\text{вих}} = 0,02 - 0,1$ МПа.	ФР 0081	-	ПП «ПРОМТЕХСЕРВІС», м. Київ	1	3,5
3 – 3	Рівень	Бак з електролітом	0,46 м	Місцевий	Перетворювач пневмоелектричний, $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100$ кПа, $I_{\text{вих}} = 0(4) \dots 20$ мА. Похибка ± 1	ППЕ-ДУ	-	АТ «Хімавтоматика», м. Харків	1	3,5

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4 – 1	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 43 \text{ A}$ $U = 2 \text{ В}$	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\text{max}} = 10 \text{ A}$, $U_{\text{max}} = 36 \text{ В}$, похибка 0,1%	ГИТ4000-300х12Р380В3	-	ЗАТ МДК «ЕЛАРП» м. Москва	1	5,2
4 – 2	Сила струму та напруга	Електролітична ванна	$I = 43 \text{ A}$ $U = 2 \text{ В}$	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\text{max}} = 10 \text{ A}$, $U_{\text{max}} = 36 \text{ В}$, похибка 0,1%	ГИТ4000-300х12Р380В3	-	ЗАТ МДК «ЕЛАРП» м. Москва	2	5,2

ДОДАТОК В