

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра технології електрохімічних виробництв

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Олексій КОСОГІН

«_____» червня 2024 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Електрохімічні технології
неорганічних і органічних матеріалів»
спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»
на тему: «Гальванічні покриття в електротехнічній промисловості.
Гальванічне нікелювання мідних провідних деталей»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ХЕ-02

Тарасова Альона Олександрівна _____

Керівник:

Асистент, к.т.н.

Васильєва Світлана Михайлівна _____

Консультант з

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

Економічної частини: доц., к.т.н. Підлісна Олена Анатоліївна _____

Автоматизації хімічних виробництв:

ст. викл. Жураковський Ярослав Юрійович _____

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 – 2024

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Гальванічні покриття в електротехнічній промисловості. Гальванічне
нікелювання мідних провідних деталей»

РЕФЕРАТ

«Гальванічні покриття в електротехнічній промисловості. Гальванічне нікелювання мідних провідних деталей»

Тарасова А.О. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХТФ, ХЕ-02

Дипломний проєкт, 2024 рік, кількість сторінок – 82, таблиць - 18, рисунків - 8, джерел - 19.

У проєкті описано процес гальванічного нікелювання мідних провідних деталей з річною виробничою програмою 11000 м². Процес проводиться у сульфаматному електроліті за температури 53...55°C та катодної густини струму 12 А/дм². Товщина покриття становить 9 мкм. Обґрунтовано вибір виду покриття та електроліту.

У проєкті наведено технологічну карту процесу, основні конструктивні та технологічні розрахунки, обрано відповідне обладнання, проведено економіко-організаційні розрахунки. Розроблено схему автоматичного регулювання процесу гальванічного нікелювання. Наведено схему очищення стічних вод. Описано заходи з техніки безпеки та охорони праці.

Ключові слова: нікелювання; сульфаматний електроліт; мідні провідні деталі; гальванічна ванна; технологічні розрахунки; автоматизація; очищення стічних вод.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

«Galvanic coatings in electrical engineering industry. Electroplating of copper conductive parts with nickel»

Tarasova A.O. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Chemical Technology, HE-02

Diploma project, 2024, number of pages – 82, tables – 18, figures – 8, references –19.

The project describes the process of electroplating copper conductive parts with nickel, with annual production program of 11 000 m². The process takes place in a sulfamate electrolyte at a temperature of 55...55°C and a cathode current density of 12 A/dm². The coating thickness is 9 μm. The choice of coating type and electrolyte is substantiated.

The project includes a technological process chart, key design and technological calculations, the selection of appropriate equipment, and economic and organizational calculations. An automatic control scheme for the electroplating process has been developed. A wastewater treatment scheme is provided. Safety and labor protection measures are described.

Keywords: nickel plating; sulfamate electrolyte; copper conductive parts; galvanic bath; technological calculations; automation; wastewater treatment.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.1. Характеристика деталі, що підлягає покриттю	11
1.2. Обґрунтування вибору виду покриття.....	12
1.3. Вибір підготовчих операцій.....	13
1.4. Вибір складу електроліту для нанесення покриття	14
1.5. Вибір завершальних операцій	15
1.6. Технологічна карта процесу	16
1.7. Види браку та неполадки в процесі нанесення покриття.....	16
1.8. Методи контролю якості покриття.....	19
2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ	21
2.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання.....	21
2.2. Розрахунок виробничої програми обладнання.....	22
2.3. Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів	23
2.4. Визначення сили струму та напруги на гальванічній ванні	29
2.5. Визначення теплової енергії (джоулевої теплоти) та складання балансу енергії	33
2.6. Тепловий розрахунок ванни, що працює за підвищеної температури	35
2.7. Розрахунок пристроїв для нагрівання	38
2.8. Розрахунок витрат стисненого повітря на перемішування електроліту.....	40
2.9. Розрахунок витрат матеріалів. Розрахунок витрат анодів.....	41
2.10. Розрахунок витрат хімічних реактивів.....	42
2.11. Розрахунок витрат води	45

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ	50
3.1. Опис підрозділу підприємства	50
3.2. Технічна підготовка підприємства.....	53
3.3. Розрахунок техніко-економічних показників.....	57
3.4. Порівняльна оцінка витрат на нікелювання мідних деталей у порівнянні із алюмінієвими і сталевими деталями.....	62
4. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ	64
4.1. Автоматизація процесу гальванічного нікелювання	64
4.2. Опис розробленої схеми автоматизації процесу нікелювання	65
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	67
5.1. Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на проєктному об'єкті. Заходи з охорони праці	67
5.1.1. Повітря робочої зони	67
5.1.2. Виробниче освітлення	70
5.1.3. Захист від виробничого шуму та вібрацій.....	72
5.1.4. Електробезпека.....	72
5.1.5. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання	73
5.2. Пожежна безпека.....	74
6. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА. СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	76
ВИСНОВОК.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	80

ВСТУП

Кожного дня ми стикаємося із різними типами покриттів, та досить часто вони є нікелевими. І не дарма: хоч нікель і дорогий сам по собі, та його властивості компенсують витрачені на його одержання ресурси. Нікелеві покриття можна побачити на деталях машин, в конструкційних елементах, у хімічній промисловості, а також в електротехніці. Дані покриття є захисно-декоративними: вони й захищають від механічного впливу та, за певних умов, від корозії, й надають поверхні деталі сріблясто-білого блиску.

В дипломному проєкті розглядається технологія нанесення нікелевого покриття на мідний електричний контакт, яке має забезпечити потрібний рівень провідності деталі та захистити її від корозії. Окрім цього, осадження нікелю із сульфаматного електроліту має забезпечити пластичність та малонапруженість покриття.

Також у дипломному проєкті наводиться обґрунтування вибору покриття, поетапний процес його нанесення на мідну провідну деталь та методи контролю якості одержаних виробів. Для того, щоб чітко та вчасно контролювати і регулювати параметри нанесення нікелевого покриття розроблено схему автоматизації процесу.

Для того, щоб довести доречність застосування нікелевого покриття саме на мідній провідній деталі наведено порівняльну таблицю техніко-економічних показників із іншими металами-основами, на які можна наносити нікелеве покриття.

Метою даного дипломного проєкту є розгляд процесу гальванічного нікелювання мідних деталей продуктивністю 11 000 м²/рік та вдосконалення його на різних етапах виробництва.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Обґрунтування вибору виду покриття

Проводиться осадження нікелю на поверхню мідної провідної деталі. Покриття товщиною 9 мкм наноситься відповідно до технологічних вимог. Покриття має захищати основу від корозії та бути достатньо пластичним. Оскільки нікелеве покриття схильне до поглинання газів, то в ньому може бути багато пор, що не сприяє корозійному захисту. Отже, покриття повинно мати достатню товщину, щоб якісно захищати основу, інакше при товщині, меншій за обрану, активніше буде перебігати процес окислення поверхні мідної основи крізь великі пори в нікелевому покритті, що призведе до збільшення опору. Однак, якщо товщина покриття буде зовеликою, це заважатиме функціональній здатності деталі. Отже, 9 мкм покриття забезпечують корозійний захист та провідність поверхні [3]. Окрім цього, нікель збільшує зносостійкість поверхні, захищає від слабких кислот та лугів, а також виконує декоративну функцію завдяки своєму сріблясто-білому кольору та гарному металевому блиску. Нікелеве покриття має чудову адгезію до мідної основи, а також забезпечує твердість поверхні, захист від механічного впливу та пошкоджень. Нікель як покриття було обрано завдяки цим його властивостям, оскільки воно відповідає необхідним параметрам. Якщо обрати інше покриття для захисту, наприклад, олов'яне, то не підтримується необхідний рівень електропровідності, тоді як нікелеве покриття може його забезпечити.

Звісно, є також мінуси: в присутності сірковмісних сполук нікель швидко втрачає свій блиск, швидко кородує в морській воді, може поглинати велику кількість газів, тож механічні властивості погіршуються. Однак, дані мінуси є мінімальним недоліком, порівняно із іншими можливими варіантами покриттів. Оскільки обрана товщина є невеликою, собівартість нанесення нікелевого покриття не буде високою, тож можна не зважати на значну вартість нікелю.

Властивості покриття також значною мірою залежать від електроліту, з якого відбувається осадження нікелю. В залежності від складу, покриття може бути більш чи менш напруженим, пластичним [4].

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Вибір підготовчих операцій

Для того, щоб якісно нанести нікелеве покриття, необхідно добре підготувати мідну основу. Рекомендується провести наступну послідовність підготовчих операцій:

- **Знежирення хімічне.** Базується на здатності лужних розчинів та солей лужних металів омилювати та емульгувати жири та масла, які після цього змиваються з поверхні. У ванні знежирення, заповненій кальцинованою содою, тринатрійфосфатом та синтанолом ДС-10, за температури 60...80°C проводиться знежирення перетинок. Склад розчину (г/л):

Na_2CO_3	15...20
Na_3PO_4	20...30
Синтанол ДС-10	3...5

Кальцинована сода забезпечує необхідний рівень лужності розчину, тринатрійфосфат, окрім створення лужності, також є буфером, зменшує твердість води, легко змивається, допомагає забрудненням утримуватися в розчині і не осаджуватися на поверхню деталі. Синтанол ДС-10 є біологічно м'якою ПАР, що використовується для послаблення сили зчеплення масла з поверхнею металу, має властивості емульгатора. Після операції знежирення обов'язково проводиться спочатку **промивання у теплій воді**, потім у **холодній проточній воді**;

- **Травлення.** Після знежирення необхідно очистити деталь від оксидів Cu_2O та CuO , що можуть бути присутні на поверхні. В даному процесі розчин має швидко розчиняти оксидну плівку, але не взаємодіяти з металом-основою. Проводиться травлення в електроліті з сульфатною, нітратною та хлоридною кислотами за кімнатної температури протягом 0,1...0,2 хв. Склад електроліту (г/л):

H_2SO_4	750...850
HNO_3	50...70
HCl	1...5

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті травлення отримують матову поверхню. Після цього проводиться **холодне промивання у проточній воді**;

- **Активація.** Для якісного осадження нікелю на поверхню міді необхідно провести активацію в розчині 30 г/л HCl протягом 0,5...1 хвилини за кімнатної температури.
- Проводиться **гаряче промивання** для запобігання різкому перепаду температур, після чого деталі проходять **сушіння** та **контроль** на якість очищення поверхні.

1.4. Вибір складу електроліту для нанесення покриття

Після якісного очищення поверхні можна наносити покриття. Наведемо декілька варіантів та оберемо оптимальний склад електроліту.

Кислі сульфатні електроліти блискучого нікелювання можуть довгий час зберігати здатність осаджувати блискучі покриття без постійного контролю вмісту блискоутворювачів, але покриття утворюються переважно крихкі, до того ж, блиск поверхні нерівномірний. Однак, незважаючи на недоліки, електроліт відповідає вимогам для ефективної роботи покриття деталі за певних умов експлуатації. Наразі відомо, що такий склад та режим електроліту трохи застарілий, оскільки діапазон параметрів режиму струму досить вузький.

Застосовують також борфторидні, кремнійфтористоводневі та сульфаматні електроліти [3]. Борфторидні та кремнійфтористоводневі електроліти призначені для швидкісного осадження нікелю. Для дипломного проєктування обираємо сульфаматний електроліт, оскільки він може забезпечити максимально малонапружене пластичне покриття.

Сульфаматні електроліти мають наступний склад (г/л):



300...400

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	12...15
H_3BO_3	25...40
Сахарин	0,5...1,5
Лаурилсульфат натрію	0,2...0,3

Режим електролізу: $i_k = 5 \dots 12 \text{ А/дм}^2$; $t = 20 \dots 55 \text{ }^\circ\text{C}$ (якщо підвищити до 60°C , сульфамат гідролізує до сульфату амонію); рН 3...4,2. Вихід за струмом складає 95...98%.

Іони хлору відіграють роль депасиватора аноду, борна кислота – буфер, лаурилсульфат натрію використовується як антипітингова добавка, а сахарин допомагає знизити наводнення нікелю.

Даний електроліт дозволяє отримувати осади за високих густин струму, при цьому покриття виходять пластичні та малонапружені, що є кращим варіантом для мідного електричного контакту.

Недоліком даного електроліту є необхідність його очистки від органічних домішок та іонів металів, присутність яких призводить до збільшення внутрішньої напруженості покриття, тож воно може тріскатися.

1.5. Вибір завершальних операцій

Після електрохімічного нікелювання проводиться ряд операцій, спрямованих на завершення процесу та отримання готового продукту:

- Промивання деталей у ванні **уловлювання** в теплій воді перебігає для того, щоб: зберегти ту кількість електроліту, що виноситься з деталями після перебігу процесу нанесення покриття; для зменшення витрат води на промивання у проточних ваннах; для подальшого поповнення робочої ванни водою. Ванна уловлювання є непроточною [5];

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Також, проводиться **тепле промивання** деталей та **гаряче промивання**, перед **сушінням**;
- Здійснюється **контроль** якості отриманого покриття.

1.6. Технологічна карта процесу

Технологічна карта процесу наведена в Додатку А.

Технологічний процес можна звести до такої послідовності операцій:

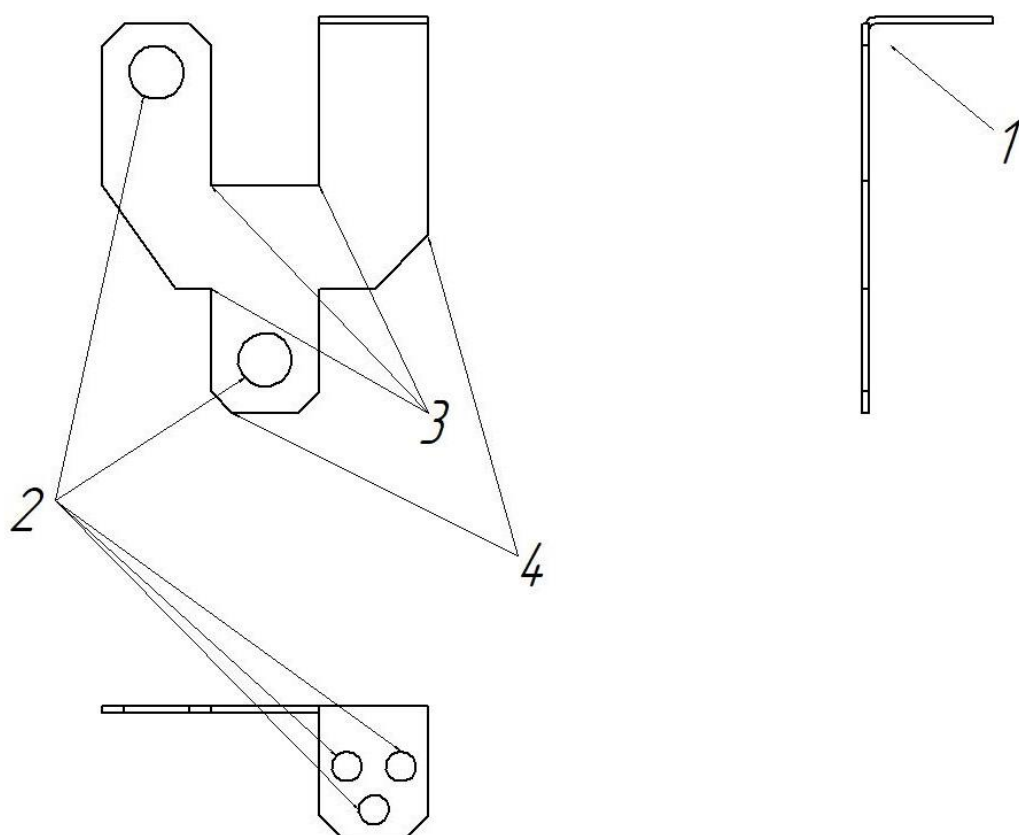
- 1) Монтаж деталей на підвіс (на виробництві використовують дроти);
- 2) Знежирення хімічне;
- 3) Промивання в теплій воді;
- 4) Холодне промивання проточною водою;
- 5) Травлення;
- 6) Холодне промивання проточною водою;
- 7) Активація;
- 8) Холодне промивання;
- 9) Електрохімічне нікелювання;
- 10) Промивання у підігрітій ванні уловлювання;
- 11) Промивання в теплій воді;
- 12) Гаряче промивання;
- 13) Сушіння;
- 14) Демонтаж;
- 15) Контроль якості покриття.

1.7. Види браку та неполадки в процесі нанесення покриття

Нікелеве покриття виконує захисну функцію, контакт з атмосферою сприятиме інтенсифікації корозії матеріалу основи, тож поверхня має бути захищена повністю суцільним покриттям. Отже, браком будуть деталі, що мають

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на поверхні: відшарування, здуття, нарости, дендрити, нерівномірність покриття, корозійні ураження (пітинг), підгари, включення в покриття сторонніх частинок, непокриті ділянки. Особливо варто звертати увагу на ділянки 1, 2, 3 та 4 (рис.1.2) – отвори та внутрішні кути можуть бути зарощеними, на зовнішніх кутах є ризик отримати дендрити, покриття в зоні місця вигину теж може бути нерівномірним.



1 – місце вигину; 2 – отвори; 3 – внутрішні кути; 4 – зовнішні кути

Рисунок 1.2 – Ескіз деталі із позначенням місць можливого браку

Основні неполадки в процесі нанесення нікелевого покриття та способи їх усунення наведені в таблиці 1.1.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Основні неполадки в роботі електроліту нікелювання

№	Неполадки	Можливі причини	Способи усунення
1	2	3	4
1	Покриття не осаджується, відбувається сильне газовиділення	Занадто низький pH	Коригування рівня pH 3%-м розчином NaOH
2	Осадження не відбувається, деталі покриті чорною масляною плівкою	Занадто низький pH; Температура нижча за необхідну; Забруднення нітратною кислотою	Коригування рівня pH 3%-м розчином NaOH; Підвищення температури; Замінити електроліт (в подальшому – проводити більш якісно промивання після травлення, оскільки заміна електроліту спричиняє великі матеріальні витрати)
3	Якісне покриття, але з непокритими ділянками	Недостатня якість знежирення; Деталі екрануються	Повтор знежирення; Перевірка і коригування розташування деталей
4	Осад крихкий	pH більший за потрібний; Густина струму більша за необхідну; Низька концентрація борної кислоти; Температура більше 60°, сульфамат гідролізував до сульфату амонію	Коригування рівня pH борною кислотою; Коригування густини струму, температури
5	Осад шорсткий (в даному випадку більш шорсткий, ніж передбачено поверхнею деталі)	Погана підготовка основи; Забруднення електроліту шламом з анодів; Низька концентрація іонів нікелю; Низька температура	Ретельніше готувати деталі; Перевірити чохли анодів; Додати іони нікелю; Підвищити температуру
6	Підгари	Густина струму вища за необхідну; Низька температура; Низька концентрація компонентів електроліту	Коригування густини струму, температури та складу електроліту за результатами аналізу
7	Пітинг	Підвищена густина струму; Занадто низький pH; Низька температура; Низька концентрація борної кислоти; Недостатній вміст лаурилсульфату натрію	Коригування значення густини струму, температури та складу електроліту
8	Погане зчеплення з основою, відшарування при механічному впливі	Погана підготовка поверхні; Переривання проходження струму; Забруднення іонами міді	Ретельніше готувати деталі; Перевірити подачу струму; Очистити селективно

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
9	Жовтий відтінок покриття, на кромках утворення зелених осадів (гідроксидів нікелю)	Занадто високий рН; Густина струму вища за необхідну	Коригування рівня рН борною кислотою; Коригування густини струму
10	Аноди вкриті коричневою/чорною плівкою	Анодна густина струму вища за необхідну; Низька концентрація іонів хлору, тобто депасиватора	Збільшити поверхню анодів; Після аналізу електроліту, додати хлорид

1.8. Методи контролю якості покриття

Деталь – мідний електричний контакт товщиною 3 мм, що має просту конфігурацію, декілька отворів та один вигин. Покриття, що наноситься – нікелеве, товщиною 9 мкм. Обраний електроліт дозволяє рівномірно осадити нікель на поверхні деталі завдяки високій розсіювальній здатності, однак маємо перевірити покриття особливо уважно на місці згину, в отворах, на внутрішніх та зовнішніх кутах, де може відбутися їх зарощування або нерівномірне осадження нікелю. Будемо перевіряти такі параметри: зовнішній вигляд, товщину в кількох місцях, міцність зчеплення з основою та рівень внутрішніх напружень.

За допомогою **візуального контролю** визначаємо: чи багато подряпин; чи наявні відшарування, здуття, нарости, дендрити; рівень хвилястості покриття, наявність корозійних уражень, пітингу, підгарів; чи є включення в покриття сторонніх частинок; чи присутні непокриті ділянки. Візуальний контроль проводиться для кожної партії по всій поверхні, на відстані 25 см від поверхні деталі за допомогою природного або штучного освітлення.

Визначення **товщини** покриття проводимо ультразвуковим методом в декількох місцях на площині деталі, 3 зразки кожної партії. Суть методу полягає в тому, що товщина покриття визначається по часу, який ультразвуковий імпульс витрачає на проходження крізь однорідне середовище до межі поділу та повернення на перетворювач. Для вимірювання товщини кожного шару покриття необхідно

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підбирати певну довжину хвилі. Вимірювання проводиться товщиноміром: чиста, суха та знежирена ділянка змащується гелем, до неї приставляється перетворювач приладу, при цьому трохи притирається для кращого контакту та обережно притискається на кілька секунд. На екрані приладу бачимо результат вимірювання. Дослід повторюється не менше трьох разів.

Міцність зчеплення з основою визначатимемо методом нанесення сітки подряпин: на деталь з гальванічним покриттям, за допомогою адгезиметра наносять 4...6 паралельних ліній глибиною 9 мкм, до металу основи, на відстані 2...3 мм одна від одної, і так само наносять перпендикулярні до них лінії. Дослід проводиться для 3 деталей з партії. Якщо на місці подряпин не спостерігаються відшарування, партія проходить контроль.

Визначення **внутрішніх напружень** покриття буде проводитися методом гнучкого катода: мідна пластина товщиною 0,1...0,2 мм, ізольована з одного боку, міцно закріплюється зверху, навпроти неізольованої частини розміщено анод. Проводиться електроліз до визначеної товщини нікелю. Якщо напруження великі, то вільний кінець катода вигинається в сторону анода. Величину даного відхилення вимірюємо та за формулою розраховуємо значення внутрішніх напружень:

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{E_0 \cdot \delta_{\text{м}}^2 \cdot \Delta l}{3l^2 \cdot \delta_{\text{п}}}, \quad (1.1)$$

де E_0 – модуль пружності металу основи, Н/м²; $\delta_{\text{м}}$ – товщина катода, м; Δl – відхилення нижнього краю катода від початкової точки, м; l – довжина катода, м; $\delta_{\text{п}}$ – товщина покриття, м.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Для змістовного проєктування виробництва проведемо основні технологічні розрахунки [6].

2.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Для визначення дійсного фонду часу роботи обладнання, необхідно знати: кількість днів року, робочих днів у році, тривалість робочого дня, кількість робочих змін, номінальний річний фонд часу. У зв’язку із воєнним станом, святкових днів у 2024 році немає. До того ж, оскільки цей рік високосний, то всього у ньому 366 днів. Розрахуємо номінальний річний фонд часу:

$$T_{\text{н}} = (T_{\text{к}} - T_{\text{вих}}) \cdot \frac{\tau_{\text{тиж}}}{t_{\text{роб дн}}} \cdot n_{\text{змін}}, \tag{2.1}$$

$$T_{\text{н}} = (366 - 104) \cdot \frac{40}{5} \cdot 2 = 4\,192 \text{ год},$$

де $T_{\text{к}}$ – кількість днів в році – 366 днів; $T_{\text{вих}}$ – кількість вихідних днів в році – 104 дні; $\tau_{\text{тиж}}$ – час роботи протягом тижня при п’ятиденному робочому тижні, становить 40 год; $t_{\text{роб дн}}$ – кількість робочих днів в тижні; $n_{\text{змін}}$ – кількість робочих змін.

Також, враховується час на простої обладнання – він складатиме 8% від загального. За формулою (2.2) визначаємо дійсний річний фонд часу:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{н}} - K_{\text{пр}} \cdot T_{\text{н}}, \tag{2.2}$$

$$T_d = 4\,192 - 0,08 \cdot 4\,192 = 3\,856,64 \text{ год},$$

де T_H – номінальний річний фонд часу; $K_{пр}$ – коефіцієнт простою обладнання.

2.2. Розрахунок виробничої програми обладнання

Оскільки у будь-якому виробництві наявний певний відсоток браку, необхідно врахувати це на початку розрахунків. Отже, коефіцієнт браку становитиме 3%. Задана виробнича програма – 11000 м²/рік. Розрахуємо річну виробничу програму за формулою:

$$P_p = P_{звп} + K_{бр} \cdot P_{звп}, \quad (2.3)$$

$$P_p = 11\,000 + 0,03 \cdot 11\,000 = 11\,330 \text{ м}^2/\text{рік},$$

де $P_{звп}$ – задана виробнича програма, м²/рік; $K_{бр}$ – відсоток браку.

Розрахуємо добову виробничу програму:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{роб}}, \quad (2.4)$$

$$P_{доб} = \frac{11\,330}{262} = 43,24 \text{ м}^2/\text{день},$$

де $T_{роб}$ – кількість робочих днів у календарному році.

					ДП ХЕО211.2705.000 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо годинну виробничу програму за формулою:

$$P_{\text{год}} = \frac{P_p}{T_d}, \quad (2.5)$$

$$P_{\text{год}} = \frac{11\,330}{3\,856,64} = 2,938 \text{ м}^2/\text{год}.$$

2.3. Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів

Деталі, що покриваються, будуть розміщуватись на підвісних пристроях. Для того, щоб правильно розрахувати розміри ванн, підвісів та іншого обладнання необхідно знати: тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці, загальну кількість завантажень, разове одночасне завантаження всіх ванн, після чого обираються габаритні розміри ванн та розраховуються параметри підвісного пристрою.

Час електрохімічного осадження покриття та час технологічного обслуговування завантажувальної одиниці – це складові тривалості обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіски з деталями), що відображається у формулі:

$$\tau = \tau_T + \tau_{об}, \quad (2.6)$$

де τ – тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці, хв; τ_T – технологічний час електрохімічного катодного нанесення покриття, хв; $\tau_{об}$ – час обслуговування однієї одиниці завантаження відповідно до технологічної схеми, приймають 2 хв.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою (2.7) визначається час електрохімічного осадження нікелевого покриття:

$$\tau_T = \frac{\delta_{\Pi} \cdot d_{\Pi} \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_e \cdot i_k}, \text{хв}, \quad (2.7)$$

$$\tau_T = \frac{9 \cdot 10^{-6} \cdot 8,902 \cdot 10^6 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,98 \cdot \frac{58,7}{2 \cdot 26,8} \cdot 12} = 3,73 \text{ хв.}$$

де δ_{Π} – товщина покриття, мкм; d_{Π} – густина металу покриття, г/см³; B_c – катодний вихід за струмом, в долях одиниці; $K_e = \frac{M_{Ni}}{z \cdot F}$ – електрохімічний еквівалент, г/(А·год), де M_{Ni} – молярна маса елемента, z – кількість електронів, що беруть участь в реакції, F – число Фарадея, становить 26,8 А·год; i_k – середня катодна густина струму, А/дм² [7].

Звідси за формулою (2.6) розраховуємо тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці:

$$\tau = 3,73 + 2 = 5,73 \text{ хв.}$$

Затрати часу на запуск обладнання, кінцеве вивантаження і допоміжні операції враховуються за допомогою коефіцієнта $K_{об}$, що для двох змін становить 1,05.

Щоб визначити загальну кількість завантажень $\sum N$, необхідні значення дійсного річного фонду часу роботи та тривалості обробки однієї завантажувальної одиниці. Отже, за формулою:

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum N = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}}, \quad (2.8)$$

$$\sum N = \frac{3\,856,64 \cdot 60}{5,73 \cdot 1,05} = 38\,460,63 \approx 38\,461 \text{ раз.}$$

Виходячи з цього, за формулою (2.9) розрахуємо разове одночасне завантаження усіх ванн в м²:

$$N_{оз} = \frac{P_p}{\sum N}, \quad (2.9)$$

$$N_{оз} = \frac{11\,330}{38\,461} = 0,295 \text{ м}^2/\text{раз.}$$

Оскільки за день має бути досить висока продуктивність, поступовим підбором було визначено габарити гальванічної ванни:

Внутрішні	Зовнішні
Довжина 1 840 мм	Довжина 1 860 мм
Ширина 600 мм	Ширина 620 мм
Висота 1 100 мм	Висота 1 110 мм

Знаючи це, можна розрахувати габаритні розміри підвісного пристрою. Довжина визначається за формулою:

$$l_{п} = l - 2l_1, \quad (2.10)$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l_{\Pi} = 1,84 - 2 \cdot 0,15 = 1,54 \text{ м.}$$

де l – внутрішня довжина ванни, м; l_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни, становить 0,15 м.

Висоту підвісного пристрою визначають за формулою:

$$h_{\Pi} = h - h_1 - h_2 - h_3, \quad (2.11)$$

$$h_{\Pi} = 1,1 - 0,2 - 0,05 - 0,3 = 0,55 \text{ м.}$$

де h – внутрішня висота ванни, м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски, становить 0,2 м (оскільки наявний барботер); h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту, становить 0,05 м; h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни, при використанні бортових відсмоктувачів становить 0,3 м.

Визначимо відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями (в нормі має складати 0,1...0,25 м):

$$l_{a-k} = \frac{B - B_{\Pi} - 2 \cdot B_a - 2 \cdot B_1}{2}, \quad (2.12)$$

$$l_{a-k} = \frac{0,6 - 0,08 - 2 \cdot 0,01 - 2 \cdot 0,1}{2} = 0,15 \text{ м,}$$

де B – внутрішня ширина ванни, м; B_{Π} – товщина підвіски з деталями; B_a – товщина анодів; B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, становить 0,1 м.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на разове одночасне завантаження, розрахуємо кількість деталей, на які необхідно нанести покриття за раз, знаючи площу деталі, що буде покриватися ($S_{\text{дет}} = 0,034 \text{ м}^2$):

$$N_{\text{дрз}} = \frac{N_{\text{оз}}}{S_{\text{дет}}} = \frac{0,295}{0,034} = 8,67 \approx 9 \text{ деталей.} \quad (2.13)$$

Для того, щоб коефіцієнт завантаження обладнання не перевищував допустимі норми, за одне завантаження покриватиметься 11 деталей. Розрахуємо кількість підвісних пристроїв, необхідних для виконання програми:

$$N_{\text{під}} = \frac{N_{\text{дрз}}}{n_{\text{д}}} = \frac{9}{11} = 0,82 \approx 1 \text{ підвіс.} \quad (2.14)$$

Сумарна поверхня деталей на одній підвісці становить:

$$S_{\text{п}} = S_{\text{дет}} \cdot n_{\text{д}} = 0,034 \cdot 11 = 0,374 \text{ м}^2. \quad (2.15)$$

Визначимо поверхню одноразового завантаження у ванну:

$$S_{\text{оз}} = S_{\text{п}} \cdot N_{\text{п}} = 0,374 \cdot 1 = 0,374 \text{ м}^2. \quad (2.16)$$

Визначаємо кількість ванн:

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\text{в}} = \frac{N_{\text{оз}}}{S_{\text{оз}}} = \frac{0,295}{0,374} = 0,79 \approx 1 \text{ ванна.} \quad (2.17)$$

Виходячи із визначеної кількості ванн, а також площі деталей одного завантаження $S_{\text{оз}}$ в одну ванну, розрахуємо річну продуктивність вибраного обладнання:

$$P'_{\text{р}} = S_{\text{оз}} \cdot n_{\text{в}} \cdot \frac{T_{\text{д}} \cdot 60}{\tau \cdot K_{\text{об}}}, \quad (2.18)$$

$$P'_{\text{р}} = 0,374 \cdot 1 \cdot \frac{3\,856,64 \cdot 60}{5,73 \cdot 1,05} = 14\,384,28 \text{ м}^2/\text{год.}$$

Тепер можемо визначити коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{\text{зав}} = \frac{P_{\text{р}}}{P'_{\text{р}}} = \frac{11\,330}{14\,384,28} = 0,79. \quad (2.19)$$

Розміщення деталей на підвісці зображено на рисунку 2.1.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

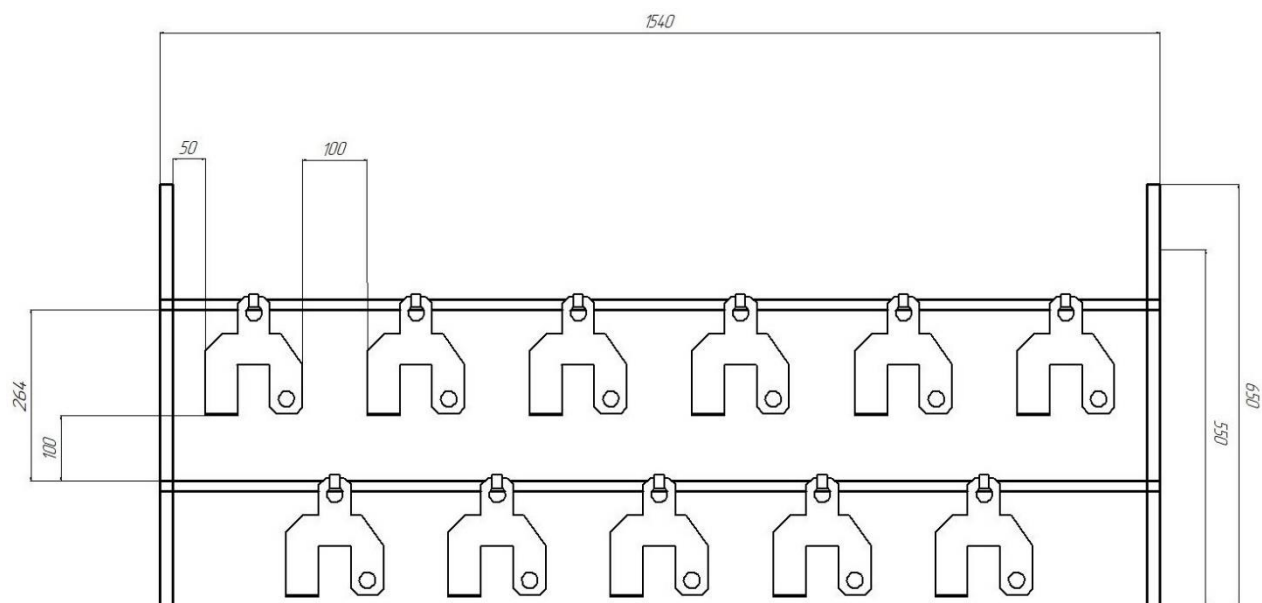


Рисунок 2.1 – Ескіз підвісного пристрою з деталями

2.4. Визначення сили струму та напруги на гальванічній ванні

Щоб обрати джерело живлення постійним струмом, необхідно розрахувати силу струму на ванні. Враховуючи коефіцієнт втрати електрики на осадження металу на контактах підвіски ($K = 1,03 \dots 1,15$), катодну густину струму i_k (А/м²) та площу поверхні покриття одного завантаження S_{oz} (м²), розрахуємо силу струму:

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{oz}, \quad (2.20)$$

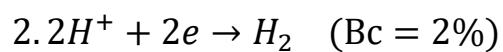
$$I = 1,1 \cdot 12 \cdot 10^2 \cdot 0,374 = 493,68 \text{ A.}$$

Наведемо рівняння реакцій, що перебігають на катоді та аноді:

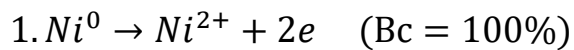
Катод:



					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Анод:



Розрахуємо кількість електрики, що витрачається на кожний електродний процес протягом 1 години:

$$Q_i = \frac{I \cdot \tau_d \cdot B_c}{100}. \quad (2.21)$$

Катод:

$$Q_{kNi} = \frac{493,68 \cdot 1 \cdot 98}{100} = 483,81 \text{ А} \cdot \text{год},$$

$$Q_{kH_2} = \frac{493,68 \cdot 1 \cdot 2}{100} = 9,87 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Анод:

$$Q_{aNi} = \frac{493,68 \cdot 1 \cdot 100}{100} = 493,68 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Результати розрахунків зводяться у таблицю 2.1.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Баланс кількості електрики для ванни нікелювання

Надходження	Q, А·год	%	Витрати	Q, А·год	%
На катоді:					
Від зовнішнього джерела струму	493,68	100	На осадження нікелю	483,81	98
			На виділення водню	9,87	2
Разом	493,68	100	Разом	493,68	100
На аноді:					
Від зовнішнього джерела струму	493,68	100	На розчинення нікелю	493,68	100
Разом	493,68	100	Разом	493,68	100

Щоб визначити електричну потужність, маємо знати силу струму і напругу на джерелі струму. Силу струму ми визначили, отже, розраховуємо напругу та складаємо баланс. Напруга на ванні розраховується за формулою:

$$U_{\text{в}} = E_a - E_k + \Delta U_{\text{Ом Ел-т}} + \Delta U_{\text{Ом 1р}} + \Delta U_{\text{Ом К}} = \Delta E_i + \sum \Delta U_{\text{Ом}}, \quad (2.22)$$

де $E_a - E_k$ – різниця електродних потенціалів анода і катода під струмом, В; $\Delta U_{\text{Ом Ел-т}}$ – омичне падіння напруги в електроліті, В; $\Delta U_{\text{Ом 1р}}$ – омичне падіння напруги у провідниках першого роду (електроди і штанги), В; $\Delta U_{\text{Ом К}}$ – омичне падіння напруги в контактах, В.

Для нікелю $E_a = 0,43$ В; $E_k = -0,73$ В, звідси різниця електродних потенціалів:

$$\Delta E = E_a - E_k = 0,43 - (-0,73) = 1,16 \text{ В}. \quad (2.23)$$

Розрахуємо омичне падіння напруги в електроліті за формулою:

$$\Delta U_{\text{Ом Ел-т}} = i_{\text{ср}} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_{\text{Ел-т}} \cdot K_{\text{Г}}, \quad (2.24)$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_{\text{Ом Ел-т}} = \sqrt{1\,200 \cdot 272} \cdot 0,15 \cdot 2,5 \cdot 0,01 \cdot 1,05 = 2,25 \text{ В},$$

де $i_{\text{ср}} = \sqrt{i_{\text{к}} \cdot i_{\text{а}}}$, середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м²; $l_{\text{а-к}}$ – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями, м; $\rho_{\text{Ел-т}}$ – питомий електричний опір електроліту, становить $2,5 \cdot 10^{-2}$ Ом·м; $K_{\text{г}}$ – коефіцієнт газонаповнення (виділення бульбашок газу), становить 1,05.

Сумарне омичне падіння напруги в електроліті, провідниках 1-го роду та контактах приймається у межах 10% від загальної напруги на ванні:

$$\sum \Delta U_{\text{Ом}} \leq 0,1 \cdot U_{\text{в}}. \quad (2.25)$$

Тоді, розрахуємо напругу на ванні:

$$U_{\text{в}} = \frac{(\Delta E_i + \Delta U_{\text{Ом Ел-т}})}{0,9} = \frac{1,16 + 2,25}{0,9} = 3,79 \text{ В}.$$

Отже,

$$\sum \Delta U_{\text{Ом}} = 0,1 \cdot 3,79 = 0,38 \text{ В}.$$

Таблиця 2.2 – Баланс напруги на ванні нікелювання

Надходження	U, В	%	Витрати	U, В	%
Напруга на ванні, $U_{\text{в}}$			Різниця потенціалів електродів під струмом, ΔE	1,16	30,61
			Падіння напруги в електроліті, $\Delta U_{\text{Ом Ел-т}}$	2,25	59,37
	3,79	100	Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках, $\sum \Delta U_{\text{Ом}}$	0,38	10,02
Разом	3,79	100	Разом	3,79	100

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо мінімальну напругу джерела струму для ванни нікелювання, враховуючи падіння напруги в шинах (струмопідводах):

$$U_{\text{дс}} = 1,1 \cdot U_{\text{в}} = 1,1 \cdot 3,79 = 4,17 \text{ В.} \quad (2.26)$$

Можемо обрати джерело струму для ванни, але не з великим запасом потужності. Розрахуємо потужність для джерела струму та підберемо випрямний агрегат серії (Т).

$$N_{\text{дс}} = U \cdot I \cdot 10^{-3} = 4,17 \cdot 493,68 \cdot 10^{-3} = 2,01 \text{ кВт.} \quad (2.27)$$

Отже, обираємо випрямний агрегат ТЕ1-600/12Т, паспортна потужність якого становить:

$$N_{\text{пас}} = 12 \cdot 600 \cdot 10^{-3} = 7,2 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо коефіцієнт завантаження обраного агрегату:

$$K_{\text{зав}} = \frac{N_{\text{дс}}}{N_{\text{пас}}} = \frac{2,01}{7,2} = 0,28. \quad (2.28)$$

2.5. Визначення теплової енергії (джоулевої теплоти) та складання балансу енергії

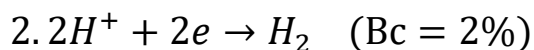
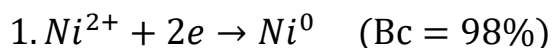
Щоб розрахувати електричну енергію $W_{\text{заг}}$, необхідно визначити хімічну енергію $W_{\text{хім}}$ та теплову (джоулеву) $W_{\text{дж}}$:

					ДП ХЕО211.2705.000 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

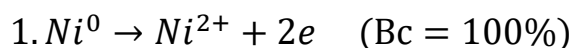
$$W_{\text{заг}} = W_{\text{хім}} + W_{\text{дж}}. \quad (2.29)$$

Хімічна енергія характеризується змінами, що відбуваються внаслідок перебігу реакцій в електролізері, а теплова є енергією, що витрачається на розігрівання електроліту. Реакції, що перебігають:

Катод:



Анод:



Оскільки для процесів з розчинними анодами з вихід за струмом (на катоді та аноді) близьким до 100% загальна електрична енергія приблизно рівна значенню теплової енергії, хімічну енергію розраховувати не потрібно.

$$W_{\text{дж}} = 3,6 \cdot U \cdot I \cdot \tau, \quad (2.30)$$

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{дж}},$$

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{дж}} = 3,6 \cdot 3,79 \cdot 493,68 \cdot 1 = 6\,735,77 \text{ кДж.}$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Баланс енергії на ванні нікелювання

Надходження	W, кДж	%	Витрати	W, кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	6 735,77	100	Теплова (джоулева) енергія Хімічна енергія	6 735,77 0	100 0
Разом	6 735,77	100	Разом	6 735,77	100

2.6. Тепловий розрахунок ванни, що працює за підвищеної температури

Визначаємо кількість теплоти $Q_{\text{роз}}$, що необхідна для розігріву ванни. Вона складається із витрат теплової енергії Q_1 на розігрів електроліту, матеріалу корпусу ванни, анодів і витрат теплоти Q_2 на компенсацію втрат у навколишнє середовище:

$$Q_{\text{роз}} = Q_1 + \frac{Q_2}{2}. \quad (2.31)$$

Величина втрат теплоти на розігрів електроліту, матеріалу корпусу ванни, анодів розраховується за формулою:

$$Q_1 = (V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3) \cdot (T_{\text{кін}} - T_{\text{поч}}), \quad (2.32)$$

де V_1 , C_1 , d_1 – відповідно об'єм, питома масова теплоємність та густина електроліту; C_2 , m_2 – теплоємність матеріалу корпусу ванни та маса ванни; C_3 , m_3 – теплоємність та маса анодів; $T_{\text{кін}}$ – необхідна, кінцева температура електроліту; $T_{\text{поч}}$ – початкова температура електроліту.

$$V_1 = 0,883 \text{ м}^3 = 883 \text{ дм}^3; \quad C_1 = 3\,060 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad d_1 = 1,17 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}; \quad [2]$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_2 = 1\,925,93 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad m_2 = 49,259 \text{ кг};$$

$$C_3 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad m_3 = 75,89 \text{ кг}.$$

$$Q_1 = (883 \cdot 3\,060 \cdot 1,17 + 1\,925,93 \cdot 49,259 + 460 \cdot 75,89) \times \\ \times (55 - 20) = 115\,187\,731,84 \text{ Дж} = 115\,187,73 \text{ кДж}.$$

Кількість теплової енергії на компенсацію втрат у навколишнє середовище розраховують за формулою:

$$Q_2 = Q_3 + Q_4, \quad (2.33)$$

де Q_3 – втрати теплової енергії нагрітим електролітом через стінки ванни;
 Q_4 – втрати теплової енергії через дзеркало електроліту.

Дані складові можна визначити за формулами:

$$Q_3 = q_3 \cdot F_k \cdot \tau_p, \quad (2.34)$$

$$Q_4 = q_4 \cdot F_3 \cdot \tau_p, \quad (2.35)$$

де $q_3 = b_0 + b_1 \cdot t$ – величина питомих витрат теплоти через стінки ванни для інтервалу температур у ванні 40...100°C, Вт/м²; $q_4 = 82 + 0,0115 \cdot t^3$ – величина питомих витрат теплової енергії через дзеркало електроліту в інтервалі температур 30...100°C, Вт/м²; F_k – площа поверхні корпусу ванни, м²; F_3 – площа поверхні дзеркала електроліту, м²; τ_p – час розігріву ванни, приймається 3600 с.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_3 = (-397 + 15,23 \cdot 55) \cdot 6,66 \cdot 3\,600 = 10\,563\,120,79 \text{ Дж},$$

$$Q_4 = (82 + 0,0115 \cdot 55^3) \cdot 1,1 \cdot 3\,600 = 7\,901\,437,5 \text{ Дж},$$

$$Q_2 = 10\,563\,120,79 + 7\,901\,437,5 = 18\,464\,558,29 \text{ Дж},$$

$$Q_{\text{роз}} = 115\,187\,731,84 + \frac{18\,464\,558,29}{2} = 124\,420\,010,98 \text{ Дж}.$$

Визначаємо кількість тепла $Q_{\text{роб}}$ на підтримування робочої температури у ванні, що являє собою суму теплової енергії на компенсацію втрат теплоти у навколишнє середовище Q_2 та теплової енергії Q_5 , що йде на підігрів підвісів із платами за вирахуванням величини джоулевої теплоти $Q_{\text{дж}}$. Розрахунок даної величини проводиться на 1 годину роботи ванни за формулами:

$$Q_{\text{роб}} = Q_2 + Q_5 - Q_{\text{дж}}, \quad (2.36)$$

$$Q_2 = (q_3 \cdot F_{\text{к}} + q_4 \cdot F_3) \cdot 3600, \quad (2.37)$$

$$Q_5 = (C_5 \cdot m_5 + C_6 \cdot m_6) \cdot (T_{\text{кін}} - T_{\text{поч}}) \cdot n_{\text{оз}}, \quad (2.38)$$

де C_5, C_6 – питомі масові теплоємності відповідно матеріалу підвіски (латунь) та оброблюваних деталей (мідь), Дж/(кг·К); m_5, m_6 – маси відповідно підвісного пристрою та деталей на одній підвісці; $n_{\text{оз}} = \frac{60}{\tau_{\text{т}} + \tau_{\text{об}}}$ – кількість підвісів з деталями, що обробляються у ванні за одну годину.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_2 = (440,65 \cdot 6,65 + 1995,31 \cdot 1,1) \cdot 3600 = 18\,464\,558,3 \text{ Дж.}$$

$$C_5 = 377 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad m_5 = 12,13 \text{ кг};$$

$$C_6 = 385 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad m_6 = 5,21 \text{ кг.}$$

$$Q_5 = (377 \cdot 12,13 + 385 \cdot 5,21) \cdot (55 - 20) \cdot \frac{60}{5,73} = 2\,411\,100,52 \text{ Дж,}$$

$$Q_{\text{роб}} = 18\,464\,558,3 + 2\,411\,100,52 - 6\,735\,770 = 14\,139\,888,81 \text{ Дж.}$$

Таблиця 2.4 – Тепловий баланс ванни нікелювання

Надходження	Q, кДж	%	Витрати	Q, кДж	%
Для підтримки робочої температури, $Q_{\text{роб}}$	14 139,89	67,73	Витрати у навколишнє середовище, Q_2	18 464,56	88,45
Джоулева тепла енергія, $Q_{\text{дж}}$	6 735,77	32,27	На підігрів підвіски з деталями, Q_5	2 411,1	11,55
Разом	20 875,66	100	Разом	20 875,66	100

2.7. Розрахунок пристроїв для нагрівання

Для нагрівання ванни нікелювання необхідні ТЕНи – трубчасті електронагрівачі. Необхідно визначити потрібну потужність нагрівачів, щоб ефективно розігріти та підтримувати температуру електроліту.

Розрахуємо втрати електроенергії на розігрів ванни протягом однієї години:

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{роз}} = \frac{Q_{\text{роз}}}{3\,600} \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.39)$$

$$W_{\text{роз}} = \frac{124\,420\,010,98}{3\,600} \cdot 10^{-3} = 34,56 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Визначаємо витрати електроенергії на підтримування теплового режиму протягом однієї години:

$$W_{\text{роб}} = \frac{Q_{\text{роб}}}{3\,600} \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.40)$$

$$W_{\text{роб}} = \frac{14\,139\,888,81}{3\,600} \cdot 10^{-3} = 3,93 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

За одну годину загальна потужність ТЕН становитиме:

$$N_{\text{роз}} = \frac{W_{\text{роз}}}{\tau}, \quad (2.41)$$

$$N_{\text{роз}} = \frac{34,56}{1} = 34,56 \text{ кВт}.$$

$$N_{\text{роб}} = \frac{W_{\text{роб}}}{\tau}, \quad (2.42)$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{роб}} = \frac{3,93}{1} = 3,93 \text{ кВт.}$$

Загальні витрати електроенергії на підтримання теплового режиму ванни при виконанні річної програми можна визначити за формулою:

$$W_{\text{заг}} = (W_{\text{роз}} \cdot T_{\text{діб}} + W_{\text{роб}} \cdot T_{\text{д}}) \cdot n_{\text{в}}, \quad (2.43)$$

$$W_{\text{заг ел-т}} = (34,56 \cdot 262 + 3,93 \cdot 3\,856,64) \cdot 1 = 24\,022,92 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Аналогічно, витрати електроенергії на температурний режим ванни знежирення, ванни промивання теплою водою, гарячою водою:

$$W_{\text{заг знежир}} = 52\,151,8 \text{ кВт} \cdot \text{год,}$$

$$W_{\text{заг теп.пром.}} = 57\,538,8 \text{ кВт} \cdot \text{год,}$$

$$W_{\text{заг гаряч.пром.}} = 51\,502,75 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

2.8. Розрахунок витрат стисненого повітря на перемішування електроліту

Визначаємо річну витрату стисненого повітря Π для перемішування електроліту:

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Pi = q \cdot V \cdot n \cdot T_d, \quad (2.44)$$

$$\Pi = 12 \cdot 0,883 \cdot 1 \cdot 3\,856,64 = 40\,864,96 \text{ м}^3.$$

де q – норми витрат стисненого повітря на перемішування 1 м³ електроліту, м³/год;
 V – робочий об'єм електроліту у ванні, м³; n – кількість ванн даного типу; T_d –
 дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.

2.9. Розрахунок витрат матеріалів. Розрахунок витрат анодів

В процесі нікелювання використовуються розчинні нікелеві аноди. Для проектування виробництва необхідно мати уяву про те, які будуть витрати анодів на початковий запуск та на виконання річної виробничої програми. Аноди, що застосовуються, марки НПА-1 [8].

Витрати анодів на запуск обладнання розраховують за формулою:

$$G_{AZ} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_v \cdot h_v \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot n_v, \quad (2.45)$$

$$G_{AZ} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 1,84 \cdot 1,1 \cdot 0,01 \cdot 8902 \cdot 1 = 172,97 \text{ кг},$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни, приймають 0,6; K_2 – коефіцієнт, що враховує співвідношення довжини анодів та висоти ванни, приймають 0,8; $n_{аш}$ – кількість анодних штанг у

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ванні; $l_{\text{в}}$ – внутрішня довжина ванни, м; $h_{\text{в}}$ – внутрішня висота ванни, м; $\delta_{\text{а}}$ – товщина анодів, м; $d_{\text{а}}$ – густина нікелю, кг/м³; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн нікелювання.

Визначаємо витрати анодів на виконання річної виробничої програми:

$$G_{\text{АР}} = S \cdot A_{\text{р}} \cdot \delta_{\text{п}}, \quad (2.46)$$

$$G_{\text{АР}} = 11\,330 \cdot 8902 \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6} \cdot 9 = 962,2 \text{ кг},$$

де S – сумарна площа поверхні нанесеного покриття при виконанні річної програми, м²; $A_{\text{р}} = d_{\text{п}} \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6}$ – норма витрат розчинних анодів для нанесення покриття товщиною один мікрометр, кг/м²; $d_{\text{п}}$ – густина металу покриття, кг/м³; $\delta_{\text{п}}$ – товщина покриття в мікрометрах.

2.10. Розрахунок витрат хімічних реактивів

Як і для анодів, так і для хімічних реактивів необхідно розрахувати витрати на початковий запуск та на виконання річної виробничої програми, які визначаються за формулами (2.47) та (2.48) відповідно:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}}, \quad (2.47)$$

$$G_{i\text{річ}} = C_i \cdot V_{\text{вт}}, \quad (2.48)$$

де C_i – концентрація компонента в електроліті, кг/м³; $V_{\text{в}}$ – об'єм ванни, м³; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни, становить 0,77; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн даного типу;

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e$ – сумарний об’єм електроліту, який виноситься із ванн при виконанні річної виробничої програми, м^3 ; S – сумарна площа поверхні нанесеного покриття при виконанні річної програми, м^2 ; A_e – норма витрат електроліту, $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{м}^2$.

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 20 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 17,72 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ річ}} = 20 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0004 = 104,236 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = 30 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 26,59 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4 \text{ річ}} = 30 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0004 = 156,354 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Синтанол ДС-10}} = 5 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 4,43 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Синтанол ДС-10 річ}} = 5 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0004 = 26,059 \text{ кг};$$

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 850 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 753,29 \text{ кг};$$

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ річ}} = 850 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,00056 = 6\,202,042 \text{ кг};$$

$$G_{\text{HNO}_3} = 70 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 62,04 \text{ кг};$$

					ДП ХЕО211.2705.000 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{HNO_3 \text{ річ}} = 70 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,00056 = 510,756 \text{ кг};$$

$$G_{HCl \text{ трав}} = 5 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 4,43 \text{ кг}; (\text{на травлення})$$

$$G_{HCl \text{ трав річ}} = 5 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,00056 = 36,483 \text{ кг};$$

$$G_{HCl \text{ акт}} = 30 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 26,59 \text{ кг} (\text{на активацію});$$

$$G_{HCl \text{ акт річ}} = 30 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0004 = 156,354 \text{ кг};$$

$$G_{Ni(H_2NSO_3)_2} = 400 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 354,49 \text{ кг};$$

$$G_{Ni(H_2NSO_3)_2 \text{ річ}} = 400 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0001 = 521,18 \text{ кг};$$

$$G_{NiCl_2 \cdot 6H_2O} = 15 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 13,3 \text{ кг};$$

$$G_{NiCl_2 \cdot 6H_2O \text{ річ}} = 15 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0001 = 19,54 \text{ кг};$$

$$G_{H_3BO_3} = 40 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 35,45 \text{ кг};$$

$$G_{H_3BO_3 \text{ річ}} = 40 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0001 = 52,12 \text{ кг};$$

					ДП ХЕО211.2705.000 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\text{Сахарин}} = 1,5 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 1,33 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Сахарин річ}} = 1,5 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0001 = 1,95 \text{ кг};$$

$$G_{\text{SLS}^*} = 0,3 \cdot 1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 = 0,27 \text{ кг};$$

$$G_{\text{SLS річ}} = 0,3 \cdot 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,0001 = 0,391 \text{ кг}.$$

* - SLS – Sodium Lauryl Sulfate – лаурилсульфат натрію

2.11. Розрахунок витрат води

В технологічному процесі нанесення нікелевого покриття вода бере участь майже в кожному етапі. Щоб оцінити, скільки води йде на виробництво, розрахуємо витрати води на приготування електроліту, витрати на випаровування з поверхні розчину та витрати на промивні операції після ванни нікелювання.

$$G'_{H_2O} = C_{H_2O} \cdot V_{\text{заг}}, \quad (2.49)$$

$$C_{H_2O} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n), \quad (2.50)$$

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} + V_{\text{вт}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} + 1,15 \cdot S \cdot A_{\text{е}}, \quad (2.51)$$

$$G'_{H_2O} = (d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n)) \cdot (V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} + 1,15 \cdot S \cdot A_{\text{е}}), \quad (2.52)$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G'_{H_2O \text{ ел-т}} = (1170 - (400 + 15 + 40 + 1,5 + 0,3)) \cdot (1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 + 1,15 \times \\ \times 11\,330 \cdot 0,0001) = 1\,561,32 \text{ кг},$$

де C_{H_2O} – вміст води в одному м³ електроліту, кг/м³; $d_{\text{ел}}$ – густина електроліту, кг/м³; $C_{1,2,...,n}$ – вміст компонентів електроліту, кг/м³; $V_{\text{заг}}$ – сумарні витрати електроліту на виконання річної виробничої програми, м³; S – сумарна площа поверхні нанесеного покриття при виконанні річної програми, м²; A_e – норма витрат електроліту, 0,1 м³/м².

Розрахуємо також витрати води на приготування розчину знежирювання, травлення та активації:

$$G'_{H_2O \text{ знеж}} = (1020 - (20 + 30 + 5)) \cdot (1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 + 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,4) = \\ = 5\,884,59 \text{ кг},$$

$$G'_{H_2O \text{ трав}} = (1470 - (850 + 70 + 5)) \cdot (1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 + 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,56) = \\ = 4\,459,59 \text{ кг},$$

$$G'_{H_2O \text{ акт}} = (1013,2 - 30) \cdot (1,214 \cdot 0,73 \cdot 1 + 1,15 \cdot 11\,330 \cdot 0,4) = 6\,951,74 \text{ кг}.$$

Сумарні витрати води на приготування розчинів за рік:

$$G'_{H_2O} = 1\,561,32 + 5\,884,59 + 4\,459,59 + 6\,951,74 = 18\,857,24 \text{ кг} = 18,86 \text{ м}^3.$$

Розрахуємо витрати води на випаровування з поверхні розчину:

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{H_2O \text{ вип}} = T_d \cdot F_3 \cdot q_{H_2O} \cdot n_v, \quad (2.53)$$

$$C_{H_2O \text{ вип ел-т}} = 3\,856,64 \cdot 1,1 \cdot 3,01 \cdot 1 = 12\,769,34 \text{ кг},$$

$$C_{H_2O \text{ вип знежир}} = 3\,856,64 \cdot 1,1 \cdot 5,87 \cdot 1 = 24\,902,32 \text{ кг},$$

$$C_{H_2O \text{ вип теп.пром.}} = 3\,856,64 \cdot 1,1 \cdot 3,91 \cdot 1 = 16\,587,41 \text{ кг},$$

$$C_{H_2O \text{ вип гар.пром.}} = 3\,856,64 \cdot 1,1 \cdot 5,87 \cdot 1 = 24\,902,32 \text{ кг},$$

де T_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год; F_3 – площа поверхні дзеркала електроліту, m^2 ; q_{H_2O} – швидкість випаровування води за 1 годину при відповідній температурі; n_v – кількість ванн даного типу.

Сумарні витрати води на випаровування:

$$\begin{aligned} C_{H_2O \text{ вип}} &= 12\,769,34 + 24\,902,32 + 16\,587,41 + 24\,902,32 = 79\,161,39 \text{ кг} = \\ &= 79,16 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Визначаємо витрати води на промивання, враховуючи, що після ванни нікелювання в технологічному процесі наявна ванна уловлювання, ванна холодного промивання та ванна гарячого промивання [9]:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_{\text{год}} \cdot \sqrt{0,4K}, \quad (2.54)$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{год}} = 0,0001 \cdot 2,938 \cdot \sqrt{0,4 \cdot \frac{400}{0,02}} = 0,026 \text{ м}^3/\text{год},$$

де A_e – норма витрат електроліту виносом з поверхнею деталей, $0,01 \text{ м}^3/\text{м}^2$; $P_{\text{год}}$ – годинна виробнича програма, $\text{м}^2/\text{год}$; $K = \frac{C_0}{C_k}$ – критерій остаточної промивки деталей; C_0 – концентрація основного компонента у ванні, після якої проводиться промивання, $\text{г}/\text{дм}^3$; C_k – гранично допустима концентрація основного компонента у ванні після промивання, $\text{г}/\text{дм}^3$.

Таким же чином розрахуємо витрати води на промивання деталей після знежирення, травлення та активації:

$$V_{\text{год знежир}} = 0,0004 \cdot 2,938 \cdot \sqrt{\frac{30}{0,8}} = 0,0072 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{год трав}} = 0,00056 \cdot 2,938 \cdot \frac{850}{0,1} = 13,98 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$V_{\text{год актив}} = 0,0004 \cdot 2,938 \cdot \frac{30}{0,1} = 0,35 \text{ м}^3/\text{год}.$$

При виконанні річної виробничої програми сумарні витрати води на промивання після електролізу розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,5, \quad (2.55)$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{сум ел-т}} = 0,026 \cdot 3\,856,64 \cdot 1,5 = 152,02 \text{ м}^3,$$

де $V_{\text{год}}$ – погодинні витрати води, $\text{м}^3/\text{год}$; $T_{\text{д}}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год; 1,5 – коефіцієнт, що враховує можливе падіння тиску води у водопровідній мережі.

Аналогічно розрахуємо для промивання після знежирювання, травлення, активації.

$$V_{\text{сум знежир}} = 0,0072 \cdot 3\,856,64 \cdot 1,5 = 41,63 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{сум трав}} = 13,98 \cdot 3\,856,64 \cdot 1,5 = 80\,901,9 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{сум акт}} = 0,35 \cdot 3\,856,64 \cdot 1,5 = 2\,039,55 \text{ м}^3.$$

Сумарні витрати води на промивання:

$$V_{\text{сум}} = 152,02 + 41,63 + 161\,803 + 2\,039,55 = 83\,135,17 \text{ м}^3.$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

3.1. Опис підрозділу підприємства

Розглядається підрозділ підприємства в електротехнічній промисловості [10] – гальванічний цех, метою діяльності якого є одержання готового виробу – мідної деталі із нікелевим покриттям. Організаційно-правова форма господарювання – товариство з обмеженою відповідальністю, діє на основі приватної власності юридичної особи. Повне найменування: «Товариство з обмеженою відповідальністю «Гальвані», скорочене – «ТОВ «Гальвані».

Наведемо класифікаційні ознаки підприємства:

Мета і характер діяльності	– комерційне
Форма власності майна	– приватне
Належність капіталу	– національне
Правовий статус і форма господарювання	– господарське товариство
Галузево-функціональний вид діяльності	– промислове
Технологічна цілісність і ступінь підпорядкування	– головне
Розмір за чисельністю працівників	– Мале (до 50 осіб)

Код виду та вид економічної діяльності за КВЕД: 25.61 Оброблення металів та нанесення покриття на метали.

Наведемо схему організації структури підрозділу (рис.3.1) – співробітниками цеху є: головний інженер-технолог, чотири гальваніки, два лаборанти і два прибиральники. Працює цех у дві зміни по 8 годин кожна, 5 днів на тиждень, 2 дні – вихідні, в які виробництво зупиняє роботу. Працівники діляться на дві бригади; одна бригада складається з двох гальваніків, одного лаборанта та одного прибиральника. Головний інженер-технолог працює тільки в першу зміну.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 – Схема організації гальванічного цеху

Головний інженер-технолог розробляє, впроваджує та контролює всі етапи модернізації технології, і в подальшому контролює виконання операцій технологічного процесу із дотриманням вимог; контролює виконання норм охорони праці та охорони навколишнього середовища, а також правильність експлуатації устаткування цеху.

Гальваніки (гальванік 4-го розряду) проводять гальванічне осадження нікелевого покриття, строго дотримуючись вимог технологічної карти, затвердженої на виробництві, з виконанням норми виробітку за зміну. Здійснюють коригування складу електроліту нікелювання, розчинів знежирення, травлення та активації. Дотримуються норм охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Лаборанти готують обладнання до роботи, проводять якісний та кількісний аналіз електроліту нікелювання, розчинів знежирення, травлення та активації, аналізують склад води в процесі очищення стоків, а також проводять контроль якості отриманого покриття. Дотримуються норм охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Прибиральники підтримують цех в чистоті.

Наведемо графік змінності працівників, враховуючи, що одна бригада складається з двох гальваніків, одного лаборанта та одного прибиральника, а головний інженер-технолог працює тільки в першу зміну. Позначення: В – вихідні дні; 1 – перша зміна, з 6:00 до 14:00; 2 – друга зміна, з 14:00 до 22:00.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Графік змінності працівників

Дні Бригади	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	1	1	1	1	1	В	В	2	2	2	2	2	В	В
II	2	2	2	2	2	В	В	1	1	1	1	1	В	В
Головний інженер\технолог	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В

Визначаємо чисельну явку персоналу – явочну та за списком. Чисельність явочна становить 4 людини/зміна. Розрахуємо чисельність за списком:

$$Ч_{\text{сп}} = Ч_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{річ}}}{T_{\text{прац}}} = 4 \cdot \frac{16 \cdot 262}{8 \cdot 262} = 8 \text{ осіб}, \quad (3.1)$$

де $T_{\text{річ}}$ – річний фонд часу роботи підприємства в годинах; $T_{\text{прац}}$ – річний час роботи працівника.

Зважаючи на чисельну явку персоналу за списком, розрахуємо та сформуємо фонд оплати праці у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Фонд оплати праці

Посада	К-ть осіб	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка, грн/год	Заробітна плата, грн		Нарахування до ПФ, грн/рік	Всього ФОП, грн/рік
				За день	За рік		
Головний інженер-технолог	1	3,64	173,33	1 386,64	363299,68	79 926	443 224,68
Гальванік	4	2,58	122,86	3931,52	1030058,24	226 613	1 570 838,82
Лаборант	2	1,82	86,67	1386,72	363320,64	79 931	664 876,77
Прибиральник	2	1,09	51,9	830,4	217564,8	47 864	398 143,59
Всього	9			7 535,28	1 974 243,36	434 333,54	2 408 576,90

3.2. Технічна підготовка підприємства

Наводимо перелік виробничих (основних, допоміжних та побічних) процесів підрозділу.

Таблиця 3.3 – Перелік виробничих процесів гальванічного цеху на 1 ванну

Вид виробничого процесу	Назва операції	Час виконання t, хв	Посада працівника	Обладнання
1	2	3	4	5
Основні	Монтаж деталей на підвісний пристрій	2	Гальванік	Підвісний пристрій
	Хімічне знежирення	10	Гальванік	Ванна знежирення
	Промивання в теплій воді	0,5	Гальванік	Ванна промивання №1
	Холодне промивання	0,5	Гальванік	Ванна промивання №2
	Травлення	0,2	Гальванік	Ванна травлення
	Холодне промивання	0,5	Гальванік	Ванна промивання №3
	Активація	1	Гальванік	Ванна активації
	Холодне промивання	0,5	Гальванік	Ванна промивання №4
	Електрохімічне нікелювання	5,73	Гальванік	Ванна нікелювання
	Уловлювання	2	Гальванік	Ванна уловлювання
	Холодне промивання	0,5	Гальванік	Ванна промивання №5
	Гаряче промивання	0,5	Гальванік	Ванна промивання №6
	Сушіння	15	Гальванік	Сушильна шафа
	Демонтаж деталей з підвісного пристрою	2	Гальванік	-
	Контроль якості деталей	15	Лаборант	Лабораторне обладнання
	Сумарна тривалість процесу	56,43		
Допоміжні	Упаковування готової продукції	-	Лаборант Гальванік	Стіл
	Приготування розчинів	-	Лаборант Гальванік	-
	Корегування складу розчинів	-	Лаборант	-
Побічні	Очищення стічних вод	-	Лаборант	Станція очищення

Далі визначимо оптимальний вид руху предметів праці (ВРПП) – послідовний, паралельний чи синхронізований. Кількість робочих днів в році – 262 дні/рік. Річна програма виробництва із урахуванням можливого браку P_p становить 11 330 м²/рік. Добова програма $P_{\text{доб}}$ становить 43,24 м²/добу. Розрахуємо виробничу програму на зміну:

$$P_{\text{зм}} = \frac{P_{\text{доб}}}{n} = \frac{43,24}{2} = 21,62 \frac{\text{м}^2}{\text{зміну}}, \quad (3.2)$$

де n – кількість змін.

Звідси визначимо кількість завантажень, що необхідно здійснити за одну зміну для дотримання виробничої програми:

$$N_{\text{зз}} = \frac{P_{\text{зм}}}{S_{\text{оз}}} = \frac{21,62}{0,374} = 57,8 \approx 58 \text{ завантажень}, \quad (3.3)$$

де $S_{\text{оз}}$ – площа одного завантаження, м².

Розрахуємо тривалість виробничого циклу для послідовного ВРПП:

$$T_{\text{вц}}^{\text{посл}} = \frac{N_{\text{зз}} \cdot \sum_1^m t_i}{60} = \frac{58 \cdot 56,43}{60} = 54,55 \text{ год}, \quad (3.4)$$

де $N_{\text{зз}}$ – кількість завантажень для виконання програми за зміну; $\sum_1^m t_i$ – сумарна тривалість процесів, хв.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

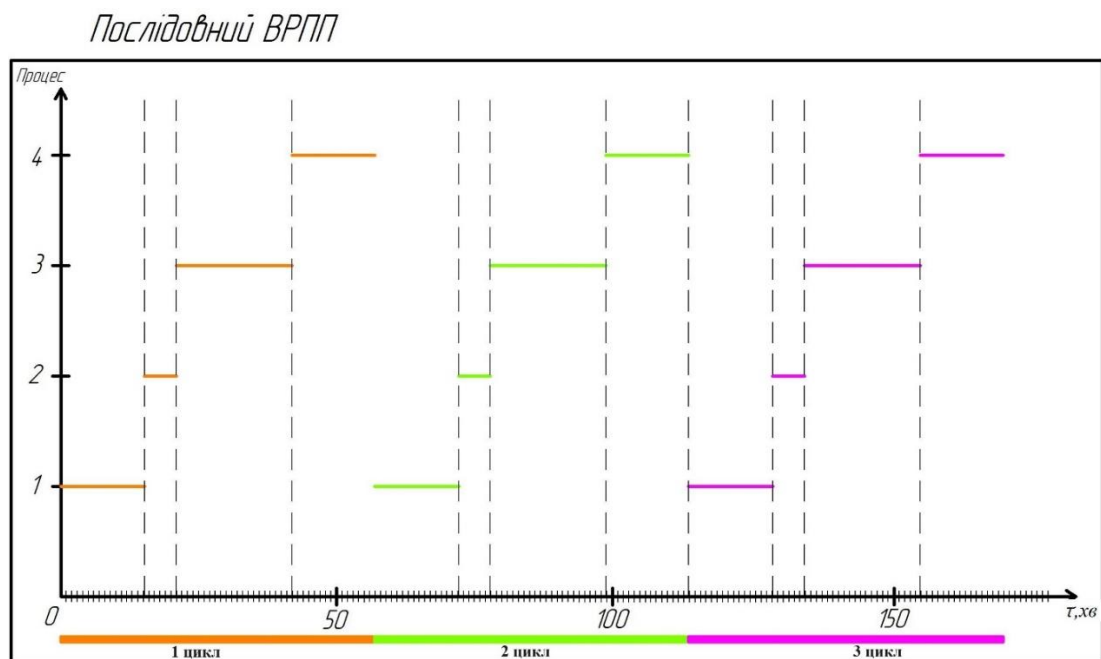


Рисунок 3.2 – Графік послідовного виду руху предметів праці

Як бачимо, при послідовному ВРПП робітники не встигнуть виконати програму на зміну. Розрахуємо тривалість виробничого циклу для паралельного ВРПП за формулою (3.4), враховуючи, що всі операції поділені на чотири процеси: підготовчі операції (15,5 хв), процес нанесення (5,73 хв), завершальні операції (20,5 хв) та контроль якості (15 хв).

$$T_{\text{вц}}^{\text{пар}} = \frac{(N_{\text{зз}} - 1) \cdot t_{\text{max}} + \sum_1^m t_i}{60} = \frac{(58 - 1) \cdot 20,5 + 56,43}{60} = 20,42 \text{ год}, \quad (3.5)$$

де t_{max} – тривалість найдовшого процесу, хв.

Паралельний ВРПП

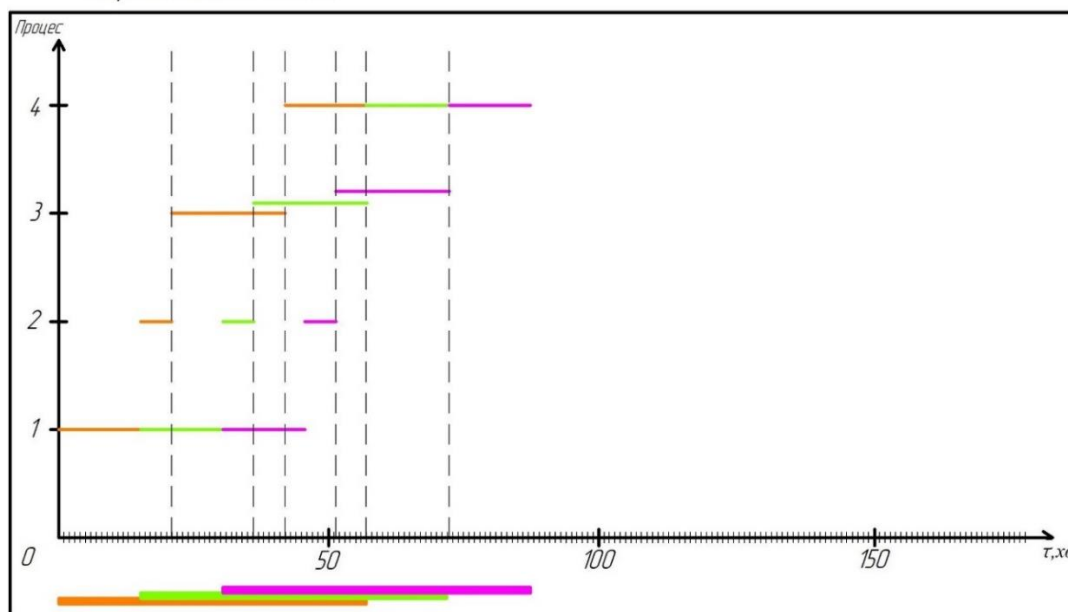


Рисунок 3.3 – Графік паралельного виду руху предметів праці

За паралельного ВРПП працівники також не встигають виконати норму за зміну. Розглянемо синхронізований ВРПП:

$$T_{\text{ВЦ}}^{\text{синх}} = \frac{(N_{\text{зз}} - 1) \cdot t_{\text{min}} + \sum_1^m t_i}{60} = \frac{(58 - 1) \cdot 5,73 + 56,43}{60} = 6,38 \text{ год}, \quad (3.6)$$

де t_{min} – тривалість найкоротшого процесу, хв.

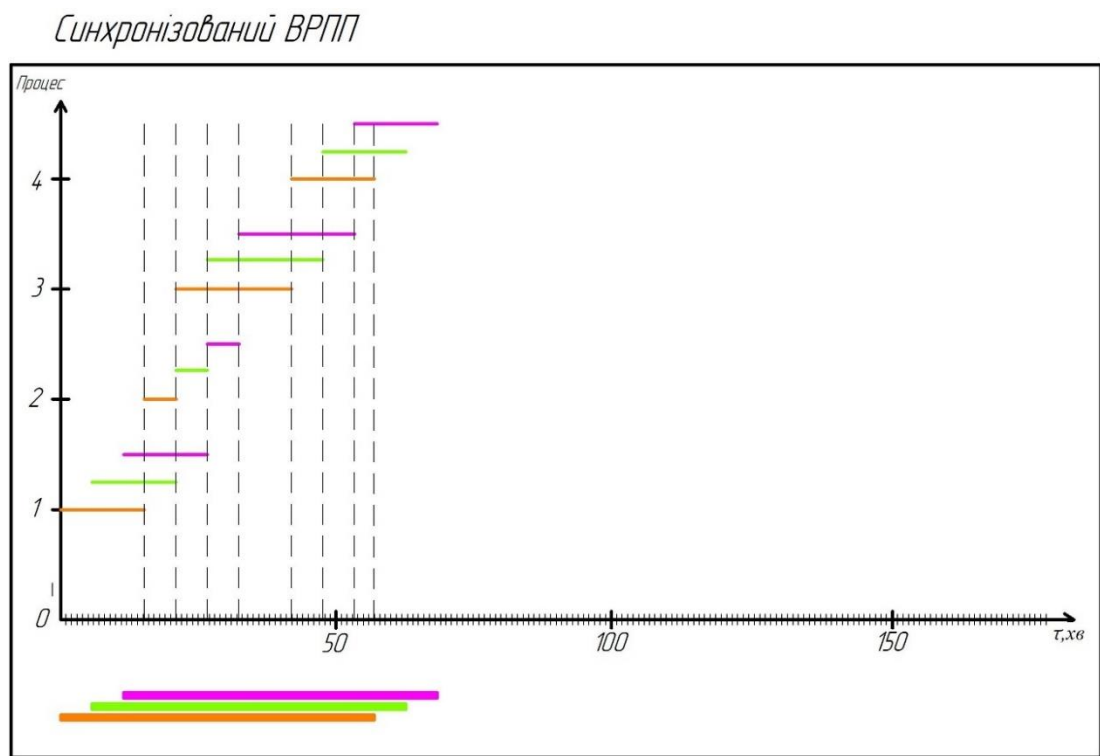


Рисунок 3.4 – Графік синхронізованого виду руху предметів праці

Отже, єдиним оптимальним варіантом для виконання плану на зміну є синхронізований ВРПП.

3.3. Розрахунок техніко-економічних показників

Визначаємо основні засоби цеху, вносимо їх, їхню вартість та термін експлуатації в таблицю 3.4. За формулами (3.7) та (3.8) розраховуємо норму амортизації та амортизацію.

$$H_A = \frac{1}{T_{\text{експл}}} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

де $T_{\text{експл}}$ – термін експлуатації засобів.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = \frac{N_A \cdot \text{Вартість}}{100}. \quad (3.8)$$

Також враховуємо, що норма амортизації для малоцінних засобів (вартість нижча за 6000 грн) встановлюється на рівні 50%.

Таблиця 3.4 – Основні засоби гальванічного цеху

Найменування основного засобу	К-ть	Вартість одиниці, грн	Вартість всіх одиниць, грн	Термін експлуатації, роки	Норма амортизації, %	Амортизація, грн	Ремонт, грн
1	2	3	4	5	6	7	8
Підвісний пристрій	1	7 000	7 000	5	20	1 400	700
Ванна промивання	6	9 200	55 200	5	20	11 040	5 520
Ванна уловлення	1	9 200	9 200	5	20	1 840	920
Ванна знежирювання	1	9 200	9 200	5	20	1 840	920
Ванна травлення	1	9 200	9 200	5	20	1 840	920
Ванна активації	1	9 200	9 200	5	20	1 840	920
Ванна нікелювання	1	20 000	20 000	5	20	4 000	2000
Автоматизована лінія	1	500000	500000	10	10	50 000	50 000
Сушильна камера	1	15 000	15 000	5	20	3 000	1 500
Лабораторне обладнання	-	15 000	15 000	5	20	3 000	1 500
Станція очищення стічних вод	1	30 000	30 000	5	20	6 000	3 000
Трубні комунікації	-	20 000	20 000	10	10	2 000	2 000
Приміщення	1	500 000	500 000	20	5	25 000	50 000
Стілець	5	800	4 000	4	50	2 000	400
Стіл	2	2 000	4 000	4	50	2 000	400
Комп'ютер	1	25 000	25 000	5	20	5 000	2 500
Програмне забезпечення	1	10 000	10 000	12	8,33	833	1 000

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Обладнання для контролю якості покриттів	-	25 000	25 000	5	20	5 000	2 500
Невраховані основні фонди	-	-	253 400	-	10	25 340	-
Всього	-	1 215 800	1 247 040	-	-	152 973	126 700

Визначимося із оборотними фондами цеху.

Таблиця 3.5 – Оборотні фонди гальванічного цеху

Найменування	Ціна, грн/кг	Витрата на запуск, кг	Витрата на рік, кг	Всього, кг	Сумарна вартість, грн
Na ₂ CO ₃	21	17,72	104	121,96	2 561,2
Na ₃ PO ₄	49,5	26,59	156	182,94	9 055,6
Синтанол ДС-10	110	4,43	26	30,49	3 353,9
H ₂ SO ₄	13	753,29	6202,042	6 955,33	177 360,9
HNO ₃	120	62,04	510,7564	572,79	68 735,0
HCl	140,5	31,02	192,8366	223,85	31 451,5
Ni(H ₂ NSO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1 100	354,49	521	875,67	963 234,8
NiCl ₂ ·6H ₂ O	450	13,3	19,54425	32,84	14 776,9
H ₃ BO ₃	504	35,45	52	87,57	44 133,7
Сахарин	562	1,33	1,954425	3,28	1 845,5
Лаурилсульфат натрію	490	0,27	0,390885	0,66	321,8
Аноди нікелеві	2 200	172,97	962,2	1 135,17	2 497 374,0
Проточна вода, м ³	30,38 /м ³	-	102 182,42 м ³	-	3 104 301,9
Електроенергія	1 486 602,9	-	265 464,8 кВт·год	-	106 982,3
Всього					8 405 109,58

Проведемо калькуляцію собівартості продукції та зведемо у таблицю 3.6.

					ДП ХЕО211.2705.000 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спочатку розрахуємо оборотні засоби:

$$ОбЗ = ОбФ + ФОП + В_{адм} + \text{Вартість ремонту}, \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} ОбЗ &= 8\,405\,109,58 + 2\,408\,576,90 + 0,2 \cdot 2\,408\,576,90 + 126\,700 = \\ &= 11\,422\,101,86 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$C_{\text{цех}} = A + ОбЗ + 0,2 \cdot (A + ОбЗ), \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} C_{\text{цехова}} &= 152\,973 + 11\,422\,101,86 + 0,2 \cdot (152\,973 + 11\,422\,101,86) = \\ &= 13\,890\,089,83 \text{ грн,} \end{aligned}$$

де $0,2 \cdot (A + ОбЗ)$ – невраховані витрати, 20% від С.

Таблиця 3.6 – Кошторис собівартості продукції

№	Стаття калькуляції	Витрати		% від собівартості
		На річну програму, грн/рік	На одиницю продукції, грн/м ²	
1	Амортизація	152 973	13,50	1,32
2	Оборотні фонди	8 405 109,58	741,85	72,61
3	Фонд оплати праці	2 408 576,90	212,58	20,81
4	Затрати на ремонт	126 700	11,18	1,09
5	Невраховані витрати	2 315 014,97	204,33	20
6	Собівартість	11 575 074,86	1021,63	100
7	Цехова собівартість	13 890 089,83	1225,96	120

Розрахуємо повну собівартість:

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{цех}} + 0,2 \cdot C_{\text{цех}}, \quad (3.11)$$

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{повна}} = 13\,890\,089,83 + 0,2 \cdot 13\,890\,089,83 = 16\,668\,107,80 \text{ грн},$$

де $0,2 \cdot C_{\text{цех}}$ – накладні витрати, 20% від $C_{\text{цех}}$.

Розрахуємо техніко-економічні показники підприємства, для чого визначимо ціну на продукцію. На ринку ціна за нікелеве покриття становить 2500 грн/м². Враховуючи це, приблизна вартість даного виробу становитиме 85 грн.

Капіталовкладення у виробництво:

$$K = 03 + 063 + 0,2 \cdot (A + 063) + 0,2 \cdot C_{\text{цех}}, \quad (3.12)$$

$$K = 1\,247\,040 + 11\,422\,101,86 + 2\,315\,014,97 + 2\,778\,017,97 = \\ = 17\,762\,174,80 \text{ грн}.$$

Таблиця 3.7 – Техніко-економічні показники роботи цеху

Показники	Одиниця виміру	Умовне позначення, формула розрахунку	Значення
1	2	3	4
1. Річний випуск	од	$B = P_p \cdot S_{\text{дет}}$	333 235,29
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	осіб	$\text{Ч}_{\text{сп}} = \text{Ч}_{\text{яв}} \cdot K_{\text{пер}}$	9
3. у тому числі			
- основних	осіб	-	9
- допоміжних			-
4. Середньорічний виробіток робітника	од./осіб	$\text{ПП}_{\text{с.р.}} = B / \text{Ч}_{\text{сп}}$	37 026,14
5. Капіталовкладення:			
- всього	грн	K	17 762 174,80
- на одиницю продукції	грн/од.	$K_{\text{од}} = K / B$	53,30
6. Повна собівартість продукції:			
- всього	грн	$C_{\text{повна}}$	16 668 107,80
- на одиницю продукції	грн/од.	$C_{\text{од}} = C_{\text{повна}} / B$	50,02

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4
7. Загальний прибуток підприємства	грн	$P = Ц \cdot B - C_{\text{повна}}$	11 656 892,20
8. Відносний прибуток на одиницю продукції	грн/од.	$P_{\text{од}} = Ц - C_{\text{од}}$	34,98
9. Рентабельність продукції	%	$P = П / C_{\text{повна}} \cdot 100$	69,94
10. Період повернення капіталовкладень	роки	$T_{\text{пов}} = K / П$	1,52
11. Фондовіддача виробничих фондів	грн/грн	$ФВ = Ц \cdot B / ОЗ$	22,71
12. Фондоємність	грн/грн	$ФЄ = 1 / ФВ$	0,04403
13. Продуктивність праці	грн/особу	$ПП = B / (Ч_{\text{сп}} \cdot T)$	9,60
14. Коефіцієнт економічної ефективності	-	$E = П / K$	0,66

3.4. Порівняльна оцінка витрат на нікелювання мідних деталей у порівнянні із алюмінієвими і сталевими деталями

Оцінимо витрати на нікелювання мідних, алюмінієвих та сталевих деталей за допомогою порівняльної таблиці. Нікелювання алюмінію складається з основних стадій: знежирення, освітлення, цинкатна обробка, міднення, нікелювання. Основні операції нікелювання сталевих деталей: знежирення, травлення, активація, міднення, нікелювання.

Таблиця 3.8 – Порівняльна таблиця витрат нікелювання на різні основи

Показники	Матеріал основи		
	Мідь	Алюміній	Сталь
1	2	3	4
Основні засоби	1 247 040	1 235 800	1 235 800
Оборотні засоби	11 422 101,86	15 210 172,99	15 051 312,58
Вартість матеріалу основи, грн/кг	655	330	130
Річний випуск	333 235,29	333 235,294	333 235,294
Середньорічна чисельність персоналу за списком	9	9	9
у тому числі			
- основних	9	9	9
- допоміжних	-	-	-

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4
Середньорічний виробіток робітника	37 026,14	37 026,14	37 026,14
Капіталовкладення:			
- всього	17 762 174,80	23 267 586,83	23 038 827,84
- на одиницю продукції	53,30	69,82	69,14
Повна собівартість продукції:			
- всього	16 668 107,80	22 097 499,83	21 868 740,84
- на одиницю продукції	50,02	66,31	65,63
Загальний прибуток підприємства	11 656 892,20	6 227 500,17	6 456 259,16
Відносний прибуток на одиницю продукції	34,98	18,69	19,37
Рентабельність продукції	69,94	28,18	29,52
Період повернення капіталовкладень	1,52	3,74	3,57
Фондовіддача виробничих фондів	22,71	21,70	22,92
Фондоємність	0,044	0,046	0,044
Продуктивність праці	9,60	9,60	9,60
Коефіцієнт економічної ефективності	0,66	0,27	0,28

Як можна спостерігати з таблиці, економічно менш доцільно проводити осадження нікелевого покриття з сульфаматного електроліту на алюмінієві та сталеві деталі, оскільки в обох випадках збільшується кількість операцій, а відповідно і витрат на обладнання та сировину. Також варто зважати на те, що алюміній та сталь дешевші за мідь, але якщо їх застосувати, втрачається функція деталі – електричного контакту, де мідь забезпечує необхідний рівень провідності, маючи низький питомий електричний опір. Сталь же краще використовувати в будівництві, машинобудуванні тощо. Алюміній теж можна застосовувати у машинобудуванні, а також в авіаційній промисловості через властиву йому легкість.

4. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Автоматичне регулювання параметрів застосовується на будь-якому виробництві, де це можливо, оскільки таким чином можна суттєво спростити виробничий процес. Це також несе користь в тому, що залишається більше часу на ретельне виконання важливих етапів виробництва, а також дає більше часу на відпочинок працівників: не потрібно кожні п'ять хвилин вимірювати температуру самостійно, вимірювати рівень електроліту тощо. Окрім цього, результати автоматичних вимірювань є більш коректними, точними, оскільки відсутня особиста похибка людини, що проводила вимірювання. Отже, якщо необхідно забезпечити максимально точні умови роботи – без автоматизації не обійтись.

4.1. Автоматизація процесу гальванічного нікелювання

Процес нікелювання проходить у ванні із сульфаматним електролітом, і вкрай важливим є дотримання допустимих значень рН, температури, сили струму та напруги. Також, для забезпечення рівномірності осадження необхідно контролювати рівень електроліту у ванні. Для автоматизації процесу необхідно:

1. Встановити випрямний агрегат на гальванічну ванну для контролю і регулювання сили струму, напруги [11];
2. Встановити термодатчик опору, регулювальний блок для контролю і регулювання температури електроліту, оскільки процес перебігає за підвищеної температури;
3. Встановити рівнемір на гальванічній ванні та контролювати рівень за допомогою баку з електролітом: рівень розчину у ванні має бути на рівні 800...810 мм;
4. Встановити рН-метр для контролю та регулювання рН електроліту за допомогою баків з кислотою та лугом: якщо $\text{pH} > 4,2$ – додається кислота, якщо $\text{pH} < 3$ – додається луг.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зведемо параметри, норми та рівень автоматизації у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри контролю та керування процесу

№	Місце заміру параметра	Назва параметра	Норми технологічного режиму	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання)
1	Гальванічна ванна	Сила струму, напруга	$I \approx 493,68 \text{ A}$ $U \approx 4,17 \text{ В}$	Контроль, регулювання
2	Електроліт	Температура електроліту	$53 \dots 55^\circ\text{C}$	Контроль, регулювання
3	Гальванічна ванна, електроліт	Рівень електроліту	$800 \dots 810 \text{ мм}$	Контроль, регулювання
4	Електроліт	pH електроліту	$3 \dots 4,2$	Контроль, регулювання

4.2. Опис розробленої схеми автоматизації процесу нікелювання

Вимірюємо і регулюємо силу струму і напругу на гальванічній ванні за допомогою випрямного агрегату (1 – 1), модулю дистанційного керування для випрямного агрегату (1 – 2), а також перетворювача електричного сигналу (1 – 3).

Контроль температури електроліту відбувається за допомогою термоперетворювача опору (2 – 1), автоматичного показувального вторинного приладу (2 – 2), нормувального перетворювача термоелектрорушійної сили (2 – 3) та регулювального електричного пропорційно-інтегрального блоку (2 – 4) [12].

Для вимірювання і регулювання рівня електроліту використовуємо буйковий рівнемір пневматичний (3 – 1), прилад вторинний пневматичний зі станцією керування (3 – 2), регулятор пневматичний пропорційно-інтегральний (3 – 3), прилад вторинний пневматичний (3 – 4), пневматичний пропорційно-інтегральний регулятор (3 – 5) та пневмопривод поршневий (3 – 6).

Контролюємо та регулюємо pH електроліту за допомогою датчика pH-метра (4 – 1), блоку вхідних сигналів (4 – 2) з блоком управління (4 – 3), приладу вторинного пневматичного зі станцією керування (4 – 4), регулятора пневматичного пропорційно-інтегрального (4 – 5), пневмоприводів поршневих (4 – 6) та (4 – 7).

Специфікація устаткування наведена у Додатку Б.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки розробленій схемі автоматизації, що включає в себе 4 контури, було спрощено виробничий процес гальванічного нікелювання, завдяки чому стало можливим приділяти більше часу контролю якості одержаних покриттів. Окрім цього, дана схема дозволяє контролювати та регулювати параметри процесу набагато коректніше, ніж якби це виконували робітники вручну. Отже, автоматизація забезпечує якісний та точний контроль виробничого процесу.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

В гальванічному цеху є достатньо загроз для здоров'я людини, наприклад, токсичні речовини, випаровування електролітів з цими речовинами, високі значення струму і напруги тощо. Тому важливо ще перед початком роботи підприємства встановити можливі джерела небезпеки та запровадити способи їх уникнення: забезпечити регламентовану якість повітря, достатній рівень освітлення, стабільність та доступність протипожежного інвентарю тощо [13].

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

5.1.1. Повітря робочої зони

Роботи на проєктованому підприємстві, згідно ДСН 3.3.6.042-99 [14], відносяться до категорії Іб (легкі фізичні роботи), а також ІІ (фізичні роботи середньої важкості). В таблиці 5.1 наведено оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення для зазначених категорій важкості.

Таблиця 5.1 – Санітарні норми виробничого приміщення

Умови	Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/сек.
Оптимальні	Холодний	Легка Іб	21 – 23	40 – 60	0,1
	Теплий	Легка Іб	22 – 24	40 – 60	0,2
	Холодний	Середньої важкості Іа	19 – 21	40 – 60	0,2
	Теплий	Середньої важкості Іа	21 – 23	40 – 60	0,3
Допустимі	Холодний	Легка Іб	20 – 24	75	0,2
	Теплий	Легка Іб	21 – 28	75	0,1 – 0,3
	Холодний	Середньої важкості Іа	19 – 21	75	0,3
	Теплий	Середньої важкості Іа	15 – 27	70 при 25°С	0,2 – 0,4

Температуру повітря та відносну вологість в цеху вимірюємо звичайними стаціонарними психрометрами (психрометричними гігрометрами) в різний час. Швидкість руху повітря визначаємо за допомогою анемометрів НТ-9829 Xintest з телескопічним зондом.

Проектом передбачено встановлення на підприємстві припливно-витяжної вентиляційної системи з рекуператором тепла для забезпечення робочого середовища повітрям та винесення забрудненого повітря (оскільки з гарячих розчинів випаровується вода та захоплює із собою краплі токсичних електролітів), а також підтримки мікроклімату цеху в холодний період року.

Оскільки гальванічне виробництво передбачає роботу зі шкідливими речовинами та струмом, всім працівникам буде видано засоби індивідуального захисту (хімічно стійкий одяг, окуляри, товсті гумові рукавички, гумові чоботи тощо), а також застосовано бортові відсмоктувачі для ванн із хімікатами.

Наведемо коротку санітарну характеристику цеху.

Таблиця 5.2 – Санітарна характеристика гальванічного цеху

Назва виробничої дільниці	Шкідливі речовини, що виділяються, причини їх виділення	Група шкідливої речовини, характеристика шкідливої дії	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони	Клас небезпечності шкідливої речовини	Засоби індивідуального захисту	Засоби долікарняної допомоги	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони
1	2	3	4	5	6	7	8
Ванна знежирення	Фосфат натрію Карбонат натрію	Подразнення верхніх дихальних шляхів; подразнення шкіри	1,0 мг/м ³	2	Захисні окуляри, хімічно стійкий одяг, респіратор, товсті гумові рукавички	Отруєння парами: надати доступ до свіжого повітря; Промити уражену ділянку шкіри великою кількістю води, нейтралізувати слабким розчином оцтової або борної кислоти	Електронні сенсори для безперервного моніторингу повітря, фотоколориметричний

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Ванна травлення	Сульфатна кислота Нітратна кислота Хлоридна кислота	Подразнення верхніх дихальних шляхів при вдиханні, утруднення дихання подразнення шкіри, хімічні опіки	1,0 мг/м ³	2	Захисні окуляри, хімічно стійкий одяг, респіратор, товсті гумові рукавички	Промити уражену ділянку шкіри великою кількістю води, нейтралізувати слабким розчином гідрокарбонату натрію	Електронні сенсори для безперервного моніторингу повітря, фотоколориметричний
Ванна активації	Хлоридна кислота	Подразнення верхніх дихальних шляхів при вдиханні, подразнення шкіри (опіки)	1,0 мг/м ³	2	Захисні окуляри, хімічно стійкий одяг, респіратор, товсті гумові рукавички	Отруєння парами: надати доступ до свіжого повітря; Промити уражену ділянку шкіри великою кількістю води, нейтралізувати слабким розчином гідрокарбонату натрію	Електронні сенсори для безперервного моніторингу повітря, фотоколориметричний
Ванна нікелювання	Сульфамат нікелю Хлорид нікелю	Подразнення на шкірі, чутливість шкіри, алергічні реакції, симптоми бронхіальної астми чи утруднення дихання при вдиханні парів	0,5 мг/м ³	2	Захисні окуляри, хімічно стійкий одяг, респіратор, товсті гумові рукавички	Отруєння парами: надати доступ до свіжого повітря, провести обробку захисного одягу та зняти його, при потраплянні на шкіру добре промити уражену ділянку водою	Електронні сенсори для безперервного моніторингу повітря, фотоколориметричний

Розрахуємо об'ємні витрати повітря систем місцевої витяжної вентиляції – бортових відсмоктувачів, що встановлюються для контролю складу парів над електролітом, щоб їх вміст не перевищував ГДК, за формулою:

$$L = 3600 \cdot a \cdot b \cdot K_t \cdot K_z \cdot \sqrt{(t_p - t_{\text{сер}}) \cdot n \cdot b^3}, \quad (5.1)$$

де a – внутрішня довжина ванни, 1,84 м; b – безрозмірна характеристика, що для двостороннього бортового відсмоктувача становить 1/15; $K_z = 1,5$ – коефіцієнт запасу; $K_t = (1 + \frac{b}{8 \cdot a})$ – коефіцієнт запасу для двостороннього бортового відсмоктувача; b – ширина ванни, 0,6 м; t_p – температура розчину, °С; $t_{\text{сер}}$ – температура навколишнього середовища, °С; $n = 3$ – кількість прямих кутів між границями потоку повітря.

Розраховані витрати вносимо до таблиці із переліченими операціями, де використовуються бортові відсмоктувачі.

Таблиця 5.3 – Витрати повітря для роботи бортових відсмоктувачів

Операція	t_p , °С	$t_{\text{сер}}$, °С	K_t	Кількість ванн	L, м³/год
Знежирювання	70	20	1,041	1	2 265,6
Травлення	25	20	1,041	1	716,45
Активация	25	20	1,041	1	716,45
Нікелювання	55	20	1,041	1	1 895,54
Всього					5 594,03

5.1.2. Виробниче освітлення

Оскільки зорова робота в цеху має малу точність, то за ДБН В.2.5-28:2018 [15] розряд зорової роботи – Vг. Наведемо вимоги до освітлення цеху.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.4 – Норми освітлення цеху

Характеристика зорової роботи	Розряд зорової роботи	Штучне освітлення		КПО, D _н , %			
		Освітленість, лк		Природне		Суміщене	
		Комбіноване	Загальне	Верхнє	Бічне	Верхнє	Бокове
1	2	3	4	5	6	7	8
Мала точність	VГ	-	200	3	1	1,8	0,6

Обираємо світлодіодне стельове промислове освітлення SIMA LED/12W/230V IP65 4000 K 960 лм від виробника BRILAGI.

Габаритні розміри цеху: довжина (a) – 20 м, ширина (b) – 15 м, висота (h) – 6 м. Визначимо кількість ламп, що необхідні для освітлення цеху.

Індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \quad (5.2)$$

$$i = \frac{20 \cdot 15}{6 \cdot (20 + 15)} = 1,43.$$

Тоді $\eta = 0,52$ (табличне значення).

Розраховуємо кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b \cdot K_3 \cdot z \cdot E_n}{F_l \cdot \eta}, \quad (5.3)$$

де z – коефіцієнт нерівномірності, становить 1,1; η – коефіцієнт використання світлового потоку; E_n – нормована освітлюваність, лк; F_l – світловий потік, лм.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \frac{20 \cdot 15 \cdot 1/15 \cdot 1,1 \cdot 200}{960 \cdot 0,52} = 8,81 \approx 9 \text{ ламп.}$$

Отже, для забезпечення нормального рівня освітлення в цеху необхідно 9 ламп обраного типу.

Застосовується також аварійне й евакуаційне освітлення, для чого обрано світильник Євросвітло SFT-LED-30-01 акумуляторний.

Рівень освітленості визначаємо люксометром GM1010 виробника Benetech. Передбачено проектом чищення плафонів і скла вікон.

5.1.3. Захист від виробничого шуму та вібрацій

Джерела шуму та вібрацій на виробництві: двигуни вентиляційної системи, компресор, насоси, електродвигуни тощо.

За ДСН 3.3.6.037-99 [16] максимально допустимий рівень шуму на виробництві – 80 дБА. У гальванічному цеху рівень шуму становить 74 – 76 дБА, що входить в межі зазначеної норми. Однак, для ліпшого захисту здоров'я працівників планується забезпечити працівників берушами ЗМ 1010. Рівень вібрацій в цеху відповідає нормам (до 93 дБА) також, але для того, щоб максимально загасити вібрації, можна використати накладки на всі чинники вібрації. Рівень шуму визначаємо шумоміром GM1351 виробника Benetech. Рівень вібрацій визначається віброметром Wintact WT63B.

5.1.4. Електробезпека

Суть роботи гальванічного цеху ґрунтується на використанні електричного струму. Тож, оскільки це основний процес, із яким необхідно працювати, життєво

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важливо знати як поводити себе на виробництві та як захистити себе від ураження струмом.

Приміщення гальванічного цеху за ступенем небезпеки ураження електричним струмом належить до особливо небезпечних, оскільки характеризується наявністю хімічно активного середовища.

Підвісний пристрій, деталі, електроди, штанги проводять струм та є оголеними контактами, тому всі працівники забезпечені засобами захисту – гумовими товстими діелектричними рукавицями та спеціалізованим одягом, діелектричними чоботами. Для заземлення використовується глухозаземлена нейтраль, заземлюється вся техніка, що є в цеху. Всі контакти, що можна заізолювати, будуть ізольовані для запобігання уражень електричним струмом. Також наявне захисне відключення обладнання в аварійних станах. Для всього обладнання також встановлюється захисне заземлення – в аварійних випадках, коли устаткування, що не має проводити струм, стане провідником.

Обов’язково перед початком роботи перевіряються на справність всі прилади, перевіряється сухість підлоги та всієї території біля гальванічної лінії. Всі працівники будуть ознайомлені із правилами роботи з електроустаткуванням та знатимуть, як правильно надати першу домедичну допомогу при ураженні людини струмом. Всюди, де є струм, встановлені спеціальні позначення. До ремонтних робіт та усунення чинників аварійних станів допускаються лише люди з відповідним допуском.

5.1.5. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

Гальванічне нікелювання являє собою досить небезпечний процес, якщо не впровадити деякі заходи безпеки. Оскільки в цеху присутня автоматична гальванічна лінія, що являє собою механізм із рейками та підвісами, задля безпеки власного життя варто уникати проходження під механізмом або дуже близько до

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нього. Також, у ваннах гальванічної лінії наявні розчини зі шкідливими речовинами, вдихання парів та контакт зі шкірою яких викликають сильні ураження дихальної системи та шкірних покривів, тож обов'язковим є виконання робіт у засобах індивідуального захисту – окулярах, рукавичках, одязі та взутті.

Можливі аварійні ситуації: датчики контролю виходять з ладу, що приводить до виливу електроліту за краї ванни або повного його швидкого випаровування із концентрацією шкідливих речовин у парах, що сильно перевищує ГДК; порушення роботи вентиляційної системи; порушення роботи системи подачі води, забору стічних вод; потрапляння рідин до джерел струму; порушення роботи та цілісності конструкції нагрівачів, фільтрів, насосів, компресора тощо. Для того, щоб не довести обладнання до аварійного стану, кожного дня з початком зміни необхідно перевіряти його на цілісність та правильність роботи. Для аварійного вимкнення обладнання передбачено кнопку «Стоп».

5.2. Пожежна безпека

Як і на будь-якому підприємстві, в гальванічному цеху існує ймовірність пожежної небезпеки, в даному випадку через неполадки в роботі електромережі та устаткування.

Хімічно активне середовище впливає на термін експлуатації багатьох приладів та обладнання, тому можуть виникати короткі замикання. Для запобігання цього будемо застосовувати ізоляцію більш тривку до впливу агресивного середовища, регулярно проводити огляд та перевірку обладнання.

Передбачено також одразу прибирати місце розливу розчинів з ванн, оскільки при повному випарюванні рідини лишаються речовини, що при виникненні пожежі виділяють вкрай токсичні для людини та навколишнього середовища пари.

За ДСТУ EN 62305:2012 для захисту цеху від блискавки необхідно встановити блискавковідводи стрижньового типу, що мають опори,

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блискавкоприймачі, що з'єднані зі струмовідводами, які в свою чергу йдуть до заземлення [17].

В електромережі обов'язково встановлені плавкі запобіжники для попередження перенавантажень. Встановлюється автоматизована система пожежної сигналізації, устаткування фарбується негорючими матеріалами. Наявний також протипожежний щит, що являє собою щит на стіні, де розміщені всі необхідні засоби первинного пожежогасіння: лом для розкриття закритих дверей, багор для розтягування охоплених вогнем конструкцій цеху, сокира для розтину дверей, штикова і совкова лопата, конусні відра, вогнегасники – вуглекислотні ВВК-3,5 та порошкові ВП-5. Під щитом розміщений ящик із піском. Забезпечено також два евакуаційні виходи. Щороку проводяться тренінги з правил користування протипожежним інвентарем.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА. СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Стічні води гальванічних виробництв містять в собі небезпечні токсичні речовинами, які можуть загрожувати життю людей та стану навколишнього середовища, тож необхідно скласти схему очищення стічних вод від забруднювачів. Як зрозуміло зі складу розчинів, що використовуються, матимемо стоки: лужні (ванна знежирювання), кислі з HNO_3 (ванна травлення і ванна активації) та стоки з сульфаматом нікелю (ванна нікелювання).

Стічні води, що містять електроліт нікелювання з сульфаматом нікелю подаються на реактор електрохімічної обробки [18], що містить в собі анод, катод, катіонообмінну мембрану. Католітом є сульфаматний електроліт нікелювання, анолітом – розчин Na_2SO_4 , що в процесі електролізу підлогується NaOH : в процесі виділення на аноді кисню відбувається підкислення аноліту, через що більша кількість йонів H^+ переходять крізь мембрану в католіт та виділяються на катоді, що зменшує вихід за струмом нікелю. Для мінімізації цього процесу необхідно підлогувати аноліт розчином лугу. На катоді виділяється водень та нікель. Застосовують анод Ti/Pt та нікелевий катод. Після проходження електролізу перероблені розчини католіту, з якого вилучили нікель та в якому наявні сульфамат-іони та іони натрію, й аноліту, в якому знаходяться іони SO_4^{2-} , надходять до бака-усереднювача, де проходять очищення разом із кислими та лужними стічними водами.

Кислі та лужні стоки подаються на реактор-усереднювач, де за допомогою лугу (NaOH) встановлюємо рН на рівні 10 [19]. Після цього подаємо на фільтр-прес, де відфільтровуємо $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Розчин, що пройшов фільтрування, переходить на тонке механічне фільтрування, завдяки чому видаляються залишкові осади. Очищений від твердих частинок розчин подається до баку-нейтралізатору, де за допомогою сульфатної кислоти (H_2SO_4) встановлюється рН 6...6,6.

Нейтралізований розчин переходить до колони іонного обміну з аніонітом, що дозволяє провести денітрифікацію – іони NO_3^- лишаються в порах, тоді як

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вивільняються іони Cl^- . Для регенерації іонообмінної смоли наявний бак регенерації, що являє собою ємність з кристалами $NaCl$, куди, коли виникає потреба, подається певна кількість води, далі цей розчин подається на колонну зі смолою, після чого одержаний елюат надходить до збірника, з якого пізніше надходить на поступову утилізацію. Тим часом денітрифікований розчин надходить на вугільний фільтр, де відбувається очищення від органічних сполук.

Від вугільного фільтру розчин передається на вакуум-випарну установку, з якої конденсат надходить до збирача перміату, а концентрований розчин – на установку зворотного осмосу, де відбувається знесолення, вода надходить до збірника перміату, а концентрат знову підводиться до вакуум-випарної установки. Цикл повторюється декілька разів.

Схема очищення стічних вод наведена на рис. 6.1.

Одержана вода може відноситися до технічної води третьої категорії – тої, що використовується для приготування електролітів. Допустимі концентрації компонентів та загальні параметри води:

1. рН 5,4...6,6;
2. Загальна жорсткість 0,35 мг-екв/дм³;
3. Мутність відсутня;
4. Сульфати (SO_4^{2-}) 0,5 мг/дм³;
5. Хлориди (Cl^-) 0,02 мг/дм³;
6. Нітрати (NO_3^-) 0,2 мг/дм³;
7. Фосфати (PO_4^{3-}) 1,0 мг/дм³;
8. Аміак 0,02 мг/дм³;
9. Залишковий хлор відсутній;
10. Нафтопродукти відсутні;
11. Хімічної потреби у кисні немає;
12. Поверхнево-активні речовини відсутні;
13. Йони міді 0,02 мг/дм³;
14. Йони заліза 0,05 мг/дм³;

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Йони нікелю відсутні;
16. Йони хрому тривалентного відсутні;
17. Питома електропровідність $5 \cdot 10^{-4}$ См/м

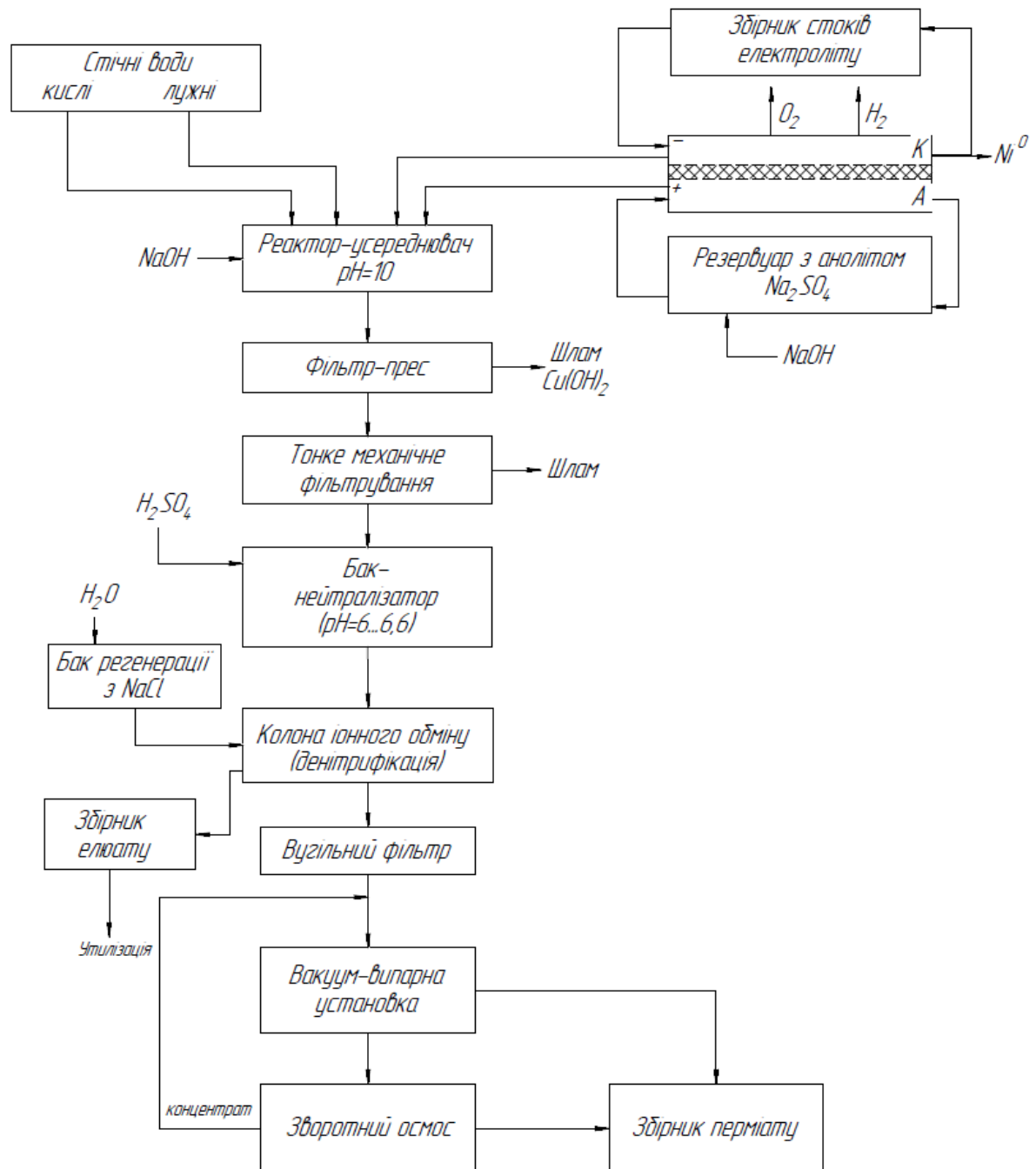


Рисунок 6.1 – Схема очищення стічних вод після процесу нанесення покриття Н9 на мідну деталь

ВИСНОВОК

В дипломному проєкті розглянуто технологію нанесення нікелевого покриття на мідний електричний контакт та описано план із побудови гальванічного цеху продуктивністю 11 000 м²/рік. Для цього були проведені основні технологічні розрахунки, за якими було визначено габарити гальванічної ванни, підвісний пристрій та ймовірні витрати реагентів, що необхідні для реалізації проєкту. Було складено баланси струму, напруги та енергії, а також розраховано витрати води на приготування електроліту, промивання та випаровування з поверхні розчину.

Завдяки економічним розрахункам була визначена рентабельність виробництва, а також доведено доречність покриття нікелем саме мідної деталі, а не алюмінієвої чи сталевий за допомогою порівняння техніко-економічних характеристик.

Була розроблена схема автоматизації, що без сумніву дозволить чітко контролювати процес, отримувати коректні дані та не турбуватися про своєчасність регулювання параметрів процесу гальванічного нікелювання – сили струму, напруги, температури, рівня електроліту та його рН.

Задля безпеки людей та навколишнього середовища було складено санітарну характеристику гальванічного цеху, описано заходи з електробезпеки, пожежної безпеки, забезпечено нормативні рівні освітленості та шуму. Розроблено схему очищення стічних вод, яка, окрім знезараження, також дозволяє повертати у виробництво майже всю воду, що була задіяна у схемі, а також нікель, що є досить дороговартісним.

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ГОСТ 1173:2007 Фольга, стрічки, листи та плити мідні. Технічні умови (ГОСТ 1173-2006, IDT)
2. ISO 1456:2009. Metallic and other inorganic coatings – Electrodeposited coatings of nickel, nickel plus chromium, copper plus nickel plus chromium.
3. Мотронюк Т.І., Косогін О.В., Бик М.В., Фроленкова С.В., Ущাপовський Д.Ю.: Технологія нанесення гальванічних покриттів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спец. 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3.21 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 111 с.
4. Мотронюк Т.І., Ущাপовський Д.Ю., Лінючева О.В., Фроленкова С.В., Бик М.В.: Основи процесів осадження і розчинення металів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. Для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,49 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 116 с.
5. Лінючева О.В., Яцюк Л.А., Мотронюк Т.І., Букет О.І., Фроленкова С.В.: ГАЛЬВАНОТЕХНІКА. Проектування гальванічних виробництв: навч.посіб.– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 147 с
6. Лінючева О.В., Яцюк Л.А., Фатєєв Ю.Ф., Мотронюк Т.І., Букет О.І.: Гальванічні покриття у виробництві друкованих плат. Дипломне проектування. Навч. посіб. [Текст] – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 145 с.
7. Антропов Л.І.: Теоретична електрохімія: – К.: Либідь, 1993. – 544 с.
8. ДСТУ ГОСТ 492:2007 Нікель, сплави нікелеві та мідно-нікелеві, оброблювані тиском. Марки (ГОСТ 492-2006, IDT)

					<i>ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ</i>	/лсм
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Донченко М.І., Фроленкова С.В.: Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.
10. Підлісна О.А., Тюленєва Ю.В.: Економіка і організація виробництва: рекомендації до виконання розрахункової роботи [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічна технологія і інженерія» ступеня «Бакалавр» денної, заочної форми навчання. – Електронні текстові дані (1 файл: 556 КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 50 с.
11. Бондаренко С.Г., Сангінова О.В., Шахновський А.М.: Дипломне проектування: Автоматизація технологічних процесів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Електронні текстові дані (1 файл: 5,1 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 122 с.
12. Лукінюк, М.В.: Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» / М. В. Лукінюк; М-во освіти і науки України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 2,93 Мбайт). – Київ : Політехніка, 2008. – 236 с.
13. Полукаров Ю.О., Праховнік Н.А., Мітюк Л.О.: Метод. вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах бакалаврів хіміко-технологічного факультету. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 31 с.
14. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
15. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
16. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
17. ДСТУ EN 62305:2012 Блискавкозахист

					ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ	Лист
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. HANKIN, Anna; KELSALL, G. H. Electrochemical recovery of nickel from nickel sulfamate plating effluents. Journal of Applied Electrochemistry, 2012, 42: 629-643.
19. Нестер А.А., Корчик Н.М., Баран Б.А.: Стічні води підприємств та їх очищення: монографія – Хмельницький, ХНУ, 2008. – 171 с.

					<i>ДП ХЕ0211.2705.000 ПЗ</i>	Лист
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А. Технологічна карта процесу

Таблиця А.1 – Технологічна карта процесу

№	Операція	Склад розчину і концентрація		Технологічний режим			
		Найменування та хімічна формула компонентів	С, г/л	τ , хв	t, °C	i_k , А/дм ²	pH
1	2	3	4	5	6	7	8
010	Монтаж деталей на підвіс	-	-	1...2	-	-	-
020	Знежирення хімічне	Na ₂ CO ₃ Na ₃ PO ₄ Синтанол ДС-10	15...20 20...30 3...5	5...10	60...80	-	-
030	Промивання в теплій воді	H ₂ O	-	0,25...0,5	50...60	-	-
040	Холодне промивання	H ₂ O проточна	-	0,25...0,5	-	-	-
050	Травлення	H ₂ SO ₄ HNO ₃ HCl	750...850 50...70 1...5	0,1...0,2	15...25	-	-
060	Холодне промивання	H ₂ O проточна	-	0,25...0,5	-	-	-
070	Активація	HCl	30	0,5...1	15...25	-	-

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8
080	Холодне промивання	H ₂ O проточна	-	0,25...0,5	-	-	-
090	Нікелювання електрохімічне	Ni(H ₂ NSO ₃) ₂ NiCl ₂ ·6H ₂ O H ₃ BO ₃ Сахарин Лаурилсульфат натрію	300...400 12...15 25...40 0,5...1,5 0,2...0,3	5,73	55	12	3...4,2
100	Уловлювання в теплій воді	H ₂ O	-	1...2	50...55	-	-
110	Промивання в теплій воді	H ₂ O	-	0,25...0,5	50...55	-	-
120	Гаряче промивання	H ₂ O	-	0,25...0,5	60...90	-	-
130	Сушіння	-	-	3...15	80...100	-	-
140	Демонтаж деталей	-	-	1...2	-	-	-
150	Контроль	-	-	15	-	-	-

ДОДАТОК Б. Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Таблиця Б.1 – Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 – 1	Сила струму, напруга	Гальванічна ванна	$I \approx 493,68 \text{ A}$ $U \approx 4,17 \text{ В}$	Місцевий	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{\max} = 600 \text{ A}$, $U_{\max} = 15 \text{ В}$	BVP Prof 15V 600A Reverse	1	BVP Electronics, ФОП Безкоровайна С. В., м. Київ
1 – 2				Щит керування	Модуль дистанційного керування для випрямного агрегату		1	
1 – 3				Щит керування	Перетворювач електричного сигналу універсальний, $I_{\text{вих}} = 0 \dots 20 \text{ мА}$	CAIS UNI	1	Entrelec, France
2 – 1	Температура електроліту	Електроліт	$53 \dots 55^\circ\text{C}$	Місцевий	Термоперетворювач опору Roda TE/S2-PT1000, діапазон вимірювання $-50 \dots +150^\circ\text{C}$	TE/S2-PT1000	1	Roda TM, м. Дортмунд
2 – 2				Щит керування	Автоматичний показувальний вторинний прилад Foxboro Model 40P	40P	1	DP-Flow Co., м. Верхній Різінгтон
2 – 3				Щит керування	Нормувальний перетворювач термоелектрорушійної сили, VEGATOR 132, $20 \dots 253 \text{ V AC/DC}$, $50/60 \text{ Hz}$	VEGATOR 132 EL 2-к	1	Grieshaber Gmbh & Co. Kg, м. Баден

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 – 4	Температура електроліту	Електроліт	53...55°C	Щит керування	Блок регулювальний, електричний, пропорційно-інтегральний, STC KT-1210W $I_{\text{вих}} = 0 \dots 10 \text{ мА}, < 3 \text{ Вт}$, від 90 В до 250 В $\pm 10\%$, 50/60 гц	MH-1210W	1	STC TM, м. Пекін
3 – 1	Рівень електроліту	Гальванічна ванна, електроліт	800...810 мм	Місцевий	Буйковий рівнемір пневматичний, сталь 12X18H10T, з густиною речовини 0,5...2,5 г/см ³ , діапазон вимірювання: 0.02...1 м, клас точності 1	УБ-ПБ	1	ТОВ «СПЕЦАВТОМАТИКА Україна», м. Харків
3 – 2				Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування, EB 7500 EN Series 420	EB 7500 EN	1	SAMSON AKTIENGESELLSCHAFT, м. Франкфурт
3 – 3				Щит керування	Регулятор пневматичний, пропорційно-інтегральний, Fisher FIELDVUE DVC6200	DVC6200	1	Emerson Electric Co., м. Фергусон
3 – 4				Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування, EB 7500 EN Series 420	EB 7500 EN	1	SAMSON AKTIENGESELLSCHAFT, м. Франкфурт
3 – 5				Щит керування	Регулятор пневматичний, пропорційно-інтегральний, Fisher FIELDVUE DVC6200	DVC6200	1	Emerson Electric Co., м. Фергусон
3 – 6				Місцевий	Пневмопривод поршневий	C60	1	Habonim Industrial Valves & Actuators Ltd., м. Стемфорд, Коннектикут, США

Закінчення таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4 – 1	рН електроліту	Електроліт	3...4,2	Місцевий	Чутливий елемент (датчик) рН-метра	Д (рН) П-02 Т	1	ВП Діліс, м. Обухів
4 – 2				Місцевий	Блок вхідних сигналів рН метра	БВС (рН-101П)	1	ВП Діліс, м. Обухів
4 – 3				Щит керування	Блок управління та вхідних сигналів. Автоматичний показувальний вторинний прилад	БУВС (рН-101П)	1	ВП Діліс, м. Обухів
4 – 4				Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний зі станцією керування, EB 7500 EN Series 420	EB 7500 EN	1	SAMSON AKTIENGESELLSCHAFT, м. Франкфурт
4 – 5				Щит керування	Регулятор пневматичний, пропорційно-інтегральний, Fisher FIELDVUE DVC6200	DVC6200	1	Emerson Electric Co., м. Фергусон
4 – 6				Місцевий	Пневмопривод поршневий	C60	1	Habonim Industrial Valves & Actuators Ltd., м. Стемфорд, Коннектикут, США
4 – 7				Місцевий	Пневмопривод поршневий	C60	1	Habonim Industrial Valves & Actuators Ltd., м. Стемфорд, Коннектикут, США