

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Комп'ютерно-інтегрованих технологій  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **“Розробка та дослідження автоматизованої системи  
для покриття деталей лужних акумуляторів з використанням двох  
автооператорів”**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КТМ-61  
спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології  
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Бурко В. Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Митник М. М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Чихіра І. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Микитишин А. Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Шовкун О. П.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини (креслень). Об'єм текстової частини включаючи опис роботи, розрахунки параметрів технологічних режимів, та дослідження роботи автоматизованої лінії покриття деталей складає 105 друкованих сторінок формату А4 (210x297). Об'єм додатків складає 83 друкованих сторінок формату А4, об'єм креслень складає 16 сторінок формату А4.

Кваліфікаційна робота здобувача ступеня магістр складається з 6 розділів, в яких нараховується 30 рисунків, 22 формул та 16 таблиць з даними.

В роботі використано 15 літературних джерел, а також 8 сайтів виробників обладнання.

Завданням данної роботи є розробка та дослідження системи управління автоматизованою лінією гальванічного покриття деталей лужних акумуляторів, з використанням автооператорів.

У кваліфікаційній роботі зроблено огляд науково-технічної та патентної літератури щодо обладнання автоматизованих ліній гальванічного покриття, та описана технологія нікелювання металів.

Виконано інженерно-технологічні розрахунки основного і допоміжного обладнання, зроблено тепловий і гідравлічний розрахунок устаткування, спроектовано автоматизовану гальванічну лінію з двома консольними автооператорами вантажопідйомністю 85 кг, продуктивністю 10000 м<sup>2</sup>/рік;

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень та термінів.....	7
ВСТУП.....	8
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>10</b>
1.1. Аналіз відомих технічних рішень з питань автоматизації технологічних процесів гальванічного покриття.....	10
1.2. Опис існуючої технології гальванічного покриття, її недоліки та пропозиції щодо їх вирішення .....	17
1.3. Обґрунтування актуальності автоматизації виробничого процесу і вибраного напрямку розробки .....	20
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>22</b>
2.1. Опис об'єкту керування та його характеристики .....	22
2.2. Вибір варіанту компоновки проектованої автоматизованої лінії.....	27
2.3 Обґрунтування конструкційних матеріалів і заходи щодо захисту від корозії.....	29
<b>3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....</b>	<b>33</b>
3.1. Аналіз вихідних даних на проектування.....	33
3.2. Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизованої системи керування .....	36
3.3. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації .....	38
3.4. Вибір і опис програмованих логічних контролерів, та модулів вводу виводу.....	43
3.5. Розробка схеми електричної принципової керування.....	52
3.5.1 Розробка та опис електричної схеми спряження.....	54
3.6 Розробка та опис схеми електричної принципової автооператорів.....	55

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	58
4.1. Розрахунок технологічного процесу нагрівання електролітів.....	58
4.2. Розрахунок технологічного процесу перемішування електролітів....	65
4.3. Розрахунок кількості автооператорів .....	69
5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....	72
5.1. Розробка алгоритму керуючої програми головного ПЛК автоматизованої системи керування лінією гальванічного покриття.....	72
5.2. Розробка керуючої програми для ПЛК Овен СПК-207 на мові ST.....	74
5.3. Розробка алгоритму управління автооператором.....	81
5.4. Створення керуючої програми для ПЛК Овен ПЛК110-32 на мові SFC.....	83
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..	86
6.1 Організаційні заходи та інженерні рішення спрямовані на покращення умов і безпеки праці. ....	86
6.2 Безпека праці в цеху гальванопокриттів.....	88
6.3 Захист від дії електромагнітного імпульсу при ядерному ударі .....	91
ВИСНОВКИ.....	104
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	105

## **Перелік умовних позначень, скорочень та термінів.**

ТЗ – Технічний засіб

Тех.процес – технологічний процес.

Ел.хім.знежирення – електрохімічне знежирення.

Хім.речовини – хімічні речовини.

Ел.обладнання – електричне обладнання.

Ел.нагрівач – електричний нагрівач.

Макс.температура – максимальна температура.

ЩУ – щит управління.

ПУ – пульт управління.

Ел.клапан – електричний клапан.

Ел.привід – електричний привід.

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом.

ТЕН – тепловий електричний нагрівач.

ЗП – Захистний пристрій.

ОПН – Обмежувач перенапруги.

РБ – Розряд блискавки.

ЕМІ – Електромагнітний імпульс.

РЕА – Радіоелектронна апаратура.

## ВСТУП

Технологічні процеси гальванічного виробництва являються одними з найбільш ресурсо та енергоємких видів технологічних процесів металообробних галузей промисловості.

На сьогоднішній день на підприємствах використовуються часто застарілі методи гальванічної обробки та покриття деталей, що призводить до неефективних витрат матеріалів, енергоресурсів, робочого часу працівників. Також слід враховувати шкідливі умови праці в цехах гальванічного покриття, та велику кількість факторів що призводить до виробничих травм при роботі з агресивними хімічними сполуками. Таким чином готова продукція має високу собівартість, та потребує високих затрат на забезпечення функціонування обладнання, затрат на оплату праці, лікування та оздоровлення працівників, що працюють в умовах шкідливого виробництва.

Вихід з ситуації, що склалася, - розробка і впровадження автоматизованих систем з використанням автооператорів, що дозволяють оптимізувати час використання устаткування, виключити ризики пов'язані з роботою з агресивними хімічними речовинами, вдихання випарів хімічних речовин працівниками під час виконання ними технологічних операцій гальванопокриття.

Метою данної роботи є проектування автоматизованої лінії гальванічного покриття, що забезпечить автоматичне завантаження, розвантаження, та переміщення підвісок з деталями на протязі всього технологічного процесу гальванічного покриття деталей лужних акумуляторів.

Використання програмованого логічного контролера дозволить автоматизувати процес гальванічного покриття, здійснювати управління та контроль параметрів на всіх етапах технологічного процесу. Таким чином досягається оптимальний час роботи обладнання, точне дотримання умов

технологічного процесу, що в кінцевому результаті призведе до збільшення об'ємів виробництва, та покращення якості готової продукції.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз відомих технічних рішень з питань автоматизації технологічних процесів гальванічного покриття.

Гальванічні автоматичні лінії в загальному вигляді включають ванни, сушильну камеру, завантажувально-розвантажувальні стійки або пристрої, систему вентиляції, металоконструкцію (каркас), систему трубопроводів, майданчик обслуговування, пристрою для переміщення підвісок і допоміжне устаткування (насоси, теплообмінники, фільтрувальні установки, ємкості і тому подібне). Ванни, в яких одночасно розташовуються декілька штанг з підвісками, називаються багатопозиційними.

Основною механічною функцією автоматичних ліній є перенесення підвісок з деталями, дзвонів або барабанів з однієї ванни в іншу в строгій відповідності з витримкою часу для кожної операції, заданої технологічним процесом.

По можливості зміни алгоритму перенесення деталей автоматичні лінії діляться на двох типів: лінії з жорстким циклом і лінії з гнучким циклом. У лініях з жорстким циклом зміна послідовності або часу витримки деталей в конкретній ванні спричиняє за собою значну і трудомістку перебудову металоконструкції лінії і механізмів переміщення деталей. Найбільш поширеним типом автоматичних ліній з жорстким циклом є кареточні лінії, в яких реалізується періодичне та одночасне переміщення деталей по усім позиціях.

Лінії з гнучким циклом називаються автооператорними лініями. До речі, у ролі автооператора (маніпулятора) може розглядатися людина, і у цьому випадку лінія має найбільшу гнучкість циклу обробки деталей.



За схемою розташування ванн лінії можуть бути (див. рис. 1.1)

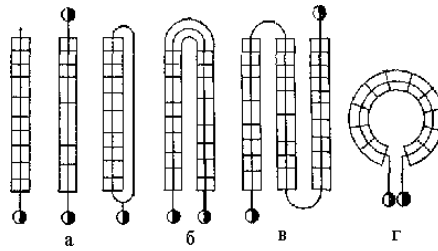


Рис. 1.1 Схема розташування автоматичних ліній

прямолінійно-однорядними (а), багаторядними (б, в), в тому числі овальними (б), і карусельними (кільцевими) (г).

За типом використовуваних автооператорів лінії поділяються на:

#### **Кареткові автоматичні лінії з жорстким циклом.**

Кареткові автоматичні лінії призначені для нанесення покриттів за одним технологічним процесом або за кількома техпроцесами, що не значно відрізняються. Наприклад, на одній лінії нікелювання можна наносити нікелеве покриття на деталі з освітленням і пасивуванням або без освітлення і пасивування. Кареточні лінії застосовуються за продуктивності до 80 м<sup>2</sup>/год для нанесення електрохімічних покриттів і до 100 м<sup>2</sup>/год для нанесення хімічних і анодно-окисних покриттів. Приклад кареточної лінії наведено на рисунку.1.2



Рис. 1.2 Зовнішній вигляд кареткової лінії для гальванічного покриття деталей

### Лінії з тельферними (підвісними) автооператорами.

Тельферний (або підвісний) автооператор (рис. 4.5) являє собою візок з електромеханічними приводами горизонтального і вертикального переміщення. До візка як вантажопідйомний механізм кріпиться таль, за допомогою якої здійснюються вертикальні переміщення підвіски з деталями. Основа візка зміцнюється на монорейці, змонтованій на певній висоті над ваннами. Монорельс кріпиться, як правило, до стельового перекриття.

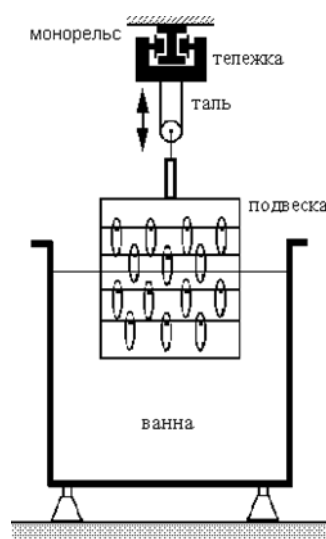


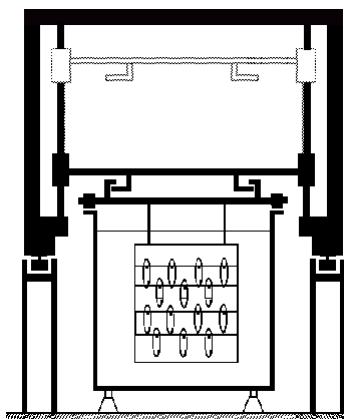
Рис. 1.3 Схематичний вигляд тельферної лінії для гальванічного покриття деталей

Лінії з тельферними автооператорами стабільніші в роботі, ніж лінії з консольним автооператором і мають більшу вантажопідйомність (від 200 до 2000 кг). Крім того, вони зручні в експлуатації, оскільки доступ до ванн відкритий із двох боків.

До недоліків автооператорів цього типу слід віднести незначну жорсткість конструкції, незручність монтажу та обслуговування, труднощі позиціонування підвісок.

### Лінії з автооператорами порталного типу.

Портальні автооператори (мал. 1.4) застосовують у лініях, розташованих у низьких виробничих приміщеннях, і в лініях з великими розмірами ванн і масою вантажу, що транспортується, масою понад 2 т. Кріплення шляхів для переміщення автооператорів у цих лініях двояке - до металевих стійок (або залізобетонних колон) або безпосередньо до корпусів ванн уздовж бортів ванн. Шляхи можуть бути розміщені практично на будь-якій висоті від краю ванни.



#### 1.4 Схематичний вигляд порталної лінії для гальванічного покриття деталей

Автооператор може мати два механізми підйому із захопленнями, спрямованими в протилежні боки, що дає змогу одночасно обслуговувати дві гальванічні ванни, прискорюючи темп роботи автомата. За ритму виходу підвіски понад 4 хв застосовують порталні автооператори з одним механізмом підйому. Зовнішній вигляд лінії з порталним автооператором наведено на рисунку 1.5



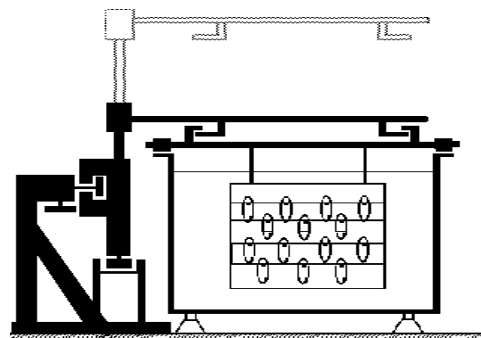
Рис. 1.5 Зовнішній вигляд порталної лінії для гальванічного покриття деталей

Головними недоліками ліній з порталними автооператорами є:

- утрудненість обслуговування ванн;
- необхідність часткового або повного демонтажу рейкових шляхів під час вилучення ванн для ремонту;
- додаткове ускладнення конструкції лінії через введення пристроїв, що забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу;
- більш швидке корозійне руйнування автооператорів внаслідок близькості їх до дзеркала розчинів;
- ускладнення конструкцій приводів горизонтального пересування автооператорів.

#### **Лінії з консольним автооператором.**

Консольні («Г»-подібні) автооператори (мал. 1.6) переміщуються напрямними шляхами, встановленими збоку ванн. Вантажозахватний орган автооператорів виконаний у вигляді консолі, що проходить над поверхнею ванн. Лінії з консольними автооператорами за перевагою їх використання займають проміжне положення між лініями з тельферними (підвісними) і порталними автооператорами. Автооператори цих ліній мають бічну направляючу, тому для їх розміщення не потрібна велика висота цеху. Споживачів приваблює їхня компактність, особливо за малих габаритів ванн і невеликої вантажопідйомності автооператорів.



1.6 Схематичний вигляд порталної лінії для гальванічного покриття деталей

Недоліки таких ліній:

- вільне обслуговування ванн тільки з одного боку;
- нечітка стабілізація вантажу при переміщенні;
- ширина ванн не більше 1,6 м;
- вантажопідйомність автооператорів не вище 200 кг.

Лінії можуть комплектуватися автоматичними і механізованими пристроями завантаження-розвантаження оброблюваних деталей, збірними повітроводами, камерами укриття ванн, фільтрами очищення повітря. Ванни, з розташованими між ними вентиляційними відсмоктувачами, розставляються в один або два ряди в порядку найбільш раціонального виконання операцій технологічного процесу. Відстань між осями ванн змінна. Усі комунікації із запірною і регулювальною арматурою розміщуються збоку від ванн, зазвичай під майданчиком обслуговування.

**Автооператорна автоматична лінія містить:**

- ванни електрохімічної, хімічної обробки, промивні одно-, дво- і три-каскадні;
- камеру сушильну;
- автооператори (підвісні, порталні, консольні);
- підвішувальні рами або барабани;
- завантажувально-розвантажувальну стійку;
- вентиляційні відсмоктувачі;
- металоконструкцію;
- систему трубопроводів, майданчик обслуговування;
- допоміжне обладнання: теплообмінники, випрямні агрегати, запасні ємності,
- фільтрувальні установки, насоси дозатори та інше;
- системи управління лінією.

Автооператорні автоматичні лінії застосовуються практично у всіх галузях промисловості та за будь-яких видів виробництва.

Відмінні риси автооператорних ліній:

- рух виробів у процесі обробки як у прямому, так і в зворотному напрямку;
- розташування ванн та інших позицій обробки не в послідовності виконання технологічних операцій;
- можливість виконання декількох однойменних операцій на одній технологічній позиції;
- неодночасність перенесення оброблюваних виробів;
- наявність незалежних транспортувальних органів з індивідуальними приводами переміщення, підйому і опускання;
- відсутність жорсткого зв'язку між вантажозахоплювальним елементом транспортувального органу і пристосуваннями для розміщення оброблюваних виробів.

В автооператорних лініях перенесення оброблюваних виробів і тривалість їхнього перебування на кожній позиції здійснюються за заданим технологічним процесом, проте переміщення самого автооператора може не збігатися з послідовністю технологічних операцій і має човниковий характер. Ванни можуть розташовуватися в один або в два ряди в порядку найбільш раціонального виконання операцій. Залежно від необхідної продуктивності в лінії може бути кілька автооператорів, які розміщуються над ваннами, або збоку від ванн.

Також широке застосування знаходять механізовані (напівавтоматичні) автооператорні лінії, які застосовують під час обробки невеликих партій виробів переважно за кількома технологічними процесами одночасно. За конструкцією вони аналогічні автооператорним автоматичним лініям і відрізняються від них тільки системою управління.

Напівавтоматичні лінії забезпечують отримання продуктивності: до 10 м<sup>2</sup>/год - при нанесенні гальванічних покриттів у барабанах; до 16 м<sup>2</sup>/год -

при нанесенні хімічних і анодно-оксидних покриттів у барабанах; до 6,5 м<sup>2</sup>/год - при нанесенні гальванічних покриттів на підвісках; до 33 м<sup>2</sup>/год - при нанесенні хімічних і анодно-оксидних покриттів на підвісках та в кошиках.

## 1.2 Опис існуючої технології гальванічного покриття, її недоліки та пропозиції щодо їх вирішення

На даний час гальванічне покриття (нікелювання деталей) відбувається в ручному режимі. Засоби автоматизації транспортування підвісок з деталями відсутні.

Схематичне зображення лінії для ручного гальванічного покриття зображено на рис.1.7

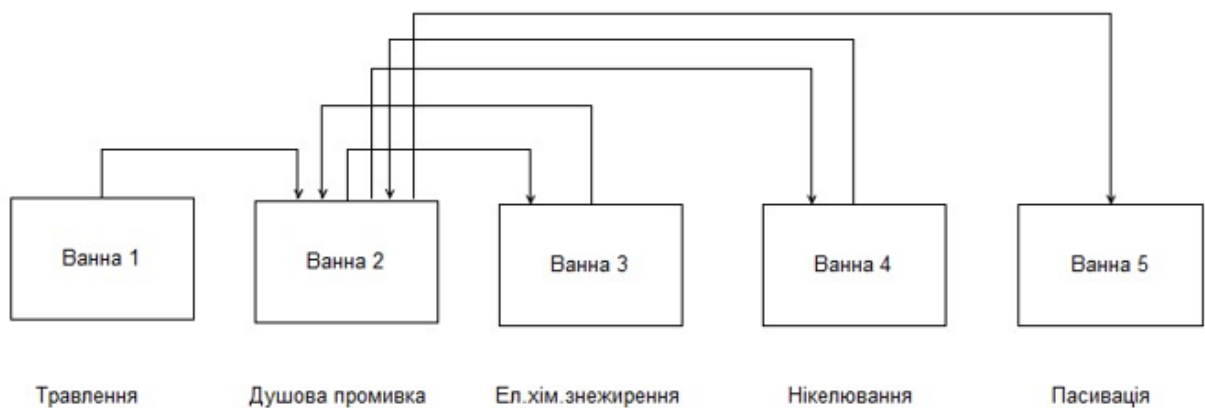


Рис. 1.7 Схематичне зображення лінії для ручного гальванічного покриття

Лінія ручного покриття складається з чотирьох технологічних ванн, та душової промивки.

У ванні №1 відбувається травлення деталей на підвісках в кислотному розчині, згідно розробленої технології, тривалість процесу травлення

залежить від типу деталей, та коливається в межах 5-30 хв. згідно розробленої технологічної карти. Місткість ванни травлення складає 3 підвіски, що одягаються на поперечні штанги діаметром 20мм.

По завершенню процесу травлення оператор переносить підвіску в ванну №2 (душової промивки), для видалення залишків хім.розчину. Тривалість промивки підвіски з деталями складає 20-30 сек. Подача води здійснюється кнопкою на панелі управління, що вмикає насос душової промивки.

По завершенню, оператор переносить підвіску з деталями в ванну №3 (ел.хім.знежирення). Місткість ванни 3 підвіски. При заповненні ванни підвісками оператор включає випрямляч та встановлює величину струму для процесу ел.хім.знежирення. Відлік часу проводиться згідно годинника встановленого на стіні цеху.

Тех. процес ел.хімічного знежирення розділений на дві частини. В першій половині часу. знежирення відбувається в режимі “Катод”, в другій половині часу в режимі “Анод” методом зміни полярності струму на підвісках. Переключення режимів проводиться оператором.

По завершенню тех. процесу проводиться промивка підвісок в ванні душової промивки, після чого підвіски переносяться в ванну №4 (нікелювання) що вміщає три підвіски.

Процес нікелювання відбувається в електроліті на основі сірчанокиислого нікелю з допоміжними та стабілізуючими добавками. За необхідності отримання блиску на нікельованих деталями в ванну нікелювання додаються блискостворюючі добавки.

Із-за наявності всього однієї ванни нікелювання, та широкої номенклатури деталей, що покриваються, усі деталі по завершенню тех. процесу мають блиск, хоч того й не вимагається за умовами технології.



Це призводить до неефективного використання вартісних блискостворюючих добавок.

По завершенню тех.процесу проводиться промивка підвісок з деталями в ванні душової промивки, та переносить у ванну №5 (пасивації), де відбувається процес деактивації розчину, та створення захисної плівки на поверхні деталей. Місткість ванни складає три підвіски. В подальшому готові деталі поміщаються в сушильну шафу, де відбувається сушка при температурі 65-80 °С протягом 20хв.

Для нагріву та підтримання температури, ванни оснащені ел.нагрівачами загальною потужністю 23,5 Квт, що керуються регуляторами температури типу РТ-102. Ванни ел.хім.знежирення та нікелювання додатково обладнані насосами фільтрації та перемішування електроліту потужністю 1,2 Квт кожен. Випрямлячі встановлені в окремому приміщенні та з'єднуються з ваннами гнучкими кабелями. Шафа управління встановлена безпосередньо біля ванн, та забезпечує управління нагрівачами, насосами та випрямлячами. Управління пристроями здійснюється за допомогою поворотних ключів та кнопок.

До недоліків виробничого процесу слід віднести відсутність ванн для вловлювання розчинів електролітів при промивці, що призводить до збільшених втрат електроліту, та забруднення навколишнього середовища. Наявна лише одна ванна нікелювання, що не дозволяє проводити матоване покриття деталей.

Із-за високої токсичності електроліту для процесу міднення- відсутня ванна для нанесення шару мідної підкладки, що змушує наносити шар нікелю безпосередньо на сталюну основу деталей. Найбільшим недоліком тех.процесу є ручне переміщення підвісок між ваннами операторами-гальваніками, що включає безпосередній контакт рук працівників з електролітом.

Невелика кількість одночасно оброблюваних підвісок з деталями може бути визнана ефективною лише за умови великої тривалості тех.процесів (більше 20хв.), та не підходить для процесів покриття контактної планки ламелей акумуляторів, та інших деталей з невеликою товщиною покриття (4 Мкм.).

### **1.3 Обґрунтування актуальності автоматизації виробничого процесу і вибраного напрямку розробки**

Гальванічне покриття деталей є одним з найбільш шкідливих видів виробництва. Використання кислот, хімічних речовин та сполук, що входять до складу електролітів мають вкрай негативний вплив на здоров'я працівників цехів та дільниць гальванопокриття. Відходи виробництва забруднюють навколишнє середовище, та мають негативний вплив на екологію. Вплив хімічно агресивних речовин призводить до швидкої зношеності обладнання та збільшення затрат на їх ремонт та заміну.

Впровадження автоматизованої системи управління дозволить розмістити значну частину обладнання в окремих приміщеннях що значно збільшить їх термін служби, зменшить затрати на ремонт та технічне обслуговування. Основною з задач автоматизації виробничих процесів є створення умов для максимального зменшення часу перебування працівників в умовах що шкодять здоров'ю людини. Впровадження автоматизованої автооператорної лінії гальванічного покриття майже повністю виключає необхідність перебування персоналу в зоні хімічного забруднення.

Використання засобів автоматизації на базі програмованих логічних контролерів дозволить здійснювати повний контроль над параметрами тех.процесу, що виключить людський фактор впливу на тех.процес. Автоматичне встановлення величини струмів та точний відлік часу

тривалості тех.процесів покращить рівномірність покриття деталей, призведе до зменшення необґрунтованих простоїв обладнання.

Використання індивідуальних випрямлячів для кожної підвіски з деталями, гнучке налаштування параметрів покриття дозволить збільшити номенклатуру продукції що виготовляється. З'явиться можливість одночасного покриття деталей різної номенклатури, що призведе до зменшення простоїв виробництва, та збільшення об'єму готової продукції.

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Опис об'єкту керування та його характеристики

Процес гальванічного покриття деталей є невід'ємною частиною виробництва лужних нікель-кадмієвих, та нікель-залізних акумуляторів.

Електрохімічні процеси що відбуваються в середині акумуляторів призводять до передчасної корозії деталей внаслідок накопичення солей електроліту на поверхні деталей, що призводить до зменшення терміну експлуатації, та передчасному виходу з ладу акумулятора.

Для зменшення впливу шкідливих процесів, всі деталі акумуляторів підлягають процесу покриття металами стійкими до корозії. Для лужних Ni-Cd та Ni-Fe акумуляторів основним видом покриття є нікель, який входить до складу електродних пластин акумулятора, та не викликає негативного впливу на електрохімічні процеси всередині акумулятора.

Враховуючи що нікель є пористим металом, в процесі нікелювання при товщині нікелевого покриття до 20 мкм на поверхню сталевих деталей попередньо наноситься захисний шар міді, що додатково захищає поверхню сталевих деталей від корозії.

Процес нанесення покриття складається з декількох послідовних процесів підготовки поверхні, видалення органічних забруднень поверхні, та залишку сторонніх речовин що накопичуються на поверхні в ході техпроцесу, після чого відбувається безпосередньо процес покриття.

В запропонованій автоматизованій лінії гальванічного були враховані всі технологічні вимоги щодо процесу покриття, багаторічний досвід та новітні розробки в галузі технологій, та захисту навколишнього середовища.

Структурна схема технологічного процесу автоматизованої лінії гальванічного покриття наведено на рис. 2.1

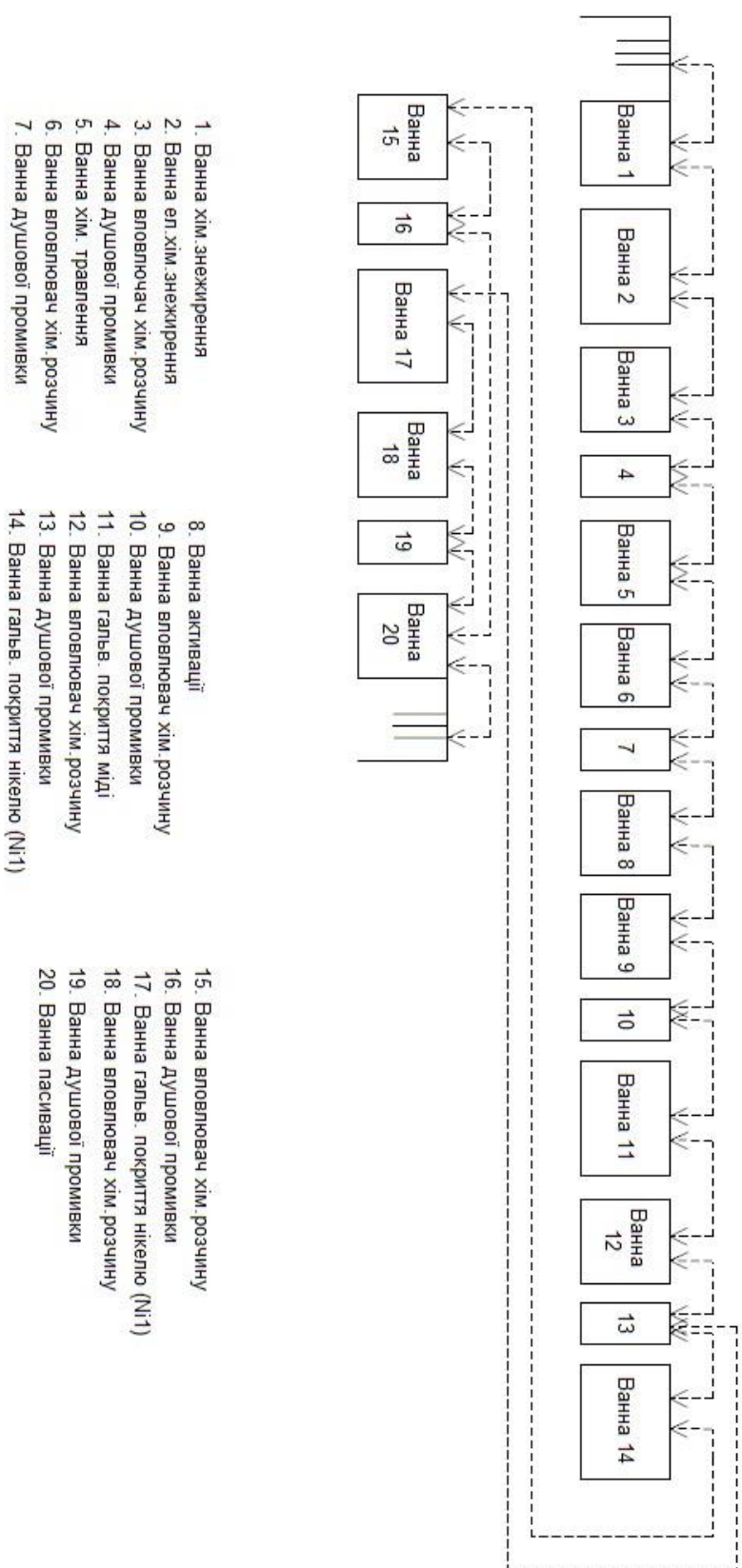


Рис. 2.1 Структурна схема роботи автоматизованої лінії гальванічного покриття

Технологічний процес нікелювання починається з одягання деталей на підвіски, та встановлення підготовлених підвісок на приймальний пристрій. В процесі роботи автооператор проводить забір та переміщення підвісок в ванну №1 хімічного знежирення, де відбувається обробка поверхні в розчині NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> тривалість процесу 4-10 хв. при температурі 50-60 °С. По завершенні процесу хім. знежирення автооператор переносить підвіску в ванну №2 де відбувається процес електрохімічного знежирення, що дозволяє видалити з поверхні деталей тверді залишки, та оксидну плівку на поверхні металу. Температура тех.процесу та склад електроліту ідентичний попередньому. По завершенню техпроцесу ел.хім.знежирення, автооператор переносить підвіски в ванну№3, де проходить процес вловлювання залишків електроліту попередньої ванни. Тривалість процесу 2-3 хв. за температури 18-25 °С. По завершенню етапу вловлювання залишків електроліту, автооператор переносить підвіску в ванну №4, де відбувається душова промивка підвісок деталей водою нагрітою до температури 35-40 °С протягом 0,2-1 хв. По завершенню промивки автооператор переносить підвіску в ванну №5 хімічного травлення в розчині хлоридної кислоти (HCl). Процес травлення відбувається за температури 30-40 °С, тривалість процесу 5-15 хв. По завершенню процесу травлення підвіска з деталями переноситься у ванну №6, де проходить вловлювання залишків кислоти з поверхні підвіски з деталями. Тривалість процесу 2-3 хв. При температурі 18-25 °С. По завершенню процесу вловлювання автооператор переносить підвіску в ванну№7, де відбувається душова промивка деталей. Температура та тривалість процесу аналогічна попередній операції душової промивки.

По завершенню процесу, автооператор переносить підвіску в ванну №8 активації (додаткового травлення) у розчині хлоридної кислоти протягом 20-30 сек. При температурі 18-25 °С, після чого підвіска переноситься в ванну№9 вловлювання розчину кислоти. Тривалість процесу аналогічна попереднім, та становить 2-3 хв. при температурі 18-25 °С. По завершенню

процесу вловлювання, автооператор переносить підвіску з деталями у ванну №10 душової промивки, що триває 0.2-1 хв. При температурі води 35-40 °С.

Після завершення промивки, в залежності від технологічних вимог, підвіска з деталями переноситься у ванну №11 для нанесення мідного покриття, у ванни №14 матованого нікелювання, або №15 блискучого нікелювання.

Процес нанесення мідного покриття відбувається в електроліті на основі сірчаної кислоти міді ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), сульфатної кислоти ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), сульфату амонію ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), в якості добавок застосовуються поліетиленполіамін, водний розчин аміаку та інші речовини. Температура покриття 50-55°C, тривалість процесу залежить від площі деталей, та необхідної товщини покриття та складає 5-20 хв.

По завершенню процесу міднення підвіска автооператор переносить у ванну №12 вловлювача електроліту, після чого проходить процес душової промивки підвіски з деталями у ванні №13. Температура та тривалість процесу ідентичні попереднім процесам у ваннах вловлювання та душової промивки.

По завершенню процесу промивки автооператор переносить підвіску з деталями у ванну №14 матованого нікелювання, або у ванну №17 для нікелювання деталей з застосуванням блискостворюючих добавок. Процес нікелювання відбувається в електроліті на основі сульфату нікелю ( $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), двох-хлористого нікелю ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) та борної кислоти ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). В якості добавок застосовується хлористий натрій ( $\text{NaCl}$ ) та фтористий натрій ( $\text{NaF}$ ). Процес нікелювання відбувається при температурі 50-55 °С, час покриття залежить від площі деталей, необхідної товщини покриття, та знаходиться в межах 5-20хв.

Для отримання блискучого покриття в склад електроліту вводяться органічні блискостворюючі добавки “Glanzzusats Makrolux NF”, “Glanzkorrekurlösung Ni”, “Netzmittel Ni M”.

По завершенню процесу матового покриття автооператор переносить підвіску з нікельованими деталями в ванну №15 вловлювач електроліту, де проходить процес вловлювання залишків електроліту у воді. Тривалість процесу 2-3 хв. При температурі 18-25 °С. По завершенню процесу підвіска з деталями переміщується в ванну №16 душової промивки, де проходить остаточне промивання деталей від залишків електроліту. Тривалість процесу 0.2-1 хв. При температурі води 35-40 °С. По завершенню процесу промивки автооператор переносить підвіску з деталями в ванну №20 для проведення процесу пасивації нікелевого покриття. Ванна пасивації містить 5% розчин натрію двовуглекислого ( $\text{NaHCO}_3$ ). Процес пасивації деталей дозволяє нейтралізувати залишки кислот, та створює захистну плівку на поверхні деталей. Тривалість процесу 3-5 хв. При температурі розчину 18-25°C

По завершенню процесу нікелювання деталей у ванні №17 з застосуванням блискостворюючих добавок, підвіска з деталями переноситься у ванну №18 вловлювач електроліту, потім проходить процес душової промивки у ванні №19, та переноситься у ванну №20 для пасивації деталей.

По завершенню процесу пасивації автооператор переносить та опускає підвіску з деталями в приймальний вузол, що служить для складання готових підвісок з деталями.

Оператор лінії знімає деталі з підвісок та переміщує їх в сушильну шафу де відбувається процес нагрівання та сушки деталей при температурі 50-65°C протягом 20 хв. Готові сухі деталі складаються в технологічну тару та транспортуються на дільниці складання акумуляторів, або на склад готових деталей.



Таким чином для для забезпечення роботи лінії потрібно лише два оператори, які проводять одягання на підвіски підготовлених до гальванічної обробки деталей, та вилучення покритих деталей з підвісок.

При зміні номенклатури оброблюваних деталей оператори вибирають відповідне меню за номером технологічного процесу, при цьому всі інші параметри техпроцесу обробки деталей в гальванічних ваннах встановлюються автоматично для кожного виду з переліку деталей. Враховуючи що кожна комірка ванн електрохімічного знежирення та покриття має окреме джерело струму, стає можливим процес одночасного покриття різної номенклатури деталей, з дотриманням параметрів техпроцесу індивідуально для кожного виду деталей.

Технологічна карта процесу хімічної обробки та покриття складається інженером технологом, вноситься в пам'ять програмованого логічного контролера в розділі інженерного меню, що має свій пароль доступу, та не може бути змінений працівниками. Це створить умови жорсткого дотримання параметрів техпроцесів, та усунути помилки працівників. Таким чином усувається людський фактор впливу на техпроцес, що призводив до порушень технології покриття. Це дозволить досягти однакової товщини, та рівномірності покриття, покращити якість продукції, що виготовляється.

## **2.2 Вибір варіанту компоновки проекрованої автоматизованої лінії**

При виборі варіанту компоновки слід враховувати наступні фактори:

- Площа та розміри цеху гальванічного покриття.
- Наявність діючого обладнання, що розміщується в цеху.
- Необхідність вільного простору (проходів, майданчиків) для пересування персоналу, та їх евакуацію в результаті настання аварійних ситуацій.

- Наявність виступаючих чи рухомих частин обладнання що може загрожувати безпеці працівників.
- Наявність інженерних комунікацій (трубопроводів, повітропроводів, кабелів, технологічних приямків, люків ітд.)
- Наявність щитового ел. обладнання, що потребує безперешкодного доступу персоналу для управління технологічним процесом.
- Наявність обладнання, що містить небезпечні хімічні речовини, та реагенти.
- Можливість монтажу додаткового обладнання та системи вентиляції.
- Необхідність захисту електротехнічного обладнання лінії від негативного впливу хім. речовин та інших факторів виробничого процесу.

Враховуючи технологічну послідовність процесів, що виконують цикл операцій, існуючі схеми розташування автооператорних ліній, що наведені у розділі 1, доцільно обрати прямолінійно-однорядну лінію за схемою розташування.

Автоматизована лінія гальванічного покриття буде розташовуватися вздовж північної стіни цеху гальванічного покриття, з однорядним розташуванням гальванічних ванн. На спеціального спроектованому каркасі вздовж стіни будуть закріплені автооператори, що переміщуються від пристрою завантаження підвісок, по всій довжині гальванічних ванн до пристрою складання готових підвісок з деталями.

Додаткове обладнання що складається з насосів перемішування, фільтрів очистки, трубопроводів наповнення та підтримання рівнів у гальванічних ваннах, буде розташоване в проміжку між автоматизованою лінією та стіною, що складає 1100 мм. Це забезпечить відсутність рухомих механізмів в зоні обслуговування лінії операторами цеху. Відстань від переднього краю лінії до діючої лінії нікелювання стрічки складає 1640 мм, що дозволяє проводити обслуговування гальванічних ванн двох ліній гальванічного покриття.

Випрямлячі гальванічних ванн розміщуються на технологічній стійці в окремому закритому приміщенні, та керуються дистанційно.

Щит управління автоматизованою лінією розташовується в прилеглому приміщенні поряд з щитом управління автоматизованої лінії покриття сталеної стрічки.

Пульти управління знаходяться на початку лінії поблизу пристрою завантаження підвісок, та в кінці лінії біля пристрою складання готових підвісок з деталями. Таке розташування буде зручне для управління тех. процесом операторами лінії.

Випрямлячі, пульти управління, та виконавчі механізми з'єднуються з електрощитовим обладнанням за допомогою кабелів, що прокладені в кабельних трасах які розміщуються по поверхні підлоги. Прокладання кабельних трас через стіни здійснюється через попередньо зроблені проєми в стіні. Після монтажу кабелів такі проєми підлягають ущільненню для запобігання потрапляння випарів хім. речовин в приміщення з обладнанням.

Таким чином основне електрообладнання, випрямлячі, та щит управління винесений за межі приміщення з підвищеною концентрацією хімічних речовин в повітрі, що забезпечить надійність та значно подовжить термін служби обладнання.

### **2.3 Обґрунтування конструкційних матеріалів і заходи щодо захисту від корозії**

Враховуючи, що технологічні процеси в гальванічному виробництві відбуваються в розчинах кислот, лугів, та інших хімічно агресивних речовин, слід приділити особливу увагу захисту обладнання та матеріалів від шкідливих факторів впливу. Основним наслідком впливу хімічних речовин є корозія металів.

Корозія - це процес мимовільного окислення (руйнування) металів унаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії їх із корозійним середовищем.

Корозійна стійкість - це хімічний опір металів (сплавів) корозійному середовищу.

Крім корозійної стійкості в агресивних середовищах за різних температур, що забезпечує тривалу працездатність матеріалу і належну чистоту електролітів, конструкційні матеріали, що використовуються в гальванотехніці, повинні задовольняти таким специфічним вимогам, як надійність струмоізоляції, електро- та теплопровідність, малий коефіцієнт тертя та об'ємного розширення тощо.

В якості матеріалу корпусів ванн на даній лінії пропонується використовувати поліпропілен, який характеризується високою стійкістю до дії розбавлених та концентрованих кислот, лугів, спиртів та основ, та має наступні характеристики:

- Температура плавлення поліпропілену 168 °С.
- Межа міцності 0,95 - 1,30 Н /мм<sup>2</sup>
- Ударна в'язкість із надрізом 3,0 - 30,0 кДж/м<sup>2</sup>
- Коефіцієнт теплового розширення 100 - 150 x 10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>
- Макс. температура безперервного використання 80 °С
- Густина 0,905 г /см<sup>3</sup>

Сучасні методи зварювання шляхом екструзії забезпечує високу надійність швів, що дозволяє виготовляти корпуси ванн великого розміру.

Підбір номенклатури насосів, ел. нагрівачів, датчиків температури, та підтримання рівня розчинів у ваннах, слід проводити з урахуванням

можливості їх роботи в умовах дії хімічно агресивних сполук. Пропонується використання обладнання, що спеціально розроблене для потреб гальванічного виробництва.

Для підведення теплої води у ванну теплої промивки, труб насосів перемішування та фільтрів пропонується використовувати поліпропіленові, або поліетиленові пластикові труби.

Повітроводи, бортові відсмоктувачі та повітряні магістралі можуть виконуватися з термопластів (вініпласт, поліетилен, фторопласт).

Для захисту сталених деталей (фланців, муфт, кріпильних елементів, тощо) пропонується провести покриття деталей нікелем товщиною не менше 20 мкм.

Для захисту каркасу лінії, всі металеві конструкції слід покрити кислотостійкими емалями ХВ-785. Як правило застосовується тришарове покриття на попередньо ґрунтовану поверхню. В якості ґрунтовки використовується лак ХВ-784.

Для захисту підлог і стін від розливу розчинів, поверхні слід футерувати кислототривкою плиткою з використанням кислотостійкого бетону. Під шаром футерування виконується непроникний хімічно стійкий підшар. Як матеріал для нього використовується поліетиленова плівка високого тиску марки М або С. Допускається до застосування як гідроізолюючого шару різних гідроізолів, склорубероїдів, гарячого бітуму, бітумного лаку. Для захисту стін, перекриттів і колон застосовуються кислотостійкі ґрунтовки та емалі.

Електрообладнання що монтується на каркасах гальванічної лінії чи в безпосередній близькості від них повинно розміщуватися в захисних ящиках чи монтажних коробках ступеню захисту IP65.

Усі відкриті частини силових та контрольних кабелів повинні бути прокладені в захисних гофрованих шлангах. Для проходу кабелів в пульти та з'єднувальні коробки застосовуються пластикові гермо вводи типу PG16-22, з подальшою герметизацією щілин кислотостійким герметиком.

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Аналіз вихідних даних на проектування.

Враховуючи послідовність технологічних процесів покриття, розглянуті у розділі 2, дійдемо висновку, що гальванічні ванни та протікаючі в них тех.процеси поділяються на 4 основних види:

1. Ванни де протікають електрохімічні процеси з застосуванням електричного струму (ванни ел.хім.знежирення та покриття)
2. Ванни травлення, активації та пасивації покритих нікелем деталей
3. Ванни-вловлювачі залишків електроліту з поверхні підвісок з деталями
4. Ванни душової промивки.

Ванни в яких проходять електрохімічні процеси обладнані штангами для підвісу анодів та підвісок з деталями, до яких підводиться електричний струм від випрямлячів. Кожна комірka ванни отримує струм від незалежного випрямляча, що дозволяє проводити одночасне покриття деталей різної номенклатури. Такі ванни обладнані насосом фільтрування електроліту, та насосом перемішування електроліту, що повинні керуватися дистанційно та працюють постійно. Кожна ванна ел.хім.процесів повинна бути обладнана системою нагріву та підтримання температури тех.процесу, що здійснюється за допомогою електричних нагрівачів які керуються регулятором температури. Ванни ел.хім.процесів повинні бути обладнані системою підтримання рівня електроліту, та наповнюються за допомогою насоса що перекачує розчин з ванни вловлювача електроліту. Керування процесом підтримання рівня повинно здійснюватися автоматично. В якості давача рівня планується використання стрижневих електродів, що встановлені на боковій стінці ванни.

Ванни хім. процесів травлення та активації обладнані насосом фільтрації, що працює постійно, та має дистанційне керування. Ванни також повинні бути обладнані системою нагріву та підтримання температури, підтримання рівня хім. речовин, що працює аналогічно описаній вище.

Ванни травлення містять 3 штанги для утримання підвісок з деталями. Штанги для підвішування анодів відсутні.

Ванни вловлювачів розчину електролітів, що встановлюються безпосередньо після ванн ел.хім.процесів обладнані насосами повернення розчину в свої основні ванни. В такий спосіб здійснюється наповнення та підтримання рівня електроліту в основних ваннах. Наповнення та підтримання рівня в ваннах-вловлювачах здійснюється з централізованої системи подачі очищеної води.

Ванни душової промивки обладнані клапанами що забезпечують подачу води під тиском на розбризкуючі форсунки, що вмонтовані в труби змонтовані з протилежних сторін ванни на трьох рівнях по висоті. Тривалість процесу душової промивки буде задаватися автоматично, згідно технологічної карти тех.процесів.

Ванни душової промивки використовують магістраль теплої води що нагрівається в баку дільниці водоочищення, та прокладена вздовж виробничої лінії.

Лінія гальванічного покриття оснащується двома автооператорами консольного типу, що здійснюють операції захоплення підвісок з деталями та їх транспортування від пристрою завантаження підвісок, вздовж лінії гальванічного покриття, згідно заданої послідовності техпроцесів, до пристрою складання готових підвісок. Рекомендується встановлення регулятора швидкості горизонтального переміщення з метою точного позиціонування підвісок над технологічними штангами гальванічних ванн. Робота автооператорів буде здійснюється автоматично, згідно розробленої



системи керування, що враховує послідовність та технологічні параметри процесів.

Кожен автооператор обладнаний двома мотор-редукторами які забезпечують переміщення автооператора по горизонтальній осі, та підйому-опускання пристрою для захоплення підвісок з деталями. Обмеження пересування автооператора здійснюється за допомогою шляхових та кінцевих вимикачів.

Перелік ванн та обладнання необхідного для їх функціонування наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 Перелік гальванічних ванн та механізмів що застосовуються

Тип ванни	К-сть.	Перелік обладнання в ванні	К-сть. на од.	Всього (шт.)
Ванни електрохімічних процесів	4	Насос фільтра	1	4
		Насос перемішування р-ну.	1	4
		Термоконтроллер	1	4
		Термопара	1	4
		Нагрівач	3	12
		Реле рівня	1	4
		Блок електродів	1	4
		Джерело струму (випрямляч)	3	12
Ванни хімічного травлення та активації	3	Насос фільтра	1	3
		Термоконтроллер	1	3
		Термопара	1	3
		Нагрівач	1	3
		Реле рівня	1	3
		Блок електродів	1	3
		Ел. клапан	1	3

## Продовження таблиці 3.1

Тип ванни	К-сть	Перелік обладнання в ванні	К-сть на од.	Всього (шт.)
Ванни вловлювачі електроліту	4	Ел. клапан	1	4
		Насос повернення електроліту	1	4
Ванни душової промивки	6	Ел. клапан	2	12

### 3.2 Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизованої системи керування

Перед складанням функціональної схеми визначаємо механізми що мають ручне-дистанційне, автоматичне, та комбіноване управління. До механізмів з ручним управлінням належать насоси фільтрів, насоси перемішування електроліту, та регулятори температури. До механізмів що керуються автоматично належать клапани підтримання рівня електроліту у ваннах, клапани душової промивки, випрямлячі гальванічних ванн.

Автооператори мають три режими роботи:

- Ручний режим
- Напівавтоматичний режим
- Автоматичний режим

Ручний режим роботи використовується для транспортування підвісок в довільно вибрану позицію. Керування автооператором здійснюється з бездротового пульта дистанційного керування.

Напівавтоматичний режим слугує для перенесення підвісок з деталями в задалегідь визначені комірки гальванічних ванн, та може використовуватися при частковій обробці деталей, наприклад при проведенні окремих тех.операцій знежирення чи повторного травлення, після чого тех.процес вважається закінченим.

Автоматичний режим роботи є основним, та застосовується для організації потокового покриття деталей різної номенклатури.

Виходячи з даних про технічні засоби що забезпечують роботу автоматизованою лінією гальванічного покриття, розроблена функціональна схема що забезпечує управління автоматизованою лінією гальванічного покриття (див. додаток 2).

Основою автоматизованої системи управління є ПЛК (PLC1), який використовує промислову мережу передачі даних ModBus (RS-485), та здійснює налаштування параметрів, та керування випрямлячами гальванічних ванн (B1...B12), видає сигнали управління на модуль управління МУ110 (A3), який в свою чергу керує клапанами душової промивки Y1...Y12.

ПЛК (PLC1) також видає сигнали управління на модуль дискретного вводу-виводу (A1), для опитування давачів (D1...D6) наявності підвісок в пристроях захоплення та складання підвісок з деталями по закінченню тех.процесів покриття.

ПЛК (PLC1) також здійснює обмін інформацією з ПЛК автооператорів №1, та №2 та видачу команд управління на переміщення автооператорів, та захоплення підвісок з деталями.

Кожен з двох автооператорів містить свій ПЛК (PLC2), (PLC3).

Враховуючи однакоvu функціональну схему автооператорів, розглянемо роботу одного з них.

ПЛК автооператора здійснює опитування лічильника імпульсів (СТ1) що надходять з енкодера (В1) горизонтального переміщення автооператора, опитування шляхових та кінцевих вимикачів що обмежують рух, також здійснює видачу сигналів швидкості та команд “Старт-Стоп” на перетворювач частоти (Z1), що здійснює керування мотор-редуктором приводів переміщення.

Вертикальне переміщення пристрою захоплення автооператора здійснюється за допомогою мотор-редуктора вертикального переміщення, та обмежується шляховими вимикачами.

Для калібрування положення автооператора використовується давач нульового положення (D7), сигнал якого поступає в ПЛК автооператора.

Управління процесом нагріву та контролю температури здійснюється автоматично, та керується термоконтроллером, що отримує сигнал зміни опору давача на вході, та керує процесом ввімкнення електронагрівачів. Данні про температуру в ваннах по мережі мережі ModBus поступають в основний ПЛК (PLC1) .

Контроль рівня електролітів у ваннах здійснюється автоматично, за допомогою реле рівня, яке отримує сигнал зміни опору між електродами давача рівня і з ПЛК не пов’язані.

ПЛК (PLC1) по мережі Ethernet під’єднаний до промислового комп’ютера з встановленою Scada-системою що дозволяє здійснювати налаштування , та управління тех.процесом віддалено.

### **3.1 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації**

При виборі технічних засобів автоматизації слід враховувати їх технічні параметри, та умови роботи таких засобів.

До обладнання що працює безпосередньо в зоні випарів хім.речовин вимагаються більш високі характеристики захищеності. Оптимальним рішенням буде встановлення обладнання ступеня захисту IP65 для обладнання що працює в окремих приміщеннях, достатньо використання обладнання ступеню захисту IP40, та може уточнюватися в кожному конкретному випадку умов застосування.

Підбір термоконтролерів.

Для регулювання та контролю температури електrolітів у ваннах пропонується застосування мікропроцесорних контролерів температури Autonics TK4L-T4RR



Рис. 3.1 Термоконтролер Autonics TK4L-T4RR

Технічні характеристики термоконтролера наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 Технічні характеристики термоконтролера Autonics ТК4L

Напруга живлення	100-240в. ~ 50-60Гц
Споживана потужність	Макс. 8Вт
Тип дисплея	7-сегментний світлодіодний, червоний
Тип вхідного сигналу	JPt 100 Ом, DPt 100 Ом, CU 100 Ом, CU 50 Ом, NI 120 Ом Термопари типу: K, J, E, T, L, N, U, R, S, B, C, G По напрузі: 0-100мВ, 0-5В, 1-5В, 0-10В, По струму: 0-20mA, 4-20mA
Тип регулювання	Вкл.-Викл., П, ПІ, ПІД-регулювання
Гістерезис	Термопара/термоопір 1-100°C (0,1-100°C) Аналоговий 1-100%
Тип інтерфейсу	RS-485
Розміри	96x96x64,5 мм
Маса	198г.

Термоконтролери такого типу мають високу точність вимірювання, два незалежних вихідних реле, та вбудований порт мережі RS-485, що дозволяє здійснювати передачу даних про температуру в ПЛК автоматизованої системи управління.

В якості давача температури рекомендується використання термоперетворювача ТСП1-11-100П-В-3-40-5-2000-МЭ(-50...250)



Рис.3.2 Термоперетворювач ТСП1-11-100П-В

Технічні данні наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3

Тип	$R_0$ , Ом	$W_{100}=R_{100}/R_0$	$I$ , вим. макс, мА	Макс. Роб. діапазон, °С	Межа допустимого відхилення НСХ, °С
50M	50	1,4280	1	-50...180	$\pm (0,25 + 0,0035t)$
100M	100	1,4280	1	-50...180	$\pm (0,25 + 0,0035t)$
Pt100	100	1,3850	1	-196...750	$\pm (0,15 + 0,0020t)$
Pt500	500	1,3850	0,7	-196...750	$\pm (0,15 + 0,0020t)$

Данні термоперетворювачі мають герметичне виконання, та нікелеве покриття стрижня, що дозволяє використовувати їх в умовах безпосереднього контакту з розчинами електrolітів.

В якості реле рівня електrolітів рекомендується використати реле Iovato LVM30.

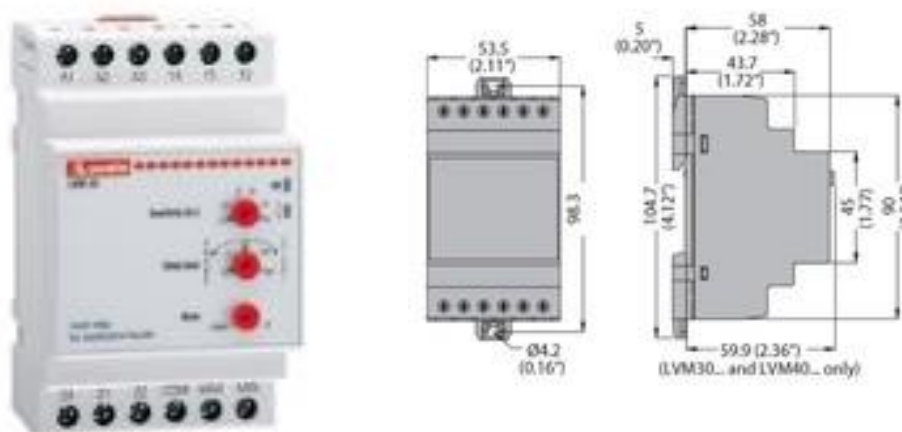


Рис.3.3 Реле рівня Lovato LVM30

Такі реле рівня давно використовуються для підтримання рівня рідин, мають високі експлуатаційні характеристики, та підвищену надійність, за рахунок застосування пластикового корпусу, та надійного покриття плат з елементами захисним лаком, що робить їх захищеними від впливу хім.речовин.

Технічні характеристики реле:

- Напруга живлення: 24-240В АС;
- 3 електрода переключення (MIN, MAX, COM);
- регульована чутливість: 2,5-50 кОм;
- 2 вихідних перехідних контакти;
- установка в положення спустошення та наповнення з захистом від помилкового спрацювання;
- подвійна ізоляція між подачею напруги, давачем та реле на виході;
- регулювання затримки сигналу на електроді: 1-10с , або регулювання витримки запуску насоса: 0-5хв;
- Вихід реле — 8А 250VАС 2С/О
- Робоча температура — -20...+60\*С
- Ступінь захисту — IP40

В якості випрямлячів струму для гальванічних ванн пропонується використання випрямлячів інверторного типу, що мають малі масогабаритні показники, та дозволяють проводити налаштування параметрів, та керування процесом вмикання-вимикання дистанційно з застосуванням цифрових мереж передачі даних.

Одним з таких випрямлячів є випрямляч “Струм61” що спроектований та виготовляється Тзов “Крановий електропривід”.

Технічні характеристики наведені в таблиці 3.4



Таблиця 3.4 Технічні характеристики випрямлячів “Струм-61”

Вхідні характеристики	Значення
Напруга живлення	~ 380В+10-15% (три фази і ноль)
Частота	Від 47 до 63 Гц
Параметри навантаження	
Діапазом потужності	Від 1,5 до 10 кВт
Крок задання вихідної напруги	0,1 В
Крок задання вихідного струму	1 А
Функції управління	
Стабілізація струму	є
Стабілізація напруги	є
Імпульсний режим	є
Теплові характеристики	
Коефіцієнт корисної дії,	Не менше 85%
Частота ШІМ	16 кГц
Робоча температура	від 1 до 40 °С
Охолодження	Повітряне, примусове
Керування	
Влаштований пульт	є
Дискретні входи	(24 В DC) 6 шт. в базовій комплектації
Дискретні виходи	(230 В AC, 24 В DC) 3 шт. в базовій комплектації
Інтерфейси	Послідовний інтерфейс RS485, протокол ModBus RTU
Конструкція	
Робоче положення	Горизонтальне
Ступінь захисту	IP21, IP54
Габаритні розміри СТ61-200-15R	486x132x477мм
Маса СТ61-200-15R	16 кг

### 3.4 Вибір і опис програмованих логічних контролерів, та модулів вводу-виводу

При виборі ПЛК для управління технологічним процесом, основна увага була приділена можливості роботи обладнання в умовах дії шкідливих факторів тех.процесу, наявність сенсорного дисплея для програмування параметрів заданих тех.процесів, простота обслуговування операторами лінії, та низька ціна обладнання.

В якості головного ПЛК системи керування тех.процесом був вибраний сенсорний панельний контролер “Овен СПК207” .



Рис. 3.4 Програмований логічний контролер “Овен СПК207”

Даний ПЛК має наступні переваги:

- Оновлена модифікація з підвищеною продуктивністю, процесор 600 МГц
- Об'єднання функцій ПЛК та графічної панелі оператора в одному корпусі
- Розробка програм візуалізації та алгоритмів керування в одному середовищі програмування
- Сенсорний екран керування
- Додаткові кнопки керування зі світлодіодною індикацією
- Програмне перемикання режимів роботи універсальних інтерфейсів RS-232/RS-485
- Індикація стану обміну за послідовними інтерфейсами на лицевій панелі

- Вбудований інтерфейс Ethernet
- Вбудована операційна система Linux
- Повномодемний порт RS-232
- Підтримання протоколів обміну Modbus (RTU, ASCII, TCP), OВЕН
- Можливість роботи безпосередньо з портами контролера для підмикання пристроїв з нестандартними протоколами
- Контролер має вбудований годинник реального часу, для створення систем з урахуванням реального часу
- Наявність великого об'єму Flash пам'яті, з можливістю розширення на SD-карті для архівування даних
- Збільшення кількості точок введення/виведення здійснюється шляхом підмикання зовнішніх модулів введення/виведення за будь-яким із вбудованих інтерфейсів.

Низька ціна та наявність широкого спектру додаткових пристроїв одного виробника значно полегшує створення гнучкої системи автоматизованого управління, та полегшить роботу в ході модернізації та розширення функцій що покладаються на АСК ТП.

Технічні характеристики ПЛК наведені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 Технічні характеристики СПК207

Основні характеристики	
Частота процесора	600 МГц
Кліматичне виконання, ° С	-20... + 50
Охолодження	Пасивне

Ступінь захисту корпусу (з лицьової сторони)	IP64
Діапазон напруги живлення, В СПК2хх-24 СПК207-220	Від18 до 32 В постійного струму (номінальне 24 В) Змінний струм: 90.. 264 В (номінальне 220 В), 47...63 Гц
Споживана потужність, Вт	30 (до 40 при увімкненні)
Матеріал: Лицева панель/Корпус	Пластик, полікарбонат
Маса, не більше, кг	1
<b>Індикація та елементи керування</b>	
Розмір екрану, дюйм	7"
Видима область, мм	152 × 91
РК-дисплей	TFT
Роздільна здатність екрану, піксель	800x480
Кількість кольорів	65536
Яскравість кд/м2	300
Контрастність	500:1
Індикація на передній панелі	Індикація роботи контролера, індикація наявності мережевого обміну
Тип підсвічення дисплею	Світлодіодне (LED)
Час роботи підсвічення, годин	50 000
Сенсорне керування, тип	Є, резистивний
Кількість натиснень	1 000 000
"Механічні" кнопки, шт.	6, із вбудованими світлодіодними індикаторами

Даний ПЛК має високі експлуатаційні характеристики та ступінь захисту IP64, що дозволяє застосовувати його в умовах шкідливого впливу тех.процесів.

При виборі ПЛК автооператорів були враховані умови використання їх в рухомому складі автооператорів, за умов дії шкідливих факторів тех.процесу що відбувається в гальванічних ваннах. Створено додатковий захист шляхом розміщення схеми управління автооператорами в окремих захищених боксах ступеню захисту IP65. Наявність обладнання одного виробника значно полегшує розробку програмного забезпечення для АСК ТП.

Рекомендовано до використання програмований логічний контролер “Овен ПЛК110”.



Рис. 3.5 Програмований логічний контролер “Овен ПЛК110-30”

Даний ПЛК має наступні переваги:

- Потужні обчислювальні ресурси та великий об'єм пам'яті.
- Наявність дискретних входів/виходів на борту контролера.
- Наявність послідовних портів (RS-232, RS 485) на борту контролера.

- Наявність порту Ethernet для увімкнення у локальні або глобальні мережі верхнього рівня.
- Підтримка протоколів обміну Modbus (RTU, ASCII), OVEN, DCON.
- Можливість працювати безпосередньо з портами контролера, що дозволяє підмикати зовнішні пристрої з нестандартними протоколами.

Основні технічні характеристики наведено в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 Технічні характеристики ПЛК “Овен ПЛК110-30

Характеристика	ПЛК110-30
<b>ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ</b>	
Габаритні розміри	140x110x73 мм
Ступінь захисту корпусу	IP54 зі сторони передньої панелі, IP40 зі сторони клем
Температура експлуатування	від мінус 10 до + 55° С
Світлодіодна індикація на передній панелі	Стан входів, стан виходів, режим роботи, наявність зв'язку, заряд вбудованої батареї
Вага, не більше	0,6 кг
<b>ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ РЕСУРСИ ТА ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ</b>	
Центральний процесор	RISC-процесор, 32 розряду, 200 МГц
Об'єм та тип оперативної пам'яті	8 МБ, із них 1МБ для коду користувальницької програми, 128кБ для змінних користувальницької програми
Кількість та тип енергонезалежної пам'яті	4 МБ, з яких 3 МБ для збереження файлів та архівів
Розмір та тип Retain-пам'яті	не більше 16 кБ (за умовчанням встановлено значення 4 кБ)

Час виконання одного циклу програми	За умовчанням (стабілізований) –1000 мкс* Можливість організації виклику підпрограм з переривання –від 50 мкс
Додаткове периферійне обладнання	Годинник реального часу із власним джерелом живлення
<b>ЦИФРОВІ (ДИСКРЕТНІ) ВХОДИ</b>	
Кількість дискретних входів	18
-із них швидкодіючих	2
Тип пристроїв, які підмикаються	комутаційні пристрої (контакти кнопок, вимикачів, герконів, реле, тощо); датчики, які мають на виході транзистор n-p-n або p-n p типу з відкритим колектором; дискретні сигнали 24±3 В
Гальванічна розв'язка дискретних входів	Групова
<b>ЦИФРОВІ (ДИСКРЕТНІ) ВИХОДИ</b>	
<b>Кількість та тип дискретних виходів:</b>	
-Для модифікації з релейними виходами	12
-Для модифікації з транзисторними виходами	12, із них 4 швидкодіючих
Гальванічна розв'язка дискретних виходів	Індивідуальна або групова (частина виходів зібрані у групи по 2 або 4 шт. та мають загальну клему)
Електрична міцність ізоляції дискретних виходів	1500 В від схеми пристрою; 500 між виходами (або групами виходів)
<b>ПАРАМЕТРИ РЕЛЕЙНИХ ВИХОДІВ</b>	
Час перемикання виходів	50 мс
Максимальний струм комутації	не більше 3 А (при напрузі не більше 250 В)

змінного струму та $\cos \varphi > 0,4$ ; не більше 3 А (при напрузі не більше 30 В постійного струму)
--

При виборі модулів дискретного управління вибрано модулі МДВВ-8.



Рис. 3.6 Модуль дискретного управління МДВВ-8

Основні функції:

- 12 дискретних входів для підмикання контактних датчиків або транзисторних ключів n-p-n типу
- Можливість використання будь-якого дискретного входу в режимі лічильника (максимальна частота сигналу – 1 кГц)
- 8 вбудованих дискретних вихідних елементів у різних комбінаціях:
- Можливість генерації ШІМ-сигналу будь-яким із виходів
- Автоматичне переведення виконавчого механізму в аварійний режим роботи при порушенні мережевого обміну
- Підтримка поширених протоколів Modbus (ASCII, RTU), DCON, OVEN
- Завадостійкість завдяки:
  - вбудованому імпульсному джерелу живлення 90...264 В 47...63 Гц;



– гальванічній розв'язці в колах виходів, живлення та інтерфейсу RS-485;

– застосуванню захисних елементів у колах дискретних входів

Технічні характеристики модуля МДВВ-8 наведено в таблиці 3.7

Таблиця 3.7 Технічні характеристики модуля МДВВ-8

Напруга живлення	90...264 В змін. струму частотою 47...63 Гц
Споживана потужність	не більше 12 ВА
Кількість дискретних входів	12
Тип датчика, що підмикається до дискретного входу	«сухий» контакт, транзисторний ключ n-p-n типу
Максимальна частота вхідного сигналу	1 кГц
Кількість виходів	8
Тип інтерфейсу	RS-485
Швидкість передавання даних, кбіт/с	2.4, 4.8, 9.6, 14.4, 19.2, 28.8, 38.4, 57.6, 115.2
Максимальна довжина лінії зв'язку	1200 м
Протоколи передавання даних	ОВЕН Modbus ASCII Modbus RTU DCON
<b>Максимальна кількість модулів у мережі:</b>	
— для протоколу ОВЕН, якщо довжина мережевої адреси 8 біт	32
— для протоколу ОВЕН, якщо довжина мережевої адреси 11 біт	256
— для протоколу Modbus	256

Тип корпусу	на DIN-рейку Д9
Габаритні розміри корпусу	157x86x58 мм
Ступінь захисту корпусу	IP20

### 3.5 Розробка схеми електричної принципової керування

При розробці принципової схеми керування використовуємо функціональну схему автоматизованої системи керування, та опис схем приєднання вибраних технічних засобів керування, взяті з паспортів, та технічного опису технічних засобів.

Розробку схеми починаємо з ванни №1 хімічного знежирення, яка вимагає засобів підтримання рівня електроліту, нагріву та контролю температури, та обладнана насосом фільтрації.

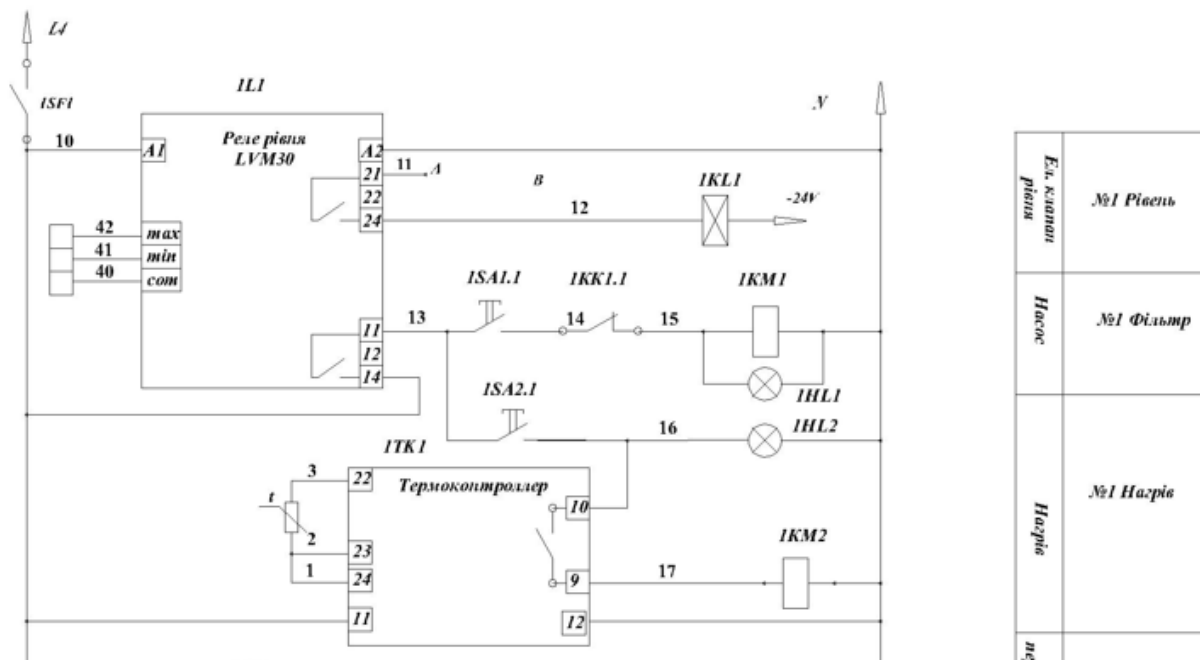


Рис. 3.7 Фрагмент схеми електричної принципової схеми управління

В даній схемі напруга живлення через автоматичний вимикач 1SF подається на клеми живлення реле рівня, та термоконтроллера.

Стрижні давача рівнів приєднуються до реле рівня за допомогою проводів 40,41,42. При досягненні нижньої межі рівня спрацьовує ел.клапан 1KL1 що подає воду у ванну знежирення з централізованої магістралі подачі очищеної води. По досягненню верхнього рівня, реле рівня знеструмлює ел.клапан. Вмикання насосу фільтрації здійснюється ключем управління 1SA1.1. Струм з ключа управління проходить через контакти теплового реле та подається на котушку контактора 1KM1. Для індикації роботи насоса фільтра слугує лампа-індикатор 1HL1. Робота насоса блокується при досягненні нижнього рівня. Це дозволяє захистити насос у випадку відсутності чи низького рівня електроліту у ванні.

Процес нагріву та підтримання температури у ванні №1 здійснюється за допомогою термоконтроллера 1TK1, на вхід якого по проводам 1,2,3 подається сигнал зміни опору термоперетворювача. Процес ввімкнення електронагрівачів здійснюється ключем управління 1SA2.2, проходить через контакти термоконтроллера та поступає на котушку контактора 1KM2.

Для індикації ввімкнення процесу нагріву слугує лампа-індикатор 1HL2. При низькому рівні електроліту у ванні нагрів блокується контактами реле рівня 1L1, та автоматично відновлюється при досягненні верхнього рівня. Це дозволяє запобігти виходу ел.нагрівачів з ладу при роботі за низького рівня чи відсутності електроліту у ванні.

Аналогічно проводимо розробку схеми для інших ванн враховуючи технічні засоби та механізми що обслуговують такі ванни.

Повні схеми електричні принципові схеми управління наведені у графічній частині роботи.

### 3.5.1 Розробка та опис електричної схеми спряження

При розробці схеми спряження відображаються ел.приводи виконавчих механізмів, та схеми їх під'єднання до електромережі, з зазначенням захисних та комутуючих пристроїв.

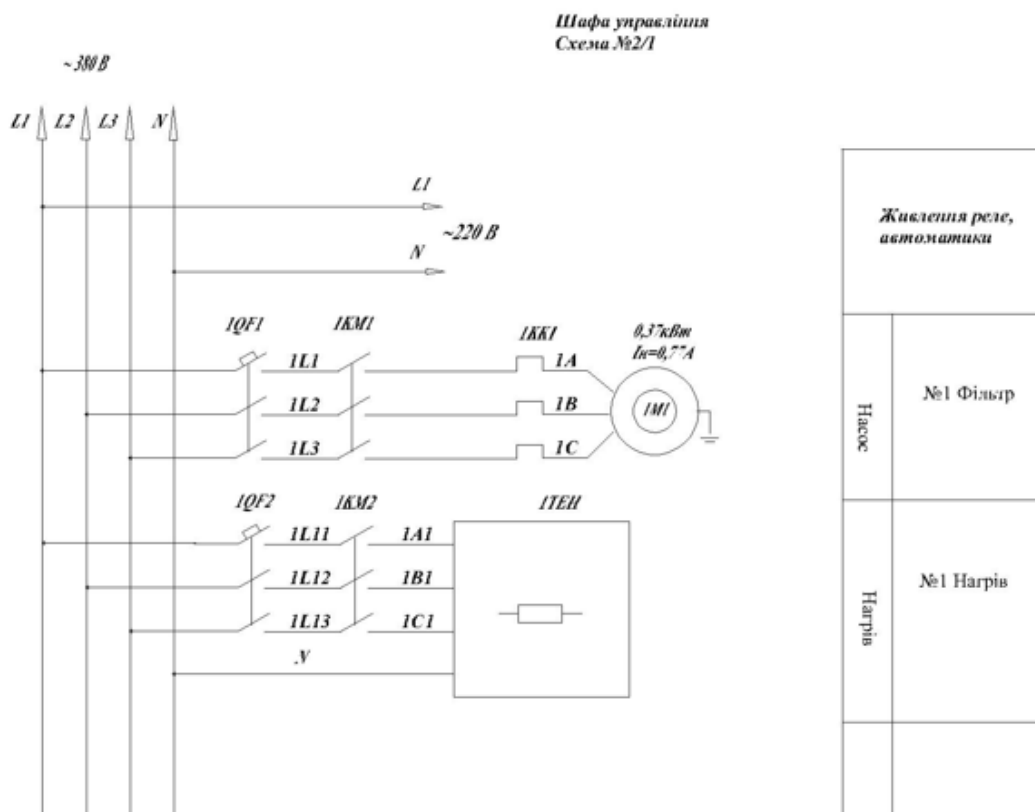


Рис. 5.8 Фрагмент схеми електричної спряження

В данній схемі живлення напруга з шин 380в передається на автоматичний вимикач відображений в схемі управління, та слугує для живлення приладів, реле, та засобів автоматичного управління.

Напруга з шин 380в поступає на автоматичний вимикач, підібраний з урахуванням номінального струму двигуна 1М1. Ввімкнення двигуна відбувається за допомогою трифазного контактора 1КМ1, та проходячи через реле теплового захисту потрапляє на обмотки двигуна. Реле теплового захисту допоміжним контактом вимикає контактор 1КМ1 в схемі управління

в разі перевищення споживаного струму двигуна на 30% вище номінального протягом 3-5 сек.

Включення електронагрівачів здійснюється за допомогою контактора 1КМ2, через автоматичний вимикач, що слугує для захисту електронагрівачів від короткого замикання.

Аналогічно проводимо розробку електричної схеми спряження для інших ванн враховуючи електромеханізми що обслуговують ці ванни.

Повні електричні схеми спряження наведені в графічній частині роботи.

### 3.6 Розробка та опис схеми електричної принципової автооператорів

Автооператори здійснюють захоплення та переміщення підвісок з деталями. Кожен автооператор має окремі двигуни переміщення по горизонтальній осі вздовж автоматизованої лінії, та вертикального переміщення для захоплення та піднімання (опускання) підвісок.

Враховуючи що автооператори мають ідентичну схему управління, та відрізняються лише на програмному рівні, розглянемо роботу одного з них:

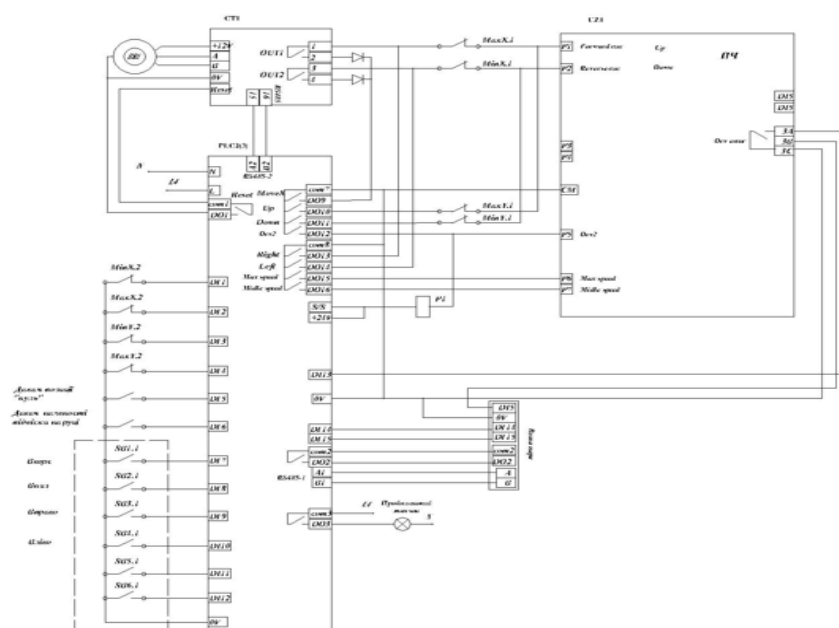


Рис. 3.9 Схема електрична принципова управління автооператором

Основою системи керування автооператором є ПЛК в програмі якого закладений алгоритм роботи. Тож проектування схеми зводиться до приєднання зовнішніх датчиків та виконавчих пристроїв до дискретних входів-виходів ПЛК. До дискретних входів DI1...DI6 приєднані кінцеві датчики контактної типу, що обмежують рух відповідних механізмів позаддовжнього та вертикального переміщення, для запобігання виїзду автооператора за межі робочого простору. Також присутні датчики наявності підвіски на руці автооператора, датчик нульового положення, що слугує для калібрування положення автооператора відносно початку горизонтальної осі. До дискретних входів DI7...DI12 приєднуються контакти реле приймача пульта дистанційного управління. До виходу DO1 приєднано виводи Reset для скидання значень лічильника імпульсів СТ1 в процесі калібрування положення автооператора. До дискретних виходів DO9...DO16 ПЛК під'єднано частотний перетворювач, що регулює швидкість двигуна в процесі горизонтального та вертикального переміщення автооператора, який в свою чергу керує мотор-редукторами електроприводів переміщення (див. в схемі електричній спряжені).

В процесі пересування автооператора, та пристрою захоплення підвісок з деталями, подається миготливий світловий сигнал проблисковим маячком приєднаним до виходу DO3 ПЛК.

ПЛК автооператора використовує два порти мережі RS-485. Порт 1 використовується для обміну інформацією з головним ПЛК, що здійснює управління технологічним процесом, та задає координати та команди на переміщення автооператора. Порт 2 RS485 використовується для отримання інформації з лічильника імпульсів СТ1, до якого приєднаний енкодер BR1.

Перемикання горизонтального та вертикального приводів здійснюється перемиканням контактів реле P1.

Електрична схема спряження показана на рис. 3.10

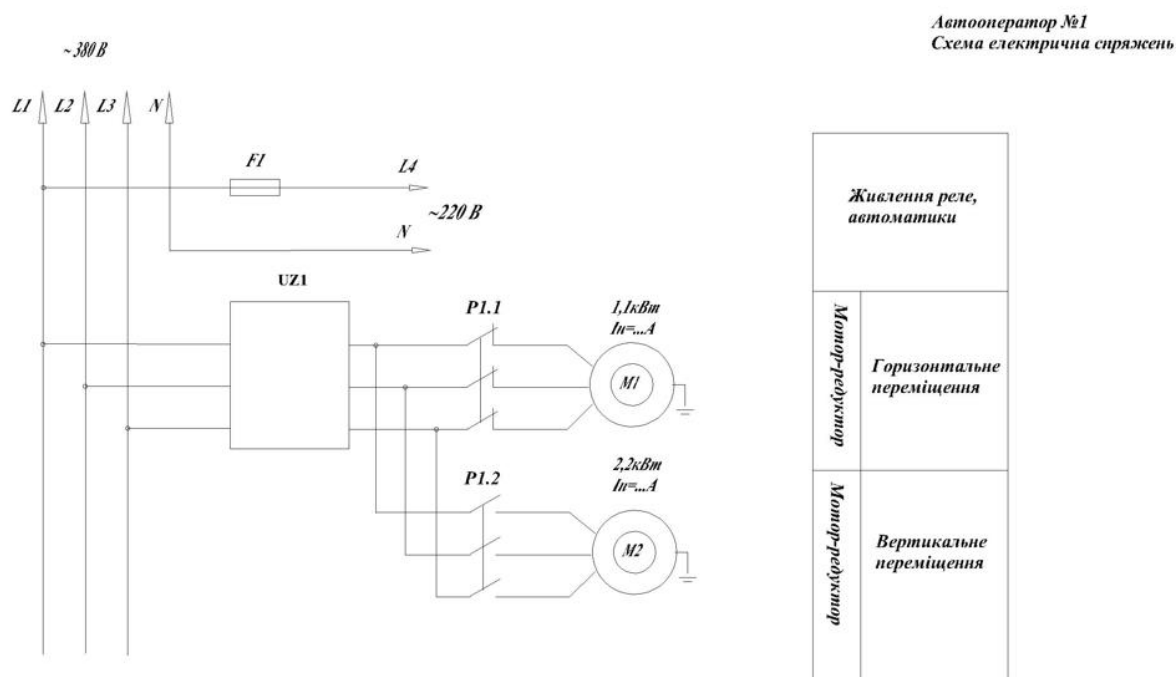


Рис. 3.10 Схема електрична спряження автооператора

Дана схема містить запобіжник для захисту живлення пристроїв схеми управління, та частотний перетворювач що приєднаний до шин 380в, та здійснює керування двигунами мотор-редукторів горизонтального та вертикального переміщення. Переключення двигунів здійснюється силовим реле P1.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок технологічного процесу нагрівання електролітів

Враховуючи що технологічні процеси в гальванічних ваннах проходять за умов підвищеної температури, проведемо розрахунок нагрівачів, що підігрівають електроліти до необхідної температури для здійснення тех.процесу

Теоретичні данні:

Кількість теплоти, необхідної на розігрів.

Кількість теплоти, необхідної для розігрівання розчину до робочої температури, визначаємо за формулою:

$$Q_{роз}^{p-n} = C \cdot m_{ел-та} \cdot (t_{кін} - t_{поч}) \quad (4.1)$$

де  $C$  - питома теплоємність електроліту, кДж/(кг·К);

$m_{ел-та}$  - маса електроліту, кг;

$t_{поч}$ ,  $t_{кін}$  - початкова і кінцева температури електроліту.

Питома теплоємність електроліту знаходиться за формулою:

$$C_{P-PA} = C_1 \cdot \omega_1 + C_2 \cdot \omega_2 + \dots + C_i \cdot \omega_i \quad (4.2)$$

Або ж беруться з довідкових експериментально встановлених даних. Так, для електролітів електрохімічного знежирення питома теплоємність приймається рівною 4,570 , для електролітів хімічного знежирення 4,187 кДж/(кг·К) відповідно.

Лінійні розміри ванни хімічного знежирення – 1250x1050x660x12 мм;

Висота заповнення ванни електролітом – 1000 мм;



Густина розчину –  $1074 \text{ кг/м}^3$  за температури  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Об'єм розчину –  $0,825 \text{ м}^3$ ;

Маса розчину –  $886,05 \text{ кг}$ ;

Початкова і робоча температура електроліту –  $18$  і  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  відповідно;

$$Q_{роз}^{р-н} = 4,570 \cdot 886,05 \cdot (65 - 18) = 190314,7 \text{ кДж}$$

Кількість теплоти, необхідної для розігріву корпусу ванни, визначається за формулою:

$$Q_{роз}^{корп} = C_k \cdot m_{корп} \cdot (t_{кін} - t_{поч}) \quad (4.3)$$

де  $C_k$  – питома теплоємність поліпропілену,  $1,93 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;

$m_{корп}$  – маса корпусу ванни,  $\text{кг}$ ;

$t_{поч}$  і  $t_{кон}$  – початкова і кінцева температури корпусу ванни (відповідно становить  $18$  і  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Матеріал ванни – поліпропілен, товщина –  $12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , густина поліпропілену –  $910 \text{ кг/м}^3$ .

$$m_{корп} = F_{ст} \cdot \delta_{ст} \cdot \rho_{ст} + F_{дн} \cdot \delta_{дн} \cdot \rho_{дн} \quad (4.4)$$

де  $\delta$  – товщина стінки (ізоляції) ванни,  $\text{м}$ ;  $\rho$  – густина матеріалу стінки (ізоляції) ванни,  $\text{кг/м}^3$   $F_{ст}$  і  $F_{дн}$  – площа поверхні стінок і дна ванни,  $\text{м}^2$ .

$$m_{корп} = 4,01 \cdot 0,012 \cdot 910 = 52,8 \text{ кг}$$

$$Q_{роз}^{корп} = 1,93 \cdot 52,8 \cdot (65 - 18) = 3973,1 \text{ кДж}$$

Втрати теплоти на випаровування води через дзеркало ванни.

Визначення кількості теплоти для компенсації втрат під час випаровування та конвекції води дзеркалом електроліту знежирення:

$$Q_{\text{втр}}^{\text{дзер}} = Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вип}} + Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{конв+випром}} \quad (4.5)$$

Встановимо втрати тепла за рахунок конвекції та випромінювання за формулою:

$$Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{конв+випром}} = \alpha \cdot S \cdot \Delta t \quad (4.6)$$

де  $\alpha$  – загальний коефіцієнт тепловіддачі – 10 Вт/м<sup>2</sup>·С;

$S$  – площа дзеркала розчину м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – різниці температури розчину і навколишнього середовища, °С.

$$Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{конв+випром}} = 10 \cdot 0,825 \cdot 47 = 387,75 \text{ Вт/сек або } 1395,9 \text{ кДж/год}$$

Знайдемо втрати тепла за рахунок випаровування води електроліту знежирення:

$$Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вип}} = m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вип}} \cdot R \quad (4.7)$$

де  $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вип}}$  – маса води, що випарувалася (за середньої температури 27,5 °С) 0,734 кг;

$R$  – питома теплота пароутворення води 2431,25 кДж

$$Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вип}} = 0,734 \cdot 2431,25 = 1784,54 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{втр}}^{\text{дзер}} = 1395,9 + 1784,54 = 3180,44 \text{ кДж}$$

Визначення втрат теплоти через стінки гальванічної ванни.

Встановлення кількості теплоти яку необхідно компенсувати за рахунок втрат через стінки ванни визначається за формулою:

$$Q_{\text{втр}}^{\text{стінка}} = F_1 \cdot g_1 \quad (4.8)$$

де  $F_1$  – площа поверхня стінок і дна ванни, м<sup>2</sup>;  $g_1$  - втрати теплоти з 1 м<sup>2</sup> площі поверхні становить – 690,5 кДж/(м<sup>2</sup>·год).

$$Q_{втр}^{стінка} = 4,84 \cdot 690,5 = 3339,26 \text{ кДж} / \text{год}$$

Визначимо загальну кількість теплоти, необхідну на розігрів.

$$Q_{роз}^{\Sigma} = Q_{роз}^{p-n} + Q_{роз}^{корп} + Q_{H2O}^{вип} + Q_{втр}^{дзер} + Q_{втр}^{стінка} \quad (4.9)$$

$$Q_{роз}^{\Sigma} = 190314,7 + 3973,11 + 1784,54 + 3180,44 + 3339,26 = 202592,02 \text{ кДж}$$

Визначимо потужність нагрівачів для розігріву ванни за формулою:

$$N = Q_{роз}^{\Sigma} / \tau \cdot \eta \quad (4.10)$$

де  $Q_{роз}^{\Sigma}$  – кількість теплоти, необхідної для розігріву ванни з робочим розчином, кДж;  $\tau$  – час нагріву (12 годин), с;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії (не нижче 0,95).

$$N = 202592,02 / (43200 \cdot 0,95) = 4,94 \approx 5 \text{ кВт}$$

Визначення втрат теплоти за рахунок підвісок і деталей.

Розраховуємо кількість теплоти, що витрачається на підвісках з деталями за формулами:

$$Q_{дет} = C_{дет} \cdot m_{дет} \cdot \Delta t \cdot K \quad (4.11)$$

$$Q_{підв} = C_{підв} \cdot m_{підв} \cdot \Delta t \cdot K \quad (4.12)$$

де  $C$  – питома теплоємність матеріалу деталей (0,46) і підвіски (1,93), кДж/(кг·К) відповідно;  $m$  – маса деталей і підвіски (практично встановлені величини), кг;  $K$  – коефіцієнт завантаження рівний 5;

$$m_{дет} = 57,6 \text{ кг}$$

$$m_{підв} = 9,45 \text{ кг}$$

$$Q_{дет} = 0,46 \cdot 57,6 \cdot (65 - 18) \cdot 5 = 6226,56 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{подс}} = 1,93 \cdot 9,45 \cdot (65 - 18) \cdot 5 = 4286,05 \text{ кДж}$$

### **Розрахунок ванн електрохімічного хімічного знежирення та покриття.**

Враховуючи однакові розміри ванн, та незначну різницю в густині електроліту у ваннах цих техпроцесів, проведемо розрахунки для ванни ел.хімічного покриття, та застосуємо отримані результати для ванни ел.хім знежирення.

Усі розрахунки здійснюємо у відповідності до теоретичних даних, викладених у пункті 4.1.

Лінійні розміри ванни ел.хім.знежирення та покриття – 1625x1050x1250x12 мм;

Висота заповнення ванни електролітом – 1000 мм;

Густину розчину приймемо – 1190 кг/м<sup>3</sup> за температури 20 °С

Питома теплоємність розчину електрохімічного знежирення – 4,04кДж/(г\*К);

Питома теплоємність розчину електрохімічного нікелювання – 4,14 кДж/(г\*К);

що дозволяє проводити розрахунки для ванн нікелювання, та застосувати отримані результати для ванни ел.хім.знежирення.

Об'єм розчину – 2,03 м<sup>3</sup>;

Маса розчину – 2417,20 кг;

Початкова і робоча температура електроліту – 18 і 65 °С відповідно;

$$Q_{\text{роз}}^{p-n} = 4,14 \cdot 2417,2 \cdot (65 - 18) = 470336,34 \text{ кДж}$$

$$m_{\text{корп}} = 8,07 \cdot 0,012 \cdot 910 = 88,1 \text{ кг}$$

$$Q_{\text{роз}}^{\text{корп}} = 1,93 \cdot 88,1 \cdot (65 - 18) = 7992,53 \text{ кДж}$$

Втрати теплоти на випаровування води через дзеркало ванни.

$$Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{конв+випром}} = 10 \cdot 2,03 \cdot 47 = 954,69 \text{ Вт / сек або } 3436,88 \text{ кДж/год}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{вип}} = 0,734 \cdot 2431,25 = 1784,54 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{втр}}^{\text{дзер}} = 3436,88 + 1784,54 = 5221,41 \text{ кДж}$$

Визначення втрат теплоти через стінки гальванічної ванни.

$$Q_{\text{втр}}^{\text{стінка}} = 8,07 \cdot 690,5 = 5571,47 \text{ кДж / год}$$

Визначимо загальну кількість теплоти, необхідну на розігрів.

$$Q_{\text{роз}}^{\Sigma} = 470336,34 + 7992,53 + 1784,54 + 5221,41 + 5571,47 = 490906,29 \text{ кДж}$$

Визначимо потужність нагрівачів для розігріву ванни за формулою 4.10:

$$N = 490906,29 / (43200 \cdot 0,95) = 11,96 \approx 12 \text{ кВт}$$

Підбираємо три електричних ТЕНи номінальної потужності 4 кВт кожен із робочою напругою – 220/380 В.

### **Розрахунок ванн хімічного травлення.**

Усі розрахунки здійснюємо у відповідності до теоретичних даних, викладених у пункті 5.1.

Лінійні розміри ванни хімічного травлення – 1250x1050x660x12 мм;

Висота заповнення ванни електролітом – 1000 мм;

Густина розчину – 1098 кг/м<sup>3</sup> за температури 20 °С (С(НСІ)= 200 г/дм<sup>3</sup>);

Питома теплоємність розчину хімічного травлення – 2,99 кДж/(г\*К);

Об'єм розчину – 0,825 м<sup>3</sup>;

Маса розчину – 905,9 кг;

Початкова і робоча температура електроліту – 20 і 40 °С відповідно (згідно технологічної карти процесу);

$$Q_{роз}^{p-n} = 2,99 \cdot 905,9 \cdot (40 - 20) = 54169,83 \text{ кДж}$$

$$m_{корн} = 4,84 \cdot 0,012 \cdot 910 = 52,8 \text{ кг}$$

$$Q_{роз}^{корн} = 1,93 \cdot 52,8 \cdot (40 - 20) = 2038,43 \text{ кДж}$$

Втрати теплоти на випаровування води через дзеркало ванни.

$$Q_{H_2O}^{конв+випром} = 10 \cdot 0,825 \cdot 20 = 165 \text{ Вт / сек} \text{ або } 594 \text{ кДж/год}$$

$$Q_{H_2O}^{вип} = 0,734 \cdot 2431,25 = 1784,54 \text{ кДж}$$

$$Q_{втр}^{\partial зер} = 594 + 1784,54 = 2378,54 \text{ кДж}$$

Визначення втрат теплоти через стінки гальванічної ванни.

$$Q_{втр}^{стінка} = 4,84 \cdot 690,5 = 3339,26 \text{ кДж / год}$$

Визначимо загальну кількість теплоти, необхідну на розігрів.

$$Q_{роз}^{\Sigma} = 54169,83 + 2038,43 + 1784,54 + 2378,54 + 3339,26 = 63710,6 \text{ кДж}$$

Визначимо потужність нагрівачів для розігріву ванни за формулою 5.10:

$$N = 63710,60 / (43200 \cdot 0,95) = 1,55 \approx 2,0 \text{ кВт}$$

Підбираємо електричний ТЕН номінальної потужності 2,0 кВт із робочою напругою – 220/380 В.

Визначення втрат теплоти за рахунок підвісок і деталей.

$$m_{дет} = 57,6 \text{ кг}$$

$$m_{\text{підв}} = 9,45 \text{ кг}$$

$$Q_{\text{дем}} = 0,46 \cdot 57,6 \cdot (40 - 20) \cdot 5 = 2649,6 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{підв}} = 1,93 \cdot 9,45 \cdot (40 - 20) \cdot 5 = 1823,85 \text{ кДж}$$

## 4.2 Розрахунок технологічного процесу перемішування електролітів

### Розрахунок насосу хімічного знежирення.

Об'єм електроліту хімічного знежирення становить –

$$1,25 \cdot 0,66 \cdot 1 = 0,825 \text{ м}^3.$$

Необхідною умовою отримання якісних покриттів є багатократна зміна робочого об'єму розчинів під час їх фільтрації та циркуляції. Приймаємо значення 10 об'ємів за 1800 секунд.

Витрата розчину електроліту хімічного знежирення  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ , розраховується за формулою:

$$Q = 10 \frac{V}{\tau} \quad (4.13)$$

де  $V$  – об'єм ванни,  $\text{м}^3$ ;  $\tau$  – час циркуляції одного об'єму розчину.

$$Q = 10 \cdot \frac{0,825}{1800} = 4,58 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Насос циркуляції електроліту знаходиться безпосередньо біля ванни хімічного знежирення тому втрати напору лінії всмоктування і нагнітання будуть незначними. Прийmemo їх рівними  $h_{\text{п}} - 1 \text{ м}$ .

Знайдемо значення необхідного напору враховуючи те, що висота геометричного підйому рідини повинна становити не менше  $H_{\text{г}} - 2 \text{ м}$ .

Необхідний напір насоса розраховується за формулою:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + H_{\text{г}} + h_{\text{п}} \quad (4.14)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – тиск в апараті у який подається розчин і тиск з якого здійснюється викачування. У нашому випадку це одна і таж ванна, а значить  $P_1 = P_2 = 1$  атм;  $\rho$  – густина розчину хімічного знежирення

$$\rho = 1074 \text{ кг/м}^3;$$

$H_f$  – висота геометричного підйому;

$h_{\text{п}}$  – загальні втрати напору під час циркуляції.

$$H = \frac{1-1}{1074 \cdot 9,81} + 2 + 1 = 3 \text{ м}$$

Корисна потужність насоса  $N_n$ , Вт, визначаємо за формулою:

$$N_n = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (4.15)$$

$$N_n = 1074 \cdot 9,81 \cdot 4,58 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 145 \text{ Вт}$$

Потужність електродвигуна  $N$ , Вт, розраховується за формулою:

$$N = \frac{N_n}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{пер}}} \quad (4.16)$$

де  $\eta_{\text{п}}$  – коефіцієнти корисної дії насоса;  $\eta_{\text{пер}}$  – коефіцієнти корисної дії передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо  $\eta_{\text{п}} = 0,8$  і  $\eta_{\text{пер}} = 1$  для відцентрового насоса.

$$N = \frac{145}{0,8 \cdot 1} \approx 181,1 \text{ Вт}$$

### **Розрахунок насосу ванни електрохімічного знежирення.**

Об'єм електроліту електрохімічного знежирення становить –

$$1,25 \cdot 1,625 \cdot 1 = 2,03 \text{ м}^3.$$

Густина розчину електрохімічного знежирення –  $1140 \text{ кг/м}^3$ .

Усі розрахунки насосу електрохімічного знежирення здійснюється за допомогою формул, що наведені у розділі 4.2



Визначаємо витрату розчину електроліту хімічного знежирення.

$$Q = 10 \cdot \frac{2,03}{1800} = 11,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Встановлюємо значення необхідного напору насосу з врахуванням, що втрати лінії всмоктування і нагнітання  $h_n = 1$  м, а геометричний підйом рідини  $H_r = 2$  м.

$$H = \frac{1-1}{1140 \cdot 9,81} + 2 + 1 = 3 \text{ м}$$

Корисна потужність насоса  $N_n$ , Вт, визначаємо згідно формули 4.15.

$$N_n = 1140 \cdot 9,81 \cdot 11,28 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 379 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність електродвигуна  $N$ , Вт.

$$N = \frac{379}{0,8 \cdot 1} \approx 473,3 \text{ Вт}$$

### **Розрахунок насосу ванн хімічного травлення та активації.**

Об'єм електроліту хімічного травлення становить –

$$1,25 \cdot 0,66 \cdot 1 = 0,825 \text{ м}^3.$$

Густина розчину хімічного травлення –  $1090 \text{ кг/м}^3$ .

Густина розчину хімічної активації –  $1045 \text{ кг/м}^3$ .

Враховуючи незначну різницю в величині густини розрахунки здійснюємо для ванн хімічного травлення, та застосовуємо для ванн хімічної активації

Усі розрахунки насосу хімічного травлення здійснюється за допомогою формул, що наведені у розділі 4.2.

Визначаємо витрату розчину хімічного травлення.

$$Q = 10 \cdot \frac{0,825}{1800} = 4,58 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Встановлюємо значення необхідного напору насосу з врахуванням, що втрати лінії всмоктування і нагнітання  $h_n = 1$  м, а геометричний підйом рідини  $H_r = 2$  м.

$$H = \frac{1-1}{1090 \cdot 9,81} + 2 + 1 = 3 \text{ м}$$

Корисна потужність насоса  $N_n$ , Вт, визначаємо згідно формули 4.15.

$$N_n = 1090 \cdot 9,81 \cdot 4,58 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 147 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність електродвигуна  $N$ , Вт.

$$N = \frac{147}{0,8 \cdot 1} \approx 183,8 \text{ Вт}$$

### **Розрахунок насосів ванн електрохімічного міднення та нікелювання.**

Об'єм електроліту електрохімічного міднення чи нікелювання становить –

$$1,25 \cdot 1,625 \cdot 1 = 2,03 \text{ м}^3.$$

Густина розчину електрохімічного міднення та нікелювання –  $1190 \text{ кг/м}^3$ .

Усі розрахунки насосів електрохімічного нікелювання здійснюється за допомогою формул, що наведені у розділі 4.2.

Визначаємо витрату розчину електрохімічного нікелювання.

$$Q = 10 \cdot \frac{2,03}{1800} = 11,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Встановлюємо значення необхідного напору насосу з врахуванням, що втрати лінії всмоктування і нагнітання  $h_n = 1$  м, а геометричний підйом рідини  $H_r = 2$  м.

$$H = \frac{1-1}{1190 \cdot 9,81} + 2 + 1 = 3 \text{ м}$$

Корисна потужність насоса  $N_n$ , Вт, визначаємо згідно формули 4.15

$$N_n = 1190 \cdot 9.81 \cdot 11,28 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 395 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність електродвигуна  $N$ , Вт.

$$N = \frac{395}{0,8 \cdot 1} \approx 494,0 \text{ Вт}$$

Враховуючи вище зазначені розрахунки здійснюємо підбір насосу для забезпечення необхідної продуктивності –  $Q$  і висоти підйому рідини  $H$  усіх робочих ванн автоматичної лінії нікелювання деталей вибираємо відцентрові насоси ІВАКІ серія «MD-F» з максимальною продуктивністю  $Q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  і напором  $H = 14,3 \text{ м}$ .

#### **4.3 Розрахунок кількості автооператорів автоматизованої лінії гальванічного покриття.**

Кількість автооператорів лінії визначається за формулою:

$$N = \frac{K \cdot \tau \cdot \alpha}{R} \quad (4.17)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який враховує зворотні та непродуктивні переміщення автооператора.

Для автоматичних ліній, що працюють по циклограмі,  $K = 1,5$ ;

$\tau$  – загальний час роботи автооператора, хв.

$$\tau = \tau_g + \tau_r \quad (4.18)$$

де  $\tau_b$  і  $\tau_r$  – загальний час горизонтальних та вертикальних переміщень автооператора, хв.;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує час простоювання автооператора з підвіскою над ванною  $\alpha = 1,6-1,7$ .

$$\tau_r = \frac{l_{cp} \cdot m}{V_r} \quad (4.19)$$

де  $l_{cp}$  – середнє значення між центрами сусідніх ванн;  
 $m$  – кількість ванн в лінії;  
 $V_r$  – швидкість горизонтального переміщення автооператорів, ( $V_r=0,16$  м/с).

$$\tau_s = \frac{2H \cdot m}{V_B} \quad (4.20)$$

де  $H$  – висота підймання підвіски – 1 м;  
 $V_B$  – швидкість вертикального переміщення автооператора, ( $V_B=0,1$  м/с).

$$l_{cp} = \sum l_n \frac{1}{n}$$

де  $n$  – кількість типів ванн з різною шириною.

$$l_{cp} = \frac{(0,66/2 + 1,625/2 + 0,06) + (0,66/2 + 0,53/2 + 0,06) + (1,625/2 + 0,53/2 + 0,06)}{3} \approx 1,0 \text{ м}$$

Визначаємо значення тривалості горизонтальних переміщень автооператора:

$$\tau_r = \frac{1 \cdot 17}{0,16} = 106,1 \text{ хв}$$

Визначаємо значення тривалості вертикальних переміщень автооператора:

$$\tau_s = \frac{2 \cdot 1 \cdot 17}{0,1} = 340 \text{ хв}$$

Визначаємо загальний час вертикальних та горизонтальних переміщень

$$\tau = 106,1 + 340 = 446,1 \text{ хв}$$

Встановлюємо кількість автооператорів:

$$N = \frac{1,5 \cdot 446,1 \cdot 1,7}{1308} = 1,68 \approx 2,00$$

Необхідна кількість автооператорів рівна – 2 шт.

Тривалість технологічних процесів при нікелюванні деталей наведена в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Тривалість процесів нікелювання контактної планки

№ п/п	Найменування технологічної операції	Тривалість тех. операції, хв.	К-сть підвісок, п шт	Час верт. і горз. переміщень, хв.*
1	Електрохімічне знежирення	6	3	1,63
2	Вловлювання розчину знежирення	0,5	3	1,63
3	Промивка (душ)	0,5	1	10,8
4	Травлення	6	3	1,63
5	Вловлювання розчину травлення	0,5	3	1,63
6	Промивка (душ)	0,5	1	10,8
7	Нікелювання	10	3	1,63
8	Вловлювання розчину нікелювання	0,5	3	1,63
9	Промивка (душ)	0,5	1	10,8
	Σ	25	21	42,18

\* – час вертикального і горизонтального переміщення автооператора у випадку якщо на сусідніх ваннах к-сть підвісок  $n = 3$  шт. приймаємо рівною  $\tau_1 \Sigma = (3(2\tau_b + 2\tau_r)) = 3(2(1/0,1/60 + 1/0,16/60)) = 1,63$  хв., якщо на сусідніх ванна  $n_1 = 3$  шт. і  $n_2 = 1$  шт. то  $\tau_2 \Sigma = (6 \cdot 1,63 + 4(1/0,1/60 + 1/0,16/60)) = 10,8$  хв.

## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розробка алгоритму керуючої програми головного ПЛК автоматизованої системи керування лінією гальванічного покриття.

При розробці алгоритму керуючої програми враховуємо що робота лінії гальванічного покриття може відбуватися в одному з трьох режимів.

- Ручний
- Напіваавтоматичний
- Автоматичний

В ручному режимі роботи, тех. процеси в ваннах не відбуваються, а управління автооператорами здійснюється за допомогою пультів дистанційного управління.

Це корисно в разі необхідності переміщення автооператора в місце парковки при несправностях, або необхідності використання лише одного автооператора в технологічному процесі.

В напіваавтоматичному режимі переміщення автооператорів відбувається за попередньо заданими координатами ванн. Автооператор отримує координати ванн, робить один цикл переміщення підвіски, та очікує слідкуючої команди з координатами комірок. По завершенні циклу переміщення виконавчим механізмам присвоюються параметри тех.процесу, та дається команда на проведення тех. процесу. По завершенні комірка отримує статус Ready, що свідчить про завершення тех. процесу та готовності до транспортування підвіски.

В автоматичному режимі відбувається автоматичне перенесення підвісок згідно заданої послідовності, з виконанням тех. процесів в кожній необхідній ванні.

Роботу алгоритму розглянемо за допомогою блок-схеми алгоритму що наведена в графічній частині роботи.

При ввімкненні ручного режиму роботи, програма обнулює координати попереднього переміщення та передає управління в ПЛК автооператора, для здійснення керування з пульта дистанційного управління.

В напівавтоматичному режимі роботи Працюючий автооператор переходить в режим паузи, обнулює координати заданого переміщення, отримує нові координати комірки для циклу захоплення, транспортування та опускання підвіски з деталями у цільову комірку. В автооператор також може подаватися команда на калібрування відносно давачів Холла, що встановлені на початку та в кінці технологічної лінії.

При включенні автоматичного режиму роботи автооператор переходить в режим “Стоп”, та обнуляє попереднього задані данні координат для переміщення. Керуюча програма по чергово здійснює аналіз статусу ванн (On, Empty, Full, Ready). При наявності вільної комірки (Empty), та другої комірки з завершеним тех. процесом (Ready), координати комірок передаються в автооператор. При роботі двох автооператорів проводиться аналіз координат, та відповідні данні передаються автооператору 1 або 2.

Якщо автооператор має статус (Ready) подається команда на виконання алгоритму циклу захоплення, переміщення та опускання підвіски у ванни.

Алгоритм циклу переміщення заданий в програмі ПЛК автооператора. З головного ПЛК передаються лише данні координат, та команда на переміщення.

При надходженні сигналу з ПЛК автооператора про завершення циклу переміщення, цільова комірка змінює свій статус на Full, встановлюються данні величини струму випрямлячів (якщо це комірка ел.хім.процесів) та тривалості тех. процесу. Подається команда на включення випрямлячів, чи

клапанів душової промивки, та починається процес зворотнього відліку часу завершення тех. процесу.

Враховуючи зміну статусу комірки на Full, під-час чергового аналізу комірок, данна комірка пропускається як така, що є заповнена.

По завершенні тех. процесів проходить команда на вимкнення випрямлячів, чи клапанів душової промивки, комірка змінює свій статус на Ready, що буде враховано при черговому аналізі статусів комірок.

## 5.2 Розробка керуючої програми для ПЛК “Овен СПК207”

Розробка керуючої програми здійснюється в середовищі Codesys 3.5 з попереднім встановленням бібліотек та Target- файлів.

Розробку програми управління починаємо з задання параметрів зв'язку з автооператором 1 та присвоєння змінних.

Канали						
Переменная	Соотнесение	Канал	Адрес	Тип	Единица	Описание
		rCommand	%QW0	ARRAY [0..3] OF WORD		Write MultipleRegisters
Application.fAutoo...		rCommand[0]	%QW0	WORD		WRITE 16#0000 (=000...
		Bit0	%QX0.0	BOOL		
		Bit1	%QX0.1	BOOL		
		Bit2	%QX0.2	BOOL		
		Bit3	%QX0.3	BOOL		
		Bit4	%QX0.4	BOOL		
		Bit5	%QX0.5	BOOL		
		Bit6	%QX0.6	BOOL		
		Bit7	%QX0.7	BOOL		
		Bit8	%QX1.0	BOOL		
		Bit9	%QX1.1	BOOL		
		Bit10	%QX1.2	BOOL		
		Bit11	%QX1.3	BOOL		
		Bit12	%QX1.4	BOOL		
		Bit13	%QX1.5	BOOL		
		Bit14	%QX1.6	BOOL		
		Bit15	%QX1.7	BOOL		
Application.fAutoo...		rCommand[1]	%QW1	WORD		WRITE 16#0001 (=000...
Application.fAutoo...		rCommand[2]	%QW2	WORD		WRITE 16#0002 (=000...
		rCommand[3]	%QW3	WORD		WRITE 16#0003 (=000...
		ReadStatPos	%IW0	ARRAY [0..3] OF WORD		Read Holding Registers
Application.fAutoo...		ReadStatPos[0]	%IW0	WORD		READ 16#0004 (=00004)
		ReadStatPos[1]	%IW1	WORD		READ 16#0005 (=00005)
Application.fAutoo...		ReadStatPos[2]	%IW2	WORD		READ 16#0006 (=00006)
Application.fAutoo...		ReadStatPos[3]	%IW3	WORD		READ 16#0007 (=00007)

Рис.5.1 Створення зв'язку з автооператором по мережі ModBus



Після налагодження параметрів зв'язку та присвоєння змінних, пишемо програму ручного управління автооператором. Лістинг код наведений нижче у лістингу 5.1

```
ManualOn(CLK:=(fMode = fManual));

IF ManualOn.Q THEN // тригер включення ручного режиму

    fAutooperator[1].fCommand := fManual;

    fAutooperator[1].bPause := FALSE;

    iPos_semi := 0;

    iPos_semi_to := 0;

    iPos_manual := 0;

    iPos_auto := 0;

END_IF;
```

#### Лістинг 5.1 Підпрограма ручного керування автооператором 1

В данній програмі фіксуємо натискання кнопки Manual 1 на панелі контролера, обнулюємо значення координат положення автооператора, та передаємо команду ручного управління в ПЛК автооператора. Подальше управління здійснюється з пульта дистанційного управління автооператором, алгоритм управління буде розглянуто при розробці програми для ПЛК автооператора.

#### Пишемо код напівавтоматичного керування автооператором 1

```
SemiAutoOn(CLK:=(fMode = fSemiAuto));

    IF SemiAutoOn.Q THEN // тригер паузи при включенні
напів-автоматичного режиму//

        fAutooperator[1].bPause := TRUE;
```

```
fAutooperator[1].fCommand := 0;

SetCommand := fCommand;

bSendCommand := TRUE;

    iPos_semi := 0;

    iPos_semi_to := 0;

    iPos_manual := 0;

    iPos_auto := 0;

    END_IF;

IF (fMode = fSemiAuto) THEN

    IF bStop1 THEN

        fAutooperator[1].fCommand := fStop;

        fAutooperator[1].bSemiGo := FALSE;

        fAutooperator[1].fStartMove := FALSE;

        fAutooperator[1].bSinhro := FALSE;

    END_IF;

    IF fAutooperator[1].bSinhro AND (fAutooperator[1].bPause =
FALSE) THEN

        fAutooperator[1].fStartMove := TRUE;

    END_IF;

    work();

IF (fAutooperator[1].bPause = FALSE) THEN

    IF (fAutooperator[1].bSemiGo) THEN

        fAutooperator[1].fFrom := bFrom;
```

```

        fAutooperator[1].fTo := fVanna[iPos_semi_to].iPosition +
iOffset;

        fAutooperator[1].fStartMove := TRUE;

    END_IF;

END_IF;

END_IF;

```

### Лістинг 5.2 Підпрограма напівавтоматичного керування.

В данній підпрограмі згідно блок-схеми алгоритму встановлюємо автооператор в режим паузи, обнулюємо змінні координат переміщення.

При наявності команди bSinhro автооператор виконує процес калібрування положення по горизонтальній осі.

При виконанні ROU “work” отримуємо координати переміщення задані на панелі СПК та передаємо їх в ПЛК автооператора. Якщо кнопка пауза неактивна, передаємо команду на переміщення автооператора.

Пишемо код автоматичного керування автооператором 1.

Частина коду наведена в лістингу 5.3

```

AutoOn (CLK:=(fMode = fAuto));

IF AutoOn.Q THEN // тригер включення автоматичного режиму

    fAutooperator[1].fCommand := 0;

    fAutooperator[1].bPause := TRUE;

    iPos_semi := 0;

    iPos_semi_to := 0;

    iPos_manual := 0;

```

```
        iPos_auto := 0;

END_IF;

IF (fMode = fAuto) THEN

    IF bStop1 THEN

        fAutooperator[1].fCommand := fStop;

        fAutooperator[1].fStartMove := FALSE;

    END_IF;

    work();

    IF (fAutooperator[1].bPause = FALSE) THEN

        IF ((fVanna[iPos].status = fFull) AND (fVanna[iPos].iType <>
1)) THEN // тригер включення режиму

            fAutooperator[1].fPreMoveNeed := TRUE;

        END_IF;

        IF (fVanna[iPos].status = fReady) THEN (* якщо позиція готова
то *)

            iFullCounter := 0;

            IF (iPos <= iCountMax - 3) THEN (* Не забирати із сушки!!!
<=*)

                fToPok1 := fVanna[iPos].iPok1 - iStep;

                IF (fVanna[fToPok1].status = fEmpty) THEN (* не класти в
заняту ванну*)

                    fAutooperator[1].fFrom := fVanna[iPos].iPosition +
iOffset; (* Звичайні ванни*)
```

```

        fAutooperator[1].fTo := fVanna[fToPokl].iPosition +
iOffset;

        fAutooperator[1].fPreMoveNeed := FALSE;

        fAutooperator[1].fStartMove := TRUE;

        ELSIF (((fVanna[fToPokl].status = fFull) OR
(fVanna[iPos].status = fReady)) AND (fVanna[fToPokl].iType = 1)
AND (fVanna[fToPokl].iShower > 3)) THEN (* якщо в ванні покриття
іде процес пропустити її *)

            iStep := iStep + 1;

            IF iStep > 3 THEN

                iStep := 0;

            END_IF;

```

### Лістинг 5.3 Код керування автооператором в автоматичному режимі управління

Повний код підпрограми наведений в архіві програми в додатку (див. додаток 9)

Розробка графічної частини коду.

Графічна частина коду пишеться у розділі visualization. Створюємо новий проект під назвою avtoVis, та створюємо графічні об'єкти. Відкриваємо вкладку властивостей кожного з об'єктів, та заповнюємо змінні, та їх властивості.

Загальний вигляд графічного інтерфейсу наведено на рис. 5.2

Рис. 5.2 Графічний інтерфейс програми

Для налаштування параметрів ванн, створюємо інший графічний інтерфейс під назвою ConfVanna.

Послідовність робіт аналогічна описаній вище.

Зовнішній вигляд графічного інтерфейсу наведено на рис.5.3

Рис. 5.3 Графічний інтерфейс налаштування параметрів тех. процесів.

Розроблений інтерфейс дозволяє вводити та налаштовувати параметри тех.процесів такі як тривалість техпроцесу, струми випрямлячів в ваннах ел.хім.покриття, тривалість душової промивки. Для кожного типу деталей параметри техпроцесу записуються в енергонезалежну пам'ять, та можуть бути викликані програмою при обробці кожного виду деталей окремо.

В цьому ж вікні знаходяться кнопки примусового калібрування автооператорів відносно давачів нульового положення по осі x.

### **5.3 Опис блок-схеми алгоритму управління автооператорами**

Розробку блок-схеми алгоритму автооператора проводимо враховуючи режими керування автооператором.

1. Ручний режим
2. Автоматичний режим циклічного виконання переміщення підвісок
3. Режим калібрування положення автооператора на осі x.

В ручному режимі роботи, автооператор керується сигналами на дискретних входах ПЛК, що надходять з реле приймача дистанційного управління.

При замиканні DI10 автооператор починає рух вліво. Час руху відповідає тривалості натискання кнопки “Рух Вліво” на пульті дистанційного управління, та обмежується кінцевим вимикачем, встановленим на рамі автооператора.

Процеси руху “Вправо”, “Вверх”, ”Вниз” відбуваються аналогічно, та обмежуються кінцевими вимикачами автооператора.

Процес калібрування нульового положення проходить наступним чином:

При отриманні команди FShgro за умови що автооператор не виконує інших завдань (має статус Ready) програма визначає напрямок руху, та включає

переміщення автооператора. При наближенні до давача нульового положення швидкість руху знижується до найменшого значення (швидкість1) та відбувається повільний рух автооператора повз давач нуля. При спрацюванні давача, автооператор зупиняється, лічильник імпульсів встановлюється на 0, та автооператору присвоюється статус Ready (готовий). Цей статус передається в головний ПЛК АСК, та використовується програмою для видачі подальших команд управління.

В автоматичному режимі роботи, автооператор виконує повний цикл переміщення перевантаження підвіски. Якщо автооператор має статус Ready, згідно отриманих координат визначає напрямок та відстань до цільової підвіски.

Якщо відстань перевищує 500мм, встановлюється третя (максимальна) швидкість переміщення, та автооператор здійснює рух до позиції захоплення підвіски. При відстанні до цільової позиції менше 50см швидкість знижується (швидкість2), та автооператор здійснює доїзд до цільової позиції.

При досягненні цільової позиції перевіряються координати, якщо вони відрізняються більш ніж на 10мм, автооператор здійснює рух в напрямку необхідному для компенсації відстанні відхилення на швидкості 1.

При досягненні цільової позиції переміщення вимикається, та вмикається рух руки автооператора вгору. Це дозволяє зробити захоплення підвіски, та її підйом на відстань обмежену шляховим кінцевим вимикачем. При спрацюванні вимикача вертикальне переміщення припиняється, та автооператор рухається в другу позицію для вивантаження підвіски. При досягненні цільової позиції, виконуються умови описані вище, та включається вертикальне переміщення руки вниз.

При спрацюванні шляхового вимикача рух руки вниз припиняється, та автооператору присвоюється статус Ready (готовий), що дозволяє програмі



основного ПЛК надати координати слідуючого переміщення та захоплення підвіски.

#### 5.4 Створення керуючої програми для ПЛК “Овен ПЛК110-32”

Код програми управління автооператорами пишемо в середовищі Codesys 2.3 що призначений для написання коду даного типу ПЛК. При написанні коду користуємося блок-схемою алгоритму роботи автооператора.

Враховуючи однаковий алгоритм роботи кожного з двох автооператорів пишемо програму керування для одного автооператора, та застосовуємо її для кожного з двох автооператорів.

Лістинг програми аналізу та перемикання режимів наведено нижче:

```

autoPosDINT := DWORD_TO_DINT(Counter);

IF fHandAlarmStop OR DrvError THEN

    Hand.Stop;

    fStatus := fStop;

ELSE

    IF (fCommand=fManual) THEN

        fTsecurity :=FALSE;

        fAlarmStop := FALSE;

        fStatus := fManual;

        manual();

    ELSE

        IF (fAlarmStop) THEN

            fStatus := fError;

        END_IF;

```

```
IF (fAlarmStop) AND (fCommand=fResume) THEN

    fAlarmStop := FALSE;

END_IF;

    main();

END_IF;

IF (fCommand=fOk) THEN

    fStatus := fReady;
```

#### Лістинг 5.4 Код аналізу та перемикання режимів роботи автооператора

В даному коді перетворюємо тип змінну координат на DINT, перевіряємо чи автооператор не знаходиться в стані аварії, якщо поступає команда на ручне управління переходимо до підпрограми ручного управління. У випадку надходження команди на калібрування fSinhro, чи команди на автоматичне виконання циклу перевантаження підвісок, переходимо до підпрограми main, де описаний код виконання алгоритму дій відповідних команд.

Команди виконання калібрування, та циклічного перевантаження підвісок написані на мові SFC, та частково наведені на рис. 5.4

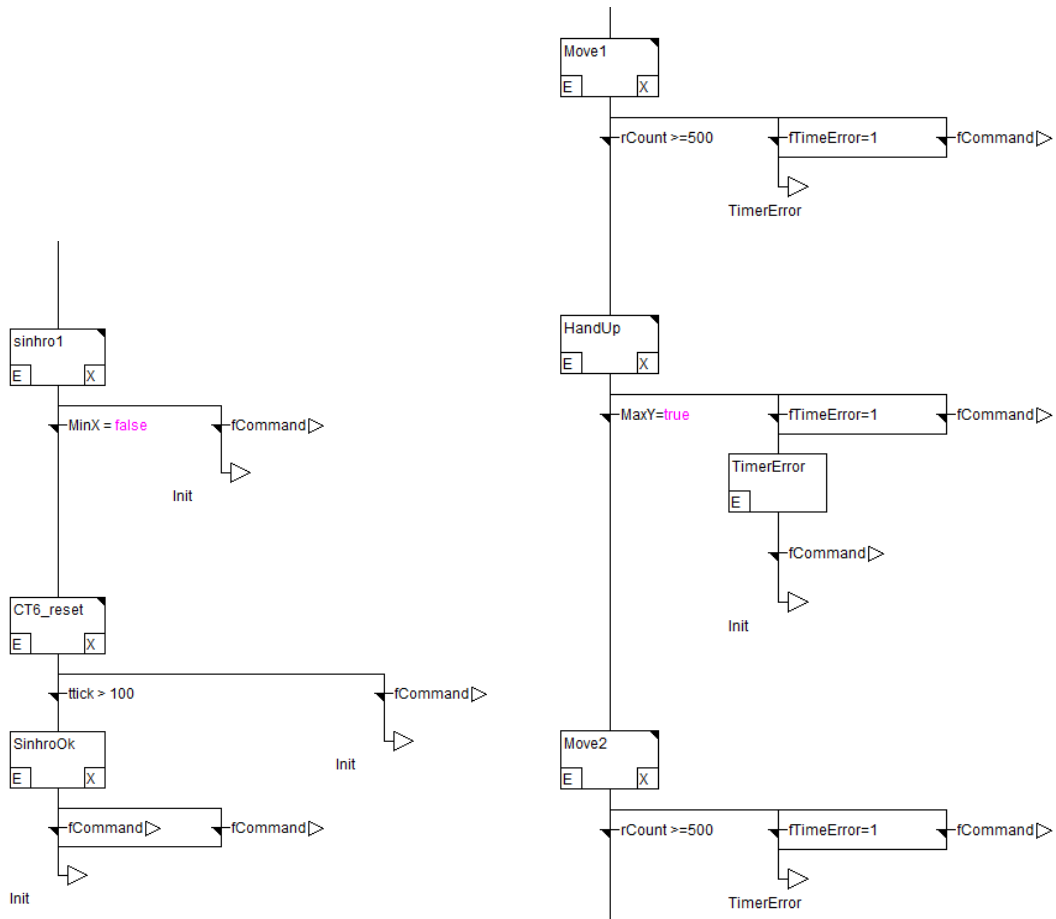


Рис. 5.4 Приклад частини коду команд управління в режимі калібрування, та циклічного перевантаження підвісок

Повний код програми управління автооператором наведено в архіві програми в додатку (див. Додаток 10).

## **6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Організаційні заходи та інженерні рішення спрямовані на покращення умов і безпеки праці.**

Процеси гальванічного покриття металів є найбільш небезпечними та шкідливими процесами, що мають вплив на обладнання та працівників що працюють в умовах підвищеної температури, високої вологості, та шкідливих випарів хімічних речовин.

Для зменшення впливу шкідливих факторів виробничих процесів застосовуються як організаційні заходи щодо покращення умов праці, так і технічні та інженерні рішення направлені на підвищення рівня безпеки обслуговуючого персоналу, та надійності технологічного обладнання.

Організаційні заходи щодо безпеки в цехах гальванічного покриття мають на меті запобігання та мінімізацію ризиків для працівників та оточуючого середовища. Нижче наведено деякі загальні рекомендації щодо організації безпеки в цих умовах:

#### **1. Підготовка та навчання працівників:**

- Проведення навчання працівників щодо безпечних методів роботи при забезпеченні технологічного процесу.

- Забезпечення обов'язкового інструктажу з питань безпеки для всіх працівників, які працюють в гальванічному цеху.

#### **2. Оснащення робочих місць:**

- Забезпечення працівників відповідними захисними засобами, такими як респіратори, рукавиці, окуляри тощо.

- Перевірка та підтримання в робочому стані вентиляційних системи, відсутність захаращення виходів та проходів , в тому числі аварійних виходів.

### 3. Маркування та сигналізація:

- Встановлення видимих та зрозумілих знаків безпеки, які вказують на небезпеку і вказівки щодо використання захисних засобів. Встановлення пробліскових маячків для сигналізації переміщення автооператорів, причому такі маячки повинні подавати світловий сигнал за декілька секунд до початку переміщення автооператора.

- Виконання заходів щодо забезпечення місць зберігання та використання хімічних речовин, згідно діючих норм та правил.

### 4. Контроль за здоров'ям працівників:

- Забезпечення регулярних медичних оглядів для працівників, які працюють в умовах гальванічного покриття, і моніторинг їх стану здоров'я.

- Забезпечення регулярних медичних оглядів для працівників, які працюють в умовах гальванічного покриття, і моніторте їхне здоров'я.

### 5. Екстрені заходи:

- Розробка та впровадження плану екстреного реагування на випадок аварій чи надзвичайних ситуацій.

- Забезпечення належної підготовки працівників до дій у випадку аварій, включаючи надання невідкладної медичної допомоги.

Інженерні та технічні рішення використані в процесі проектування гальванічної лінії дозволяють проводити безпечну експлуатацію обладнання обслуговуючим персоналом.

До таких рішень належать:

- проектування висоти та способу розміщення ванн що виключають розлив хімічних речовин за їх межі.
- Компоновка схеми розміщення обладнання позаду лінії, що не потребує перебування персоналу для забезпечення функціонування технологічного процесу.
- Використання автооператорів консольного типу, що дозволяє уникнути рухомих частин автооператорів в зоні обслуговування операторами лінії.
- Забезпечення гальванічної розв'язки електрообладнання, та нагрівачів ванн через трифазний розділювальний трансформатор 380в/380в потужністю 95 КВА.
- Схемо-технічні рішення використані при проектуванні випрямлячів струму для гальванічних ванн, що виключають ураження працівників електричним струмом завдяки додатковій розв'язці первинних кіл що працюють при високій напрузі від вторинних ланок випрямленого струму.
- Наявність місцевої вентиляції (відсмоктувачів повітря що встановлені в верхній частині ванн, забезпечує ефективне відведення шкідливих випарів назовні. Використання додаткової та загальноцехової приточної та витяжної вентиляції зменшує концентрацію хім.речовин та аерозолів в повітрі цеху. В осінньо-зимовий період проводиться додатковий нагрів повітря приточної вентиляції.

## **6.2 Безпека праці в цеху гальванопокриттів**

При розробці інструкцій з охорони праці слід керуватися нормативно-правовими актами що діють на території України, а саме:

- Закон України "Про охорону праці";

- Кодекс законів про працю України;
- Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування";
- Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві;
- Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві;
- Перелік робіт з підвищеною небезпекою;
- Перелік робіт, де необхідний професійний відбір;
- Положення про медичний огляд працівників окремих категорій;
- Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту;
- Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці;

Згідно з Гігієнічною класифікацією праці умови праці поділяються на 4 класи:

- 1 — оптимальні;
- 2 — допустимі;
- 3 — шкідливі;
- 4 — небезпечні.

Гальванічне виробництво відноситься до виробництв з шкідливими та небезпечними умовами праці.

Враховуючи що основна частина тех. процесів відбувається в електролітах слід приділити особливу увагу правилам безпечної роботи з хім. речовинами, електрообладнанням, що знаходиться під напругою, особливо враховуючи що більшість хім. речовин електролітів є електропровідними. Все електрообладнання на яке подана (або може бути подана напруга), металічні

частини корпусів ванн, механізмів, каркасних конструкцій та допоміжного обладнання повинні бути заземлені у відповідності до “Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів”. Надійність, та відсутність механічних пошкоджень заземлення повинна перевірятися не рідше ніж 1 раз на бміс.

Виробниче обладнання повинно розміщуватися відповідно до вимог норм технологічного проектування цехів нанесення металопокриття, санітарних і будівельних норм і правил.

Розміщення виробничого обладнання повинно забезпечувати безпечне і зручне його обслуговування, а також безпеку евакуації працівників при аварійних ситуаціях.

Розташування виробничого обладнання повинно забезпечувати послідовність операцій технологічного процесу, а також максимальне скорочення зворотних і перехресних вантажопотоків.

Всі рухомі механізми що можуть створювати небезпеку для персоналу в процесі своєї роботи повинні бути оснащені захисними кожухами та ковпаками.

Для кожного способу нанесення металопокриття на підприємстві повинні бути розроблені і затверджені в установленому порядку технологічні інструкції та інструкції з охорони праці.

Робочі місця повинні знаходитися поза лінією руху вантажів, що переносяться вантажопідіймальними засобами та автооператорами технологічної лінії покриття.

Контрольно-вимірвальна апаратура і прилади контролю повинні бути розташовані в легкодоступному місці і відповідати загальним вимогам ергономіки до розміщення органів управління, встановленим ГОСТ 22269.

Поверхні органів управління, що задіяні в аварійних ситуаціях, повинні бути пофарбовані в червоний колір.



Гальванік повинен знати про можливий контакт зі шкідливими і небезпечними виробничими факторами:

під час роботи в цеху - це шкідливі речовини повітря робочої зони, вплив електричного струму, отруйні хімічні речовини, пил, мікроклімат приміщень.

При виконанні роботи відповідно до виду небезпечних і шкідливих виробничих факторів гальванік зобов'язаний користуватися засобами індивідуального захисту (спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями) з обов'язковим виконанням правил особистої гігієни.

При виконанні небезпечних, незнайомих або рідко виконуваних робіт гальванік повинен одержати цільовий інструктаж з безпеки праці від майстра.

Робоче місце повинно бути чистим і добре освітленим, проходи між ваннами повинні бути завжди вільними, а дерев'яні решітки на підлозі біля робочих місць повинні міститися в справному стані.

Працювати на гальванічній дільниці можна тільки за справно діючої вентиляції. Проточно-витяжна вентиляція і місцеві відсмоктувачі повинні забезпечувати чистоту і температуру повітря відповідно до вимог санітарних норм. Необхідно регулярно перевіряти ефективність дії відсмоктувальних пристроїв у системі вентиляції.

### **6.3 Захист від дії електромагнітного імпульсу при ядерному ударі.**

Електромагнітний імпульс виникає під час потужного вибуху (переважно атомної бомби), явищ, що викликають раптові збурення магнітного поля Землі, грозових явищ у земній атмосфері чи короткого замикання в електрообладнанні високої потужності.

Електромагнітний імпульс, який виникає під час ядерного вибуху більшість своєї енергії переносить в електромагнітних хвилях з частотою в

діапазоні від 3 Гц до 30 кГц за напруженості магнітного поля, що досягає 50000 В/м.

Переважно розглядають два види електромагнітних імпульсів:

- ядерний ЕМІ (англ. Nuclear Electromagnetic Pulse, NEMP) — імпульс, що виникає під час ядерного вибуху;
- ЕМІ від розряду блискавки (англ. Lightning Electromagnetic Pulse, LEMP) — імпульс, що виникає під час електричного розряду в атмосфері.

Інші джерела генерують імпульси значно меншої потужності.

Електромагнітний імпульс (ЕМІ) під час висотного ядерного вибуху (ВЯВ) є найпотужнішим, поряд із розрядом блискавки, впливом для обладнання енергоструктури.

ЕМІ містить ряд складових - E1, E2 і E3.

Складова E1 має польовий характер, розташована в наносекундному діапазоні з напруженістю поля до 50-100 кВ/м, складова E2 наближається до розряду блискавки, розташована в мікросекундному діапазоні з напруженістю до 200 кВ/м, а складова E3 розташована в секундному діапазоні з напруженістю до десятка кВ/м і наближається до МГД-впливу під час сонячних бурь.

Стандарт МЕК 61000 узагальнив численні експерименти з ВЯВ і рекомендував їх до застосування під час розроблення та проєктування електрообладнання.

Методика захисту від ЕМІ включає концептуальні, схемотехнічні та конструкційні технічні рішення, які раціонально закладати на початковому етапі розроблення ТЗ і комплексних проєктів. Неврахування таких рішень часто обертається значним підвищенням витрат і тривалості реалізації ТЗ і проєкту.

Проблема захисту від ЕМІ зазвичай використовує такі способи:

- придушення збурення в ДП;
- підвищення стійкості рецепторів (приймачів);
- перешкоджання впливу ДП на об'єкт через середовище передачі за допомогою бар'єрів (екранів).

У разі якщо ДП некероване, то залишається тільки другий спосіб підвищення стійкості рецептора.

При впливі польової складової Е1, яка проникає через будь-яку щілину і зазор по відношенню до рецептора, залишається тільки третій спосіб у вигляді використання одного і більше бар'єрів (екранів), причому вони повинні бути безперервними і заземленими.

Наявність зовнішнього ДП вимагає загального щодо об'єкта бар'єра. Якщо всередині об'єкта є внутрішнє ДП, то кожна підсистема об'єкта повинна містити свій бар'єр, як показано на рис. 1, на якому наведено приклад топології системних бар'єрів.

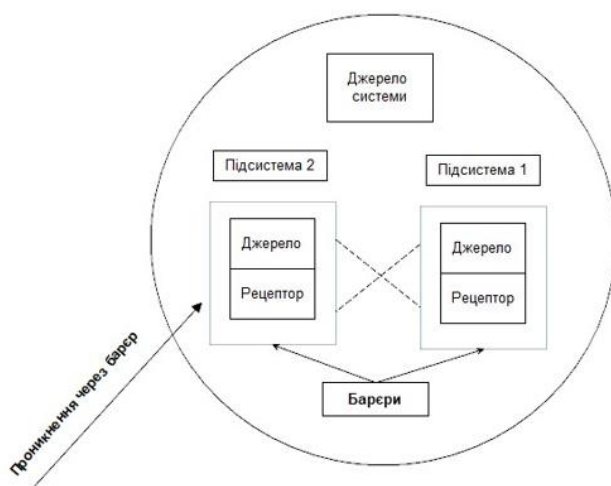


Рис. 6.1 Топологія системних бар'єрів

На рис. 1 зовнішній бар'єр захищає систему від проникнення перешкоди від зовнішнього ДП. Внутрішні ДП у кожній підсистемі також потребують встановлення внутрішніх бар'єрів для захисту кожного рецептора від свого ДП і від ДП іншої підсистеми.

### **Принципи захисту від ЕМІ**

Принципи захисту від ЕМІ засновані на таких методах:

- використання режиму загальної ізоляції, коли від ТЗ відключені всі зовнішні зв'язки від екранованого об'єму, який містить ТЗ;
- використання методів зниження перешкод у ТЗ;
- застосування компонентів ТЗ із підвищеною стійкістю до ЕМІ.

Захист ТЗ зазвичай будується за ступінчастим принципом. Перший ступінь (1-й рівень захисту) передбачає використання спочатку грубого захисту, який містить екрани що заміняють дроти, волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), обмежувачі перенапруг (ОПН).

Другий ступінь (2-й рівень захисту) передбачає подальше зниження перешкод завдяки використанню фільтрів і коригувальних ланцюгів. Наприклад, для найчутливіших до перешкод напівпровідникових приладів найдієвішим є застосування ВЧ-діодів, які вирізняються низькою робочою напругою на рівні 0,1-1 В і відсутністю інерційності. Це особливо актуально для приладів виготовлених з застосуванням комплектуючих MOS-FET з робочою напругою близько 5В і високим входним опором (близько декількох кОм). Ці прилади є базою мікропроцесорних РЗА і РЕА, і їх потрібно захищати насамперед.

У захищених зонах, які можуть являти собою будівлю, приміщення, шафу, стійку та ін. елементи, існують два механізми проникнення перешкоди та ЕМІ:

- у вигляді випромінювання;
- у вигляді кондуктивної перешкоди, що проникає через бар'єр (екран).

На рис. 2 наведено приклад проникнення до обладнання випромінених і кондуктивних завод через два рівні захисту. 1-й рівень містить екран і ОПН. 2-й рівень містить екран і фільтр для зниження кондуктивної перешкоди. Якщо обладнання містить шафу та стійку, у них також можуть застосовуватися екрани та фільтри для особливо відповідальних і пошкоджуваних компонентів.

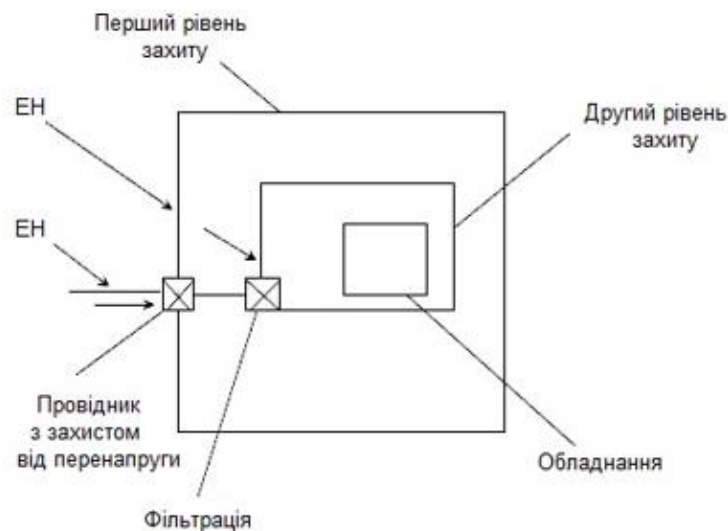


Рис. 6.2 Приклад проникнення в обладнання випромінених та кондуктивних перешкод через два рівня захисту

Як видно з рис. 2, інтерфейси, до яких відносяться шини даних, заземлення, живлення, повинні входити на екран тільки в одній точці, тільки тоді захисний пристрій (ЗП) перешкоджає заводі та ЕМІ. ЗП для кондуктивної перешкоди захищає ТЗ, або ізолюючи поздовжній ланцюг, або

закорочуючи поперечний ланцюг за короткий час, який не перевищує одиниці нс.

ЗП є нелінійним пристроєм, і для його вибору необхідно задаватися такими вихідними даними:

- частота виникнення перешкоди, наприклад, розряду блискавки або іншого впливу;
- очікуваний рівень перешкоди;
- допустима залишкова напруга кожного сигналу, що підходить до інтерфейсу;
- яка функція обладнання або інтерфейсу;
- параметри і характеристики ЗП (поздовжній опір, втрати, пропускна здатність, допустимі впливи та ін.).

Концепція топології монтажу обладнання може передбачати 2 рішення: або у вигляді замкнутого контуру, або у вигляді дерева.

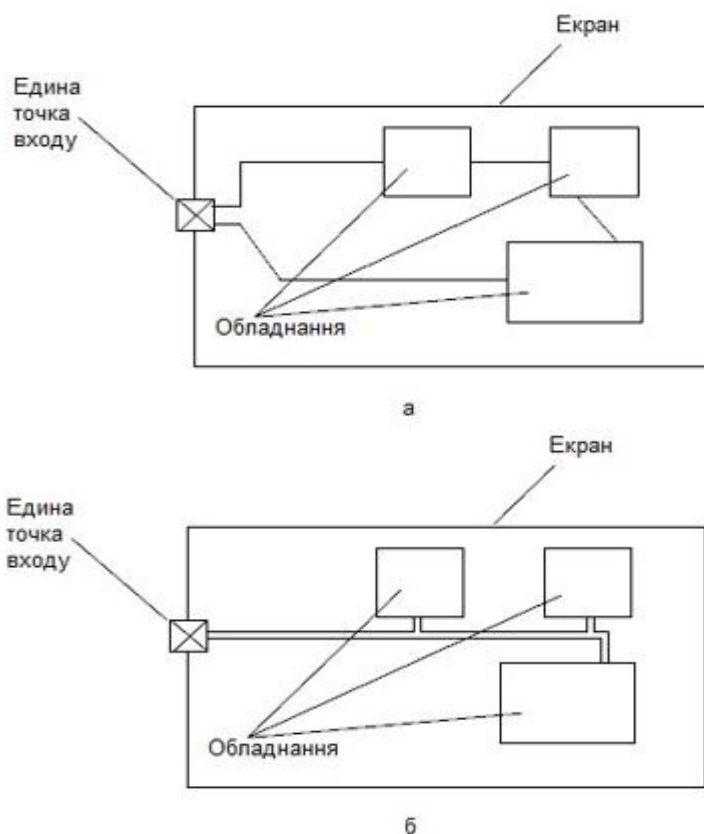


Рис. 6.3 Приклад концептуального монтажу обладнання з екраном: а) замкнутий контур, б) екрани у вигляді дерева

На рис. 3 наведено приклади концептуального монтажу обладнання з екраном, причому: а) відповідає замкненому контуру і забезпечує високий ступінь екранування, б) у вигляді дерева забезпечує низьку зону екранування.

### **Основні методи підвищення стійкості обладнання до ЕМІ.**

Основні методи підвищення стійкості обладнання (РЗА та РЕЗ) до ЕМІ наведено на рис. 4.



Рис. 6.4 Основні методи підвищення стійкості обладнання до дії ЕМІ

Зазначені методи передбачають:

- конструкційні методи (екранування, зонування, заземлення);
- схемотехнічні методи (обмеження перешкоди за спектром і амплітудою, використання ВОЛЗ і симетрування);
- структурно-функціональні методи (структура сигналу, коригувальний код, оптимальний алгоритм, система модуляції та кодування).

Нижче розглянуто конструкційні методи підвищення стійкості ЗП.

Схемотехнічні методи передбачають зміну структури або введення додаткових елементів. Структурно-функціональні методи залежать від системи модуляції або кодування і виходять за рамки розгляду.

Наприклад, ступінчастий захист напівпровідників може передбачати використання 3-х ступенів:



- 1-й ступінь має обмежити амплітуду перешкоди менше 1 кВ за допомогою екранів, розрядників, ОПН, ВОЛЗ;
- 2-й ступінь обмежує амплітуду перешкоди до 100 В, а тривалість фронту підвищити за рахунок фільтра;
- 3-й ступінь має обмежити амплітуду перешкоди менше 0,1 В застосуванням ВЧ-діодів.

Якщо обладнання не вимагає застосування ЗП, то можна обмежитися звичайними методами, застосовуваними в бетонних будівлях у вигляді прихованої проводки, металевих підставок або шаф тощо. Перша категорія будівель використовує матеріали, які не забезпечують загасання ЕМВ, а 2-га категорія забезпечує загасання ЕМВ понад 20 дБ. За необхідності захисту обладнання від розрядів блискавки використовують традиційні методи грозозахисних ЗП (тросів, щогл, розрядників, ОПН, заземлювачів тощо).

### **Відмінність вимог до ЗП при розряді блискавки та при ЕМІ.**

Різниця вимог до ЗП при розряді блискавки (РМ) і при ЕМІ пов'язана з характером впливів, їхньою амплітудою, тривалістю, енергією, частотою виникнення та інше.

Для РБ зазвичай припускають віддалення від обладнання на відстань 0,1-1 км. Амплітуда струму РМ за МЕК61312-1 задається у вигляді: 1-й удар на рівні 150 кА, наступні удари 37,5 кА.

Різниця тривалостей фронтів: для РБ тривалість фронту 10 мкс при напруженості поля до 500 кВ/м; для ЕМІ тривалість фронту 2 нс при напруженості поля до 50 кВ/м.

Частота РБ зазвичай на рівні менше 100 кГц, хоча містить вищу складову 1 МГц у 1-му ударі та 5 МГц у наступних ударах. Частота ЕМІ не перевищує 100 МГц, хоча і містить вищу складову на рівні 1 ГГц.

Напруженість (інтенсивність) поля РБ і тривалість імпульсу значно перевищують зазначені значення для ЕМВ і наведені на рис. 5, який показує особливі вимоги щодо безінерційності ЗП для ЕМІ. На рис. 5 наведено напруженість (інтенсивність) поля, кВ/м, і тривалість імпульсу, мкс, для МЕМВ і РБ (ЕМІ блискавки).

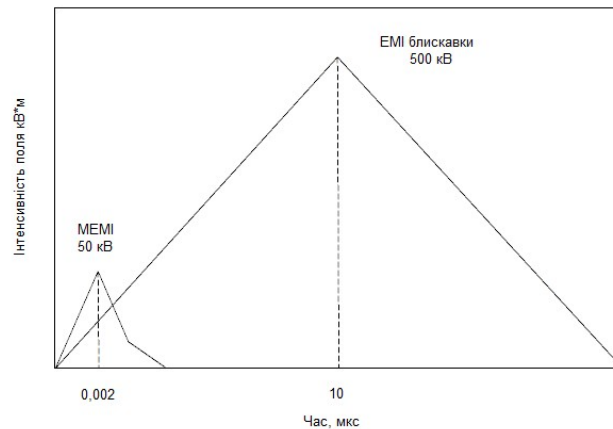


Рис. 6.5 Напруженість (інтенсивність) поля (кВ/м) і довжина імпульсу, (мкс.) ЕМІ та РБ

Питома енергоємність РБ і ЕМІ розрізняється незначно.

За МЕК 61000-2-9 питома енергоємність  $W_f$  для ЕМІ становить 0,114 Дж/м<sup>2</sup>.

Для РБ  $W_f = 0,15$  Дж/м<sup>2</sup> (1-й імпульс на відстані 600 м від об'єкта), а останній 8-й розряд  $W_f = 0,04$  Дж/м<sup>2</sup>.

Спектральна щільність імпульсу, В/м/Гц, залежно від частоти, Гц, наведена на рис. 6.6 для ЕМІ та РБ (ЕМІ блискавки). З рис. 6 випливає, що спектр РБ на 3 порядки перевищує спектр ЕМІ.

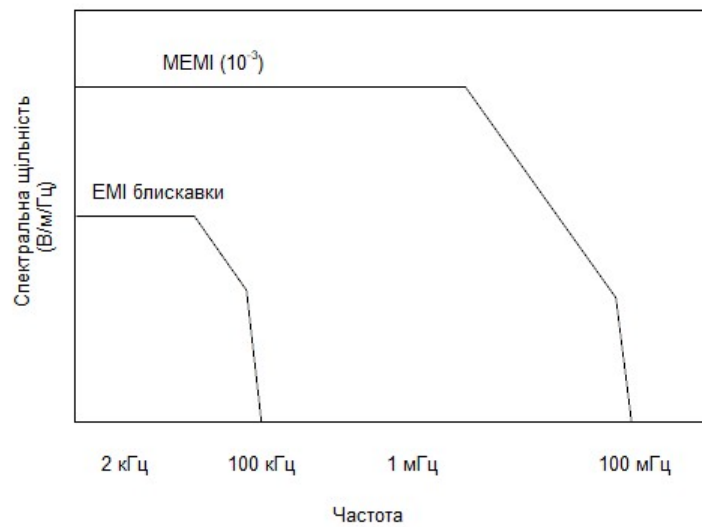


Рис. 6.6 Питома енергоємність у вигляді спектральної щільності імпульсу, Дж/м<sup>2</sup>, залежно від частоти, Гц, для ЕМІ та РБ (ЕМІ блискавки)

Для оцінки пропускнуої спроможності ЗП під час впливу ЕМІ та РБ можна навести дані щодо газових розрядників. Так, 1-й імпульс ЕМІ з розрядним струмом 4 кА супроводжується виділенням енергії 0,7 мДж, тоді як 1-й імпульс РБ амплітудою 25 кА і наступні 8 імпульсів струму 8/20 мкс виділяють енергію 12 Дж, що більше, ніж на порядок вище для РБ, ніж для ЕМІ.

Топологія зонального екранування.

Топологія зонального екранування за рис. 6.4 передбачає виділення різних зон у будівлі, приміщенні, шафі, блоці, які розділені екранами, що розділяють зазначені зони. Будівля через наявність дверей, вікон, швів, електропроводки пронизана кондуктивними і некондуктивними апертурами (точками проникнення). Кабелі пристроїв керування і канали зв'язку також дають шляхи проникнення ЕМІ.

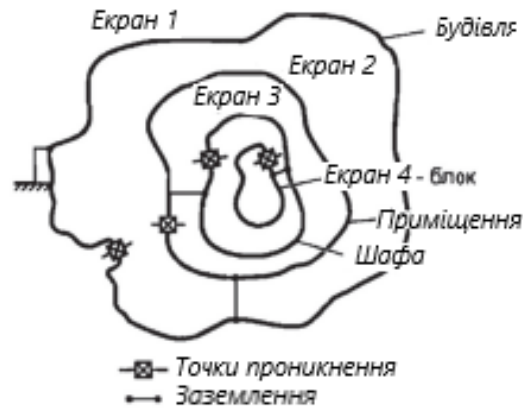


Рис. 8. Топологія зонального екранування системи "будівля-приміщення-шафа" - блок за допомогою 4-х екранів

Вибір матеріалів екрану.

Вибір матеріалу екранів визначається двома способами: або на підставі вибору питомого опору провідного матеріалу, або на вимірюванні ефективності екранування.

Питомий опір  $\rho$  матеріалу екрану з урахуванням захисного покриття вимірюється на постійному шляхом накладення на матеріал поперечним перерізом  $A$  двох електродів із джерелом струму  $I_0$  і приєднаним вольтметром із показаннями напруги  $V_s$ . Вимірне значення питомого опору дорівнює:

$$\rho = V_s / A - I_0.$$

Зазначене значення питомого опору відповідає низькій частоті вимірювання, тоді як на високій частоті на поверхні матеріалу виникає скін-шар товщиною  $\delta$ , яка дорівнює:

$$\delta = \sqrt{\rho / \pi \mu f},$$

де  $\mu$  - магнітна проникність, а  $f$  - частота.

Ефективність екранування для плоскої хвилі визначається співвідношенням:

$$S_A = 20 \lg[A_{\text{out}} / A_{\text{in}}] \text{ дБ},$$

де  $A_{\text{out}}$  і  $A_{\text{in}}$  - відповідно модулі основної компоненти плоскої хвилі в точці спостереження без екрана і тієї, що пройшла через екран

Для екранів краще підходить трансформаторна сталь з орієнтованою внутрішньою структурою. Ще кращі результати показують матеріали і сплави з підвищеною магнітною проникністю, наприклад, сталь 49КФ2В1 з  $\mu = 8000$  о.о. або пермалой 79НМ з  $\mu = 25000$  о.о.

Комплексні рішення щодо захисту від ЕМІ.

Комплексні рішення з розроблення ЗП від ЕМІ повинні використовувати, як згадувалося вище, НВЧ-діоди, ОПН і комутаційні апарати (КА). За останні роки вакуумні КА в галузі НН і СН істотно витіснили інші КА (масляні, повітряні, і почасти елегазові) завдяки численным перевагам, і, зокрема, надійності, вартості, компактності, зручності обслуговування та ін. Для пристроїв НН найширше застосовуваними поряд з автоматичними вимикачами є вакуумні контактори ВК, типоряд яких у діапазоні 25-1600 А представлений як для постійного струму від 48 В до 3,3 кВ, так і для змінного струму до 10 кВ. Слід зазначити, що автоматичні вимикачі напругою до 660 В на струм до 400 А можуть застосовуватися як на постійному, так і змінному струмі.

Вакуумні вимикачі (ВВ) можуть застосовуватися на постійній напрузі до 3,3 кВ аж до струмів 3150 А, а на змінній напрузі до 10 кВ, поряд із вимикачами 35 і 110 кВ (останні на струм до 2000 А).

## ВИСНОВКИ

В данній кваліфікаційній роботі була розроблена система автоматичного керування лінією гальванічного покриття деталей лужних Ni-Cd акумуляторів з використанням двох автооператорів для заміни ручної праці працівників ділянки гальванопокриттів.

У кваліфікаційній роботі зроблено огляд науково-технічної та патентної літератури щодо обладнання автоматизованих ліній гальванічного покриття, та описана технологія нікелювання металів.

Виконано інженерно-технологічні розрахунки основного і допоміжного обладнання, зроблено тепловий і гідравлічний розрахунок устаткування, спроектовано автоматизовану гальванічну лінію з двома консольними автооператорами вантажопідйомністю 85 кг, продуктивністю 10000 м<sup>2</sup>/рік.

Впровадження такої системи дозволить підвищити продуктивність ділянки гальванопокриттів, та якість продукції що виготовляється.

Були розглянуті основні організаційні заходи та інженерні рішення щодо підвищення рівня безпеки, та покращення умов праці персоналу.

Розглянуто питання стійкості обладнання до дії електромагнітного імпульсу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт магістрів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, В.В. Левицький, Р.І. Королук – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 81 с.
2. Тотосько О.В. Введення в комп'ютерну графіку та дизайн : Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / Укладачі : О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023 – 304 с. ISBN 978-617-7875-60-3
3. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108с.
4. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
5. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі : Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
6. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший ( бакалаврський ) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.

7. Стручок В.С. Навчальний посібник до написання розділу дипломного проекту та дипломної роботи "Безпека в надзвичайних ситуаціях" для студентів всіх спец. денної, заочної (дистанційної) та екстернатної форм навчання / В.С. Стручок, О.С. Стручок, Д.В. Мудра. - Тернопіль : ТНТУ, 2016. - 112 с.
8. Вовк Ю. Я. Охорона праці в галузі. Навчальний посібник / Ю. Я. Вовк, І. П. Вовк – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А. – 2015. – 172 с.
9. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів. Підручник/ І.В. Ельперін, О.М.Пумена, В.М.Сідлецький, С.М.Швед  
Ліра-К – 2021. – 378 с.
10. Кунтий О. І. Гальванотехніка / О. І. Кунтий. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2004. – 236 с
11. Лайнер В. И. Защитні покриття металів/ В. И. Лайнер. – М. :  
Металлургія, 1974. – 559 с.
12. Авдеенко А. П. Корозія і захист металів: довідниковий посібник /  
А. П. Авдеенко, А. Е. Поляков, А. Л. Юсіна, С. А. Гончарова.  
Краматорськ : ДГМА, 2004. – 112 с
13. Кудрявцев Н. П. // Електрохімічні покриття металами. М.: Хімія.  
1979.- 351 с.
14. Дасоян М. А., Пальмская І. Я. Устаткування цехів електрохімічних  
покриттів. - М.: Машинобудування. 1989 -391 с.
15. Optimal control of automatic manipulator for elimination of galvanic  
line load oscillation. Periodica Polytechnica Electrical Engineering and  
Computer Science, 65(2), pp. 91–105, 2021
16. <https://aqteck.com.ua/ru/sensornye-panelnye-kontrollery>
17. <https://www.autonics.com/model>



18. <https://www.svaltera.ua/upload/images/lovato/Technical%20instructions/Level%20relays/LVM30.pdf>
19. [https://iwakinordic.com/literature/process\\_pumps/mag\\_drive\\_plastic/md/brochure/MD\\_brochure\\_uk.pdf](https://iwakinordic.com/literature/process_pumps/mag_drive_plastic/md/brochure/MD_brochure_uk.pdf)
20. [http://kep-group.net/index.php?page=p\\_strum\\_st61](http://kep-group.net/index.php?page=p_strum_st61)
21. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text>
22. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1090-14#Text>
23. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>