

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизована система сортування електрохімічних елементів»

Виконав :

студент IV курсу, групи ПМ-01

Біляєв Роман Вікторович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.,

Нечай Сергій Олексійович _____

Рецензент:

старший викладач, Ph.D,

Дорожинська Ганна Василівна _____

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

Студент Біляєв Роман _____

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ПМ-01. 02.000	Пояснювальна записка	55	
3	A1	ДП ПМ-01. 02.001	Конвеєрна стрічка Складальне креслення	1	
4	A1	ДП ПМ-01. 02.002	Креслення робота- маніпулятора	1	
5	A1	ДП ПМ-01.02.003	Барaban приводу	1	
6	A1	ДП ПМ-01.02.004	Схема алгоритму програми	1	
7	A3	ДП ПМ-01.02.005	3D модель робота- маніпулятора	1	
8	A3	ДП ПМ-01.02.006	Креслення оптичного датчику	1	
9	A2	ДП ПМ-01.02.007	Структурна схема	1	

				ДПБ ПМ-0102 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Біляєв			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Нечай				1	1
Консульт.					КПІ імені Ігоря Сікорського Каф.АСНК Гр.ПМ-01	
Н/контр.						
Зав.каф.	Киричук					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система сортування
електрохімічних елементів»**

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Біляєв Роман Вікторович

1. Тема проекту «Автоматизована система сортування електрохімічних елементів», керівник проекту Нечай Сергій Олексійович, Доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «28»__05__ 2024 р. №_2121-с __

2. Термін подання студентом проекту _____ 11.06.2024 _____

3. Вихідні дані до проекту: _____ Призначена для сортування
електрохімічних елементів, таких як батарейки та акумулятори, розміром до 15 см у довжину, від стандартних АА та ААА батарей до більших акумуляторних блоків, перевірка стану елементів , швидкість руху стрічки 0,2 м/с, продуктивність 1800 ел/год, довжина проекції конвеєра 30м, ширина стрічки 70 м, діапазон робочих температур від -5 до +50°C _____

4. Зміст пояснювальної записки : Огляд існуючих систем сортування;
_____ Проектування конвеєрної системи; Алгоритм аналізу та сортування
_____ Підбір датчиків; Підбір стрічки; Підбір привода; Розрахунок
_____ технологічності _____

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): _____ 1 складальне
_____ креслення на листах формату А1, 3 кресленика деталей на
_____ листах формату А1, схема на листі формату А1, _____

6. Дата видачі завдання __24.04.2024__

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Отримання теми дипломного проєкту	24.04.2024	
2.	Пошук літератури за темою дипломного проєкту	25.05.2024	
3.	Написання програми		
4.	Програмування контролера	24.05.2024	
5.	Подання ДП на перевірку	11.06.2024	

Студент

Роман БІЛЯЄВ

Керівник

Сергій НЕЧАЙ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект присвячений розробці автоматизованої системи для сортування електрохімічних елементів, що включає проектування, конструювання та тестування системи, а також аналіз існуючих технологій і розробка нових методів. Проект охоплює створення конвеєрної системи з інтегрованими датчиками для вимірювання фізичних та хімічних властивостей батарей, використання машинного зору для їх ідентифікації та класифікації, а також розробку програмного забезпечення для управління цим процесом.

В проекті особлива увага приділяється розробці точних і швидких алгоритмів для оптимізації процесу сортування, що дозволяє знизити вартість переробки та збільшити вихід якісної вторинної сировини. Розглянуто використання сучасних сенсорних технологій та роботизованих маніпуляторів для автоматизації процесів сортування.

Структура проекту включає аналіз теоретичних основ сортування електрохімічних елементів, розробку технологічного розділу з вибором компонентів системи, розрахунок ключових показників ефективності та огляд існуючих систем сортування для виявлення можливостей поліпшення.

Цей проект надає вагомий внесок у поліпшення технологій сортування відходів, сприяючи більш ефективному використанню ресурсів і зменшенню негативного впливу на довкілля.

Ключові слова: автоматизована система сортування, електрохімічні елементи, машинний зір, сенсорні технології, роботизовані маніпулятори, програмне забезпечення для сортування.

ANNOTATION

The thesis project is dedicated to the development of an automated system for sorting electrochemical cells, including the design, construction and testing of the system, as well as the analysis of existing technologies and the development of new methods. The project covers the creation of a conveyor system with integrated sensors to measure the physical and chemical properties of batteries, the use of machine vision to identify and classify them, and the development of software to control this process.

The project pays special attention to the development of accurate and fast algorithms to optimize the sorting process, which reduces the cost of processing and increases the yield of high-quality secondary raw materials. The use of modern sensor technologies and robotic manipulators to automate sorting processes is considered.

The project structure includes an analysis of the theoretical foundations of sorting electrochemical elements, development of a technological section with the selection of system components, calculation of key performance indicators, and review of existing sorting systems to identify opportunities for improvement.

This project makes a significant contribution to the improvement of waste sorting technologies, contributing to more efficient use of resources and reducing the negative impact on the environment.

Keywords: automated sorting system, electrochemical elements, machine vision, sensor technology, robotic manipulators, sorting software.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Актуальність теми.....	10
1.2 Мета та задачі дослідження	11
1.3 Перспективи змінних джерел живлення	12
1.4 Огляд існуючих систем сортування.....	14
1.5 Принципи та методології класифікації елементів.....	17
Висновки до розділу 1	18
2. РОЗРОБКА ТА КОНСТРУЮВАННЯ СИСТЕМИ.....	20
2.1 Теоретичні основи сортування електрохімічних елементів	20
2.1.1 Технології утилізації джерел живлення	24
2.1.2 Клас небезпеки та екологічні ризики.....	25
2.2 Проектування конвеєрної системи	26
2.3 Вибір компонентів системи.....	28
2.4 Алгоритм аналізу та сортування	30
2.5 Методи вимірювання залишкового заряду	31
2.6 Використання залишкового заряду в батареях.....	33
2.7 Алгоритм Coulomb Counting	34
2.8 Опис дії конструкції	36
2.9 Опис методів	37
2.10 Діаграма активності.....	39
Висновки до розділу 2.....	41
3. КОМПОНУВАННЯ СИСТЕМИ	43
3.1 Вибір технологічної одиниці.....	43
3.2 Підбір датчиків	44
3.3 Підбір стрічки	45
3.4 Підбір привода	46
3.5 Розрахунок продуктивності.....	47
3.6 Розрахунок основних показників технологічності	48
3.7 Структурна схема	50
Висновки до розділу 3.....	51
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК	52
ДЖЕРЕЛА	53

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>				
Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	<i>Автоматизована система сортування електрохімічних елементів</i>	Літера	Аркуш	Аркушів	
<i>Разраб</i>		<i>Біляєв Р. В.</i>						9	
<i>Перевір.</i>						<i>4 курс, ПМ-01</i>			
<i>Реценз.</i>									
<i>Н. Контр.</i>									
<i>Затверд.</i>		<i>Киричук</i>							

ВСТУП

Вступ починається з широкого огляду проблеми утилізації відпрацьованих елементів живлення, що є актуальною з огляду на зростаючі обсяги виробництва електронних пристроїв та необхідність правильного відновлення ресурсів та захисту довкілля. Важливість теми полягає у розробці та впровадженні ефективних, безпечних і економічно вигідних методів сортування та переробки, що можуть значно знизити вплив на навколишнє середовище та покращити стан природних ресурсів.

Метою дослідження є проектування макета автоматизованої лінії для сортування та переробки відпрацьованих елементів живлення. Основними завданнями є:

Аналіз існуючих технологій сортування та переробки;

Розробка концепції автоматизованої лінії, що включає вибір обладнання, технологічне планування та схему управління;

Моделювання процесів сортування та оцінка ефективності роботи лінії;

Врахування екологічних та безпекових аспектів при розробці лінії.

Об'єктом дослідження є процес сортування та переробки відпрацьованих елементів живлення. Предметом є автоматизована лінія, яка здійснює ці процеси, зокрема, методи та обладнання, які застосовуються для їх реалізації.

Дослідження базується на аналізі літературних джерел, включаючи наукові статті, технічні звіти, стандарти та патентну документацію. Використовуються методи математичного моделювання, експериментального проектування та оптимізації процесів. Також передбачається використання програмного забезпечення для 3D моделювання та симуляції роботи лінії.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		9

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Актуальність теми

Актуальність теми "Автоматизована система сортування електрохімічних елементів" полягає в зростаючій потребі ефективного та екологічно безпечного управління відходами, особливо електрохімічними елементами, такими як батареї та акумулятори. Сучасний світ стикається з величезними викликами, пов'язаними з утилізацією та переробкою таких матеріалів, адже вони містять цінні та часто токсичні компоненти, які можуть завдати шкоди довкіллю.

З огляду на значну кількість відходів електрохімічних елементів, що утворюються в результаті відслужили свій термін електроніки, потреба в їхньому ефективному сортуванні та подальшій переробці стає дедалі актуальнішою. Застосування автоматизованих систем може значно покращити процеси ідентифікації та класифікації цих матеріалів, що дозволяє не тільки знизити ризик для навколишнього середовища, але й підвищити ефективність збору цінних ресурсів.

Крім того, зростаюча увага до проблем сталого розвитку веде до необхідності розробки нових технологій, що можуть впоратися з викликами пов'язаними з електрохімічними елементами. Це включає покращення методів їх переробки та зменшення відходів, що викидаються без належної обробки.

Автоматизація процесу сортування може принести значні переваги, такі як збільшення швидкості обробки, підвищення точності відділення корисних матеріалів від токсичних, зниження витрат на ручну працю та зменшення помилок, пов'язаних з людським фактором.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		10

Таким чином, розробка автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів є важливим кроком на шляху до вирішення проблеми відходів у сучасному світі, а також сприяє покращенню екологічної безпеки та ефективності ресурсного менеджменту.

1.2 Мета та задачі дослідження

Мета дослідження: Основною метою дослідження є розробка автоматизованої системи для сортування електрохімічних елементів, яка забезпечить ефективне, швидке та екологічно безпечне розділення матеріалів на відновлювані та не придатні до використання. Система повинна бути спроможна ідентифікувати та класифікувати різні типи електрохімічних елементів, зокрема використані батареї та акумулятори, з метою їх подальшої переробки або утилізації.

Задачі дослідження:

1. Аналіз існуючих систем сортування електрохімічних елементів: Вивчити поточні методи та технології, які застосовуються в промисловості для сортування електрохімічних елементів, оцінити їх ефективність, надійність та екологічну безпеку.
2. Розробка вимог до автоматизованої системи сортування: Опрацювати технічні та функціональні вимоги до системи, визначити необхідні параметри для точного виявлення та класифікації елементів.
3. Проектування архітектури системи: Створити концептуальну модель системи, що включатиме обладнання для розпізнавання, механізми подачі та видалення матеріалів, а також інтерфейс для взаємодії з оператором.
4. Вибір та інтеграція технологічних рішень: Підібрати відповідні технології та обладнання для реалізації системи, зокрема датчики, сортувальні машини, програмне забезпечення для обробки даних.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		11

5. Розробка програмного забезпечення для системи сортування:

Створити програмне забезпечення, яке дозволить здійснювати аналіз вхідних даних з датчиків, класифікацію елементів та управління сортувальними процесами.

6. Тестування та налагодження системи: Провести ряд тестів для перевірки надійності та ефективності системи, включаючи лабораторні та польові випробування.

7. Аналіз результатів та оптимізація системи: Оцінити результати тестування, визначити потенційні проблеми в роботі системи та розробити рекомендації щодо її удосконалення.

Реалізація цих задач дозволить створити систему, яка не тільки оптимізує процес сортування електрохімічних елементів, але й сприятиме збереженню довкілля, зменшенню кількості відходів та повторному використанню цінних ресурсів.

1.3 Перспективи змінних джерел живлення

З року в рік спостерігається зростання чисельності пристроїв, що функціонують за допомогою акумуляторних батарей. Ці пристрої стають складнішими і вимагають більше електроенергії, особливо мобільні пристрої з великими та яскравими екранами та модулями бездротового зв'язку. У зв'язку з цим і зростаючою конкуренцією, розробники прагнуть знайти новітні технології для створення легких, компактних та вмістких батарей. Літій-іонні акумулятори стали основою для розробки перспективних ідей завдяки своїй високій енергетичній щільності та відсутності «ефекту пам'яті». Розробники постійно вдосконалюють електроліт у літій-іонних батареях, працюючи над збільшенням їх енергетичної щільності. Однак це може призвести до підвищення температури батарей, створюючи потенційну небезпеку.[1]

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		12

З іншого боку, відпрацьовані батареї є цінним ресурсом з огляду на те, що їх складові компоненти відсутні у надрах багатьох країн та загалом їх запаси критичні. На рисунку 1 представлений усереднений склад літійонних батарей, який змінюється в залежності від виробників.

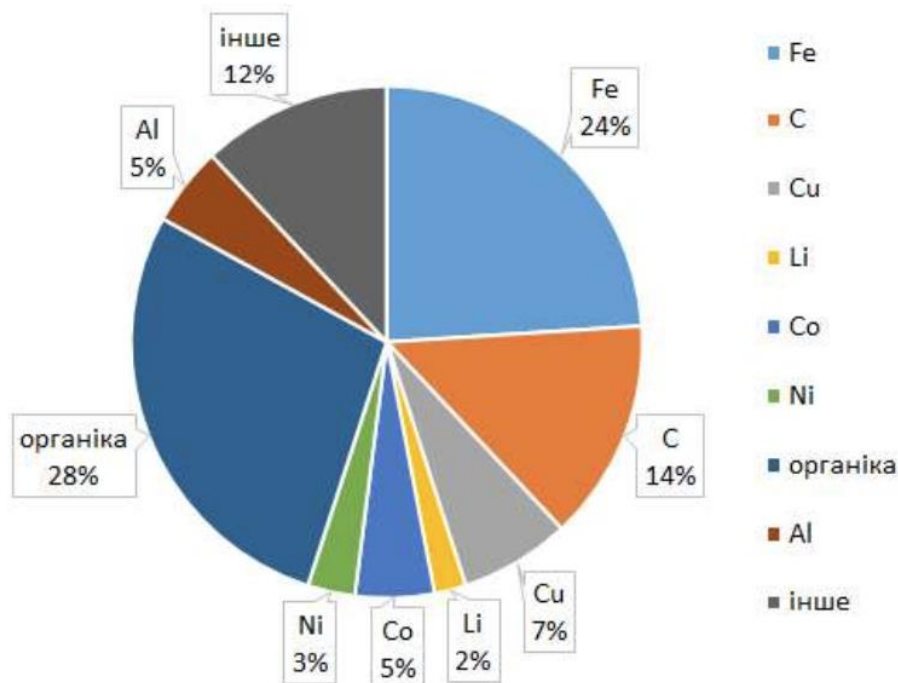


Рисунок 1 – Усереднений склад літій-іонних батарей

Toyota запропонувала рішення у 2010 році, використовуючи тверді електроліти, які виділяють менше тепла і стійкі до високих температур. Літій-іонні батареї залишаються дорогими, але широко використовуються у тягових акумуляторах для різних електричних машин. Традиційні тягові батареї зазнали недоліків, що спонукало виробників створювати необслуговувані варіанти, як гелеві і AGM акумулятори, які не потребують доливання електроліту. Поліпшення характеристик акумуляторних батарей включає роботу не лише над електролітом, а й над електродами, із заміною традиційних графітових на кремнієві, а також розробки таких компаній як IBM, які вносять вклад у створення інноваційних акумуляторів, зокрема літій-кисневих. [5]

Науковці по всьому світу працюють над розширенням можливостей електродів, використовуючи нові матеріали та технології, що обіцяє в майбутньому батареї, значно перевершуючі сучасні моделі.

1.4 Огляд існуючих систем сортування

Огляд існуючих систем сортування електрохімічних елементів є ключовою частиною дослідження, оскільки він дозволяє ідентифікувати потенціал для впровадження інновацій та поліпшень. Вивчення існуючих технологій та методів допомагає встановити стандарти для порівняння та можливі напрямки для розробки нової системи.

Традиційні методи: Більшість традиційних систем базується на ручному сортуванні, яке вимагає значних трудових ресурсів та часу. Ці методи часто є повільними та суб'єктивними, оскільки залежать від точності та уваги операторів. Такі системи схильні до помилок, особливо при високих обсягах переробки, і можуть призводити до неефективного відокремлення матеріалів, що зменшує якість вторинної сировини.[2]

Автоматизовані системи: Сучасні автоматизовані системи здебільшого включають конвеєрні стрічки з інтегрованими датчиками та машинним зором для ідентифікації та класифікації електрохімічних елементів. Такі системи можуть включати:

- Інфрачервоне сканування (NIR): Дозволяє ідентифікувати матеріали на основі їхніх спектральних сигнатур.

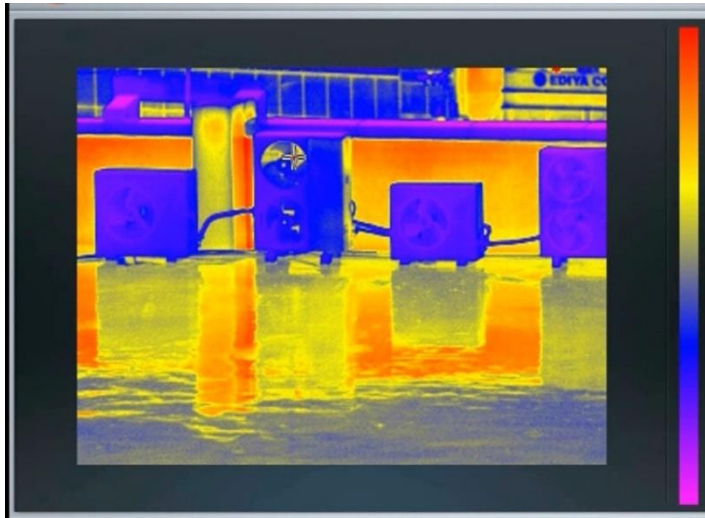


Рисунок 2 – Приклад інфрачервоного сканування

- Рентгенівська флуоресценція (XRF): Використовується для визначення хімічного складу елементів, зокрема наявності важких металів.
- 3D сканування: Для визначення форми та розміру об'єктів, що дозволяє оптимізувати процеси подальшого фізичного сортування.

Оптичне сортування: Оптичні сортувальні системи застосовують камери високої роздільної здатності та алгоритми обробки зображень для класифікації матеріалів за кольором, текстурою або іншими візуальними характеристиками. Ці системи здатні швидко обробляти великі потоки відходів, забезпечуючи високу точність сортування.

Магнітне сортування: Деякі системи використовують магнітні поля для відділення феромагнітних матеріалів, таких як нікель або залізо, від немагнітних компонентів. Це особливо важливо для переробки батарей, де потрібно ефективно відокремлювати металеві компоненти.

Сенсорні технології: Сучасні системи інтегрують різноманітні сенсори, які можуть аналізувати електрохімічні властивості матеріалів, що дає змогу визначати їхній заряд, напругу або ємність. Це дозволяє не тільки сортувати елементи, але й оцінювати їхню придатність до повторного використання.

Використання роботизованих маніпуляторів: До сучасних тенденцій у сфері автоматизації сортування входить застосування роботизованих маніпуляторів, які можуть значно підвищити точність і швидкість процесів. Ці роботи оснащені спеціалізованим програмним забезпеченням і датчиками, які дозволяють їм визначати тип, стан і місцезнаходження електрохімічних елементів на конвеєрній стрічці. Використання таких систем може різко знизити потребу в людському втручанні і мінімізувати помилки, зв'язані з втомою або суб'єктивною оцінкою персоналом. Роботизовані маніпулятори впроваджуються для здійснення складних маніпуляцій з високою точністю, що важливо для сортування дрібних або небезпечних елементів, і можуть адаптуватися до різноманітних конфігурацій відходів завдяки своїй програмованій гнучкості.[5]



Рис. 3 Роботи-сортувальники

Аналіз існуючих систем дозволяє виявити слабкі місця та обмеження у використанні традиційних та автоматизованих методів, відкриваючи потенціал для інновацій у новій системі. Врахування цих аспектів є критично важливим для розробки більш ефективної, швидкої, і точної системи сортування електрохімічних елементів.

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

1.5 Принципи та методології класифікації елементів

Класифікація електрохімічних елементів є ключовим аспектом в процесі сортування, оскільки вона дозволяє адекватно визначати типи матеріалів для їх подальшої переробки або утилізації. Ефективна класифікація забезпечує високу якість сортування, оптимізацію переробки вторинних ресурсів та мінімізацію відходів. Нижче представлені основні принципи та методології, які можуть бути застосовані в проєкті автоматизованої системи сортування.[3]

Принципи класифікації:

1. Визначення за хімічним складом: Розпізнавання специфічних хімічних складів електрохімічних елементів, таких як літій-іонні, нікель-метал-гідридні, свинцево-кислотні батареї та інші. Це дозволяє точно сортувати елементи залежно від потреб у їх переробці.

2. Фізичні характеристики: Включають розмір, форму та вагу елементів. Методики 3D сканування та вимірювання можуть бути використані для точного розпізнавання цих параметрів.

3. Функціональний стан: Класифікація елементів на основі їх заряду, залишкової ємності або стану використання (нові, напівзаряджені, повністю розряджені).

Методології класифікації:

1. Спектральний аналіз: Використання інфрачервоного спектроскопічного аналізу (NIR) або рентгенівської флуоресценції (XRF) для ідентифікації хімічних елементів у складі батарей. Ці методи дозволяють швидко визначити матеріали, з яких складаються батареї, без потреби в їх розбиранні.

2. Машинний зір: Використання алгоритмів обробки зображень для аналізу фізичних характеристик елементів. Системи машинного зору можуть

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		17

розпізнавати форми, розміри та інші візуальні особливості, що дозволяє автоматизувати процес сортування.

3. Електрохімічне тестування: Використання датчиків для вимірювання електричних параметрів, таких як напруга та струм, для визначення функціонального стану батарей. Це особливо важливо для класифікації батарей, придатних для повторного використання.

4. Діагностика на основі штучного інтелекту: Застосування алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу накопичених даних та вдосконалення процесів класифікації. AI може використовуватися для підвищення точності ідентифікації та зменшення помилок у сортуванні.

Застосування цих принципів і методологій у новій автоматизованій системі може значно покращити точність, швидкість та ефективність процесу сортування електрохімічних елементів, забезпечуючи більш сталий підхід до управління відходами.

Висновки до розділу 1

У першому розділі роботи було детально розглянуто актуальність теми "Автоматизована система сортування електрохімічних елементів" і визначено мету дослідження. Виявлено, що сортування електрохімічних елементів, таких як використані батареї та акумулятори, є важливим завданням у контексті ефективної утилізації та переробки промислових та споживчих відходів. Актуальність даної теми посилюється зростаючою кількістю відходів, потенційним екологічним ризиком та потребою в ефективному вилученні цінних матеріалів.

Мета дослідження полягає у розробці інноваційної автоматизованої системи, здатної швидко та точно класифікувати та сортувати електрохімічні елементи за різними параметрами, забезпечуючи екологічну безпеку та

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

оптимізуючи процес вторинного використання ресурсів. Це включає вивчення існуючих технологій та підходів, а також застосування сучасних технологічних рішень, зокрема в області машинного навчання та штучного інтелекту, для покращення точності та ефективності сортувальних процесів.

Задачі дослідження включають аналіз існуючих систем сортування, розробку технічних та функціональних вимог до нової системи, проектування її архітектури, вибір оптимальних технологій та обладнання, програмування необхідного програмного забезпечення, проведення тестувань та аналіз отриманих результатів для подальшої оптимізації системи.

Огляд існуючих технологій показав, що хоча на ринку існує багато рішень для сортування та переробки відходів, багато з них мають обмеження з точки зору ефективності, точності та екологічності. Сучасні дослідження та технологічні розробки відкривають нові можливості для покращення цих процесів, що робить тему дослідження надзвичайно релевантною та своєчасною.

Таким чином, цей розділ підкреслює значущість розвитку автоматизованих систем для сортування електрохімічних елементів і наголошує на потенціалі інновацій у цій області, спрямованих на вирішення глобальних екологічних проблем та підвищення ресурсної ефективності.

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

2. РОЗРОБКА ТА КОНСТРУЮВАННЯ СИСТЕМИ

2.1 Теоретичні основи сортування електрохімічних елементів

Основа роботи змінних джерел живлення

Акумулятор функціонує завдяки можливості повернення хімічної реакції до свого вихідного стану. Його ефективність відновлюється через процес зарядки, який полягає в пропусканні електричного струму у зворотному напрямку до розрядного. Декілька таких акумуляторів, з'єднаних у єдину електричну систему, утворюють акумуляторну батарею.[4]

Свинцево-кислотний акумулятор

Свинцево-кислотний акумулятор є популярним типом завдяки своїй доступності, довговічності (500 циклів і більше) та високій питомій потужності. Він застосовується у стартерних акумуляторах для транспортних засобів, аварійних та резервних джерелах енергії. Зазвичай під акумулятором мають на увазі одиничний елемент, проте в повсякденні під цим терміном розуміють цілу акумуляторну батарею. Проста схема типового свинцево-кислотного акумулятора представлена на малюнку 2.1, що демонструє основні елементи та принципи його роботи.[6]

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		20

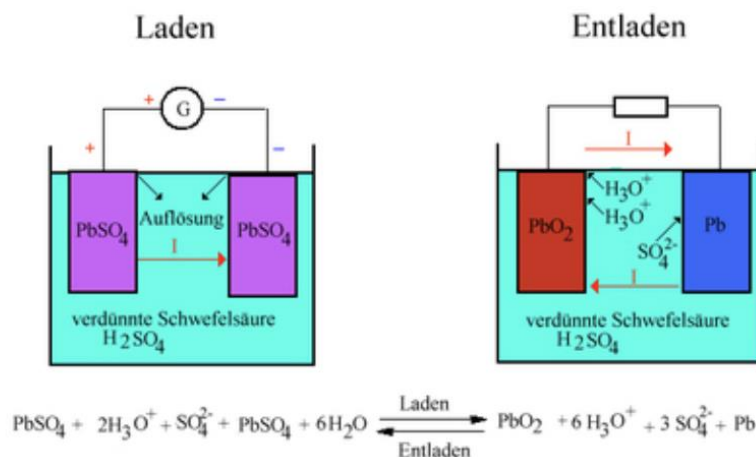


Рисунок 2.1 – Схема свинцево-кислотного акумулятора при зарядці (зліва) і при підключенні споживача електричного струму

Робота свинцево-кислотних акумуляторів базується на електрохімічних реакціях свинцю та діоксиду свинцю у водному розчині сірчаної кислоти. Під час підключення до акумулятора зовнішнього навантаження розпочинається реакція взаємодії металевого свинцю та сірчаної кислоти, що призводить до утворення сульфату свинцю. Протягом розряду діоксид свинцю відновлюється на катоді, а свинець окислюється на аноді. Зворотні реакції відбуваються під час зарядки. При перезарядці, коли сульфат свинцю вичерпується, запускається процес електролізу води, в результаті якого виділяється кисень на аноді і водень на катоді.

Під час заряду і розряду акумулятора спостерігається оборотний процес споживання та вироблення сірчаної кислоти, що впливає на щільність електроліту. В кінці заряду, коли сульфат свинцю зменшується, починає переважати процес електролізу води, що призводить до виділення газів і можливого "кипіння". Це є небажаним явищем, яке слід уникати через ризик вибуху.

Конструкція свинцево-кислотного акумулятора включає електроди з металевого свинцю та діоксиду свинцю, пористі сепаратори, які

перешкоджають замиканню, та електроліт з розчиненої сірчаної кислоти. Електроліт готується з дистильованої води, що забезпечує оптимальну електричну провідність при концентрації кислоти близько 35%, що знижує внутрішній опір акумулятора.

Літій-іонні акумулятори

Літій-іонні акумулятори (Li-ion) є основним типом електричних акумуляторів, використовуваних у широкому спектрі побутової електроніки та у системах альтернативної енергетики. Ці акумулятори стали вибором для стільникових телефонів, ноутбуків, цифрових фотоапаратів, відеокамер, а також електромобілів. Вони виготовляються із електродів, закріплених на алюмінієвій та мідній фользі, розділених пористим сепаратором, просоченим електролітом, і укладених у герметичний корпус зі струмознімальними клемми. Корпуси іноді оснащуються запобіжним клапаном для зниження внутрішнього тиску при аварійних умовах.[7]



Рисунок 2.2 – Літій-іонний акумулятор циліндричні

Літій-іонні акумулятори розрізняються типом катодного матеріалу, де основним переносником заряду є літій, що здатний інтеркалюватися у кристалічну решітку різних матеріалів, утворюючи хімічний зв'язок. Зокрема, використання літію в графіті утворює LiC₆, а оксиди та солі металів формують

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		22

структури, такі як LiMnO_2 чи LiMnRON . Спочатку у літій-іонних акумуляторах як негативні пластини застосовували металевий літій, потім перейшли на кам'яновугільний кокс, а згодом - на графіт.

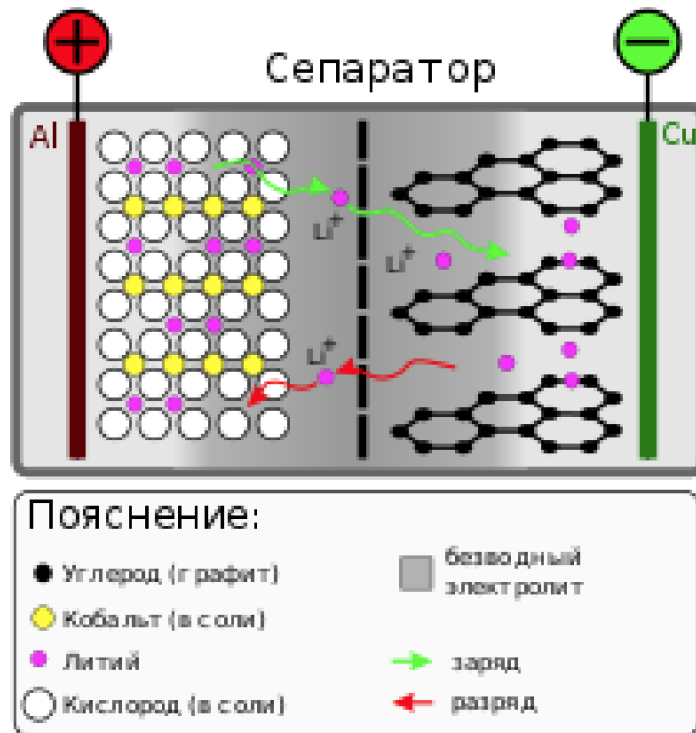


Рисунок 2.3 – Літій-іонний акумулятор. Схема роботи

Оксиди кобальту та літій-залізо-фосфатні матеріали підвищують кількість циклів заряду та розряду акумулятора, знижуючи його робочу температуру і вартість. Літій-іонні акумулятори також об'єднуються з системами управління батареями (BMS), інверторами та спеціальними зарядними пристроями для оптимальної роботи. Надмірне збільшення напруги при зарядці може призвести до швидкого перегріву та деградації акумулятора, скорочуючи його ефективний термін служби. Навіть без активного використання, літійові акумулятори поступово старіють, тому зберігання їх "про запас" може бути неефективним.[7]

2.1.1 Технології утилізації джерел живлення

Існує декілька методів для розподілу відпрацьованих акумуляторів. По-перше, можливо їх класифікувати на одноразові та багаторазові. По-друге, можна категоризувати за типом активного матеріалу:[4]

- Автомобільні акумулятори свинцево-кислотного типу здебільшого містять рідкий електроліт, хоча існують також сучасні версії з використанням скловолоконних та гелевих технологій.
- Нікелеві батареї, що включають застарілі нікель-кадмієві та нікель-металгідридні акумулятори, де кадмій замінений на металгідрид.
- Літієві джерела живлення, які поділяються на літій-іонні та літій-полімерні акумулятори. Усі ці категорії об'єднує спільна проблема, що стала особливо актуальною сьогодні - утилізація використаних акумуляторних батарей.

Ще декілька років тому утилізація зношених акумуляторів, особливо стандартних батарейок, не викликала запитань і вони часто потрапляли просто у загальні смітєві баки. Нині ж переробка таких батарей набула важливості через три основних фактори:[9]

- значне збільшення кількості батарей;
- змінене ставлення до екологічних питань;
- зростаюча роль використання вторинних ресурсів.

Таким чином, викидання стандартної батареї у сміття вважається не тільки необачним, але й неетичним. Утилізація старих акумуляторів дозволяє знизити вартість виробництва та забезпечує захист довкілля від потенційно шкідливих викидів свинцю та кислот. Відповідно, наявність пунктів прийому використаних акумуляторів стає ознакою сучасного і цивілізованого місця.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		24

2.1.2 Клас небезпеки та екологічні ризики

Більшість сучасних батарей, які застосовуються у електронних пристроях, є безпечними для довкілля, включаючи металгібридні та літій-іонні / полімерні батареї. Водночас, автомобільні акумулятори класифікуються як клас небезпеки 2. Річний обіг таких батарей в Україні перевищує 1,5 мільйони одиниць, що умовно виражається у великих кількостях екологічно шкідливих викидів. Згідно з природоохоронним законодавством України, необхідно забезпечити окремий збір та зберігання відходів автомобільних акумуляторів у спеціально відведених місцях, оснащених заходами для запобігання витоку електроліту. Оптимальне місце для таких контейнерів - ремонтна зона, а при розміщенні на відкритому повітрі обов'язковими є додаткові вимоги, такі як міцна кришка та навіс. Крім того, відпрацьовані батареї не повинні піддаватися механічним впливам.[8]

Компоненти, що входять до складу джерел живлення, можуть суттєво зашкодити навколишньому середовищу та здоров'ю людини при їх попаданні у ґрунт або водойми. Ці компоненти включають різні метали, кожен з яких представляє загрозу для екосистеми. Неправильне утилізування таких відходів як звичайне сміття призводить до декількох небезпек:

- ризик виникнення пожеж;
- випаровування токсичних речовин;
- розкладання батарей на шкідливі компоненти.

Забруднення довкілля починається відразу після того, як батарейки опиняються у сміттевому баку чи на вулиці. Екологи вказують на необачність людей, що спричиняє викид важких металів, таких як ртуть, свинець, нікель та кадмій, з пошкоджених оболонок батарей.[9]

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		25

Ці токсичні елементи впливають на навколишнє середовище наступним чином:

- просочуючись у ґрунт та підземні води;
- потрапляючи до водопровідних систем, де не завжди можливо їх повністю видалити з води;
- накопичуючись у воді, вони шкодять риbam та іншим водним організмам, які потім потрапляють в харчовий ланцюг;
- при спалюванні в спеціалізованих заводах, вони вивільняють активні хімічні речовини в атмосферу, які абсорбуються рослинами та потім потрапляють у легені тварин та людей.

Загроза для здоров'я людей від цих речовин полягає у їх здатності накопичуватися в організмі та спричиняти розвиток онкологічних захворювань, а також негативно впливати на здоров'я плоду під час вагітності.

2.2 Проектування конвеєрної системи

Проектування конвеєрної системи для автоматизованого сортування електрохімічних елементів включає кілька ключових аспектів, що забезпечують її ефективність, надійність і безпеку. Основні етапи проектування включають вибір конструктивних матеріалів, дизайн конвеєрної стрічки, інтеграцію системи вимірювання та контрольної апаратури, а також розробку безпекових заходів.

У рамках проектування конвеєрної системи для автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів було вибрано наступні компоненти та особливості:

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		26

1. Тип конвеєра: Стрічкові конвеєри

- **Опис:** Стрічковий конвеєр був обраний через його універсальність і здатність ефективно переміщувати велику кількість елементів різних розмірів і форм. Це ідеальне рішення для задач, де потрібно обробляти різноманітні типи акумуляторів та батарей.
- **Інтеграція:** Система буде оснащена змінною швидкістю переміщення, що дозволяє адаптуватися до різних операційних потреб.

2. Матеріали: Гума

- **Опис:** Вибір гуми як матеріалу для конвеєрної стрічки обумовлений її високою міцністю, довговічністю і хімічною стійкістю. Гума ефективно знижує ризик пошкодження батарей під час транспортування та забезпечує необхідну адгезію.
- **Інтеграція:** Стрічка буде спеціально розроблена для забезпечення стабільного та безпечного транспортування вантажів, уникнення зсувів або падінь об'єктів.

3. Інтеграція сенсорів

- **Опис:** Система буде оснащена комплексом сенсорів розпізнавання та системами вимірювання залишкового заряду.
- **Сенсори розпізнавання:** Включають оптичні та інфрачервоні сенсори для ідентифікації типу та стану батарей.
- **Системи вимірювання залишкового заряду:** Інтегровані електрохімічні сенсори для точного визначення залишкового заряду, що критично важливо для класифікації та подальшої обробки акумуляторів.

4. Автоматизація процесів

- **Опис:** Автоматизація ключових операційних процесів для підвищення продуктивності та зниження людського втручання.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		27

- **Інтеграція:** Використання програмованих логічних контролерів (PLC) для координації роботи сенсорів та механізмів, забезпечення точності та надійності роботи системи.

5. Заходи безпеки

- **Екстрені зупинки:** Інтеграція кнопок екстреного зупину на стратегічно важливих точках конвеєра для швидкого реагування на аварійні ситуації.
- **Захисні огорожі:** Встановлення огорож навколо рухомих частин конвеєра для запобігання нещасним випадкам серед персоналу та забезпечення загальної безпеки операторів.

Ця детально спланована конвеєрна система відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та безпеки загальної операції системи сортування, і є фундаментом для подальших розробок та інтеграції інших компонентів системи.

2.3 Вибір компонентів системи

У рамках проектування конвеєрної системи для автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів було вибрано наступні компоненти та особливості:

1. Сенсори і детектори:

- **Оптичні сенсори:** Ці сенсори будуть використовуватись для визначення фізичних характеристик, таких як розмір, форма та зовнішній вигляд батарей. Оптичні сенсори дозволяють швидко виконувати первинне сортування та класифікацію.
- **Електрохімічні сенсори:** Ці сенсори будуть використовуватись для вимірювання залишкового заряду батарей, що є критично важливим для визначення їхнього стану та придатності до повторного використання або переробки.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		28

2. Механізми сортування:

- **Роботизовані маніпулятори:** Ці механізми ідеально підходять для точного маніпулювання батареями, враховуючи їхні різні розміри і вагу. Вони можуть швидко і точно переміщувати обрані батареї на різні напрямки в залежності від результатів аналізу.

3. Системи управління:

- **Програмовані логічні контролери (PLC):** PLC будуть використовуватись для координації роботи всіх компонентів системи, включаючи сенсори та механізми сортування. Це дозволить забезпечити синхронізацію і високу точність роботи системи.
- **Програмне забезпечення:** Спеціалізоване програмне забезпечення буде розроблене для збору даних, управління процесами, а також для надання інтерфейсу користувача для моніторингу та управління процесами сортування.

4. Заходи безпеки:

- **Екстрені зупинки:** Система буде оснащена кількома кнопками екстреного зупину, розташованими на стратегічно важливих точках для швидкого реагування в аварійних ситуаціях.
- **Захисні огорожі:** Навколо рухомих частин конвеєра будуть встановлені захисні огорожі, щоб забезпечити безпеку операторів та уникнути випадкових контактів з обладнанням.

Цей набір компонентів дозволить створити високоефективну та надійну систему сортування, здатну адаптуватися до різноманітних умов експлуатації та виконувати поставлені завдання з максимальною точністю. Впровадження таких технологічних рішень не тільки підвищить продуктивність процесів сортування, але й забезпечить відповідність сучасним стандартам екологічної безпеки та ефективності переробки електрохімічних елементів.

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

2.4 Алгоритм аналізу та сортування

Розробка алгоритмів аналізу та сортування є ключовим компонентом автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів. Цей процес включає створення програмного коду, який дозволяє системі ефективно ідентифікувати, класифікувати і сортувати різні типи батарей і акумуляторів.

Алгоритми ідентифікації та класифікації:

Основна мета: Розпізнавання типу електрохімічних елементів і визначення їхнього стану, включаючи залишковий заряд.

- **Використання машинного зору:** Алгоритми машинного зору будуть застосовані для визначення зовнішніх характеристик батарей, таких як розмір, форма, та етикетки. Це включає в себе методи обробки зображень та глибокого навчання для розпізнавання певних патернів і символів.
- **Спектральний аналіз:** Застосування спектроскопічних сенсорів для ідентифікації матеріалів, з яких складаються батареї, дозволяє класифікувати їх за типами (літій-іонні, нікель-метал-гідридні тощо).

Алгоритми вимірювання залишкового заряду:

Основна мета: Точне визначення залишкового заряду для прийняття рішення про переробку або повторне використання.

- **Електрохімічні методи:** Використання сенсорів для прямого вимірювання напруги та струму, що дозволяє точно оцінити залишковий заряд.
- **Алгоритми на базі штучного інтелекту:** Розробка алгоритмів, що базуються на навчанні з підкріпленням, для прогнозування залишкового заряду на основі історичних даних та поточних вимірів.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		30

Алгоритми логіки сортування

Основна мета: Автоматизація процесу сортування на основі зібраних даних.

- **Правила рішення:** Встановлення чітких правил для сортувальної системи, що визначають, куди направляти батарею (переробка, повторне використання, спеціалізоване знищення).
- **Інтеграція з механічними системами:** Алгоритми будуть тісно інтегровані з роботизованими механізмами для фізичного сортування, забезпечуючи швидке та точне переміщення батарей за відповідними категоріями.

Моніторинг і звітність:

Основна мета: Забезпечення прозорості та контролю за процесами системи.

- **Інтерфейс користувача:** Розробка інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для моніторингу статусу сортування, відстеження продуктивності системи та доступу до аналітичних звітів.

Ці алгоритми дозволять створити гнучку та високоефективну систему сортування, здатну адаптуватися до різних умов та вимог, а також забезпечити високу точність і швидкість обробки електрохімічних елементів.

2.5 Методи вимірювання залишкового заряду

Методи вимірювання залишкового заряду в електрохімічних елементах, таких як батареї та акумулятори, є важливою частиною системи сортування. Визначення залишкового заряду дозволяє не тільки класифікувати елементи за їхньою поточною станом, але й визначати їхню придатність для повторного використання або переробки.[10]

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		31

Електрохімічні методи вимірювання

Основа: Використання безпосереднього вимірювання напруги та струму для оцінки залишкового заряду.

- **Вольтметричний метод:** Просте та швидке вимірювання напруги на клеммах батареї. Цей метод дає швидкий показник загального стану заряду, але може бути не точним для всіх типів батарей, особливо для тих, що мають плоский профіль розряду.
- **Амперметричний метод (Coulomb Counting):** Підрахунок кількості електричного заряду, що пройшов через батарею, забезпечує більш точне визначення залишкової ємності. Цей метод потребує інтеграції шунтуючого резистора для точного вимірювання струму.

Електрохімічна імпедансна спектроскопія (EIS)

Основа: Аналіз внутрішнього опору батареї за допомогою накладання змінного струму та аналізу отриманої відповіді.

- **Переваги:** EIS не тільки дозволяє визначити залишковий заряд, але й дає інформацію про стан здоров'я батареї, включаючи виявлення пошкоджень або деградації.
- **Застосування:** Цей метод вимагає спеціалізованого обладнання та аналітичного програмного забезпечення, але забезпечує високу точність та цінні діагностичні дані.

Інтеграція з алгоритмами на базі штучного інтелекту

Основа: Використання машинного навчання для аналізу даних вимірювань та історичних даних заряду/розряду для точнішого прогнозування залишкового заряду.

- **Переваги:** Здатність враховувати велику кількість змінних і надавати більш точні прогнози в реальному часі.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		32

- **Застосування:** Інтеграція алгоритмів штучного інтелекту може значно покращити точність визначення залишкового заряду, особливо в складних умовах з різноманітними типами батарей.

Ці методи вимірювання залишкового заряду дозволять точно і ефективно класифікувати батареї для подальшого перероблення або повторного використання, забезпечуючи оптимальну роботу системи сортування.

2.6 Використання залишкового заряду в батарейках

Використання залишкового заряду в батарейках, які сортуються, може бути важливим аспектом у процесі переробки та повторного використання енергійних ресурсів. Ось кілька способів, як можна застосувати цей заряд:

Перезарядка і повторне використання: Заряд, що залишився в батарейках, може бути використаний для перезарядки нових або вже використаних пристроїв. Це особливо ефективно для батарей, які мають високий рівень збереження енергії.

Використання в надзвичайних ситуаціях: Батарейки з невеликим зарядом можуть бути збережені для використання в надзвичайних китах або в системах, що потребують незначного джерела енергії.

Використання в наукових дослідженнях та освіті: Школи та університети можуть використовувати ці батарейки у навчальних цілях для демонстрації різних електричних властивостей або для малих наукових проєктів.

Генерація енергії для малих пристроїв: Заряд, що залишився, може бути використаний для живлення невеликих пристроїв, таких як годинники, калькулятори, або невеликі світлодіодні ліхтарики.

Комбінування зарядів для створення енергійних блоків: За допомогою спеціального обладнання можна комбінувати залишкові заряди з кількох

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

батареї для створення батарейних блоків, які можуть забезпечувати енергією більші пристрої.

Ці методи дозволяють ефективно використовувати залишковий заряд, зменшуючи відходи та сприяючи сталому використанню ресурсів.

2.7 Алгоритм Coulomb Counting

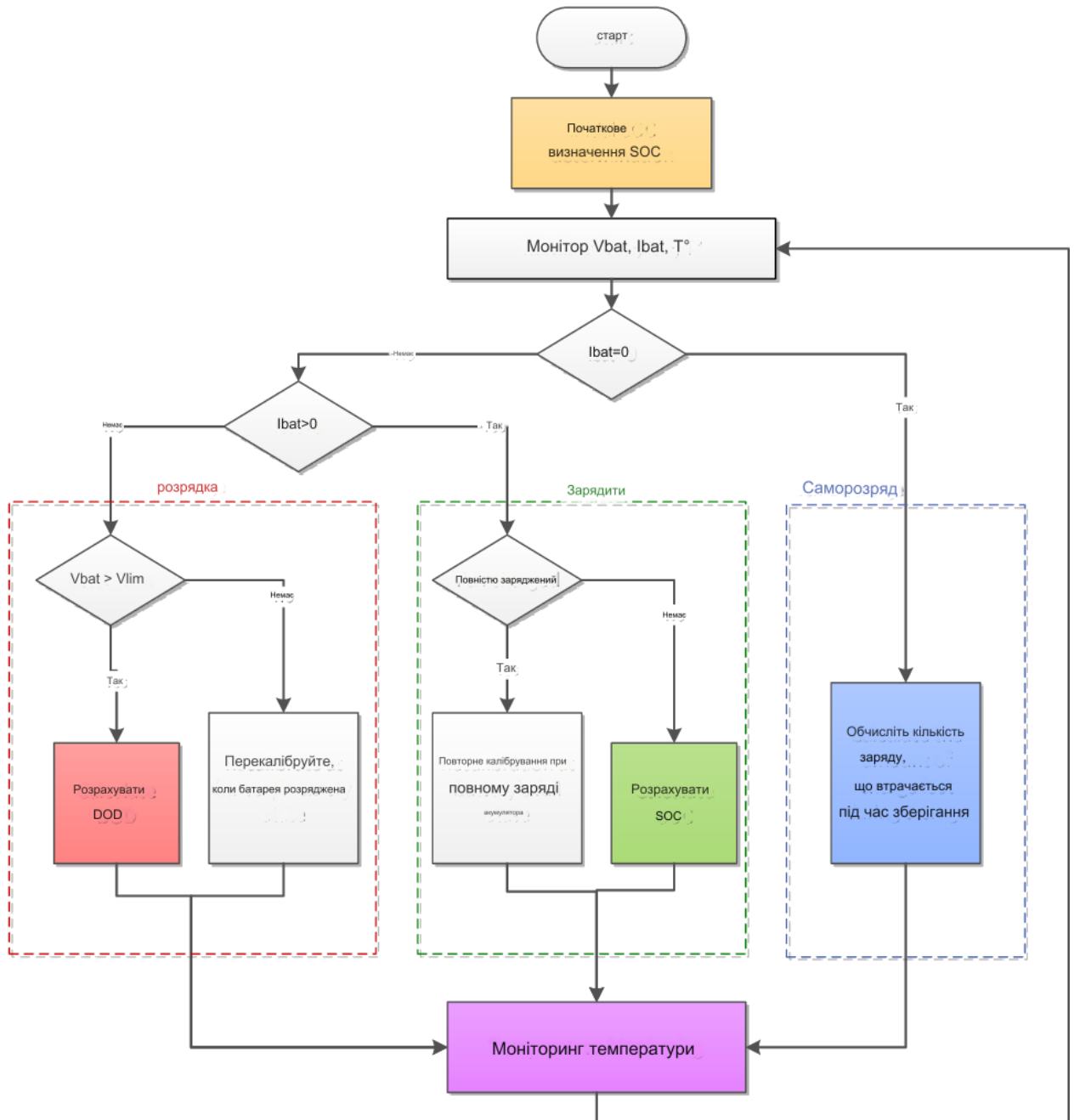


Рисунок 2.4 – Блок-схема метода Coulomb Counting

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

Алгоритм Coulomb Counting, також відомий як метод інтегрального підрахунку заряду, використовується для точного вимірювання залишкового заряду акумуляторів. Цей метод заснований на прямому вимірюванні струму, що протікає через акумулятор, та інтегруванні цього струму за часом для обчислення загальної кількості електричного заряду, який був витрачений або заряджений.[3]

Метод Coulomb Counting передбачає безперервне моніторинг та запис струмів, які протікають в батарею та з неї. Це робиться шляхом вимірювання струму за допомогою точних датчиків струму і інтегрування отриманого сигналу струму за часом:

$$Q = \int I dt$$

де Q — кількість заряду (в кулонах), I — струм через батарею (в амперах), dt — часовий інтервал вимірювання.

Алгоритм Coulomb Counting включає наступні кроки:

1. **Ініціалізація:** Налаштування системи для початкового стану батареї, включно з повним зарядом або відомим залишковим зарядом.
2. **Вимірювання струму:** Використання точного датчика струму для вимірювання струму, який протікає через батарею. Це може бути здійснено за допомогою шунтових резисторів або галоанізолюваних датчиків.
3. **Інтеграція:** Сумування (інтегрування) вимірних значень струму за час, щоб обчислити загальний заряд, який пройшов через батарею.
4. **Коригування на основі температури:** Корекція результатів на основі температури батареї, оскільки температура впливає на внутрішній опір та ефективність батареї.
5. **Оновлення індикації залишкового заряду:** Постійне оновлення індикації залишкового заряду на основі вимірних та обчислених даних.

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

Різні дослідження підкреслюють, що температура має важливий вплив на поведінку акумулятора. Дійсно, при низьких значеннях ємність, що вивільняється з акумулятора, різко зменшується, як показано на рис.2.5. Видно, що при низьких значеннях температури ємність становить близько 80% при температурі близько 5°C. І досягає 60% при $T^{\circ} = -10^{\circ}\text{C}$. [3]

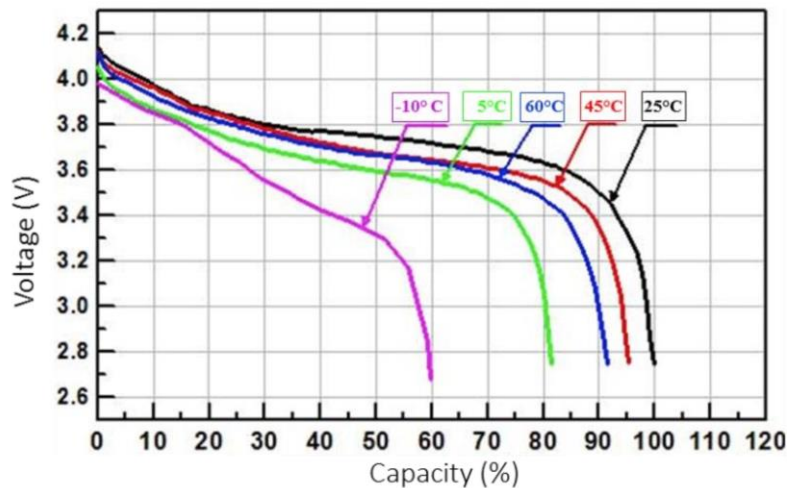


Рисунок 2.5 – Типові профілі розряду літій-іонного акумулятора при різних температурах

2.8 Опис дії конструкції

Автоматизована система сортування електрохімічних елементів розроблена для ефективного сортування батарей та акумуляторів, за винятком автомобільних акумуляторів, які вимагають ручного розбирання перед сортуванням, з використанням конвеєрної стрічки, роботів-маніпуляторів та датчиків для вимірювання залишкового заряду. Система починає свою роботу з надходження батарей на конвеєрну стрічку, що рухається зі швидкістю 0.2 м/с, забезпечуючи рівномірне подання матеріалів до зони аналізу.

В області розпізнавання роботи-маніпулятори оснащені спеціалізованими датчиками сканують кожен елемент, визначають тип батареї та вимірюють їх залишковий заряд. Елементи з достатнім залишковим зарядом класифікуються

										ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата							36

та сортуються для подальшого використання або перезарядки, тоді як повністю розряджені батареї направляються на утилізацію чи переробку.

Сортувальна система включає застосування алгоритмів для точного визначення маршруту кожного електрохімічного елементу залежно від стану його заряду. Це дозволяє мінімізувати людське втручання та підвищує точність та швидкість процесу сортування.

Інтеграція датчиків та механічних систем з програмним забезпеченням забезпечує автоматизацію процесу та дозволяє системі адаптуватися до різних типів електрохімічних елементів, що забезпечує високу гнучкість та ефективність роботи автоматизованої лінії сортування.

2.9 Опис методів

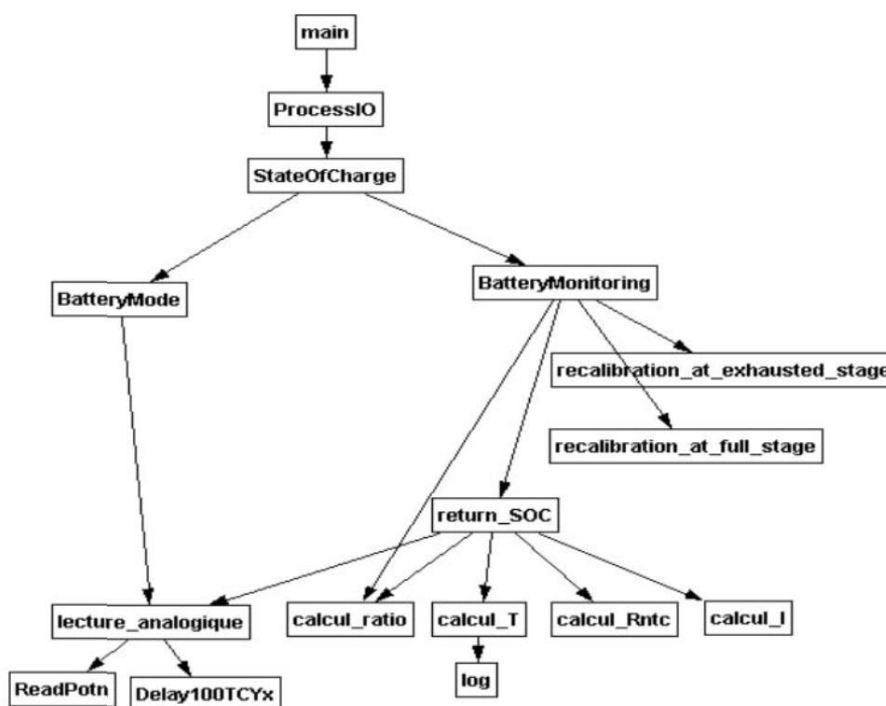


Рисунок 2.5 – Методи алгоритму Coulomb Counting

Функція	Опис
main()	Ця функція діє як точка входу і безперервно виконує основний цикл для перевірки та керування станом батареї.
initialize_system()	Використовується для початкових налаштувань системи, таких як калібрування або конфігурації, необхідні перед початком роботи.
process_io()	Обробляє всі операції вводу/виводу і вирішує, чи потрібно заряджати або розряджати батарею на основі умов, визначених допоміжними функціями.
battery_needs_charging()	Визначає, чи потрібно заряджати батарею, зазвичай перевіряючи поточну напругу батареї на відповідність встановленим пороговим значенням.
battery_needs_discharging()	Визначає, чи потрібно розряджати батарею, зазвичай перевіряючи поточну напругу батареї на відповідність встановленим пороговим значенням.
charge_battery()	Керує процесом заряджання, відповідно змінюючи напругу батареї.
discharge_battery()	Керує процесом розряджання, відповідно змінюючи напругу батареї.

Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

get_battery_voltage()	Взаємодіє з апаратним забезпеченням для отримання поточної напруги батареї.
increase_voltage()	Взаємодіє з апаратним забезпеченням для збільшення напруги батареї, імітуючи зміни під час заряджання.
decrease_voltage()	Взаємодіє з апаратним забезпеченням для зменшення напруги батареї, імітуючи зміни під час розряджання.

2.10 Діаграма активності

Діаграма діяльності (діаграма активності) дозволяє відобразити послідовності дій, що реалізовані у програмному забезпеченні.

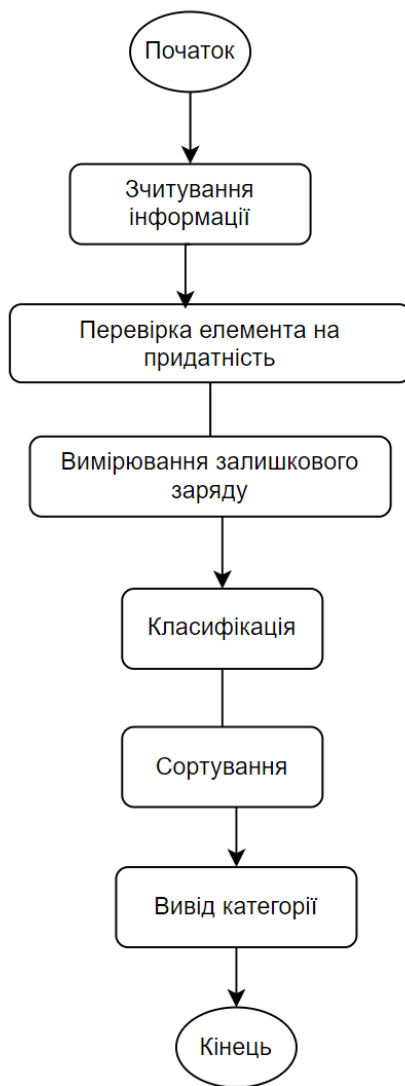


Рисунок 2.6 – Діаграма активності

Діаграма активності демонструє процес сортування електрохімічних елементів у автоматизованій системі. Вона починається з початкового зчитування даних про кожен елемент, включаючи його тип і залишковий заряд. На основі цих даних визначається, чи є елемент придатним для переробки. Якщо так, проводиться вимірювання залишкового заряду. Після цього елементи класифікуються за категоріями і сортуються відповідно. Процес завершується виведенням результатів категоризації.

Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи було розглянуто основні аспекти проектування та конструювання автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів. Робота здійснювалась у кілька етапів, кожен з яких спрямований на вирішення конкретних завдань у межах загальної цілі проекту.

Теоретичні основи сортування електрохімічних елементів: Було детально вивчено принципи роботи основних типів акумуляторів, їхні характеристики та особливості, що мають значення при сортуванні. Зокрема, наголос було зроблено на важливість розуміння хімічних процесів, що відбуваються під час заряду і розряду акумуляторів.

Проектування конвеєрної системи: Етап проектування включав вибір типу конвеєра, матеріалів, інтеграцію сенсорів та автоматизацію процесів. Вибір ленточних конвеєрів та гуми як матеріалу для стрічки забезпечує оптимальне поєднання довговічності, ефективності та безпеки. Інтеграція сенсорів розпізнавання та вимірювання залишкового заряду сприяє точності класифікації і сортування.

Вибір компонентів системи: Підібрані компоненти забезпечують високу надійність роботи системи. Зокрема, використання роботизованих маніпуляторів та сучасних систем управління дозволяє автоматизувати процеси на високому рівні та з мінімальним втручанням оператора.

Методи вимірювання залишкового заряду: Розроблені методи дозволяють точно і ефективно вимірювати залишковий заряд, що є ключовим для визначення подальшої стратегії поводження з кожним елементом. Впровадження технологій, як-от Електрохімічна імпедансна спектроскопія та штучний інтелект, забезпечує високу точність даних.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		41

Загалом, другий розділ закладає теоретичну і практичну основу для ефективної реалізації системи сортування. Комбінація передових технологій, глибоке розуміння процесів в акумуляторах, а також висока ступінь автоматизації забезпечують створення надійної та ефективної системи, здатної задовольнити сучасні потреби у переробці електрохімічних елементів.

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

3. КОМПОНУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Вибір технологічної одиниці

У технологічному розділі описано етапи проектування та конструювання автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів. Визначено виробничі процеси системи і оцінено очікувану вартість її реалізації. Поступово розглянуто технічні вимоги та виробничий потенціал основних компонентів.

Ключовим елементом є конвеєрний механізм, який включає:

- **Конвеєрна стрічка**, забезпечує транспортування електрохімічних елементів між станціями сортування.
- **Сенсори залишкового заряду**, здійснюють вимірювання заряду батарей для подальшої класифікації.
- **Система відділення**, яка включає механізми для фізичного сортування батарей за категоріями.

До складу системи входять також:

- **Натяжні ролики та ведучі барабани**, що забезпечують рух стрічки.
- **Привод**, який контролює швидкість руху стрічки і натяг.

Система оптичного розпізнавання складається з:

- **Оптичні датчики**, які ідентифікують тип та стан батарей за їхніми фізичними та хімічними властивостями.
- **Камери високої роздільної здатності**, здатні виявляти мікроскопічні відмінності між різними типами батарей.

Система обробки даних, що включає:

- **Процесори та мікроконтролери**, які обробляють інформацію від сенсорів і камер.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		43

- **Програмне забезпечення**, розроблене спеціально для аналізу даних і управління сортуванням.

Загалом, технологічна одиниця автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів включає в себе 25 основних компонентів, які забезпечують її функціональність, надійність та високу продуктивність у промислових умовах.

3.2 Підбір датчиків

Камери високої роздільної здатності:

- **Призначення:** Використовуються для забезпечення детальних візуальних зображень батарей та акумуляторів на конвеєрі.
- **Специфікація:** Ці камери можуть мати роздільну здатність від 1080p до 4K, що дозволяє розпізнавати навіть найдрібніші деталі, такі як текст на етикетках або мікроскопічні пошкодження.
- **Робота:** Інтеграція з програмним забезпеченням для аналізу зображення дозволяє ідентифікувати тип і стан батарей, що є критичним для їх правильної сортування.

Інфрачервоні датчики:

- **Призначення:** Використовуються для визначення матеріалів на основі їх спектральних характеристик, що є особливо корисним для ідентифікації хімічного складу акумуляторів.
- **Специфікація:** Ці датчики можуть визначати характеристичне інфрачервоне випромінювання різних матеріалів, що дозволяє точно відрізнити один тип батарей від іншого.
- **Робота:** Дані з ІЧ-датчиків обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання для класифікації батарей за типами.

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

Приклад датчика: Камера з машинним зором, така як Cognex In-Sight, яка може визначати параметри об'єктів у реальному часі на конвеєрній стрічці.

3.3 Підбір стрічки

Розрахунок кількості прокладок в стрічці:

$$i = S_{\max} / (B * k_p), \quad (1)$$

де S_{\max} – максимальний статичний натяг стрічки,

k_p – максимальне допустиме робоче навантаження,

B – ширина стрічки,

$$S_{\max} = 4000 \text{ Н},$$

$$k_p = 150 \text{ Н/см},$$

$$B = 70 \text{ см},$$

$$I = 4000 / (150 * 70) = 0.38,$$

Оскільки кількість прокладок має бути цілим числом і 0.38 наближено до 0, ми розглянемо необхідність встановлення хоча б однієї прокладки для забезпечення певного натягу, але при цьому маємо розуміти, що навантаження є невеликим.

Розраховуємо товщину стрічки:

$$\delta_{\text{л}} = \delta_{\text{п}} + \delta_1 + \delta_2, \quad (2)$$

де $\delta_{\text{п}}$ – товщина резинотканьового каркасу

δ_1 – товщина резинової обкладки робочої поверхні стрічки

δ_2 – товщина резинової обкладки неробочої сторони стрічки

$$\delta_{\text{п}} = 2.0 \text{ мм}$$

$$\delta_1 = 2.0 \text{ мм}$$

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

$$\delta_2 = 1.0 \text{ мм}$$

$$\delta_{\text{л}} = 2.0 + 2.0 + 1.0 = 5.0 \text{ мм}$$

Розраховуємо довжину стрічки конвеєра:

$$L_0 = L + l_2 * a, \quad (3)$$

де $L = 30 \text{ м}$ – довжина конвеєра по схемі траси конвеєра,

l_2 - довжина стика,

$$a = L / 75, \quad (4)$$

$a = 30 / 75 = 0.4$ – кількість стиків, приймаємо за 1

$$l_2 = 2 * 0.4 = 0.8 \text{ м},$$

$$L_0 = 30 + 0.8 = 30.8 \text{ м},$$

приймаємо довжину стрічки за 31 м

Згідно отриманих даних обираємо конвеєр типу: Лента 2.1-650-3-ТК100-2-6-2-Б РБ ГОСТ 20-85

3.4 Підбір привода

Для початку підберемо двигун, необхідна потужність двигуна:

$$N = (k * v * W_6) / 102 * \eta, \quad (5)$$

де $v = 1 \text{ м/с}$ – швидкість руху стрічки

$k = 1.25$ – коефіцієнт запасу потужності

$\eta = 0.9$ – ККД привода

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

$$N = (1.25 * 1 * 6000) / (102 * 0.9) = 82 \text{ кВт}$$

$W_{\text{б}}$ — ефективна вага стрічки з врахуванням навантаження (батареї).

Потужність на валі приводного барабана:

Припустимо, що ефективна вага (включаючи вагу батарейок та акумуляторів) на метр стрічки становить приблизно 200 Н (ньютонів), то загальна вага для 30-метрової стрічки буде:

$$W_{\text{б}} = 30 \text{ м} \times 200 \text{ Н/м} = 6000 \text{ Н}$$

$$N_{\text{б}} = N * 0.9, \tag{6}$$

$$N_{\text{б}} = 82 * 0.9 = 73.8 \text{ кВт}$$

Частота обертання приводного барабану:

$$n_{\text{б}} = (60 * v) / (\pi * D_{\text{п.б.}}),$$

де $D_{\text{п.б.}}$ — діаметр приводного барабану. Припустимо, діаметр барабану 0.5 м: (7)

$$n_{\text{б}} = 60 / (3.14 * 0.5) = 38.2 \text{ об/хв}$$

Обираємо двигун АИР 132М6У3 з достатньою потужністю та частотою обертання, яка відповідає вимогам задачі.

3.5 Розрахунок продуктивності

Швидкість конвеєрної стрічки: становить 0.2 м/с.

Розміри елементів: припустимо, що середній розмір електрохімічного елементу (батареї) становить 8 см (0.08 м).

Проміжок між елементами на стрічці: для ефективності сортування між елементами буде дистанція приблизно 4 см (0.04 м), щоб датчики та камери могли точно ідентифікувати кожен елемент.

Час обробки одного елементу: враховуючи час для ідентифікації, аналізу та вирішення, куди спрямувати елемент, припустимо, що він становить 1,4 секунду.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		47

На основі цих параметрів, ми можемо розрахувати, як часто новий елемент потрапляє під камеру або датчик для обробки:

- Відстань між передньою частиною одного елемента та передньою частиною наступного становить суму довжини елемента та проміжку:
 $0.08 + 0.04 = 0.12\text{м.}$
- Час, за який елемент пройде цю відстань при швидкості 0.2 м/с , :
відстань / швидкість = $0.12\text{м.} / 0.2 \text{ м/с} = 0.6 \text{ секунди}$

Звідси, кожні 0.6 секунди новий елемент з'являється під датчиками для обробки. Таким чином, теоретично, система може обробити:

$3600 \text{ секунд за годину} / 2 \text{ секунд за елемент} = 1800 \text{ елементів за годину}$

Отже, система має потенціал обробляти до 1800 елементів за годину.

3.6 Розрахунок основних показників технологічності

Для автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів, яка включає 25 ключових компонентів, визначено абсолютний показник трудомісткості виготовлення системи. Штучно-калькуляційний час визначається як сума часу, витраченого на виготовлення кожної деталі.

Абсолютний показник трудомісткості виготовлення виробу T_v можна розрахувати як:

$$T_{\text{и}} = \sum T_i, \quad (8)$$

де T_i – штучно-калькуляційний час.

На виготовлення всіх деталей системи було витрачено 165 нормо-годин, отже, $T_v = 165$ нормо-годин.

Для розрахунку критерію технологічності K_t використовуємо формулу:

$$K_t = T_v / T_{\text{вб}} \quad (9)$$

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		48

де Твб – базовий показник трудомісткості для подібних систем, що становить 120 нормо-годин.

Отже, маємо: $K_T = 165 / 120 = 1.375$

Наступний крок - визначення критерія уніфікації K_y :

$$K_y = (N_y + n_y) / (N + n), \quad (10)$$

де N, n – загальна кількість складальних одиниць і деталей у системі,

N_y, n_y – кількість уніфікованих складальних одиниць і деталей.

У цій системі уніфіковані складальні одиниці наступні: $N_y = 7, n_y = 18, N = 9, n = 40$.

$$K_y = (6 + 14) / (6 + 35) \approx 0.51$$

Це значення показує, що система має добру уніфікацію.

Коефіцієнт уніфікації складальних одиниць виробу K_{yN} розраховується як:

$$K_{yN} = N_y / N, \quad (11)$$

$$K_{yN} = 7 / 9 \approx 0.78$$

Отриманий результат $K_{yN} > 0.4$, це означає, що технологічність виробу прийнятна і вказує на високу уніфікацію складальних одиниць.

Коефіцієнт уніфікації деталей виробу K_{yn} розраховується як:

$$K_{yn} = n_y / n, \quad (12)$$

$$K_{yn} = 18 / 40 = 0.45$$

Цей показник також підтверджує, що система задовольняє вимоги технологічності, оскільки потрапляє в оптимальний діапазон $K_{yn} = 0.3 \dots 0.6$.

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

3.7 Структурна схема

Створення структурної схеми виконується перед складанням виробу. Це необхідно для вказівки фундаментальної конструкції виробу, кількості складальних одиниць, кількості основних частин і назви. На цьому малюнку показано основні етапи процесу складання виробу та кількість операцій складання.

Схема складання та технологічна схема відрізняються головним чином тим, що на схемі складання чітко не зображено порядок складання основних компонентів виробу.

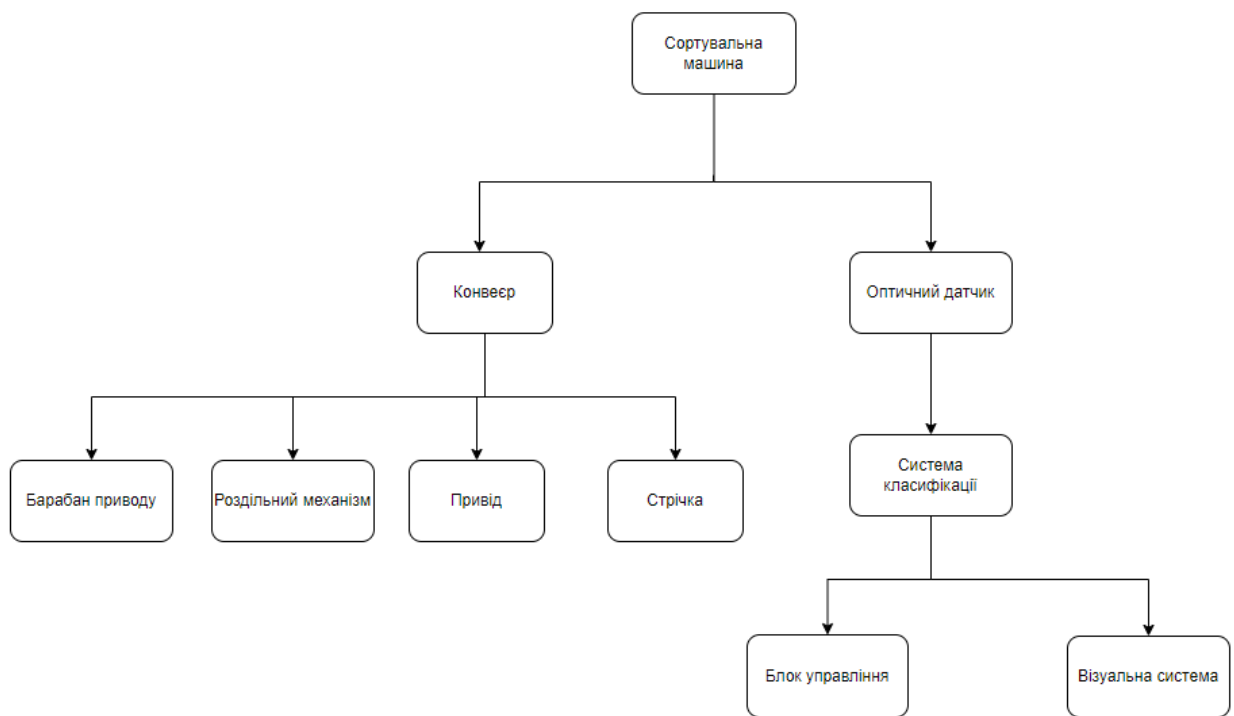


Рисунок 3.1 – Структурна схема

Висновки до розділу 3

У компонувавальному розділі проекту автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів було проведено ретельний аналіз технічних вимог та оптимізацію виробничих процесів. Визначення ключових компонентів та їхніх характеристик, а також підготовка до виробництва, засвідчили наступне:

- 1. Технічна оснащеність та уніфікація:** Конструктивні елементи, як-от конвеєрні механізми та системи класифікації, задовольняють всі технічні вимоги і забезпечують високий рівень ефективності системи. Уніфікація деталей та складальних одиниць забезпечує їхню виробничу ефективність і спрощує монтаж і обслуговування.
- 2. Технологічність виробу:** Високий коефіцієнт технологічності підкреслює готовність системи до ефективного виробництва. Це забезпечує економію часу та ресурсів при виготовленні, а також підвищує загальну якість.
- 3. Геометрична та функціональна точність:** Збереження високої геометричної та функціональної точності у всіх компонентах системи забезпечує надійність її роботи та точність виконання завдань сортування.
- 4. Підготовка до серійного виробництва:** Проектування та планування враховують можливість масштабування виробництва, забезпечуючи готовність системи до комерціалізації. Це відкриває перспективи для подальшого впровадження інновацій та розвитку продукту.

Ці висновки підтверджують високу технічну та економічну готовність системи до запуску і масштабування, що забезпечує важливі переваги для виробництва і комерціалізації.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		51

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Проблема ефективного сортування електрохімічних елементів є вкрай актуальною на тлі зростаючих вимог до екологічності та раціонального використання ресурсів. Сучасний світ вимагає нових технологій для зменшення обсягу відходів і максимальної рециркуляції матеріалів. Розробка автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів, що базується на принципах машинного зору та сучасних методах ідентифікації, є відповіддю на ці виклики. У цьому дослідженні ми визначили основні параметри і потреби для такої системи, розробили її архітектуру та протестували ключові компоненти.

На основі теоретичних розрахунків та практичних експериментів можемо зазначити, що впровадження розробленої системи дозволяє не тільки збільшити ефективність сортування вторсировини, але й значно зменшити навантаження на працівників сортувальних станцій. Система забезпечує високу точність ідентифікації типів елементів та їхнього стану, що є критично важливим для подальшої переробки та утилізації.

Завдяки розробленому програмному забезпеченню та алгоритмам штучного інтелекту, система може адаптуватися до змінних умов експлуатації та різних типів електрохімічних елементів, що робить її гнучкою та масштабованою. Це створює потенціал для її використання не тільки на промислових підприємствах, але й у муніципальних установах для поводження з побутовими відходами.

Отже, впровадження автоматизованої системи сортування електрохімічних елементів може стати значним кроком до досягнення більш сталого та ефективного використання ресурсів в індустрії переробки відходів.

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		52

ДЖЕРЕЛА

[1] 2023_JournalofChemistryandTechnologies [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/375074327>.

[2] ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.iee.kpi.ua/files/2019/dopovidi2019.pdf>

[3] Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/305641470>

[4] Макет автоматизованої лінії для сортування та переробки відпрацьованих елементів живлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/0833b0de-32b8-4474-902b-fa45427a4895>

[5] Про управління відходами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://grecolc.law/wp-content/uploads/2023/02/Tekst_Zbirky_Forum_Vidhody_-_2022_.pdf

[6] Свинцево-кислотні акумуляторні батареї [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sven.fi/ua/support/techsupport/service-article.php?id=16689>

[7] ЛІТІЙ-ІОННІ АКУМУЛЯТОРИ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radio-product.com.ua/ua/a260739-litij-ionnye-ion.html>

[8] Аналіз екологічної безпеки відпрацьованих елементів живлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/bd6f84b0-295c-4658-919f-4797a8eb886d/content>

[9] Утилізація акумуляторних батарей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://xn--80ancaco1ch7azg.xn--j1amh/uk/utilizatsiya-othodov/utilizatsiya-akkmulyatornyh-batareek/>

[10] Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries [Електронний ресурс]. – Режим

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		53

доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626190800306>

1

[11] Lithium-Ion Battery Recycling—Overview of Techniques and Trends [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsenergylett.1c02602>

					<i>ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

Додатки

надаються за запитом до авторів

					ДП ПМ-0102.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		55