

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
та мехатроніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Технологія збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї для
автономного ходу міського електротранспорту
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ІТМРТМ-21-1

Гайдамака Вадим Володимирович

Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки

Керівник доц. кафедри КІТАМ Іванов Л.С.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАМ

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2022 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____
(підпис)

« 24 » жовтня 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Гайдамакі Вадиму Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Технологія збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї для автономного ходу міського електротранспорту

Затверджена наказом по університету від 24 жовтня 2022р. № 1391 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Кількість гарантованих циклів – 8000 циклів;

3.2 Напруга живлення тролейбуса – 580 В;

3.3 Гарантійний термін зберігання – 2 роки;

3.4 Ємність батареї – 126 А*год;

3.5 Норма автономного ходу – 30%.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз предметної області;

4.3 Дослідження технологічних рішень по збільшенню життєвого циклу;

4.4 Розробка методів технічних операцій по збільшенню життєвого циклу;

4.5 Проведення експериментальних досліджень;

4.6 Охорона праці;

4.7 Висновки;

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

5.1 Демонстраційний матеріал у вигляді презентації – 10 арк. ф. А4.

1. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	27.09.22	Виконано
2	Опис життєвого циклу АКБ	5.10.22	Виконано
3	Опис автономного ходу міського електротранспорту	12.10.22	Виконано
4	Аналіз технологічних рішень по збільшенню життєвого циклу АКБ	23.10.22	Виконано
5	Розробка методів технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу АКБ	10.11.22	Виконано
6	Підбір програми тестування	18.11.22	Виконано
7	Проведення експерименту	24.11.22	Виконано
8	Перевірка керівником роботи	01.12.22	
9	Нормоконтроль	05.12.22	
10	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	09.12.22	
11	Подання роботи на рецензію	13.12.22	
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри	15.12.22	
13	Подання атестаційної роботи в ЕК	19.12.22	

Дата видачі завдання 24.10.2022 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. кафедри КІТАМ Іванов Л.С.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 с., 35 рис., 5 табл., 12 джерел, 1 додаток.

МІСЬКИЙ АВТОРАНСПОРТ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ, ТЕХНОЛОГІЯ.

Об'єктом дослідження – є технологія розробки акумуляторної батареї міського електротранспорту зі збільшеним життєвим циклом.

Метою даної роботи – є розробка технології збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї міського електротранспорту.

Предметом дослідження – є міський електротранспорт.

Для виконання роботи було використано статистичний метод дослідження.

В ході виконання атестаційної роботи було виконано аналіз існуючих технологій по збільшенню життєвого циклу акумуляторної батареї, проведено аналіз конструкцій акумуляторних батарей та розроблено методи технічних операцій по збільшенню життєвого циклу акумуляторної батареї міського електротранспорту.

ABSTRACT

Explanatory note: 71 p., 35 pictures, 5 tables, 12 sources, 1 appendix.

URBAM ELECTRIC TRANSPORT, BATTERY, LIFE CYCLE, TECHNOLOGY.

The object of the research is the technology of developing a battery for urban electric transport with an increased life cycle.

The purpose of this work is to develop a technology for increasing the life cycle of the battery of urban electric transport.

The subject of the research is urban electric transport.

A statistical research method used to perform the work.

In the course of the attestation work, an analysis of existing technologies for increasing the battery life cycle was performed, an analysis of battery designs was carried out, and methods of technical operations were developed to increase the life cycle of a city electric transport battery.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення.....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз актуальності роботи.....	11
1.1 Електрохімічний акумулятор.....	11
1.2 Види та класифікація акумуляторних батарей.....	12
1.3 Тролейбуси з автономним ходом.....	21
1.4 Основні положення про технологію.....	26
1.5 Класифікація технологій.....	28
1.6 Висновки.....	37
2 Дослідно-аналітичний розділ.....	38
2.1 Основні положення про життєвий цикл.....	38
2.2 Вплив на життєвий цикл тягових акумуляторних батарей.....	42
2.3 Обґрунтування збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї для міського електротранспорту.....	46
2.4 Принцип дії та конструкція Li-ion акумуляторної батареї.....	47
2.5 Конструктивні рішення по збільшенню життєвого циклу.....	49
2.6 Інженерно-технічні рішення по збільшенню життєвого циклу.....	52
2.7 Алгоритм рішення поставленого завдання.....	56
2.8 Висновки.....	57
3 Проектно-рекомендаційний розділ.....	58
3.1 Загальний порядок проведення технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу акумуляторної батареї міського електротранспорту.....	58
3.2 Розрахунки підвищення життєвого циклу акумуляторної батареї.....	59
3.3 Тестова програма для перевірки працездатності акумуляторної батареї.....	61
3.4 Експериментальні дослідження.....	64
3.5 Безпека і охорона праці при обслуговуванні акумуляторних батарей міського електротранспорту.....	66

3.6 Висновки.....	67
Висновки.....	68
Перелік джерел посилання.....	69
Додаток А.....	71

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- ААХ – аварійний автономний хід;
- АКБ – акумуляторна кислотна батарея;
- ДКР – дослідно-конструкторська робота;
- ЗАХ – збільшений автономний хід;
- ІТ – інформаційні технології;
- МЕМС – мікроелектромеханічні системи;
- НДР – науково-дослідна робота;
- СКК – система контролю та керування;
- ТАБ – тягова акумуляторна батарея;
- ТО – технічне обслуговування;
- AGM – absorbed glass mat;
- BMS – battery management system;
- EFD – enhanced flooded battery.

ВСТУП

Практично одразу після створення та розповсюдження тролейбуса як принципово нового виду транспорту став очевидним його головний недолік – обмежений перебіг та маневреність у зв'язку з живленням від контактної мережі.

Тролейбус, як гібрид трамвая та автобуса від першого взяв електричний тяговий привід, а від другого – кузов та автомеханічне обладнання. Електричний тяговий привід в автобусному кузові на практиці довів свою перевагу перед приводом від двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) – це екологічність, довговічність, надійність, динамічніші та комфортабельніші ходові якості. По суті, тролейбус програвав автобусу лише в одному – у залежності від контактної мережі. Вже тоді конструктори тролейбусних машин розуміли, що для більшої ефективності тролейбус має працювати як від контактної мережі, так і без неї.

Тому швидко встало питання в установленні на них акумуляторних батарей. Але щоб ефективно використовувати їх, потрібні акумулятори з підвищеною струмовіддачею та підвищеним життєвим циклом цих батарей.

Метою данної роботи є розробка технології збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї міського електротранспорту. Для досягнення данної мети потрібно:

- проаналізувати предметну область;
- проаналізувати сучасні види акумуляторів міського автотранспорту;
- розглянути впливи на життєвий цикл акумуляторної батареї;
- розглянути види технологій;
- розглянути методи збільшення життєвого циклу;
- вибрати рішення поставленої задачі;
- розробити загальний порядок проведення технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу;
- провести статистичні розрахунки підвищення життєвого циклу;
- підібрати програму для тестування параметрів акумуляторної батареї;
- провести експерименти.

Об'єктом роботи є технологія розробки акумуляторної батареї зі збільшеним життєвим циклом. Предметом роботи є міський електротранспорт. Для виконання роботи було використано статистичний метод дослідження.

Також по даній темі була опублікована научна стаття на тему Акумуляторна батарея. Вплив на життєвий цикл акумуляторної батареї [1].

Атестаційна робота виконується згідно ДСТУ 3008:15 [2] та керуючись методичними вказівками [3].

1 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ РОБОТИ

1.1 Електрохімічний акумулятор

Винахід електричного струму стало революцією в науці та житті, електричні прибори спростили життя простих громадян так і підприємств. Головною проблемою таких приладів була немобільність, так як без джерела струму вони безкористні, тому встало питання в можливості зберігати і передавати електричний струм, таким рішенням стала акумуляторна батарея. Акумуляторна батарея (рисунок 1.1) – хімічне джерело електричного струму багаторазової дії, основна специфіка, якого полягає в зворотності внутрішніх хімічних процесів, що забезпечує його багаторазове циклічне використання (через заряд-розряд) для накопичення електричної енергії та автономного електроживлення різноманітних електротехнічних пристроїв та систем. Акумулятор належить до категорії вторинних хімічних джерел струму [4].



Рисунок 1.1 – Акумуляторна батарея

Принцип дії акумулятора заснований на зворотності хімічної реакції. Найпоширеніші електричні (кислотні та лужні) акумулятори накопичують хімічну енергію (внаслідок зворотних хімічних реакцій між речовиною електродів та електролітом), і віддають електричну енергію, будучи гальванічними елементами. Працездатність акумулятора може бути відновлена шляхом заряду, тобто пропусканням електричного струму в напрямку, зворотному напрямку струму при

розряді: на від'ємному електроді (катоді) реакція окиснення замінюється реакцією відновлення, а на позитивному електроді (аноді) реакція відновлення змінюється на реакцію окиснення [4].

Основними характеристиками акумуляторної батареї є енергетична ємність та ємність акумулятора. Ємність акумулятора – це максимально можливий корисний заряд, що віддається повністю зарядженим акумулятором при розряді до найменшої допустимої напруги. В міжнародній системі одиниць SI ємність акумуляторів вимірюють в кулонах. На практиці використовується позасистемна одиниця Ампер-година: $1 \text{ А} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Кл}$. Енергетична ємність – енергія, що віддається повністю зарядженим акумулятором при розряді до найменшої допустимої напруги. В міжнародній системі одиниць SI енергетична ємність вимірюється джоулях. На практиці використовується позасистемна одиниця Ват-година: $1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Дж}$.

1.2 Види та класифікація акумуляторних батарей

Існує два види акумуляторних батарей:

- стартерний акумулятор – відрізняється високими пусковими струмами, але не може довго тримати заряд;

- тяговий акумулятор – відрізняється довгою тривалістю роботи, але не може похвалитися високим струмом;

Переваги стартерного акумулятора:

- високий струм;
- малі габарити корпусу;
- дешевизна;
- низька вага акумулятора [5].

Недоліки стартерного акумулятора:

- чутливість до глибоких розрядів;
- низька кількість циклів заряду-розряду;
- мала тривалість роботи [5].

Переваги тягового акумулятора:

- висока тривалість роботи;
- висока кількість циклів заряду-розряду;
- стійкість до глибоких розрядів [5].

Недоліки тягового акумулятора:

- висока ціна;
- низький струм;
- великі габарити;
- велика вага [5].

Літій-іонний акумулятор (Li-ion) – тип електричного акумулятора, який широко поширений в сучасній побутовій електронній техніці і знаходить своє застосування як джерело енергії в електромобілях та накопичувачах енергії в енергетичних системах, рисунок 1.2 [6].



Рисунок 1.2 – Літій-іонний акумулятор (Li-ion)

Літій-іонний акумулятор складається з електродів (катодного матеріалу на алюмінієвій фользі та анодного матеріалу на мідній фользі), розділених пористим сепаратором, просоченим електролітом. Пакет електродів поміщений у герметичний корпус, катоди та аноди приєднані до клем-струмознімачів. Корпус іноді оснащують запобіжним клапаном, що скидає внутрішній тиск при аварійних ситуаціях або

порушення умов експлуатації. Літій-іонні акумулятори відрізняються за типом використовуваного катодного матеріалу. Переносником заряду в літій-іонному акумуляторі є позитивно заряджений іон літію, який має здатність впроваджуватися (інтеркалюватися) в кристалічну решітку інших матеріалів (наприклад, графіт, оксиди і солі металів) з утворенням хімічного зв'язку, наприклад: графіт з утворенням LiC_6 , оксид (LiMnO_2) та солі (LiMnRON) металів.

Спочатку, як негативні пластини застосовувався металевий літій, потім – кам'яновугільний кокс. Надалі став застосовуватись графіт. Застосування оксидів кобальту дозволяє акумуляторам працювати за значно нижчих температур, підвищує кількість циклів розряду/заряду одного акумулятора. Поширення літій-залізо-фосфатних акумуляторів зумовлено їхньою відносно низькою вартістю. Літій-іонні акумулятори застосовуються в комплекті із системою контролю та керування – СКК або BMS (battery management system), – та спеціальним пристроєм заряду-розряду [6].

Параметри літій-іонного акумулятора наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри літій-іонного акумулятора [6]

Параметри	Показники
Напруга одного елементу	2,5 – 4,2 В
Питома енергоємність	110 – 270 Вт · год / кг
Внутрішній опір	4 – 15 мОм
Термін придатності	600 циклів заряду-розряду до зниження ємності до 80%
Саморозряд при 25°C	≈ 1,6% в місяць
Робоча температура	-20...+60°C

Майже завжди в корпус акумулятора вбудований контролер (рисунок 1.3), який керує зарядкою та захищає акумулятор від перевищення напруги заряду, надмірного розряду та перевищення температури, що призводять до передчасної деградації або руйнування. Також цей контролер може обмежувати струм споживання, захищати від короткого замикання. Тим не менш, треба враховувати, що не всі акумулятори мають захист. Виробники можуть не встановлювати її з метою зниження вартості, ваги, а також у пристроях, в яких вбудований контролер захисту, акумуляторні батареї

(наприклад, ноутбуки) використовують акумулятори без вбудованої плати захисту [6].



Рисунок 1.3 – Контролер літій-іонного акумулятора

Акумулятори літієві мають спеціальні вимоги при підключенні декількох комірок послідовно. Зарядні пристрої для таких багатоскладових акумуляторів із комірок або самі акумуляторні батареї мають схему балансування комірок. Сенса балансування в тому, що електричні властивості комірок можуть трохи відрізнятися, і якась комірка досягне повного заряду-розряду раніше за інших. При цьому необхідно припинити заряд цієї комірки, продовжуючи заряджати решту, оскільки перерозряд або перезаряд літій-іонних акумуляторів виводить їх з ладу. Цю функцію виконує спеціальний вузол – балансер. Він шунтує заряджену комірку так, щоб струм заряду йшов повз неї. Балансери одночасно виконують як функцію плати захисту щодо кожного акумулятора, так і батареї в цілому.

При використанні літій-іонних акумуляторів у складі батарей без балансуєчого пристрою (рисунок 1.4) частина з них виявиться перерозрядженою (В) під час роботи батареї або перезарядженої (С) або не дозарядженої (D) до номінальної ємності під час заряджання батареї [6].

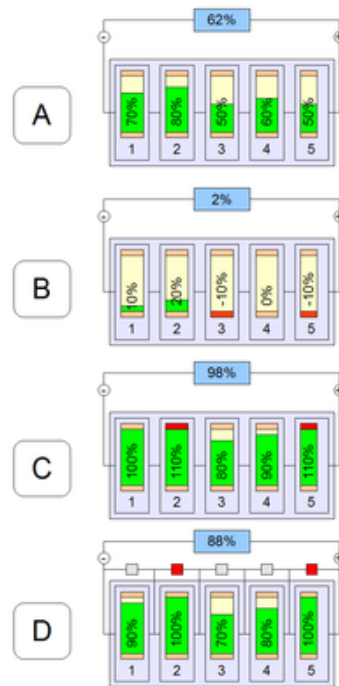


Рисунок 1.4 – Використання літій-іонного акумулятора без балансиру

Переваги літій-іонного акумулятора:

- низький саморозряд;
- висока струмовіддача;
- велика кількість циклів заряд-розряд;
- не потребує обслуговування [7].

Недоліки літій-іонного акумулятора:

- вогненебезпечний;
- втрачає працездатність при перезарядці;
- втрачає ємність при низьких температурах;
- добування літію шкодить навколишньому середовищу, також літій є токсичним відходом [7].

Свинцево-кислотний акумулятор (рисунок 1.5) – тип акумуляторів, що набув широкого поширення через помірну вартість, непоганого ресурсу (від 500 циклів і більше), високої питомої потужності. Основні сфери застосування: стартерні акумуляторні батареї в транспортних засобах, аварійні джерела електроенергії, резервні джерела енергії [8].



Рисунок 1.5 – Свинцево-кислотний акумулятор

Данні акумулятори класифікують на AGM та EFB. AGM (від англ. absorbent glass mat) – акумулятор, в якому між пластинами встановлені абсорбуючі електроліт мати зі скловолокна в ролі сепараторів. Ці сепаратори не тільки попереджають коротке замикання пластин у разі їх руйнування, губчаста конструкція сепараторів утримує в них електроліт рахунок капілярних сил, і електроліт не випливає з батареї ні за яких обставин. Такі губчасті сепаратори, утримуючи електроліт, попереджають його розшарування (стратифікацію), що продовжує термін служби акумулятора. Також в акумуляторах AGM працює цикл рекомбінації кисню, що має як переваги, так і недоліки. За рахунок рекомбінації кисню в акумуляторах AGM витрата води менша, ніж у простих АКБ [8].

EFB (від англ. enhanced flooded battery) – акумуляторна батарея з рідким електролітом, що вільно плескається, пластинами підвищеної товщини в порівнянні з простими АКБ (такі ж пластины, як в AGM) і с більш щільною в порівнянні з простими АКБ конструкцією сепараторів. Серед інших, у EFB зустрічаються сепаратори зі скловолокна (подібно до AGM). Акумулятори EFB займають проміжне положення між простими АКБ і батареями AGM [6].

Принцип роботи свинцево-кислотних акумуляторів ґрунтується на електрохімічних реакціях свинцю та діоксиду свинцю у водному розчині сірчаної кислоти. При підключенні до електродів акумулятора зовнішнього навантаження

починається електрохімічна реакція взаємодії оксиду свинцю та сірчаної кислоти, причому металевий свинець окислюється до сульфату свинцю (у класичному варіанті акумулятора).

Під час розряду відбувається відновлення діоксиду свинцю на катоді та окислення свинцю на аноді. При заряді протікають зворотні реакції. При перезаряді акумулятора, після вичерпання сульфату свинцю, починається електроліз води, у своїй на аноді (позитивний електрод) виділяється кисень, але в катоді – водень. Схема реакції зображено на рисунку 1.6.

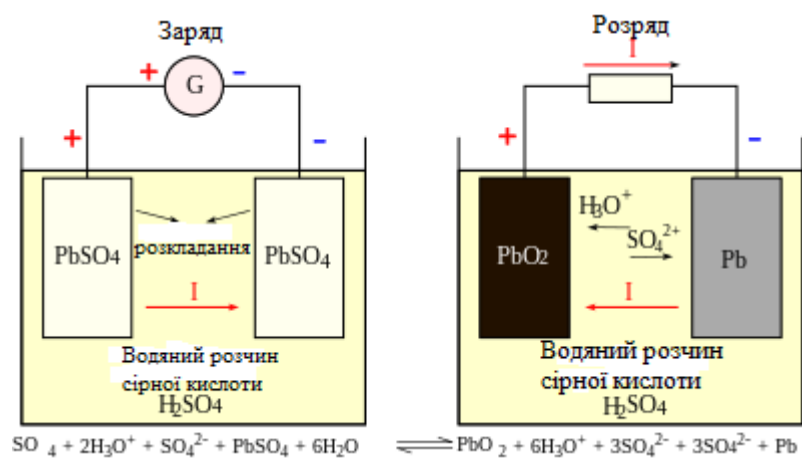


Рисунок 1.6 – Електрохімічні процеси в свинцево-кислотному акумуляторі при заряді та розряді

При розімкненому зовнішньому ланцюзі на аноді накопичуються вільні електрони, які притягують з електроліту іони H^+ . У тонкому шарі поблизу анода формується електричне поле, яке перешкоджає доступу іонів SO_4^{2-} до електрода. У міру накопичення негативного заряду різниця потенціалів на такому тонкому шарі зростає, доступ негативних іонів до анода сповільнюється, встановлюється рівновага і заряд припиняє накопичуватися на аноді. Аналогічна ситуація відбувається на катоді: позитивний заряд катода притягує іони SO_4^{2-} відтісняючи іони H^+ реакція уповільнюється. При замиканні зовнішнього кола електрони анода перетікають на катод і нейтралізують позитивний заряд на ньому, що сприяє відновленню хімічних реакцій на електродах [8].

При розряді акумулятора з електроліту витрачається сірчана кислота і виділяється відносно легша вода, щільність електроліту падає. При заряді відбувається зворотний процес. В кінці заряду, коли кількість сульфату свинцю на електродах знижується нижче деякого критичного значення, починає переважати процес електролізу води. Газоподібні водень і кисень виділяються з електроліту у вигляді бульбашок – так зване кипіння при перезаряді. Це небажане явище, при заряді його слід по можливості уникати, так як при цьому вода необоротно витрачається, наростає щільність електроліту і є ризик вибуху газів, що утворюються. Тому більшість зарядних пристроїв знижує зарядний струм у разі підвищення напруги акумулятора. Втрати води заповнюють доливкою в акумулятори дистильованої води при обслуговуванні акумуляторної батареї (деякі автомобільні батареї не мають пробок, що відкриваються-відгвинчуються) [8].

Елемент свинцево-кислотного акумулятора (рисунок 1.7) складається з електродів і пористих роздільних пластин, виготовлених з матеріалу, що не взаємодіє з кислотою, що перешкоджають замиканню електродів (сепараторів), які занурені в електроліт. Електроди є плоскими ґратами з металевого свинцю. У комірки цих ґрат запресовані порошки діоксиду свинцю PbO_2 – в анодних пластинах і металевого свинцю - в катодних пластинах (тут анодом при заряді акумулятора позитивний його електрод, бо при розряді акумулятора він стає катодом, як електрод до якого направлено рух електронів у зовнішньому ланцюзі). Застосування порошків збільшує поверхню розділу електроліт – тверду речовину, тим самим збільшує електричну ємність акумулятора [8].

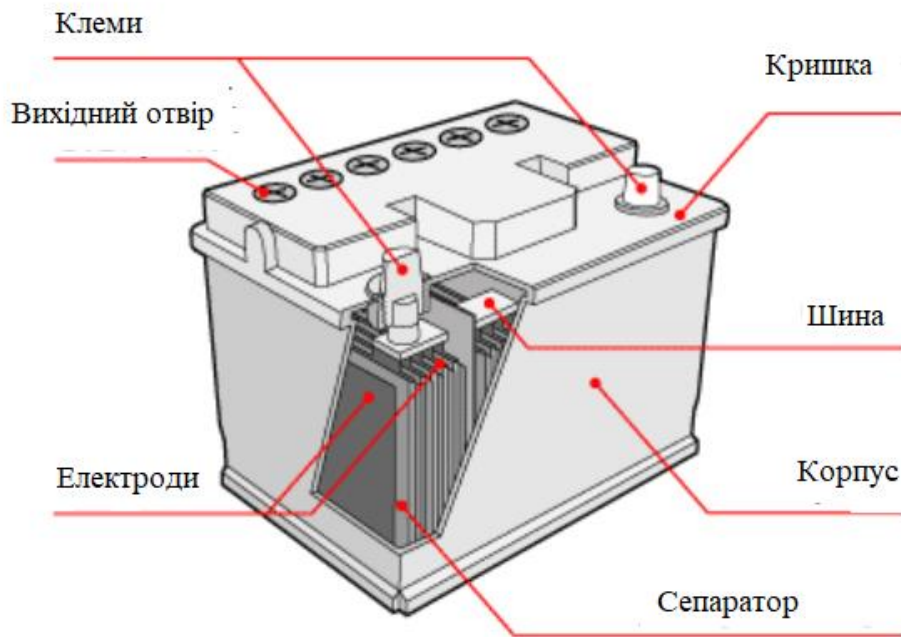


Рисунок 1.7 – Будова свинцево-кислотного акумулятора

Електроди разом із сепараторами занурені в електроліт, що є водним розчином сірчаної кислоти. Для приготування розчину кислоти застосовують дистильовану воду. Електрична провідність електроліту залежить від концентрації сірчаної кислоти і за кімнатної температури максимальна при масовій частці кислоти 35 %, що відповідає щільності електроліту $1,26 \text{ г/см}^3$. Чим більша провідність електроліту, тим менший внутрішній опір акумулятора, і, відповідно, нижче втрати енергії на ньому. Однак, на практиці в районах з холодним кліматом застосовують і більш високі концентрації сірчаної кислоти, до $1,29\text{-}1,31 \text{ г/см}^3$, це пов'язано з тим, що при зниженні концентрації через розряд електроліт може замерзнути, а при замерзанні утворюється лід, який може розірвати банки акумулятора та пошкоджує губчастий матеріал пластин. Характеристика свинцево-кислотного акумулятора наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри свинцево-кислотного акумулятора [8]

Параметри	Показники
Питома межа теоретичної енергоемності	133 Вт · год / кг
Питома енергоемність	25 – 40 Вт · год / кг
ЕРС	2,11 – 2,17 В
Напруга повністю розряженого акумулятора	1,75 – 1,80 В
ККД	80 – 90 %
Робоча температура	-40...+40°C

Переваги свинцево-кислотного акумулятора:

- велика кількість циклів заряд-розряд;
- низький саморозряд;
- повна відсутність ефект пам'яті [7].

Недоліки свинцево-кислотного акумулятора:

- низька питома ємність;
- вразливість перед глибокими розрядами [7].

1.3 Тролейбуси з автономним ходом

Першим вітчизняним троллейбусом, який одержав функцію автономного ходу, став двоповерховий троллейбус ЯТБ-3 (рисунок 1.8), який був побудований на базі британської машини АЕС-ЄЕС-664Т. Джерелом живлення для роботи поза контактною мережею був посилений комплект акумуляторних батарей, від якого запитувався тяговий привід троллейбуса. ЯТБ-3 оснащувався чотирма 12-вольтовими акумуляторними батареями типу 6СТ.Б.16/1 ємністю 144 ампер-годин кожна. При живленні троллейбуса від контактної мережі секції акумуляторної батареї з'єднувалися паралельно, а при переведенні перемикача батарея - мережа в положення батарея – послідовно, створюючи при цьому сумарну напругу 48 В. При цьому ЯТБ-3 з пасажирами міг пересуватися на відстань до 2,5 км зі швидкістю до 25 км/год. Використання такої функції розширювало можливості троллейбуса на маршруті

шляхом виключення простою за відсутності живлення в контактній мережі, її обриву або за наявності на шляху тролейбуса перешкод.



Рисунок 1.8 – Тролейбус ЯТБ-3

Нині така функція тролейбуса називається аварійним автономним ходом (ААХ). За його наявності машина може короткочасно рухатися без живлення від контактної мережі. Ще в 1980-х роках, експортні тролейбуси ЗіУ-682В та ЗіУ-683В за бажанням замовника могли оснащуватися функцією ААХ. Наприклад, тролейбуси ЗіУ-682В-УА, які постачалися до Аргентини, могли рухатися без живлення від мережі на відстань до 4 км зі швидкістю 5 км/год із повним навантаженням. При цьому тяговий привід тролейбуса живився від додаткового комплекту акумуляторних батарей, який розміщувався під заднім майданчиком і загальна напруга якого дорівнювала 72 В.

Деякі сучасні тролейбуси й досі оснащуються такою функцією. Так, вітчизняний тролейбус Богдан-Т70117 (рисунок 1.9) має додатковий комплект із чотирьох акумуляторних батарей типу 6СТ-190, які встановлені на даху та заряджаються окремим статичним перетворювачем іРТ 830/58-69. При переході в режим автономного ходу живлення тягового приводу перемикається спеціальним перемикачем на батарею автономного ходу, при цьому автоматично знімаються з контактної мережі струмоприймачі та притискаються до даху тролейбуса. У такому

режимі завантажений тролейбус може проїхати відстань до 1 км зі швидкістю до 5 км/год.



Рисунок 1.9 – Тролейбус Богдан-T70117

Чеський зчленований тролейбус Škoda 31Tr SOR має ААХ від штатних акумуляторних батарей, проте дальність при цьому становить не більше 100 м. Але цього цілком достатньо, щоб переїхати, наприклад, знеструмлене перехрестя. У разі включення ААХ обмежується функціональність інших систем тролейбуса. Крім того, дальність ААХ не дозволяє повноцінно працювати тролейбусу на маршруті із частковою відсутністю контактної мережі. Але головною перевагою тролейбуса з такою функцією є те, що він не стоятиме при пориві контактної мережі, її знеструмленні або за наявності перешкоди для проїзду під контактною мережею. Вартість комплекту ААХ, у тому числі додаткових акумуляторних батарей, перетворювача для їх заряджання, а також комутаційних елементів (контакторів) за сьогоднішніми мірками становить лише до 3% від загальної вартості тролейбуса. Тому тролейбуси з ААХ стають дедалі популярнішими.

Для кардинального збільшення автономного ходу необхідно встановлювати інші акумуляторні батареї – так звані тягові акумуляторні батареї (ТАБ). При використанні дальність роботи тролейбуса без живлення від контактної мережі може сягати 50 км. В ТАБ використовуються літєві акумулятори, які вдвічі легші за свинцеві і при цьому мають термін експлуатації в 25 разів більше. Літєві акумулятори

мають більш високу струмовіддачу, що дозволяє їм видавати більшу потужність. Температурний режим таких акумуляторів також більш прийнятний для транспортування від -30 до +45 °С. Дальність автономного ходу тролейбуса залежить кількості ТАБ та його характеристик. На сьогодні практично кожен виробник тролейбусів пропонує модифікацію свого базового тролейбуса, яка може комплектуватися ТАБ для роботи на маршрутах без контактної мережі. Так, у 2018 р. місто Брно (Чехія) придбало партію тролейбусів Škoda 26Tr Solaris зі збільшеним автономним ходом (ЗАХ). Ці тролейбуси оснащені двома літій-титанатними ТАБ типу TBS 4.1, які послідовно з'єднані. ТАБ TBS 4.1 складається з 28 елементів типу nLTO 24V/70 Ah, загальна напруга однієї батареї – 336 В. Дві батареї розміщені в задній звисі тролейбуса (одна над іншою), мають власну систему охолодження та важать близько тонни. Загальна напруга 672 В, яку дають обидві ТАБ, дозволяє їхати тролейбусу з повним завантаженням на автономному ході зі швидкістю до 40 км/год і на дальність до 15 км. Зарядження ТАБ не вимагає спеціальної зарядної станції і здійснюється під час роботи тролейбуса від контактної мережі. При цьому модифікація 26Tr має зменшену місткість до 80 осіб.

Модифікація тролейбуса Дніпро-Т203-Т20320 (рисунок 1.10), яка виробляється Південним машинобудівним заводом (м. Дніпро) з 2017 р., оснащена чотирма ТАБ типу Winston Battery WB-LYP100АНА, які розміщені в різних частинах тролейбуса біля керованої осі, дві – в задній частині тролейбуса). Всі вони з'єднані послідовно і мають загальну напругу 512 В. Кожна ТАБ має 40 акумуляторів, які мають напругу 3,2 В і ємність 100 ампер-годин, а також систему охолодження у вигляді низьковольтного вентилятора. Такий комплект ТАБ забезпечує тролейбусу із пасажирами дальність їзди без контактної мережі до 20 км. Тролейбуси Дніпро-Т20320 працюють на постійних маршрутах з ділянками без контактної мережі у Бахмуті, Дніпрі, Запоріжжі, Краматорську, Кропивницькому, Рівному, Слов'янську, Чернівцях.



Рисунок 1.10 – Тролейбус Дніпро-Т203-Т20320

Цікаво, що тролейбуси з ЗАХ мають другу назву – електробуси з динамічною зарядкою, тобто зарядка ТАБ відбувається під час руху з живленням від контактної мережі. Але все ж таки, на думку автора, наявність струмоприймачів та можливість роботи в режимі тролейбуса відносить такі машини саме до тролейбусів. Тролейбуси з ЗАХ також набирають популярності. Адже вони дозволяють експлуатаційним підприємствам відкривати нові маршрути без продовження контактної мережі або продовжувати тролейбусні маршрути далі за межі контактної мережі.

Найяскравішим прикладом може бути місто Кременчук, яке закупило тролейбуси Богдан-Т70117 та АКСМ-321 з ЗАХ для організації цілого ряду тролейбусно-автобусних маршрутів, у тому числі на правий берег Дніпра, де розташований Крюківський район міста. Важливою перевагою таких машин є те, що вони не вимагають заряджання ТАБ спеціальних електричних зарядних станцій, а заряджаються від контактної мережі (як у русі, так і в стані спокою). Тролейбус з ЗАХ має до 20% більшу вартість, ніж аналогічний тролейбус без цієї функції.

Найновішим вітчизняним типом такого тролейбуса є PTS-12 (рисунок 1.11), який збирається київським підприємством Політехносервіс на базі кузова МАЗ-203Т. Такі тролейбуси вже експлуатуються у Вінниці та Харкові. В Україні за останні п'ять років тролейбуси з ЗАХ почали працювати у понад десяти містах країни, що, безперечно, свідчить про їхній успіх.



Рисунок 1.11 – Тролейбус PTS-12

1.4 Основні положення про технологію

Термін технологія має декілька базисних значень.

Технологія – сукупність методів (способів) виготовлення, видобутку, обробки або переробки та інших процесів, робіт і операцій, що змінюють стан сировини, матеріалів, напівфабрикатів чи виробів у процесі отримання продукції із заданими показниками якості. До складу сучасної технології вносять і технічний контроль виробництва. Технологія значною мірою зумовлює якість і в багатьох випадках кількість вироблюваної продукції, її собівартість, продуктивність праці тощо. Вона пов'язана з науково-технічним прогресом, організацією праці та досвідом виробництва [9].

Технологія – власне технологічні процеси одержання, обробки й переробки, складання чи будівництва, а також, опис цих процесів у вигляді інструкцій щодо їх виконання, технологічних правил, вимог, графіків, карт тощо [9].

Технологія – сукупність знань про методи здійснення виробничих процесів та наукова дисципліна, що описує, розробляє і вдосконалює зазначені вище способи, процеси та порядок (регламенти, режими) їх здійснення. Як наукова дисципліна технологія сприяє впровадженню найефективніших і найекономічніших виробничих процесів, що потребують найменших затрат часу і матеріальних ресурсів. Розвиток технології зумовлюється ширшим застосуванням малоопераційних, маловідходних

та безвідходних технологічних процесів, досконалих методик, систем математичного аналізу і прогнозування, засобів електронної та обчислювальної техніки [9].

Будь-яка технологія передбачає:

- предмет праці (предмет технологічного впливу, технологічний об'єкт);
- засоби праці (технологічні засоби);
- носія технологічних функцій (працівника, колективу тощо);
- рівень технологічного розвитку суспільства [9].

У промисловості і сільському господарстві опис технології виконується в документах, що іменуються операційна карта технологічного процесу (при докладному описі) або маршрутна карта (при короткому описі). У сценічному мистецтві технологія виконання вистав, п'єс, зйомки кінофільмів, описується сценарієм. Стосовно політекономії та економіки при зміні громадської думки, застосовується термін Пі-Ар (від Англ. PR – Public Relations – зв'язок з широкою громадськістю), часто неправильно сприймається громадськістю як рекламна / інформаційна акція. Стосовно політики з 70-х років минулого століття, встановився термін дорожня карта (дослівний переклад англomовного терміну Road map). Технологіями морального плану називаються закони предків (чого робити не можна або якщо робити, то що і як), правила поведінки людини в суспільстві, кодекс честі, конституція (у цивілізованому суспільстві), поняття (у кримінальному світі) тощо [9].

Загальний рівень розвитку та сума технологій – технологічний уклад є важливою складовою культури, що істотно (визначально) впливає на сталість розвитку економіки, відтак є однією з найхарактерніших визначальних рис цивілізації. Серед інших технологій, часто виділяють високі технології – найбільш високорозвинуті (найсучасніші) технології, що є наукоємними, тобто які інтенсивно використовують найновіші наукові досягнення.

Якщо звернутися до самого визначення терміна технологія, до його споконвічного значення (техно – майстерність, мистецтво; логос – наука), то ми прийдемо до висновку, що мета технології полягає в тому, щоби розкласти на складові елементи, процес досягнення якого-небудь результату [9].

Технологія застосовна всюди, де є досягнення, прагнення до результату, але усвідомлене використання технологічного підходу, було справжньою революцією. До появи технології панувало мистецтво – людина робила щось, але це щось виходило тільки у цієї окремої людини, це як дар – дано або не дано. З допомогою ж технології все те, що було доступно лише обраним, обдарованим (мистецтво), стає доступно всім.

Наприклад, виготовлення кам'яної сокири можна представити як акт мистецтва, а можна – як технологію. У першому випадку ми маємо (можливо) незрівнянну сокиру, але зі смертю носія мистецтва створення сокир, зазначених інструментів більше не буде. У другому випадку майстерність збережеться назавжди, але якість продукту (можливо) буде не такою високою. Мить переходу від мистецтва до технології, фактично створила сучасну людську цивілізацію, зробила можливим її подальший розвиток і вдосконалення.

Взагалі, технологія присутня в усьому живому, оскільки все живе, так чи інакше, переробляє продукти харчування на продукти життєдіяльності (відходи). Проте, початком технології людини, варто вважати перший досвід поліпшення властивостей перших інструментів, будь то палиця-копачка або крем'яний ніж.

Торкаючись технології як процесу – однією з перших технологією, є процес видобутку первісною людиною, вогню за допомогою тертя. З часом, технології зазнали значних змін, і якщо колись під технологією, малася на увазі проста навичка, то на початку XXI століття, технологія – це складний комплекс знань ноу-хау, отриманих з часом, за допомогою дорогих досліджень.

1.5 Класифікація технологій

Технології виробництва можуть класифікуватись або за певною галуззю виробництва, або за певними матеріалами та способами їх отримання чи оброблення. До галузевих технологій належать, наприклад, технологія гірничих робіт, технологія машинобудування, технологія будівництва та інше, з матеріалами пов'язані технологія металів, технологія волоконних матеріалів, технологія полімерів тощо [9].

Технологія металів – сукупність прийомів і способів одержання та обробки металів; наукова дисципліна, що розробляє ці прийоми і способи. Технологія металів охоплює питання підготовки (збагачування) металевих руд, вилучення з них металів, виробництво металевих сплавів, одержання з цих сплавів заготовок і деталей. Включає також технологію ливарного виробництва, зварювання, паяння, обробку різанням, обробку тиском, термічну обробку. Як наукова дисципліна пов’язана з матеріалознавством, хімією тощо. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Приклад технології металів

Машинобудівні технології – розробка процесів конструювання і виробництва різних машин і приладів. До них належать технічні розрахунки, вибір матеріалів і технології виробництва, а також проектування заводів і організація виробництва на них. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Приклад машинобудівної технології

Гірничі технології – сукупність прийомів і способів зміни природного стану надр Землі задля одержання мінеральних продуктів або використання підземних просторів. За способом ведення гірничих робіт, виділяють: відкриту гірничу технологію, шахтну гірничу технологію, свердловинну гірничу технологію та їх поєднання. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 – Приклад гірничої технології

Будівництво – галузь матеріального виробництва, яка створює нові й відновлює наявні об'єкти виробничого і невиробничого призначення (будівлі, споруди та їх

комплекси); процес спорудження будівель. Залежно від призначення об'єктів, розрізняють промислове будівництво, енергетичне і гідротехнічне будівництво, транспортне будівництво, сільське будівництво, житлово-цивільне будівництво. Будівництво має свої особливості. Його продукція відзначається порівняно значними строками служби і використовується на місці її створення. Виробничий цикл у будівництві триває від кількох місяців до кількох років. Спорудження об'єктів ведеться в основному просто неба в різних кліматичних умовах. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.15.



Рисунок 1.15 – Приклад будівельної технології

Хімічна технологія – прикладна наука, що вивчає способи та процеси виробництва продуктів (предметів споживання та засобів виробництва), що відбуваються за участю хімічних перетворень технічно, економічно та соціально доцільним шляхом. Предметом вивчення хімічної технології як науки, є хімічне виробництво, метою вивчення – створення досконалого способу отримання потрібних продуктів. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.16.



Рисунок 1.16 – Приклад хімічної технології

Біотехнологія – сукупність методів використання живих організмів і біологічних процесів у виробництві. Біотехнологія – міждисциплінарна галузь, що виникла на стику біологічних, хімічних і технічних наук. З розвитком біотехнології пов'язують вирішення всеохопних проблем людства – ліквідацію нестачі продовольства, енергії, мінеральних ресурсів, поліпшення стану охорони здоров'я і якості довкілля.

Біотехнологія набула значного розвитку, пов'язаного передусім, з використанням методів генної інженерії і клонуванням клітин та організмів тваринного та рослинного походження. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.17.



Рисунок 1.17 – Приклад біотехнології

Мікротехнологія – способи реалізації процесів виготовлення структур, характерні розміри яких вимірюються мікронами або менші. Історично процеси мікротехнології використовувались для виробництва інтегральних схем.

З початком 1990-их років, область застосування цієї групи методів, поширилась за рахунок появи та масового виробництва мікроелектромеханічних систем (МЕМС), аналітичних мікросистем, твердих дисків, рідкокристалічних дисплеїв, сонячних панелей тощо. Завдяки спільним рисам оригінальних технологічних методів, що набули поширення, та їх універсальності, ці технології сформувались до кінця ХХ ст. у науково-технічний напрям, що отримав назву мікротехнологія [9].

До основних фізико-хімічних процесів, що знайшли застосування у мікротехнології належать:

- фотолітографія;
- легування;
- осадження тонких плівок;
- травлення;
- металізація;
- полірування;
- механічна обробка мікроінструментами.

Приклад даної технології зображено на рисунку 1.18.

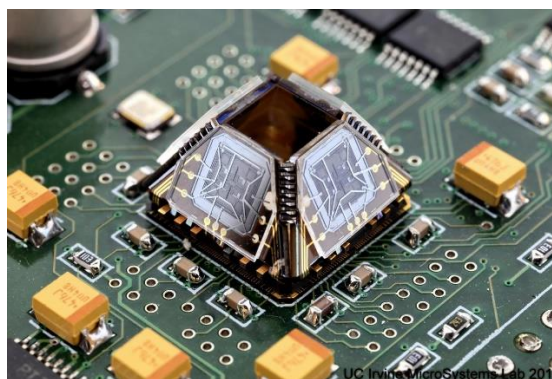


Рисунок 1.18 – Приклад мікротехнології

Нанотехнологія – область фундаментальної та прикладної науки і техніки, що сукупно займається теоретичним обґрунтуванням, практичними методами дослідження, аналізом і синтезом, а також способами виробництва й використання продуктів із заданою атомною структурою та властивостями, шляхом контрольованого маніпулювання окремими атомами та молекулами.

Нанотехнології якісно відрізняються від традиційних технологічних дисциплін, оскільки за таких розмірів, звичні макроскопічні технології поводження з матерією, часто непридатні, а мікроскопічні явища, що є занадто слабкими за звичних розмірів, стають набагато значнішими, а саме: властивості і взаємодії окремих атомів і молекул або агрегатів молекул, квантові ефекти [9].

Нанотехнології й особливо молекулярна технологія – нові, дуже мало досліджені дисципліни. Основні відкриття, що передбачаються в цій області, поки не зроблено. Проте, проведені дослідження, вже дають практичні підсумки. Використання в нанотехнології передових наукових досягнень, дозволяє відносити її до високих технологій. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.19.

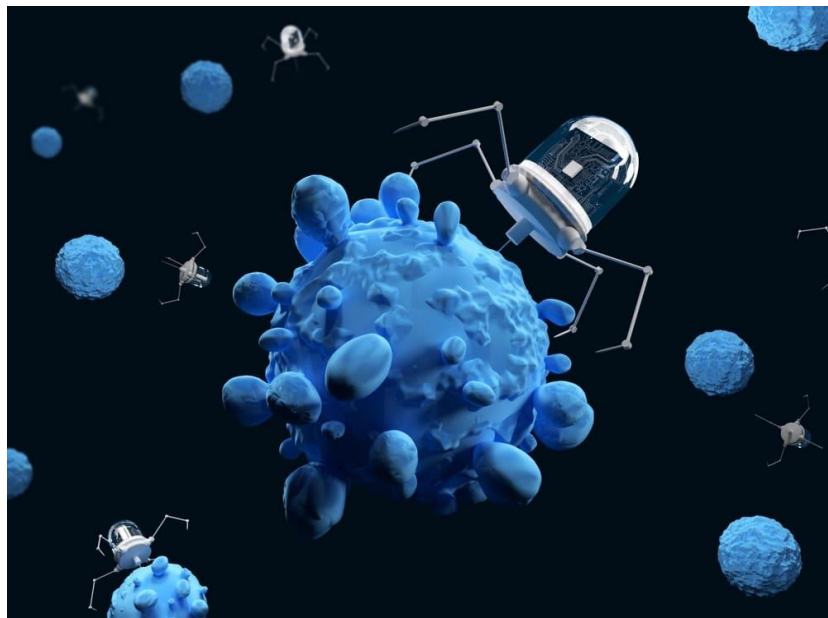


Рисунок 1.19 – Приклад нанотехнології

Ядерні технології – сукупність інженерних рішень, що дозволяють використовувати ядерні реакції або іонізаційне випромінювання, яке виникає у

результаті їх перебігу. Традиційні сфери застосування ядерних технологій ядерна енергетика, ядерна медицина, ядерна зброя.

Ядерні технології включають у собі декілька різномірних напрямів:

– технології, що ґрунтуються на здатності ядер деяких хімічних елементів до поділу або сполучення з виділенням енергії;

технології, основою яких є отримання та використання іонізаційного випромінювання;

– специфічні для галузі технології отримання речовин з потрібними властивостями також часто відносять до ядерних.

Приклад данної технології зображено на рисунку 1.20.



Рисунок 1.20 – Приклад ядерної технології

Інформаційні технології (ІТ) – широкий клас дисциплін та галузей діяльності, що стосуються технологій керування, накопичення, обробки і передачі інформації. Інформаційна технологія – процес, який використовує сукупність засобів і методів збору, накопичення, обробки та передачі даних (первинної інформації) для отримання інформації нової якості про стан об'єкту, процесу або явища (інформаційного продукту). Цей процес складається з чітко регламентованої послідовності виконання операцій, дій, етапів різного ступеня складності над даними, що зберігаються на комп'ютерах. Основна мета інформаційної технології – у підсумку

цілеспрямованих дій з переробки первинних даних, отримати необхідну для користувача інформацію [9].

В основному під інформаційними технологіями вбачаються комп'ютерні технології. Зокрема, ІТ мають справу з використанням комп'ютерів і програмного забезпечення для зберігання, перетворення, захисту, обробки, передачі і отримання інформації. З цієї причини, комп'ютерних фахівців часто називають ІТ-фахівцями.

Інформаційні технології знайшли застосування у різних галузях людської діяльності: науці (оброблення даних, отриманих з експерименту, моделювання), освіті (електронні освітні ресурси, електронне навчання), медицині (діагностичні, аналітичні системи), військовій справі (моніторинг, аналіз бойових умов, ситуаційне моделювання, система керування вогнем), державному управлінні (електронний уряд, довідкові та аналітичні інформаційні системи), виробництві (автоматизовані системи керування та проектування), банківській справі (електронні платежі), бізнес-процесах (управління компаніями, підтримання взаємодії компаній, інтернет-магазини, системи бронювання) тощо. У тих галузях, де інформація є кінцевим продуктом (бібліотеки, засоби масової інформації, видавнича справа, зв'язок тощо), інформаційні технології стають головним засобом виробництва. Приклад даної технології зображено на рисунку 1.21.



Рисунок 1.21 – Приклад інформаційної технології

Телекомунікаційні технології – передавання, випромінювання або приймання знаків, сигналів, письмового тексту, зображень та звуків або повідомлень будь-якого роду дротовими, радіо, оптичними або іншими електромагнітними системами [9].

Основні види реалізації телекомунікаційних технологій:

- телефонний зв'язок;
- Internet;
- радіо;
- телебачення.

Приклад данної технології зображено на рисунку 1.22.

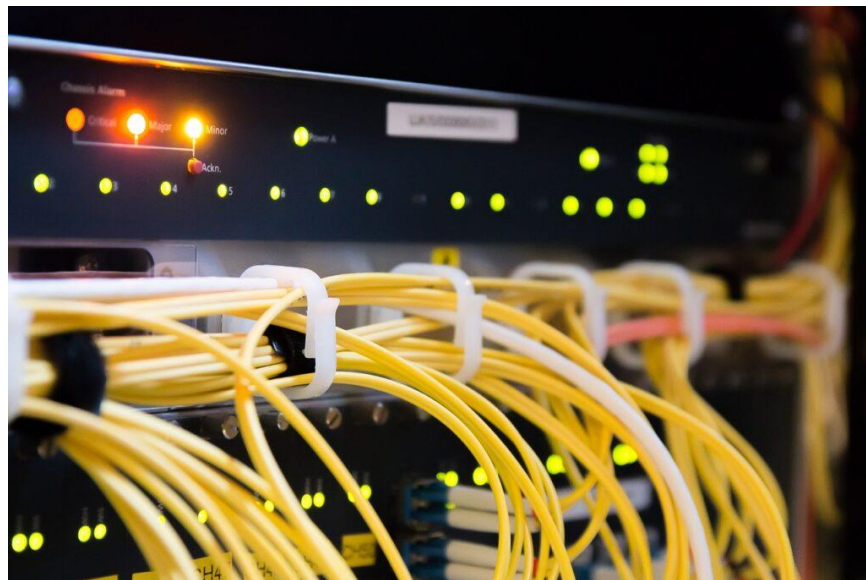


Рисунок 1.22 – Приклад телекомунікаційної технології

1.6 Висновки

В даному розділі був проведений аналіз найпоширеніших видів акумуляторних батарей для міського електротранспорту, тролейбусів з автономним ходом і поняття технології.

2 ДОСЛІДНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Основні положення про життєвий цикл продукції

Життєвий цикл продукції (виробу) – сукупність взаємопов'язаних процесів послідовної зміни стану продукції від початку дослідження та обґрунтування розроблення до припинення експлуатації виробу, застосування (зберігання) матеріалу [10].

Зазвичай послідовними етапами життя кожного виробу як технічної системи є: наукове відкриття у даній сфері – визначення можливості створення виробу – технічне втілення задуму шляхом розробки видів виробів – освоєння їх у виробництві – виготовлення в промислових умовах – споживання (експлуатація) – утилізація. Ці етапи повторюються в житті кожного виду продукції. Оскільки, різні повторення, що піддаються визначенню, означають терміном цикл, то для характеристики стадій, що послідовно повторюються, й етапів у житті виробів використовують термін життєвий цикл продукції [10].

Весь життєвий цикл продукції поділяють на чотири стадії:

- наукове дослідження і проектування;
- виготовлення продукції;
- обіг продукції;
- споживання (експлуатація) й утилізація продукції.

Дослідження і проектування передбачає проведення таких етапів, як наукове дослідження та обґрунтування розробки, власне розроблення продукції та підготовлення її виробництва.

Дослідження та обґрунтування розробки – стадія життєвого циклу продукції від виникнення задуму до обґрунтування можливості й доцільності створення виробів і матеріалів.

Фундаментальні наукові дослідження – початковий етап повного життєвого циклу продукції. Процес творчості на цих етапах розглядають як процес створення нових знань, ідей, за якими проводять прикладні науково-дослідні роботи. При цьому

прикладні дослідження є ланкою між новими знаннями, отриманими у ході теоретичних досліджень, і прикладними знаннями. У результаті виконання робіт на цих етапах суспільство отримує інформацію про можливості матеріалізації нових знань, тобто про технічне втілення ідей, відкриттів тощо.

Прикладні науково-дослідні роботи – це роботи, в результаті яких на основі використання інформації про можливості технічного втілення ідей створюють нові, досконаліші моделі конструкцій, засобів автоматизації, нові технологічні процеси тощо.

Розроблення продукції – стадія життєвого циклу продукції, яка полягає у зміні стану продукції – від формулювання вимог технічного завдання щодо виконання дослідно-конструкторських (ДКР) чи науково-дослідних (НДР) робіт на створення (модернізацію) продукції до втілення їх у нових (модернізованих) дослідних зразках, у нових (модифікованих) матеріалах.

Науково-дослідне розроблення – частина підготовки виробництва, що полягає у проведенні прикладних досліджень, пов'язаних з удосконаленням продукції, техніки, технології, складу застосовуваних матеріалів, організації виробництва, праці та керування, що передбачає проведення:

- дослідно-конструкторських робіт – сукупності робіт над створенням конструкторської та технологічної документації, виготовленням та випробуванням дослідного або головного зразка продукції;

- дослідно-технологічних робіт – сукупність робіт над створенням нових речовин, матеріалів та (або) технологічних процесів.

Розроблення нового виробу проводиться інженерно-технічним персоналом шляхом проектування й конструювання, що є взаємно пов'язаними процесами, які доповнюють одне одного. Конструктивні форма і розміри об'єкта уточнюються застосуванням методів проектування – проведенням розрахунків параметрів, розрахунків на міцність, оптимізаційних розрахунків тощо. У свою чергу, проектування є можливим лише при попередньо обраних варіантах конструктивного виконання. Часто ці два процеси не розділяють, так як вони виконуються, зазвичай,

спеціалістами однієї професії – інженерами-конструкторами, хоча кожен з них має свої особливості. Розроблення продукції завершується отриманням її зразка [10].

Дослідний зразок – зразок продукції, виготовлений за наново розробленою документацією для перевірки шляхом випробувань відповідності її заданим технічним вимогам з метою прийняття рішення про можливість впровадження у виробництво і (чи) використання за призначенням.

Головний зразок – перший екземпляр чи примірник виробу, виготовлений за новорозробленою документацією для використання його як за призначенням, так і для одночасного опрацювання конструкції та технічної документації з метою поліпшення виробництва та експлуатації решти екземплярів цієї партії чи серії.

Підготовлення виробництва продукції – сукупність заходів, що забезпечують готовність підприємства до освоєння виробництва продукції необхідної якості та у визначеному обсязі випуску і включає:

- конструкторське підготовлення виробництва – створення комплекту конструкторської документації, необхідної для виготовлення та експлуатації виробу (виробів);

- технологічне підготовлення виробництва – сукупність заходів, яка охоплює проектування технологічних процесів виробництва, вибір та розміщення устаткування, визначення технологічного оснащення, розроблення методів технічного контролю, нормування матеріально-технічних витрат і забезпечує випуск продукції потрібного рівня якості за встановлених термінів та обсягів випуску.

Виробництво продукції – процес організації та здійснення виготовлення продукції.

Стадію виробництва продукції укрупнено можна розділити на дві підстадії:

- підготовку промисловості до виробництва нового (вдосконаленого) виробу і його освоєння;

- власне виготовлення виробу як продукту праці.

Організаційно-планова підготовка виробництва, а саме: адаптація виробничої та організаційної структур підприємства до умов виготовлення нової продукції, забезпечення потрібним обладнанням, перепланування технологічних схем і

розміщення устаткування в підрозділах, розробка календарно-планових нормативів (серій виробів, партій деталей, виробничих циклів тощо), обґрунтування методу переходу на випуск нових виробів.

У серійному (масовому) виробництві виріб проходить ряд послідовних етапів: економічне освоєння (доведення технологічних процесів, конструкторської документації, адаптація всіх служб тощо); стабільне (стале) виготовлення продукції; модернізація і вдосконалення споживчих властивостей продукції; зняття з виробництва.

Реалізація продукції – постачання продукції, яка оплачена покупцем або на яку є згода покупця щодо оплати в майбутньому поставленої йому продукції, що включає підготовку до транспортування, транспортування, зберігання; монтаж і підготовку до експлуатації.

Експлуатація виробу – стадія життєвого циклу продукції, на якій реалізують, підтримують та відновляють якість виробу.

Стадія експлуатації виробу складається з низки етапів, серед яких власне експлуатація (застосування), включаючи обслуговування, ремонт, відновлення, тобто експлуатацію продукту з метою вияву його корисного ефекту, заради якого продукцію було створено.

На етапі власне експлуатації ставиться мета високоефективного використання продукції у споживача. Її реалізують шляхом розробки експлуатаційної документації і науково обґрунтованих норм витрачання запасних частин, забезпечення необхідного рівня надійності продукції.

Утилізація продукції – комплекс технологічних операцій, спрямованих на використання як вторинної сировини продукції, що втратила свої корисні властивості. Ця стадія, також, передбачає зняття з виробництва; демонтаж та утилізацію ліквідованих знарядь праці (предметів споживання).

2.2 Вплив на життєвий цикл тягових акумуляторних батарей

Для тривалого використання тягової батареї дуже важливо правильно її експлуатувати. Догляд за тяговими батареями простий. Необхідно відповідно до інструкції в певні терміни проводити ряд операцій, які допоможуть збільшити термін служби тягового акумулятора та запобігти його передчасному розрядженню.

При установленні тягової батареї переконайтеся, що на корпусі немає механічних пошкоджень. Встановлюючи тягову батарею переконайтеся, що відсік для встановлення батареї очищений та висушений. Для безперешкодного виходу газів, що утворюються під час експлуатації тягових батарей, слід стежити, щоб вентиляційні отвори відсіку не були закриті або засмічені. Розташування акумуляторів має бути послідовним. Встановлюючи акумулятори у відсік, необхідно суворо дотримуватись їхнього розташування, щоб забезпечити правильний порядок їхнього з'єднання перемичками. Після встановлення всіх перемичок та під'єднання проводів від машини з'єднання слід покрити мастилом для захисту від корозії.

Якщо не дотримуватись умов експлуатації тягових батарей, термін їхньої служби значно скорочується. У заздалегідь підготовлених і заряджених тягових батарей розрядка в нормальному режимі відбувається за таких умов: максимально допустима температура електроліту 50°C , крайня розрядна напруга акумулятора до 1,7 В, щільність електроліту в розрядженому стані 1,13-1,12 г/см³. Часті та глибокі розрядки ведуть за собою глибоку сульфатацію акумуляторних пластин, а це найбільша проблема при зарядженні батарей. Не можна залишати тягову батарею понад 12 годин у розрядженому стані. Якщо можливо, на початку експлуатації нової батареї (перші 10 циклу заряд-розряд) розряд не повинен перевищувати 80% від номінальної ємності. Якщо ця умова дотримується і під час регулярної експлуатації, вона зі свого боку забезпечить легке зарядження батареї і довгий життєвий цикл. Якщо з'являються ознаки ранньої зарядки, це свідчить про поганий технічний стан батареї, і їй потрібне кваліфіковане обслуговування. Періодично тягові батареї піддають заряду, що вирівнює. За його допомогою компенсуються всі пропуски, допущені під час заряджання акумуляторної батареї під час експлуатації. Якщо акумуляторну

батарею не експлуатують регулярно, з його допомогою компенсуються втрати від саморозряду, які неминучі. У двосекційних батареях із чотирма полюсними виходами рівень заряду може бути різним, тому слід перевірити всі акумулятори в батареї.

Термін служби тягових акумуляторів залежить від кількох факторів: методів зарядів, глибини розрядів, температури, обслуговування акумуляторів та їх експлуатація. У разі правильної експлуатації термін служби тягової акумуляторної батареї може становити від 4 до 5 років. Це приблизно 1500 циклів заряду-розряду. Якщо ємність батареї нижче 80% від початкового значення, то така батарея вважається, що вийшла з ладу.

На термін служби впливає умови та термін зберігання акумуляторної батареї перед експлуатацією. Сухозаряджена і без електроліту (не залита) тягова акумуляторна батарея повинна зберігатися в заводській упаковці, сухому приміщенні, що провітрюється при температурі від 0°C до +35°C в захищеному від прямих сонячних променів місці. Перед встановленням тягових батарей слід щільно закривати пробками отвори елементів. Зберігати заряджену батарею бажано не більше 12 місяців з моменту виготовлення. Після закінчення цього терміну тягові батареї придатні для роботи, але час їхньої початкової зарядки збільшується.

Залиті заряджені тягові акумуляторні батареї рекомендується зберігати при температурі повітря від 0 до +20 °C не більше 9 місяців. Чим вище температура електроліту, тим інтенсивніше саморозряджаються акумуляторні батареї в процесі зберігання. При зберіганні залиті батареї вимагають щомісячних підзарядів та постійного щомісячного контролю густини електроліту, що збільшує трудомісткість обслуговування при зберіганні. Недотримання цієї умови може призвести до сульфатації нового акумулятора та виходу його з ладу.

Розглянемо вплив на життєвий цикл літій-іонних акумуляторних батарей. Li-Ion акумулятори чутливі до температури. Їх точка кипіння +60°C. Коли буде досягнута ця температура, батарея може спалахнути. До спалаху також може призвести перевищення напруги під час заряджання, потрапляння солоної води, знаходження батареї під прямим сонячним промінням тощо. З метою запобігання даному явищу в

корпус батарей стали вбудовувати контролер, який стежить за напругою струму та рівнем температури, щоб у разі перегріву відключити батарею.

Так як Li-Ion акумулятори, як правило, складаються з окремих комірок, у них необхідно підтримувати баланс. У кожній комірці між собою можуть бути розбіжності в електричних властивостях, підтримки балансу в акумуляторі вбудовують схему балансування. Вона контролює надходження заряду до кожної комірки, якщо одна з них зарядилася раніше за інших – заряд обходить її стороною, поширюючись на інші комірки.

Що стосується циклів заряду-розряду, тут треба дотримуватися технічних вимог виробника цього акумулятора. Але є й прості загальні положення для батарей Li-Ion, що впливають на їх життєвий цикл. Один з них – це рівень розряду перед зарядкою, а також напруга струму самої зарядки. Якщо напруга буде трохи перевищена, акумулятор втрачатиме ємність майже вдвічі. Крім цих критеріїв, на втрату ємності впливає опір струму батареї та зарядного пристрою. Тому рекомендується використовувати рідний зарядний пристрій, а не аналоги. У разі недотримання простих істин, батарея не тільки втрачає ємність, вона закипає і деградує. Глибокий розряд повністю виводить зладу Li-Ion акумулятор.

Оптимальна температура під час заряджання $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, не рекомендується заряджати акумулятор при температурах нижче $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Як і у всіх типах акумуляторів зниження температури призводить до втрати енергії, що віддається, і з кожним низьким показником температури ця втрата збільшується у відсотках, що спричиняє передчасне виснаження батареї.

Якщо акумулятор тривалий час не використовується, це не означає, що коли його активують він з колишніми силами піде в справу. Щоб зберегти ресурси батареї, слід прислухатися до простих рекомендацій:

– зберігати у сухому, темному, прохолодному місці. Не варто сприймати це буквально, під цими словами мається на увазі будь-яке приміщення без прямого сонячного проміння з кімнатною температурою і низькою вологістю. Максимальний діапазон зберігання Li-Ion акумулятора від 0 до $+40^{\circ}\text{C}$.

– акумулятори слід зберігати зарядженими на 40-50%. Це необхідне зниження ризику падіння напруги під час саморозряду. Якщо пустити все на самоплив, ємність акумулятора зменшиться до показників, що не відновлюються, не кажучи про корозію окремих елементів.

Розглянемо вплив на життєвий цикл свинцево-кислотних акумуляторних батарей. Для максимально довгої роботи для свинцево-кислотних акумуляторних батарей необхідно розраховувати запас ємності. Для батарей, які працюють в циклічному режимі необхідний запас 40 – 50 %. Другими словами, коефіцієнт глибини розряду має бути від 0,6 до 0,4. Чим менша глибина розряду, тим більше робочих циклів може забезпечити акумулятор, рисунок 2.1.

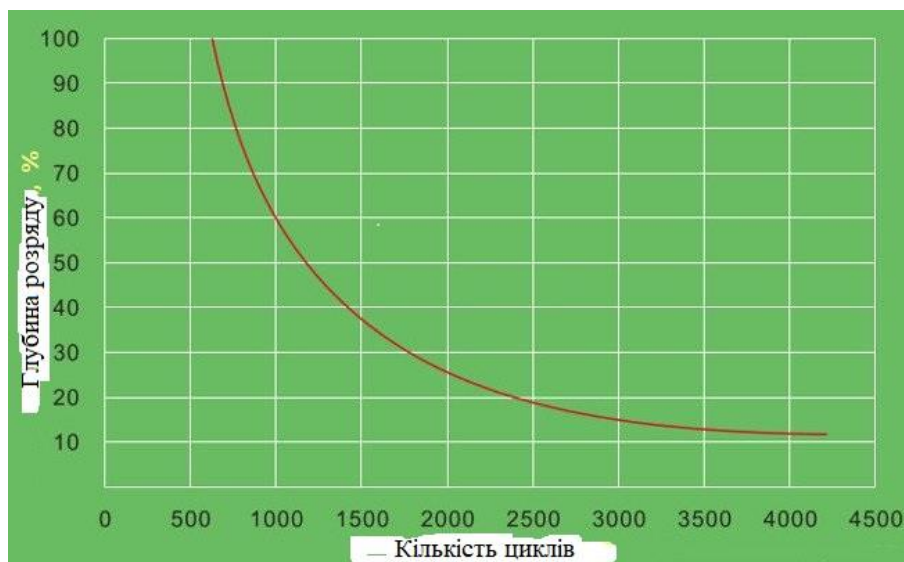


Рисунок 2.1 – Графік залежності кількості циклів від глибини розряду

В ситуаціях, коли ємність акумулятора використовується рідко, потрібно дотримуватися правил експлуатації і не дупускати глибоких розрядів, рисунок 2.2. Один повний розряд скорочує термін служби в два рази.

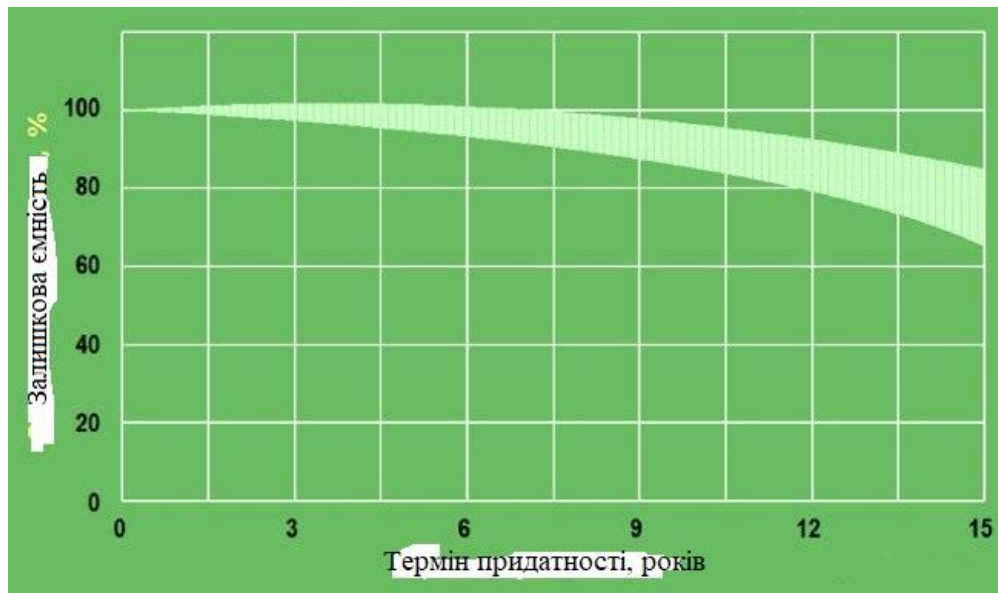


Рисунок 2.2 – Графік зниження ємності при буферному використанні батареї

Щоб отримати максимальний термін служби свинцево-кислотного акумулятора потрібно:

- не допускати глибокого розряду;
- батарея завжди має бути зарядженою;
- ток заряду не більше 25% від ємності акумулятора;
- температура експлуатації 18 – 25°C.

2.3 Обґрунтування збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї для міського електротранспорту

Сьогодні все більше підіймається питання екології в світі, тому актуальність електротранспорту з кожним роком зростає. Як відомо, такий транспорт, як тролейбус та трамвай для переміщення потребують прямого підключення до лінії електропередачі.

В Україні починаючи з тролейбуса ЯТБ-3 стали встановлювати акумуляторні батареї для аварійного автономного ходу. Використання автономного ходу дозволяє трамваю, або тролейбусу на досить невеликій швидкості долати відстань від 2 до 5 км. З розвитком електротранспорту відстань досягає 20 км.

Для автономного ходу використовують тягову акумуляторну батарею. Саме характеристики ТАБ впливають на те з якою швидкістю та яку відстань зможе подолати електротранспорт. Якщо розглядати ТАБ з точки зору життєвого циклу нас цікавить стадія експлуатації. За стадію експлуатації в будь-якій акумуляторній батареї можна вважати кількість циклів заряд-розряд, тобто щоб збільшити життєвий цикл ТАБ потрібно збільшити кількість циклів заряд-розряд.

Збільшений життєвий цикл ТАБ дозволяє нам використовувати акумуляторну батарею більш тривалий час, що в свою чергу збільшує економічність електротранспорту.

2.4 Принцип дії та конструкція Li-ion акумуляторної батареї

Найбільш технологічним і поширеним видом акумуляторних батарей для електротранспорту є Li-ion акумуляторна батарея. Сама акумуляторна батарея являє собою корпус з послідовно з'єднаними комірками з Li-ion акумуляторами, зображено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Приклад Li-ion акумуляторної батареї

В основі конструкції літій-іонного акумулятора (рисунок 2.4) – 2 складові: анод, виконаний з пористого вуглецю на фользі з міді, і катод – з оксиду літію на фользі з алюмінію. Їх поділяє пористий сепаратор із поліпропілену, рясно просочений електролітом, який виконує функції провідника. Система знаходиться у

герметичному корпусі, а електроди підключені до струмознімачів. Деякі акумулятори додатково мають клапан-запобіжник для скидання внутрішнього тиску.

Пластини з міді та алюмінію, змащені електролітом та розділені пористим прошарком, зазвичай згортаються у рулон. У результаті виходить елемент циліндричної форми. При іншому способі укладання пластин виходять вироби у формі призми та пакетів.

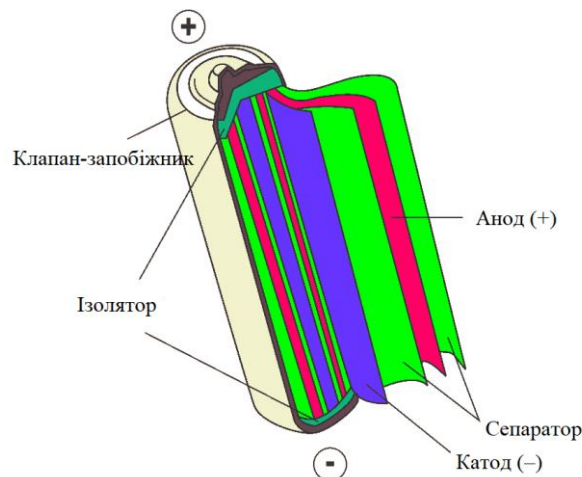


Рисунок 2.4 – Конструкція Li-іон акумулятора

Цикл роботи літій-іонного акумулятора (рисунок 2.5) можна представити так:

- процес заряду;
- процес розряду.

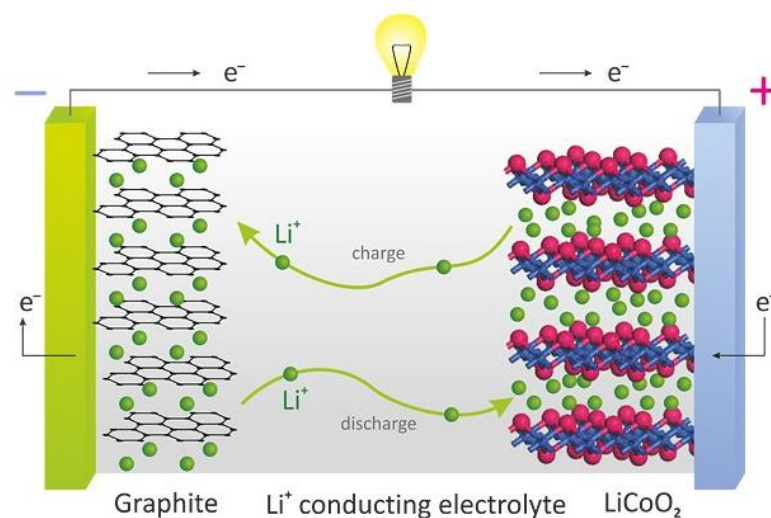


Рисунок 2.5 – Цикл заряд-розряд Li-іон акумулятора

В процесі заряду при підключенні зовнішнього джерела живлення від стабільного оксиду літію на алюмінієвій пластині відділяються дуже нестабільні атоми літію. На зовнішній орбіті атому літію є електрон, який намагається відділитися. Це миттєво і відбувається з атомом літію. Електрон, що відділився, не може пройти через шар роздільника – роздільник пропускає тільки позитивні іони літію. Тому електрон мине роздільник через зовнішній ланцюг живлення (зарядний пристрій), потрапляючи на мідну пластину. Після цього залишившись на катоді позитивні іони літію також починають притягуватись анодом безперешкодно пройшовши роздільник. В результаті маємо анод, який складається з шарів графіту, які захопили електрони і позитивні іони літію. В такому стані літій-іонний акумулятор можна вважати повністю зарядженим.

Поки до акумулятора не підключається зовнішній ланцюг живлення в виді навантаження, іони і електрони залишаються в шарах графіту. Але як тільки підключається споживач енергії, так починається активний рух. Позитивні іони літію відразу починають повертатися на своє вихідне положення успішно проходячи через роздільник. Електрони, як і при заряді, пройти роздільник не можуть і повинні рухатись через зовнішній ланцюг живлення, який являє собою споживача енергії. Проходячи з аноду через споживача енергії, електрони створюють електричний струм. Досягнувши пункту призначення іони і електрони знову стають частиною катода.

2.5 Конструктивні рішення по збільшенню життєвого циклу

Щоб змінити якісні показники літій-іонної акумуляторної батареї, можна змінити склад катода (оксиду літію). В результаті ми отримуємо акумулятори з різними характеристиками.

Для опису допустимих сил зарядних і розрядних струмів використовують C-рейтинг. Наприклад, якщо акумулятор має C-рейтинг 1C, то це означає, що даний повністю заряджений акумулятор ємністю 1 ампер-годину має забезпечувати струм в

1 А в тривалості 1 години. Якщо такий же акумулятор має рейтинг 0,5С, то він має забезпечувати 500 мА в тривалості двох годин, якщо 2С то 2 А в тривалості півгодини. Таблиця 2.1 з відповідністю С-рейтинга до тривалості роботи знаходиться нижче.

Таблиця 2.1 – Відповідність С-рейтинга до тривалості роботи

С-рейтинг	Час
5С	12 хвилин
2С	30 хвилин
1С	1 година
0,5С або С/2	2 години
0,2С або С/5	5 годин
0,1С або С/10	10 годин
0,05С або С/20	20 годин

В залежності від матеріалу катоду літій-іонні акумуляторні батареї бувають:

- літій-марганцеві (LiMn_2O_4 , LNO). Мають менший внутрішній опір, високу потужність та помірну ємність – 100 – 150 Вт·год/кг. Стандартні струми заряду та розряду – до 1С, але є моделі із С-рейтингом зарядки до 3С та С-рейтингом розряду до 10С, а в імпульсному режимі – до 50С. Ресурс – близько 500 циклів. Застосовуються такі накопичувачі в електроінструменті, силових агрегатах, медичному устаткуванні;

- літій-кобальтові (LiCoO_2 , LCO). Мають високу енергоємність (150 – 200 Вт·год/кг), але поступаються аналогам за термічною стабільністю та терміном служби (500 – 1000 циклів). Струми заряду та розряду для таких елементів не повинні перевищувати 1С. Накопичувачі енергії на основі кобальту зустрічаються все рідше, але використовуються в мобільних телефонах, цифрових камерах, ноутбуках;

- літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні (NMC, NCM). Забезпечують високу потужність та ємність – 150 – 220 Вт·год/кг, витримують 1000 – 2000 циклів.

Стандартні струми заряду та розряду – 1С. Використовуються у медичному та промисловому устаткуванні, електровелосипедах та інших видах електротранспорту;

– літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (NCA). Відрізняються високою питомою енергоемністю – 200 – 260 Вт·год/кг. Мають ресурс близько 500 циклів, зарядні струми 0,7С та розрядні 1С. Забезпечують автономне живлення промислового та медичного обладнання, електричних силових агрегатів та інших пристроїв, що потребують високої ємності;

– літій-залізо-фосфатні (LFP, LiFePO₄). Відрізняються великим ресурсом (понад 2000 циклів), термічною та хімічною стабільністю, високою безпекою експлуатації та малим внутрішнім опором. Їхня питома енергоемність становить 90 – 120 Вт·год/кг, струм зарядки – 1С, струм розрядки – до 25С. Використовуються такі елементи живлення у пристроях, для яких важлива витривалість акумуляторів, здатність працювати на морозі та витримувати високі струми навантаження;

– літій-титанатні (LiTi, LTO). Відрізняються низькою номінальною напругою (2,4 В) та питомою енергоемністю 70 – 80 Вт·год/кг, але швидко заряджаються, мають широкий температурний діапазон та ресурс 3000 – 7000 циклів. Номінальні струми заряджають 1С, максимум – 5С. Допустимі розрядні струми – 10С, а при імпульсній підзарядці – 30С. Літій-титанатні елементи вважаються найбезпечнішими. Використовуються вони у вуличному освітленні, електротранспорті.

Найбільш підходящі варіанти, які можна виділити літій-титанатний та літій-залізо-фосфатний. Данні типи акумуляторних батарей відрізняються від інших видів високою кількістю циклів заряд-розряд при цьому мають достатню потужність, щоб працювати в міському електротранспорті. Обидва типи літій-іонних акумуляторів мають термічну і хімічну стабільність, високу безпеку експлуатації та малим внутрішнім опором.

Якщо розглядати літій-титанатний акумулятор окремо то можна виділити його здатність швидко заряджатися, це дозволяє при експлуатації не допускати глибоких розрядів, що в свою чергу дозволяє збільшити життєвий цикл батареї майже в 2 рази. Це робить дану батарею кращим вибором для міського електротранспорту, який не використовує підключення до ліній електропередачі. Для цього достатньо оснастити

зупинки станцією підзарядки і під час зупинок заряджати літій-титанатну акумуляторну батарею.

В літій-титантній акумуляторній батареї є значний один недолік, а саме комірки даної акумуляторної батареї мають низку номінальну напругу (2,4 В) та питомою енергоємністю 70 – 80 Вт·год/кг. В результаті це впливає на дві речі: загальну масу і загальні габарити акумуляторної батареї. Тому на заміну може підійти літій-залізо-фосфатна акумуляторна батарея, яка має менші габарити і масу, бо її комірки мають більш кращі характеристики. Літій-залізо-фосфатна акумуляторна батарея більш підходить для міського електротранспорту, який використовує лінії електропередачі для пересування. Даний тип міського електротранспорту використовує акумуляторну батарею тільки під час ААХ, а заряджає акумуляторну батарею під час підключення до ліній електропередачі, тобто в штатному режимі роботи тому швидкість зарядки не грає значної ролі.

Підводячи підсумки слід зауважити, що вибір між літій-титанатною та літій-залізо-фосфатною акумуляторною батареєю залежить від типу та конструкції кузова міського електротранспорту. Але саме актуальність літій-титанатної батареї вище, так як сучасні тролейбуси більш активно використовують функцію ААХ для прокладання оптимального маршруту, але для електротранспорту якому важливо дотримуватися певних габаритів та маси, більш актуальна саме літій-залізо-фосфатна батарея.

2.6 Інженерно-технічне рішення по збільшенню життєвого циклу

Li-ion акумулятори поряд з численними перевагами мають слабку сторону – це чутливість до перезаряду вище 4,2 В і розряду нижче за допустиму межу в 2,5 В на елемент. Тому для безпечного використання літій-іонні батареї забезпечуються системами контролю заряду-розряду – BMS платами керування (рисунок 2.6), що забезпечують захист та балансування елементів живлення.

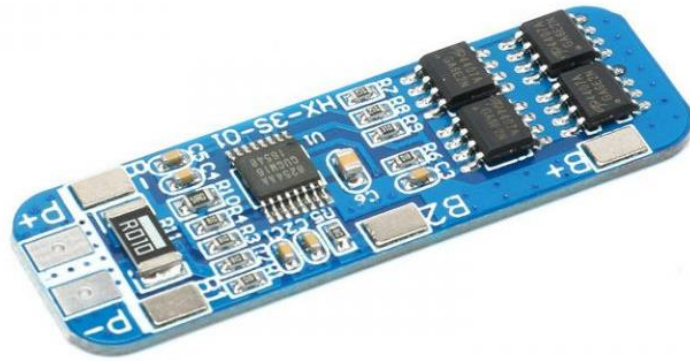


Рисунок 2.6 – BMS плата керування

BMS – це електронна система, що керує зарядно-розрядними процесами в автономному джерелі живлення. Вона:

- забезпечує безпечну роботу батареї, у т. ч. при підключенні та відключенні навантаження;
- контролює її стан;
- оцінює робочі параметри;
- у ході зарядки АКБ розподіляє струми між осередками;
- контролює їх температуру, напругу та опір;
- відстежує розрядний струм;
- виконує балансування (рівномірний розподіл енергії) акумуляторів у збиранні;
- відстежує стан АКБ та її компонентів;
- забезпечує їх захист від перенапруги, коротких замикань, струмових перевантажень, перегріву, критичного розряду та інших небезпечних станів.

Завдяки використанню плати Battery Management System забезпечується безпечне використання АКБ і максимально збільшується термін її служби. До АКБ і контролера цей модуль приєднується вихідними проводами. Замість однієї плати можна використовувати зв'язку регулювальних електронних систем. У такому разі кожна з них керує окремою групою комірок, надсилаючи інформацію про їхню роботу на загальний контролер.

Принцип роботи BMS контролера полягає у постійному моніторингу стану батареї та її компонентів. У разі виявлення будь-якого небезпечного фактора плата управління відключає батарею. Наприклад, при перевищенні граничного значення напруги вона відключає АКБ від зарядного пристрою, а при критичному зниженні напруги відбувається відключення від навантаження.

Деякі конфігурації BMS плат можуть зберігати відомості про роботу АКБ і надалі передавати ці дані на комп'ютер. Загалом використання BMS контролера знижує ризик пошкодження окремих акумуляторів та поломки батареї. Додатково цей модуль забезпечує балансування комірок – вирівнює напругу всіх елементів. Це необхідно, щоб уникнути перезарядження одних осередків і недостатнього заряду інших, що призводить до швидкого зносу батареї.

Навіть незначна відмінність у ємності призводить до різниці напруг акумуляторів при їх циклічному заряді-розряді. Паралельно з'єднані комірки мають приблизно однакову напругу, т.к. найбільш заряджені їх віддають його менш зарядженим. Але при послідовній схемі з'єднання заряд між акумуляторами не розподіляється, і рівень їхньої ємності виявляється різним. У результаті, навіть при оптимальній загальній напрузі складання після зарядки деякі комірки будуть перезаряджені.

Через це вони протікатимуть незворотні процеси деградації. На практиці це виявлятиметься як зниження ємності батареї, зменшення її струмовіддачі та передчасний вихід з ладу. Комірки з недозарядом швидше розряджатимуться, а елементи з вищим зарядом розряджатимуться лише частково. Балансування комірок дозволяє не допустити різнобою в напрузі та уникнути прискореної деградації в АКБ.

На завершальному етапі процесу заряджання батареї BMS плата виконує балансування шунтуванням заряджених елементів або перенаправляє енергію акумуляторів з вищою напругою до менш заряджених. При пасивному балансуванні елементи живлення, які майже заповнили свій заряд, отримують мінімальний зарядний струм або не беруть участь у процесі підзарядки до моменту, коли напруга у всіх складових акумуляторної батареї стане однаковим.

Всі функції BMS плати знаходяться в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Функції BMS плати

Функції	Опис
Контроль:	
Напруги, рівня заряду та глибини розряду	Модуль відстежує загальну напругу АКБ, напругу окремих елементів, не допускає їхнього виходу за рамки допустимих значень.
Температури	BMS контролер може мати власні температурні датчики та відстежувати температуру компонентів батареї.
Струмів при заряді та розряді	При перевищенні допустимих значень струму контролер відключає зарядний пристрій або обладнання, що споживає.
Справності	Контроль справності виконується шляхом аналізу даних, що зберігаються у пам'яті модуля управління: кількості циклів перезарядки, граничних значень напруги та струму.
Інтелектуально-обчислювальна	Моніторинг гранично допустимих струмів, кількості енергії, що одержується і витрачається при зарядно-розрядному процесі. Оцінка внутрішнього опору елементів. Аналіз загальної кількості робочих циклів батареї.
Зв'язкова	BMS плата може передавати відомості про робочі параметри на зовнішні керуючі пристрої з проводового або бездротового зв'язку.
Балансування	Розподіл енергії між елементами АКБ – для забезпечення коректної зарядки та продовження терміну служби батареї.

Продовження таблиці 2.2 – Функції BMS плати

Защитна	Підтримка оптимальних умов безпечної роботи батареї. Коректне підключення та відключення навантаження, керування нею, захист АКБ від струмових перевантажень, зайвого заряду, критичного розряду, нагріву, витоку струму, короткого замикання. BMS плата не допускає небезпечного стану. Відключення АКБ від навантаження відбувається за невідповідності вимогам хоча б одного робочого параметра.
---------	---

Крім відстеження роботи батареї, BMS плата може брати участь у контролі робочих параметрів електротранспорту, керувати його електричною потужністю та виконувати інші функції. Якщо електротранспортний засіб має систему рекуперації енергії, плата керування може керувати підзарядженням АКБ при гальмуванні. Тому для збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї BMS плата обов'язкова.

2.7 Алгоритм рішення поставленого завдання

Для рішення поставленої задачі по збільшенню життєвого циклу акумуляторної батареї для міського електротранспорту потрібно:

- розробити загальний порядок технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу;
- провести необхідні статистичні розрахунки для підвищення життєвого циклу;
- підібрати програму для тестування працездатності акумуляторної батареї;
- провести необхідні експерименти.

2.8 Висновки

В данному розділі проведено аналіз поняття життєвого циклу продукції, розглянено основні впливи на життєвий цикл тягових акумуляторних батарей. Було обгрунтованно збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї міського електротранспорту і проаналізовано констуктивні та інженерно-технічні рішення по збільшенню життєвого циклу для літєвої акумуляторної тягової батареї. Був розроблений алгоритм рішення завдання.

3 ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Загальний порядок проведення технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу акумуляторної батареї міського електротранспорту

Для підвищення життєвого циклу акумуляторної батареї варто дотримуватися певних правил під час експлуатації тролейбуса. Якщо дотримуватися правил експлуатації ризику виходу з ладу акумуляторної батареї, або других вузлів тролейбуса, значно знизяться тим самим збільшив кількість робочих циклів АКБ. Всі технічні операції проводяться в автоматизованому режимі, тобто всі операції супроводжуються діагностикою всіх параметрів тролейбуса.

Перед початком експлуатації тролейбус не допускається без виконання необхідного технічного огляду з оформленням прийнятих на підприємстві документів. На ТО перевіряють придатність механічного та електронного обладнання включаючи акумуляторну батарею. Якщо тролейбус має хоча б одну несправність то експлуатувати тролейбус забороняється до усунення неполадок. Також один раз на тиждень проводиться ТО-1 для більш ретельного огляду тролейбуса. Процедура проводиться в автоматизованому режимі за допомогою діагностичного пристрою в тривалості одного дня. При проведенні ТО-1 АКБ тролейбуса виконується:

- загальний огляд, перевірка контактних з'єднань;
- наконечники проводів змазують технічним вазеліном ВТ13-1 ТУ 38.101180-76, солідолом з ГОСТ 4366-76 або мастилами Литол-24 ГОСТ 21150-75;
- проводять очистку батареї від пилу та бруду;
- проводять перевірку і при необхідності чистять вентиляційні отвори шафи.

Після проведення ТО і оформлення всіх необхідних документів тролейбус допускається до виходу на лінію. Перед стартом тролейбуса важливо не допускати порушення порядку увімкнення тролейбуса, а саме:

- встановити, що тролейбус і органи керування не мають пошкоджень;
- тролейбус загальмований стоянковим гальмом;
- струмоприймачі заведені під ліри;

- перемикач режимів роботи (напрямку руху) – в положенні N (нейтраль);
- автономний хід вимкнено;
- ключ замка низьковольтного живлення (замка запалювання) – в положенні 0;
- перевірити стан струмоприймачів, при необхідності змінити контактні вставки;
- увімкнути перемикач мінус АКБ;
- перевести ключ у замку запалення в режим 1;
- дочекатись увімкнення монітора бортового комп'ютера;
- встановити струмоприймачі на контактну мережу;
- перевірити наявності струмів витoku більше ніж 3 мА, або різниці потенціалів між кузовом та дорожнім покриттям більше ніж 42 В, в такому випадку тролейбус до експлуатації не допускається.

Після виходу тролейбуса на лінію відбувається контроль показників контрольно-вимірювальних приладів та сигналів контрольних індикаторів, якщо показники не відповідають нормативним параметрам або живлення приладів аварійної сигналізації вимкнене то продовжувати експлуатацію тролейбуса забороняється до усунення проблеми.

Якщо тролейбус експлуатується в режимі живлення від контактної мережі не допускати відхилення тролейбуса від осі контактної мережі більше ніж 4 метри також не залишати тролейбус на тривалий час з підключеними до контактної мережі струмоприймачами. При експлуатації в режимі автономного ходу не розряджати тягову акумуляторну батарею нижче 25% від всієї ємності батареї тим самим не допускаючи глибокого розряду батареї. Якщо температура повітря досягає 45 градусів то експлуатація тролейбуса зупиняється щоб запобігти ризиків самозапалення акумуляторної батареї.

3.2 Розрахунки підвищення життєвого циклу акумуляторної батареї

Щоб розрахувати підвищення життєвого циклу акумуляторної батареї, нам потрібно визначити тривалість робочого циклу батареї при стандартному робочому

навантажені. Якщо акумуляторна батарея при стандартному навантаженні збільшить тривалість 1 циклу, то відповідно і вся стадія експлуатації акумуляторної батареї збільшиться тим самим буде зафіксовано збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї.

Для того щоб визначити тривалість робочого циклу акумуляторної батареї потрібно провести такі розрахунки. Теоритично можна виконувати розрахунки по формулі 3.1:

$$t = C_{ак}/I_{н} \quad (3.1)$$

де: t – тривалість роботи акумуляторної батареї (год);

$C_{ак}$ – ємність акумулятора (мА*год);

$I_{н}$ – струм навантаження (мА).

Якщо ємність акумуляторної батареї нам не відома її також можна визначити.

Для того щоб визначити ємність АКБ, необхідно застосувати формулу 3.2:

$$C_{ак} = (P*t)/V*k, \quad (3.2)$$

де: $C_{ак}$ – ємність АКБ, що розраховується (А * год або мА * год);

P – навантажувальна потужність (Вт);

t – часовий проміжок резервування (год);

V – напруга батареї (В);

k – коефіцієнт, що відображає якась частина ємності АКБ використовується.

Для розрахунків тривалості циклу заряд-розряд використовуються акумуляторна батарея з технічними даними тролейбусів PTS-12 та Богдан-Т70117, який наданий комунальним підприємством Тролейбусне депо № 2. Технічні характеристики акумуляторної батареї наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри акумуляторної батареї

Параметр	Значення
Кількість гарантованих циклів	8000 циклів
Гарантійний термін зберігання	2 роки
Ємність батареї	не більш 65 КВт*год на 126 А*год
Напруга	макс. 588 В мин. 490 В
Норма автономного ходу	30 %

В один робочий день тролейбус проходить дві робочих зміни, якщо вважати, що за 1 зміну відбувається 1 цикл заряд-розряд то відповідно в 1 день відбувається 2 цикла заряд-розряд тому на 8000 робочих циклів батареї приходить – 4000 днів, або $4000/365 \approx 11$ років.

Один раз на тиждень на постійній основі тролейбус проходить ТО-1 терміном в 1 день. На 1 рік ≈ 52 тижня відповідно 52 дня на рік тролейбус не експлуатують. В нашому випадку $52 * 11 = 572$ дня або 1 рік 207 днів.

Також два рази на рік тролейбуси проходять технічний ремонт при цьому не експлуатуються 1 тиждень тобто 14 днів на рік. В нашому випадку $14 * 11 = 154$ дня. Разом з ТО-1 тролейбус не експлуатується $572 + 154 = 726$ днів або 1 рік 361 день. Тобто якщо дотримуватись правил експлуатації тролейбуса спостерігається підвищення життєвого циклу акумуляторної батареї \approx на 2 роки служби.

3.3 Тестова програма для перевірки працездатності акумуляторної батареї

Данна програма діагностики тролейбуса може проводити тестування всіх вузлів тролейбуса, для цього в парі з програмою в тролейбус встановлюють спеціальний діагностичний пристрій, який зв'язується з електронним блоком керування систем тролейбуса. Завдяки цьому можливо виконувати контроль параметрів в дистанційному режимі під час ТО або експлуатації. Зв'язок між діагностичним пристроєм та програмою відбувається через Wi-Fi мережу. Головний екран програми зображено на рисунку 3.1 [11].

```
12:40 ...0.3 KB/c
* Upgrade packages: pkg upgrade
Subscribing to additional repositories:
* Root: pkg install root-repo
* Unstable: pkg install unstable-repo
* X11: pkg install x11-repo
Report issues at https://termux.com/issues
$ telnet 192.168.16.254 8080
Trying 192.168.16.254...
Connected to 192.168.16.254.
Escape character is '^]'.
?
dir:
    levels
    config
    diag
>diag
diag?
dir:
    bms
    usb
    out
    pwm
    inp
    opto
    temp
    cell
    current
    err
    state
    losts
    cansniff
    transmit
    curtis
    ver
    gauge
    newcycle
    reboot
diag>
```

Рисунок 3.1 – Головний екран програми

Після активації програми вона відразу починає пошук діагностичного приладу. Після підключення виводиться меню програми в ньому 3 пункти: levels показники, config налаштування, diag діагностика. В меню diag проводиться діагностика вузлів тролейбуса. Данні програма отримує через датчики або в випадку акумуляторної батареї через плату керування. На рисунку 3.2 зображена діагностика параметрів комірок акумуляторної батареї, в нашому випадку 140 комірок. Діагностується температура, вольтаж та працездатність комірок [11].

```

12:41 ...0,7 KB/c 12:41 ...0,2 KB/c
Cell 47: 4069, 16.7, 21.2, 3, 26
Cell 46: 4065, 18.3, 24.8, 3, 26
Cell 45: 4081, 21.7, 24.8, 3, 26
Cell 44: 4074, 23.9, 24.8, 3, 26
Cell 43: 4077, 25.0, 24.8, 3, 26
Cell 42: 4079, 25.7, 24.8, 3, 26
Cell 41: 4076, 26.0, 24.8, 3, 26
Cell 40: 4060, 17.5, 18.8, 3, 26
Cell 39: 4070, 19.1, 18.8, 3, 26
Cell 38: 4069, 20.7, 18.8, 3, 26
Cell 37: 4062, 20.8, 18.8, 3, 26
Cell 36: 4060, 21.4, 21.0, 3, 26
Cell 35: 4065, 21.7, 21.0, 3, 26
Cell 34: 4062, 22.0, 21.0, 3, 26
Cell 33: 4061, 21.2, 21.0, 3, 26
Cell 32: 4053, 25.0, 22.7, 3, 26
Cell 31: 4062, 25.2, 22.7, 3, 26
Cell 30: 4064, 24.9, 22.7, 3, 26
Cell 29: 4056, 24.1, 22.7, 3, 26
Cell 28: 4065, 20.4, 20.1, 3, 26
Cell 27: 4062, 22.5, 20.1, 3, 26
Cell 26: 4064, 23.8, 20.1, 3, 26
Cell 25: 4066, 24.4, 20.1, 3, 26
Cell 24: 4059, 18.4, 19.9, 3, 26
Cell 23: 4065, 20.2, 19.9, 3, 26
Cell 22: 4060, 21.4, 19.9, 3, 26
Cell 21: 4068, 21.9, 19.9, 3, 26
Cell 20: 4069, 22.3, 20.2, 3, 26
Cell 19: 4063, 22.5, 20.2, 3, 26
Cell 18: 4059, 22.4, 20.2, 3, 26
Cell 17: 4059, 21.7, 20.2, 3, 26
Cell 16: 4059, 18.2, 19.0, 3, 26
Cell 15: 4057, 19.8, 19.0, 3, 26
Cell 14: 4061, 21.1, 19.0, 3, 26
Cell 13: 4070, 21.1, 19.0, 3, 26
Cell 12: 4070, 20.7, 20.1, 3, 26
Cell 11: 4074, 20.6, 20.1, 3, 26
Cell 10: 4070, 20.7, 20.1, 3, 26
Cell 9: 4062, 19.6, 20.1, 3, 26
Cell 8: 4069, 18.3, 20.1, 3, 26
Cell 7: 4066, 15.8, 20.1, 3, 26
Cell 6: 4067, 19.0, 22.6, 3, 26
Cell 9: 4064, 19.6, 20.1, 3, 26
Cell 8: 4066, 18.3, 20.1, 3, 26
Cell 7: 4070, 15.8, 20.1, 3, 26
Cell 6: 4064, 19.0, 22.6, 3, 26
Cell 5: 4078, 20.2, 22.6, 3, 26
Cell 4: 4064, 21.2, 22.6, 3, 26
Cell 3: 4079, 21.7, 22.6, 3, 26
Cell 2: 4067, 20.9, 22.6, 3, 26
Cell 1: 4066, 20.3, 22.6, 3, 26
Cell 140: 4052, 20.4, 24.1, 3, 26
Cell 139: 4075, 21.8, 24.1, 3, 26
Cell 138: 4070, 22.2, 24.1, 3, 26
Cell 137: 4071, 21.9, 24.1, 3, 26
Cell 136: 4071, 20.9, 24.1, 3, 26
Cell 135: 4073, 19.5, 24.1, 3, 26
Cell 134: 4060, 18.7, 22.5, 3, 26
Cell 133: 4077, 20.5, 22.5, 3, 26
Cell 132: 4064, 21.3, 22.5, 3, 26
Cell 131: 4071, 22.4, 22.5, 3, 26
Cell 130: 4071, 22.7, 22.5, 3, 26
Cell 129: 4064, 22.2, 22.5, 3, 26
Cell 128: 4068, 20.3, 24.3, 3, 26
Cell 127: 4076, 22.3, 24.3, 3, 26
Cell 126: 4070, 23.6, 24.3, 3, 26
Cell 125: 4071, 23.8, 24.3, 3, 26
Cell 124: 4071, 23.6, 24.3, 3, 26
Cell 123: 4062, 23.2, 24.3, 3, 26
Cell 122: 4074, 13.9, 20.4, 3, 26
Cell 121: 4069, 16.0, 20.4, 3, 26
Cell 120: 4071, 17.7, 20.4, 3, 26
Cell 119: 4060, 19.2, 20.4, 3, 26
Cell 118: 4067, 20.9, 20.4, 3, 26
Cell 117: 4067, 21.2, 20.4, 3, 26
Cell 116: 4068, 20.6, 20.5, 3, 26
Cell 115: 4071, 20.6, 20.5, 3, 26
Cell 114: 4077, 20.3, 20.5, 3, 26
Cell 113: 4069, 20.0, 20.5, 3, 26
Cell 112: 4065, 19.0, 20.5, 3, 26
Cell 111: 4064, 17.2, 20.5, 3, 26
Cell 110: 4058, 20.9, 19.9, 3, 26
Cell 109: 4067, 21.3, 19.9, 3, 26
Cell 108: 4061, 20.0, 19.9, 3, 26

```

Рисунок 3.2 – Діагностика комірок акумуляторної батареї

В меню levels, зображено на рисунку 3.3, знаходяться основні показники систем тролейбуса.

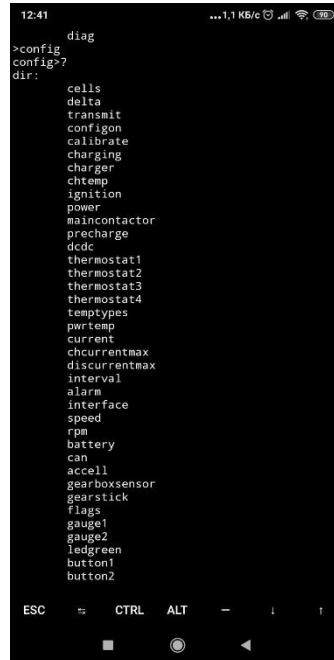
```

12:42 ...0,9 KB/c
flags
gauge1
gauge2
ledgreen
button1
button2
eeload
eesave
eelist
extcurrent
extvoltage
rpnrtortoise
errsettings
config>discurrentmax
discurrentmax = 150:0:0:0
..
>?
dir:
  levels
  config
  diag
>levels
levels>?
dir:
  max
  min
  startbal
  bal
  chrgd
  allowd
  cmin
  all
  sync
levels>all
max = 4100
min = 3150
startbal = 4000
bal = 4100
chrgd = 4010
allowd = 3300
cmin = 2700

```

Рисунок 3.3 – Функції меню levels

В меню config, зображено на рисунку 3.4, відбувається налаштування параметрів вузлів тролейбуса. Дане меню потрібне для налаштування роботи електронного блоку керування з підключеними вузлами тролейбуса.



```
12:41 ...1,1 KB/c
diag
>config
config?
dir:
  cells
  delta
  transmit
  configon
  calibrate
  charging
  charger
  chtemp
  ignition
  power
  maincontactor
  precharge
  dcdc
  thermostat1
  thermostat2
  thermostat3
  thermostat4
  temptypes
  pwrtmp
  current
  chcurrentmax
  discurrentmax
  interval
  alarm
  interface
  speed
  rpm
  battery
  can
  accell
  gearboxsensor
  gearstick
  flags
  gauge1
  gauge2
  ledgreen
  button1
  button2
ESC  CTRL  ALT  -  |  +
```

Рисунок 3.4 – Функції меню config

3.4 Експериментальні дослідження

Експериментальні дослідження проводились в комунальному підприємстві Тролейбусне депо № 2. На лінію було випущено тролейбус PTS-12 згідно розроблених методів технічних операції по збільшенню життєвого циклу акумуляторної батареї.

Керування процесом експлуатації проводився в режимі реального часу за допомоги тестової програми діагностики акумуляторної батареї. Даний процес виконується за допомоги діагностичного пристрою, який підключений до електронного блоку керування тролейбуса. Діагностичний пристрій з'єднаний з монітором (смартфон або комп'ютер) через Wi-Fi мережу. Схема підключення діагностичного пристрою зображено на рисунку 3.5 [11].

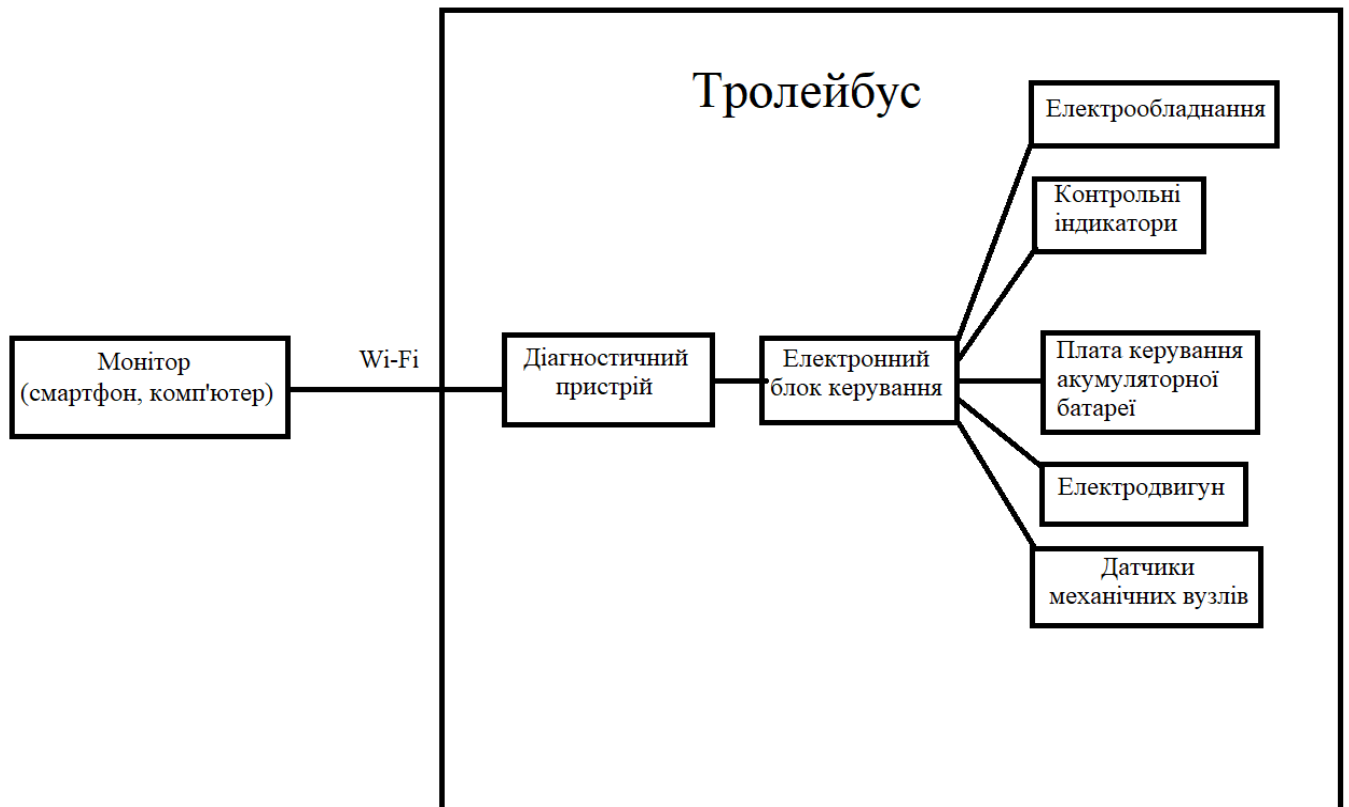


Рисунок 3.5 – Схема підключення монітору до електронного блоку керування троллейбуса

Завдяки діагностики можна спостерігати та керувати процесами експлуатації троллейбуса, при цьому моніторинг та контроль відбувається в автоматизованому режимі. Якщо при експлуатації показники вузла троллейбуса не відповідають нормі то електронний блок керування отримує команду провести кориктировку (якщо це можливо) або електроний блок керування зупинить експлуатацію троллейбуса до усунення проблеми. В нашому випадку відбувається моніторинг напруги та температури кожної комірки в акумуляторній батареї, в акумуляторній батареї троллейбуса PTS-12 число комірок – 140 штук. Якщо температура або напруга хоча б однієї комірки не відповідає нормі експлуатація троллейбуса зупиняється до усунення проблеми, підзарядки від контактної мережі або охолодженню акумуляторної батареї [11].

3.5 Безпека і охорона праці при обслуговуванні акумуляторних батарей міського електротранспорту

При обслуговуванні та ремонті акумуляторних батарей необхідно дотримуватися таких правил:

- для зняття і перенесення акумуляторної батареї треба надягати спеціальний одяг, гумові фартухи, чоботи і рукавички, так як електроліт руйнівню діє на одяг і взуття і може викликати опіки шкіри. Якщо рідина потрапила або сірчаної кислоти на шкіру потрібно змити їх рясним струменем 10% розчину соди або розчину нашатирного спирту у воді;

- після роботи з акумуляторами і перед прийняттям їжі необхідно ретельно вимити руки гарячою водою з милом. Забороняється палити, а також зберігати продукти і їжу в робочих приміщеннях, пов'язаних з обслуговуванням і ремонтом акумуляторів;

- батареї необхідно утримувати в чистоті, періодично (через кожні 15 днів) протирати їх поверхню чистою ганчіркою, попередньо злегка змоченою в 10% розчині нашатирного спирту для нейтралізації сірчаної кислоти, і потім ретельно витирати сухою ганчіркою. У працюючих акумуляторів слід систематично прочищати отвори в пробках, так як при їх засміченні створюється надлишковий тиск газів усередині акумуляторів, що може привести до руйнування їх стінок;

- виходи (затискачі) батареї і наконечники проводів необхідно очищати від оксидів і змащувати технічним вазеліном для запобігання від подальшого окислення. Контакт між затискачами наконечників проводів і виходами батареї повинен бути досить щільним, так як при його ослабленні наконечники можуть зісковзнути з виходів, викликати іскріння, коротке замикання і внаслідок цього швидкий розряд акумулятора і викривлення його пластин;

- при роботі з акумуляторною батареєю слід користуватися тільки переносною лампою (на 6 або 12 В). Забороняється застосовувати сірники, свічки, факели і т. д., так як виділяється при роботі акумуляторної батареї гримучий газ, який легко запалюється і може стати причиною вибуху;

- у разі користування вилкою навантаження, пробки акумуляторів повинні бути загорнуті щоб уникнути вибуху газів, що скупчилися всередині акумуляторів;
- робочі столи, де відбувається розбирання та складання акумуляторних батарей, повинні мати рівну поверхню без щілин і бути покритими матеріалом, стійким по відношенню до сірчаної кислоти;
- не можна вливати воду в сірчану кислоту, тому що внаслідок більш високої щільності сірчаної кислоти, розчинення її в воді буде протікати бурхливо і супроводжуватися розбризкуванням, що може викликати важкі опіки шкіри і очей. Готувати електроліт найкраще в посуді з ебоніту або пластмаси. У скляному посуді готувати електроліт дозволяється в невеликій кількості (до 5 л) і за умови дотримання заходів безпеки, тому що скло може не витримати нагрівання при розчиненні сірчаної кислоти;
- під час зарядки акумуляторних батарей не можна користуватися вилкою навантаження (від іскріння на виходах може статися вибух виділяється гримучого газу);
- не можна близько нахилитися до батарей під час заряджання, так як гази, що виходять з вентиляційних отворів пробок, можуть викликати подразнення слизової оболонки очей і дихальних шляхів. З'єднувати акумуляторні батареї, що знаходяться під зарядом, необхідно за допомогою щільно прилягаючих затискачів, що виключають можливість іскріння внаслідок погіршення контакту. Забороняється з'єднання акумуляторів в батарею за допомогою дроту [12].

3.6 Висновки

В данному розділі було розроблено методи технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу на їх основі було проведено експеримент та статистичні розрахунки підвищення життєвого циклу. За допомогою даних методів вдалося збільшити термін експлуатації батареї на два роки.

ВИСНОВКИ

За результатом аналізу життєвого циклу акумуляторної батареї було розроблено методи технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу акумуляторної батареї міського електротранспорту. За данну кваліфікаційну роботу було виконанно:

- проаналізувано предметну область;
- проаналізувано сучасні види акумуляторів міського автотранспорту;
- розглянуто впливи на життєвий цикл акумуляторної батареї;
- розглянуто види технологій;
- розглянуто методи збільшення життєвого циклу;
- було вибрано рішення поставленої задачі;
- розроблено загальний порядок проведення технологічних операцій по збільшенню життєвого циклу;
- проведені статистичні розрахунки підвищення життєвого циклу;
- підібрано програму для тестування параметрів акумуляторної батареї;
- проведені експерименти.

Завдяки проведеним експериментальним дослідженням та статистичним розрахункам вдалося збільшити життєвий цикл акумуляторної батареї міського електротранспорту на 2 роки. Даний результат можна вважати досить значним.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Акумуляторні батареї. Вплив на життєвий цикл акумуляторної батареї [Текст] / Упоряд. Л. С. Іванов, В. В. Гайдамака – Харків, ХНУРЕ, 2022. – 4 с
2. ДСТУ 3008:2015. Документація. звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка освітньо-професійної програми «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» [Текст] / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, Ю. М. Олександров, Р. В. Артюх, Є.А. Разумов-Фризюк, О. О. Чала – Харків, ХНУРЕ, 2021. – 51 с.
4. Електричний акумулятор [Електронний ресурс]; режим доступу (https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_акумулятор); дата використання [11.10.2022].
5. Чим відрізняється стартерний акумулятор від тягового [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://abs.info/uk/elektroobladnannia/55-chim-v-dr-znyayut-sya-startern-akumulyatori-v-d-tyagovikh>); дата використання [11.10.2022].
6. Lithium-ion battery [Електронний ресурс]; режим доступу (https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery); дата використання [11.10.2022].
7. Акумуляторні батареї, види акумуляторних батарей [Електронний ресурс]; режим доступу (<http://www.ecosvit.net/ua/akumulyatorni-batarei-akumulyatori-lipo>); дата використання [11.10.2022].
8. Lead-acid battery [Електронний ресурс]; режим доступу (https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid_battery); дата використання [12.10.2022].
9. Технологія [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://uk.wikipedia.org/wiki/Технологія>); дата використання [2.11.2022].

10. Життєвий цикл продукції [Електронний ресурс]; режим доступу (https://uk.wikipedia.org/wiki/Життєвий_цикл_продукції); дата використання [2.11.2022].

11. Тролейбус типу PTS-12. Настанова щодо експлуатування. PTS-12. 000.000.00 МЕ [Текст] – видавництво ТОВ «Політехсервіс», м.Бровари, 2021 р. – 157 с.

12. Правила техніки безпеки при роботі з акумуляторними батареями [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://budtehnika.pp.ua/7983-pravila-tehniki-bezpeki-pri-robot-z-akumulyatornimi-batareyami.html>); дата використання [20.11.2022].