

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

**Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій**

«На правах рукопису»
УДК 621.317

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри ІВТ
_____ Володимир
ЄРЕМЕНКО
(підпис)

“ ____ ” _____ 2024р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні
технології»**

**зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
на тему: «Вимірювальна система навантажувальних характеристик
вторинних джерел живлення»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ПІ-21мп

_____ Шовківський Радислав Ігорович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., Шевченко К.Л.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант стартап-проєкту д.е.н., проф. Бояринова К.О.

(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____ професор, д.т.н., Безвесільна О.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Приладобудівний факультет
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.С. Єременко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Шовківському Радиславу Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Вимірювальна система навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення»,

науковий керівник дисертації Шевченко Костянтин Леонідович, доктор технічних наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2023 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації 04 січня 2024 р.

3. Об'єкт дослідження процес вимірювання навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення

4. Предмет дослідження розробка вимірювальної системи для прискорюваного вимірювання навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) провести огляд існуючих різновидів вторинних джерел живлення та їх класифікацію; 2) визначити основні енергетичні параметри вторинних джерел живлення; 3) проаналізувати технічні засоби вимірювання енергетичних характеристик вторинних джерел живлення; 4) розробити структуру вимірювальної

системи; 5) дослідити методи прискореного визначення навантажувальних характеристик та створити відповідні алгоритми вимірювання. _____

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Класифікація вторинних джерел живлення, структура вимірювальної системи, алгоритм роботи системи, приклади розрахунку навантажувальних характеристик

7. Орієнтовний перелік публікацій тези та статті науково-практичних конференцій за результатами дисертаційних досліджень _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап проект	Бояринова К.О., завідувач кафедри економічної кібернетики, доктор економічних наук, професор		

9. Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення із завданням МД	01.09.2023 – 02.09.2023	
2	Проведення огляду літературних джерел	02.09.2023 – 21.09.2023	
3	Аналіз та класифікація вторинних джерел живлення	21.09.2023 – 10.10.2023	
4	Дослідження методів вимірювання енергетичних характеристик	10.10.2023 – 30.10.2023	
5	Розробка вимірювальної системи та алгоритму її роботи	30.10.2023 – 13.11.2023	
6	Підготовка графічних матеріалів	14.11.2023 – 10.12.2023	
7	Розробка стартап проекту	11.12.2023 – 25.12.2023	
8	Підготовка пояснювальної записки	25.12.2023 – 04.01.2024	
9	Подання МД для перевірки науковому керівнику дисертації	04.01.2024	
10	Захист МД		

Студент

(підпис)

Р.І. Шовківський
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

К.Л. Шевченко
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Вимірювальна система навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення», 91 сторінки, 1 додаток, 23 джерела.

Об'єкт дослідження: процес отримання та обробки інформації про основні енергетичні характеристики вторинних джерел живлення.

Предмет дослідження: методи та засоби визначення, обробки та аналізу інформації про основні енергетичні характеристики вторинних хімічних джерел живлення.

Мета роботи: розробка принципів побудови вимірювальної системи для прискореного визначення навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення.

Методи дослідження та апаратура: метод наукового пошуку, метод математичного моделювання, метод експериментальних досліджень, метод статистичної обробки.

Результати роботи та сучасність продукту: проведений огляд вторинних хімічних джерел живлення, визначені основні енергетичні параметри вторинних джерел живлення, проаналізовано технічні засоби вимірювання їх енергетичних параметрів, розроблено модель, що характеризує поведінку вторинних джерел живлення в процесах заряджання та розряджання, розроблено структуру вимірювальної системи та створено відповідні алгоритми вимірювання.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: Результати розробки можуть бути використані користувачами пристроїв, що мають акумуляторне живлення, станціями технічного обслуговування, розробниками електронного обладнання.

Ключові слова: вимірювальна система, акумулятор, вторинне джерело живлення, енергетичний параметр, розрядна характеристика.

ABSTRACT

Master's thesis on the topic: "Measuring system of load characteristics of secondary power sources", 91 pages, appendices, 23 sources.

Research object: the process of obtaining and processing information about the main energy characteristics of secondary power sources.

Research subject: methods and means of determining, processing and analyzing information about the main energy characteristics of secondary chemical power sources.

The purpose of the work: development of the principles of construction of a measuring system for accelerated determination of load characteristics of secondary power sources.

Research methods and equipment: the method of scientific research, the method of mathematical modeling, the method of experimental research, the method of statistical processing.

Work results and product modernity: an overview of secondary chemical power sources was carried out, the main energy parameters of secondary power sources were determined, technical means of measuring their energy parameters were analyzed, a model was developed that characterizes the behavior of secondary power sources in the charging and discharging processes, the structure of the measuring system was developed and created appropriate measurement algorithms. Recommendations for the use of work results: The development results can be used by users of battery-powered devices, service stations, and electronic equipment developers.

Key words: measuring system, battery, secondary power source, energy parameter, discharge characteristic.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ	10
1.1 Хімічні джерела струму. Коротка історична довідка	10
1.2 Принцип дії хімічних джерел струму	11
1.2 Класифікація хімічних джерел живлення	11
1.3. Визначення основних енергетичних параметрів вторинних джерел живлення.....	16
1.4 Аналіз методів і технічних засобів вимірювання параметрів акумуляторів ...	17
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУМУЛЯТОРІВ	25
2.1 Моделювання процесів заряду-розряду акумуляторних батарей.....	25
2.2 Динамічні характеристики акумуляторних батарей	30
2.3 Експериментальні дослідження акумуляторів	40
Висновки до розділу 2.....	48
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ.....	50
3.1 Структурна реалізація вимірювальної системи.....	50
3.2 Розробка алгоритму роботи вимірювальної системи	52
3.3 Аналіз похибки вимірювального каналу температури.....	56
Висновки до розділу 3.....	59
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «ПРОГНОЗ ЖИВЛЕННЯ».....	60
4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проєкту	60
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	66
4.3 Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проєкту	71
4.4 Ефективність стартап проєкту та бізнес-модель	79
Висновки до розділу 4.....	82
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	86
ДОДАТКИ.....	89

ВСТУП

У світі кожного року зростає кількість пристроїв, що працюють від вторинних хімічних джерел живлення. Подальший розвиток електрохімічних технологій, які дозволили б випускати хімічні джерела живлення з підвищеними експлуатаційними характеристиками, неможливий без створення нових підходів та систем контролю технологічних процесів.

Але вимірювання електричних величин у електрохімічних процесах мають свої особливості пов'язані з об'єктом вимірювання та приладами, що використовуються.

Специфіка об'єкту вимірювання (електрохімічне коло) дуже обмежує вибір як метода вимірювання, так відповідної апаратури.

Слід зазначити, що в науково-технічній літературі використовується багато термінів, що стосуються експлуатаційних електричних характеристик вторинних джерел живлення в статичному та динамічному режимах. Серед таких термінів можна виділити енергетичні характеристики, зарядні характеристики, розрядні характеристики. Використовують також більш зрозумілі терміни, такі, як номінальна напруга, номінальна ємність, пусковий струм, струм короткого замкнення та багато іншого. В даній роботі досліджуються характеристики, які визначають прогнозований час роботи вторинного джерела живлення при певному значенні струму, що споживається підключеним до вторинного джерела живлення навантаженням.

Також слід звернути увагу, що термін "вторинне джерело живлення" в технічній літературі часто використовується для позначення мережевих джерел живлення, які формують вихідний сигнал у вигляді постійної, напруги, стабілізованої напруги, напруги іншої частоти зі змінної мережевої напруги. В даній роботі під терміном "вторинне джерело живлення" маються на увазі акумулятори та побудовані на їх основі акумуляторні батареї, тобто такі джерела живлення, які мають електрохімічну природу.

Актуальність теми: враховуючи зазначене вище, можна стверджувати, що розробка вимірювальних систем для прискореного визначення навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення є актуальною задачею.

Мета дослідження: розробка принципів побудови вимірювальної системи для прискореного визначення навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення.

Завдання магістерської роботи:

- здійснити огляд існуючих різновидів вторинних хімічних джерел живлення та їх класифікацію;
- визначити основні енергетичні параметри вторинних джерел живлення;
- проаналізувати технічні засоби вимірювання енергетичних характеристик вторинних джерел живлення;
- розробити модель, що характеризує поведінку вторинних джерел живлення в процесах заряджання та розряджання;
- розробити структуру вимірювальної системи, дослідити методи визначення навантажувальних характеристик та створити відповідні алгоритми вимірювання.

Об'єкт дослідження: процес отримання та обробки інформації про основні енергетичні характеристики вторинних джерел живлення.

Предмет дослідження: методи та засоби визначення, обробки та аналізу інформації про основні енергетичні характеристики вторинних хімічних джерел живлення.

Методи дослідження: метод наукового пошуку, метод математичного моделювання, метод експериментальних досліджень, метод статистичної обробки.

Наукова новизна роботи полягає створенні еквівалентної електричної схеми процесів заряду-розряду акумуляторів, яка дозволила визначити особливості процесів та створити математичну модель цих процесів, а також

в розробці і обґрунтуванні принципів побудови вимірювальної системи для отримання, збереження та обробки результатів вимірювання основних енергетичних параметрів вторинних хімічних джерел живлення.

Практичне значення: отримані в дисертації результати можуть бути використані при промисловому виготовленні вимірювальної системи навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення, а використання самої системи дозволить оцінювати властивості вторинних джерел живлення без проведення тривалих циклів заряду та розряду.

Результати роботи обговорювались на науково-практичній конференції "Проблеми організації відновлення озброєння та військової техніки військ(сил) в ході російсько-української війни", 8 грудня 2023 р, м. Київ та опубліковані у відповідному збірнику.

Структура та обсяг магістерської дисертації: робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаної літератури з 23 найменувань та додатків. Загальний обсяг магістерської роботи складає 91 сторінку комп'ютерного тексту формату А4.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

1.1 Хімічні джерела струму. Коротка історична довідка

Як, відомо, у хімічному джерелі струму енергія хімічної реакції перетворюється в електричну.

Першим хімічним джерелом струму був «елемент Вольта» - ємність з мідним та цинковим електродами, зануреними у сірчану кислоту. З цих елементів Алессандро Вольта зібрав батарею, так званий «вольтовий стовп» [1]. Надалі конструкція «елемента Вольта» була удосконалена Джоном Даніелем та отримала назву "елементом Даніеля" [2].

Хімічні джерела струму отримали свій подальший розвиток у дев'ятнадцятому столітті, у роботах Гастона Планте, який запропонував конструкцію свинцево-кислотного акумулятора, та Жоржа Лекланше (елемент Лекланше) [3].

Основи конструкції першого використовуються в акумуляторах сучасних автотранспортних засобів, модифікації другого – в елементах живлення для побутової техніки.

Найстаріший гальванічний елемент, що нині працює – це срібно-цинкова батарея, виготовлена в Лондоні в 1840 році. Підключений до двох таких послідовно з'єднаних батарей дзвінок досі працює у Кларендонській лабораторії Оксфорда [2].

Двадцяте століття ознаменувалось появою лужних марганець-цинкових та літій – іонних елементів. Застосування порошкоподібного цинку значного підвищило енергетичні та експлуатаційні характеристики цих елементів у порівнянні з сольовими. З метою підняття напруги розімкнутого кола був використаний анод з металевого літію.

1.2 Принцип дії хімічних джерел струму

Основу хімічних джерел струму становлять два електроди – катод з окиснювачем та анод з відновником, які контактують з електролітом. Між катодом і анодом за рахунок хімічної реакції встановлюється різниця потенціалів (виникає електрорушійна сила) [4].

При підключенні елемента до пристрою навантаження, тобто при його замиканні на зовнішнє навантаження, утворюється електричний ланцюг. При цьому напруга змінюється, і змінюється тим більше, чим більше сила струму, що протікає через елемент. Робоча напруга хімічного елемента живлення завжди менше, ніж його електрорушійної сили.

1.2 Класифікація хімічних джерел живлення

За можливістю або не можливістю повторного використання хімічні джерела струму поділяються на первинні, вторинні та паливні [4].

- гальванічні елементи (первинні), які через незворотність реакцій, що протікають у них, неможливо перезарядити;
- вторинні – це такі гальванічні елементи, які можна перезарядити, так звані акумулятори;
- паливні відрізняються від попередніх гальванічних елементів тим, що реагенти подаються ззовні, а продукти реакції видаляються, що забезпечує їх безперервну роботу.

Таким чином, первинні джерела струму є невідновлюваними, хоча їх можна підзарядити, але дуже з низькою ефективністю, а паливні хімічні елементи можна віднести до категорії генераторів

1.2.1. Класифікація та аналіз вторинних хімічних джерел струму

Як відзначалось, акумулятори, на відміну від первинних, мають можливість перезаряду або циклування.

Класифікацію вторинних хімічних джерел струму, в першу чергу, можна зробити по матеріалам, які використовуються при їх виробництві, а також, по конструкціям електродів.

За матеріалами, які використовуються у виробництві акумуляторів відрізняють [5]:

- Залізо-повітряний акумулятор;
- Залізо-нікелевий акумулятор;
- Лантан-фторидний акумулятор;
- Літій-залізо-сульфідний акумулятор;
- Літій-іонний акумулятор;
- Літій-полімерний акумулятор;
- Літій-фторний акумулятор;
- Літій-хлорний акумулятор;
- Літій-сірчаний акумулятор;
- Марганцево-олов'яний елемент;
- Натрій-нікель-хлоридний акумулятор;
- Натрій-сірчаний акумулятор;
- Нікель-кадмієвий акумулятор;
- Нікель-метал-гідридний акумулятор;
- Нікель-цинковий акумулятор;
- Свинцево-водневий акумулятор;
- Свинцево-кислотний акумулятор;
- Срібно-кадмієвий акумулятор;
- Срібно-цинковий акумулятор;
- Цинк-бромний акумулятор;
- Цинк-повітряний акумулятор;
- Цинк-хлорний акумулятор.

Переваги та недоліки акумуляторів, виготовлених за різними технологіями, з різних матеріалів, які використовуються в електромобілях, за даними [5] наведені в таблиці 1.1

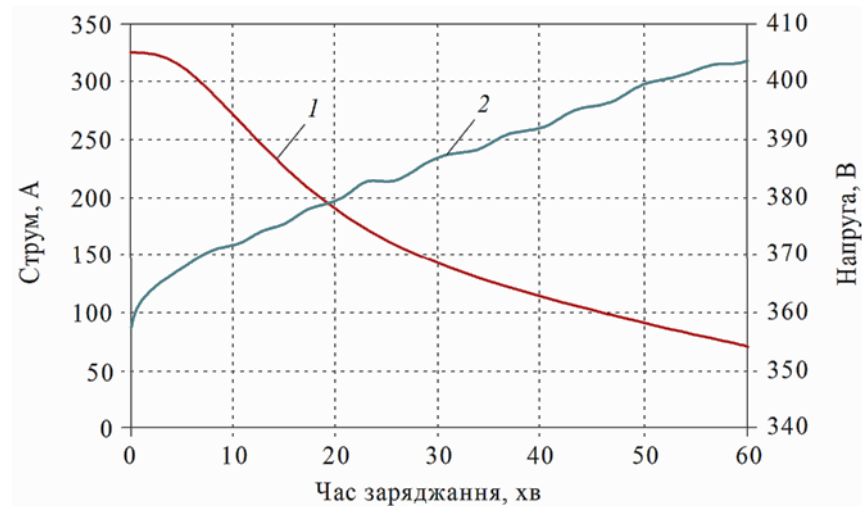
Таблиця 1.1 Порівняльні характеристики акумуляторів електромобілів

Тип	Переваги	Недоліки	Кіль-ть циклів	Ефективність %
Свинцево-кислотний	Висока продуктивність, тривалий термін експлуатації	Низький ККД	200-300	75
Натрій-сірчаний	Висока енергетична потужність	Велика собівартість	2000-3000	89
Метал -повітря	Висока щільність енергії	Невелика кількість у доступі	100-200	50
Літій-іонний	Високі ККД та щільність енергії	Низька кількість циклів	300-500	95
Проточний	Високі ємність і потужність, довготривалий термін експлуатації	Низькі щільність енергії та ККД	1500-2500	75-85
Суперконденсатор	Високий ККД	Низька енергетична щільність	10^4 - 10^5	93-98

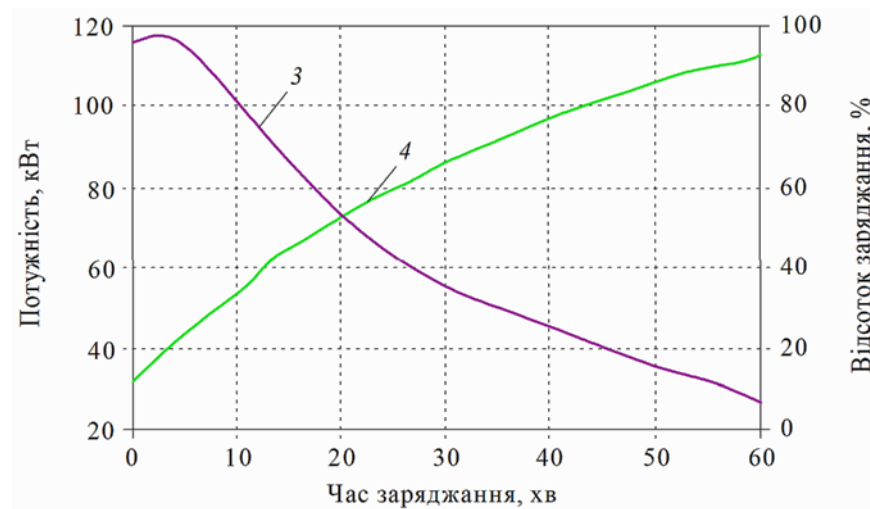
Найбільше застосування в електромобілях отримали літій-іонні акумуляторні батареї. Зовнішній вигляд акумуляторної батареї показаний на рис. 1.1., її перехідні характеристики на рис. 1.2.



Рисунок 1.1 – Літій-іонний батарейний блок електромобіля Тесла



а)



б)

Рисунок 1.2 – Характеристики електромобіля Тесла при зарядженні : 1 – струм, 2 - напруга, 3 – потужність, 4 - відсоток заряду

Докладний аналіз інших типів акумуляторів був проведений на основі джерел [1,2,4]. Розглянемо деякі з них.

Через дешевизну, надійність і високо стабільну напругу найбільшого поширення набули різні типи *свинцевих* акумуляторів. За енергетичними показниками, місцем застосування, габаритами відрізняють три основних типи:

- Стационарні – мають великі габарити та вагу, електрична ємність яких знаходиться в межах від 40 до 5000 ампер/годин; вони використовуються в високо потужних мережах постійного

струму на електричних підстанціях при пікових навантаженнях і на об'єктах, де не припустима подача електроживлення у якості безперебійних джерел;

- Стартерні – менш габаритні, електрична ємність коливається від 6 до 215 ампер/годин; електрична напруга може бути 6,12, 24 або 48 В; сфера застосування – запуск двигунів і освітлення транспорту;
- Тягові – габаритні, з електричною ємністю від 40 до 120 ампер/годин; використовуються в електрокарах та шахтних потягах.

Недоліком всіх типів свинцевих акумуляторів є достатньо високі витрати хімічних речовин (12 грамів на одну ампер/годину). Значно меншу витрату електроліту мають *нікель-кадмієві* (6,2 грама на одну ампер/годину) та *нікель-залізні* акумулятори (6,25 грама на одну ампер/годину).

Конструкції *нікель - кадмієвих* та *нікель–залізних* акумуляторів мають ламелі з запресованою активною речовиною. Електрична ємність таких акумуляторів складає 2 – 1000 А/г. Сфери застосування аналогічні свинцевим. Кількість циклів заряд-розряд до 1500. Термін експлуатації 8-10 років.

Срібно-цинкові акумулятори - високо потужні (питомий струм до 4 кА/м²). Сфера застосування – апаратура космічної та авіа техніки. Кількість циклів заряд-розряд – 150. До недоліків можна віднести незадовільну роботу при низьких температурах, малий експлуатаційний термін та високу ціну.

Завдяки хімічним властивостям кадмію вдалося значно підвищити строки експлуатації *срібно-кадмієвих* акумуляторів.

Значно зменшити ціну (вартість реагентів *нікель-метал-гідридних* акумуляторів складає 10-40% *срібно-кадмієвих*, *срібно-цинкових* та *нікель – кадмієвих* акумуляторів) зі збереженням високих енергетичних характеристик (напруга – до 1,6 В, питома енергія – до 70 Вт*год/кг, робота на короткочасних режимах розряду) вдалося у *нікель-метал-гідридних*

аккумуляторах. Ресурс таких аккумуляторів складає 300 циклів заряду-розряду, що є недоліком.

Газоподібний водень використовується в якості реагенту у *нікель-водневих* та свинцево-водневих аккумуляторах. Вони мають наступні енергетичні та експлуатаційні характеристики: питома енергія – 50-60 Вт*год/кг; кількість циклів заряд-розряд – 100; робочий діапазон температур становить від -20 до +50°C.

В лабораторних умовах розроблені натрій-сірчані (з твердим електролітом) і літій-сірчані, літій-хлорні (з розплавленим електролітом) аккумулятори. Їхні технічні характеристики: питома енергія – 220 Вт*год/кг; кількість циклів заряд-розряд – 1000; тривалість експлуатації – 5 років. Сфера застосування – автотранспорт з дальністю пробігу 300 км.

1.3. Визначення основних енергетичних параметрів вторинних джерел живлення

До основних енергетичних параметрів вторинних джерел живлення слід віднести [6]:

- Електрична напруга;
- Електрична ємність;
- Енергетична ємність;
- Внутрішній електричний опір;
- Струм заряду та розряду;
- Кількість заряд-розрядних циклів.

Електрична напруга поділяється на номінальну, максимальну та мінімальну. Максимальна – напруга при повному заряді аккумулятора, мінімальна – при повному розряді, номінальна – усереднене значення напруги в режимі розряду. Найбільше розповсюдження отримали елементи та аккумулятори номінальна напруга яких 1.2, 2.4, 6, 12 В. Для літій-іонних аккумуляторів: 3,7В – номінальна, 4,2В – максимальна, 2,8В – мінімальна.

Електрична ємність відображає скільки енергії поглинає або віддає при акумулятор у режимах зарядки-розрядки. Діапазон електричної ємності потужних акумуляторів 0,6-4000 ампер/годин.

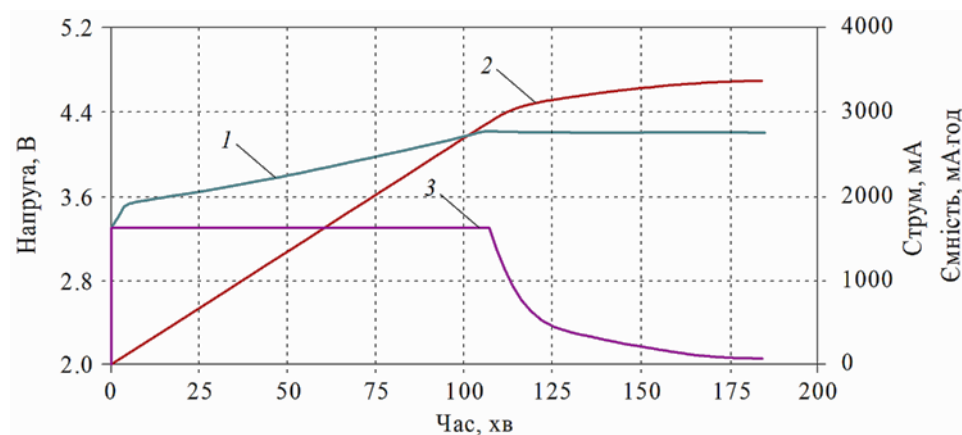
Внутрішній електричний опір відображає його імпеданс при струмовому навантаженні.

Енергетична ємність відображає здатність акумулятору накопичувати енергію. Одиниця виміру воль-ампер-година.

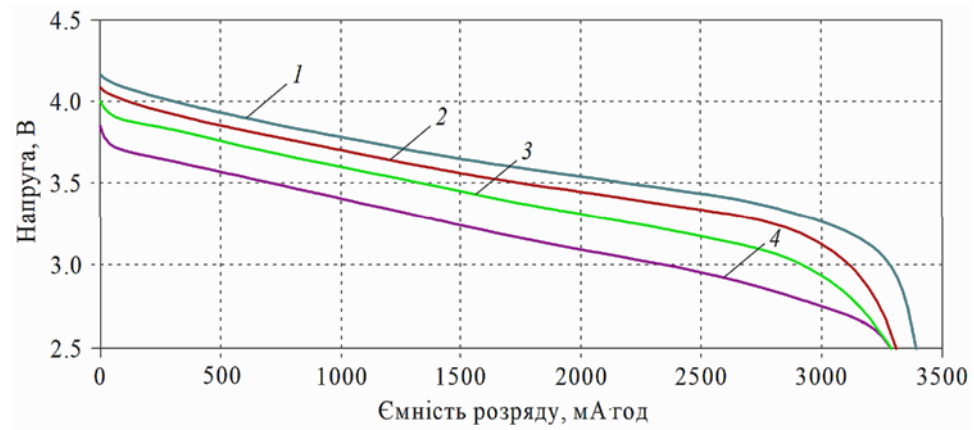
Струм заряду та розряду акумуляторної батареї вимірюється щодо її ємності. Зазвичай для акумуляторної батареї максимальний струм заряду повинен перевищувати 0,2-0,3С [3,7]

1.4 Аналіз методів і технічних засобів вимірювання параметрів акумуляторів

Головна мета вимірювань параметрів акумуляторів (тестування) – це з'ясувати чи мають вони достатню електричну ємність для забезпечення паспортних характеристик протягом гарантованого часу. Практично, вимірювальними засобами визначаються тільки напруга та сила струму. Також можна виміряти щільність електроліту. Вимірювання проводять неодноразово, фіксуючи зміну значень з часом. Вимірювання інших параметрів виконують за методиками, які залежать від типу акумуляторів і характеру навантаження [5]. Під впливом температури та інших зовнішніх факторів багато характеристик нелінійні рис 1.4.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Характеристики акумуляторної батареї типу NCR 18650:
а – режим заряду (1 – напруга, 2 – ємність, 3 – струм); б – режим розряду (1, 2, 3, 4 – С норма)

Методи, які використовують короточасні вимірювання, дають тільки якісну оцінку. Для кількісної оцінки треба проводити багатогодинну повну розрядку акумулятору, ретельно фіксуючи параметри протягом всього процесу вимірювання.

Найбільш розповсюдженими методами вимірювання параметрів акумуляторів є [5]:

- Вимірювання з підключенням зовнішнього навантаження;
- Вимірювання за допомогою вилки навантаження;
- Вимірювання за допомогою тестерів;
- Контрольний розряд за допомогою навантажувальних блоків постійного струму;
- Вимірювання щільності електроліту.

Розглянемо кожний з вказаних вище методів.

Вольтметром вимірюється падіння напруги на акумуляторі з підключеним до нього на деякий час *зовнішнім* (робочим або другорядним) *навантаженням*. При багаторазових вимірюваннях роблять паузи, щоб дати акумулятору відновитися. Отримані дані порівнюються з параметрами, акумулятору даного типу та даної величини навантаження [8].

Спрощені схеми та зовнішній вигляд *вилки навантаження* наведені на рис. 1.5.

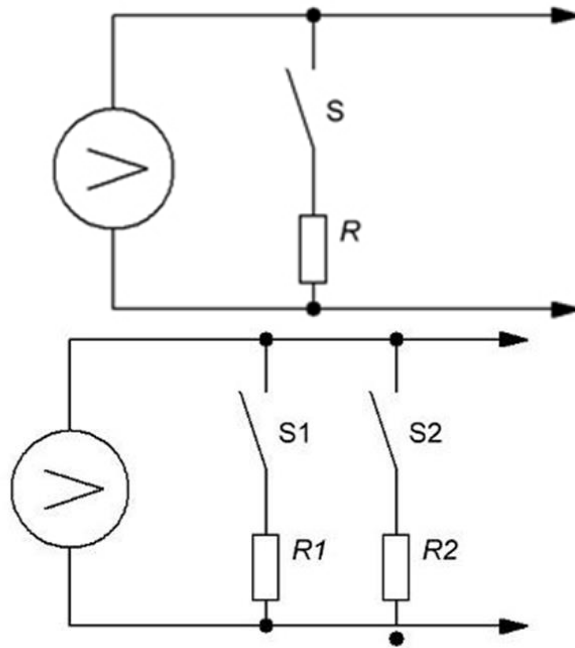


Рисунок 1.5 – Схеми вилки навантаження

Зовнішній вигляд вилки навантаження наведений на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд вилки навантаження

Навантажувальна вилка складається з вольтметра (аналогового або цифрового), одного чи декількох змінних опорів розрахованих різні діапазони виміру напруги, і має два щупи. До її складу може входити амперметр. Результати вимірювань також порівнюються з параметрами, акумулятору даного типу та даної величини навантаження.

Вимірювання за допомогою тестерів акумуляторів мають широкі функціональні можливості. Ринок України представлений широким спектром таких засобів. Розглянемо деякі з представлених.

Цифрові прилади-тестери Кулон-12/6f, Кулон-12m, Кулон-12n дозволяють проводити швидкі виміри напруги, приблизно визначати ємність акумуляторів без контрольного розряду і зберігати в пам'яті до кількох тисяч вимірювань [9]. Живлення тестерів здійснюється від акумулятора, на якому проводяться вимірювання. Зовнішній вигляд приладів наведений на рис.1.7. Прилад подає на акумулятор тестовий сигнал спеціальної форми та аналізує відгук акумулятора. Параметр, що вимірюється, приблизно пропорційний площі активної поверхні пластин акумулятора, характеризує його ємність. Тестер - не прецизійний вимірювач, але з його допомогою отримується оціночне значення ємності акумулятору. До приладу додається процедура калібровки.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд Кулон-12ns

Наступним різновидом тестерів з розширеним функціоналом є тестери Kongter [10]. Вони застосовується для вимірювання напруги та внутрішнього опору акумуляторів. Прилад призначений для тестування акумуляторів ємністю від 5 до 6000 А•год, з напругою елементів 1.2, 2, 6 і 12 В. Діапазон

вимірювання напруги – від 0.000 до 16 В, опору – від 0.00 до 100 мОм. Управління здійснюється за допомогою кольорового сенсорного екрану та кнопок на корпусі. Зовнішній вигляд на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Тестер Kongte

Прилад дозволяє задати тип батареї, що перевіряються, виконати вимірювання напруги і опору, і оцінити відповідність ємності акумулятора заявленої. Інтерфейс дозволяє проводити як однократні виміри, так і серії послідовних (до 254 вимірів у кожній послідовності, сукупна кількість результатів понад 3000). Результати зберігаються автоматично з порядковим номером. Прилад може видати власні оціночні критерії (статус "добре", "погано", "критично") або опорні значення, які задаються попередньо користувачем. Виміряні дані можна експортувати на ПК (див. рис. 1.9) для більш детального та зручного аналізу.

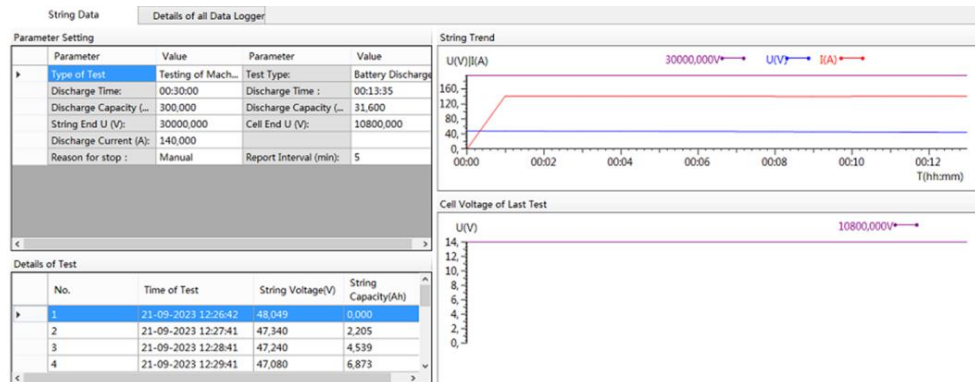


Рисунок 1.9 – Аналіз на ПК результатів вимірювання

Програмне забезпечення "Kongter Battery Data Management" допомагає виконати аналіз даних, відстежити стан батареї та сформувати звіт в Excel.

Прилади Fluke Battery Analyzer [11] дозволяють вимірювати та зберігати в пам'яті напругу, внутрішній опір стаціонарної батареї, температуру мінусової клеми, напругу при розрядці. За наявності додаткових аксесуарів можна вимірювати та зберігати у пам'яті та інші параметри. Є можливість задати граничні значення для різних параметрів. Вбудований порт USB дозволяє передавати зібрані записи на комп'ютер для підготовки звітів за допомогою Analyze Software.

Контрольний розряд за допомогою навантажувальних блоків постійного струму – єдиний прямий і максимально достовірний спосіб вимірювання ємності акумуляторів. Навантажувальний блок (рис. 1.10) дозволяє виконати контрольний розряд акумулятора з постійним контролем ємності. Після підключення його до акумулятору, що перевіряється, починається процес тестування. Процес тестування передбачає:

- зміну навантажувальним блоком свого електричного опору за заданим алгоритмом;
- імітацію великих стартових струмів ;
- коротке замикання;
- безперервне вимірювання напруги та струму;
- Розрахунок ємності.



Рисунок 1.10 – Навантажувальний блок Kongter

Після проведення контрольного розряду дані можна перекачати на ПК і проаналізувати як поводитися акумуляторна батарея в той чи інший відрізок часу. Працювати з приладом можна не тільки з екрана пристрою, але з ПК через ПЗ "Kongter Battery Data Management", підключаючись до приладу по Wi-Fi або дроту через порт RS-485.

Вимірювання щільності електроліту проводять тому, що між щільністю електроліту та електричною ємністю акумулятору існує безпосередня залежність. Вимірювання щільності електроліту здійснюють ареометрами.

Висновки до розділу 1

В першому розділі магістерської дисертації розглянуті історія розвитку, особливості будови, принцип дії та енергетичні характеристики найпоширеніших хімічних джерел струму. Зроблена класифікація вторинних хімічних джерел струму. За основу класифікації прийняті матеріали, що використовуються у виробництві вторинних хімічних джерел струму. Зроблений аналіз виявив найбільш перспективні матеріали та конструкції вторинних хімічних джерел струму.

Також, першому розділі магістерської дисертації зроблений огляд методів вимірювання параметрів акумуляторів таких як: вимірювання з підключенням зовнішнього навантаження, за допомогою вилки навантаження, тестерів, навантажувальних блоків та вимірювання щільності електроліту.

Проведений аналіз ринку вимірювальних засобів для оцінки навантажувальних характеристик акумуляторів показав, що існуючі зразки або дозволяють оцінити лише деякі параметри акумуляторів, наприклад, струм чи напругу, або їх вартість дуже висока. Користуватись такими приладами можуть лише спеціалізовані підприємства. Тому, задачу розробки системи вимірювання навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення, яка зможе визначати енергетичні параметри акумуляторів без використання довготривалих циклів заряду-розряду, можна вважати актуальною.

Для вирішення цієї задачі потрібно розробити алгоритм проведення вимірювань та структуру вимірювальної системи. Вирішення цих питань представлено в наступних розділах.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУМУЛЯТОРІВ

2.1 Моделювання процесів заряду-розряду акумуляторних батарей

Одною з найважливіших задач використання вторинних джерел живлення є оцінка їх навантажувальних характеристик [12]. Вони дозволяють прогнозувати тривалість роботи акумулятора в різних режимах.

Найчастіше для оцінки навантажувальних характеристик акумуляторів проводять їх випробування в лабораторних або робочих умовах. Оскільки це довготривалий процес, доцільно скористатись аналітичними моделями, які описують зарядні та розрядні характеристики акумуляторів. Слід зазначити, що це досить складна задача, яка може бути вирішена в загальному вигляді, оскільки величезна кількість типорозмірів та моделей акумуляторів не дозволяє створювати такі моделі для кожного конкретного випадку.

Враховуючі поставлену в роботі задачу прискореної оцінки навантажувальних характеристик, доцільно розглянути спрощений варіант математичної моделі, який описує характеристики акумулятора в інтервалі часу, обмеженому, наприклад, тривалістю процесів поляризації електродів. Для різних типів акумуляторів тривалість цього процесу лежить в межах від 1 до 300 секунд [13].

Основною вимогою до математичної моделі акумулятора є відтворюваність навантажувальних характеристик, які характеризують процеси заряджання та розряджання акумулятора на певному відрізку часу. При цьому модель повинна враховувати велику кількість впливових факторів, обумовлених як власними особливостями акумулятора, так і зовнішніми умовами.

Аналіз літературних джерел [14, 15] свідчить про те, що реальний вигляд залежності енергетичних параметрів акумуляторів в часі суттєво відрізняється від експоненти. Навіть на відрізку часу від 1 до 300 секунд

початкова частина перехідної характеристики внаслідок особливості процесів поляризації крутіша за експоненту. На відрізку часу, близькому до завершення процесів поляризації, перехідна характеристика стає більш пологою в порівнянні з експонентною.

Залежності, що характеризують подібні процеси, описуються рівняннями наступного вигляду:

$$Y = \frac{A}{\sqrt{t}} \quad (2.1)$$

де Y - параметр, що досліджується; A – постійний коефіцієнт; t – поточне значення часу.

На жаль, наведене рівняння відноситься до класу ідеалізованих, оскільки не враховує реальні фізичні процеси, що відбуваються в процесі заряду або розряду акумулятора. Тому його можна використовувати лише для наближеної моделі процесу на короткому часовому інтервалі.

Для отримання наближеної до реальності моделі доцільно побудувати еквівалентну електричну схему акумулятора. Така схема буде містити декілька компонентів. По-перше, це конденсатор, що є еквівалентом накопичення заряду на електродах акумулятора. Враховуючі, що електроди мають певні фізичні розміри (площу та товщину), а процес заряду протікає поступово та не може одночасно охопити весь об'єм електрода, їх можна представити у вигляді багат шарової структури. Тоді кожен шар доцільно представити як ємність, а зв'язок між шарами – як резистивний елемент. З урахуванням цього еквівалентну електричну схему для різних режимів стану акумулятора можна представити, як показано на рис. 2.1.

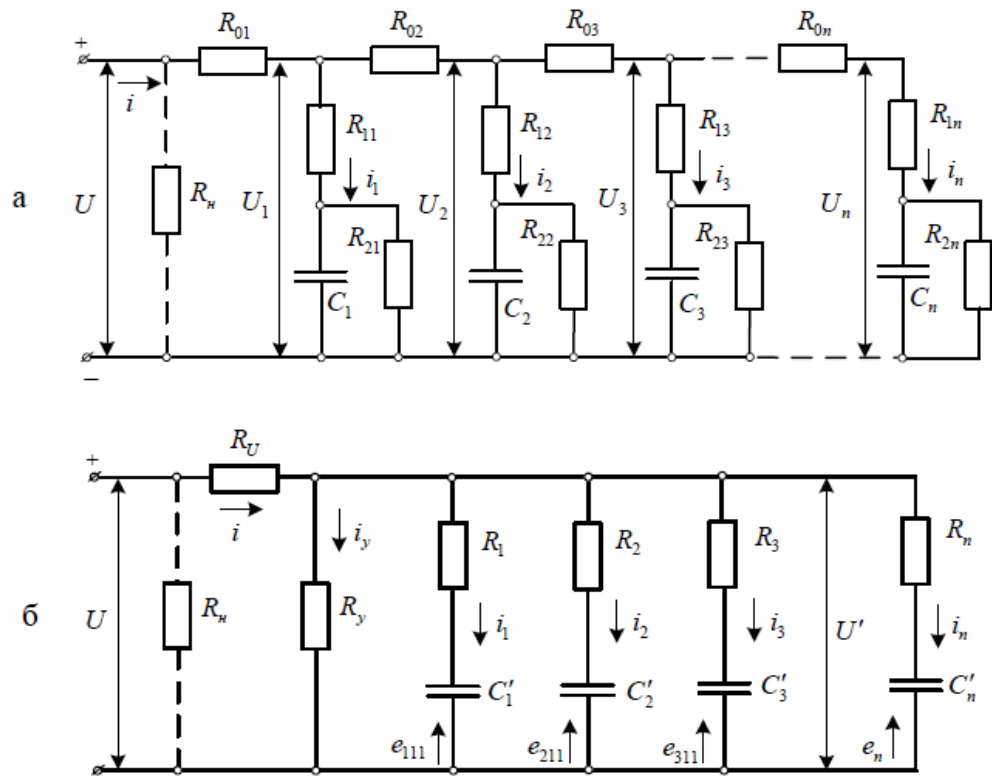


Рисунок 2.1 – Еквівалентна електрична схема акумуляторної батареї

Резистори $R_{01} - R_{0n}$ еквівалентні внутрішньому (міжшаровому) опору акумулятора, а резистори $R_{11} - R_{1n}$ - зовнішні витоки струму та саморозряд акумулятора. При подачі напруги U заряд конденсаторів $C_1 - C_n$ відбувається у зворотно пропорційній залежності величині ємностей $C_1 - C_n$ та величині опорів відповідних резисторів.

Оскільки умовні шари електродів не є ідентичними, зняття з клем акумулятора зарядної напруги U призводить до початку процесу вирівнювання напруги на відповідних ємностях $C_1 - C_n$. Цей процес триває до моменту вирівнювання потенціалу електрода в цілому. Показаний пунктиром резистор R_n на рисунку 2.1. характеризує розряд акумулятора через зовнішнє або внутрішнє навантаження.

Для моделювання роботи еквівалентної схеми акумулятора у режимі його зарядки достатньо скласти n -пар рівнянь вигляду

$$U_K(p) = U(p) - R_{01} \sum_{i=1}^n i_i(p) - R_{02} \sum_{i=1}^n i_i - \dots, \quad (2.2)$$

$$i_k(p) = U_k(p) \frac{T_k p + 1}{\alpha_k (K_k T_k p + 1)}, \quad (2.3)$$

та рівняння

$$i(p) = \sum_{i=1}^n i_i(p) \quad (2.4)$$

де U – напруга заряду акумулятора, В;

i – величина зарядного струму, А;

U_k, i_k – значення напруги та струму на довільному k -тому умовному шарі електроду;

$T_k = R_k C_k$ – постійна часу k -того умовного шару електроду.

$\alpha_k = R_{1k} + R_{2k}$ – величина активного опору k -того умовного шару електрода, Ом;

$K_k = R_{1k} / R_{2k} + R_{2k}$ – коефіцієнт передачі k -того умовного шару електроду.

Результатом сумісного вирішення $2n+1$ рівнянь (2.2) – (2.4) буде передатна функція наступного вигляду:

$$W(p) = i(p) / U(p) = \alpha_0 + \alpha_1 p + \alpha_2 p^2 + \dots \alpha_n p^n, \quad (2.5)$$

Рівняння (2.5) є операторним зображенням для електричної провідності акумулятора. Коефіцієнти рівняння залежать від виду акумуляторної батареї та можуть бути визначені за параметрами еквівалентної електричної схеми.

Слід зазначити, що передатну функцію (2.5) можна отримати за допомогою спрощеної еквівалентної схеми, наведеної на рис 2.1 б. Система рівнянь для такої схеми буде мати наступний вигляд:

$$W(p) = U'(p) \frac{T_k p}{R_k (T_k p - 1)}, \quad (2.6)$$

$$i_y(p) = U'(p) / R_y, \quad (2.7)$$

$$i(p) = i_y(p) + \sum_{i=1}^n i_e(p), \quad (2.8)$$

$$U'(p) = U(p) - R \cdot i(p), \quad (2.9)$$

де U' - напруга, утворювана на паралельних електричних колах, В;

R_k - опір k -того електричного шару, Ом;

$T_K = R_K C'_K$ - постійна часу, с;

R_y - опір електричного кола, обумовлений явищами витікання та саморозрядом, Ом;

i_y - струм витікання, А.

У процесі заряджання конденсаторів $C_1, C_2, \dots, C_n$ напруги на них від ненульових початкових значень, що дорівнюють $e_{1n}, e_{2n}, \dots, e_{kn}$ експоненційно зростають до рівнів $e_1, e_2, \dots, e_k$. Причому в електричних колах із меншою постійною часу наростання відбувається швидше й до більшого рівня. Тому на момент закінчення зарядного імпульсу вказані напруги виявляються рівними за величиною.

У процесі паузи під час вимкнення U струм i миттєво стає рівним нулю, а $U = U'$. Конденсатори $C_1, C_2, \dots, C_n$ починають розряджатися на R_y . Крім того, відбувається також перерозподіл їх заряджання через $R_1 - R_n$. Внаслідок цього їх напруги намагаються вирівнюватися. У цьому випадку стає можливим зміну напруги на акумуляторі апроксимувати сумою експонент із постійними часу $T_1, T_2, \dots, T_n$, до яких входять як поляризаційні складові, так і складові від окислювально-відновлювальних реакцій. Саморозряд акумулятора відбувається значно повільніше, ніж спадання напруги поляризації, тому прогрес деполіризації під час вимкнення U сприймається (в експоненті) як зниження напруги не до нуля, а до рівня, відповідного фактичному ступеню зарядженості акумулятора на момент припинення заряджання.

Розглянуті закономірності дають змогу представити еквівалентну структурну схему акумулятора для режимів заряду та розряду. Така схема показана на рис. 2.2.

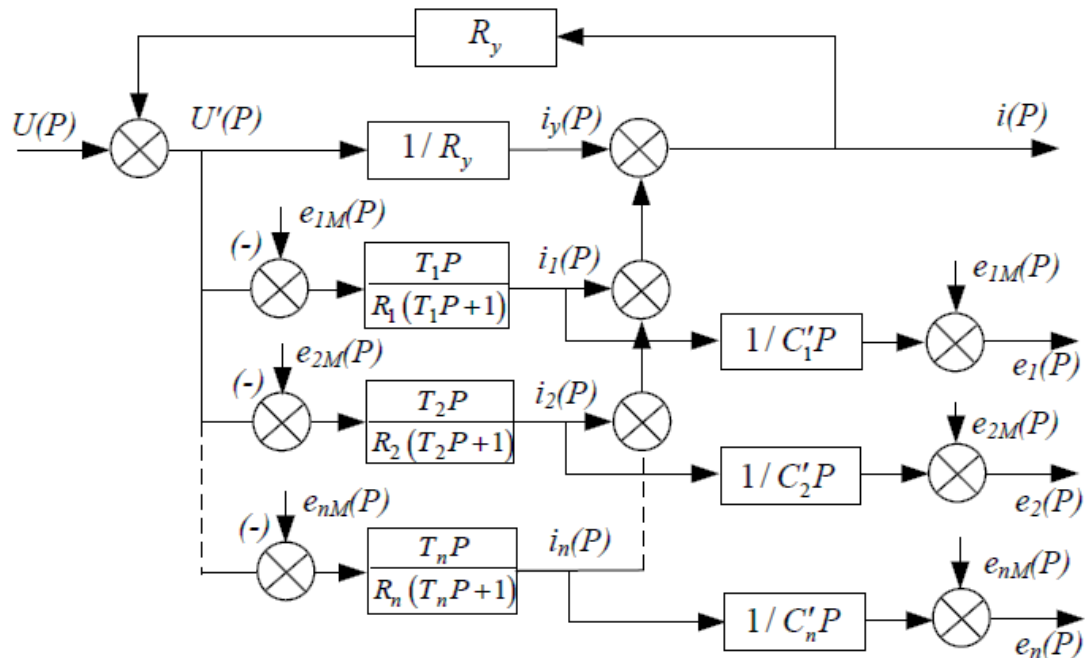


Рисунок 2.2 – Еквівалентна структурна схема акумулятора.

Отже, у загальному випадку струм під час увімкнення акумулятора на заряджання чи розряджання і відповідну напругу на його виводах у режимі паузи можна апроксимувати сумою експоненційних кривих із різними початковими значеннями та постійними часу. Це дозволяє експериментальні залежності $U=f(t)$ та $s=f(t)$ розкласти на експоненціальні складові і через них визначати параметри математичної моделі акумулятора.

2.2 Динамічні характеристики акумуляторних батарей

Як зазначалось вище, в даній роботі основна увага приділяється не повному циклу заряду або розряду акумулятору, а лише початковій частині характеристик заряду або розряду. Саме це дозволяє за короткий період часу визначити енергетичні характеристики акумулятору [15].

При цьому можна допустити, що параметри акумуляторів і батареї загалом, які розглядаються як об'єкт керування, упродовж перехідного процесу, викликаного подачею на вхід одиничного або ступінчастого впливу, практично залишаються постійними для конкретних рівнів струму заряду - розряду ступеня зарядженості акумулятора.

В основу побудови математичної моделі акумулятора покладена електрична схема заміщення, наведена на рис. 2.3 [15].

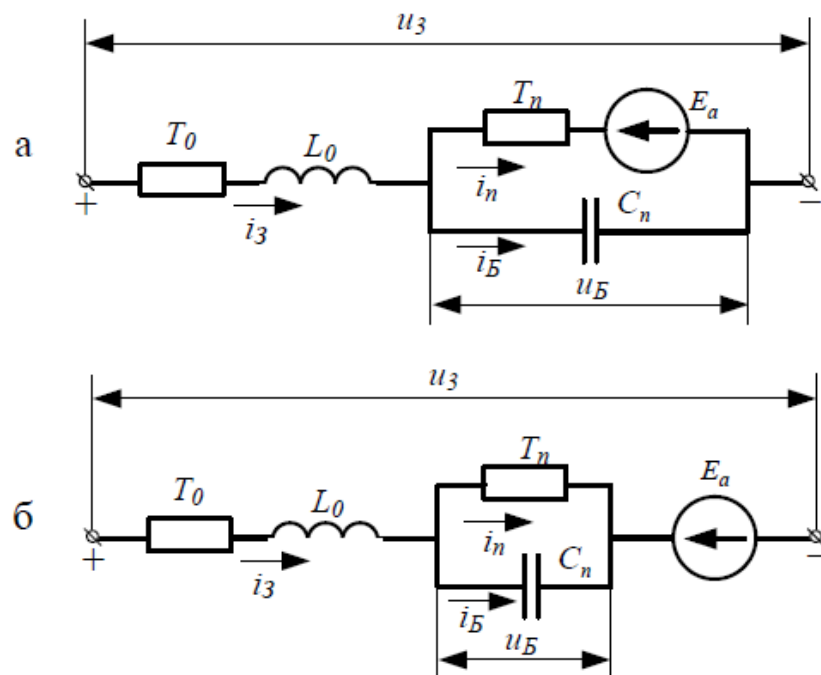


Рисунок 2.3 – Електрична схема заміщення тягового акумулятора

Акумулятор вважають повністю зарядженим (ступінь зарядженості $C=100\%$), якщо на нього подано зарядну ємність, яка дорівнює $1,5C_n$ (C_n – номінальна ємність акумулятора). Повністю розрядженим (ступінь зарядженості $C=0\%$) акумулятор вважається за умови розрядки струмом п'ятигодинного режиму розряду до напруги, яка дорівнює 1 В.

Електричні процеси в схемі заміщення акумулятора можна описати системою рівнянь:

$$\begin{aligned}
u_3 &= L_0 di_3/dt + r_0 i_3 + n_c \\
n_c &= E_0 + 1/C_n \int_0^t i_c dt \\
i_n &= (n_c - E_0)/r_n \\
i_3 &= i_n + i_c
\end{aligned}
\tag{2.10}$$

де u_3 – напруга заряджання;

L_0, r_0 – індуктивність та активний опір акумулятора;

i_3, i_c, i_n – струми заряджання і внутрішнього контуру в ланцюгах конденсатора та джерела відповідно;

u_c – напруга на внутрішньому контурі акумулятора;

E_0 – електрорушійна сила акумулятора (напруга розімкненого кола) на момент під'єднання його на зарядку;

C_n, r_n – ємність та опір поляризації електродів акумулятора.

Рішення системи (2.10) в операторній формі запису буде мати наступний вигляд:

$$U_3(p) = [(T_0 p + 1)r_0 + r_n/(T_n p + 1)]I(p) + E_0(p), \tag{2.11}$$

де U_3 – напруга заряджання;

$T_0 = L_0/r_0$ – постійна часу, обумовлена індуктивністю акумулятора;

$T_n = r_n C_n$ – постійна часу поляризації.

$$W_a(p) = \frac{I_3(p)}{\Delta U_a(p)} = \frac{K_a(T_n p + 1)}{T'^2 p^2 + T p + 1} \tag{2.12}$$

де $\Delta U_a(p) = U_3(p) - E_0 p$; $K_a = 1/(r_0 + r_n)$ – передатний коефіцієнт акумулятора;

$T = \frac{r_0}{r_0 + r_n} (T_0 + T_n)$, $T' = \sqrt{\frac{r_0}{r_0 + r_n} T_0 T_n}$ – постійні часу акумулятора.

Рівняння (2.12) за тих самих припущень застосовують і для іншого варіанта схеми заміщення, зображеного на рис. 2.3, б.

Структурні схеми акумулятора для режиму заряджання й розряджання, що відповідають моделі (2.12), наведено на рис. 2.4.

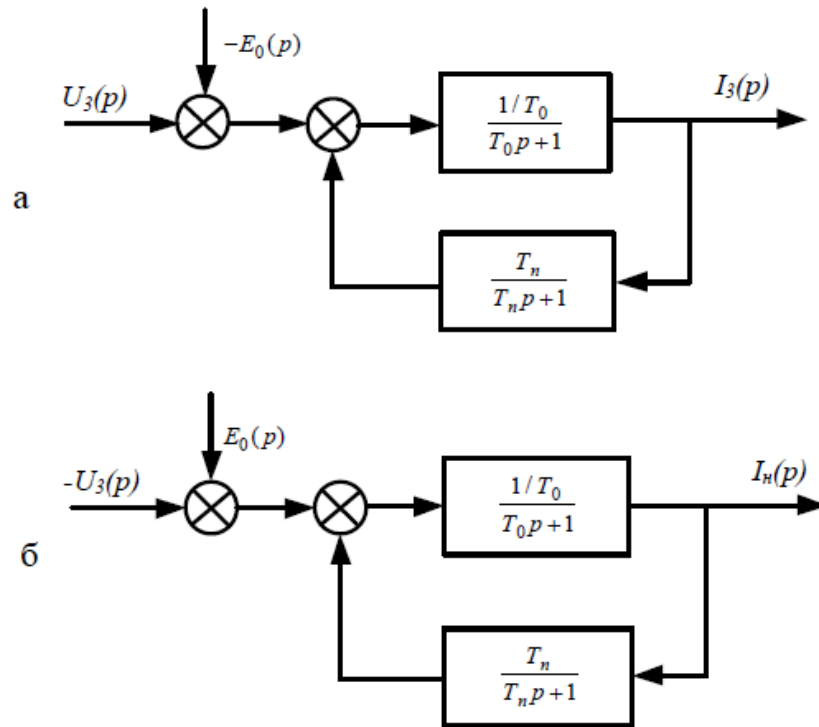


Рисунок 2.4 – Структурні схеми акумулятора в режимі заряджання-розряджання

Використовуючи отримані структури, можна синтезувати математичну модель батареї, що складається з довільного числа n акумуляторів, які мають різні параметри r_{0i} , L_{0i} , C_{ni} , r_{il} , E_{0i} . При найбільш поширеному на практиці послідовному з'єднанні акумулятора входом першого з них є напруга, а виходом – струм, загальний для інших акумуляторів і такий, що подається на їхній вхід. Тому на підставі (2.12) структурну схему батареї можна ілюструвати за допомогою рис. 2.5, а узагальнену передатну функцію виразити рівнянням:

$$K_B \prod_{i=1}^n (T_m p + 1)$$

$$W_B(p) = \frac{I_3(p)}{U_B(p)} = \frac{K_B \prod_{i=1}^n (T_m p + 1)}{1 / \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq 1}}^n \cdot \sum_{i=1}^n \cdot [(T'^2 p^2 + T_i p + 1) \prod_{k=1}^n (T_{nk} p + 1) K_{ak}]}, \quad (2.13)$$

де $K_B = 1 / \sum_{i=1}^n (r_{0i} + r_m) = 1 / (R_0 + R_n)$ – передатний коефіцієнт батареї;

$R_0 = \sum_{i=1}^n r_{0i} R_n = \sum_{i=1}^n r_{ni}$ – омичний і поляризаційний опори батареї;

$\Delta U_5(p) = U_3(p) - \sum_{i=1}^n E_{0i}(p)$, $\sum_{i=1}^n E_{0i}(p) = E_3(p)$ – приріст напруги та ЕРС на батареї.

Узагальнену модель (2.13) можна застосовувати для дослідження процесів, що відбуваються в батареї, з урахуванням індивідуальних характеристик деяких акумуляторів. Зважаючи на те, що під час синтезу заряджально-розряджальних режимів зацікавлення викликають перехідні процеси в батареї загалом, доцільно спростити її математичну модель. Для цього батарею треба розглядати як систему акумуляторів із рівними, усередненими параметрами, тобто як ідеальну. Тоді (2.13) можна представити виразом:

$$W_B(p) = \frac{I_3(p)}{\Delta U_B(p)} = \frac{K_B (T_n p + 1)}{T'^2 p^2 + T_p p + 1} \quad (2.14)$$

де $K_B = K_a / n$, а постійні часу T', T, T_n – дорівнюють відповідним постійним часу одного усередненого акумулятора.

Аналогічно можна довести, що під час розряджання батареї на обмеженому проміжку часу, узагальнена і спрощена моделі батареї будуть ідентичними відповідним моделям у режимі заряджання (2.13) і (2.14). При цьому у виразах передатних функцій замість $-E_B$, $+U_3$ під час заряджання

треба підставити $+E_B$, $-U_n$ (напруга на вході навантаження) під час розряджання.

Модель (2.13) можна представити спрощеним виразом, якщо знехтувати індуктивністю акумуляторів, яка, як відомо, для потужних акумуляторів ємністю від 100 до 500 А·г становить $(0,3 \dots 0,7) \cdot 10^{-6}$ Гн:

$$W_B(p) = K_B(T_n p + 1)/(T_B p + 1) \quad (2.15)$$

або

$$W_B(p) = K_B(\alpha_B T_B p + 1)/(T_B p + 1) \quad (2.16)$$

де $K_B = 1/(R_0 + R_n)$ – передатний коефіцієнт батареї;

$$T_i = R_n C_n, T_A = \frac{R_0}{R_0 + R_n} T_n = \frac{T_n}{\alpha_A} \text{ – постійні часу контуру поляризації й}$$

перехідного процесу батареї;

R_0, R_n – омичний і поляризаційний опори батареї;

$$\alpha_B = \frac{T_n}{T_B} = \frac{R_0 + R_n}{R_0} \text{ – коефіцієнт кратності постійних часу, що}$$

характеризують ступінь диференціювання батареєю вхідного впливу.

Структурну схему спрощеної моделі батареї наведено на рис. 2.5б.

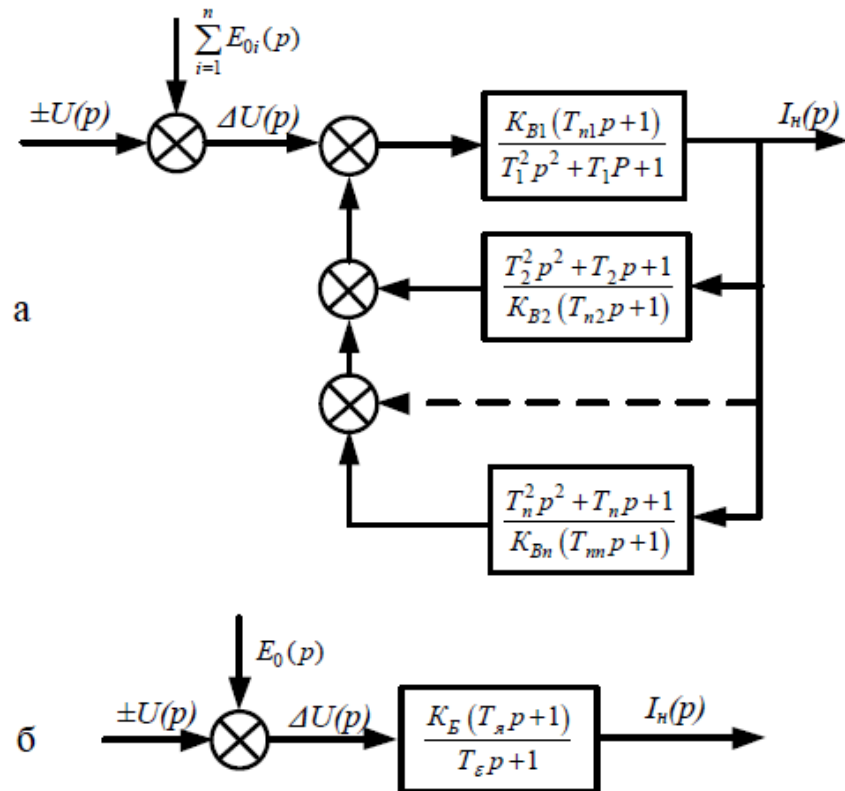


Рисунок 2.5 – Спрощена структура схеми акумуляторної батареї

Первинній функції (2.15) або (2.16) відповідає перехідна функція батареї

$$i_B(t) = \Delta U_B K_B [1 + (\alpha_B - 1) \exp(-t/T_B)] \quad (2.17)$$

Отже, конкретна акумуляторна батарея за певних початкових умов на заданому початковому короткому інтервалі часу апроксимується ланкою загального вигляду першого порядку диференційної дії з постійними параметрами. Водночас за різних початкових умов параметри моделі (2.17) визначають характером зміни внутрішнього опору батареї. Під початковою умовою розуміють ступінь зарядженості батареї, кількість, тип і технічний стан акумуляторів відповідно до кількості числа експлуатаційних заряджально-розряджальних циклів, якості електроліту, внутрішнього опору, температури та інших чинників.

Ефект диференціювання, який має цей об'єкт, визначається тим, що має місце нерівність

$$T_n > T_B \quad T_n > T \quad \text{або} \quad \alpha_B > 1 \quad (2.18)$$

згідно з яким під час подачі на вхід батареї ступінчастого впливу в початковий

момент часу виникає стрибок струму

$$i_n(0) = K_B \alpha_B \Delta U_B. \quad (2.19)$$

і потім плавно убиває з постійною часу T_B до значення

$$T_B(\infty) = i_{B \text{ уст}} = K_B \Delta U_B \quad (2.20)$$

Для збільшення точності опрацювання перехідних процесів за основні прийнято криві зміни напруги на батареї, що спрощує реалізацію схеми вимірювання (бо записують тільки приріст напруги, це дозволяє збільшити масштаб осцилограми за ординатою). При цьому в схему вимірювання вводять джерело опорної напруги, що компенсує E_B перед дослідом, і точний прилад для вимірювання напруги розімкненого ланцюга (ЕРС) батареї.

Отримані експериментально криві розгону обробляють за допомогою апроксимації на заданій ділянці часу розрахунковими кривими, що являють собою часові характеристики еквівалентної системи «батарея-навантаження», структурна схема якої (рис. 2.6) становить дві послідовно з'єднаних ланки (батарея і навантаження), охоплених одиничним від'ємним зворотним зв'язком.

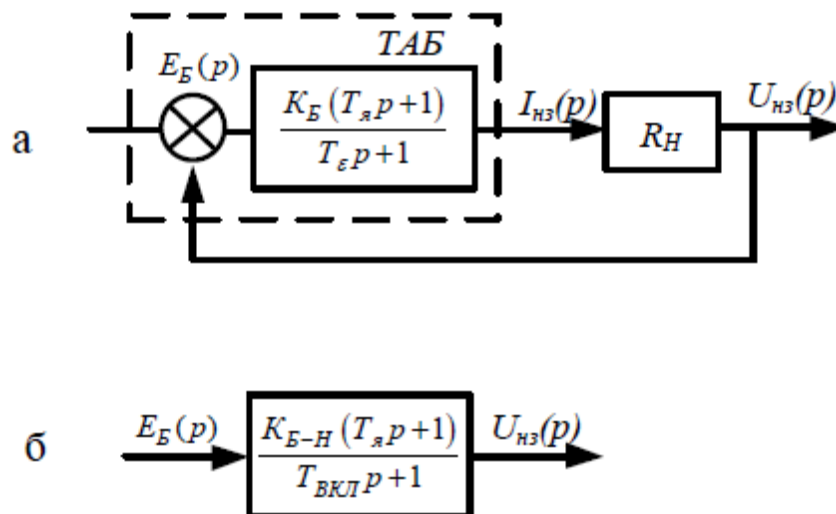


Рисунок 2.6 – Структурна схема акумуляторної батареї

Передатну функцію, що відповідає структурі (рис. 5.8), визначають виразом

$$\begin{aligned} W_{Б-Н}(p) &= \frac{U_{HE}(p)}{E_B(p)} = \frac{K_B R_H (T_n p + 1) / (T_B p + 1)}{i + K_B R_H (T p + 1) / (T_B p + 1)} = \\ &= \frac{K_B R_H (T_n p + 1) / (1 + K R_n)}{\frac{K_B R_H T_n + T_B}{1 + K_B R_H} p + 1} = \frac{K_{Б-Н} (T_n p + 1)}{T_{ВКЛ} p + 1} \end{aligned} \quad (2.21)$$

або

$$W_{Б-Н}(p) = K_{Б-Н} \frac{\alpha T_{ВКЛ} p + 1}{T_{ВКЛ} p + 1} \quad (2.22)$$

де $U(p)$ – операторне зображення напруги навантаження еквівалентної системи;

$$K_{Б-Н} = \frac{K_B R_H}{1 + K_E R_H} = \frac{U_{HEУСТ}}{E_B}$$

– передатний коефіцієнт еквівалентної системи;

$U_{HEУСТ}$ – значення напруги еквівалентної системи, яке установилося;

$$\alpha = \frac{T_H}{T_{ВКЛ}} = \frac{U_H(0_+)}{U_{HEУСТ}}$$

– коефіцієнт форсування;

$$T_{ВКЛ} = \frac{K_B R_H T_n + T_B}{1 + K_B R_H}$$

– постійна часу перехідного процесу системи.

З урахуванням (2.21) і (2.22) можна записати:

$$\begin{aligned} K_{Б-Н} &= \frac{R_H}{R_0 + R_H + R_6} \\ T_{ВКЛ} &= \frac{R_0 + R_H}{R_0 + R_H + R_n} T_n = \frac{T_n}{\alpha} \\ \alpha &= \frac{R_0 + R_H + R_n}{R_0 + R_H} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Передатній функції (2.21) відповідає структура, зображена на рис. 2.7. Перехідний процес в аналізованій системі згідно (2.23) можна описати рівнянням

$$u_{HE}(t) = K_{B-H} E_c [1 + (\alpha - 1) \exp(-t/T_{ВКЛ})] \quad (2.24)$$

Тоді напругу на батареї еквівалентної системи визначатимуть:

$$u_{BE}(t) = \begin{cases} E_B & \text{при } t < 0 \\ u_{HE}(t) & \text{при } t \leq 0 \end{cases} \quad (2.25)$$

Порівнюючи співвідношення рівнянь (2.23), (2.24) з (2.25), отримаємо вираз для визначення параметрів через параметри еквівалентної системи:

$$K_B = \frac{K_{B-H}}{R_H(1-K_{B-H})}, \alpha_B = \alpha + \frac{R_H}{R_0}(\alpha - 1), T_B = \frac{\alpha}{\alpha_B} T_{ВКЛ} \quad (2.26)$$

У цьому випадку зацікавлення викликає тільки початкова ділянка кривої перехідного процесу (рис. 2.8) з огляду на умови обмеження часу заряджання-розряджання.

розряджання.

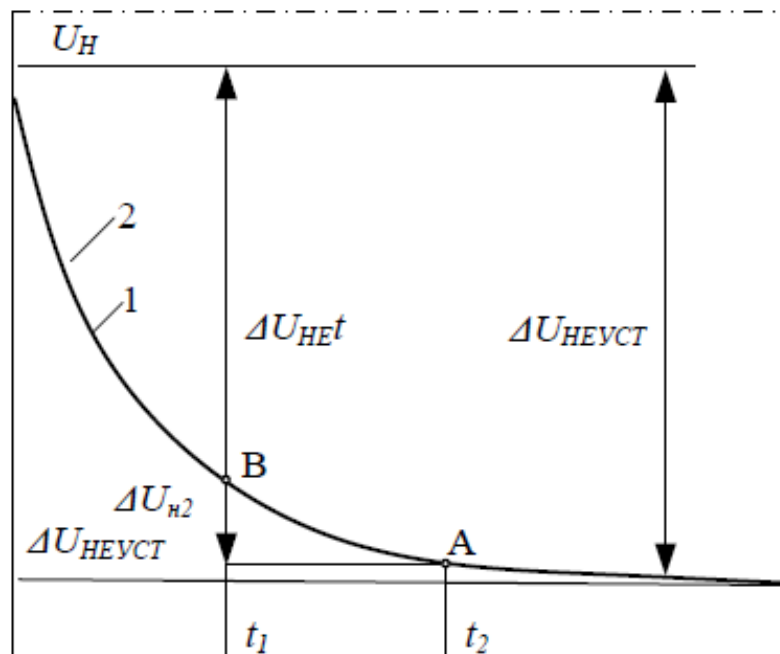


Рисунок 2.7 – Модельна крива напруги акумуляторної батареї при розряджанні

Доступні з літературних джерел результати дослідження батарей, у яких максимальне відхилення параметрів функції струму від їхніх середніх значень не перевищує 7% , показують, що зі збільшенням числа акумуляторів вплив значення струму на значення параметрів батареї знижується. Це можна пояснити тим, що подані батареї являють собою достатньо велику сукупність акумуляторів, характеристики яких є випадковими величинами, що підкоряються нормальному закону розподілу.

Тому батарею загалом можна представити як сукупності усереднених акумуляторів або як певний абстрактний акумулятор з усередненими електричними параметрами, які на досліджуваному відрізку часу змінюються і практично не залежать від значення струму.

2.3 Експериментальні дослідження акумуляторів

Проведені теоретичні дослідження дають змогу побудувати узагальнену електричну модель акумулятора та оцінити динаміку процесів заряджання та розряджання акумуляторів. В той же час слід зазначити, що в даний час на ринку представлено величезну кількість типорозмірів вторинних джерел живлення. В розділі 1 показано, що тільки за матеріалами, які використовуються у виробництві акумуляторів, нараховують більше 20 типів. Якщо врахувати, що кожен з типів акумуляторів має певний ряд номінальної ємності, різні типорозміри, стає зрозумілим складність використання отриманих моделей без експериментального дослідження характеристик кожного конкретного типу акумуляторів.

Аналіз науково-технічної літератури показав, що практично всі виробники акумуляторів в документації на продукцію наводять інформацію про зарядні та розрядні характеристики своєї продукції, прогнозовані енергетичні властивості залежно від кількості циклів заряду – розряду, глибини розряду, температури акумулятора. Деякі приклади таких характеристик наведено на рис. 2.8 – 2.10.

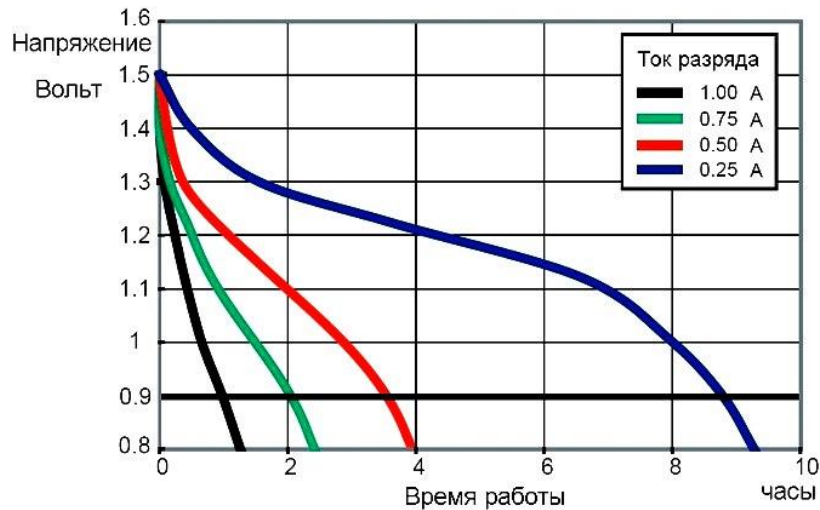


Рисунок 2.8 – Розрядні характеристики сольової батареї Videx [17]

Наведені на рис. 2.8 характеристики розряду різними струмами. Вигляд цих характеристик підтверджує висновки теоретичних досліджень щодо загального вигляду розрядних кривих. По перше, це зрозумілий висновок по те, що час роботи батареї однозначно залежить від розрядного струму. По друге, аналіз початкової ділянки, де розрядні характеристики мають найбільшу крутість, свідчить, що їх доцільно використовувати для прогнозування навантажувальних характеристик батареї.

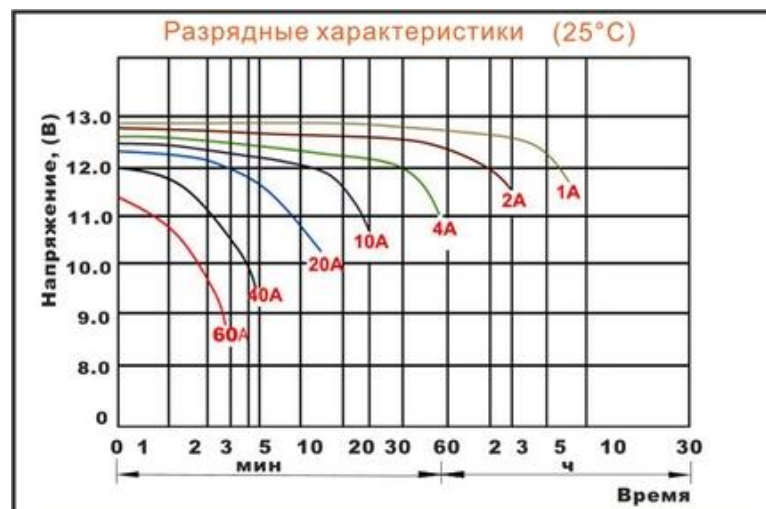


Рисунок 2.9 – Розрядні характеристики свинцево-кислотної батареї Matryx [18]

На рис 2.9 показані розрядні характеристики свинцево-кислотної батареї Matruh. Достовірність цих характеристик, особливо на початковій ділянці розряду, викликає деякі сумніви. Обумовлено це тим, що в нульовий момент часу, а саме, в момент підключення навантаження, напруга на акумуляторі не може бути різною. Середня та кінцева ділянки характеристик відповідають загально прийнятим поняттям про хід процесу розряду, але відсутність початкової ділянки унеможливорює прогнозування процесу розряду. Це зайвий раз підтверджує необхідність використання реальних експериментальних даних для прогнозування навантажувальних характеристик акумуляторів.

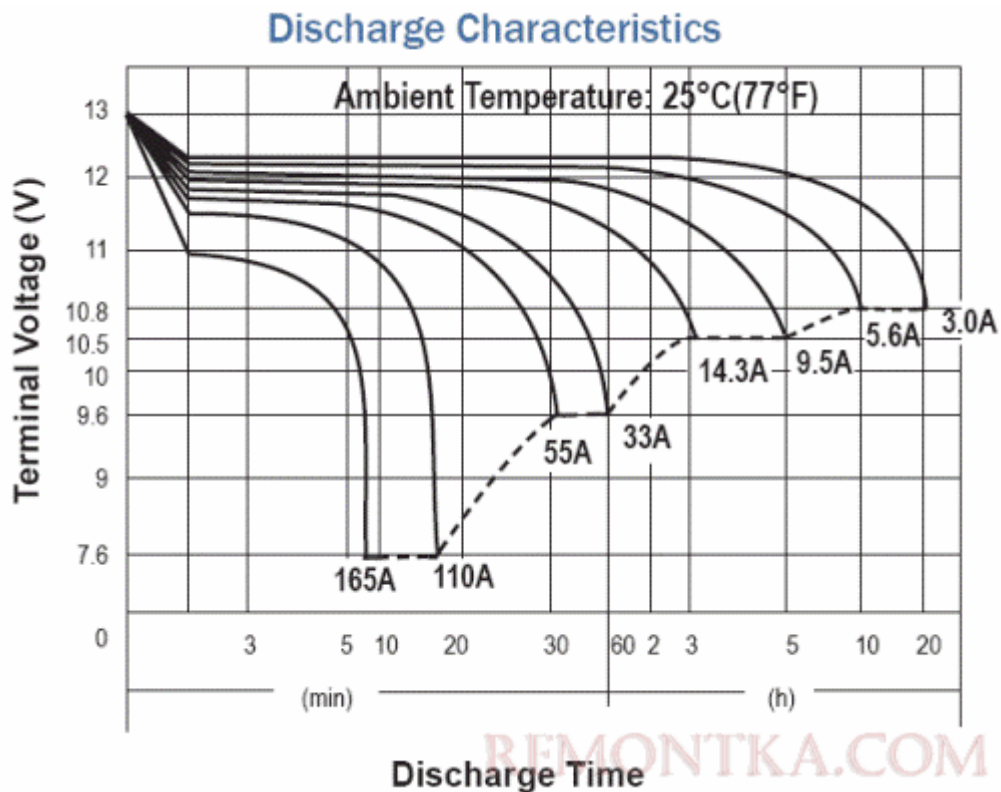


Рисунок 2.10 – Розрядні характеристики гелевої батареї Ener Light [19]

Для порівняння на рис. 2.10 показані розрядні характеристики гелевої батареї Ener Light, за характеристиками подібної до розглянутої попередньо свинцево-кислотної батареї Matruh. Ці характеристики більш відповідають дійсності, як з них видно, на початковій ділянці напруга акумулятору дійсно

швидко спадає і лише потім стабілізується на певний час залежно від прикладеного навантаження. Але, показані на графіку відрізки прямих на початковій ділянці теж не відповідають дійсності, оскільки процес розряду на цій ділянці не може підкорятись лінійному закону.

Наведені приклади розрядних характеристик, отриманих з літературних джерел, свідчать про неможливість їх використання для чисельної оцінки навантажувальних характеристик акумулятора. Обумовлено це тим, що вони більшою частиною носять якісний характер. Тому прийняте рішення про необхідність проведення реальних досліджень розрядних характеристик акумуляторної батареї.

Для експериментальних досліджень обрано батарею з трьох акумуляторів 18650 невідомого китайського виробника. Характеристики акумулятора [20], надані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Характеристики досліджуваного акумулятора
18650/2000mAh/3.7V/Blue/Li-Ion

№ п/п	Параметр	Значення
1	Номінальна ємність, мАч	2000
2	Номінальна напруга, В	3.7
3	Допустимий діапазон зміни напруги, В	2.75...4.20В
4	Напруга відсічки, В	2.75
5	Струм стандартної зарядки, А	1.3
6	Час зарядки стандартним струмом, хв.	180
7	Струм прискореної зарядки, А	2.6
8	Максимальний розрядний струм, А	5.2
9	Габаритні розміри, мм	
	Висота	65
	Діаметр	18

Експеримент проводився за допомогою відомої схеми вольтметра-амперметра, рисунок якої наведено на рис. 2.11.

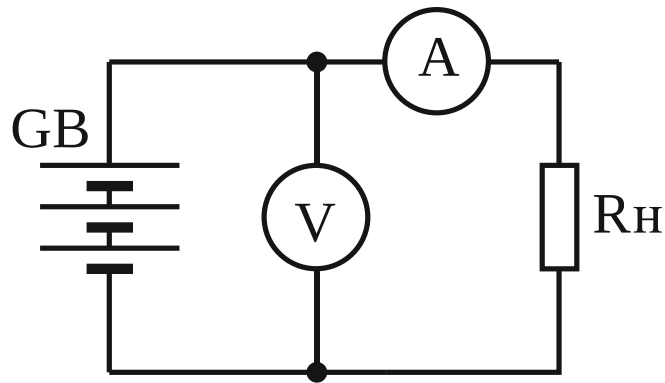


Рисунок 2.11 – Схема для зняття розрядних характеристик

На схемі показано батарею GB, яка складається з 3 акумуляторів типу 18650, вольтметра V та амперметра A, в якості яких використані цифрові мультиметри DT-830D (рис. 2.13).

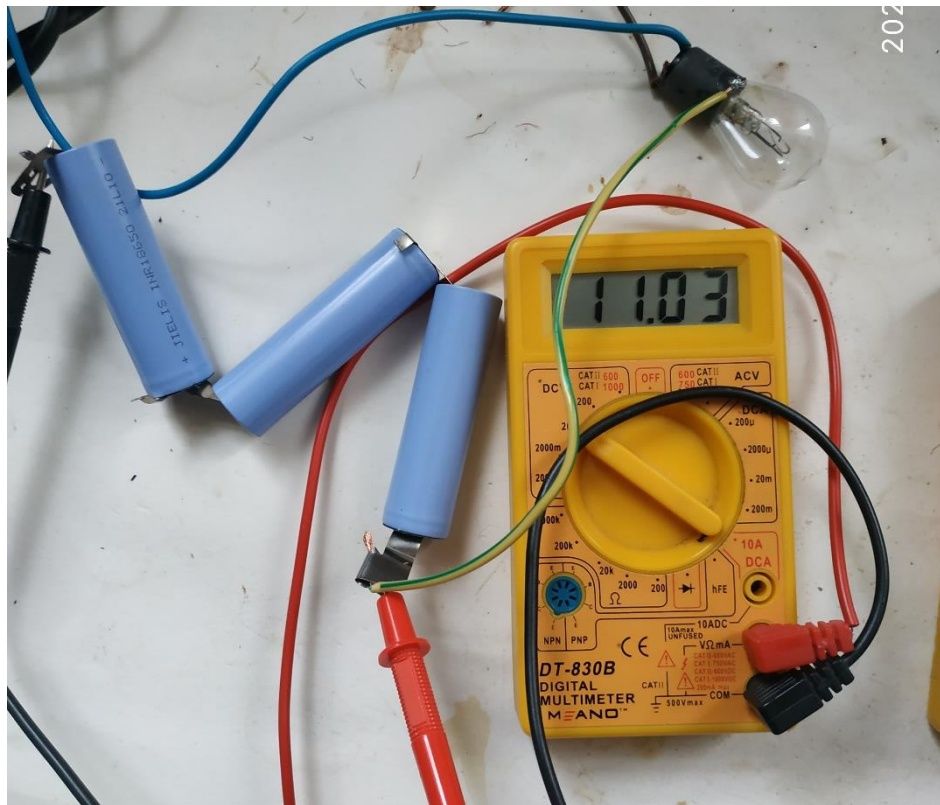


Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд акумуляторів та значення напруги в режимі холостого ходу

Функцію навантаження R_n виконує лампа розжарювання, розрахована на номінальне значення напруги 12 В. Лампа має дві нитки розжарювання,

одна розрахована на потужність 5 Вт, друга – 21 Вт. При номінальному значенні напруги живлення розрахункові значення струму становлять 0,41 А та 1,75 А. Оскільки номінальне значення напруги акумуляторів типу 18650 становить 3,7 В, на виході батареї з трьох послідовно з'єднаних акумуляторів розрахункове значення напруги становить 11,1 В.

На рис. 2.12 видно, що в реальних умовах повністю заряджені акумулятори видають на виході 11,03 В, що відповідає розрахунковим значенням. Незначне зменшення вихідної напруги обумовлене впливом опору з'єднувальних дротів. Відповідно, напруга на виході батареї з трьох послідовно з'єднаних акумуляторів при повному розряді має впасти до 7,75 В.

На рис. 2.13 наведено покази вимірювальних приладів при підключенні до акумуляторів нитки розжарювання, розпайованої на потужність 21 Вт та відповідне значення напруги на акумуляторі.

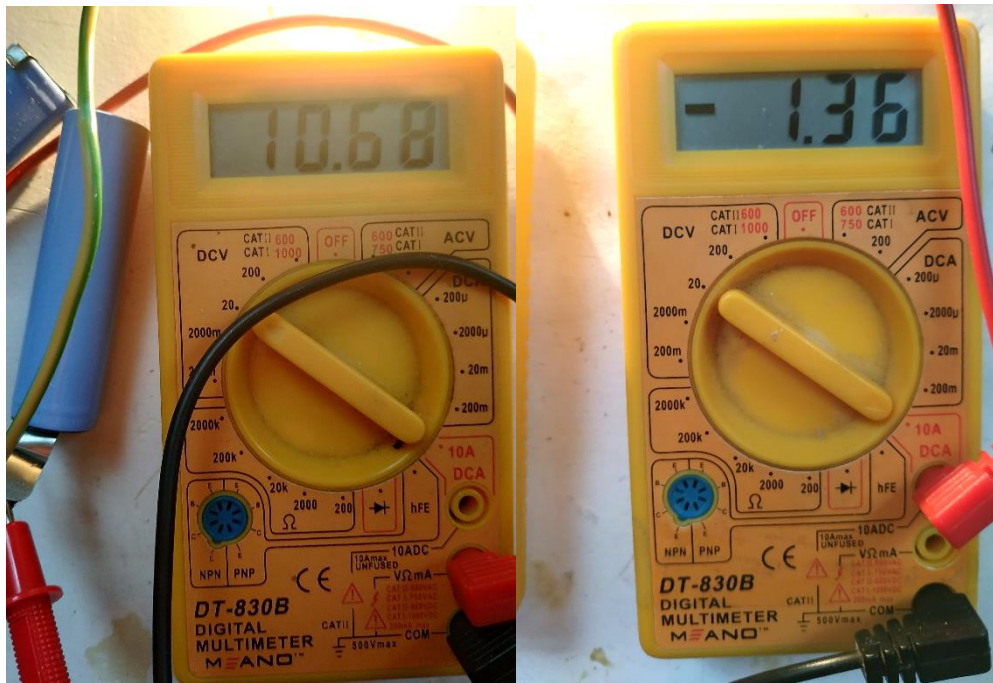


Рисунок 2.13 – Напруга та струм акумуляторів при підключенні навантаження потужністю 21 Вт.

Як видно з рис. 2.13, напруга на акумуляторі при підключенні навантаження впала, відповідно до цього струм, що протікає в колі навантаження теж менше розрахункового.

При проведенні експерименту покази напруги на акумуляторі при різних значеннях навантаження знімались з інтервалом часу 10 секунд. Результати представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Значення напруги на акумуляторі при розряді на навантаження 5 Вт та 21 Вт

Час, с	Напруга при навантаженні 5 Вт, В	Напруга при навантаженні 21 Вт, В
0	11,03	11,02
10	10,91	10,82
20	10,81	10,7
30	10,72	10,6
40	10,63	10,52
50	10,56	10,46
60	10,51	10,42
70	10,47	10,4
80	10,45	10,38
90	10,43	10,37
100	10,42	10,36
110	10,42	10,36
120	10,42	10,36
130	10,42	10,35
140	10,41	10,35
150	10,41	10,35

Представлені в таблиці 2.2 результати важко оцінити та порівняти. Тому для наочності за допомогою табличного редактора Excel створено відповідні графічні залежності, наведені на рис. 2.14.

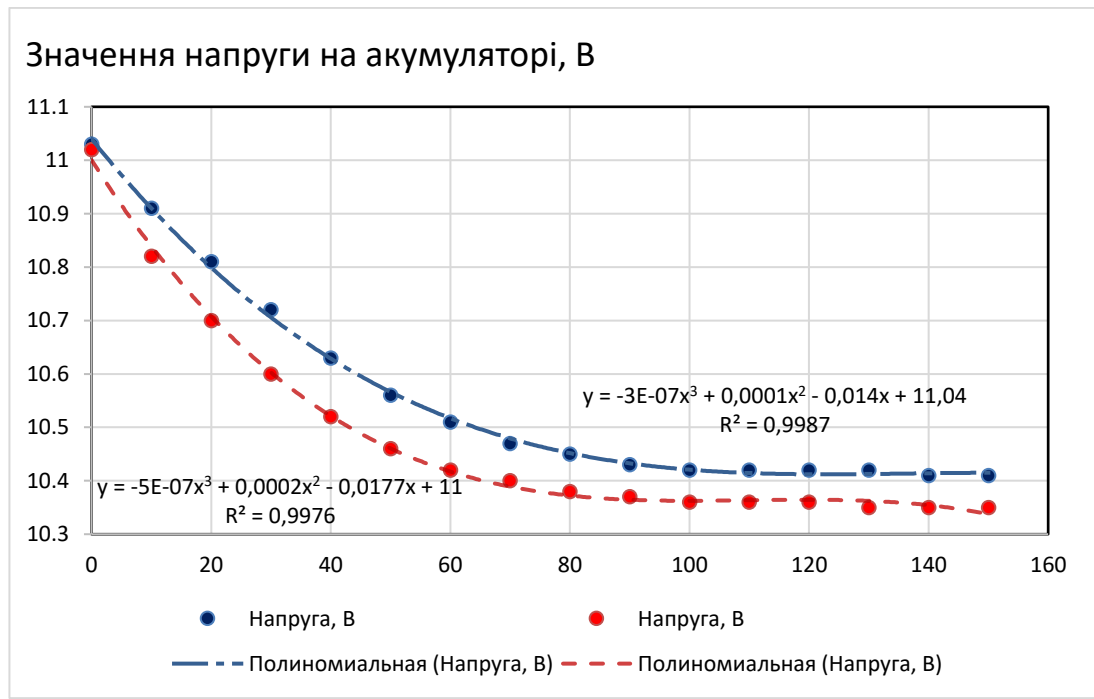


Рисунок 2.14 – Криві розряду акумулятора на навантаження 5 Вт (синя) та 21 Вт (червона).

Наведені на рис. 2.14 результати розряду акумулятора на різні навантаження підтверджують результати теоретичних досліджень. З показаних кривих видно, що, як і передбачалось, на початковій ділянці кривої розряду напруга спадає досить швидко, після чого стабілізується на деякому рівні. Причому, крутість спаду напруги при потужнішому навантаженні більша, ніж при меншому. Відповідно, рівень напруги, що встановився на стабільній ділянці розрядної характеристики, теж залежить від прикладеного навантаження. Аналіз отриманих розрядних кривих показує, що для даного типу акумуляторів час спадання напруги становить близько 80 секунд. Показані на рисунку криві апроксимовані рівняннями 3 порядку, які наведені безпосередньо на рисунку. Коефіцієнт кореляції між моделлю та експериментально отриманими точкам $R=0,99$. Таким чином,

існує реальна можливість прогнозувати, як довго зможе працювати на підключене навантаження даний акумулятор. Для цього потрібно мати сімейство розрядних характеристик однотипного акумулятора, занесених у вигляді рівняння або таблиці в пам'ять мікроконтролера. При дослідженнях іншого однотипного акумулятора необхідно виміряти значення напруги на певному інтервалі часу при розряді акумулятора. Співставлення отриманих та табличних значень дозволяє прогнозувати шукані навантажувальні характеристики досліджуваного акумулятора.

Висновки до розділу 2

Основними результатами, отриманими в розділі 2, можна вважати наступні.

Аналіз процесів, що відбуваються в процесах зарядження та розрядження акумуляторних батарей зроблено висновок, що на початкових ділянках зазначених процесів відбуваються явища, обумовлені процесами поляризації електродів акумулятору. Тривалість цих процесів для акумуляторів різного типу може становити від 1 до 300 секунд. Саме ця частина розрядної або зарядної характеристики може бути використана для визначення навантажувальних характеристик акумулятора. Але, для цього потрібно мати модель, яка описує характеристики процесів заряду та розряду. Для її побудови запропоновано еквівалентну електричну схему акумулятора, яка описує його при перехідних явищах поляризації. За допомогою еквівалентної схеми теоретично досліджені та проаналізовані динамічні характеристики акумуляторів. Використання запропонованої моделі для визначення навантажувальних характеристик обмежується тим, що для введення коефіцієнтів, що враховують особливості кожного з величезної кількості акумуляторів, що представлені на ринку, необхідно проводити додаткові дослідження. Тому, як варіант, в розділі розглянуто можливість експериментального дослідження розрядних характеристик

аккумулятора. Результати експериментів підтвердили теоретичні висновки та дозволили отримати рівняння, що описують початкову ділянку розрядної кривої. Ці рівняння виступають як базові при проведенні досліджень однотипних аккумуляторів та прогнозуванні їх навантажувальних характеристик.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

3.1 Структурна реалізація вимірювальної системи

Проведені в попередніх розділах дослідження показали, що для вимірювання навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення прискореним методом принципово необхідно мати інформацію про початкове значення напруги, зміну напруги при короткочасному підключенні навантаження, яке забезпечує певне значення струму в колі розряду, а також інформацію про температуру, при якій знаходиться джерело живлення. Крім того, потрібно мати попередні дані про модель поведінки акумулятора при його розряді для різних значень ступеня навантаження. Ця модель у вигляді математичної залежності, або табличному вигляді, зберігається в пам'яті обчислювального засобу (мікроконтролера), який є центральним вузлом вимірювальної системи, координує її роботу, обробляє отриману інформацію та виводить на індикацію значення шуканих навантажувальних характеристик. Враховуючі зазначене вище, можна представити структуру вимірювальної системи схемою, показаною на рис. 3.1.

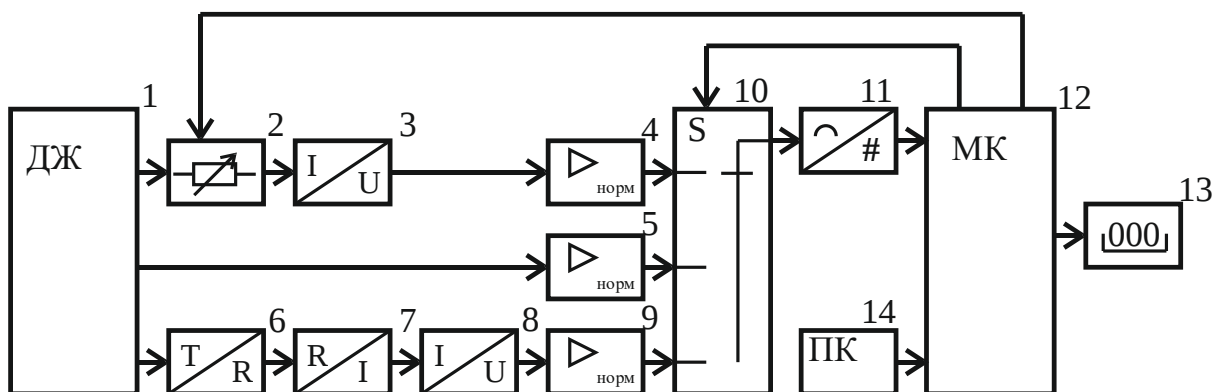


Рисунок 3.1 – Структура вимірювальної системи

На рис. 3.1 показано: 1 – досліджуване джерело живлення; 2 – кероване навантаження; 3, 8 – перетворювачі струму в напругу; 4, 5, 9 – нормуючі підсилювачі; 6 – перетворювач температури у зміну опору; 7 - перетворювач зміни опору у струм; 10 – керований перемикач; 11 – аналого-цифровий перетворювач; 12 – мікроконтролер; 13 – інформаційна панель; 14 – пульт керування та програмування.

З блоків 2, 3, 4 складається канал вимірювання струму навантаження. Керування величиною навантаження здійснюється за допомогою мікроконтролера. Струм, що при цьому протікає в колі навантаження перетворюється в напругу, нормується та подається на один зі входів керованого перемикача 10.

Значення напруги, що вимірюється на акумуляторі, через нормуючий підсилювач подається на другий вхід керованого перемикача 10.

Третій канал вимірювання призначений для вимірювання температури батареї та складається з перетворювача 6 температура-опір, перетворювача 7 опір-струм, перетворювача 8 струм-напруга та нормуючого підсилювача 9. В якості перетворювача температури використано терморезистор ММТ. Його особливістю є маленький розмір, виконання у вигляді шайби, яка за допомогою звичайного гвинта або клею може бути закріплена на будь яку поверхню. В якості перетворювача опір-струм використано мостову вимірювальну схему, в одне з плечей якої включений терморезистор. З вимірювальної діагоналі мосту знімається інформативний сигнал, пропорційний величині температури акумулятора. Вихід каналу вимірювання температури через нормуючий підсилювач 9 підключений до третього входу керованого перемикача 10.

Керування перемикачем здійснюється сигналом з виходу мікроконтролера 12. Вихід керованого перемикача 10 підключений до входу аналого-цифрового перетворювача 11. Таким чином, АЦП залежно від стану керованого перемикача формує цифровий код, що несе інформацію про величину струму в колі розряду акумулятора, значення напруги на клеммах

акумулятора та температуру корпусу акумулятора. Вихід АЦП підключений до порту мікроконтролеру 12, через який отримана інформація заноситься у відповідні комірки пам'яті.

В пам'ять мікроконтролера попередньо занесена інформація про сімейство розрядних характеристик акумулятора. Мікроконтролер обробляє отримані дані, порівнює їх з табличними та виводить на інформаційну панель значення навантажувальних характеристик.

Вибір режиму роботи мікроконтролера, його програмування та запис попередніх даних здійснюється за допомогою пульта керування та програмування 14.

Наведений опис роботи структурної схеми дає лише загальне уявлення про роботу вимірювальної системи. Для більш детального розуміння її роботи та розробки програмного забезпечення необхідно створити алгоритм її роботи.

3.2 Розробка алгоритму роботи вимірювальної системи

За основу для розробки алгоритму роботи системи взятий опис її роботи, наведений в попередньому розділі. Розроблена схема алгоритму показана на рис. 3.2.

Робота з вимірювальною системою починається з введення початкових даних. Такими даними можуть бути програмні налаштування, необхідні для ідентифікації табличні дані або математичні формули. Якщо вимірювальна система попередньо налаштована на відповідні умови роботи, цей етап може бути пропущений.

Другий крок – це діагностика параметрів системи. На цьому етапі здійснюються всі необхідні процедури, перевірка програмної пам'яті, вхідних та вихідних каналів, системи індикації та ін.

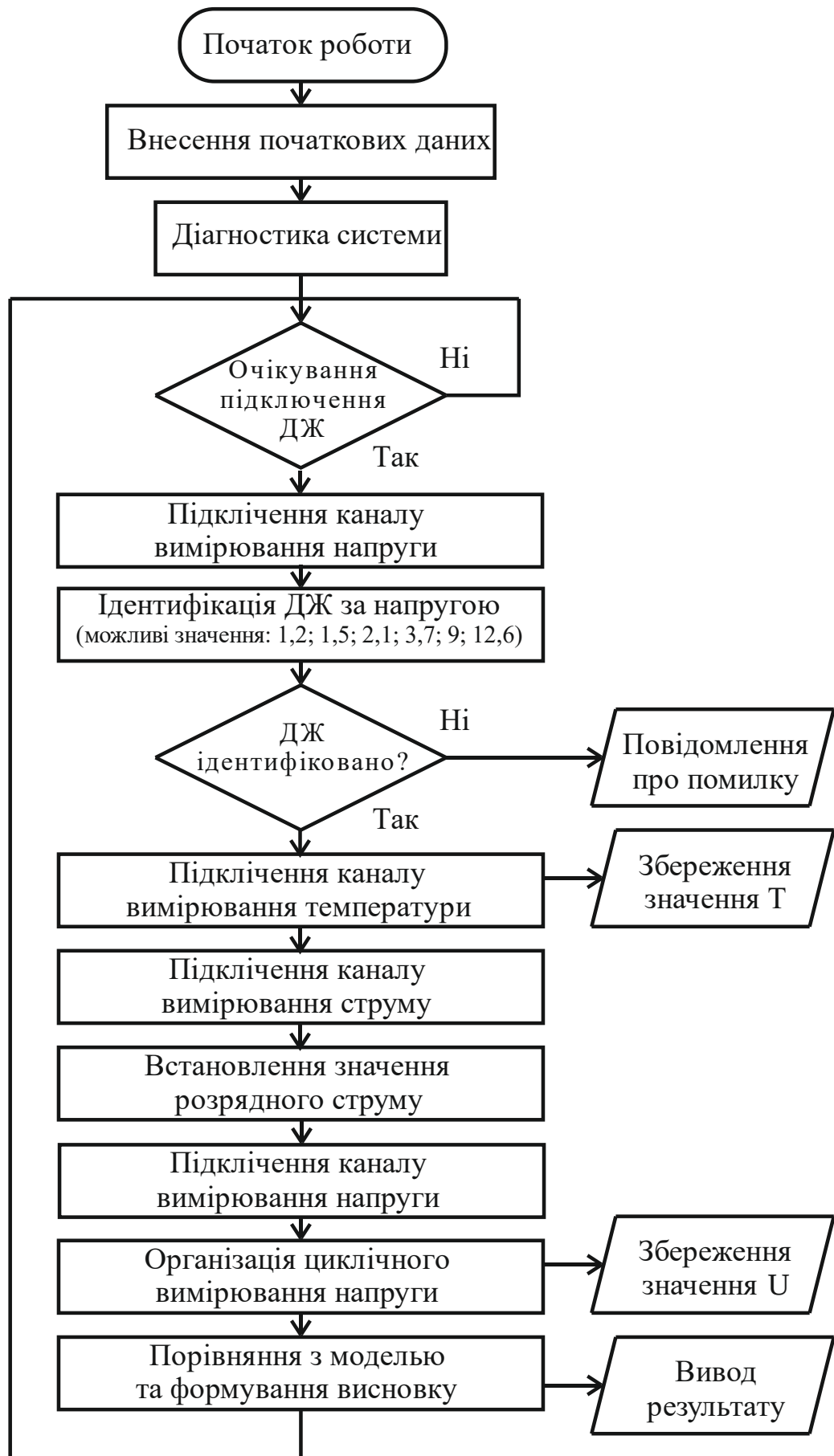


Рисунок 3.2 – Схема алгоритму роботи вимірювальної системи

Після проведення процедури діагностики вимірювальна система очікує підключення джерела живлення. В момент появи на клеммах вимірювальної системи напруги від джерела живлення мікроконтролер подає на керований комутатор сигнал, яким до входу АЦП підключається канал вимірювання напруги. Це потрібно для того, щоб попередньо ідентифікувати, яке саме джерело живлення підключене до вимірювальної системи. Найбільш розповсюджені типи акумуляторів мають вихідну напругу 1,2; 1,5; 2,1; 3,7; 9 та 12,6 В. Якщо напруга підключеного джерела живлення не відповідає встановленим діапазнам можливої зміни напруги, на індикатор виводиться повідомлення про помилку та необхідність заміни акумулятора. Такий варіант можливий, коли акумулятор занадто розряджений. У разі, якщо вимірювальна система визначила номінальне значення напруги акумулятора, що тестується, робота продовжується далі.

Наступним кроком мікроконтролер командою на керований комутатор підключає до АЦП канал вимірювання температури акумулятора. Як зазначалось раніше, температура є одним з найбільш впливових факторів, який суттєво змінює май же всі характеристики акумуляторів, такі як ємність, значення максимального та номінального розрядних струмів та ін. Результат вимірювання температури заноситься в пам'ять мікроконтролера та враховується при формування висновку щодо значення навантажувальних характеристик акумулятора.

Після збереження значення поточної температури мікроконтролер сигналом на керований комутатор підключає до АЦП канал вимірювання струму. Далі, сигналом на кероване навантаження, встановлюється значення розрядного струму, яке є номінальним для ідентифікованого типу акумулятора. Значення розрядного струму може бути задане попередньо при внесенні початкових даних. Коли встановлене значення розрядного струму відповідає заданому, мікроконтролер знов підключає до АЦП канал вимірювання напруги. Після цього починається циклічне вимірювання напруги на акумуляторі та запис отриманих значень в пам'ять

мікроконтролера. Кількість циклів вимірювання напруги може бути задана попередньо, при внесенні початкових даних. Але, в ряді випадків доцільно задавати адаптивний вибір кількості циклів вимірювання напруги. Критерієм тут може виступати мінімальне значення різниці напруги двох послідовних циклів, або рівність значень напруги для двох або трьох послідовних циклів вимірювання. Такий підхід дає можливість отримати для аналізу повну картину зміни напруги на початковій ділянці розрядної характеристики.

Після останнього циклу вимірювання напруги вимірювальна система переходить в режим обробки отриманої інформації та формування висновку. При цьому отримані при вимірювання результати порівнюються з попередньо занесеними в пам'ять табличними або модельними. На основі порівняння формується висновок, який виводиться на індикатор. Одночасно з виводом на індикатор інформації про стан джерела живлення, формується звуковий сигнал, що свідчить про завершення вимірювального циклу та необхідність вилучення акумулятора, що тестується.

Далі вимірювальна система переходить в режим очікування. Наступний цикл вимірювання повторюється після підключення до клем вимірювальної системи нового акумулятора.

Приклад фрагментів програмного забезпечення, яке реалізує описаний алгоритм, наведено в додатках.

Для перевірки працездатності запропонованої структури вимірювальної системи та алгоритму її роботи за допомогою системи Proteus була промодельована робота системи у спрощеному вигляді. Результати представлені на рис. 3.3.

Проаналізуємо похибки такого перетворення.

Основне рівняння схеми, по якому буде розраховуватись похибка:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \left(\frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{R_{10} + R_8}{R_8} \cdot \frac{R_4}{R_x + R_4} \cdot \frac{2 \cdot R_7 + R_5}{R_5} - \frac{2 \cdot R_6 + R_5}{R_5} \cdot \frac{R_{10}}{R_8} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) + 2.5$$

На мультиплікативну похибку впливають різні покази датчику, які він постійно змінює (R_x).

$$V'_{out} = f(R_4, R_5, R_x, R_7, R_8, R_9, R_{10}, R_{11}, V_{in})$$

Абсолютна мультиплікативна похибка визначається як:

$$\Delta V'_{out} = \sqrt{\sum_{i=1}^9 \left(\left| \frac{\partial V'_{out}}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta x_i \right)^2}$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_5} = V_{in} \cdot \frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{R_{10} + R_8}{R_8} \cdot \frac{R_4}{R_x + R_4} \cdot \frac{2 \cdot R_7}{R_5^2} \cdot \Delta R_5 = 1,149 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_4} = V_{in} \cdot \frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{R_{10} + R_8}{R_8} \cdot \frac{R_x}{(R_x + R_4)^2} \cdot \frac{2 \cdot R_7 + R_5}{R_5} \cdot \Delta R_4 = 10,6 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_7} = V_{in} \cdot \frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{R_{10} + R_8}{R_8} \cdot \frac{R_4}{R_x + R_4} \cdot \frac{2}{R_5} \cdot \Delta R_7 = 1,149 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_8} = V_{in} \cdot \frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{R_{10}}{R_8^2} \cdot \frac{R_4}{R_x + R_4} \cdot \frac{2 \cdot R_7 + R_5}{R_5} \cdot \Delta R_8 = 11,5 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_9} = V_{in} \cdot \frac{R_{11}}{(R_9 + R_{11})^2} \cdot \frac{R_{10} + R_8}{R_8} \cdot \frac{R_4}{R_x + R_4} \cdot \frac{2 \cdot R_7 + R_5}{R_5} \cdot \Delta R_9 = 5,73 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_{10}} = V_{in} \cdot \frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{1}{R_8} \cdot \frac{R_4}{R_x + R_4} \cdot \frac{2 \cdot R_7 + R_5}{R_5} \cdot \Delta R_{10} = 0,0115 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_{11}} = V_{in} \cdot \frac{R_9}{(R_9 + R_{11})^2} \cdot \frac{R_{10} + R_8}{R_8} \cdot \frac{R_4}{R_x + R_4} \cdot \frac{2 \cdot R_7 + R_5}{R_5} \cdot \Delta R_{11} = 5,687 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R_x} = V_{in} \cdot \frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{R_{10} + R_8}{R_8} \cdot \frac{R_4}{(R_x + R_4)^2} \cdot \frac{2 \cdot R_7 + R_5}{R_5} \cdot \Delta R_x = 10,575 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial V_{in}} = 0$$

$$\Delta V'_{out} = \sqrt{\sum_{i=1}^9 \left(\left| \frac{\partial V'_{out}}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta x_i \right)^2} = 87,95 мВ$$

Відносна мультиплікативна похибка:

$$\delta V'_{out} = \frac{\Delta V'_{out}}{V'_{out}}$$

$$\delta V'_{out} = \frac{\Delta V'_{out}}{V'_{out}} = \frac{87,95}{5000} \cdot 100\% = 1,759\%$$

Аддитивна похибка залежна від:

$$B = f(R1, R2, R5, R6, R8, R10, V_{in})$$

Абсолютна адитивна похибка:

$$\Delta B = \sqrt{\sum_{i=1}^5 \left(\left| \frac{\partial B}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta x_i \right)^2}$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R1} = V_{in} \cdot \frac{R10}{R8} \cdot \frac{2 \cdot R6 + R5}{R5} \cdot \frac{R2}{(R1 + R2)^2} \cdot \Delta R1 = 1,116 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R2} = V_{in} \cdot \frac{R10}{R8} \cdot \frac{2 \cdot R6 + R5}{R5} \cdot \frac{R1}{(R1 + R2)^2} \cdot \Delta R2 = 1,116 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R5} = V_{in} \cdot \frac{R10}{R8} \cdot \frac{2 \cdot R6}{R5^2} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \cdot \Delta R5 = 1,5 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R6} = V_{in} \cdot \frac{R10}{R8} \cdot \frac{2}{R5} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \cdot \Delta R6 = 0,15 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R8} = V_{in} \cdot \frac{R10}{R8^2} \cdot \frac{2 \cdot R6 + R5}{R5} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \cdot \Delta R8 = 2,25 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial R10} = V_{in} \cdot \frac{1}{R8} \cdot \frac{2 \cdot R6 + R5}{R5} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \cdot \Delta R10 = 0,0225 мВ$$

$$\frac{\partial V'_{out}}{\partial V_{in}} = 0 мВ$$

$$\Delta B = \sqrt{\sum_{i=1}^5 \left(\left| \frac{\partial B}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta x_i \right)^2} = 3,06 мВ$$

Відносна адитивна похибка:

$$\gamma B = \frac{\Delta B}{\frac{V_{out \max}}{3} \cdot 2}$$

$$\gamma B = \frac{\Delta B}{\frac{V_{out \max}}{3} \cdot 2} = \frac{3,06}{3,333} = 0,92\%$$

Ще одна складова похибки обумовлена роботою АЦП.

Похибкою АЦП є похибка квантування, яка обраховується за формулою :

$$\gamma_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2^{10}} \cdot 100\% = \frac{1}{2^{10}} \cdot 100\% = 0,097\%$$

По характеру прояву похибка адитивна випадкова.

Сумарна похибка вимірювального каналу температури становить:

$$\xi_{\Sigma} = \delta_{M\Sigma} + \gamma_{\Sigma} = 0,097\% + 0,92\% + 1,759\% = 2,776\%.$$

Висновки до розділу 3

В розділі 3 наведено результати розробки вимірювальної системи навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення. До цих результатів слід віднести запропоновану структурну схему системи, детальний опис роботи якої надано в тексті.

Для реалізації роботи системи представлена схема алгоритму її функціонування з детальним описом.

Працездатність розробленої вимірювальної системи підтверджується результатами моделювання.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «ПРОГНОЗ ЖИВЛЕННЯ»

4.1 Опис ідеї та технологічний аудит стартап-проєкту

Представлена до розгляду магістерська дисертація присвячена розробці вимірювальної системи навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення. Розробка даної вимірювальної системи забезпечує можливість експрес оцінювання навантажувальних характеристик акумуляторів та прогнозування тривалості їх роботи на різні навантаження. Розроблювана вимірювальна система орієнтована на можливість роботи з різними акумуляторами та надає можливість швидкої оцінки їх характеристик. Основні напрямки застосування, зміст ідеї та вигоди для користувача наведені в таблиці 4.1. Також з таблиці можна зрозуміти основні переваги та актуальність вимірювальної системи, що розробляється.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Вимірювальна система параметрів акумуляторів, що характеризують їх працездатність та тривалість роботи при роботі на різні навантаження	Вимірювання характеристик акумуляторів	Отримання реальних характеристик акумулятора
	Прогнозування тривалості роботи	Можливість оцінки тривалості роботи пристроїв
	Перевірка акумуляторів при вхідному або вихідному контролі	Запобігання можливості придбання неякісних акумуляторів

Пропонована розробка вимірювальної системи навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення має бути реалізована та побудована таким чином, щоб мати можливість масштабування, реконфігурації та інтеграції до створюваного або існуючого бізнес проєкту. Враховуючі переваги використаних при побудові системи моніторингу сучасних вимірювальних та інформаційних технологій, актуальність задачі оперативного визначення параметрів акумуляторів, доцільним є певна комерціалізація такої діяльності в сфері реалізації та використання

електротехнічної продукції, зокрема, вторинних джерел живлення. Саме тому пропонується розробка стартап проєкту, який має варіативність у застосуванні, можливість до масштабування та інтеграції в існуючі системи та використовує інноваційні технології.

Таким чином одним з розділів магістерської дисертації є розробка стартап проєкту. Для цього розглядаються рішення для реалізації, актуального на сьогоднішній день проєкту який здатен створити достойну конкуренцію існуючим аналогам у перспективності, організованості, планом для розвитку ідеї та залучення інвесторів, фінансовому аналізі, аналізі ризиків і можливостей, маркетинговому плануванні.

На рис. 4.1 – 4.3 показано зовнішній вигляд потенційних товарів, які будуть становити конкуренцію проєкту, що розробляється.



Рисунок 4.1 – Балансир акумулятора LAUNCH - ELB300

Показаний на рис. прилад ELB300 фірми LAUNCH розроблений для вирішення проблем з акумуляторними батареями автомобілів, які засновані на використанні LiFePO₄, NMC та LMO технологій. Дозволяє швидко розв'язати проблему зі зменшенням запасу ходу автомобіля, яке викликане різницею в ємності елементів через непостійну напругу. Має сенсорний 7-дюймовий РК-екран та інтуїтивно зрозуміле меню.



Рисунок 4.2 – Тестер аккумуляторних батарей TRISCO IBA-300

Сучасний аналізатор аккумуляторів TRISCO IBA-300 розрахований на тестування 12-вольтових аккумуляторних батарей у режимі роботи мотора та при заглушеному двигуні. У прилад вбудований мініпринтер для друку результатів тестування АКБ. Додається інструкція з таблицею переведення струмів холодного пуску, а також базові знання про типи та характеристики автомобільних аккумуляторів, що дозволяє проводити діагностику АКБ без особливих знань електрообладнання.



Рисунок 4.3 – Тестер для АКБ (цифровий) - 4610 JTS

На рис. 4.3 показано цифровий тестер для АКБ /системи зарядки/ системи пуску цифрового з принтером 4610 JTC. JTC – це бренд із Тайваню, який пройшов довгий шлях від сімейного бізнесу до найбільшого виробника інструменту для професійних автосервісів у світі. На це пішло менше 40 років – перша продукція під цією торговою маркою була випущена у 1981 році, а вже у 2000-х вона почала експортуватись у всьому світі.

В таблиці 4.2 надано порівняльну інформацію для визначення слабких та сильних характеристик пропонованого проєкту в порівнянні з конкурентами.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристик и ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Даний проєкт	LAUNCH - ELB300	TRISCO IBA-300	Тестер для АКБ 4610 JTC			
1	Вартість розробки	6000	289000	18000	23800	-	-	+
2	Час розробки	3 місяці	1 місяць	1 місяць	1 місяць	-	+	-
3	Технології	Сучасні	Сучасні	Сучасні	Сучасні	-	+	-
4	Відомість (популярність)	Відсутня	Середня	Велика	Середня	+	-	-

Аналіз характеристик, наведених в таблиці вище, показує, що за вартістю розробки даний проєкт має деяку перевагу серед порівнюваних розробок, за двома показниками він займає нейтральну позицію та лише за показником поширення інформації про нього уступає порівнюваним розробкам. В той же час за вартість він в декілька разів менше відомих та розповсюджених аналогів. Тому можна зробити висновок, що проєкт має переваги та здатен скласти конкуренції на ринку.

Нижче наведена морфологічна таблиця продукту:

Основні параметри	Проміжні рішення				
	I	II	III	IV	V
Мікроконтролер	RaspberryPi	BnanaPi	Arduino	-	Інші
Датчик	DHT22	DHT11	МН-Z19 та ін., Arduino-сумісні	SHT1	
Архітектура додатку	Моноліт	Мікросервіси	COA	-	Інші
Програмна частина	Angular	React	Власна розробка	-	Інші

Після аналізу представлених рішень було вирішено дотримуватись напрямку, який виділено більш темним кольором. Таким чином було обрано найбільш оптимальні складові вимірювальної системи.

Технологічний аудит — операція об'єктивної оцінки потенціалу інновації як об'єкта комерціалізації. Через те, що комерціалізація технологій — тривалий і дорогий процес, те, перш ніж витратити чималі тимчасові й фінансові ресурси, необхідно оцінити реальність продажу ідеї або винаходи або їхнє успішне перетворення в ринковий продукт. Таку оцінку можуть провести як самі автори, так і залучені сторонні експерти.

Проведення аудита авторами інновації має як істотні позитивні сторони, так і не менш істотні негативні.

Позитивні сторони оцінки потенціалу інновації самими авторами:

- глибоке знання своєї ідеї (винаходу);
- широкі знання в даній області.

Негативні сторони:

- внаслідок того, що ідея (винахід) є власною розробкою, що довго виношувалася, на яку було витрачено багато кваліфікованої праці, часу й чинностей, авторам складно адекватно оцінювати свою ідею й порівнювати неї з аналогами;

- у чинність своєї професійної спеціалізації автори інновації поверхово оцінюють вартість комерціалізації й ринкові перспективи;

- автори переоцінюють можливості свого колективу по комерціалізації інновації.

Проведення аудита із залученням сторонніх експертів переважніше, тому що, хоча експерт і не знає досконально пропонований винахід (в оцінці технічної сторони інновації експертам допоможуть автори), але може неупереджено порівнювати його з аналогами, знаходити можливості різних практичних застосувань, оцінювати вартість його комерціалізації й ринкові перспективи. При проведенні незалежного аудита між авторами й експертами повинне укладатися договір про конфіденційність [33].

В цьому розділі розглянуто технічні особливості, спектр можливих технічних рішень. Таблиця 5.3 використана для аналізу здійсненності проєкту.

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Вимірювальна система параметрів акумуляторів, що характеризують їх працездатність та тривалість роботи при роботі на різні навантаження	Сучасні датчики	+	+
		Застарілі датчики	+	+
		Сучасні веб-фреймворки	+	+
		Додаток	+	+
		Мікросервісна архітектура	+	+
		Монолітна архітектура	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Вимірювальна система навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення				

Використання одноплатного мікроконтролера з апаратно сумісними датчиками зустрічалось і раніше, але актуальність на ринку діагностики вторинних джерел живлення полягає у використанні максимально ефективних рішень прогнозування навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення. Саме з цією метою в даному проєкті використовуються сучасні технології обробки інформації, сучасна апаратна

частина та протоколи передачі даних. Ці технології та інструменти доступні та в повній мірі можуть бути використані в даному стартап проєкті.

4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначення основних ризиків та можливостей, які можна очікувати від ринку, відіграють дуже важливу роль, оскільки дозволяють спроектувати напрями розвитку проєкту з урахуванням всіх нюансів ринкового положення, зацікавленості клієнтів та пропозицій конкурентів. Таким чином має сенс використання цих знань під час ринкового впровадження проєкту(табл. 4.4).

Таблиця 4.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців	200
2	Загальний обсяг продаж грн./ум.од	3500000
3	Динаміка ринку	Зростаюча
4	Наявність обмежень до взоду	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації	Наявні
6	Середня норма рентабельності, %	15

Розглянувши таблицю можна зрозуміти що даний ринок має безліч конкурентів, а сам по собі є зростаючим. Інноваційні компанії та компанії гіганти становлять основну загрозу.

Далі визначені потенційні групи клієнтів, їх особливості. Також сформовано приблизний перелік вимог до вимірювальних систем для кожної групи.

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільова сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до послуги
1	Оцінювання параметрів акумуляторів	Користувачі та виробники акумуляторів	Швидка оцінка якості, формування цінової політики	Доступність, зрозумілий інтерфейс користувача
2	Прогнозування	Користувачі	Отримання поточної	Достовірність

	тривалості роботи	обладнання та приладів, які працюють від акумуляторів	інформації в режимі реального часу, прийняття рішень про використання приладів	інформації
3	Визначення навантажувальних характеристик	Виробники та проєктувальники пристроїв, що працюють від акумуляторів	Обґрунтований вибір джерел живлення для приладів, що живляться від акумуляторів	Доступність, достовірність інформації

Очевидно, що даний проєкт покриває дуже широкий спектр потреб в різних сферах проєктування, використання та обслуговування обладнання, що має акумуляторне живлення. Це значно збільшує шанси на успіх розвитку проєкту. Такі відмінності як вартість та швидкодія є відносно простими в реалізації, на відміну від надійності, так як це потребує додаткових витрат на реалізацію та підтримку інших реплік компонентів вимірювальної системи.

В таблиці 4.6 наведені фактори, які можуть значною мірою уповільнити розвиток стартап проєкту. Для нейтралізації цих факторів було запропоновано відповідні дії, які спрямовані на покращення ситуації та налагодження процесу виробництва продукту. Таким чином, надійність стартапу знаходиться на високому рівні.

Таблиця 4.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренти	Можливість монопольної ситуації в сфері застосування	Притримування більш привабливої цінової політики
2.	Ринок праці	Труднощі при наборі штату	Організація бонусної системи та пільгових умов праці
3.	Застарілість технології	Поява інноваційних технологій	Відносно проста заміна компонентів системи на актуальну реалізацію
4.	Незнання маркетингу	Невідомі шляхи зацікавлення клієнтів.	Залучення експертів та використання відомих ресурсів для маркетингу
5.	Організація виробництва	Неналагоджений процес виробництва програмного продукту та закупки апаратної частини	Використання послуг логістики, та якісний відбір спеціалістів

Водночас з ризиками існують і фактори можливостей, що наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Притік клієнтського спектру	Збільшення кількості клієнтів	Залучення додаткових спеціалістів до команди
2.	Потреба у високій пропускній здатності	Необхідність обробки більшої інформації.	Використання хмарних сервісів та технологій
3.	Постійно зростаюча потреба у вимірюваних даних	Збільшення кількості клієнтів	Розширення сегменту користувачів
4.	Оновлення існуючих технологій	Покращення роботи системи	Оновлення до останньої версії технологій
5.	Привабливість системи на базі сучасних технологій	Збільшення кандидатів у штат	Підвищення професіональності команди розробників

Порівнюючи ризики з перерахованими можливостями, можна дійти висновку що ризики нейтралізуються можливостями стартапу [33].

Одним з важливих моментів появи на ринку є розуміння своїх конкурентів, їх можливостей та швидкості адаптації. У сфері надання медичних послуг, зокрема, приладів для вимірювання показників стану здоров'я існує велика конкуренція. Ринок налічує багато компаній, які протягом багатьох років зарекомендували себе тільки з позитивного боку. Через великі можливості середнього прибутку, ведеться жорстка боротьба за клієнта. Можливі дії для поліпшення конкурентного становища наведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії для конкурентоспроможності)
1. Чиста конкуренція	Жорстка боротьба за клієнта	Актуальні та бонусні пропозиції
2. Національний рівень	Локація і надання послуг	Оригінальність, простота

	конкурентів по всій країні	використання, швидкодія
3. Міжгалузева конкурентність	Багато галузей використання даних технологій та систем	Маркетинг
4. Товарно-видова конкурентність	Системи з однаковим принципом роботи	Інноваційна реалізація
5. Нецінова конкуренція	Різна якість продукції	Вдосконалення якості продукції та технології виробництва

Після аналізу конкуренції нижче наведений більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	JTC Auto Tools	LAUNCH Tech Co	Texas Instruments	Станції технічного обслуговування, автопідприємства	Стаціонарні системи
Висновки	Один з головних конкурентів.	Конкурент в майбутньому	Виробник мікросхем	Станції технічного обслуговування, автопідприємства	Стаціонарні системи

Вказані компанії на даний момент займають стабільне положення на ринку. З таблиці видно рід можливостей для конкуренто-спроможності стартапу.

В таблиці 4.10 нижче наведено обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Час розробки	Замовників цікавить короткий час розробки та швидкість поставки та налаштування
2	Ціна	Ціна продукту нижче середньої вартості аналогів
3	Технології	Використання проєктом найновіших технологій
4	Підтримка	Конкуренти надають такі послуги

5	Масштабованість та реконфігурація	Можливість розширення системи та зміни її конфігурації є важливим фактором для клієнтів
---	-----------------------------------	---

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з JTC Auto Tools					
			-3	-2	-1	0	+1	+2
1	Ціна	18					+	
2	Час розробки	19				+		
3	Технології	17					+	
4	Підтримка	16	+					
5	Гнучкість	15				+		

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), пов'язаних з його здійсненням.

SWOT - аналіз стартап-проєкту представлений в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: 1. Ціна 2. Гнучкість 4. Сучасність технологій	Слабкі сторони: 1. Час розробки 2. Слабкі можливості підтримки
Можливості: Притік клієнтського спектру Потреба у високій пропускній здатності Зростаюча актуальність вимірюваних даних Оновлення існуючих технологій Привабливість системи на базі сучасних технологій	Загрози: Конкуренти Ринок праці Не знання маркетингу Застарілість технологій Організація виробництва

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складений базуючись на аналізі факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: домінація компаній гігантів – фактор загрози, на основа якого

можна зробити прогноз щодо спаду попиту на систему моніторингу, що розробляється в даному проєкті. Особливо це стосується верхньої цінової категорії. Кінцево це призведе до посилення значущості функціональних можливостей системи моніторингу при її продажі та впровадженні у діяльність медичних установ щоб максимально розширити коло можливих клієнтів та зберегти розробку веб-систем на рентабельному рівні.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Середня	2 місяці
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Середня	6 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	-	2 місяці

Отже, з зазначених альтернатив сильними сторонами стартапу є стратегія компенсації ринкових загроз.

4.3 Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проєкту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Споживачами проєкту обрано підприємства, що використовують, або можуть використовувати у своїй роботі вимірювальну систему з веб-додатками. Так як проєкт зосереджується не на одному сегменті а на декількох, обрано стратегію диференційованого маркетингу. Для роботи в обраних сегментах ринку було сформовано базову стратегію розвитку (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Індивідуальні клієнти, користувачі та виробники акумуляторів,	Так	Вище середнього	Велика	Просто
2	Користувачі обладнання та приладів, які працюють від акумуляторів	Так	Вище середнього	Середня	Просто
3	Виробники та проєктувальники пристроїв, що працюють від акумуляторів	Так	Середній	Середня	Складно
Цільовими групами обрано: індивідуальних клієнтів, користувачів та виробників акумуляторів, користувачі обладнання та приладів, які працюють від акумуляторів . Під час аналізу цільових груп потенційних споживачів було вирішено що проєкт буде працювати із індивідуальними клієнтами та користувачами акумуляторів.					

Базуючись на проведеному аналізі потенційних груп споживачів, було обрано такі цільові групи як індивідуальні клієнти та користувачі акумуляторів. Дані цільові групи мають найвищий попит на вимірювальні, які можуть формувати інформацію про стан акумулятору та прогнозовану тривалість його роботи. Позитивним моментом є і те, що такі прилади мають відносно низький поріг входу на ринок. Не дивлячись на високий рівень конкуренції, вибір вважаю виправданим.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 Базова стратегія розвитку

Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія спеціалізації (передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Мета тут полягає в задоволення потреб вибраного цільового сегменту
--------------------------------------	---

	краще, ніж конкуренти. Така стратегія може спиратися на лідерство по витратах у рамках сегменту вимірювальних приладів параметрів акумуляторів. Проте низька ринкова доля у разі невдалої реалізації стратегії може істотно підірвати конкурентоспроможність компанії.)
Стратегія охоплення ринку	Стратегія повного охоплення ринку (компанія прагне задовольнити потреби ринку в цілому. Ця стратегія може бути реалізована шляхом виготовлення сімейства уніфікованих вимірювальних систем навантажувальних характеристик додатковими можливостями).
Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Покращення та здешевлення виробництва за рахунок масовості, підтримка апаратного та програмного забезпечення системи вимірювання після продажу.
Базова стратегія розвитку	Стратегія концентрованого зростання (Дана стратегія передбачає зміну продукту і (або) ринку. У разі дотримання стратегії компанія поліпшує систему моніторингу, або починає розробку нової, не змінюючи цільовий напрям. Щодо ринку, компанія шукає можливості покращення свого становища на нинішньому ринку або ж переходу на новий).
Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія спеціалізації (передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Така стратегія може спиратися на лідерство по витратах у рамках сегменту систем діагностики акумуляторів для потреб автосервісу. Проте низька ринкова доля у разі невдалої реалізації стратегії може істотно підірвати конкурентоспроможність компанії.)

В таблиці вище зазначено обрані стратегії розвитку. У вигляді базової стратегії було обрано стратегію концентрованого зростання, з постійним оновленням апаратної та програмної частин системи моніторингу. Альтернативною стратегією є фокусування на конкретному сегменті, а саме на індивідуальних користувачах та пацієнтах медичних закладів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 4.16).

Таблиця 4.16 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Чи є проєкт «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основний характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Частково	Так	Ні	Стратегія наслідування лідеру

Стратегія лідерства за витратами передбачає, що компанія за рахунок факторів внутрішнього і/або зовнішнього середовища може забезпечити більшу, ніж у конкурентів маржу між собівартістю товару і середньою ціною на ринку (чи ціною головного конкурента). Зокрема, ця стратегія передбачає, що за рахунок великих можливостей по об'ємах продажу товарів (укладених контрактів на постачання) та продуктивності, підприємство може досягти менших витрат.

Базуючись на вимогах споживачеві обраного сегменту до постачальника і продукту, залежності від стратегії розвитку і стратегії конкурентної поведінки розроблено стратегію позиціонування, що передбачає формування ринкової позиції, за яким клієнти мають ідентифікувати проєкт

Таблиця 4.17 Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
Низька ціна, універсальність, сучасність, легкість користування.	Стратегія концентрованого зростання	Сучасність рішень, швидкодія, ціна	Універсальність. Технології. Ціна

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

Маркетинг стартапу – сукупність інструментів та заходів із ознайомлення цільової аудиторії з ідеєю продукту /послуги, просування ідеї та безпосередньо товару/послуги на ринок з метою підвищення зацікавленості та прихильності потенційних споживачів, залучення споживачів, інвесторів тощо [33].

Проблема в тому, що спочатку ідея відчувається автором тільки на рівні підсвідомості. Незважаючи на це йому, здається, що він розуміє свою ідею на всі 100%, але це зовсім не так. Через підсвідомість рівень розуміння ідеї не перевищує 1-2%. Ось тут і виникає головна проблема, адже тільки зрозумілу на 100% ідею можна донести інвесторам і потенційним споживачам. Якщо споживач або інвестор отримує лише 1-2% ідеї, він не може уявити її у себе «в голові» і не може її зрозуміти. Він зрозуміє ідею тільки в тому випадку, якщо отримає її на 100% [34].

На рисунку 4.4 наведені основні етапи маркетингу стартапу

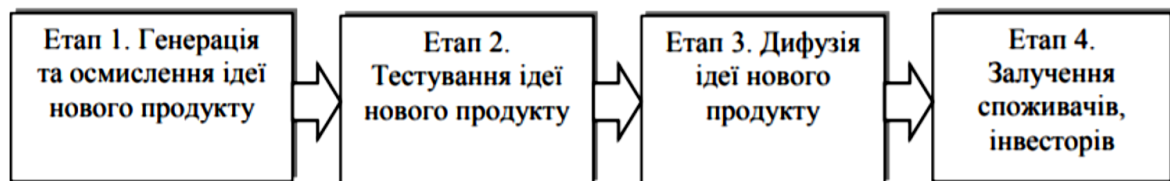


Рисунок 4.4 – Основні етапи маркетингу стартапу

Для створення ефективної маркетингової програми першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.18 підсумовано сумарні результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
---------	----------------------------	--

Вимірювальна система навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення	Експрес-діагностика акумуляторів, отримання прогнозованих даних про тривалість роботи при підключенні різного навантаження	Сучасність використаних технологій, мобільність, використання зрозумілого інтерфейсу користувача
---	--	--

Проаналізувавши ринок, виконавши детальний аналіз потреб клієнтів, та дослідивши конкурентний продукт, можна зробити висновок що для оцінювання навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення підходить розроблене програмне забезпечення, обрані вимірювальні засоби.

Таблиця 4.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Вимірювальна система навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Масштабованість	Нм	Тх
	2. Компонентність	М	Тх
	3. Швидкодія	Нм	Тх
	4. Підтримка масового використання	Нм	Тх
	5. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	Якість: відповідає нормам ДСТУ 2844-94		
	Пакування: Мікроконтролер Arduino, датчики температури, вимірювальні перетворювачі, програмне забезпечення		
III. Товар із підкріпленням	Марка: “KPI Soft” зареєстрована ТМ. Під ТМ “KPI Soft” випускаються сучасні програмні та технічні рішення.		
	До продажу: Консультація з можливості інтегрування Після продажу: Підтримка існуючих версій товару		

Розклавши модель товару на три рівні, продукт за задумом має п'ять технічних особливостей, одна з яких є матеріальною, а інші ні. Нормування якості товару проводиться згідно з ДСТУ 2844-94. До складу товару входить мікроконтролер Arduino з датчиками температури, струму, вимірювальними перетворювачами та відповідне програмне забезпечення. Також на третьому рівні наведені переваги для споживача.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, є передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	289000 грн	20000 грн	150000 грн	9000/19900 грн
2	1800 грн	1500 грн	15000 грн	2000/2200 грн
3	10000 грн в місяць	10000 грн в місяць	200000 грн в місяць	5000/10000 грн в місяць

Ціна товарів замінників надто висока щоб враховувати при створенні цінової політики. Середня ціна на продукти аналоги складає 20000 грн, в той же час доходи потенційних компаній покупців починається від 150000 грн. Також розглянутий можливість виробництва систем для розважального сегменту, але отримані ціни не враховують вартості програмного забезпечення та відображають ціну обладнання. В третьому випадку наведені місячні витрати на підтримку веб-додатку.

Таблиця 4.21 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Повторна закупівля	Організація обороту товару	1	Дистрибуція за допомогою посередника
2	Нова закупівля	Доставка товару у поштове відділення	0	Дистрибуція через Інтернет
3	Клієнти в невідомих або на ризикових ринках	Формування клієнтської бази; Організація попиту і стимулювання збуту;	1-3	Дистрибуція за допомогою посередника

За допомогою аналізу було виявлено два найбільш вдалих метода системи збуту. Відмінність нової та повторної закупівлі полягає в тому, що

для повторної закупівлі очікується значне збільшення кількості продукції. Нова закупівля проводиться через інтернет, а повторна за допомогою посередника – транспортну компанію. Також було розглянуто функції збуту для клієнтів в невідомих або на ризикових ринках.

Останньою складовою маркетингової програми є розробка концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл.4.22).

Таблиця 4.22 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Організації, які користуються товарами та послугами конкурентів	Індивідуальні користувачі, станції технічного обслуговування, розробники та користувачі обладнання з акумуляторами	Розсилка листів актуальних пропозицій, ділові зустрічі з метою обговорення потенційної співпраці.	Звернути увагу на переваги продукту та його сучасність.	Демонстрація потенційного зросту прибутків за рахунок використання нашої системи.
2	Організації яким необхідна розробка системи моніторингу	Індивідуальні користувачі, станції технічного обслуговування, розробники та користувачі обладнання з акумуляторами, ремонтні організації	Розсилка листів актуальних пропозицій, ділові зустрічі з метою обговорення потенційної співпраці.	Демонстрація вигідності цінової політики в порівнянні з конкурентами; Звернути увагу на переваги продукту та його сучасність.	Порівняльна діаграма.

Проаналізовані концепції, дадуть змогу побудови базису для розвитку комунікації між компанією та потенційними клієнтами. Основним напрямком вважається залучення клієнтської бази конкурентів. Так як на ринку спостерігається тенденція появи нових компаній, необхідно вчасно знаходити шляхи та вигідні умови для співпраці.

4.4 Ефективність стартап проєкту та бізнес-модель

Оскільки стартап є інноваційним проєктом, до нього можна застосувати існуючі показники оцінки ефективності такого проєкту.

Для проведення розрахунків ефективності за проєктом необхідно [32]:

1) визначити статті доходів, що визначаються бізнес-моделлю стартапу і прогнозованими обсягами продажів;

2) розбити витрати за проєктом на постійні та змінні.

Дохід:

- Продаж вимірювальних систем та відповідних датчиків;
- Продаж програмного забезпечення;
- Підтримка систем.

До постійних витрат відносяться ті витрати, загальна сума яких за певний час не залежить від кількості виготовленої продукції.

- Оренда приміщень;
- Реклама;
- Зарплата постійних працівників компанії (інженери, маркетологи, менеджери).

Змінні витрати представляють собою витрати, загальна сума яких за певний час залежить від обсягу виготовленої продукції.

- Закупка обладнання (мікроконтролери та датчики) необхідних для виготовлення комплексного обладнання;
- Витрати на електроенергію;
- Зарплата робочих;

При отриманні необхідного фінансування ми будемо мати наступну фінансову ситуацію, при розробці веб-системи:

Постійні витрати:

- 7 000 грн/міс - Оренда приміщень.
- 1 000 грн/міс - Реклама

- 50 000 грн/міс - Зарплата постійних працівників компанії (інженери, маркетологи, менеджери)

Змінні витрати на виробництво одного комплекту обладнання:

- 2 000 грн – мікроконтролер та сумісні датчики;

- 12 000 грн - зарплата робочих;

- 1000 грн - давачі;

- Дохід:

- 25 000 грн - відпускна вартість Системи моніторингу + пдв 5 000 грн

Обсяги виробництва продукції на перші 5 місяців наведено в таблиці 4.23.

Таблиця 4.23 Обсяги виробництва продукції

Показник	Значення за місяць, тис. грн.				
	1	2	3	4	5
Загальна потреба в продукції, шт.	5	10	15	20	25
Ціна одного набору мікроконтролер+датчики + ПЗ тис грн.	25	25	25	25	25
Річні обсяги випуску в вартісних показниках (тис. грн.)	125	250	375	450	625

З'ясуємо витрати, що потрібні для реалізації поточної діяльності за проектом (табл. 4.24).

Таблиця 4.24 Виробничі витрати

№ п/п	Стаття витрат	Сукупні витрати за місяць, тис. грн.				
		1	2	3	4	5
1	Загальні витрати, оплата праці штату	50	50	50	50	50
1.1	Оренда та утримання приміщень, обладнання	20	20	20	20	20
1.2	Збут, реклама та просування	1	1	1	1	1
2	Матеріальні ресурси	52,5	94,5	147	210	262,5

	(сировина, комплектуючі)					
3	Оплата праці штату	7,5	13,5	21	30	37,5
Разом:		131	179	239	311	371

Точка беззбитковості відображає обсяг виробництва інноваційної продукції, при досягненні якого виручка від реалізації покриває сумарні витрати на її виробництво. Розрахунок точки беззбитковості року проводиться за формулою:

$$T_{\delta} = \frac{C}{p - v}, \quad (4.1)$$

де C – постійні витрати на весь обсяг продукції (ті, які не залежать від обсягу виробництва продукції – загальногосподарські витрати та витрати на оплату праці); p – ціна одиниці продукції; v – змінні витрати на одиницю продукції.

$$T_{\delta} = \frac{C}{p - v} = \frac{71}{25 - 13} = 5,9 \text{ од.} \quad (4.2)$$

Таблиця 4.23 Бізнес-модель

Ключові партнери Ключові партнери є постачальники матеріалів, дистриб'ютори, фінансові установи для забезпечення фінансування та розвитку, університети,	Ключові види діяльності Надання послуг з визначенням та контролем навантажувальних характеристик джерел живлення.	Ціннісна пропозиція Споживачі можуть насолоджуватися високою точністю і швидкістю моніторингу навантажувальних характеристик, автономністю та можливістю ефективного контролю без	Взаємодія з клієнтами Обробка замовлень, презентація продукту, консультації, отримання зворотного зв'язку	Сегменти споживачів індивідуальні клієнти та користувачі акумуляторів.
--	---	---	---	--

дослідницькі центри чи інші освітні установи для обміну знаннями та ресурсами	Ключові ресурси Технічний персонал, виробники, консультаційний персонал	необхідності персоналу.	Канали збуту Через рекламу, через соціальні мережі, через інтернет, прямі продажі, через мережі магазинів.	
Структура витрат			Джерело доходів	
Реклама, зарплата працівників, витрати на мікроконтролери та датчики			Продаж вимірювальних систем	

Ця бізнес-модель спирається на стратегічне партнерство та надає високоточний моніторинг навантажувальних характеристик. Також пропонує ефективні послуги для індивідуальних користувачів, використовуючи різноманітні канали збуту та забезпечуючи повноцінну взаємодію з клієнтами.

Висновки до розділу 4

Вимірювальні системи набувають все більшої популярності, це стосується не тільки промисловості, сфери послуг, а і системи медичного обслуговування. Проблемою сучасних вимірювальних систем є висока вартість та вузька направленість використання, тому актуальним є розробка максимально дешевої та універсальної системи.

Використання мікроконтролера Arduino з набором датчиків зустрічалось і раніше, але актуальність на ринку діагностики вторинних джерел живлення набуває особливого значення. Це полягає у створенні можливостей швидкого отримання важливих енергетичних характеристик акумуляторів та прогнозування його енергетичних характеристик, а саме, тривалості роботи при підключенні різних навантажень. Саме з цією метою в даній роботі використовуються сучасні технології розробки програмного забезпечення, сучасна апаратна частина.

Даний стартап-проект може бути реалізований за допомогою однієї людини, але, якщо організувати команду середнього рівня кваліфікації, то можна досягти результатів значно швидше, таким чином використати виграний час для посилення маркетингової компанії продукту.

Визначено загальні напрями використання та проаналізовано ринкові можливості щодо реалізації бізнес-проекту. Визначено, що сильні сторони стартапу мають переваги над слабкими. Проведено аналіз конкурентних можливостей. В результаті аналізу розроблено ринкову програму, яка враховує систему збуту, концепції товару, концепції маркетингових комунікацій та ціноутворення. За допомогою цього аналізу буде реалізовано проект, та його альтернативу ринкової поведінки.

Для стратегії розвитку стартапу було обрано стратегію концентрованого зростання. Це стратегія, яка передбачає зміну продукту. При дотриманні стратегії компанія покращує веб-додаток або починає розробку нового, не змінюючи призначення, а лиш покращуючи його характеристики та масштабованість. Щодо ринку, то компанія знаходиться в пошуках можливості покращення позицій на існуючому ринку або ж переходу на новий.

В результаті проведеного аналізу потенційних груп споживачів, було обрано наступні цільові групи: індивідуальні користувачі, підприємства автосервісу, розробники та користувачі пристроїв з акумуляторами. У цих цільових групах спостерігається найвищий попит на вимірювальні пристрої та має невеликий поріг входу на ринок.

Стартап проект вважається перспективним, так як кількість переваг більша ніж ризиків. Було досліджено можливість комерціалізації проекту на ринку. Спостерігається значний попит на стрімко зростаючому ринку. Розроблена вимірювальна система навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення є перспективною для реалізації у виробництві, оскільки легко користується великим попитом, легка у виробництві та адаптована для різних умов експлуатації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської дисертації було розроблено вимірювальну систему навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення. В дисертації показано, що для вирішення цього завдання необхідно детально вивчити сучасний ринок вторинних джерел живлення та засобів контролю їх характеристик, промодельовати процеси, які відбуваються при заряджанні та розряджанні акумуляторів, розробити структуру вимірювальної системи та алгоритм її роботи.

Аналіз ринку вторинних джерел живлення продемонстрував, що для користувачів пропонується дуже широкий асортимент акумуляторів, які розрізняються за багатьма показниками. Відповідно, для перевірки працездатності використовується велика кількість приладів, які орієнтовані тільки на один тип акумулятор. Це підтверджує актуальність даної розробки.

Для розуміння процесів, які відбуваються при заряджанні або розряджанні акумуляторів розроблено еквівалентну електричну схему, на її основі побудовано математичну модель, що дозволяє дослідити динамічні характеристики акумулятора в процесі заряду та розряду. Теоретично доведено, що початкова ділянка зарядної або розрядної характеристики акумулятора, тривалість якої залежно від типу акумулятора лежить в межах від 1 до 300 секунд, визначає подальшу навантажувальну характеристику акумулятора до його повного розряду.

Для підтвердження результатів теоретичних висновків проведено експериментальні дослідження процесу розряду акумулятора на різні навантаження. Експерименти підтвердили основні теоретичні висновки.

Розроблено структуру побудови вимірювальної системи навантажувальних характеристик вторинних джерел живлення. Запропоновано трьохканальну структуру з каналами вимірювання напруги, струму та температури. Розроблений також алгоритм роботи системи, який забезпечує її функціонування в автоматичному режимі. Результатом роботи

вимірювальної системи є висновок щодо прогнозованої тривалості роботи акумулятора за даних умов експлуатації.

В роботі також представлені результати розробки стартап проєкту, які свідчать про доцільність впровадження запропонованих в дисертації рішень.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи електрохімії : навч. посіб. / О. В. Кислова, І. С. Макєєва. – К. : КНУТД, 2017. – 128 с. ISBN 978-966-7972-95-0
2. Електрохімічні процеси. Теорія та практикум [Текст] : навч. посіб. / М. В. Євсєєва, А. П. Ранський, О. А. Гордієнко ; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2017. - 110 с.
3. Окисно-відновні реакції та електрохімія [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл., які навч. за спец. "Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів" / О. Н. Мустяца ; Національний транспортний ун-т. - 3-тє вид., переробл. та доп. - К. : Арістей, 2007. - 148 с.: рис. - Бібліогр.: с. 144-145. - ISBN 966-8458-78-8.
4. Технічна електрохімія 2: Хімічні джерела струму [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, С. В. Фроленкова, О. І. Букет, Г. С. Васильєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 321 с.
5. Нерубацький В., Плахтій Ою, Mashura A., Гордієнко Д. (2019). Аналіз технічних характеристик акумуляторних батарей і систем заряджання електромобілів. //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 24. 11-19. 10.18664/iksz.v24i6.185510.
6. Байрачний Б.І., Тульський Г.Г., Токарева І.А. Технічна електрохімія: підручник в 5 ч. – ч.5: Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин [Текст] / Б.І. Байрачний, Г.Г. Тульський, І.А. Токарева. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – 272 с.
7. Миронюк І.Ф., Микитин І.М. Електрохімія та її практичні аспекти: навчальний посібник [Текст] / І.Ф.Миронюк, І.М.Микитин ІваноФранківськ: Прикарпатський національний ун-т імені Василя Стефаника, 2016. – 174с.

8. Інтернет ресурс. Режим доступу:
<https://grandinstrument.ua/ua/vnagr200/>
9. Інтернет ресурс. Режим доступу:
<http://www.momm.com.ua/testery-akkumuljatorov/288-tester-batarey-kulon-12n.html>
10. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://aet.ua/ua/zardyanye-ustroystva/testera/konnwei-kw600-tester.html>
11. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://www.fluke.com/en-us/product/electrical-testing/battery-analyzers/fluke-500>
12. Силові перетворювачі електроприводів: Методичні вказівки до домашньої контрольної роботи для студентів напряму підготовки бакалавра спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, спеціалізації "Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність" / Уклад: С.М. Ковбаса, І.А. Шаповал – К.: "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2019 р. 25 с.
13. Сменова Л. В. Моніторинг електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і акумуляторних батарей двовісних електровозів. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт. – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, 2019.
14. О. Н. Синчук, В. Ю. Захаров, и Л. В. Сменова, «Теоретические аспекты построения структуры системы мониторинга состояния электрических приводов тяговых электротехнических комплексов», Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», № 36(1009), с. 142-145, 2013.
15. О. Н. Синчук, А. В. Устенко, и Л. В. Сменова, «Микропроцессорная система идентификации электрических параметров тяговых электроприводов шахтных электровозов», Международный

информационный научнотехнический журнал «Локомотив-информ», № 07(97), с. 10-14, 2014.

16. О. Н. Синчук, Д. А. Шокарев, и И. О. Синчук, «Синергетическая система асинхронного электропривода контактно-аккумуляторного двухосного электровоза», Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал, № 3(14), с. 31-34, 2011.

17. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://a-trade.com.ua/text-obzor/raschet-emkosti-akb-i-osnovnye-ponyatiya>.

18. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://real-el.ua/ru/media/useful/e1797/>.

19. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://remontka.com/1287-kak-izmerit-emkost-akkumulyatora/>.

20. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://fortuna8.com.ua/p1938768383-akkumulyator-18650-2000mah.html>.

21. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ © Гавриш Олег Анатолійович, Солнцев Сергій Олексійович, Дергачова Вікторія Вікторівна, Зозульов Олександр Вікторович, Юдіна Наталія Володимирівна, Царьова Тетяна Олександрівна, Бояринова Катерина Олександрівна, Кравченко Марина Олегівна, Жигалкевич Жанна Михайлівна, Київ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» 2016.

22. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТІВ. Електронний ресурс. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29447/1/Rozrobka_startup-proektiv_Konsp.lekts.pdf

23. Орлова Н. Инвестиционная презентация стартапа. Стартап от А до Я. InnMind. – Выпуск № 16 Електронний ресурс. Режим доступу: <https://innmind.com/articles/825>

ДОДАТКИ

Додаток Б

Приклади фрагментів програмного забезпечення рівня збору даних

Основний Python скрипт

```
import Adafruit_DHT
import requests
import time
import json
DHT_SENSOR = Adafruit_DHT.DHT22
DHT_PIN = 4
while True:
    temperature = Adafruit_DHT.read_retry(DHT_SENSOR, DHT_PIN)
    if temperature is not None:
        print("Temp={0:0.1f}*C.format(temperature)")
        url = 'http://192.168.0.103:8083/pie/measurements'
        requests.post(url, json={"temperature": temperature, "location":
            "50.5124138,30.7913499"})
    else:
        print("Failed to retrieve data from temperature sensor")
```

Скрипт для запуску Python скрипта при включенні системи launcher.sh

```
#!/bin/sh
#launcher.sh
sudo python3 /home/pi/
```

Файл конфігурації application.yaml

```
server:
port: ${port:8761}
spring:
application:
name: eureka
eureka:
client:
register-with-eureka: false
fetch-registry: false
```

Файл контролера PieController

```
package com.alex.pie.controller; import
com.alex.pie.domain.Measurement;
import com.alex.pie.service.SenderService;
import lombok.extern.slf4j.Slf4j;
import org.springframework.beans.factory.annotation.Autowired;
import org.springframework.web.bind.annotation.RequestBody;
import org.springframework.web.bind.annotation.RequestMapping;
import org.springframework.web.bind.annotation.RequestMethod;
import org.springframework.web.bind.annotation.RestController;
import org.springframework.web.reactive.function.client.WebClient;
```

```

import reactor.core.publisher.Flux;
import java.time.LocalDateTime;
@Slf4j
@RestController
public class PieController {
    @Autowired
    private WebClient.Builder webClient;
    @Autowired
    private SenderService senderService;
    @RequestMapping(method = RequestMethod.POST, value =
"/measurements")
    public void createMeasurement(@RequestBody Measurement measurement)
    {
        measurement.setCreatedDate(LocalDateTime.now());
        senderService.sendMeasurement(measurement);
    }
    @RequestMapping(method = RequestMethod.GET, value =
"/measurements")
    public Flux<Measurement> getAllMeasurements() {
        return webClient.build()
            .get()
            .uri("http://KEEPER-SERVICE/measurements")
            .retrieve()
            .bodyToFlux(Measurement.class);
    }
}

```

Файл сервису SenderService

```

package com.alex.pie.service;
import com.alex.pie.domain.Measurement;
import lombok.AllArgsConstructor;
import lombok.extern.slf4j.Slf4j;
import org.springframework.cloud.stream.annotation.EnableBinding;
import org.springframework.cloud.stream.messaging.Source;
import org.springframework.messaging.support.MessageBuilder;
import org.springframework.stereotype.Service;
@Slf4j
@Service
@EnableBinding(Source.class)
@AllArgsConstructor
public class SenderService {
    private final Source source;
    public void sendMeasurement(Measurement measurement) {
        boolean status =
            source.output().send(MessageBuilder.withPayload(measurement).build());
        if (status)
            log.info(measurement + " was successful sent to the KAFKA(broker)");
        else
            log.warn("Unsuccessful sending measurement to the KAFKA(broker)");
    }
}

```