

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Забезпечення ресурсу автомобільних акумуляторних
батареї шляхом реалізації систем контролю»

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 27 Транспорт
Спеціальність 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма Автомобільний транспорт

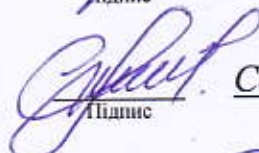
Шифр КвРАТ. 21116.01.04.00

Виконав студент 4 курсу група АТ-21-1


Підпис

Микола КОЗИР

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

Олег БАБАК

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ

6.06.25

Дата


Підпис


Олександр ДИХА

Хмельницький, 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 27 Транспорт
Спеціальність 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ


6.06 Диха О.В.
2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Козиру Миколі Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: *Забезпечення ресурсу автомобільних акумуляторних батарей шляхом реалізації систем контролю.*

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 07.02.2025 р. № 23 (Д 26)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали курсових проектів.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) *Аналіз функціонування систем енергопостачання автомобілів.*

2) *Процеси моделювання параметрів АКБ.*

3) *Система контролю параметрів АКБ.*

4) *Висновки, рекомендації*

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 21.06. 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	Аналіз функціонування систем енергопостачання автомобілів.	4.05.25	вик
2	Процеси моделювання параметрів АКБ.	16.05.25	вик
3	Система контролю параметрів АКБ.	26.05.25	вик
4	Висновки, рекомендації	10.06.25	вик
5	Оформлення пояснювальної записки	12.06.25	вик
6	Допуск до захисту	14.06.25	вик
7	Захист дипломної роботи	16.06.25	

Студент


Підпис

Микола КОЗИР

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Студент групи АТ-21-1 Козир М.С.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему «Забезпечення ресурсу автомобільних акумуляторних батарей шляхом реалізації систем контролю» складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 26 найменувань, розміщених на 3 сторінках, та 1 додатку розміщеного на 14 сторінках. Роботу викладено на 77 сторінках, з них 69 сторінок основного тексту, на яких розміщено 39 рисунків і 6 таблиць.

Мета роботи – збільшення терміну служби акумуляторної батареї автотранспортних засобів шляхом розробки автоматизованої системи контролю та діагностики.

Експлуатація АКБ, що живлять сучасні електроенергетичні комплекси, передбачає широке використання систем автоматизації технологічного процесу їх експлуатації. У свою чергу забезпечення робочої здатності енергетичних систем транспортних засобів вимагає впровадження для АКБ системи контролю і діагностики (СКД АКБ), що входять в елементну базу сучасних електроенергетичних комплексів.

На основі базових розрахункових теорій оцінки параметрів акумуляторної батареї (АКБ) та аналізу математичного апарату було розроблено алгоритм параметричної оцінки її працездатності.

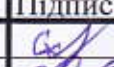



Згідно з цим алгоритмом, визначено методику розрахунку залежності щільності електроліту від рівня відновлення зарядної ємності АКБ.

Використання високопродуктивних обчислювальних систем у поєднанні з високоточними електронними датчиками дозволяє значно підвищити точність вимірювань порівняно з традиційними ручними методами діагностики, що робить цей підхід найбільш перспективним для оцінки стану акумуляторних батарей.

Ключові слова: АКБ, ДІАГНОСТИКА, ЩІЛЬНІСТЬ ЕЛЕКТРОЛІТУ, ТЕМПЕРАТУРА, ЗАРЯДНИЙ СТРУМ, НАПРУГА, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ АВТОМОБІЛІВ	7
1.1 Аналіз конструкції автомобільних акумуляторних батарей	7
1.1.1 Типи, конструктивні особливості та характеристики акумуляторних батарей	7
1.1.2 Аналіз систем підвищення ресурсу АКБ.	15
1.1.3 Параметрична характеристика систем електропостачання автомобілів.	19
1.2 Методи діагностики АКБ.	24
2 ПРОЦЕСИ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АКБ	29
2.1 Параметрична оцінка ресурсу і працездатності АКБ.	29
2.2 Методика оцінки щільності електроліту.	34
2.3 Моделювання роботи та методів заряду АКБ.	38
2.4 Моделювання факторів, що впливають на втрату працездатності АКБ.	51
3 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ АКБ	53
3.1 Розробка системи контролю та діагностики акумуляторної батареї.	53
3.2 Взаємозв'язок механічної та програмної частин діагностичного комплексу.	58
3.3 Результати діагностики АКБ.	61
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТКИ	77

КвРАТ. 21116.01.04.00				
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата
Виконав	Козир			
Перевір.	Посонський			
Н.контр.	Бабак			
Затвер.	Диха			
Забезпечення ресурсу автомобільних акумуляторних батарей шляхом реалізації систем контролю			Літера	Аркуш
			4	77
ХНУ АТ-21-1				

ВСТУП

Контроль параметрів акумуляторної батареї (АКБ), а також її діагностика та прогнозування стану є ключовими аспектами під час експлуатації транспортних і технологічних машин. Використання АКБ у сучасних електроенергетичних комплексах вимагає застосування автоматизованих систем для управління процесами їхньої роботи. Для забезпечення надійного функціонування енергетичних систем транспортних засобів необхідно впроваджувати системи контролю та діагностики АКБ (СКД АКБ), які є складовою частиною сучасних електроенергетичних комплексів.

Перші спроби автоматизації контролю параметрів АКБ були здійснені ще в 2005 році. [1]. Автоматизований контроль охоплював тільки напругу та температуру електроліту, тоді як інші характеристики, зокрема рівень і щільність електроліту, доводилося вимірювати вручну. Контрольні функції були інтегровані у загальну систему керування технічними засобами, що значно обмежувало ефективність автоматизованого моніторингу як у плані швидкодії, так і за обсягом опрацьованих статистичних даних. Створення високофункціональної системи, здатної відповідати різноманітним технологічним вимогам, виявилось складним завданням через необхідність застосування високорозвиненої елементної бази та нових програмно-інструментальних рішень.

На сучасному етапі розвитку технологій автоматизація контролю параметрів та діагностики АКБ стала можливою завдяки вдосконаленню методів інтеграції. У зв'язку з цим доцільно покласти функції оцінки та діагностики стану АКБ безпосередньо на спеціалізовану систему контролю та діагностики [2].

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, одним із ключових завдань є зменшення трудових витрат та мінімізація впливу людського фактора на експлуатаційні параметри. Це особливо актуально для сучасних електроенергетичних комплексів автомобілів, де впровадження автоматизованої СКД АКБ сприяє підвищенню ефективності та надійності роботи акумуляторних батарей.

Мета роботи – збільшення терміну служби акумуляторної батареї автотранспортних засобів шляхом розробки автоматизованої системи контролю та діагностики.

Завдання:

1. Виконати аналіз функціонування систем енергопостачання транспортних засобів.
2. Використати алгоритм параметричної оцінки працездатності акумуляторної батареї за результатами аналізу математичного апарату.
3. Розробити та перевірити систему діагностики і контролю параметрів АКБ.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ АВТОМОБІЛІВ

1.1 Аналіз конструкції автомобільних акумуляторних батарей

1.1.1 Типи, конструктивні особливості та характеристики акумуляторних батарей

Для забезпечення електроживлення обладнання автотранспортних засобів за низьких обертів колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання або під час його зупинки використовуються хімічні джерела електроенергії – акумуляторні батареї.

Акумулятори можуть бути представлені як у вигляді окремих елементів, так і у формі батареї, що складається з кількох послідовно з'єднаних елементів у спільному корпусі. Окремі моделі оснащені вбудованими електронними компонентами, які здійснюють контроль процесу заряджання та забезпечують захист від некоректної експлуатації [2].

Головна особливість акумуляторної батареї полягає в її здатності відновлювати енергоємність після розряду. Це можливо за рахунок пропускання струму у зворотному напрямку, що дозволяє повторно зарядити акумулятор і відновити його працездатність [3].

Різні види акумуляторних батарей відрізняються не тільки вартістю, але й основними характеристиками, такими як кількість циклів заряджання-розряджання, максимальний термін зберігання, габаритні розміри, робочий температурний діапазон та здатність до швидкого відновлення заряду тощо [3].

Зазвичай кожен виробник застосовує унікальні технології виготовлення, впроваджуючи власні конструкторські рішення для окремих

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моделей. Водночас можна виокремити кілька загальних принципів, які використовуються при розробці різних типів акумуляторних батарей.

Свинцево-кислотні акумулятори є найпоширенішим типом батарей, розробленим ще у 1859 році французьким фізиком Гастоном Планте [2]. Їхній принцип дії заснований на електрохімічних реакціях між свинцем і діоксидом свинцю в сірчано-кислотному середовищі.

Класичні свинцево-кислотні акумулятори з рідким електролітом представлені кількома різновидами, серед яких: [4]

- Ca/Ca – необслуговувані акумулятори, пластини яких складаються зі свинцево-кальцієвого сплаву;

- «Antomin 2,3...4» – батареї, пластини яких містять від 2,3% до 4% сурми;

- CaPb/Silver – батареї, що не потребують обслуговування, виготовлені на основі свинцево-кальцієвих сплавів із додаванням срібла (технологія Varta);

- Hybrid – гібридні акумулятори, де негативні пластини виготовлені з кальцієвого сплаву свинцю, а позитивні – з низькосурм'янистого матеріалу.

Окремо варто згадати технологію AGM (Absorbent Glass Mat), яка відрізняється від традиційних рішень тим, що електроліт у таких акумуляторах не рідкий, а абсорбований у спеціальному скловолоконному сепараторі. Це забезпечує покращені експлуатаційні характеристики та підвищену безпеку (рис. 1.1).

Переваги та недоліки AGM-акумуляторів

Переваги:

- Можливість монтажу у будь-якому положенні без ризику витоку електроліту.

- Висока стійкість до вібраційних навантажень.

- Герметична конструкція з клапанним регулюванням, що запобігає витоку кислоти та корозії клем.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Не потребує обслуговування протягом усього терміну експлуатації.
- Можливість експлуатації у нестандартному положенні, наприклад, на боці.

- Надійна робота навіть при низьких температурах (до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Недоліки:

- Висока вартість у порівнянні з традиційними свинцево-кислотними акумуляторами.

- Вміст оксиду свинцю робить ці батареї шкідливими для довкілля.

- Значна маса, що ускладнює транспортування та встановлення.



Рисунок 1.1 – Свинцево-кислотний акумулятор, виготовлений за технологією AGM.

На рисунку 1.2 зображено залежність напруги AGM-акумулятора від температурного режиму.

На цьому графіку відображено зміну зарядної напруги в залежності від температури навколишнього середовища. Він демонструє, що зі зниженням температури необхідно подавати вищу напругу для повного відновлення заряду акумуляторної батареї.

Окрім стандартних AGM-батареї, існують також акумулятори типу ОПТИМА (рис. 1.3), які поєднують усі переваги технології AGM, але відрізняються своєю конструкцією [5]. Особливістю АКБ ОПТИМА є те, що

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їхні пластини не мають традиційної плоскої форми, а виконані у вигляді довгих стрічок, щільно згорнутих у рулон, що реалізовано за допомогою інноваційної технології SPIRALCEL®-TECHNOLOGY.

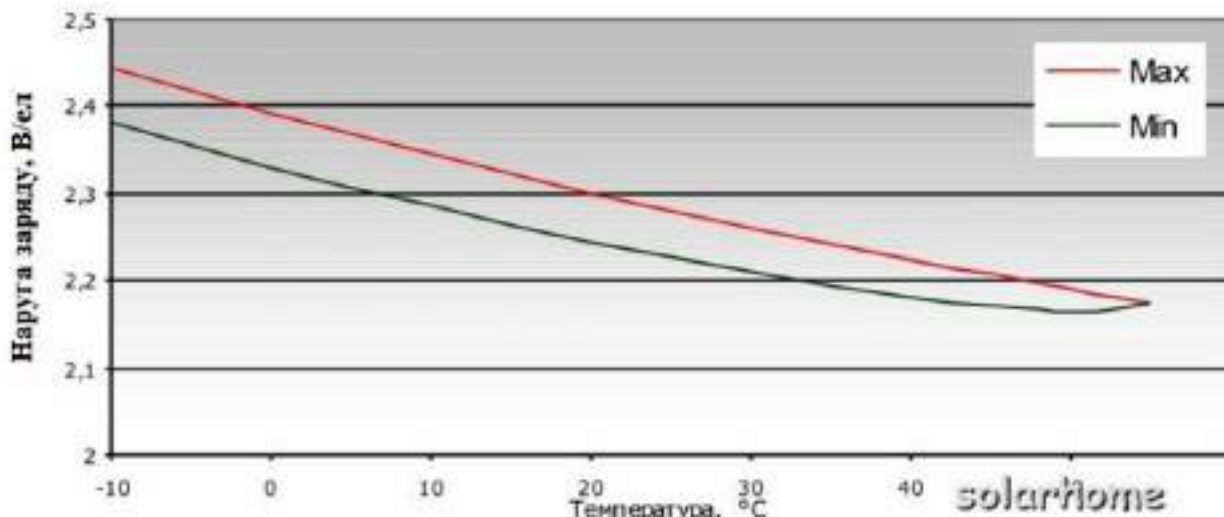


Рисунок 1.2 – Залежність напруги АГМ-акумулятора від температури.



Рисунок 1.3 – АКБ ОПТИМА АГМ.

Батареї ОПТИМА, завдяки особливій конструкції, здатні функціонувати у будь-якому положенні, витримувати сильні вібрації, які недоступні для

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

традиційних акумуляторів, і навіть продовжувати роботу при пошкодженому корпусі, наприклад, при пробоїнах. Використання SPIRALCEL®-TECHNOLOGY розширює сферу їхнього застосування: такі батареї підходять не тільки для запуску двигунів автомобілів, а й для живлення електроприладів, а також як джерело енергії на катерах і яхтах.

Окрім цього, ОПТИМА демонструють покращені характеристики холодного пуску та мають триваліший термін експлуатації. Завдяки інноваційному підходу вдалося зменшити товщину свинцевих стрічок, що дозволило збільшити активну площу на 50–100% у порівнянні з традиційними свинцево-кислотними батареями. Спеціальна конструкція знижує внутрішній опір, рівномірно розподіляючи тиск на елементи, що сприяє швидкій віддачі енергії та подовженню терміну служби в 1,5–2 рази. Крім того, розширена площа активних елементів сприяє прискореному процесу заряджання батареї (рис 1.4).

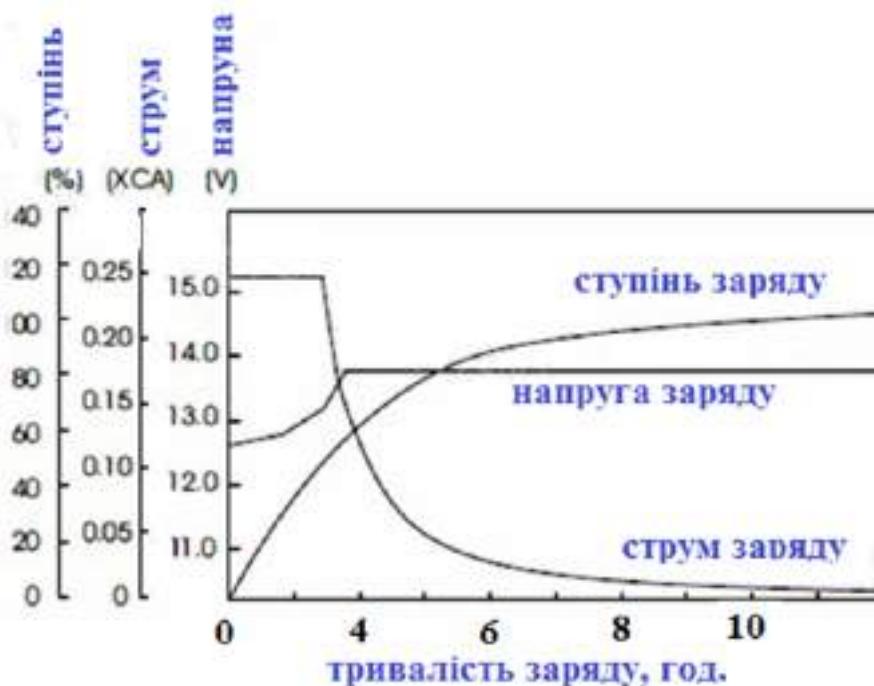


Рисунок 1.4 – Характеристика заряду АКБ системи AGM.

Акумулятори ОПТИМА відзначаються рядом унікальних характеристик:

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- Незалежно від кількості глибоких розрядів, вони забезпечують надійний запуск і максимальну потужність. Їхня ефективність підтверджена випробуваннями на дизельних двигунах різних транспортних засобів у широкому температурному діапазоні від -40 до +40 °С.

- Акумулятор можна встановлювати в будь-якому положенні, включаючи перевернуте, що особливо зручно для монтажу у місцях з обмеженим простором.

- Чудово підходять для сезонного використання, зберігаючи пускові властивості навіть після року простою без підзарядки.

- ОПТИМА не потребує обслуговування, оскільки є повністю закритою системою, що вигідно відрізняє його від стандартних акумуляторів.

- Завдяки повністю герметичній конструкції, електроліт абсорбований і знаходиться у закритій системі, що унеможливорює його витік навіть у разі пошкодження корпусу. Корпус виготовлений із міцного пластику, стійкого до механічних і температурних впливів.

- На відміну від гелевих батарей, для підзарядки ОПТИМА підходить більшість традиційних зарядних пристроїв, що спрощує його експлуатацію.

Гелеві акумулятори (Gelled Electrolite) – це різновид свинцево-кислотних батарей, у яких рідкий електроліт замінений спеціально загущеною речовиною. До складу електроліту додають сполуки кремнію, що змушує його переходити в гелеподібний стан. Завдяки цьому розчин не витікає і не випаровує газу під час роботи акумулятора.

Головним недоліком гелевих батарей є їхній підвищений внутрішній опір, що пояснюється меншою текучістю електроліту. Це ускладнює передачу високих струмів, через що гелеві акумулятори рідко використовуються для запуску двигунів. Найчастіше їх застосовують як резервні джерела енергії. На рисунку 1.5 наведено зарядну характеристику гелевого акумулятора.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- чутливість до перегріву та перезарядки, що може призвести до пошкодження або навіть вибуху;

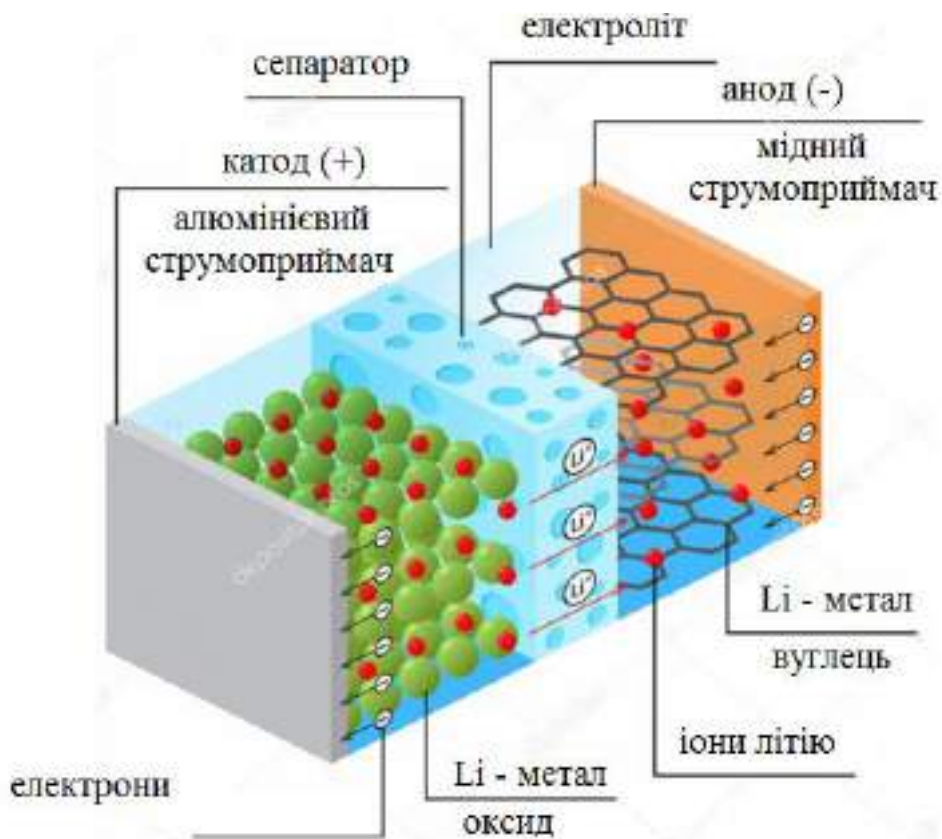


Рисунок 1.4 – Конструктивні елементи Li - іонної АКБ.

Техніко-експлуатаційні характеристики літєво-іонного акумулятора.

Літєво-іонні батареї мають наступні параметри:

- Кількість циклів заряд-розряд до зниження ємності на 20%: від 500 до 1000.
- Час швидкого заряджання: становить приблизно 2–4 години.
- Енергетична щільність: від 110 до 200 Вт·год/кг.
- Внутрішній опір: у межах 150–250 мОм (для батареї з напругою 7,2 В).
- Рівень саморозряду при кімнатній температурі: близько 7% на рік.
- Не потребує обслуговування протягом усього терміну експлуатації.
- Максимальна напруга на елементі: 4,18–4,20 В при повному заряді.

									КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- Мінімальна напруга: 2,5–2,75 В у розрядженому стані.
- Робочий температурний діапазон: від -20 до +60 °С.

1.1.2 Аналіз систем підвищення ресурсу АКБ.

Хоча свинцево-кислотні акумулятори були розроблені понад сто років тому, дослідження та вдосконалення цієї технології тривають і сьогодні.

З кінця XIX століття ведуться розробки стартерних батарей, які потребують мінімального обслуговування або зовсім не вимагають догляду. Для зменшення газовиділення у сучасних акумуляторах застосовуються решітки зі сплавів з низьким вмістом сурми (до 3%) або свинцево-кальцієві сплави з різними добавками. Використання таких матеріалів не лише зменшує корозію свинцю, а й підвищує поріг газовиділення (понад 2,5 В). Завдяки цьому, точне регулювання зарядної напруги дозволяє уникнути активного виділення газів наприкінці циклу заряджання.

Стартерні акумулятори, які випускають сучасні виробники, можуть працювати без доливання дистильованої води протягом 1–2 років або до пробігу 50 тисяч км. Хоча ці батареї не є повністю герметичними, у них передбачені клапанні механізми для компенсації залишкового газовиділення. Крім того, для зменшення викидів у навколишнє середовище використовуються спеціальні пробки з каталітичними елементами.

Останнім часом активно розробляються нові типи акумуляторних батарей із спрощеними умовами експлуатації. Однією з цікавих технологій є система централізованого доливання дистильованої води у всі елементи тягового акумулятора. У цій системі заливні отвори з'єднані трубопроводами, через які надходить вода, а спеціальні механізми в кожному елементі автоматично припиняють подачу рідини при досягненні потрібного рівня. Окрім цього, трубопроводи можуть виконувати функцію відведення газів під час роботи або заряджання акумулятора.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Також ведуться дослідження щодо створення повністю герметичних свинцевих акумуляторів із системою рекомбінації газів за кисневим циклом. У таких батареях заряд обмежується позитивним електродом, а кисень, що виділяється, взаємодіє з металевим свинцем на негативному електроді. Для ефективного переносу кисню необхідно зменшити об'єм вільного електроліту, що, однак, призводить до зниження ємності.

Деякі розробки передбачають використання допоміжного кисневого електрода, наприклад, з платиновим каталізатором, який сполучається зі свинцевим електродом. Під час реакції на допоміжному електроді кисень відновлюється, а свинець перетворюється на сульфат свинцю. Важливо, щоб каталізатор не потрапляв у електроліт або на анод, оскільки це може значно прискорити корозію свинцю.

Останнім часом у герметичних та напівгерметичних акумуляторах активно використовують загущений електроліт, що дозволяє експлуатувати їх у будь-якому положенні. Як згущувач застосовують силікагель, алюмогель, сульфат кальцію та інші речовини, які у взаємодії із сірчаною кислотою формують тиксотропний гель. Однак поки що такі акумулятори мають обмежений ресурс, що зазвичай не перевищує 100 циклів.

Одним із ключових напрямків удосконалення свинцевих акумуляторів є збільшення їхнього терміну служби та довговічності. Основні виклики пов'язані зі зменшенням втрати активної маси позитивного електрода та зниженням корозії його решітки. Дослідження показують, що введення певних добавок в електродні матеріали та електроліт може значно покращити ці показники. Зокрема, позитивний ефект спостерігається при додаванні 5-7% фосфорної кислоти в електроліт. Це сприяє зменшенню процесу сульфатації, знижує осипання активної маси та уповільнює корозію решітки. Особливо це актуально для свинцево-кальцієвих решіток, які більш схильні до втрати активної речовини.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

При цьому використання фосфорної кислоти може дещо зменшити ємність та напругу акумулятора, хоча механізм її дії ще повністю не вивчений.

Подальший розвиток свинцевих акумуляторів значною мірою залежить від підвищення питомої енергії, що є критично важливим для тягових батарей, використовуваних в електротранспорті. Досягти цього можна як шляхом вдосконалення конструкції, так і через підвищення ефективності використання активних матеріалів електродів.

Традиційна конструкція свинцевих акумуляторів забезпечує їхню високу надійність, однак водночас додає зайву масу. Теоретична частка маси реагентів та електроліту, необхідна для електрохімічних реакцій, складає лише 15-24%. Наприклад, для підтримки концентрації електроліту в межах 36-16% потрібно 6,4 кг розчину на 1 кВт·год, що забезпечує необхідний запас дистильованої води для стабільної роботи. Висока маса активних матеріалів пояснюється їхнім недостатньо високим коефіцієнтом використання.

Підвищити ефективність використання активних мас можливо завдяки оптимізації структури пористих електродів та застосуванню спеціальних добавок. Крім того, важливим напрямком покращення експлуатаційних характеристик акумуляторів є розробка нових сепараторних матеріалів з товщиною 0,2-0,3 мм, що відрізняються високою загальною пористістю та малим розміром пор. Це сприяє збільшенню питомої енергії та тривалості служби акумуляторних батарей.

Основну частку в загальній масі конструкційних елементів акумуляторних батарей займають струмовідводи електродів, які зазвичай виготовляють із свинцевих сплавів.

Останнім часом активно досліджуються можливості заміни свинцю на більш легкі матеріали. Для решітки негативних пластин розглядаються варіанти використання алюмінію, міді, титану та інших металів, покритих тонким свинцевим шаром. У конструкції позитивних пластин можуть

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовуватися освинцьований титан, композитні матеріали, що поєднують свинець із пластмасою, та інші інноваційні рішення.

Щоб зменшити вагу корпусу акумулятора, традиційний ебоніт поступово замінюють міцними та термостійкими пластмасами, такими як поліпропілен. Завдяки цьому з'являється можливість виготовлення легких тонкостінних корпусів методом лиття під тиском. Конструкція сучасних корпусів передбачає приклеювання кришки до бака, що усуває потребу в додатковій герметизації мастикою, як це було в ебонітових корпусах.

Додаткове зниження маси досягається за рахунок оптимізації виводів струму. У сучасних моноблочних акумуляторах міжелементні з'єднання розташовуються не над кришкою, а безпосередньо в стінках, що розділяють сусідні комірки. Це не тільки зменшує вагу, а й покращує загальну надійність конструкції.

Варто враховувати, що деякі способи підвищення питомої енергії, такі як зменшення товщини решіток або збільшення коефіцієнта використання активної маси, можуть суттєво скорочувати термін служби акумулятора. Теоретично вже зараз можна створити тягові батареї з питомою енергією близько 45 Вт·год/кг, проте їхній ресурс був би вкрай обмеженим.

Тому головним завданням наукових і технологічних розробок є збільшення питомої енергії без погіршення довговічності та циклічної стабільності акумуляторів. Сучасні моделі тягових батарей для електротранспорту вже досягають питомої енергії на рівні 30-35 Вт·год/кг при ресурсі 700-800 циклів. Очікується, що в найближчі роки з'являться акумулятори з питомою енергією 40-45 Вт·год/кг і збільшеним терміном служби, що перевищуватиме 1000 циклів.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.3 Параметрична характеристика систем електропостачання автомобілів.

Незважаючи на значну різноманітність сучасних транспортних засобів, їхні системи електроживлення мають єдину загальну структурну схему. Основним критерієм її побудови є забезпечення надійного ресурсу та працездатності, що також спрощує процес діагностики несправностей і заміни окремих компонентів.

Елементи системи електропостачання транспортного засобу можна класифікувати за рівнем їхньої важливості та функціонального призначення:

- Живлення допоміжних пристроїв ДВЗ під час його запуску та роботи, включаючи систему запалювання, паливний насос, електровентилятор радіатора, електромагнітні клапани, датчики, а також електронні системи керування, залежно від конструкції двигуна.

- Забезпечення стабільної роботи акумуляторної батареї, що необхідно для подачі високого пускового струму при запуску двигуна внутрішнього згоряння (понад 200 А), а також для підтримки процесу зарядки.

- Підключення додаткового електрообладнання, такого як автомагнітола, автомобільний холодильник, електрична антена, телевізор, годинник, прикурювач, підсилювач та інші пристрої, що підвищують комфорт користувачів.

- Енергозабезпечення освітлювальних і сигнальних пристроїв, панелі приладів, електровентилятора обігріву салону та інших елементів, які відповідають за безпеку та комфорт під час експлуатації транспортного засобу.

Таким чином, система електропостачання транспортного засобу забезпечує роботу всіх ключових функціональних елементів, необхідних для запуску, управління та комфорту під час експлуатації.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У кожному транспортному засобі функціонує велика кількість електроспоживачів, які потребують стабільного енергопостачання.

Зазвичай у автомобілях використовується напруга 12 В, а в деяких видах транспорту — 24 В. Таке значення вибране з міркувань електробезпеки. Оскільки при низькій напрузі сила струму може бути значною, електропроводка повинна мати достатній перетин для ефективної передачі енергії без значних втрат.

Під час експлуатації автомобіля електричне навантаження постійно змінюється: деякі пристрої відключаються, а інші починають працювати. Однак напруга в бортовій мережі повинна залишатися стабільною. Саме тому система електроживлення транспортного засобу є саморегульованою і підтримує в 12-вольтових системах значення близько 14,2 В. Це оптимальний рівень, який запобігає як перезаряду, так і недозаряду акумуляторної батареї.

Якщо під час роботи двигуна напруга на клеммах акумулятора перевищує 14,5 В або опускається нижче 13,5 В, це вказує на несправність системи електроживлення, що може призвести до скорочення терміну служби акумулятора. У такому випадку необхідно провести діагностику та ремонт.

Система електроживлення автомобіля складається з кількох ключових елементів, кожен з яких виконує певну функцію:

- Генератор – пристрій, що перетворює механічну енергію, отриману від колінчастого вала двигуна через пасову передачу, у електричну енергію.

- Випрямляч (діодний міст) – забезпечує перетворення змінної трьохфазної напруги, виробленої генератором, у постійну напругу 12 В. Акумулятор виконує роль інерційного елемента, допомагаючи згладжувати коливання напруги.

- Регулятор напруги – пристрій, який контролює рівень напруги в бортовій мережі, коригуючи струм, що подається на обмотку збудження ротора генератора. Підключається до системи через два виходи (один з них –

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маса), а також з'єднується з обмоткою ротора через щітковий вузол, який з часом зношується.

- Акумулятор – виконує роль резервного джерела живлення та забезпечує стартову подачу енергії для запуску двигуна.

У більшості сучасних транспортних засобів генератор, випрямляч і регулятор напруги об'єднані в єдиний модуль, відомий як автомобільний генератор. Незважаючи на конструктивне поєднання, кожен з цих елементів може вийти з ладу та потребує діагностики й ремонту.

При встановленні додаткового електрообладнання в транспортному засобі необхідно дотримуватися принципу балансу потужностей. Це означає, що генератор повинен мати номінальну потужність, яка трохи перевищує сумарне споживання всіх підключених пристроїв. Найбільш енергоємні навантаження слід вмикати лише при працюючому двигуні, щоб уникнути розряду акумулятора та зберегти можливість його запуску.

Підключення додаткових пристроїв має бути організовано таким чином, щоб у режимі стоянки енергоспоживання було мінімальним. Витрати електроенергії в такому режимі повинні обмежуватися лише роботою охоронних систем.

До якості, надійності та стабільності роботи системи електропостачання транспортних засобів висуваються суворі вимоги. Напруга в бортовій мережі не повинна відхилятися більш ніж на $\pm 3\%$ від номінального значення. Для порівняння, якщо напруга змінюється на 5%, це призводить до коливання світлового потоку на 20%, а термін служби ламп розжарювання скорочується вдвічі. Збільшення напруги на 9-12% значно скорочує ресурс акумулятора, зменшуючи його термін експлуатації у 2-2,7 рази.

Таким чином, стабільність роботи електросистеми безпосередньо впливає на надійність і економічність функціонування транспортного засобу в цілому.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У сучасних транспортних засобах переважно використовуються генератори змінного струму, тоді як близько 20% техніки, що перебуває в експлуатації, оснащені генераторами постійного струму.

Генератори змінного струму мають здатність автоматично обмежувати максимальну силу струму, що сприяє стабільності роботи електричної системи. Крім того, вбудовані випрямлячі запобігають зворотному проходженню струму від акумуляторної батареї до обмотки статора. Для забезпечення стабільної напруги в бортовій мережі такі генератори працюють у поєднанні з регуляторами напруги.

Для виявлення несправностей у системі електроживлення автомобіля її умовно поділяють на кілька основних складових: акумулятор, генератор, регулятор напруги, ланцюг збудження та ланцюг відновлення заряду. Першими ознаками можливих неполадок зазвичай є відхилення показників бортових приладів.

Діагностика стану енергетичної системи може бути ефективнішою, якщо використовувати дані, які водій накопичив під час експлуатації транспортного засобу. Наприклад, якщо зарядний струм перевищує 10 А протягом 4-6 годин безперервної поїздки вдень, це може призвести до перегорання ламп, перегріву та закипання акумулятора, витікання електроліту та появи білого нальоту на кріпильних елементах батареї. У випадку зниженого рівня напруги спостерігається швидке розрядження акумулятора.

Перевірка генераторів змінного струму та реле-регуляторів спрощується завдяки відсутності реле зворотного струму, функції якого виконує випрямний блок, а також обмежувача сили струму. При діагностиці необхідно оцінити регульовану напругу та потужність, яку розвиває генератор при різних частотах обертання.

Однак вимірювання напруги та струму не завжди дозволяє точно визначити характерні несправності генераторів змінного струму. У таких

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадках осцилограф надає значно ширші можливості для аналізу. За осцилограмами напруги генератора можна виявити обрив або замикання обмотки статора на масу, а також пробій діодів випрямляча. Крім того, за допомогою осцилографа можна оцінити роботу реле-регулятора та визначити рівень регульованої напруги.

Для перевірки справності генераторів і реле-регуляторів безпосередньо на автомобілі використовуються різноманітні прилади та спеціалізовані стенди.

Осцилографічні методи діагностики дозволяють виявити несправності генератора без демонтажу, безпосередньо під час роботи двигуна. Крім того, важливим етапом перевірки є оцінка натягу приводних ременів генератора, що здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, наприклад, НИИАТ К403.

Діагностика реле захисту контактно-транзисторного реле-регулятора передбачає плавне переміщення повзунка реостата опором 30 Ом із фіксацією моменту замикання контактів за показами вольтметра. У справному реле цей процес має відбуватися при напрузі в діапазоні 6,5-7,5 В. Якщо значення виходить за ці межі, необхідно відкоригувати натяг пружини якірця.

Перевірку транзистора в контактно-транзисторному реле-регуляторі проводять на заглушеному двигуні. Для цього знімають кришку пристрою та підключають контрольну лампу: один провід до затискача «Ш» реле-регулятора, другий – на масу. Якщо при включенні запалювання лампа загоряється, це свідчить про справний або пробитий транзистор. Якщо ж лампа не світиться, це може вказувати на обрив у ланцюзі транзистора. Для остаточної перевірки необхідно натиснути на якірець реле-регулятора або реле захисту, замкнувши їхні контакти. Якщо транзистор працює справно, то при замиканні контактів лампа гасне.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Методи діагностики АКБ.

Діагностика акумуляторних батарей за розрядно-зарядним циклом [9] здійснюється відповідно до встановлених технічних норм, що дозволяють перевірити їх справність і відповідність номінальній ємності. Відмінною особливістю цього методу є повна автоматизація процесу.

Існує кілька варіантів автоматизованого тестування АКБ:

- Розряд на штатне активне навантаження із подальшим відключенням від випрямляча та відновленням заряду після повторного підключення.

- Розряд на технологічне навантаження, під час якого випрямляч відключається, а подальше відновлення заряду відбувається в режимі «плаваючого заряду».

- Циклічне розрядження та зарядження, що здійснюється автоматичним тестером або спеціалізованим зарядно-розрядним пристроєм.

Окрім цього, можливе проведення діагностики на основі внутрішніх параметрів батареї [9]. Для цього використовуються спеціальні переносні або стаціонарні тестери (рис. 1.5).

Під час діагностики акумуляторної батареї вимірюються такі параметри:

- Внутрішній опір як для постійного, так і для змінного струму.
- Фарадеївська ємність окремих елементів (комірок).
- Напруга на кожному елементі батареї.
- Струм, що проходить через елемент або батарею в цілому.

На основі отриманих даних із використанням електронно-обчислювальної техніки визначаються ключові технічні характеристики акумулятора:

- Фактична ємність, вимірювана в ампер-годинах.
- Рівень сульфатації пластин.
- Оцінка залишкового ресурсу батареї.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Тестер АКБ

Цей метод відзначається високою точністю та достовірністю отриманих результатів. Проте він має і певні недоліки:

- Обмежена сфера застосування, оскільки для його реалізації потрібно інтегрувати спеціальні вимірювальні елементи в технологічні ланцюги.
- Необхідність залучення висококваліфікованих фахівців для правильного підключення обладнання.
- Висока вартість апаратури, що може обмежувати використання методу в широкій практиці.

Аналіз стану АКБ за форсованим температурним циклом [10] здійснюється в лабораторних умовах із використанням окремих елементів батареї. Висока температура сприяє пришвидшенню корозійних процесів і випаровуванню води, що дозволяє моделювати прискорене старіння акумуляторних елементів. Це дає змогу прогнозувати термін їхньої експлуатації в нормальних умовах.

Контроль рівня зарядженості за напругою батареї [10] ґрунтується на принципі, що для ідентичних акумуляторів кожному значенню розрядного струму та залишкової ємності відповідає певний рівень напруги. При визначеному навантажувальному струмі вимірювач ємності включає набір

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компараторів, налаштованих на відповідні рівні напруги, які вказують на ступінь розрядженості батареї. У разі зміни струму навантаження вводиться відповідна корекція, що дозволяє отримати точні результати.

Цей метод характеризується значною похибкою, оскільки:

- Не враховує попередню історію експлуатації акумулятора, що може впливати на його поточний стан.

- Працює з незначними відмінностями напруги, які можуть спотворюватися через шуми в електричному навантаженні.

Контроль рівня зарядженості акумулятора за допомогою імпульсного розряду [10] застосовується з урахуванням допустимих вимог до стабільності напруги акумуляторної батареї. Цей метод базується на тому, що в процесі розрядження внутрішній опір акумулятора поступово збільшується.

Суть методики полягає у підключенні паралельно навантаженню спеціальної схеми (рис. 1.6), що містить послідовно з'єднані електронний ключ і резистор. Упродовж певних проміжків часу через електронний ключ пропускається серія коротких імпульсів. Енергія, що витрачається на ці імпульси, є незначною, що не впливає на загальний заряд батареї.

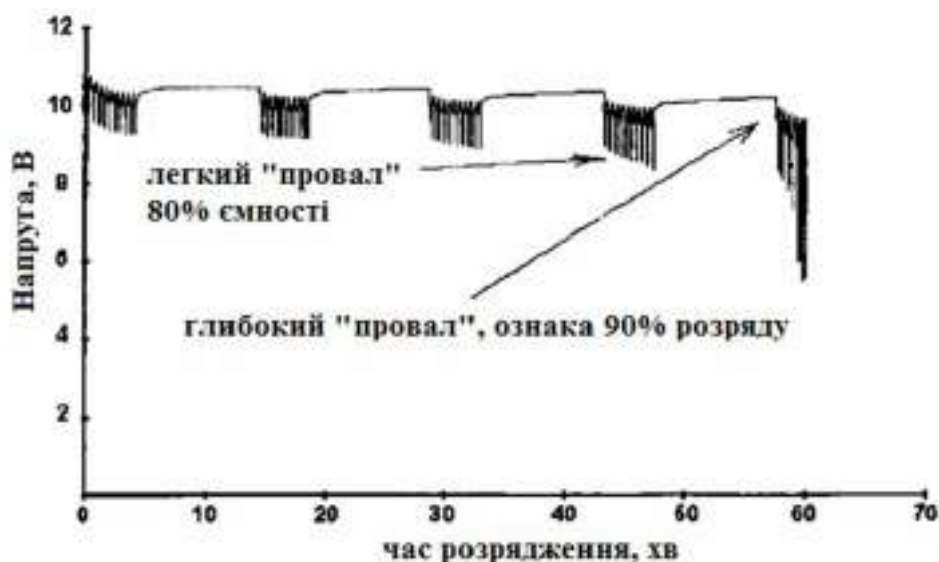


Рисунок 1.6 – Осцилограма імпульсів.

Процес тестування виконується автоматично за допомогою програмно-логічного пристрою, який аналізує зміну напруги під час імпульсних провалів.

У процесі експлуатації акумуляторної батареї деякі її елементи можуть втрачати ємність швидше, ніж інші, що впливає на результати діагностики та загальну ефективність роботи батареї.

Метод обліку отриманої та відданої електроенергії [11] передбачає використання спеціальних лічильників ампер-годин. Оскільки акумулятор не здатний віддавати 100% накопиченої енергії, а цей показник зменшується з часом експлуатації, необхідно постійно враховувати корекційні коефіцієнти. Вони дозволяють оцінити фактичну ємність батареї, тобто ту кількість електроенергії, яку вона може передати навантаженню.

Завдяки цьому методу можливо оцінювати та прогнозувати ємність АКБ із похибкою близько $\pm 5\%$. Проте зі старінням батареї точність вимірювань може значно погіршуватися. Крім того, ефективність віддачі енергії залежить від розрядного струму, що потребує відповідного коригування показань лічильника.

Поелементний контроль стану акумуляторної батареї.

На сьогодні системи моніторингу та діагностики акумуляторних батарей, що забезпечують поелементний контроль, розвиваються недостатньо, хоча саме цей підхід дозволяє своєчасно виявляти зношені елементи та оцінювати їхній стан, не чекаючи повного виходу з ладу всієї системи.

Необхідність такого контролю обумовлена тим, що окремі елементи батареї можуть мати тенденцію до «розгону» напруги. Оцінити загальний стан акумулятора можна лише на основі поелементного аналізу [11], оскільки відмова хоча б одного з елементів під час розряду спричиняє вихід з ладу всієї батареї. Як уже зазначалося, стабільне значення напруги на затискачах АКБ не гарантує рівномірного розподілу напруги між усіма її елементами.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точне регулювання напруги у режимі «плаваючого відновлення заряду» частково стабілізує ці процеси, але не усуває їх повністю.

Попри важливість поелементного моніторингу, розробка та впровадження таких систем здійснюється обмежено, хоча саме вони дозволяють завчасно виявляти проблемні елементи та оцінювати їхній ступінь зношення, запобігаючи несподіваним відмовам усієї батареї.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПОРЦЕСИ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АКБ

2.1 Параметрична оцінка ресурсу і працездатності АКБ.

Досвід експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів у різних галузях техніки свідчить про те, що точність контролю їхнього стану значно підвищується при визначенні концентрації та щільності електроліту з урахуванням експериментально встановлених залежностей між рівнем відновлення заряду та концентрацією електроліту в кожному елементі батареї. Використання сучасних ІТ-технологій сприяє ефективному аналізу та прогнозуванню змін параметрів АКБ.

Математична модель ґрунтується на статистичній обробці даних, отриманих під час експлуатації акумуляторних батарей, у поєднанні з даними систем контролю та діагностики. На основі цих даних формуються аналітичні залежності параметрів АКБ від змінних зовнішніх факторів. До математичного апарату входить матриця параметричних коефіцієнтів і коефіцієнтів пропорційності, які визначаються шляхом статистичного аналізу отриманих показників [12].

Аналітичний опис роботи свинцево-кислотного акумулятора як складової електричного кола передбачає визначення його основних характеристик: щільності електроліту, рівня використання потенціалу (УПЦ) та фактичної ємності за різних режимів роботи й умов експлуатації.

Режим функціонування акумулятора визначається значенням струму та тривалістю його проходження через електроди. Основними факторами, що впливають на експлуатаційні показники АКБ, є температура навколишнього середовища, тиск і механічні навантаження. У рамках розглянутої математичної моделі передбачається, що тиск залишається незмінним, а вплив механічних навантажень не враховується.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга на акумуляторі [13] змінюється залежно від режиму його роботи, що необхідно враховувати при аналізі працездатності батареї:

$$U = E \pm AU \quad (2.1)$$

де «-» - процес розряду; «+» - процес заряду; E – сила електрорушійна (ЕРС) АКБ; AU - внутрішнє падіння напруги.

Електрорушійна сила свинцево-кислотної батареї визначається як:

$$E = 0,85 + \delta + \delta_{POL}, \quad (2.2)$$

де δ – щільність електроліту (за температури +25 °С); δ_{POL} - ЕРС при поляризації.

Для визначення щільності електроліту за умови 25 °С використовуються формула:

$$\rho_{25} = \rho_{30} - 0,0006(25 - 30), \quad (2.3)$$

де ρ_{30} – щільність електроліту (за температури +30 °С).

Тоді залежність щільності електроліту батареї від її режиму роботи описується залежністю:

$$P(t) = \rho_0 \pm kC(t), \quad (2.4)$$

де «-» - процес розряду; «+» - процес заряду; k - коефіцієнт пропорційності, ρ_0 - щільність електроліту.

Величину внутрішнього падіння напруги на АКБ визначають за виразом:

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U = Ir, \quad (2.5)$$

де r – опір АКБ внутрішній, $r = 2Ae^{-\frac{C}{C_H}100B}$, A , B – коефіцієнти, що відповідають певному типу батареї; $(C/C_H)100$ – показник відновлення заряду батареї (C_H – ємкість батареї номінальна).

Функція ємкості АКБ від часу визначається як:

$$C(t) = C_0 \pm It, \quad (2.6)$$

З врахування вище описаних формул вираз для оцінки напруги на клеммах АКБ матиме наступний вигляд:

$$U(t) = 0,85 + \varepsilon_{pol.} + \rho_0 \pm k(C_0 \pm It) \pm Ae^{-\left(\frac{C_0 \pm It}{C_H}100\right)B} \quad (2.7)$$

Метод автокорекції каналу вимірювання щільності електроліту дозволяє уточнювати математичну модель, що описує зміну цього параметра. Вона базується на аналізі статистичних даних у режимі реального часу [2]:

$$\rho + \rho(C), \quad (2.8)$$

де: C – ємність, котру отримує батарея, ρ – величина щільності електроліту.

Результати експериментальних досліджень показують, що між щільністю електроліту та ємністю існує лінійна залежність, яка дозволяє прогнозувати зміни цього параметра під час роботи акумулятора:

$$\rho(C) = \rho_0 \pm kC \quad (2.9)$$

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення коефіцієнта пропорційності методом математичної статистики.

Проблему оцінки щільності електроліту можна спростити до знаходження коефіцієнта пропорційності, використовуючи методи математичної статистики [14]:

$$k = \frac{\rho_k - \rho_n}{C_z} \quad (2.10)$$

де: ρ_n – початкова щільність перед відновленням заряду, г/см³; ρ_k – щільність електроліту після завершення процесу відновлення заряду, г/см³; k – коефіцієнт, що характеризує зміну щільності електроліту на одиницю отриманої ємності, г/(см³·А·год), C_z – отримана ємність у процесі заряджання, А·год.

Для аналізу використовується вибірка динамічних змін щільності електроліту $\Delta\rho = \rho_k - \rho_n$, що спостерігалися упродовж 150 циклів відновлення заряду для конкретного типу акумуляторної батареї [2].

Розв'язання цього завдання включає такі етапи:

- встановлення закону розподілу випадкової величини $\Delta\rho$;
- визначення параметрів цього розподілу;
- перевірка достовірності висунутої гіпотези щодо характеру розподілу.

Після обробки статистичних даних формується графічне представлення результатів у вигляді гістограми та емпіричної функції розподілу (рисунки 2.1, 2.2). Таблиця 2.1 містить значення зміни щільності електроліту на відповідних інтервалах вибірки.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Зміна щільності $\Delta\rho$.

інтервал вибірки	$\Delta\rho, \text{г}/(\text{см}^3 \cdot \text{А} \cdot \text{год})$	інтервал вибірки	$\Delta\rho, \text{г}/(\text{см}^3 \cdot \text{А} \cdot \text{год})$
1	$2,17861 \cdot 10^{-6}$	7	$9,57197 \cdot 10^{-6}$
2	$3,41084 \cdot 10^{-6}$	8	$1,08042 \cdot 10^{-5}$
3	$4,64306 \cdot 10^{-6}$	9	$1,20364 \cdot 10^{-5}$
4	$5,87529 \cdot 10^{-6}$	10	$1,32686 \cdot 10^{-5}$
5	$7,10751 \cdot 10^{-6}$	11	$1,45009 \cdot 10^{-5}$
6	$8,33974 \cdot 10^{-6}$	12	$1,57331 \cdot 10^{-5}$

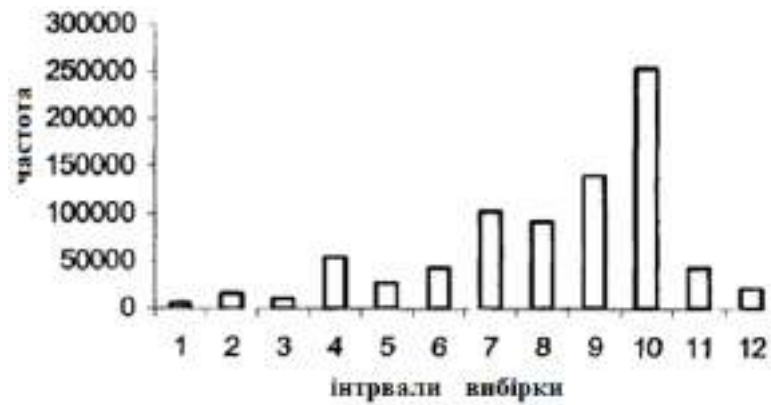


Рисунок 2.1 – Статичний ряд щільності



Рисунок 2.2 – Розподіл функції

Аналіз розподілу щільності електроліту.

Отриманий розподіл відповідає нормальному закону, а його функція розподілу має форму кривої Гауса.

Графічно подібні статистичні ряди можуть відрізнятися за такими характеристиками:

- Емпіричне середнє \bar{X} – середнє значення ознаки, навколо якого концентруються результати спостережень.

- Середнє квадратичне відхилення S – показник, що відображає ступінь розсіювання значень відносно емпіричного середнього.

- Коефіцієнт асиметрії – визначає ступінь викривлення гістограми розподілу.

- Коефіцієнт ексцесу – характеризує гостроверхність гістограми.

Для розглянутого статистичного ряду (рис. 2.1) ці показники визначено та представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри ряду статистичного.

1	Емпірична середня $\Delta\rho^0$, гр./см ³	$1,10917 \cdot 10^6$
2	Середньоквадратичне відхилення признаку $\Delta\rho^0$, гр./см ³	$2,86385 \cdot 10^6$
3	Асиметрія	-0,950719337
4	Ексцес	-3

2.2 Методика оцінки щільності електроліту.

Генеральне середнє значення щільності електроліту акумуляторної батареї визначає основну тенденцію її змін під час циклів відновлення заряду. Середньоквадратичне відхилення, у свою чергу, відображає ступінь розсіювання значень щільності відносно емпіричного середнього показника.

Залежність щільності електроліту від кількості накопиченої ємності в

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесі зарядження може бути описана рівнянням [2]:

$$\rho(C) = 1,11 \cdot 10^5 C + \rho_n, \text{ г/см}^3 \quad (2.12)$$

На основі статистичних даних будується графік залежності щільності електроліту від відновлення зарядної ємності (рис. 2.3). Графік містить три основні лінії.

Ці дані дозволяють оцінити зміну щільності електроліту під час зарядження та контролювати відхилення від нормативних значень.

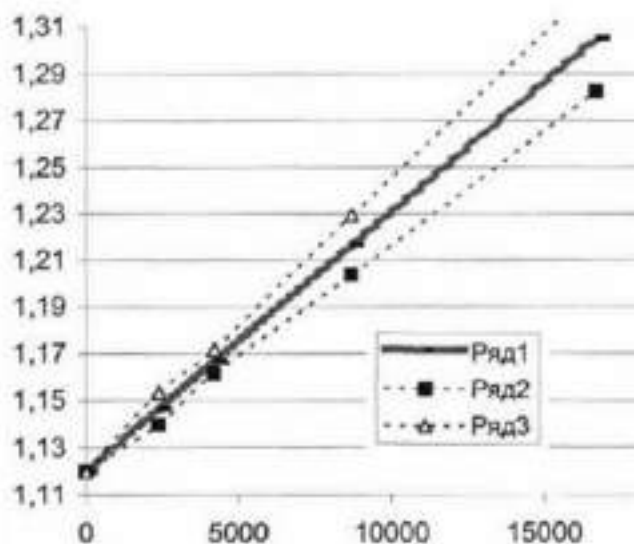


Рисунок 2.3 – Графіки функції $\rho(C)$..

ряд 1 – генеральне середнє значення щільності акумуляторної батареї, ряд 2 – нижня межа допустимого діапазону щільності, ряд 3 – верхня межа щільності.

Аналіз графіка (рис. 2.3) показує, що в процесі відновлення заряду щільність електроліту залишається в межах діапазону, обмеженого верхньою та нижньою границею середнього відхилення, при цьому тяжіючи до генерального середнього значення.

Отримані результати можуть бути використані в таких випадках:

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- При розробці аналізатора стану АКБ, який забезпечує автокорекцію визначення щільності електроліту під час відновлення заряду на основі інтелектуального алгоритму.

- Для імітаційного моделювання процесів у АКБ, що дозволяє прогнозувати її поведінку за різних умов експлуатації.

У системах контролю та діагностики акумуляторних батарей (СКД АКБ), де застосовуються алгоритми автокорекції щільності під час заряду, особливу роль відіграє точність даних щодо отриманої ємності, які надходять від блоку обробки інформації.

Функція щільності в СКД АКБ повинна відповідати необхідним умовам коригувального алгоритму для забезпечення коректної роботи системи.

$$\rho_0 = \rho_n, \rho_I = k(C_I - C_{I-1}) + \rho_{I-1}, \quad (2.13)$$

де k – пропорційний коефіцієнт, г/(см³Агод), ρ_n - щільність електроліту до початку заряду АКБ, г/см; ρ_{I-1} - щільність електроліту на попередньому етапі ітерації, г/см; ρ_0 - щільність електроліту на поточному етапі ітерації, г/см; $(C_I - C_{I-1})$ - величина приросту ємності під час заряду АКБ, Агод.

Результати експериментальних вимірювань щільності електроліту акумуляторної батареї протягом 12-годинного циклу відновлення заряду відображені на графіку (рис. 2.4). Аналіз отриманих даних показує, що зміна щільності має нелінійний характер.

Закономірності зміни щільності електроліту під час відновлення заряду. На основі отриманих експериментальних даних закономірності зміни щільності електроліту під час заряджання можуть бути виражені математично [15]:

$$\rho(C) = k(C)C + \rho_n, \quad (2.14)$$

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k(C) = -S \sin\left(\frac{C2\pi}{C_{nom}}\right) + k_0, \quad (2.15)$$

де: S – середньоквадратичне відхилення коеф. k_0 , г/см³; C – отримане значення ємності під час заряду АКБ, А·год; k_0 – номінальний коефіцієнт щільності у лінійній залежності, г/см³; C_{nom} – номінальна ємність акумуляторної батареї, А·год.

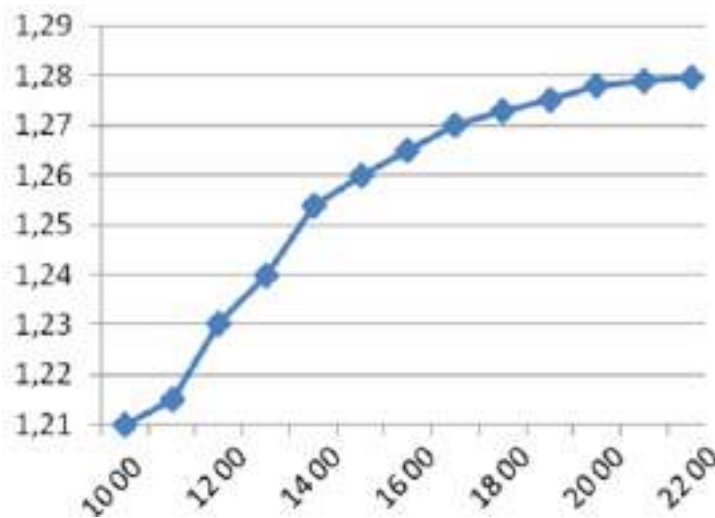


Рисунок 2.4 – Залежність щільності електроліту при заряді АКБ.

З урахуванням цих параметрів рівняння, що описує залежність щільності електроліту від відновлення заряду, можна подати у вигляді [2]:

$$\rho(C) = \left(-S \sin\left(\frac{6,28C}{C_{nom}}\right) + k_0 \right) C + \rho_n. \quad (2.16)$$

Таким чином, аналіз змін щільності електроліту дозволяє визначати її поведінку залежно від зарядної ємності (рис. 2.5), що дає змогу наблизитися до вирішення поставленого завдання у другому наближенні.

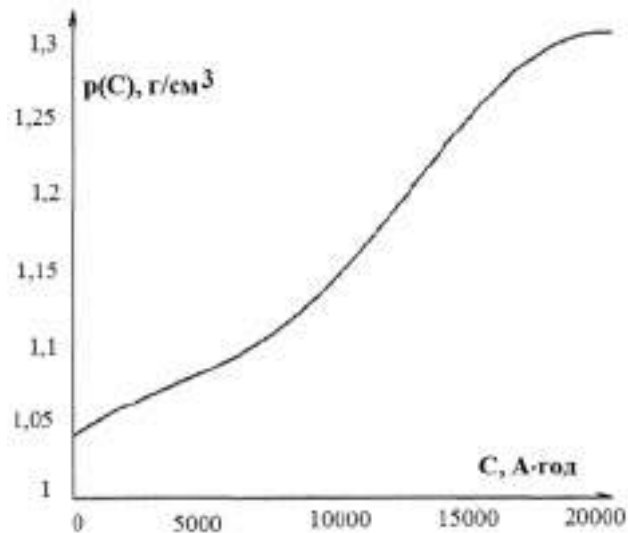


Рисунок 2.5 – Поведінка величини щільності електроліту АКБ від величини зарядної ємкості.

2.3 Моделювання роботи та методів заряду АКБ.

Моделювання режимів роботи акумуляторної батареї (АКБ) є важливим етапом при розробці методів [16]. В процесі імітаційного моделювання необхідно враховувати три основні режими функціонування АКБ [17]:

- Відновлення заряду.
- Розряд.
- Зберігання.

При цьому слід зважати на:

- особливості експлуатації акумулятора в різних режимах,
- вплив нестандартних ситуацій, які можуть виникнути в процесі роботи.

При моделюванні роботи АКБ спочатку визначається початковий розподіл напруг для її базового стану перед переходом у певний режим. Виходячи з початкових даних (зокрема середнього значення напруги), обчислюється напруга кожного елемента батареї за формулою:

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_i = U_{cp} + AC, \quad (2.17)$$

де: AC – величина відхилення від значення середнього, що визначається на основі статистичних даних; U_i – напруга на окремому елементі акумулятора; U_{cp} – значення напруги, В для всієї групи (середнє).

Далі задають параметри режиму (тривалість, температура, сила струму, тощо).

При розрахунку щільності і напруги електроліту АКБ необхідно враховувати:

- залежність рівня електроліту від температури,
- зв'язок часу розряду з вихідними параметрами.

Відновлення заряду нестабілізованим струмом [18].

На рисунку 2.6 представлена базова схема заряджання акумулятора за допомогою нестабілізованого джерела живлення.

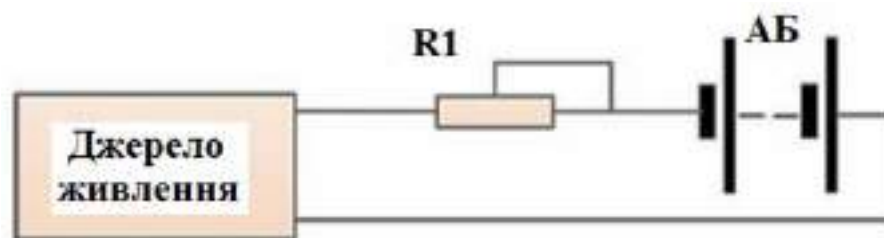


Рисунок 2.6 – Схема для заряду батареї не стабілізованим струмом.

У цій схемі використовується трансформатор у поєднанні з випрямляючим діодним мостом. Реостат $R1$ регулює струм зарядження.

Переваги такого методу:

- простота конструкції,
- низька вартість обладнання.

Недоліки:

- невисокий коефіцієнт корисної дії через втрати енергії на реостаті.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- залежність струму зарядження від напруги мережі та ступеня зарядженості акумулятора,
- ризик як недостатнього, так і надмірного зарядження, що може негативно позначитися на ресурсі батареї,
- необхідність постійного контролю процесу та ручного регулювання, Відновлення заряду акумуляторної батареї стабілізованим струмом.

На рисунку 2.7 представлена структурна схема зарядного пристрою, що працює за певним алгоритмом. Принцип його дії полягає в наступному:

- Контролер пристрою вимірює напругу на клеммах акумулятора.
- Якщо напруга опускається нижче встановленого мінімального рівня, активується ключ, і починається заряджання стабілізованим струмом.
- Коли напруга досягає верхнього допустимого значення, пристрій відключає ключ, припиняючи процес заряджання.
- Якщо після цього напруга знижується, весь цикл відновлення заряду повторюється.

Такий підхід забезпечує стабільність процесу заряджання та запобігає як перезарядженню, так і недостатньому відновленню заряду акумулятора.



Рисунок 2.7 – Схема заряду батареї струмом стабілізованим.

Цей метод має кілька важливих переваг:

- Автоматизований процес, що зменшує потребу в постійному контролі.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- Вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з нестабілізованими методами.

- Струм заряду не залежить від коливань напруги в мережі та рівня зарядженості акумулятора.

Однак є й недоліки:

- Більш складна конструкція, що підвищує вартість пристрою.

- Існує ризик перезарядження.

- Не завжди забезпечується зарядження акумулятора до 100% ємності.

При використанні великого струму зарядження напруга на клеммах зростає швидко, і до моменту вимкнення акумулятор може не встигнути набрати необхідну ємність. Якщо ж заряджати малим струмом, акумулятор поступово досягає 100% ємності, але через повільне зростання напруги відключення може не відбутися вчасно, що може призвести до кипіння електроліту та перезарядження.

Відновлення заряду стабілізованою напругою.

Цей метод (рис. 2.8) часто застосовується в автомобілях для оперативного зарядження акумулятора. У цьому випадку стабілізатором напруги виступає генератор постійного струму, напруга якого автоматично підтримується реле-регулятором.



Рисунок 2.8 – Схема заряду батареї напругою стабілізованою.

Для 12-вольтової акумуляторної батареї напруга бортової мережі повинна становити 14,4 В. На початковому етапі зарядження струм має максимальне значення через значну різницю між напругою джерела живлення та акумулятора. Чим більша потужність зарядного пристрою та

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

чим більше розряджений акумулятор, тим вищий струм зарядження. У міру відновлення заряду напруга на батареї поступово зростає, а зарядний струм відповідно зменшується до мінімального рівня.

Цей метод має низку переваг:

- Автоматичне зменшення зарядного струму у міру збільшення рівня зарядженості батареї.
- Швидке відновлення заряду, що дозволяє оперативно заряджати акумулятор.

Проте є і певні недоліки:

- Необхідність точної установки напруги джерела живлення, оскільки неправильні параметри можуть спричинити як неповне зарядження, так і перезаряд.
- На початковому етапі струм зарядження може бути дуже високим, що може негативно вплинути на ресурс акумулятора.

Двоступінчастий метод зарядження. У двоступінчастих зарядних пристроях, рис. 2.9 [18], процес зарядження батареї відбувається у два етапи:

1. Перша стадія – зарядження стабілізованим струмом (I), що забезпечує швидке поповнення заряду.
2. Друга стадія – перехід до стабілізованої напруги (U), що дозволяє повністю зарядити акумулятор і уникнути його перезаряду.



Рисунок 2.9 – Структурна схема двоступінчастого зарядного пристрою

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Процес стабілізації напруги відбувається при досягненні порогового значення 13,8 В. Хоча алгоритм зарядження є досить складним, його використання цілком виправдане.

На першому етапі (рисунок 2.10) акумулятор швидко накопичує основну частину своєї ємності, при цьому електроліт не доходить до кипіння. Якщо ж зарядження проводити лише у режимі стабілізації струму, то для повного відновлення ємності довелося б підвищувати напругу понад 2,3 В на елемент, що призвело б до кипіння електроліту. Це, у свою чергу, посилює електрохімічні процеси в батареї, що може суттєво скоротити її термін експлуатації.

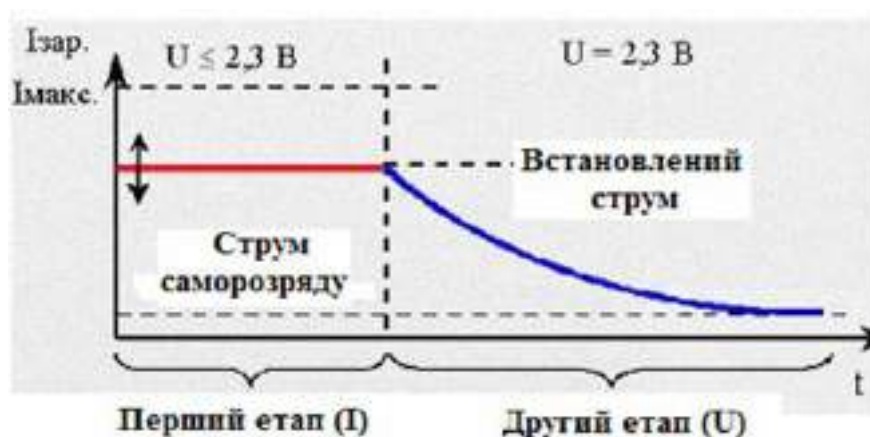


Рисунок 2.10 – Двоступінчасте зарядження акумуляторної батареї.

Для усунення недоліків, пов'язаних із зарядженням стабілізованим струмом, застосовується другий етап – зарядження стабілізованою напругою. Перехід до цього режиму відбувається після досягнення рівня 2,3 В на одну комірку акумулятора. При цьому здійснюється плавний перехід між режимами без різких змін струму, які характерні для методів стабілізації лише за напругою.

У цьому режимі зарядний струм поступово зменшується, зрештою знижуючись до рівня, що відповідає струму саморозряду акумулятора. Такий

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

алгоритм дозволяє уникнути сульфатації, запобігає перезарядженню та забезпечує повне (100%) зарядження батареї. Окрім того, акумулятор може залишатися підключеним до зарядного пристрою протягом тривалого часу без ризику його пошкодження.

Однак цей метод має і певні недоліки:

- більш тривалий час заряджання,
- вища вартість зарядного обладнання.

Відновлення заряду асиметричним струмом. Дослідження процесу зарядження свинцево-кислотних акумуляторів асиметричним струмом тривають, і цей метод залишається предметом наукових дискусій. Його суть полягає в чергуванні імпульсів зарядного та розрядного струму різної величини. Припускається, що такий підхід може подовжити термін служби АКБ та зменшити ефект сульфатації пластин.

Однак на даний момент немає єдиної думки щодо ефективності цього методу. Не існує точних наукових обґрунтувань щодо оптимальних параметрів імпульсів – їхньої форми, тривалості та частоти. Крім того, зарядні пристрої, що випускаються серійно, зокрема у військовій промисловості, зазвичай не мають такого режиму, що також ставить під сумнів його доцільність.

Можна припустити, що метод асиметричного струму має певний позитивний ефект. Однак з точки зору співвідношення ефективності та складності реалізації (а отже, і вартості), його переваги залишаються неочевидними.

Прискорене зарядження АКБ. Прискорене зарядження – це режим, при якому струм заряду перевищує 10% від номінальної ємності свинцево-кислотного акумулятора. Це дозволяє значно скоротити час відновлення заряду. Однак основним недоліком цього методу є підвищене зношування акумуляторної батареї [19].

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контрольно-тренувальний цикл зарядження-розрядження.

Контрольно-тренувальний цикл проводиться для запобігання сульфатації пластин та визначення фактичної ємності акумулятора. Такі цикли рекомендується виконувати не рідше ніж раз на рік за наступною методикою:

1. Зарядження – акумуляторна батарея повністю заряджається нормальним струмом (будь-яким із описаних методів).

2. Витримка – після завершення зарядження АКБ залишається в спокої на 3 години.

3. Корекція – за необхідності коригується щільність електроліту.

4. Перемішування – батарея додатково заряджається протягом 20-30 хвилин для рівномірного розподілу електроліту.

5. Контрольний розряд – здійснюється розрядка постійним струмом у 10-годинному режимі, після чого фіксується час досягнення напруги 1,7 В на кожен комірці (10,2 В для всієї АКБ).

6. Оцінка ємності – визначається як добуток розрядного струму та часу розрядження.

7. Повторне зарядження – після контрольного розряду батарея негайно заряджається до повного відновлення ємності.

Якщо ємність АКБ виявиться нижчою за 50% від номінального значення, вона вважається несправною.

Автоматизований та неавтоматизований контрольний розряд.

Неавтоматизований контрольний розряд потребує постійного нагляду обслуговуючого персоналу для регулювання та фіксації параметрів струму. Водночас автоматизовані системи дозволяють здійснювати стабілізацію струму та підрахунок ємності без участі оператора.

Аналіз різних методів зарядження акумуляторних батарей свідчить, що у більшості практичних випадків найбільш ефективним є зарядження стабілізованим струмом з подальшим переходом у режим стабілізації за

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напругою. Такий підхід забезпечує оптимальне співвідношення між швидкістю зарядження, ресурсом батареї та енергетичною ефективністю.

Процеси, що відбуваються під час зарядження акумуляторної батареї. При підключенні акумулятора до джерела постійного струму у зовнішньому ланцюзі встановлюється напрямлений рух електронів до його негативного виводу.

На негативному електроді двовалентні іони свинцю відновлюються, взаємодіючи з електронами, що надходять. Це призводить до утворення губчастого свинцю на пластинах та формування сірчаної кислоти $PbSO_4 + 2e = Pb + SO_4^{2-}$.

На позитивному електроді під дією зарядного струму двовалентні іони свинцю окислюються, втрачаючи два електрони, і перетворюються на чотирьохвалентні. Взаємодіючи з іонами кисню, вони утворюють двоокис свинцю, що осідає на електроді. У той же час іони SO_4 та H^+ формують сірчану кислоту, підвищуючи щільність електроліту. Загальна реакція процесу виглядає так $PbSO_4 + 2H_2O = PbO_2 + Pb + H_2SO_4$.

Ознаки завершення зарядного процесу.

Коли хімічні перетворення в активних речовинах електродів повністю завершуються, зміна щільності електроліту припиняється, що є основним показником завершення зарядження акумулятора.

Якщо заряджання продовжується після цього моменту, починається електроліз води, що входить до складу електроліту. В результаті відбувається виділення кисню та водню у вигляді бульбашок, і батарея «закипає». Це також є характерною ознакою повного зарядження акумулятора.

Процес розрядження акумуляторної батареї.

Під час розрядження акумулятора на негативному електроді відбувається часткове розчинення свинцю в електроліті з утворенням позитивних іонів: $Pb = 2e + Pb^{2+}$.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

При цьому вивільнені електрони створюють негативний заряд на електроді, що спричиняє протікання електричного струму у зовнішньому колі – електрони рухаються до позитивного електрода [20].

Далі іони свинцю Pb^{2+} , що утворилися, взаємодіють із негативними іонами сульфату SO_4^{2-} , формуючи сульфат свинцю: $Pb^{2+} + SO_4^{2-} = PbSO_4$.

Оскільки сульфат свинцю має низьку розчинність, він відкладається на поверхні негативного електрода. У результаті цього процесу активна маса негативних пластин змінюється – губчастий свинець перетворюється на сульфат свинцю, а колір пластин змінюється з темно-сірого на світло-сірий.

На позитивному електроді відбувається розчинення двоокису свинцю в електроліті, хоча цей процес менш інтенсивний, ніж на негативному електроді. Взаємодія двоокису свинцю з водою призводить до дисоціації, унаслідок чого утворюються іони чотирьохвалентного свинцю та гідроксид-іони.

Хімічні процеси на позитивному електроді під час розрядження.

Іони PbO_2 створюють позитивний потенціал на електроді. Приєднуючи електрони, які надходять із зовнішнього електричного кола від негативного електрода, вони відновлюються до іонів двовалентного свинцю: $PbO_2 + 2H_2O = Pb(OH)_4 = Pb^{4+} + 4OH^-$.

Отримані іони Pb^{4+} вступають у реакцію з сульфат-іонами SO_4^{2-} , унаслідок чого формується сульфат свинцю, який відкладається на поверхні позитивного електрода. У міру розрядження активна маса позитивної пластини перетворюється з двоокису свинцю в сульфат свинцю, що супроводжується зміною її кольору з темно-коричневого на світло-коричневий.

Процес сульфатації.

В обох електродах відбувається процес сульфатації, оскільки активні речовини на позитивному і негативному електродах трансформуються у сульфат свинцю $PbSO_4$. Водночас у ході реакції витрачається сірчана кислота,

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а іони H^+ та OH^- утворюють воду, що спричиняє зниження щільності електроліту.

Хімічні рівняння процесів. Реакція на позитивному електроді:
 $PbO_2 + 2e + 4H^+ + SO_4^{2-} = PbSO_4 + 2H_2O$.

Реакція на негативному електроді: $Pb - 2e + SO_4^{2-} = PbSO_4$.

Загальна реакція, що описує процеси на обох електродах:
 $PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 = 2PbSO_4 + 2H_2O$.

Баланс утворення води. Важливо зазначити, що на кожні дві витрачені молекули сірчаної кислоти утворюються чотири молекули води. Однак з огляду на те, що дві молекули води використовуються для гідратації, у підсумку формується лише дві нові молекули води.

Режим зберігання акумуляторної батареї. У режимі зберігання акумулятор поступово втрачає ємність через саморозряд, що відбувається навіть за відсутності підключеного зовнішнього навантаження. Це явище спричинене мимовільними окислювально-відновними процесами, які відбуваються як на негативному, так і на позитивному електродах.

Найбільшому саморозряду піддається негативний електрод, оскільки свинець, що входить до його складу, поступово розчиняється в електроліті під дією сірчаної кислоти: $Pb + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + H_2 \uparrow$.

Цей процес супроводжується виділенням водню в газоподібному стані. Швидкість розчинення свинцю значно зростає зі збільшенням концентрації сірчаної кислоти. Наприклад, якщо щільність електроліту збільшується з 1,27 до 1,32 г/см³, швидкість саморозряду негативного електрода зростає приблизно на 40%.

Також на інтенсивність саморозряду впливають домішки металів, які можуть міститися в сировині, електроліті або сепараторах. Вони знижують перенапругу виділення водню, що прискорює процес розчинення свинцю. Деякі метали з мінливою валентністю (наприклад, залізо) можуть діяти як переносники зарядів між електродами. У такому випадку іони металів

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відновлюються на негативному електроді, а потім окислюються на позитивному, сприяючи саморозряду.

На позитивному електроді саморозряд відбувається значно повільніше і спричинений наступною реакцією: $2PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O + O_2 \uparrow$.

Як і у випадку з негативним електродом, швидкість цього процесу зростає зі збільшенням концентрації електроліту. Проте загалом саморозряд позитивного електрода відбувається у кілька разів повільніше, ніж у негативного.

Додаткові фактори саморозряду акумуляторної батареї.

Окрім основних хімічних процесів, що викликають саморозряд, існують й інші фактори, які можуть його прискорювати.

Однією з причин є різниця потенціалів між матеріалом струмовідводу та активною масою позитивного електрода. Це призводить до утворення гальванічного мікроелемента, який генерує струм. У результаті цього процесу свинець струмовідводу та двоокис свинцю, що входять до складу активної маси, перетворюються в сульфат свинцю, сприяючи саморозряду.

Ще один можливий механізм саморозряду пов'язаний із забрудненням поверхні акумулятора. Якщо батарея залита електролітом, водою або іншими рідинами, це може створити електропровідну плівку між полюсними виводами або перемичками акумулятора, що призведе до витoku заряду. Такий саморозряд за своїми характеристиками подібний до звичайного розряду малими струмами через замкнуте електричне коло. Проте він легко усувається – для цього достатньо підтримувати корпус батареї в чистоті [19].

Вплив температури на саморозряд.

Саморозряд акумулятора значною мірою залежить від температури електроліту. Як показано на рисунку 2.11, зниження температури призводить до уповільнення цього процесу. При температурах нижче 0 °C саморозряд у нових акумуляторних батареї практично зупиняється.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

З огляду на це оптимальним способом зберігання акумуляторних батарей є їхнє утримання в зарядженому стані при низьких температурах (до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Графік також демонструє, що під час експлуатації саморозряд не залишається постійним, а з віком батареї значно прискорюється, особливо на завершальних етапах її терміну служби.

Способи зниження саморозряду акумуляторної батареї.

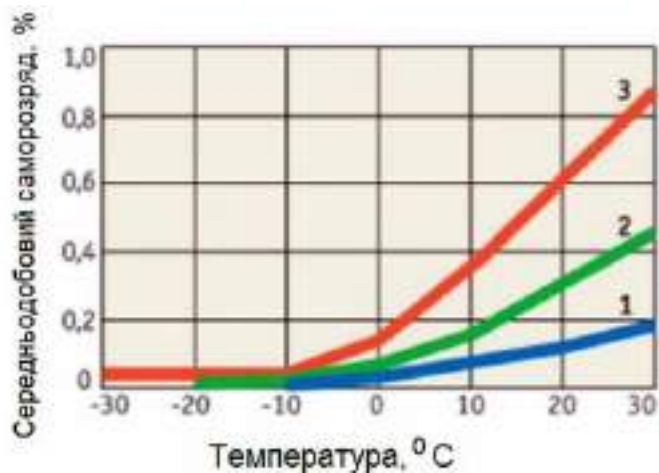


Рисунок 2.11 – Динаміка саморозряду не обслуговуваної акумуляторної батареї протягом трьох місяців залежно від температури та тривалості експлуатації (втрата ємності – 2,5%):

1 – новий акумулятор, 2 – акумулятор після середнього терміну експлуатації, 3 – акумулятор на завершальному етапі служби.

Зменшення рівня саморозряду можливе шляхом використання високочистих матеріалів у виробництві акумуляторних батарей. Основними заходами, що сприяють цьому, є:

- зниження вмісту легуючих елементів у свинцевих сплавах,
- застосування високоякісної сірчаної кислоти та дистильованої води (або очищених аналогів) для приготування електроліту як під час виробництва, так і в процесі експлуатації.

Наприклад, зменшення концентрації сурми у складі струмовідводів із 5% до 2% разом із використанням дистильованої води для всіх технологічних електролітів дозволяє знизити середньодобовий саморозряд у 4 рази.

Ще більше зменшити швидкість саморозряду можна шляхом заміни сурми на кальцій у свинцевих сплавах. Крім того, ефективним рішенням є використання спеціальних органічних інгібіторів, які уповільнюють небажані хімічні процеси, що спричиняють втрату ємності акумулятора.

2.4 Моделювання факторів, що впливають на втрату працездатності АКБ.

При імітаційному моделюванні роботи акумуляторної батареї необхідно враховувати вплив як зовнішніх, так і внутрішніх чинників, що виникають у процесі її експлуатації. Також слід брати до уваги умови, які спричиняють втрату працездатності АКБ.

Основними причинами зниження ефективності та виходу з ладу акумулятора можуть бути:

- Коротке замикання – відбувається через зниження опору ізоляції.
- Витік електроліту – може статися внаслідок підвищення його рівня в батареї.
- Сульфатація електродів, що виникає через:
 - зниження щільності електроліту,
 - передчасне досягнення кінцевої напруги під час розряду.
- Розчинення мідних ґрат негативних електродів, яке спричиняється:
 - значним падінням напруги при розряді або зарядженні,
 - зниженням щільності електроліту.
- Коротке замикання між електродами у двох контрольних акумуляторах, що може відбутися через:
 - критичне зниження напруги акумулятора,

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зменшення щільності електроліту.

- Підвищений саморозряд, при якому відбувається втрата електроенергії навіть за відсутності зовнішнього навантаження.

Саморозряд найбільш виражений на негативному електроді, де свинець повільно розчиняється в електроліті, утворюючи сульфат свинцю та водень. При цьому саморозряд на позитивному електроді значно менш інтенсивний.

Швидкість саморозряду може зростати через домішки металів у складі електроліту. Наприклад, наявність заліза та інших кислот прискорює цей процес, тому використання технічної сірчаної кислоти, що містить понад 0,01% залізовмісних сполук, є небажаним. Також додавання сурми до решіток акумуляторів для підвищення їхньої міцності сприяє збільшенню саморозряду.

Для зменшення втрат енергії використовують безсурмянисті акумулятори, у яких свинець активується кальцієм. Такі батареї мають значно нижчий рівень саморозряду.

Нормальним рівнем саморозряду вважається втрата не більше 1% ємності на добу або 30% за місяць. Якщо цей показник перевищено, батарея потребує перевірки та корекції умов експлуатації.

Процеси саморозряду особливо активно відбуваються у розряджених і зношених акумуляторах, що сприяє прискореній сульфатації пластин та погіршенню їхніх робочих характеристик.

Для мінімізації негативних наслідків саморозряду рекомендується:

- використовувати високоякісний електроліт,
- підтримувати оптимальну щільність електроліту,
- зберігати акумулятор у зарядженому стані,

Моделювання факторів, що спричиняють втрату працездатності акумуляторної батареї, здійснюється шляхом введення коригувального коефіцієнта K у рівняння (2.17). Значення цього коефіцієнта залежить від конкретного виду позаштатної ситуації [20].

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АВТОМОБІЛЯ

3.1 Розробка системи контролю та діагностики акумуляторної батареї.

На основі аналізу існуючих патентів та проведених досліджень була виконана модернізація конструкцій систем діагностики акумуляторних батарей [21-23].

Запровадження системи моніторингу та діагностики в режимі реального часу дозволить здійснювати постійний збір даних про такі ключові параметри, як напруга, струм, ємність, рівень електроліту та температура для кожного елемента АКБ. Це значно скоротить необхідність ручного зчитування даних та спростить експлуатацію акумуляторних батарей.

Для досягнення цієї мети пропонується інтегрувати в корпус акумуляторної батареї діагностичний комплекс, здатний не лише контролювати зазначені параметри, але й аналізувати щільність електроліту та інші показники з подальшою передачею оброблених даних на комп'ютерний дисплей.

У кожній із шести секцій акумулятора передбачається встановлення трьох типів датчиків:

- датчиків щільності,
- датчиків температури,
- вольтметрів.

Ці сенсори реєструватимуть відповідні параметри, передаючи інформацію на контролер для подальшої обробки.

Рисунок 3.1 ілюструє спрощену схему запропонованого діагностичного комплексу АКБ, де: ПК – контрольна панель для відображення даних, БК – блок контролю та обробки сигналів.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обробка аналогових сигналів, отриманих від датчиків, та їхня подальша передача у цифровому форматі на комп'ютер здійснюється за допомогою контролера універсального «Arduino Mega 2560» (рис. 3.2) [24].

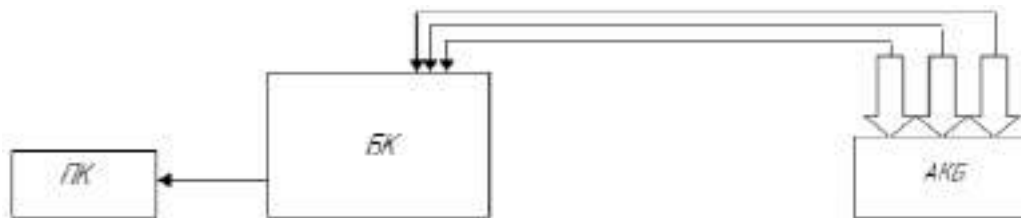


Рисунок 3.1 – Спрощена схема діагностичного комплексу АКБ



Рисунок 3.2 – Контролер Універсальний «Arduino Mega 2560»

Опис апаратної частини системи моніторингу АКБ.

Контролер «Arduino Mega 2560» побудований на основі мікроконтролера «ATmega2560». Він оснащений 54 цифровими входами/виходами (14 з яких можуть працювати в режимі ШІМ), 16 аналоговими входами, 4 послідовними портами UART, а також має кварцовий генератор 16 МГц, USB-конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Живлення контролера може здійснюватися через USB-з'єднання з комп'ютером, адаптер AC/DC або від акумуляторної батареї.

Вимірювання температури та контролю щільності електроліту.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Для визначення температури електроліту застосовуються датчики «DS18B20 type», які мають металевий корпус і стійкі до впливу агресивних середовищ.

Контроль щільності електроліту здійснюється за допомогою спеціального пристрою власної розробки, що складається з:

- джерела високочастотної напруги,
- датчика з п'єзоелектричними випромінюючими та приймальними перетворювачами,
- обчислювального модуля.

Відмінною особливістю цього пристрою є наявність двоканального акустичного тракту. Перший канал формується парою випромінювач-приймач, між якими знаходиться звукопровід, виконаний із магнітострикційного матеріалу, внутрішня поверхня якого контактує з електролітом. Метод визначення щільності базується на швидкості поширення звуку в рідкому середовищі.

Обробка даних та виведення результатів.

Контролер «Arduino» виконує первинну обробку сигналів, що надходять із аналогових датчиків (зокрема, щільності), а також обробляє сигнали цифрових датчиків температури. Після виконання необхідних обчислень отримані дані про стан АКБ (зокрема, напругу, ємність, середню температуру, критичну щільність) можуть бути виведені на графічний дисплей та екран ПК.

На рисунку 3.3 представлена схема підключення датчика температури DS18B20, що працює під управлінням контролера.

Обробка та аналіз даних АКБ.

Після виконання розрахунків отримані дані можуть бути передані в цифровому форматі через USB-інтерфейс на персональний комп'ютер. Подальша обробка здійснюється в середовищі MatLAB Simulink, де

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводиться аналіз, побудова діаграм і візуалізація кінцевих результатів на моніторі ПК.

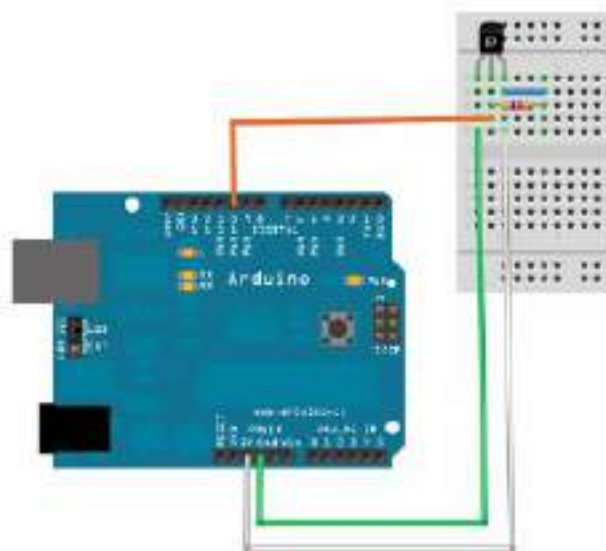


Рисунок 3.3 – Схема встановлення температурного датчика.

Методи визначення залишкової ємності акумулятора.

Для оцінки залишкової ємності акумуляторної батареї (АКБ) можна використовувати кілька методів:

1. Метод визначення залишкової ємності за тестовим навантаженням.

Цей спосіб передбачає підключення АКБ до контрольного навантаження та вимірювання напруги до підключення навантаження E і після підключення U_H . На основі цих значень визначається коефіцієнт розрядженості за формулою:

$$k = \frac{E_{\max} - E}{U_H - U_{\min}}, \quad (3.1)$$

де: E_{\max} – максимальна електрорушійна сила (ЕРС) акумулятора, E_{\min} – значення мінімально допустимої напруги на АКБ при розрядженні.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі, за відповідною залежністю, розраховується залишкова ємність батареї:

$$Q_{ort} = f(k). \quad (3.2)$$

2. Метод визначення залишкової ємності за допомогою зарядного конденсатора

Цей підхід реалізується за алгоритмом, описаним рівнянням:

$$Q_{xut} = \frac{CU}{2t_{zap}k}, \quad (3.3)$$

де: Q_{xut} – залишкова ємність АКБ, А·год, C – ємність конденсатора, що заряджається, Ф, U – напруга на АКБ, В, t_{zar} – час зарядження конденсатора, с, k – коефіцієнт, що враховує конструктивні та технологічні особливості батареї.

Ці методи дозволяють ефективно оцінити стан акумуляторної батареї та прогнозувати її подальшу експлуатацію.

Визначення параметрів акумуляторної батареї.

Окрім залишкової ємності, решту необхідних характеристик АКБ можна обчислити за допомогою стандартних методів. Для цього проводяться вимірювання:

- температури кожного акумуляторного елемента,
- загальної температури батареї,
- загальної напруги та напруги кожного елемента під навантаженням,
- щільності електроліту,
- внутрішнього опору акумулятора,
- інших діагностичних параметрів.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Взаємозв'язок механічної та програмної частин діагностичного комплексу.

Діагностичний комплекс, представлений на рисунку 3.4, складається з програмної та апаратної частин:

- Програмна частина [25] реалізована в середовищі MatLAB Simulink і включає модель режимів роботи акумулятора (PM) та конфігурацію ядра мікроконтролера (МК). Ядро конфігурації знаходиться безпосередньо на мікроконтролері, модель режимів роботи (PM) виконується на ПК у середовищі MatLAB.

- Апаратна частина включає:
- ПК, на якому розгорнуте середовище MatLAB,
- Мікроконтролер Arduino, що обробляє вхідні сигнали.
- Інтерфейс взаємодії між ПК і МК – програмний тунель RS-232, реалізований через USB-з'єднання.

Через цей інтерфейс передаються:

- команди конфігурації ядра мікроконтролера,
- команди управління периферійними пристроями,
- інформація про стан датчиків,
- оброблені розрахункові дані.

Система моніторингу параметрів АКБ.

Пристрій для контролю параметрів свинцево-кислотної батареї у реальному часі розташовується безпосередньо в корпусі акумулятора. До його складу входять:

- Датчики температури та рівня електроліту, що розміщуються всередині акумулятора, над блоком пластин.
- Безконтактні ультразвукові вимірювачі щільності, які встановлюються в кришку батареї.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контролер отримує показники з датчиків, аналізує їх із заданою періодичністю та діагностує стан АКБ під час увімкненої системи запалювання. Після обробки дані передаються через діагностичну шину, а результати відображаються на графічному дисплеї.

Взаємодія елементів пристрою моніторингу параметрів АКБ.

Рисунок 3.4 демонструє апаратно-програмну реалізацію діагностичної системи для контролю стану акумуляторної батареї.

На рисунку 3.5 представлена принципова схема взаємодії компонентів пристрою для моніторингу параметрів свинцевого акумулятора в реальному часі.

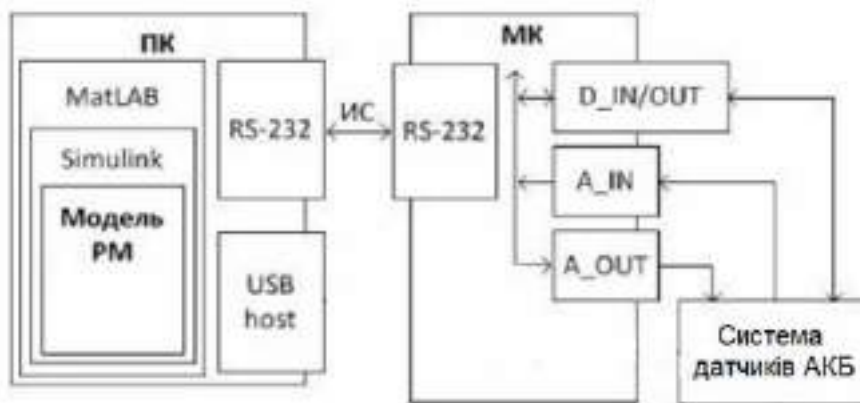


Рисунок 3.4 – Принцип реалізації системи діагностичної.

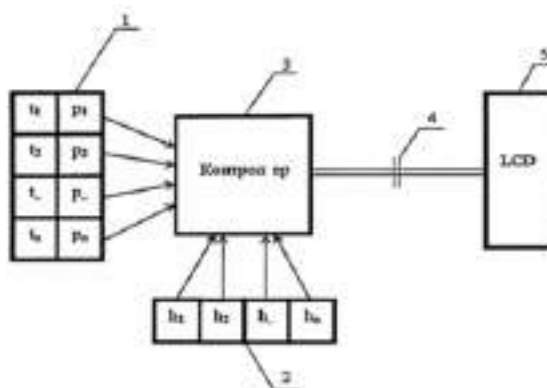


Рисунок 3.5 – Взаємодія елементів діагностичного пристрою.

Конструкція пристрою моніторингу.

Система складається з таких основних елементів:

1. Безконтактні ультразвукові датчики щільності рідини, розташовані у кришці акумулятора.

2. Датчики температури та рівня електроліту, встановлені безпосередньо всередині батареї, над блоком пластин.

- Для вимірювання рівня електроліту використовується вертикально розташований протяжний терморезистор, довжина якого відповідає допустимому діапазону змін рівня рідини.

- Уздовж терморезистора рухається поверхня електроліту, що дозволяє фіксувати зміни його рівня.

- До верхнього та нижнього кінців цього терморезистора закріплені додаткові терморезистори, що дозволяють отримувати точні показники температури.

3. Контролер, який обробляє отримані дані від датчиків.

4. Діагностична шина, через яку передаються оброблені дані.

5. Графічний дисплей, на якому відображаються результати діагностики.

Система забезпечує автоматичний моніторинг стану АКБ у реальному часі, аналізуючи показники щільності електроліту, температури та рівня рідини, що дозволяє запобігати передчасному виходу батареї з ладу та покращити її експлуатаційні характеристики.

Функціонування системи моніторингу параметрів акумуляторної батареї. Система моніторингу свинцево-кислотної акумуляторної батареї в реальному часі працює за таким принципом:

Після увімкнення системи запалювання контролер (3), розташований на кришці АКБ, виконує початкове зчитування даних із датчиків (1) та (2).

- Терморезисторні датчики (2) визначають температуру та рівень електроліту в кожному окремому відсіку акумулятора.

- Ультразвукові безконтактні вимірювачі (1), інтегровані в кришку батареї, визначають щільність електроліту.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зібрані дані передаються на контролер (3), який обробляє отриману інформацію та розраховує експлуатаційні параметри батареї, такі як:

- ємність,
- напруга,
- рівень зарядженості тощо.

Обчислені параметри передаються через діагностичну шину (4) на графічний дисплей (5) або екран комп'ютера для подальшого аналізу. Діагностична система працює в циклічному режимі, виконуючи вимірювання через встановлені проміжки часу під час роботи системи запалювання.

Переваги впровадження даної системи.

1. Циклічне вимірювання параметрів АКБ в режимі реального часу – моніторинг рівня, напруги, щільності та температури електроліту відбувається безперервно.

2. Мобільність та компактність – система розташована безпосередньо на корпусі акумулятора, що спрощує її використання.

3. Універсальність – можливість встановлення на акумуляторні батареї різних типів завдяки гнучкій конструкції.

Очікувані результати впровадження.

- Підвищення надійності АКБ – система запобігає несправностям, що особливо важливо при експлуатації в умовах віддаленості від сервісних центрів.

- Збільшення терміну служби акумулятора – своєчасне обслуговування дозволяє уникнути критичних відмов і передчасного зносу батареї.

3.3 Результати діагностики АКБ.

Планування експерименту – це процес визначення кількості та умов проведення досліджень, необхідних для отримання точних і достовірних результатів [16].

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При організації експериментальних досліджень важливо дотримуватись наступних принципів:

1. Мінімізація кількості дослідів – оптимізація процесу для зменшення витрат часу та ресурсів.
2. Одночасна зміна всіх ключових змінних – для об’єктивного вивчення впливу різних факторів на досліджуваний процес.
3. Формалізація досліджень – використання математичних методів для обробки отриманих даних.
4. Чітке дотримання експериментальної стратегії – для прийняття обґрунтованих рішень після кожної серії досліджень.

Основною метою планування експерименту є розробка рекомендацій або вдосконалення виробничих процесів на основі аналізу отриманих даних. Це дозволяє створити математичну модель досліджуваного процесу, що допомагає прогнозувати його подальший розвиток.

Результати таких експериментів сприяють формуванню оптимальних технологічних рішень, що мають значні економічні, технічні та виробничі переваги. Отримані дані можуть використовуватися для модернізації як окремих етапів виробництва, так і цілих виробничих ліній.

Обладнання для експерименту. Для діагностування акумуляторних батарей у рамках дослідження використовується акумуляторна батарея «Titan Asia Silver» 6СТ-47.1 (рис. 3.6).

Основні технічні характеристики АКБ:

- Ємність – 47 А·год,
- Пусковий струм – 400 А,
- Полярність – пряма,
- Номінальна напруга – 12 В.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.6 – Акумуляторна батарея «Titan Asia Silver» 6СТ-47.

Для діагностики акумуляторної батареї використовується наступне обладнання [26]:

1) Цифровий мультиметр РЕСАНТА DT181 – 1 шт. (рис. 3.7).

Основні технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання постійної напруги: 0,001...500 В.
- Діапазон вимірювання змінної напруги: 0,1...500 В.
- Вимірювання постійного струму: 0,1 мА...10 А.
- Визначення опору: 0,1 Ом...2 МОм.
- Перевірка параметрів транзисторів.
- Функція тестування діодів.



Рисунок 3.7 – Мультиметр «РЕСАНТА-DT181».

2) Автомобільний ареометр – 1 шт. (рис. 3.8).

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63



Рисунок 3.8 – Ареометр.

3) Термометр спиртовий у скляній колбі – 1 шт. (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Термометр спиртовий.

4) Датчики температури «DS18B20 type» – 7 шт. (рис. 3.10).

Основні технічні характеристики:

- Тип сенсора: DS18B20.
- Корпус: ТО-92.
- Розрядність: 9...12 біт.
- Час перетворення: 750nS (max).
- Точність вимірювання: $\pm 0.5\%$ у діапазоні $-10...+85^{\circ}\text{C}$.
- Напруга живлення: 3,0-5,5 В.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.10 – Датчик температури «DS18B20».

5) Контролер універсальний «Arduino Mega 2560» – 1 шт. (рис. 3.11).

Основні технічні характеристики:

- Робоча напруга: 5 В.
- Рекомендована вхідна напруга: 7-12 В.
- Кількість цифрових входів/виходів: 54 (14 із них підтримують ШІМ).
- Аналогові входи: 16.
- Максимальний постійний струм через вхід/вихід: 40 мА.
- Струм для виводу 3,3 В: 50 мА.
- Флеш-пам'ять: 256 КВ (з яких 8 КВ зарезервовані для завантаження).
- Оперативна пам'ять (ОЗП): 8 КВ.
- Енергонезалежна пам'ять (EEPROM): 4 КВ.

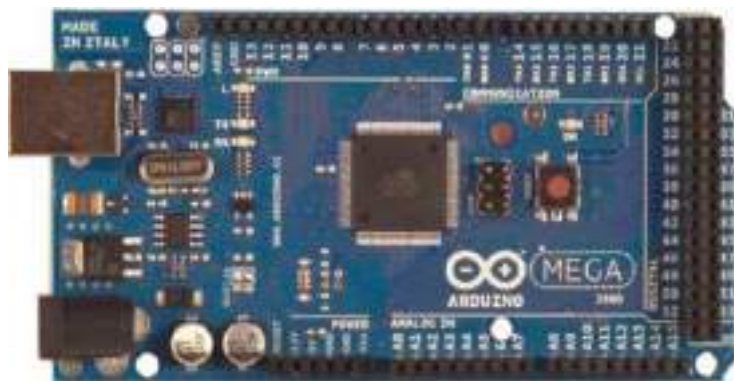


Рисунок 3.11 – Універсальний контролер «Arduino Mega 2560».

6) Рідко кристалевий (РК)-дисплей LCD 20x2 – 1 шт. (рис. 3.12).

Основні технічні характеристики:

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- Робочий температурний діапазон: -40...+80°C.
- Низьке енергоспоживання.
- Два рядки по 20 символів (матриця 5x8 точок).
- Контролер сумісний із HD44780.
- Підтримка 4-бітного або 8-бітного інтерфейсу MPU.
- Високошвидкісний інтерфейс MPU: 2 МГц (VDD = 5 В).



Рисунок 3.12 – LCD дисплей (20x2).

7) З'єднувальні дроти – необхідні для підключення компонентів.

Проведення діагностики та збір даних.

Для реалізації експерименту в кожну з 6 секцій акумуляторної батареї (АКБ), попередньо знявши пробки, встановлюються датчики щільності та температури, які занурюються в електроліт. Паралельно до ґрат електродів підключаються виводи вольтметра для вимірювання напруги в кожному окремому осередку АКБ. Також підключаються вимірювальні контакти до виходів акумулятора, що дозволяє визначити загальну напругу батареї.

Для вимірювання струму розряду до ланцюга підключення АКБ додається додаткова плата, яка фіксує відповідні параметри.

Обробку отриманих аналогових сигналів від сенсорів та їх цифрову передачу на ПК здійснює контролер універсальний.

Контроль та перевірка отриманих даних.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

З метою підвищення точності та достовірності вимірювань, всі параметри додатково перевіряються вручну. Для цього використовуються:

- ареометр – для вимірювання щільності електроліту,
- мультиметр – для перевірки напруги,
- термометр – для фіксації температурних показників.

Усі отримані значення записуються у відповідні таблиці для подальшого аналізу після пробігу автомобіля у 500 км.

Результати збору даних.

Дослідження проводилося при температурі навколишнього середовища 30 °С. Отримані дані, зібрані за допомогою контролера, занесені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані отримані з контролера.

№ АКБ	1	2	3	4	5	6
Температура	25	25	27	26	24	26
Напруга	2,43	2,45	2,42	2,38	2,41	2,39
Щільність	1,25	1,23	1,27	1,24	1,23	1,24

Результати вимірювань та аналіз даних.

Під час проведення експерименту загальна напруга акумуляторної батареї (АКБ) склала 12,40 В.

Рисунок 3.12 містить показники вимірювальних приладів, що фіксують температуру навколишнього середовища, а також розрахунковий рівень заряду АКБ.

Рисунок 3.13 відображає результати вимірювань щільності електроліту, отримані через контролер.

Рисунок 3.14 демонструє температурні показники електроліту, отримані з датчиків.

Рисунок 3.15 містить дані про напругу в акумуляторі, отримані за допомогою контролера. Під час обробки було виявлено програмний збій, унаслідок якого контролер додав зайву одиницю перед значенням напруги.

Для кращого розуміння процесів, що відбуваються всередині батареї, на дисплей були виведені середні параметри стану АКБ, що представлено на рисунку 3.16.



Рисунок 3.12 – Облік температури зовнішнього середовища

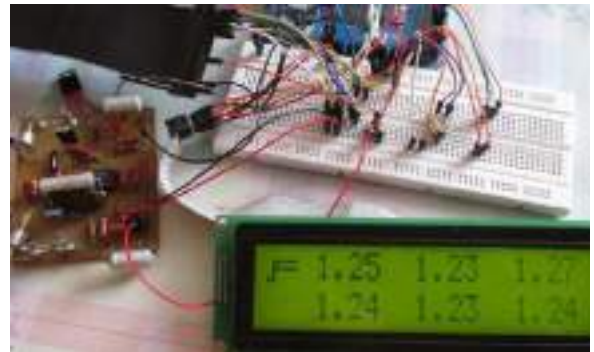


Рисунок 3.13 – Облік щільності електроліту в банках



Рисунок 3.14 – Облік температури в банках

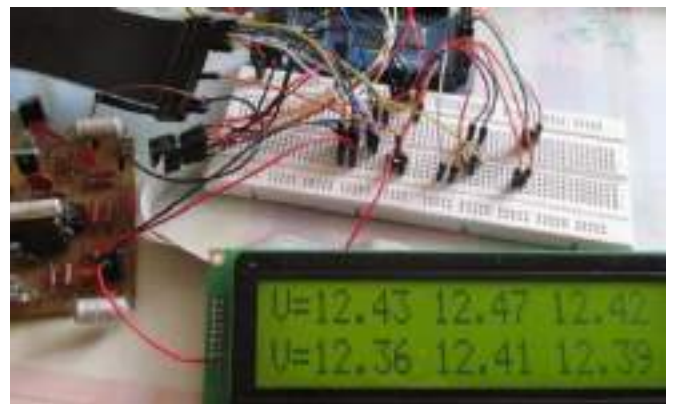


Рисунок 3.15 – Облік напруги

Порівняння даних ручних та автоматичних вимірювань.

Для перевірки точності та коректності роботи автоматичної системи моніторингу, аналогічні вимірювання були проведені вручну за допомогою:

- ареометра (визначення щільності електроліту),
- мультиметра (вимірювання напруги),

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

- термометра (фіксація температури електроліту).

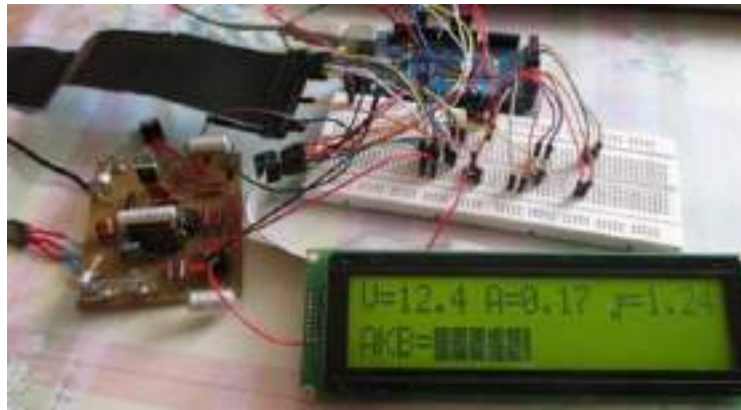


Рисунок 3.16 – Результати діагностики АКБ.

Результати ручних вимірювань при температурі 30 °С занесені в Таблицю 3.2 для подальшого аналізу та порівняння з показниками, отриманими від контролера.

Порівняння результатів вимірювань та вплив пробігу на параметри АКБ. Після проведення ручних вимірювань загальна напруга акумуляторної батареї (АКБ) склала 12,41 В.

Таблиця 4.2 – Результати при вимірюванні механічними засобами.

№ АКБ	1	2	3	4	5	6
Напруга	2,43	2,47	2,42	2,36	2,41	2,39
Щільність	1,24	1,24	1,26	1,25	1,24	1,24
Температура	25	24	25	26	24	26

Рисунок 3.17 ілюструє процес визначення щільності електроліту ручним методом із використанням ареометра.

На рисунках 3.18 – 3.21 наведені порівняльні графіки розбіжностей у результатах, отриманих двома методами.



Рисунок 3.17 – Вимірювання щільності електроліту ареометром.

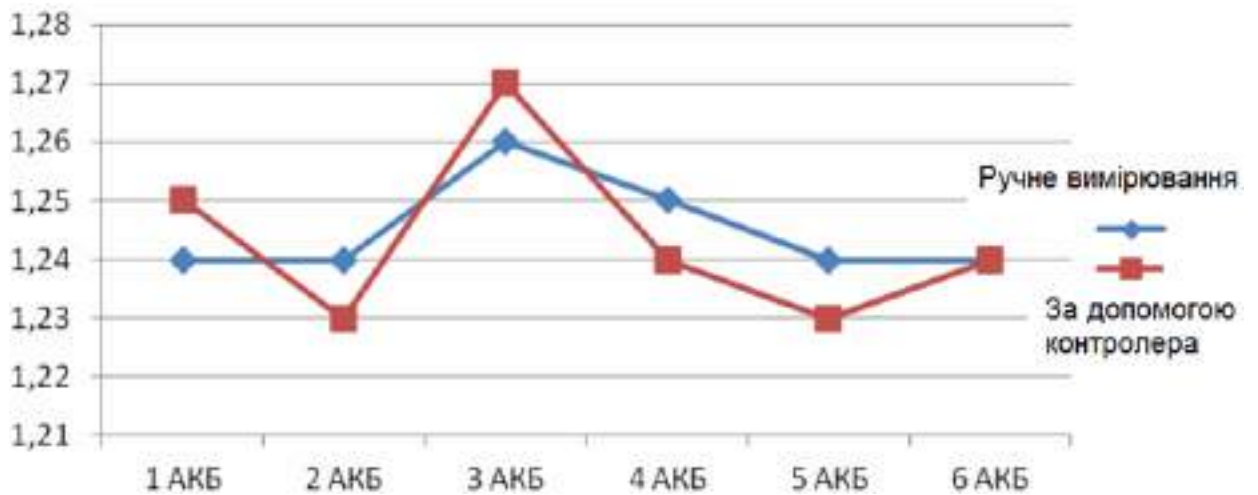


Рисунок 3.18 – Порівняння значень щільності електроліту при різних методах вимірювання.

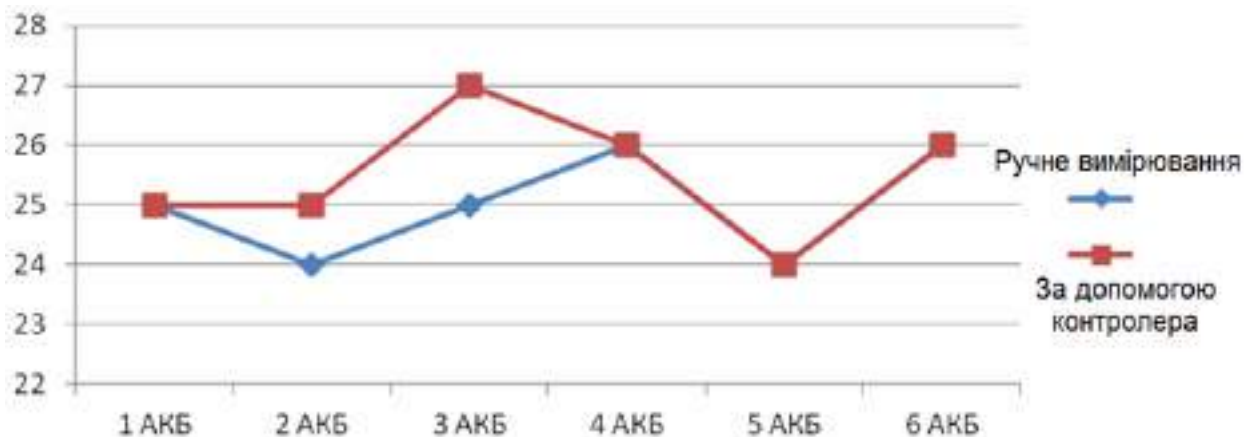


Рисунок 3.19 – Порівняння значень температури електроліту при різних методах вимірювання.

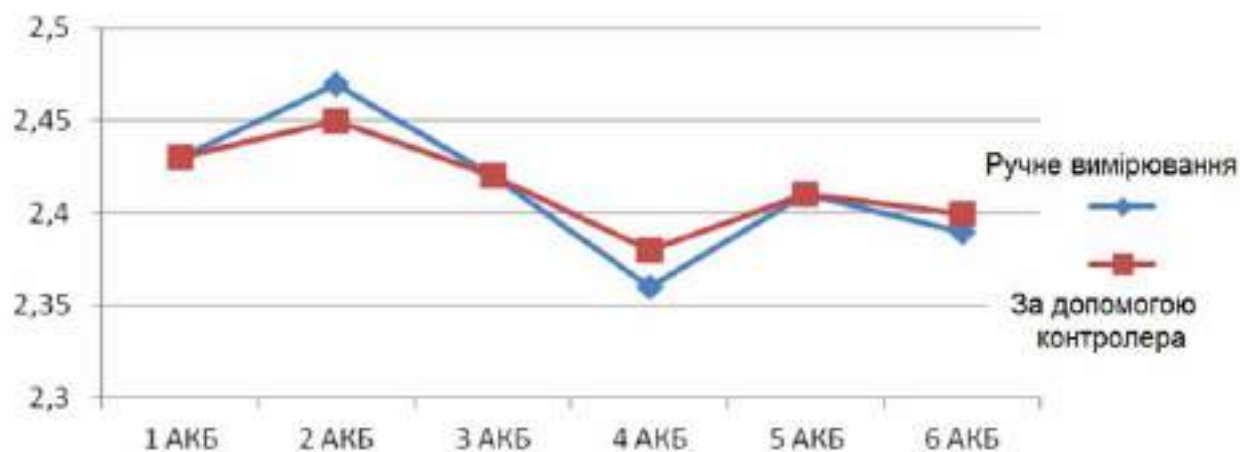


Рисунок 3.20 – Порівняння значень напруги при різних методах вимірювання.

Вплив пробігу автомобіля на параметри акумулятора.

Після пробігу автомобілем 500 км та зарядки частково розрядженої АКБ, параметри батареї змінилися. Це пояснюється її розташуванням під капотом, де в процесі зарядки температура електроліту підвищується, що впливає на його фізико-хімічні властивості.

Повторні вимірювання, проведені з використанням контролера, дозволили отримати оновлені дані, які занесені в таблицю 3.3 та 3.4, після пробігу автомобіля в 500 км. За результатами цих вимірювань загальна напруга акумуляторної батареї після пробігу склала 12,53 В при вимірюванні контролером і 12,51 В, при вимірюванні тестером.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання контролером.

№ АКБ	1	2	3	4	5	6
Температура	29	31	28	29	29	28
Напруга	2,49	2,51	2,49	2,46	2,44	2,51
Щільність	1,24	1,24	1,25	1,23	1,23	1,23

Через складність доступу до ґрат пластин та труднощі під час вимірювання щільності електроліту за допомогою ручного ареометра

виникли певні неточності у визначенні параметрів безпосередньо в осередках акумуляторної батареї.

Таблиця 3.4 – Результати вимірювання за допомогою ручних засобів.

№ АКБ	1	2	3	4	5	6
Температура	29	31	29	29	29	28
Напруга	2,49	2,51	2,49	2,46	2,44	2,51
Щільність	1,24	1,25	1,24	1,24	1,25	1,25

З огляду на це можна зробити висновок, що використання високопродуктивних ЕОМ у поєднанні з високоточними електронними датчиками є найбільш ефективним підходом для оцінки стану АКБ. Такий метод забезпечує вищу точність вимірювань, порівняно з традиційними ручними способами, і дозволяє отримувати більш достовірні результати.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1) Одним із ключових напрямків удосконалення свинцевих акумуляторів є збільшення їхнього терміну служби та довговічності за рахунок реалізації систем безперервного контролю параметрів АКБ.

Аналіз різних методів зарядження акумуляторних батарей свідчить, що у більшості практичних випадків найбільш ефективним є зарядження стабілізованим струмом з подальшим переходом у режим стабілізації за напругою. Такий підхід забезпечує оптимальне співвідношення між швидкістю зарядження, ресурсом батареї та енергетичною ефективністю.

2) Використовуючи базові розрахункові теорії оцінки параметрів АКБ і за результатами аналізу математичного апарату використано алгоритм параметричної оцінки працездатності акумуляторної батареї, отримано статистичні ряди динаміки щільності і визначено функцію розподілу, яка характерна для кривої Гауса. За розробленим алгоритмом представлено методику розрахунку залежності оцінки щільності електроліту від відновлення зарядної ємності АКБ, отримано математичний вираз. Побудовано графік функцій за результатами статистичних даних, що враховує середньоквадратичне відхилення і відображає генеральну середню щільність АКБ, а також її кипіння і верхні межі.

3) Отримані результати підтверджують, що використання обчислювальних систем високого рівня разом із високоточними електронними датчиками є найбільш ефективним методом діагностики стану АКБ. Цей підхід забезпечує значно вищу точність вимірювань у порівнянні з традиційними ручними методами.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. W.-S. Jwo and W.-L. Chien, "Design and Implementation of a Charge Equalization Using Positive/Negative Pulse Charger," in 2007 IEEE Industry Applications Annual Meeting, 2007, pp. 1076–1081, DOI: 10.1109/07IAS.2007.167.
2. J. F. A. Leao, L. V. Hartmann, M. B. R. Correa, and A. M. N. Lima, "Lead-acid battery modeling and state of charge monitoring," in 2010 TwentyFifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010, pp. 239–243, DOI: 10.1109/APEC.2010.5433666
3. Електронний ресурс: <http://otherreferats.allbest.ua/transport> (Дата звернення 11.04.2025).
4. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч. 2 / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов, М. В. Панасенко, В. Я. Ромашко, В. С. Руденко. За ред. В. С. Руденка. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.
5. Електронний ресурс <https://130.com.ua/category/optima-batteries/> (Дата звернення 12.04.2025).
6. Електронний ресурс <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (Дата звернення 15.04.2025).
7. Білогуров В. А. Порівняння основних характеристик хімічних джерел струму різних електрохімічних систем. Сучасна спеціальна техніка № 3(50). – Київ, – 2017. – С. 124-134
8. Костів Б.Ф. Експлуатація автомобільного транспорту: Підручник. - Львів: Світ, 2004. - 496 с.; іл.
9. Строков О.В. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. - К.: Грамота, 2005. - 236 с.; іл.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

10. Бороденко Ю.М. Діагностика електрообладнання автомобілів / Ю.М. Бороденко, О.А. Дзюбенко, О.М. Биков: навчальний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2014. –300с.

11. Шелест М. Б. Основи будови та експлуатації акумуляторних батарей: навчальний посібник / М. Б. Шелест, П. І. Гайда. – Суми: Сумський державний університет, 2014. – 210 с.

12. V. Srinivasan, G. Q. Wang, and C. Y. Wang, “Mathematical Modeling of Current-Interrupt and Pulse Operation of Valve-Regulated Lead Acid Cells,” IECON Proc. (Industrial Electron. Conf., vol. 2005, pp. 1

13. Автомобілі: робочі процеси та основи розрахунку : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло.– Вінниця: ВНТУ, 2013. –283 с. ISBN 978-966-641-515-1

14. Chuang, Y.C. and Y.L. Ke, 2008. High efficiency battery charger with a buck zero-current-switching pulse-width-modulated converter. IET Power Electron., 1: 433-444.

15. Ткаченко К.І. Подовження строку служби свинцево-кислотних акумуляторних батарей при використанні відновлюваних джерел енергії // ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет». 2015. №30.

16. Duerr, M. ; Cruden, A.J./ Dynamic model of a lead-acid battery for use in a domestic fuel cell system. In: Journal of Power Sources. 2006 ; Vol. 161, No. 2. pp. 1400-1411

17. Skachkov V.V. Ways of fuel cells voltage improvement / V.V. Skachkov, V.V. Kolosovskij, O.A. Belous // Electrical Engineering. – 2003. – N8. – pp. 46-50

18. Spingler F.B.. Optimum fast charging of lithium-ion pouch cells based on local volume expansion criteria / F.B. Spingler, W. Wittmann, J. Sturm, B. Rieger, A.Jossen // J Power Sources, 393 (2018), pp. 152-160,

19. Нерубацький В. П. Аналіз технічних характеристик акумуляторних батарей і систем заряджання електромобілів / В. П.

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нерубацький, О. А. Плахтій, А. В. Машура, Д. А. Гордієнко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Том 24 № 6 (2019). – С. 11-19

20. [Rona Ronen](#). Theory of Flow Batteries with Fast Homogeneous Chemical Reactions / [Rona Ronen](#), [Imri Atlas](#), [Matthew E. Suss](#) // Electrochemical Society. - N13, 2018. – pp. 84-92.

21. Деклараційний патент України на винахід № 57499 А, Н02J7/00. Пристрій для зарядки акумуляторної батареї. / В.Я. Жуйков, Т.О. Терещенко, Ю.С. Петергеря, В.Б. Волківський (Україна). – № 2002108677; Заявлено 31.10.2002; Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6. 11.

22. Деклараційний патент України на винахід № 58230 А, Н02J7/00. Пристрій для зарядки акумуляторних батарей. / В.Я. Жуйков, Т.О. Терещенко, Ю.С. Петергеря, В.Б. Волківський (Україна). – № 2002108680; Заявлено 31.10.2002; Опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7. 12.

23. Деклараційний патент України на корисну модель № 10667 У, Н02J7/00. Пристрій для зарядження акумуляторної батареї асиметричним струмом. / В.Я. Жуйков, Т.О. Терещенко, В.Б. Волківський (Україна). – № u200505266; Заявлено 02.06.2005; Опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11.

24. Електронний ресурс <https://arduino.ua/prod176-arduino-mega-2560-rev3-a000067> (Дата звернення 16.05.2025).

25. Волківський В.Б. Триланковий пристрій для заряду енергоємних акумуляторних батарей асиметричним струмом // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”, частина 6. – 2004. – с. 89-94.

26. Електронний ресурс <https://rozetka.com.ua/59458990/p59458990> (Дата звернення 18.05.2025).

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КвРАТ. 21116.01.04.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77



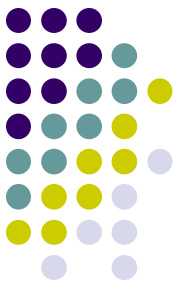
Забезпечення ресурсу автомобільних акумуляторних батарей шляхом реалізації систем контролю

Виконав ст. гр. АТ-21-1:

Козир Микола Сергійович

наук. нерівник: доц. каф. ТАМ

Посонський Сергій Феліксович



Акумуляторна батарея (АКБ) є невід'ємною складовою будь якого сучасного автомобіля

У свою чергу забезпечення робочої здатності енергетичних систем транспортних засобів вимагає впровадження для АКБ системи контролю і діагностики (СКД АКБ), що входять в елементну базу сучасних електроенергетичних комплексів.

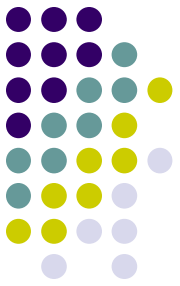
Зниження трудомісткості і впливу людського фактора на експлуатаційні параметри є важливим завданням, яке вирішується створенням автоматизованої СКД АКБ

Мета роботи – збільшення терміну служби акумуляторної батареї автотранспортних засобів шляхом розробки автоматизованої системи контролю та діагностики.

Завдання:

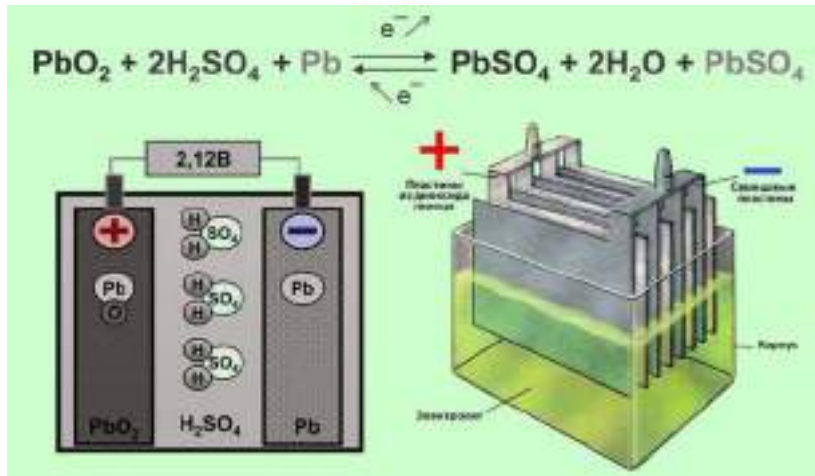
- 1. Виконати аналіз функціонування систем енергопостачання транспортних засобів.
- 2. Використати алгоритм параметричної оцінки працездатності акумуляторної батареї за результатами аналізу математичного апарату.
- 3. Розробити та перевірити систему діагностики і контролю параметрів АКБ.





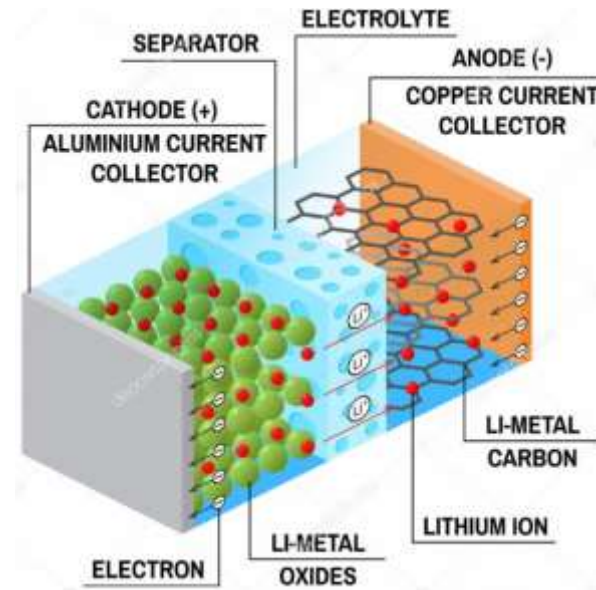
Огляд існуючих конструкцій автомобільних акумуляторних батарей

Свинцево-кислотний акумулятор - найбільш поширений на сьогоднішній день тип акумуляторів, винайдений в 1859 році французьким фізиком Гастоном Планте



Принцип роботи свинцево-кислотних акумуляторів ґрунтується на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю в сірчано-кислотному середовищі.

Літєво-іонні (Li-Ion) акумуляторні батареї. Перший літєво-іонний акумулятор розробила корпорація Sony в 1991 році

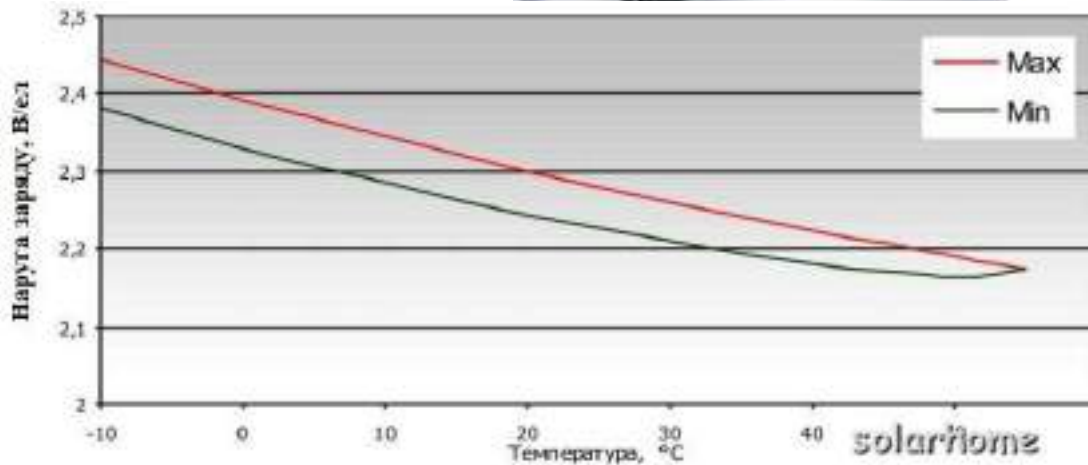
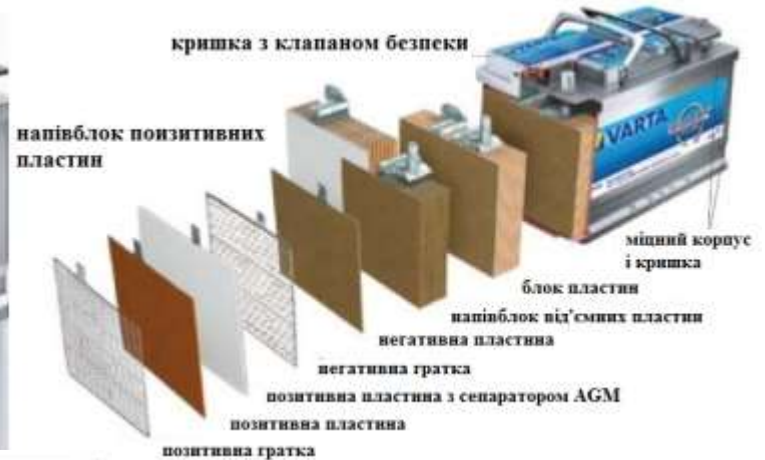


Тип електричного акумулятора, широко поширений в сучасній побутовій електронній техніці, а також в електромобілях.

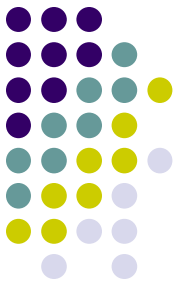
Огляд існуючих конструкцій автомобільних акумуляторних батарей



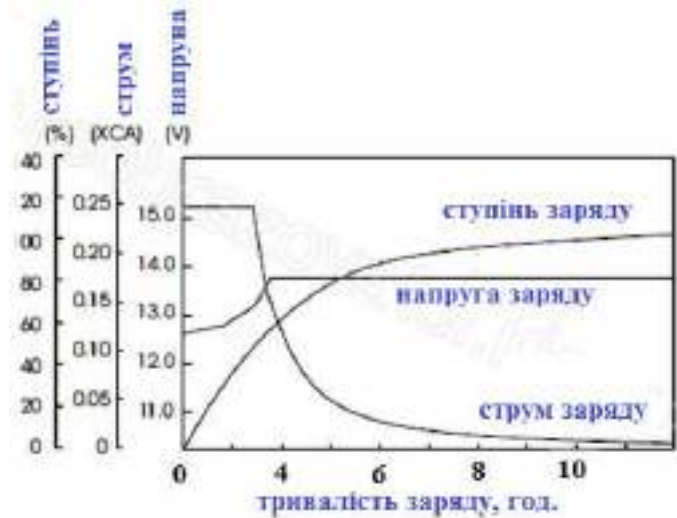
AGM (Absorbent Glass Mat) - це технологія виготовлення свинцево-кислотних акумуляторів. Відмінність батарей AGM від класичних в тому, що в них міститься абсорбований електроліт, а не рідкий, що спричиняє ряд змін у властивостях акумулятора.



Огляд існуючих конструкцій автомобільних акумуляторних батарей



Також існує конструкція акумуляторних батарей типу OPTIMA, що має всі переваги батарей AGM, але в той же час відрізняється від них конструктивно



Динаміка зміни технічного стану акумуляторних батарей

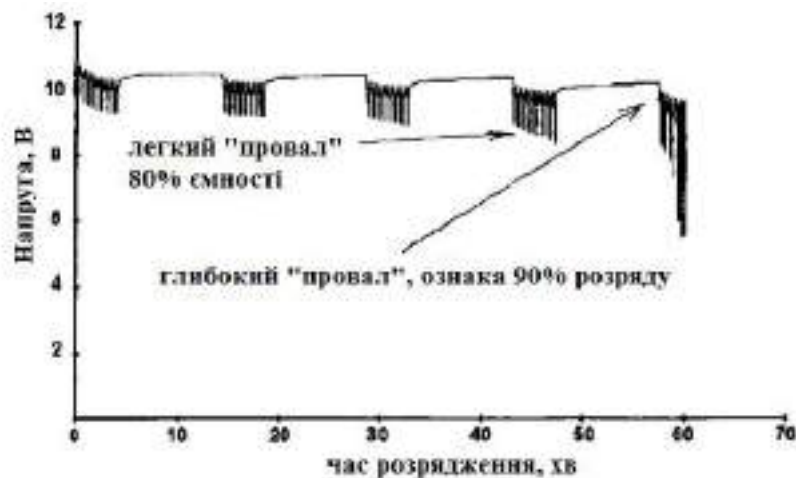


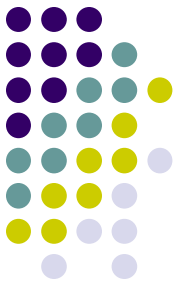
Діагностику АКБ за розрядно-зарядним циклом проводять відповідно до технічних норм перевірки справності і на відповідність номінальній ємності

Діагностика за внутрішніми параметрами батареї проводиться за допомогою підключення спеціального переносного або стаціонарного тестера



Контроль відновлення зарядженості акумуляторної батареї за допомогою **імпульсного розряду**.
Даний метод базується на тому, що в однакових АКБ кожному значенню розрядного струму і залишкової ємності відповідає певна напруга.





Алгоритм параметричної оцінки працездатності акумуляторних батарей

Математичний апарат використовує результати статистичної обробки даних, отриманих протягом експлуатації АКБ, на підставі яких формуються аналітичні залежності параметрів АКБ від зовнішніх факторів, що змінюються в часі.

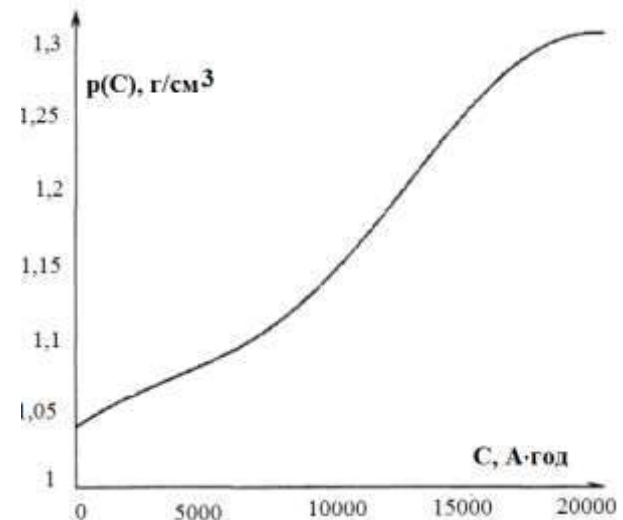
оцінки напруги на клемах акумулятора

$$U(t) = 0,85 + \varepsilon_{POL} + \rho_0 \pm k(C_0 \pm It) \pm Ae^{-\left(\frac{C_0 \pm It}{C_H} 100\right)B}$$

рівняння залежності щільності електроліту від відновлення заряду акумулятора

$$\rho(C) = \left(-S \sin\left(\frac{6,28C}{C_{nom}}\right) + k_0 \right) C + \rho_n$$

Розрахункова залежність щільності електроліту від зарядної ємкості



Імітаційне моделювання режимів заряду акумуляторної батареї

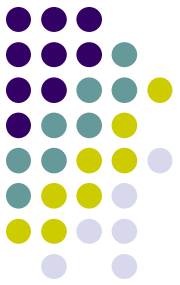


Схема відновлення заряду АКБ не стабілізованим струмом

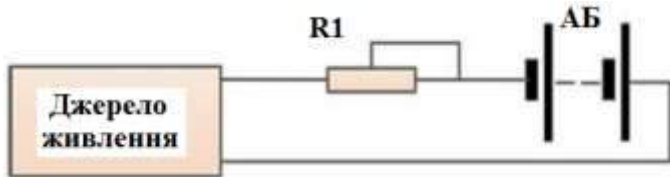


Схема відновлення заряду АКБ стабілізованою напругою

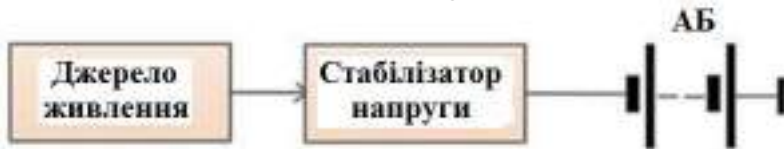


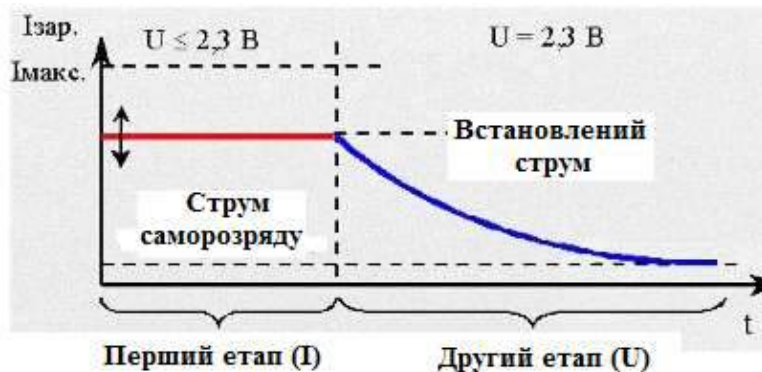
Схема відновлення заряду АКБ стабілізованим струмом

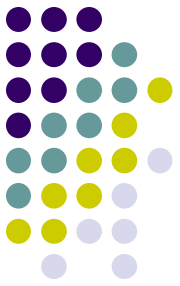


Схема відновлення заряду АКБ на двоступінчатому відновленні зарядному пристрої



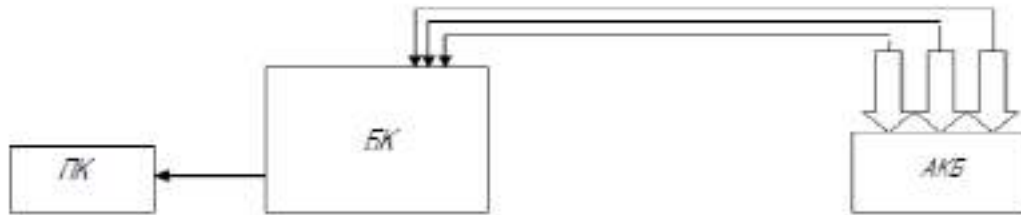
Етапи зарядки АКБ на двоступінчатому зарядному пристрої





Конструювання системи контролю та діагностування акумуляторної батареї

На базі акумуляторної батареї пропонується створити діагностичний комплекс з моніторингу та обробки параметрів з подальшою передачею оброблених даних на дисплей комп'ютера.



Спрощена схема діагностичного комплексу АКБ:

ПК - контрольна панель, БК - блок контролю та обробки

Універсальний контролер
Arduino Mega 2560

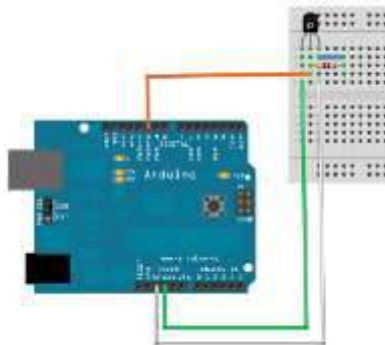


Схема підключення датчика температури DS18B20

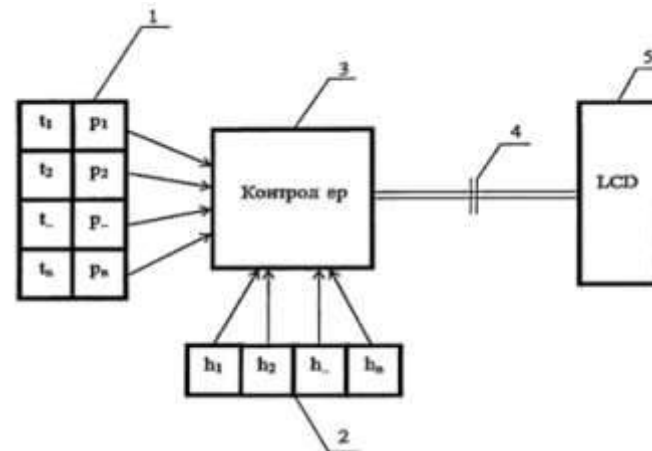


Схема взаємодії елементів пристрою

Для діагностування акумуляторної батареї буде використане наступне обладнання:



**АКБ Titan Asia Silver
6СТ-47.1**



**Цифровий
мультиметр
РЕСАНТА DT181**



**Ареометр
автомобільний**



**Універсальний
контролер**



**спиртовий
термометр**



**датчики
температури
DS18B20**

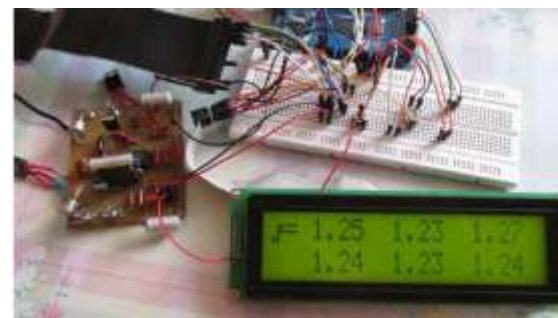
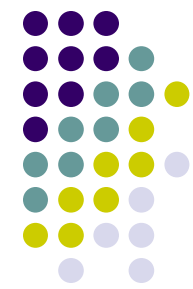


ПК дисплей LCD20x2

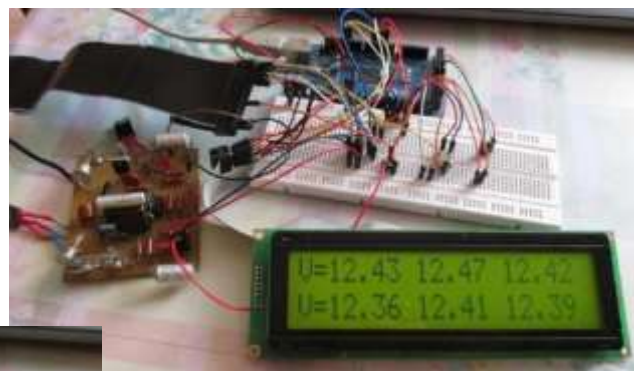


Збір даних, результати

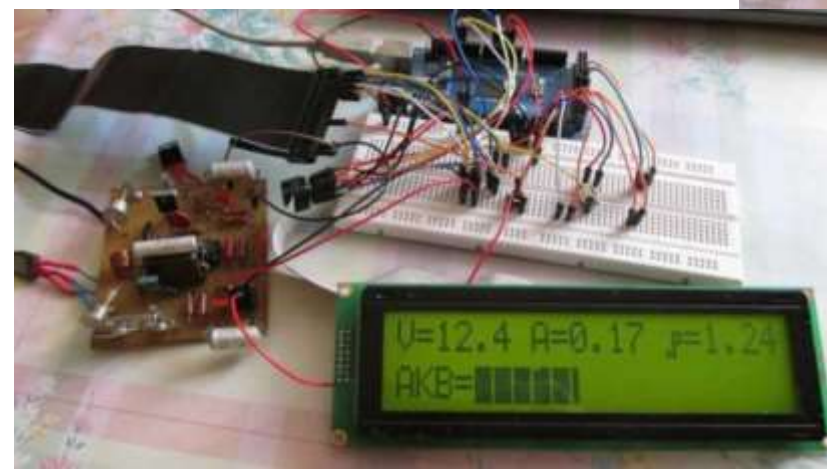
температура навколишнього середовища, розрахунковий заряд акумуляторної батареї



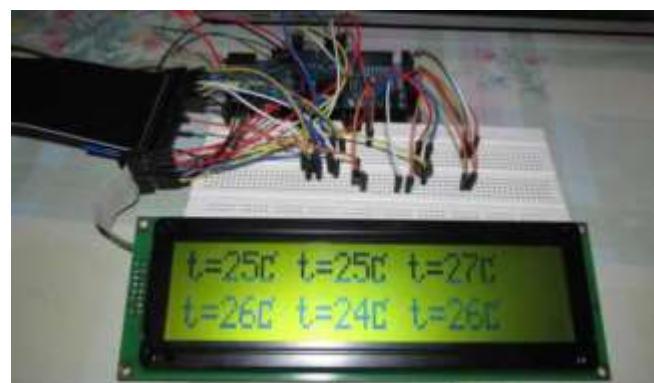
Щільність електроліту (в кожному акумуляторі)



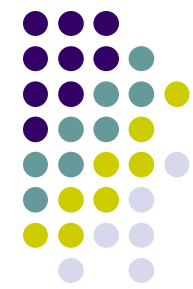
Покази приладів обліку напруги



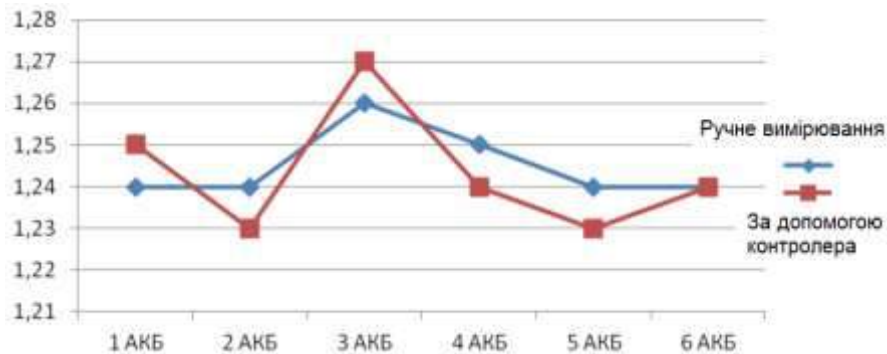
Середні покази стану АКБ



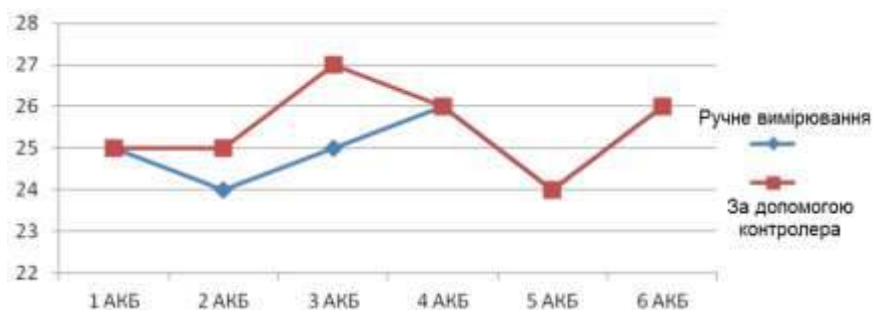
Температура електроліту



Порівняння показників

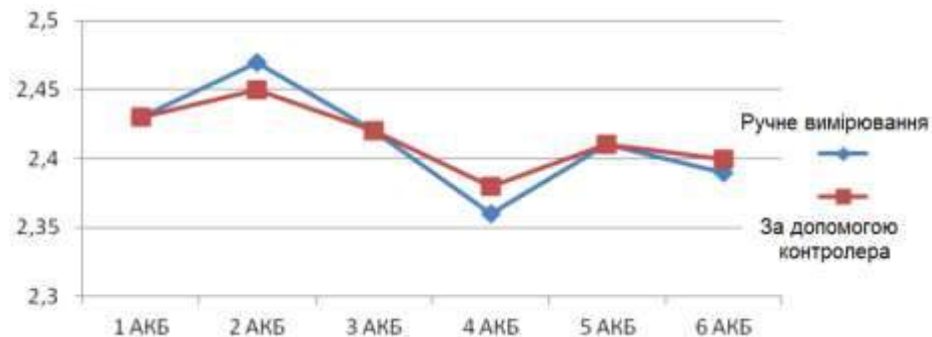


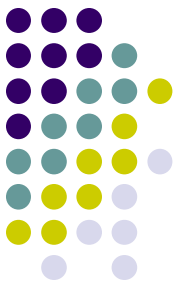
щільності електроліту



температури електроліту

напруги





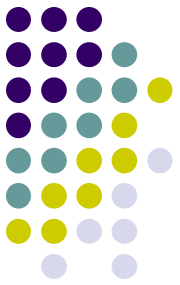
ВИСНОВКИ

●1) Одним із ключових напрямків удосконалення свинцевих акумуляторів є збільшення їхнього терміну служби та довговічності за рахунок реалізації систем безперервного контролю параметрів АКБ.

Аналіз різних методів зарядження акумуляторних батарей свідчить, що у більшості практичних випадків найбільш ефективним є зарядження стабілізованим струмом з подальшим переходом у режим стабілізації за напругою. Такий підхід забезпечує оптимальне співвідношення між швидкістю зарядження, ресурсом батареї та енергетичною ефективністю.

●2) Використовуючи базові розрахункові теорії оцінки параметрів АКБ і за результатами аналізу математичного апарату використано алгоритм параметричної оцінки працездатності акумуляторної батареї, отримано статистичні ряди динаміки щільності і визначено функцію розподілу, яка характерна для кривої Гауса. За розробленим алгоритмом представлено методику розрахунку залежності оцінки щільності електроліту від відновлення зарядної ємності АКБ, отримано математичний вираз. Побудовано графік функцій за результатами статистичних даних, що враховує середньоквадратичне відхилення і відображає генеральну середню щільність АКБ, а також її кипіння і верхні межі.

●3) Отримані результати підтверджують, що використання обчислювальних систем високого рівня разом із високоточними електронними датчиками є найбільш ефективним методом діагностики стану АКБ. Цей підхід забезпечує значно вищу точність вимірювань у порівнянні з традиційними ручними методами.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!