

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ  
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Дослідження технічних характеристик автомобільних  
аккумуляторних батарей ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-63  
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)

Прядка Денис Андрійович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Василь РИС  
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Миронюк О.С.  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**  
**ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доцент Андрій ШАРИБУРА  
“ 12 ” вересня 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
Прядці Денису Андрійовичу

1. Тема роботи: „ Дослідження технічних характеристик автомобільних акумуляторних батарей”

Керівник роботи: Рис Василь Іванович, к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2024 року.

3. Вихідні дані: Науково-технічна література з питань акумуляторів автомобільних та їх обслуговування. Показники стану охорони праці в базовому підприємстві.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

Вступ

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2. МЕТОДИ І СПОСОБИ ЗАРЯДКИ КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДНОВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРІВ

4. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

5. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Перелік графічного матеріалу: тема – 1-й слайд; мета роботи та завдання дослідження – 2-й слайд; аналіз автомобільних акумуляторних батарей – 3-й; порівняння характеристик АКБ – 4-й; способи зарядки кислотних акумуляторів – 5,6-й слайди; обладнання для проведення досліджень – 7-й слайд; діаграма регулювання форми зарядного струму – 8-й слайд; діаграма регулювання форми зарядного і розрядного струмів 9-й слайди; аналіз отриманих результатів – 10-й слайд; загальні висновки – 11 слайд.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 4	Рис В.І. к.т.н., доц. кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «Стан питання і завдання досліджень»</i>	12.09.24-15.09.24	
2.	<i>Виконання розділу «Методи і способи зарядки кислотних акумуляторів»</i>	16.09.24-01.10.24	
3.	<i>Виконання розділу «Методика досліджень відновлення акумуляторів»</i>	15.10.24-30.10.24	
4.	<i>Написання розділу: «Аналіз отриманих результатів»</i>	02.10.24-14.11.24	
5.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	15.11.24-24.11.24	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	25.11.24-30.11.24	
8	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.12.24-5.12.24	

Студент \_\_\_\_\_ Денис ПРЯДКА  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Василь РИС

## АНОТАЦІЯ

Дослідження технічних характеристик автомобільних акумуляторних батарей // Кваліфікаційна робота. Прядка Денис Андрійович. – Кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О.Д.Семковича – Дубляни, Львівський НАУ – 2024. 75 с. – Рис. 26. Табл. – 3. 33 джерела.

У даній роботі було проведено аналіз технічних характеристик автомобільних акумуляторів. Здійснено аналіз акумуляторних батарей та факторів, що впливають на їх роботу.

Розглянуто процеси, що проходять в акумуляторі, способи і методи зарядки акумуляторних батарей.

На підставі проведених досліджень можна рекомендувати застосування способів зарядки АКБ генератором реверсивного струму.

Застосування запропонованого пристрою і методики проведення робіт дозволяє визначити раціональні параметри заряду АКБ з урахуванням його стану.

Запропоноване реєстраційно-вимірвальна апаратура дозволяє контролювати і досліджувати процес заряду АКБ.

Використання результатів досліджень дозволить знизити витрати в експлуатації, знизити енергоспоживання на відновлення АКБ.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1 Аналіз автомобільних акумуляторних батарей.....	8
1.2 Фактори, що впливають на роботу акумуляторних батарей (АКБ).....	14
Висновки до розділу 1.....	17
2. МЕТОДИ І СПОСОБИ ЗАРЯДКИ КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ.....	18
2.1 Процеси, що проходять в акумуляторі в процесі заряду.....	18
2.2 Способи зарядки кислотних акумуляторів.....	18
2.3 Методи зарядки кислотних акумуляторів.....	26
2.4 Сутність процесу десульфатації реверсивним струмом.....	28
Висновки до розділу 2.....	29
3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДНОВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРІВ.....	44
3.1 Обладнання для проведення досліджень.....	44
3.2 Складання математичної моделі.....	51
Висновки до розділу 3.....	58
4. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	59
Висновки до розділу 4.....	60
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	62
5.1. Положення охорони праці на ремонтних підприємствах.....	62
5.2. Моделювання процесів виникнення аварій та травм.....	64
5.3. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм.....	66
5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	56
Висновки до розділу 5.....	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Автомобільні акумуляторні батареї (АКБ) є невід’ємним елементом сучасного транспортного засобу, забезпечуючи живлення електричних систем автомобіля, зокрема запуск двигуна, роботу освітлення, електроніки та інших споживачів енергії. Надійність функціонування автомобіля багато в чому залежить від технічного стану та характеристик акумуляторної батареї, особливо в умовах підвищених навантажень або складних кліматичних умов.

Розвиток сучасних технологій у галузі акумуляторних батарей пов’язаний із необхідністю підвищення їхньої енергоємності, циклічної довговічності, стійкості до глибокого розряду та зниження екологічного впливу. Особливе значення мають також питання правильної експлуатації, діагностики та вибору АКБ залежно від специфіки автомобіля та умов його використання. Недостатня увага до цих аспектів може призводити до зниження ефективності роботи автомобільної техніки та значних фінансових витрат на обслуговування.

Актуальність дослідження технічних характеристик автомобільних акумуляторних батарей обумовлена зростанням попиту на якісні джерела живлення, збільшенням кількості електронних компонентів у сучасних автомобілях, а також необхідністю адаптації до різноманітних кліматичних умов. Зокрема, в Україні, де різкі перепади температури, тривалі періоди низьких температур та складні дорожні умови є звичним явищем, дослідження акумуляторів стає ще більш важливим.

*Метою* даної магістерської роботи є аналіз технічних характеристик автомобільних акумуляторних батарей, визначення основних параметрів, які впливають на їх ефективність та довговічність, а також розробка рекомендацій щодо покращення їх експлуатаційних властивостей. У рамках дослідження передбачається виконання експериментальних випробувань зарядки АКБ, дослідження процесу десульфатації та оцінка сучасних методів зарядки.

Результати даного дослідження можуть бути використані для оптимізації вибору та обслуговування акумуляторних батарей у транспортних засобах, а

також сприятимуть підвищенню їхньої надійності та зниженню витрат на технічне обслуговування автомобілів.

*Предметом дослідження є технічні характеристики автомобільних акумуляторних батарей, що впливають на їхню ефективність, довговічність та надійність у різних умовах експлуатації. Особлива увага приділяється впливу зовнішніх факторів, таких як температура, режим експлуатації та стан електричної системи автомобіля.*

*Об'єктом дослідження є автомобільні акумуляторні батареї різних типів і конструкцій, що використовуються у легкових і вантажних автомобілях. Дослідження охоплює параметри роботи АКБ, процеси заряду-розряду, поведінку батарей під час зарядження.*

## 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Аналіз автомобільних акумуляторних батарей

Автомобільні акумуляторні батареї (АКБ) є ключовими елементами електричної системи автомобіля, забезпечуючи енергією стартер, систему запалювання та інші електричні споживачі під час роботи та стоянки транспортного засобу. АКБ класифікуються за конструкцією, матеріалами виготовлення та принципом дії [28].

Типи автомобільних акумуляторних батарей

#### 1. Свинцево-кислотні батареї

Це найбільш розповсюджений тип АКБ. Основні компоненти включають: пластини з оксиду свинцю (катод); губчастий свинець (анод); електроліт – розчин сірчаної кислоти.

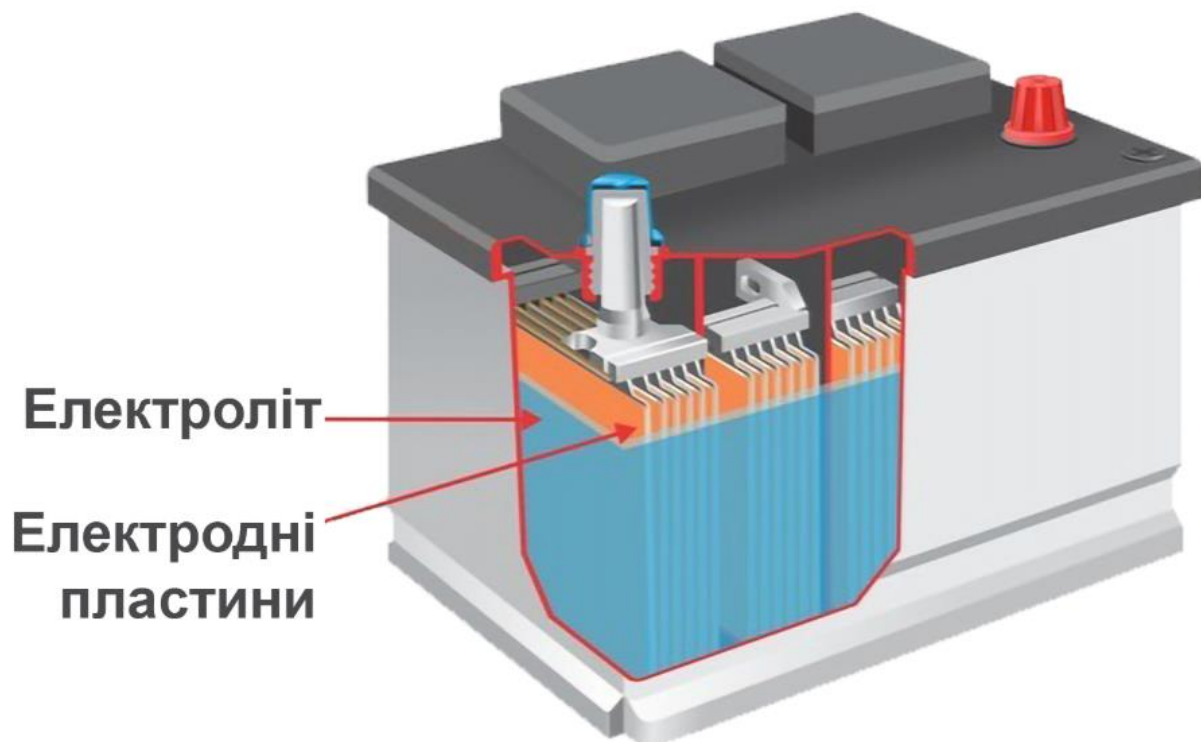


Рисунок 1.1 – Будова свинцево-кислотного акумулятора

Робочий цикл свинцево-кислотної батареї полягає в окисно-відновних реакціях, які відбуваються на електродах. Переваги таких АКБ – невисока ціна, низький рівень самрозряду, високі робочі струми, широкий діапазон робочих температур, високий ККД (80-90%) і доведена часом надійність. Недоліки –



великі габарити та вага, чутливі до глибоких розрядів, високі ризики перегріву при неправильному заряджанні, чутливі до мінусових температур, невелика кількість циклів заряд-розряд, низький рівень безпеки. У перевернутому положенні велика ймовірність розливу електроліту [14,18,20,22,28].

## 2. Акумулятори AGM (Absorbent Glass Mat)

У цих батареях електроліт абсорбований у спеціальний скловолоконний мат. Це дозволяє підвищити безпеку, зменшити витрати електроліту та покращити стійкість до вібрацій. AGM-акумулятори мають високу стартову потужність і триваліший термін служби, ніж традиційні свинцево-кислотні.

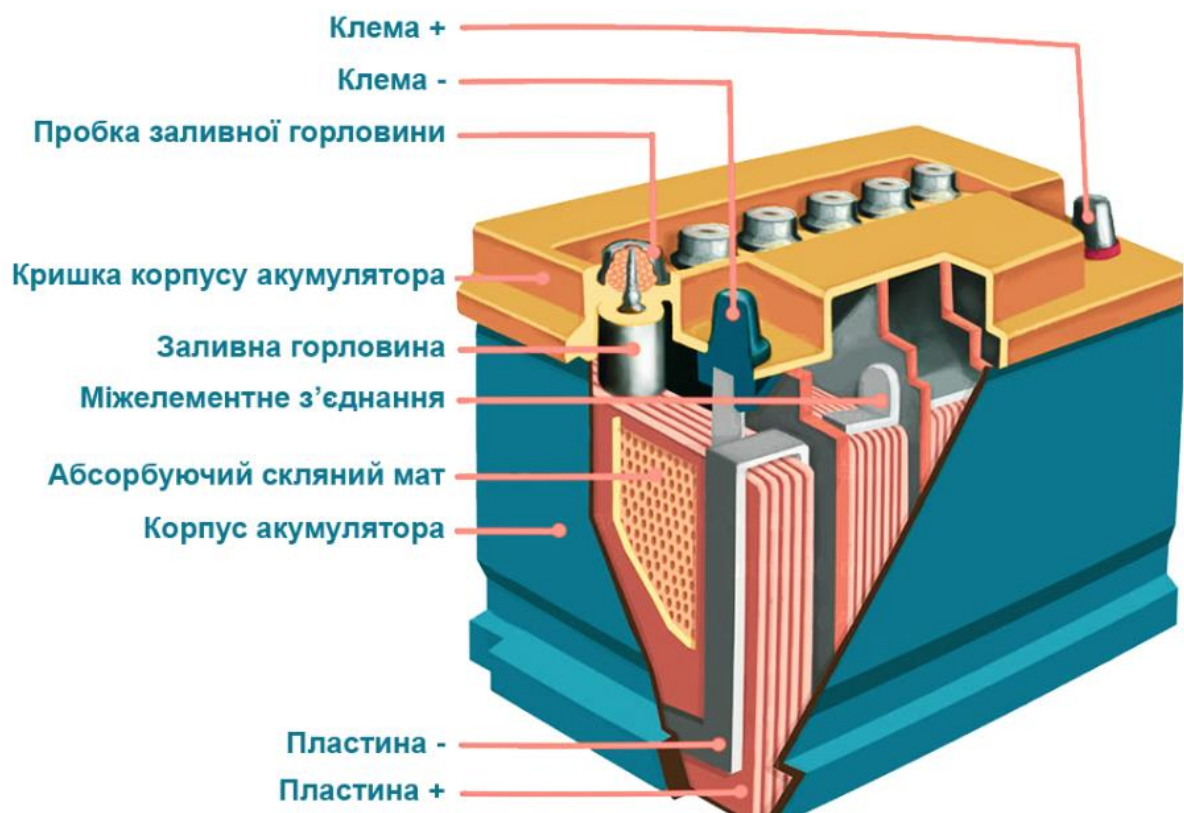


Рисунок 1.2 – Будова акумуляторів AGM типу

AGM (Absorbent Glass Mat) акумулятори мають низку переваг, що роблять їх привабливими для використання в автомобілях і різних технічних системах:

- Відсутність потреби у постійному обслуговуванні: ці акумулятори не вимагають доливання електроліту чи інших регулярних процедур догляду.
- Герметична конструкція: корпус акумулятора забезпечує повну герметичність, що мінімізує ризики витікання електроліту.

- Стійкість до перевертання: навіть у випадку перевернення електроліт не витікає, оскільки він утримується у спеціальному абсорбуючому скляному маті.
- Подовжений термін експлуатації: у середньому AGM акумулятори служать від 5 до 12 років, що значно перевищує ресурс традиційних моделей.
- Здатність зберігати заряд: ці акумулятори можуть зберігатися до трьох років без значної втрати ємності.
- Висока віддача струму: струм віддачі перевищує показники звичайних кислотних акумуляторів приблизно у 1,5 раза, при цьому процес заряджання проходить значно швидше.
- Стійкість до глибоких розрядів: вони витримують близько 200 повних циклів розряду, 500 циклів при розряді на 50%, та близько 1 000 циклів за рівня розряду в 20-30%.

Незважаючи на численні переваги, AGM акумулятори мають також деякі недоліки [14,18,20,22,28]:

- Висока ціна: їх вартість перевищує ціну стандартних свинцево-кислотних акумуляторів.
- Збільшені габарити та вага: через особливості конструкції вони є більшими та важчими за інші типи акумуляторів.
- Спеціальні зарядні пристрої: для оптимальної роботи AGM акумулятори потребують зарядних пристроїв, адаптованих до їх характеристик.
- Чутливість до перезарядження та коротких замикань: ці акумулятори потребують точного дотримання параметрів заряджання, оскільки перевищення допустимих меж може призвести до їх виходу з ладу.

### 3. Гелеві акумулятори [14,18,20,22,28].

Відмінною особливістю є використання електроліту у формі гелю, створеного додаванням кремнієвих сполук. Такі АКБ мають високу стійкість до глибоких розрядів, але їхня ціна є суттєво вищою за інші типи.



Рисунок 1.3 – Гелевий акумулятор в розрізі

Gel акумулятори (гелеві акумулятори) характеризуються рядом переваг, які роблять їх ідеальними для багатьох застосувань:

- Відсутність потреби в обслуговуванні: такі акумулятори не вимагають регулярного доливання води чи інших процедур догляду.
- Немає випарів електроліту: завдяки гелевій формі електроліт не випаровується, що робить ці акумулятори безпечнішими для навколишнього середовища та здоров'я.
- Можливість встановлення в будь-якому положенні: незалежно від орієнтації акумулятора, електроліт не проливається, що спрощує його використання в різних умовах.
- Тривалий строк експлуатації: середній термін служби гелевих акумуляторів складає від 6 до 10 років.
- Стійкість до глибоких розрядів: вони зберігають свою працездатність навіть при частих глибоких розрядах.
- Велика кількість циклів заряд-розряд: гелеві акумулятори витримують значно більше циклів у порівнянні з традиційними свинцево-кислотними моделями.

Попри численні переваги, Gel акумулятори мають і деякі недоліки:

- Висока вартість: ціна гелевих акумуляторів значно перевищує ціну традиційних моделей.
- Чутливість до перезарядження: необхідно дотримуватись суворого контролю процесу заряджання, оскільки надмірне заряджання може призвести до пошкодження акумулятора.

#### 4. Літій-іонні батареї [14,18,20,22,28].

Літій-іонні АКБ широко використовуються в електромобілях завдяки високій питомій енергоємності, низькій масі та довговічності.

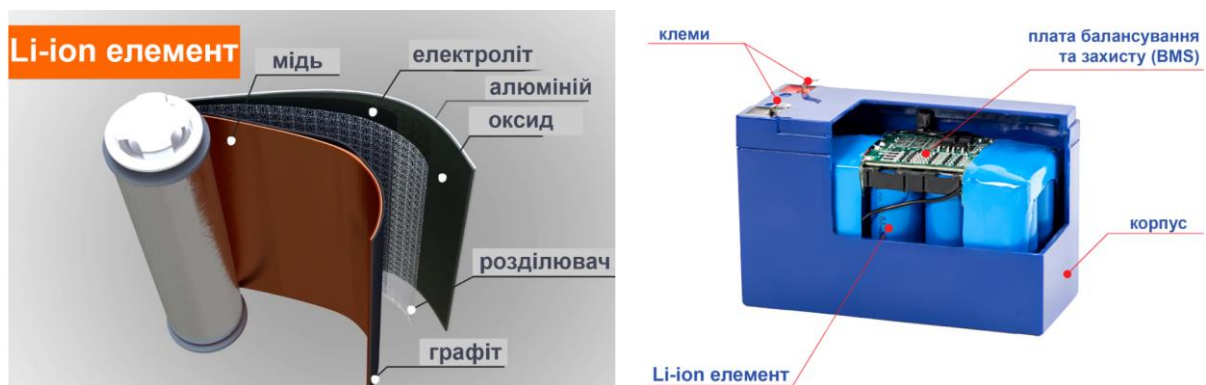


Рисунок 1.4 – Будова Li-ion акумулятору

Літій-іонні акумулятори (Li-ion) вважаються найбільш технологічно досконалими серед усіх типів батарей, таких як WET, VRLA, AGM чи GEL. Вони характеризуються високим запасом енергії при мінімальних розмірах і вазі. Завдяки винятковому співвідношенню ємності до розмірів корпусу, Li-ion батареї дозволяють створювати компактні й водночас потужні акумулятори, що робить їх незамінними для пристроїв із великим енергоспоживанням або тих, де потрібна тривала автономна робота.

Однак, ці акумулятори доволі вибагливі у використанні, потребуючи точного контролю та догляду. Ключовою складовою Li-ion батарей є BMS-контролер (Battery Management System), який виконує такі функції:

- контроль процесів зарядки та розрядки,
- моніторинг стану компонентів,
- аналіз температури, напруги, опору та інших показників,
- балансування струмів між елементами.

Літій-іонні акумулятори поділяються на декілька типів, найбільш популярні з яких:

- літій-залізо-фосфатні ( $\text{LiFePO}_4$ ),
- літій-кобальтові ( $\text{LiCoO}_2$ ),
- літій-марганцеві ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ),
- літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ),
- літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ ),
- літій-титанатні ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ).

Переваги Li-іон акумуляторів: висока ємність – забезпечують довгу автономну роботу, компактність і мала вага – легші й менші порівняно з іншими типами батарей тієї ж ємності, низький рівень саморозряду – тривалий час зберігають заряд, високі робочі струми – забезпечують стабільну роботу пристроїв із високим енергоспоживанням, тривалий термін служби – витримують багато циклів зарядки-розрядки, відсутність необхідності обслуговування – зручні у використанні, немає ефекту пам'яті – зберігають повну ємність навіть після часткових циклів зарядки, широкий діапазон робочих температур – від  $-20^\circ\text{C}$  до  $+50^\circ\text{C}$ .

Недоліки Li-іон акумуляторів: чутливість до надмірного заряду та повного розряду – може призвести до пошкодження елементів, проблеми із зарядкою при низьких температурах – ефективність зарядки знижується в холодних умовах, ризик вибуху при пошкодженні корпусу – вимагають дотримання правил безпеки.

Літій-іонні батареї поєднують у собі передові технології, компактність і високу продуктивність, що робить їх ідеальними для використання в сучасних електронних пристроях і техніці. Однак їхня експлуатація потребує обережності, аби забезпечити тривалу та безпечну роботу.

В таблиці 1.1 наведено порівняльні характеристики АКБ [14,18,20,22,28].

Таблиця 1.1 – Порівняння характеристик АКБ

Тип АКБ	Напруга (В)	Енергоємність (Вт·год)	Маса (кг)	Цикли заряду/розряду	Ціна
Свинцево-кислотні	12	400–800	15–20	300–500	Низька
AGM	12	500–900	15–18	500–800	Середня
Гелеві	12	500–1000	15–18	500–1000	Висока
Літій-іонні	12, 48	1000–3000	8–15	2000–5000	Дуже висока

## 1.2 Фактори, що впливають на роботу акумуляторних батарей (АКБ)

Робота акумуляторних батарей залежить від багатьох зовнішніх і внутрішніх факторів, які впливають на їхню ефективність, термін служби, здатність до зберігання заряду, а також на безпеку використання .

### 1. Температурний режим.

- Низькі температури:
  - Зменшують ємність АКБ через уповільнення хімічних реакцій у електроліті.
  - Спричиняють загусання електроліту, що знижує ефективність роботи АКБ.
  - Можуть призвести до повного розряду або пошкодження АКБ при неякісній ізоляції.
- Високі температури:
  - Прискорюють хімічні процеси, що збільшує саморозряд.
  - Викликають деградацію електроліту та пластин АКБ, зменшуючи термін служби.
- Оптимальний температурний діапазон для більшості АКБ: від +10°C до +30°C.

### 2. Глибина розряду.

- АКБ витримують певну кількість циклів заряд-розряд.

- Глибокий розряд:
  - Зменшує ємність АКБ та прискорює деградацію активних матеріалів.
  - Для AGM, GEL і Li-ion батарей глибокі розряди менш шкідливі, ніж для свинцево-кислотних батарей.
- Рекомендація: уникайте глибокого розряду, зберігаючи заряд вище 20%.

### 3. Рівень заряду.

- Підтримання заряду на рівні 80-100% продовжує термін служби АКБ.
- Неповний заряд може спричинити сульфатацію пластин у свинцево-кислотних АКБ.
- Для Li-ion АКБ постійна робота в повністю зарядженому стані знижує термін служби.

### 4. Перезаряд і недозаряд

- Перезаряд:
  - Викликає надмірне виділення газів, що може призвести до вибуху, витоку електроліту або розриву корпусу.
  - Особливо шкідливий для Li-ion та AGM АКБ.
- Недозаряд:
  - Знижує ємність і ефективність АКБ, сприяє сульфатації електродів.
  - Особливо критично для свинцево-кислотних акумуляторів.

### 5. Частота циклів заряд-розряд

- Тривалість роботи АКБ залежить від кількості циклів заряд-розряд:
  - Li-ion АКБ витримують 500-1500 циклів.
  - AGM і GEL АКБ можуть працювати 300-700 циклів.
  - Свинцево-кислотні АКБ зазвичай витримують 200-300 циклів.
- Рекомендація: уникайте частих повних розрядів і швидкої зарядки.

### 6. Якість електроліту та активних матеріалів [14,18,20,22,28].

- Якісний електроліт забезпечує стабільну роботу АКБ та її тривалий термін служби.

- Погіршення якості електроліту або активних матеріалів призводить до зниження ємності та деградації батареї.

#### 7. Режим експлуатації

- АКБ, які працюють у режимі короткочасних навантажень (наприклад, запуск двигуна), зношуються менше, ніж ті, які використовуються для постійного живлення.

- Високі струми розряду (стартерний режим) викликають нагрівання і прискорюють зношування батареї.

#### 8. Зарядні пристрої

- Використання неправильно підібраного зарядного пристрою може пошкодити АКБ:

- Перезаряд Li-ion батарей без BMS може призвести до їх перегрівання або вибуху.

- Неправильний струм заряду знижує ефективність і термін служби АКБ.

#### 9. Вібрація та механічні впливи

- Постійні вібрації можуть призвести до механічного пошкодження пластин або корпусу АКБ.

- Особливо чутливими до вібрацій є AGM і GEL батареї.

#### 10. Тривалість зберігання

- Довге зберігання без підзарядки може викликати саморозряд АКБ:

- Свинцево-кислотні АКБ втрачають заряд на 4-8% щомісяця.

- Li-ion батареї втрачають близько 2-3% щомісяця.

- Рекомендація: підтримуйте заряд на рівні 50-60% під час зберігання.

#### 11. Ефект пам'яті [14,18,20,22,28].

- Властивий нікель-кадмієвим (NiCd) і нікель-металогідридним (NiMH) акумуляторам.

- Li-ion і свинцево-кислотні АКБ не мають ефекту пам'яті, що є їхньою перевагою.

Для забезпечення ефективної роботи акумуляторних батарей необхідно



дотримуватися оптимальних умов експлуатації, контролювати рівень заряду і температурний режим, а також правильно підбирати зарядні пристрої. Це дозволяє мінімізувати ризики передчасного зношування АКБ та продовжити їх термін служби.

### **Висновки до розділу 1**

1. Кожен тип АКБ має свої переваги та недоліки, вибір залежить від умов експлуатації та вимог до електричної системи автомобіля.

2. AGM та гелеві батареї є ефективнішими в умовах високих навантажень, тоді як свинцево-кислотні АКБ підходять для стандартних завдань.

3. Літій-іонні батареї є найперспективнішими для електромобілів, але потребують додаткових систем безпеки.

4. Температурні умови та режими використання суттєво впливають на продуктивність та довговічність акумуляторів.

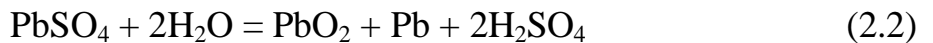
## 2. МЕТОДИ І СПОСОБИ ЗАРЯДКИ КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

### 2.1 Процеси, що проходять в акумуляторі в процесі заряду

Коли на акумулятор подається напруга від джерела постійного струму, у зовнішньому ланцюзі починається спрямований рух електронів до негативного полюса батареї. Іони свинцю з двовалентним зарядом, взаємодіючи з електронами, що надходять, відновлюються, перетворюючи активну масу негативних пластин на металевий губчастий свинець. Під час цього процесу утворюється сірчана кислота [15,16,21,27]:



Водночас на позитивних пластинах відбувається окислення іонів свинцю (II) до діоксиду свинцю. Цей процес супроводжується виділенням сірчаної кислоти в електроліт [15,16,21,27]:



Коли хімічні реакції перетворення активних речовин на позитивних і негативних електродах завершуються, щільність електроліту стабілізується, що свідчить про повне завершення процесу заряду акумулятора.

### 2.2 Способи зарядки кислотних акумуляторів

Існують такі методи зарядки акумуляторних батарей: із постійною напругою; із постійною силою струму; двоступеневий метод; зарядка асиметричним струмом; та використання імпульсного струму.

Перший метод є найбільш простим і широко використовується для зарядки акумуляторів у бортових мережах автомобілів. Принцип його дії зображено на (рис. 2.1), а форма зарядного струму представлена на (рис. 2.2). Однак напруга в цьому методі вважається постійною лише умовно. Це зумовлено тим, що акумулятор за своєю природою є джерелом напруги з ідеально низьким внутрішнім опором, здатним забезпечувати теоретично нескінченно великий струм, підтримуючи стабільну напругу на своїх клеммах за будь-якого навантаження [27,28].

Через це, підключати акумулятор паралельно до інших джерел струму без обмеження струму є небезпечно. На практиці для обмеження струму

використовують внутрішній опір акумулятора. Однак під час зарядки з постійною напругою досягти повного зарядження акумулятора складно. До того ж, одним із недоліків такого методу є значне нагрівання батареї. Постійні недозаряди призводять до сульфатації електродів, що збільшує внутрішній опір батареї, зменшує її ємність і в кінцевому підсумку призводить до передчасного виходу з ладу.

При цьому способі зарядки ступінь зарядження можна оцінити лише за зміною щільності електроліту, оскільки напруга і струм зарядки взаємопов'язані, і їхні вимірювання не дають чітких даних про стан зарядженості батареї [22, 27].

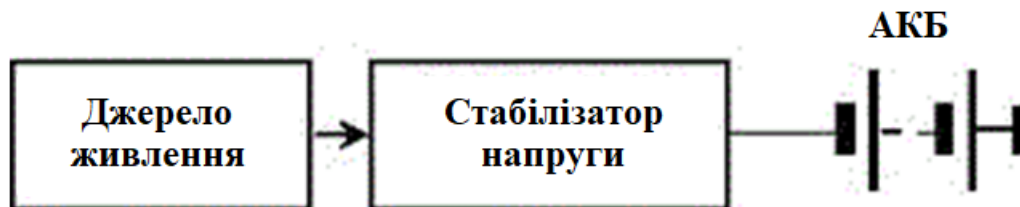


Рисунок 2.1 – Схема заряду акумулятора при постійній напрузі

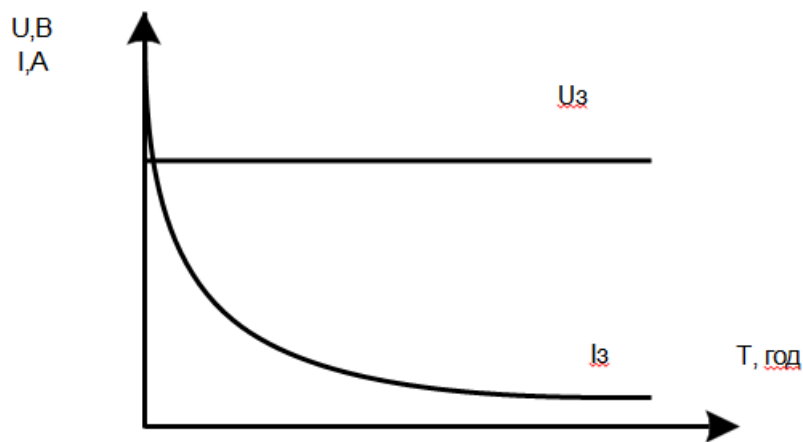


Рисунок 2.2 - Діаграма зарядного струму і напруги, при постійній напрузі

Зарядка акумулятора за допомогою постійного струму вирішує низку проблем, характерних для методу зарядки постійною напругою. Схема цього методу зображена на (рис. 2.3), а форма струму і напруги показана на (рис. 2.4). Оптимальний струм для зарядки дорівнює одній десятій частині номінальної ємності акумулятора, визначеної при двадцятигодинному режимі розряду.

При такій силі струму акумулятор не перегрівається, а напруга залишається значно менш чутливою до зовнішніх впливів. Це робить можливим оцінювання ступеня зарядженості акумулятора за зміною напруги, що набагато зручніше порівняно з вимірюванням щільності електроліту.

Метод зарядки постійним струмом забезпечує повне зарядження акумулятора. На фінальній стадії процесу зарядки відбувається десульфатація електродів завдяки електрохімічному розкладанню сульфату свинцю. Це сприяє відновленню активних матеріалів і підвищує ефективність роботи акумулятора. Таким чином, цей метод дозволяє значно подовжити термін служби акумулятора за інших рівних умов.



Рисунок 2.3 – Схема заряду акумулятора при постійній силі струму

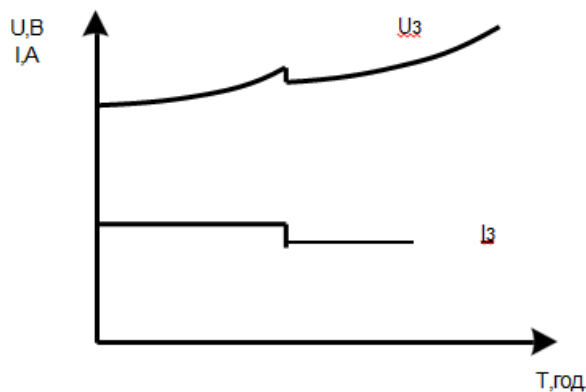


Рисунок 2.4 – Діаграма зарядного струму і напруги, при східчато змінюваній формі струму

Діаграма зарядного струму і напруги при східчато змінюваній формі струму демонструє динаміку процесу зарядки акумулятора, коли струм змінюється поступово на певних етапах. Цей метод дозволяє оптимізувати

процес зарядки, зменшуючи ризик перегріву та підвищуючи ефективність заряджання.

Основні етапи діаграми:

Початковий етап: струм зарядки встановлюється на максимальний рівень, щоб швидко поповнити ємність акумулятора. Напруга поступово збільшується до встановленого рівня.

Середній етап: струм зменшується, а напруга стабілізується на певному рівні. Цей етап забезпечує безпечне заряджання без ризику перегріву.

Заключний етап: струм зарядки знижується до мінімального рівня, що дозволяє акумулятору досягти повного заряджання без пошкодження електродів. Напруга залишається стабільною або може незначно зрости.

Третій метод заряду відбувається він за схемою, представленої на рис. 2.5, форма зарядного напруги і струму представлені на рис. 2.6. Перший етап - заряд стабілізованою струмом (I). Другий етап - заряд стабілізованою напругою (U).

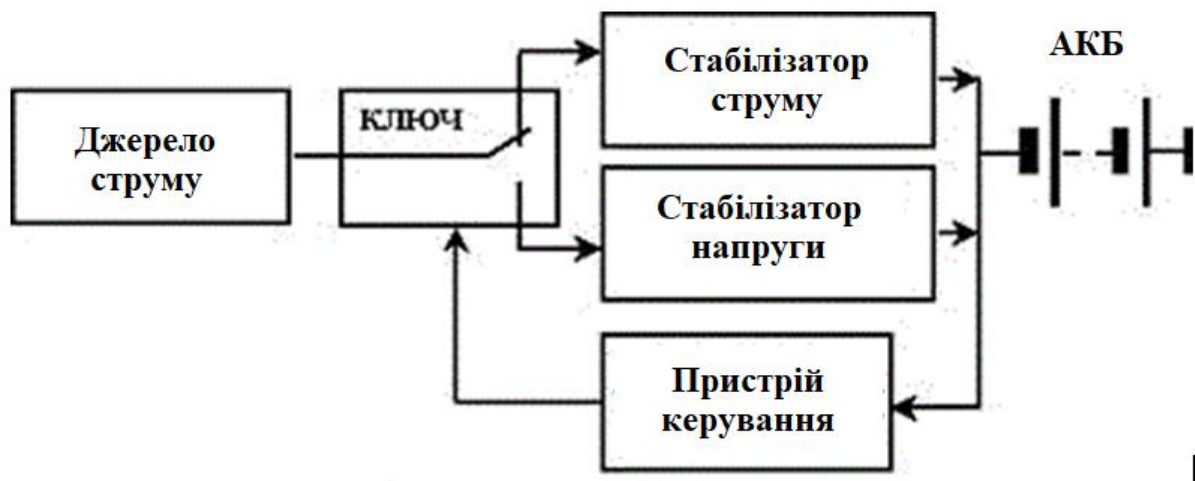


Рисунок 2.5 – Схема заряду акумулятора двоступінчастим методом

Перший етап заряджання акумуляторної батареї (див. рис. 2.6) дозволяє досить швидко набрати основну частину її ємності, уникаючи закипання електроліту. Якщо акумулятор заряджати виключно у режимі стабілізації струму, для досягнення повного заряду довелося б підвищувати напругу на акумуляторній батареї (АКБ) понад 2,3 В на одну банку. Це перевищення

призводить до початку кипіння електроліту, що активізує електрохімічні процеси, скорочуючи термін служби акумулятора.

Окрім того, заряджання з напругою вище 2,3 В на банку вимагає дотримання суворих вимог щодо вибухобезпеки для приміщень, де розташовані акумулятори.

Для усунення цих недоліків використовується другий етап зарядки – стабілізація напруги. Зарядний пристрій автоматично переходить у цей режим, коли напруга досягає 2,3 В на одну банку. Перехід здійснюється плавно, без стрибків струму, які характерні для режимів з фіксованою напругою. У процесі цього етапу струм поступово зменшується.

Такий алгоритм заряджання мінімізує ризик сульфатації, виключає перезаряджання та забезпечує досягнення повного заряду (100% ємності). Завдяки стабілізації напруги акумулятор може залишатися підключеним до зарядного пристрою протягом тривалого часу, перебуваючи в постійній готовності до експлуатації.

Основний недолік цього методу – триваліший час заряджання, а також підвищена вартість зарядних пристроїв, здатних підтримувати такий режим.

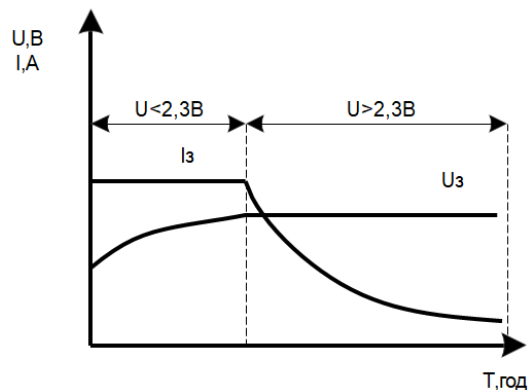


Рисунок 2.6 – Діаграма зарядного струму і напруги, при двухступенчатом способі заряду

Метод заряджання акумулятора імпульсним струмом є ще одним ефективним способом, який дозволяє суттєво скоротити час заряджання порівняно з традиційними методами. Крім того, він сприяє покращенню експлуатаційних характеристик акумуляторної батареї.

Цей метод базується на використанні періодичних імпульсів струму, що

чергуються з паузами, під час яких струм не подається. Такий підхід сприяє зниженню нагрівання акумулятора, рівномірному розподілу заряду між пластинами та мінімізації процесів сульфатації, які є основною причиною зниження ємності акумулятора.

Форма зарядного струму при використанні цього методу представлена на рис. 2.7. Імпульсна форма сигналу забезпечує ефективне зарядження, дозволяючи досягти повного заряду при менших енергетичних витратах.

Цей спосіб зарядки особливо підходить для акумуляторів, які регулярно піддаються глибоким розрядам або використовуються в умовах високих струмових навантажень, таких як стартерні батареї в автомобілях.

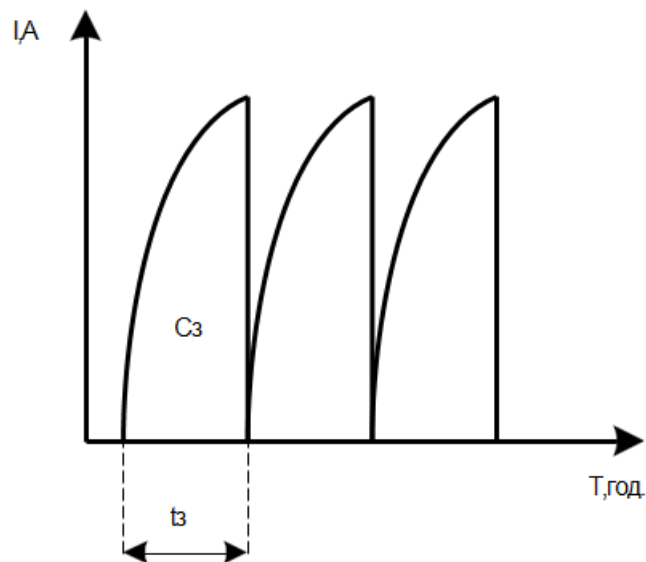


Рисунок 2.7 – Графік форми зарядного струму

Зарядка акумуляторів реверсивним струмом є ще одним удосконаленим методом, який дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики акумуляторних батарей. Суть цього методу полягає в подачі змінного струму, де імпульси зарядного струму чергуються з імпульсами розрядного струму. Кожен період складається з імпульсів обох напрямків із різними амплітудами та тривалістю (див. рис. 2.8).

Реверсивний струм забезпечує наступні переваги:

Покращення десульфатації: Реверсивний струм сприяє розщепленню кристалів сульфату свинцю, що утворюються на пластинах акумулятора,

завдяки чому відновлюється початкова ємність батареї.

Зменшення нагріву: Чергування імпульсів дозволяє зменшити теплове навантаження на акумулятор, що позитивно впливає на термін його служби.

Оптимізація хімічних реакцій: Чергування зарядно-розрядних імпульсів покращує рівномірність хімічних процесів у активній масі електродів.

Швидший заряд: Цей метод дозволяє зменшити загальний час заряджання без шкоди для ємності .

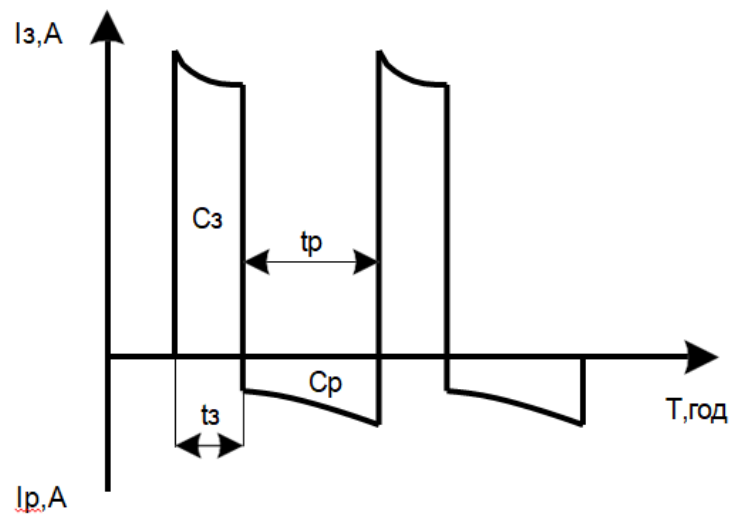


Рисунок 2.8 – Графік зміни сили струму від часу заряду

При кожному циклі зарядки акумулятора реверсивним струмом відбувається як зарядження, так і часткове розрядження. Завдяки певному співвідношенню амплітуд і тривалості імпульсів прямого та зворотного струму знижується рівень газовиділення, а також температура електроліту. Відповідно до теоретичних і практичних засад електролізу, зарядка реверсивним струмом дозволяє ефективно керувати відновними реакціями та структурними змінами активного матеріалу пластин. У результаті, залежно від співвідношення та абсолютних значень анодного і катодного періодів, формуються кристали активного матеріалу різної форми й розміру. Це сприяє збільшенню загальної пористості та площі поверхні пластин, яка бере участь у процесах, що поліпшує умови контакту електроліту з активним матеріалом електродів, а також сприяє вирівнюванню концентрації електроліту в приелектродному шарі.

Основні параметри методу [29]:



- Співвідношення амплітуд зарядного і розрядного струмів становить 10:1.
- Тривалість розрядного імпульсу, як правило, вдвічі перевищує тривалість імпульсу заряду.

Зарядка акумулятора здійснюється за загальноприйнятою схемою до початку інтенсивного газовиділення у всіх банках. Напруга та щільність електроліту залишаються стабільними протягом двох годин. У процесі зарядки важливо контролювати температуру електроліту, яка не повинна перевищувати 45°C. Якщо температура перевищує цей поріг, зарядку припиняють.

Вимоги до зарядного струму:

Середнє значення зарядного струму не повинно перевищувати 10% від номінальної ємності акумулятора. Наприклад, для АКБ ємністю 60 А·год зарядний струм не має перевищувати 6 А. Якщо значення струму значно перевищують рекомендовані (форсовані режими заряду-розряду), ефективність використання асиметричного струму знижується.

Наприкінці зарядки реверсивним струмом виділяється менше тепла, а газовиділення починається з затримкою, що створює оптимальні умови для регулювання відновних реакцій. Це також зменшує швидкість росту кристалів сульфату свинцю. Порядок зарядки реверсивним струмом аналогічний процесу зарядки постійним струмом.

Переваги методу:

- Відсутня необхідність у періодичних контрольно-тренувальних циклах.
- Практично повністю виключається необоротна сульфатація пластин, що є основною причиною старіння акумуляторів.
- Можливість підвищення зарядного струму в 2–3 рази без ризику пошкодження батареї.
- Ефективна десульфатація пластин навіть за низького струму (1–2 А), що дозволяє відновити ємність сильно засульфатованих акумуляторів.

Недоліки методу:

- Складність створення джерела каліброваного реверсивного струму.

Зарядка реверсивним струмом є перспективною технологією, що дозволяє

продовжити термін служби акумулятора, забезпечити ефективну десульфатацію та підтримувати високу продуктивність батареї навіть за інтенсивного використання.

### 2.3 Методи зарядки кислотних акумуляторів

Існують такі методи зарядки акумуляторних батарей (АКБ): прискорений заряд, заряд під час тривалого зберігання АКБ, а також контрольно-тренувальні цикли.

Прискорений заряд АКБ. Прискореним зарядом називається метод заряду, при якому струм перевищує 10% від номінальної ємності кислотної АКБ. Основною перевагою цього методу є суттєве скорочення часу зарядки. Однак, прискорений заряд має і свої недоліки, серед яких найзначнішим є підвищений знос акумуляторної батареї. Через високу інтенсивність зарядного струму збільшується ймовірність перегріву та деградації активних матеріалів пластин, що знижує тривалість експлуатації АКБ.

Заряд під час тривалого зберігання АКБ. Якщо акумуляторна батарея не використовується протягом тривалого часу (наприклад, у зимовий період), доцільно використовувати заряд зрівняльним струмом. Цей метод передбачає заряд АКБ малим струмом, рівним току саморозряду батареї. Такий підхід дозволяє компенсувати внутрішні витоки АКБ і запобігає втраті заряду. У цьому режимі заряджання застосовується стабілізоване джерело живлення з напругою 13,5–13,8 В та обмеженням струму до 100–150 мА (рис. 2.9) [29].

Використання стабілізатора напруги забезпечує контроль процесу зарядки, виключає ризик сульфатації та перезарядження акумулятора. Це дозволяє підтримувати АКБ у працездатному стані навіть у періоди тривалого зберігання, мінімізуючи негативний вплив часу на її технічні характеристики.

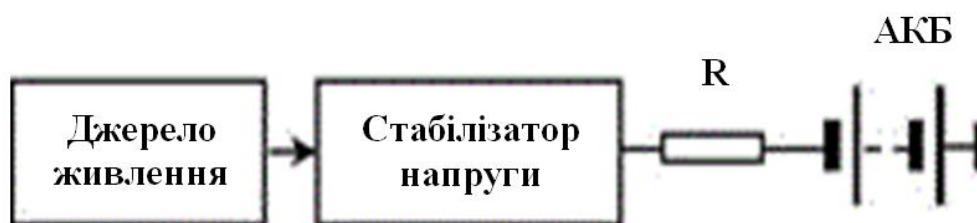


Рисунок 2.9 – Схема заряду при тривалому зберіганні АКБ

Контрольно-тренувальний цикл (КТЦ) є обов'язковим процесом, який проводять для уникнення сульфатації електродів та визначення реальної ємності батареї. Виконувати такий цикл рекомендується як мінімум раз на рік. Послідовність виконання КТЦ наступна:

1. Зарядження батареї. Акумулятор заряджається до повного відновлення ємності, використовуючи будь-який із доступних методів (постійним струмом, напругою або комбінованим способом).

2. Стабілізація після заряду. Після завершення зарядного процесу батарею залишають у стані спокою на 3 години, щоб усі внутрішні реакції стабілізувалися.

3. Корекція щільності електроліту. Параметри щільності електроліту перевіряються і, за необхідності, регулюються до рівня, встановленого виробником.

4. Рівномірне перемішування електроліту. Для забезпечення однорідності електроліту акумулятор додатково заряджають малим струмом протягом 20–30 хвилин.

5. Проведення контрольного розряду. Виконують розряд батареї постійним нормальним струмом 10-годинного режиму до зниження напруги на банці до 1,7 В (або до 10,2 В для всієї батареї). У цей час вимірюють тривалість розрядного процесу.

6. Розрахунок ємності батареї. Обчислення ємності акумулятора проводять за формулою [18,24,25]:

$$C=I \cdot t,$$

де  $C$ - фактична ємність у А·год,

$I$ - струм розряду в амперах,

$t$  - час у годинах.

7. Зарядження після контрольного розряду. Після завершення контрольного розряду батарея негайно підключається до зарядного пристрою для повного відновлення заряду.

Оцінка технічного стану АКБ. Якщо під час КТЦ виявлено, що ємність акумулятора знизилася до рівня, який становить менше ніж 50% номінальної, то такий акумулятор вважається несправним і його необхідно замінити.

Контрольно-тренувальні цикли є ефективним способом вчасного виявлення дефектів акумуляторних батарей. Вони допомагають попередити деградацію батареї, продовжуючи термін її експлуатації шляхом усунення сульфатації і покращення активності електродів.

#### **2.4 Сутність процесу десульфатації реверсивним струмом**

Покращення експлуатаційних характеристик акумуляторів досягається завдяки зарядці реверсивним струмом, який представляє собою змінний струм із різними амплітудами та тривалістю імпульсів у обох напрямках протягом одного періоду. У цьому процесі акумулятор протягом кожного періоду заряджається, а також частково розряджається.

При відповідному співвідношенні амплітуд і тривалості імпульсів зарядного та розрядного потоків зменшуються газовиділення та нагрівання електроліту. Згідно з теоретичними і практичними засадами електролізу, заряд реверсивним струмом дозволяє ефективно керувати відновними реакціями та змінювати структуру активного матеріалу пластин. Це дає змогу формувати кристали різних розмірів і форм залежно від співвідношення та абсолютних значень анодного та катодного періодів.

Під час анодного періоду на позитивних пластинах акумулятора відбувається адсорбція атомарного кисню, кількість якого поступово збільшується, що обмежує доступ електроліту до глибших шарів активного матеріалу. У катодному періоді цей кисень видаляється з поверхні пластин, що сприяє покращенню доступу електроліту до внутрішніх шарів активного матеріалу. Крім того, створюється більш кисле середовище, яке позитивно впливає на процес розчинення сульфатів свинцю. Як наслідок, більша кількість  $PbSO_4$  вступає в хімічну реакцію, перетворюючись у  $PbO_2$ , що збільшує ємність акумулятора.

Цей процес сприяє підвищенню загальної пористості та площі активної

поверхні пластин, завдяки чому збільшується площа контакту між електролітом і активним матеріалом електродів. Це полегшує дифузійні процеси та сприяє вирівнюванню концентрації електроліту у приелектродному шарі. Підвищення пористості, своєю чергою, збільшує максимальні струми заряду та розряду.

У кінці розряду при використанні реверсивного струму виділяється менше тепла, а інтенсивне газовиділення починається із затримкою. Це створює умови для регулювання відновних реакцій і уповільнює зростання кристалів сульфату свинцю.

Процедура зарядки реверсивним струмом є аналогічною зарядці постійним струмом, що забезпечує її практичність у застосуванні.

## **Висновки до розділу 2**

1. У ході аналізу було розглянуто різні способи зарядки кислотних акумуляторів: при постійній напрузі, постійному струмі, імпульсному струмі, реверсивному струмі, а також прискорені режими та методи зарядки під час тривалого зберігання. Кожен із цих способів має свої переваги, недоліки та сфери застосування.

2. Зарядка при постійній напрузі є найпростішою і найпоширенішою завдяки широкому використанню цього способу в бортових мережах автотранспортних засобів. Проте, цей метод не забезпечує повного заряду акумулятора, що може призводити до сульфатації електродів.

3. Метод зарядки постійним струмом забезпечує повний заряд акумулятора, дозволяє проводити десульфатацію електродів на завершальних етапах заряду. Недоліком є складність контролю напруги, яка змінюється в процесі зарядки.

4. Застосування імпульсного струму сприяє зменшенню часу зарядки та покращенню експлуатаційних характеристик акумулятора. Імпульсна форма струму запобігає надмірному нагріванню електроліту та знижує ризик сульфатації пластин.

5. Зарядка реверсивним струмом дозволяє досягати високої ефективності відновлення акумуляторів. Застосування цього методу забезпечує зниження

газовиділення, покращення пористості активного матеріалу електродів, а також сприяє десульфатації пластин.

6. Вибір відповідного методу зарядки залежить від умов експлуатації, стану акумулятора та вимог до його тривалості роботи. Раціональне використання способів зарядки дозволяє продовжити термін служби кислотних акумуляторів, покращити їх технічні характеристики та зменшити витрати на обслуговування.

### 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДНОВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРІВ

#### 3.1 Обладнання для проведення досліджень

Для здійснення досліджень процесу відновлення акумуляторів за допомогою імпульсного та реверсивного струму була необхідність у створенні спеціалізованого зарядного пристрою. Основною вимогою до пристрою було забезпечення можливості регулювання всіх параметрів, що визначають форму зарядного та розрядного струму, а також його здатність працювати в режимі імпульсного струму.

На основі цих вимог було запропоновано зарядний пристрій, який функціонує у двох режимах:

1. Імпульсний режим, який забезпечує передачу струму до АКБ у вигляді імпульсів заданої амплітуди та періоду.

2. Реверсивний режим, що дозволяє заряджати акумулятор змінним струмом з чергуванням фаз зарядки та розрядки.

Пристрій надає можливість регулювати такі параметри: амплітуду зарядного струму; тривалість імпульсів; періоди зарядки та розрядки.

Розроблений зарядний пристрій представлено на рис. 3.1, а його принципова електрична схема наведена на рис. 3.2.

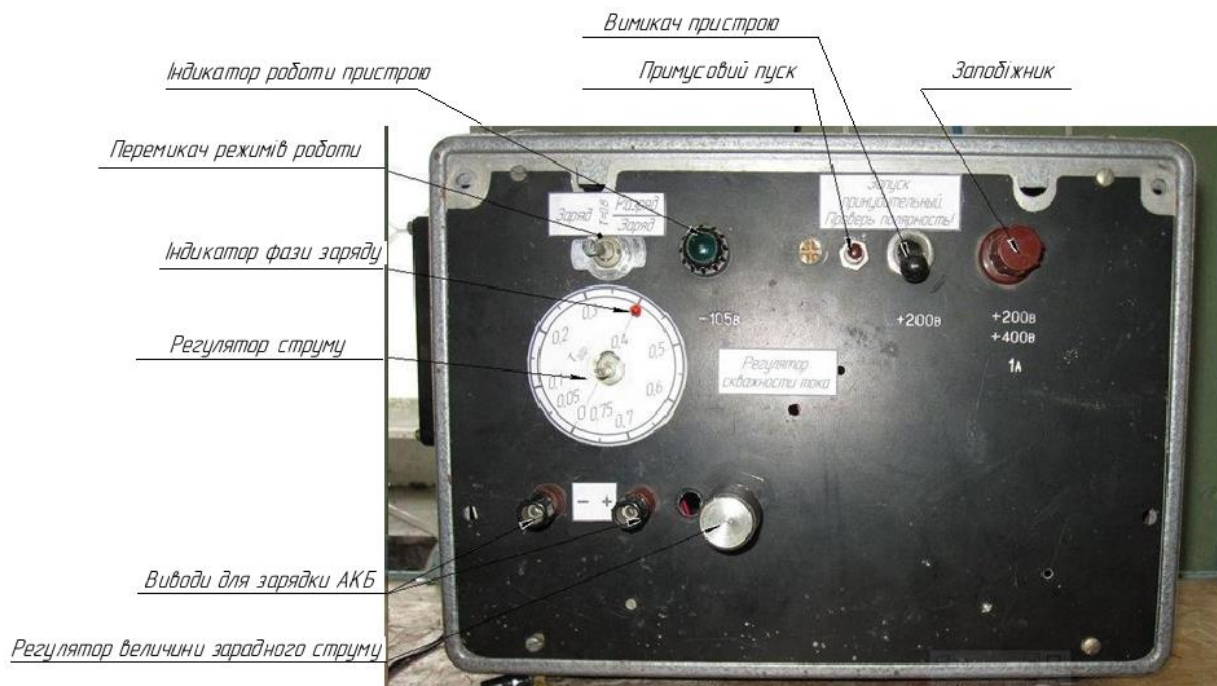


Рисунок 3.1 – Запропонований зарядний пристрій ЗУ1

Цей пристрій дозволяє дослідити вплив різних режимів заряду на технічні характеристики акумуляторних батарей та оцінити ефективність їх відновлення.

Зарядний пристрій ЗУ1 працює за таким алгоритмом: При включенні пристрою (перемикач S3 закритий, блок, що регулює режим заряд/розряд, відключений) замикається перемикач S1. Це забезпечує подачу живлення на трансформатор T1 через запобіжник S1, що запобігає перевантаженню пристрою.

Після живлення трансформатора T1, у його вторинній обмотці з'являється змінна напруга. Ця напруга передається на керований діодний міст, сформований діодами VD2-VD5, який виконує випрямлення змінної напруги для живлення інших компонентів схеми.

Напруга від керованого діодного мосту подається на стабілітрон VD6. Стабілітрон формує прямокутні імпульси з обмеженням рівня напруги до 10 В.

Цей алгоритм забезпечує стабільне живлення компонентів схеми та формування імпульсного сигналу для подальшої зарядки акумуляторних батарей.

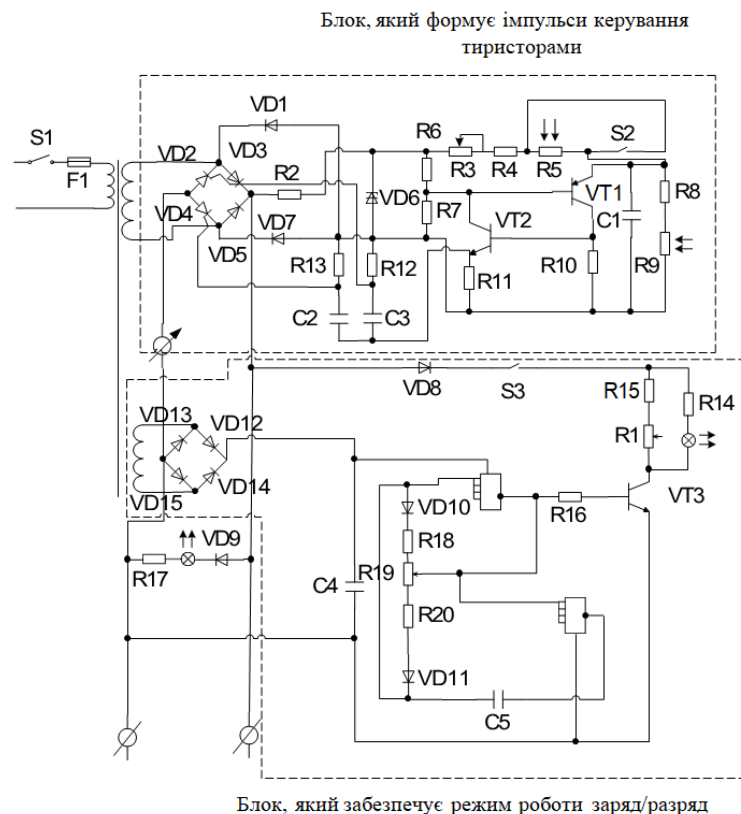


Рисунок 3.2 – Схема запропонованого зарядного пристрою



Подача напруги далі відбувається наступним чином:

#### 1. Заряд конденсатора:

- Напруга, що надходить через змінний резистор R3 і обмежувальний резистор R4, спрямовується на фоторезистор R і заряджає конденсатор C1.
- Коли напруга на конденсаторі C1 досягає приблизно 6,7 В, транзистор VT1 відкривається.

#### 2. Активізація транзисторів:

- Відкриття транзистора VT1 призводить до виникнення колекторного струму, який активує транзистор VT2.
- У цей момент база транзистора VT1 шунтується, що спричиняє різке відкриття обох транзисторів.
- На резисторі R11 формується прямокутний імпульс із різким переднім фронтом.

#### 3. Відкриття тиристора:

- Створений імпульс подається на тиристори VD2 або VD4 залежно від того, який із них має на аноді позитивну напругу в цей момент.
- Тиристор відкривається через диференціальний ланцюг C2 R13 або C3 R13, який забезпечує прискорення процесу відкриття, зменшує втрати енергії та запобігає нагріванню тиристора.

#### 4. Регулювання зарядного струму:

- Якщо опір змінного резистора R3 зведений до мінімуму, тиристор повністю відкритий, і акумулятор отримує енергію, рівну площі, обмеженій випрямленим однополуперіодним струмом (графік а).
- Зміна опору R3 змінює момент відкриття тиристора, а отже, регулює середній зарядний струм. На графіках б і в (рис. 3.3) показано, як це впливає на струм.

Ця система забезпечує плавне регулювання зарядного струму та оптимізацію процесу заряджання для продовження терміну служби акумулятора.

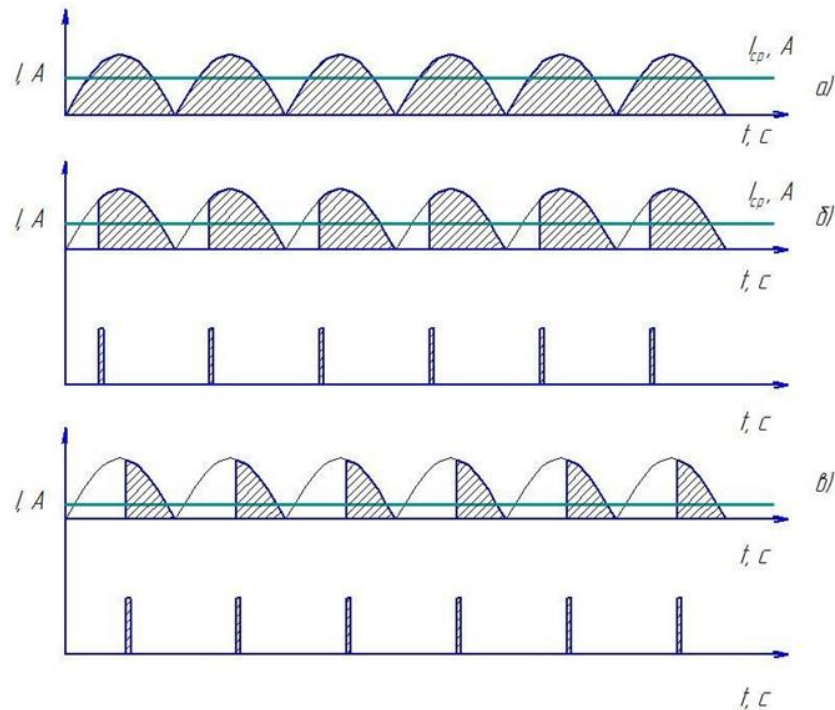


Рисунок 3.3 – Діаграма регулювання форми зарядного струму

Схема роботи зарядного пристрою передбачає наступні етапи:

1. Робота оптопари:

- Оптопара налаштована таким чином, що якщо напруга на клеммах акумулятора знижується до значення менше ніж 6 В, джерело освітлення оптопари не забезпечує достатню інтенсивність світлового потоку.

- У результаті опір фоторезистора R6 суттєво збільшується, що викликає розрив ланцюга.

- Для примусового запуску схеми використовується реле S2, яке спрацьовує тільки у визначених умовах. Від переполюсовки схему захищає діод VD9.

2. Увімкнення режиму заряд/розряд:

- При перемиканні тумблера S3 активується режим зарядки/розрядки акумулятора.

- Сигнал від генератора надходить на базу транзистора VT3. У момент отримання сигналу «логічна одиниця» транзистор VT3 відкривається через обмежувальний резистор R16, замикаючи розрядний ланцюг через резистори R15 і R1.

3. Робота оптопари в режимі розряду:

- Паралельно розрядному струму через резистори протікає струм через освітлювальний елемент оптопари, внаслідок чого зменшується опір фоторезистора R9.

- Це замикає конденсатор C1 і відключає блок генерації керуючих імпульсів тиристора, тим самим припиняючи фазу заряду.

#### 4. Реактивація формувача імпульсів:

- Коли розрядний струм припиняється, робота блоку керування поновлюється.

- Конденсатор C4 фільтрує напругу живлення логічних елементів, забезпечуючи їх стабільну роботу.

#### 5. Регулювання параметрів заряду/розряду:

- Регулятор R3 змінює середнє значення зарядного струму.

- Регулятор R1 дозволяє встановлювати величину розрядного струму (графік в, рис. 3.4).

- Змінний резистор R19 змінює шпаруватість сигналу, що регулює співвідношення часу зарядної та розрядної фаз (графіки а та б).

Основні переваги пристрою: Гнучкість у налаштуванні шпаруватості сигналу та середніх значень струму, Можливість реалізації ефективного циклічного заряду/розряду для десульфатації акумуляторів, Надійність завдяки захисту від переполюсовки та стабільності напруги логічних елементів.

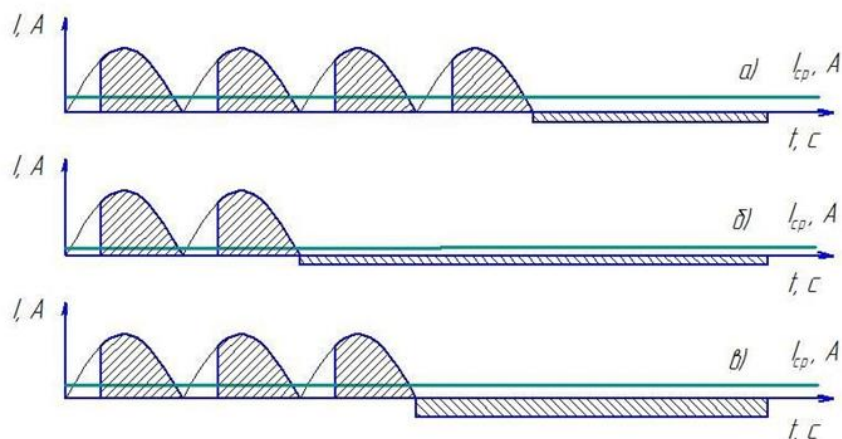


Рисунок 3.4 - Діаграма регулювання форми зарядного і розрядного струмів

Для забезпечення точного вимірювання й реєстрації реального зарядного

струму було запропоновано спеціалізований пристрій, що дозволяє фіксувати зміни струму в реальному часі. Схема цього пристрою зображена на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 - Реєстратор зарядного струму

Для реєстрації та виведення на екран комп'ютера форми зарядного струму, величина якого може досягати 30 А, було запропоновано спеціалізований реєстратор. Принципова схема роботи реєстратора зображена на рис. 3.6, а результати зняття реальних свідчень продемонстровані на рис. 3.7.

#### Опис роботи реєстратора

1. Включення в ланцюг: При підключенні зарядного пристрою до акумулятора в ланцюзі починає протікати зарядний струм. Цей струм є основним об'єктом аналізу.

#### 2. Використання датчика струму:

- Датчик струму, побудований на основі ефекту Холла, генерує пропорційну напругу, яка відповідає величині струму в провіднику.
- Цей сигнал є аналоговим і відображає миттєві значення зарядного струму.

#### 3. Перетворення сигналу:

- Напруга, отримана від датчика, подається на вхід аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).
- Завдання АЦП полягає у перетворенні аналогового сигналу у цифровий код.

#### 4. Обробка даних:

- Цифровий код надходить у процесор реєстратора, який виконує попередню обробку даних.
- Після цього оброблені дані передаються на комп'ютер через інтерфейс підключення.

#### 5. Візуалізація результатів:

- На комп'ютері дані обробляються програмним забезпеченням і виводяться у вигляді осцилограм зарядного струму в реальному часі.
- Осцилограми дозволяють візуально аналізувати зміну струму протягом процесу зарядки.

#### Особливості та переваги пристрою:

- Точність вимірювань: Використання датчика на основі ефекту Холла забезпечує високу точність і надійність.
- Швидкість реєстрації: Пристрій дозволяє фіксувати миттєві значення струму в реальному часі, що важливо для аналізу імпульсних або реверсивних режимів зарядки.
- Широкий діапазон вимірювань: Реєстратор ефективно працює із струмами до 30 А.
- Зручність використання: Підключення до комп'ютера спрощує обробку і візуалізацію даних.

Застосування: розроблений пристрій ідеально підходить для досліджень зарядних характеристик акумуляторних батарей у лабораторних умовах, а також для оптимізації режимів зарядки.

Цей реєстратор допомагає виявити можливі аномалії у зарядному процесі та аналізувати його вплив на загальну продуктивність акумуляторів.

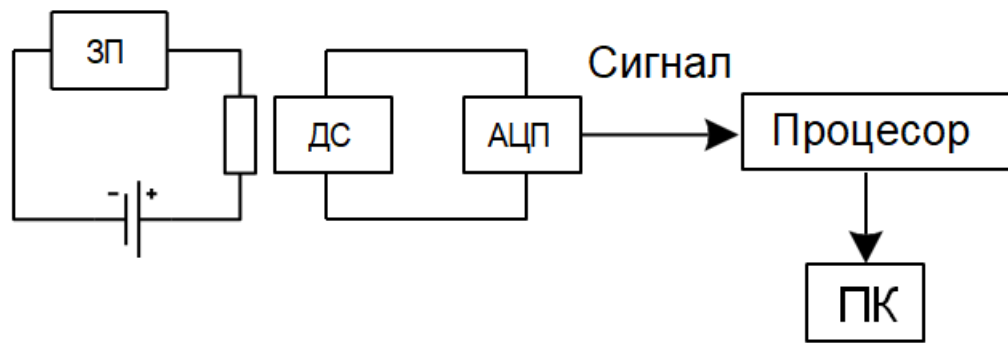


Рисунок 3.6 – Схема пристрою реєстратора струму: ЗП - зарядний пристрій; ДС - датчик струму; АЦП - процесор.

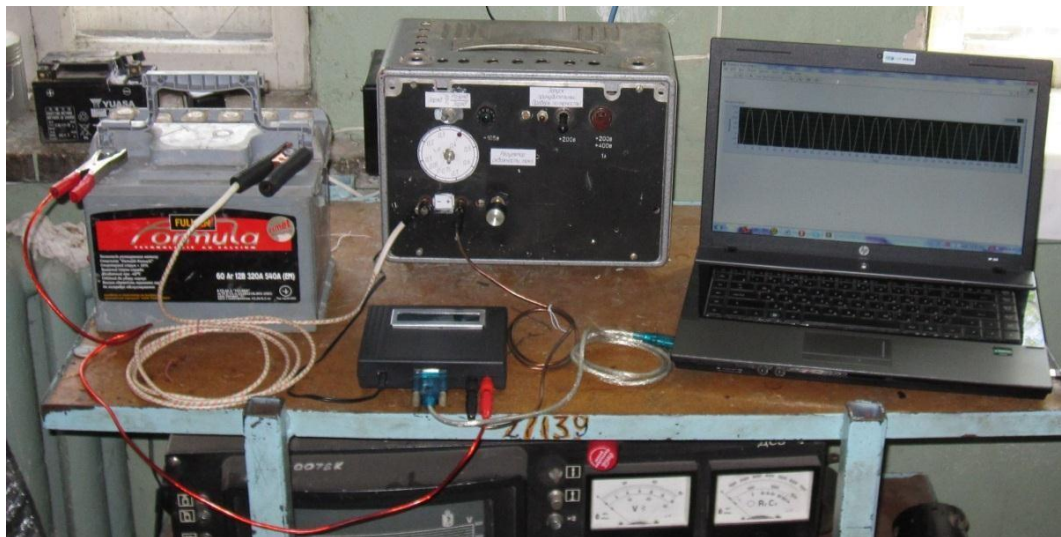


Рисунок 3.7 – Експериментальна установка для заряду АКБ і реєстрації заряду

### 3.2 Складання математичної моделі

Еволюція технічних процесів безпосередньо пов'язана зі створенням нових та вдосконаленням існуючих технологій. Їхньою базою є експериментальна діяльність. Значне підвищення результативності досліджень та інженерних рішень досягається шляхом застосування математичних методів планування експериментів. У процесі виконання експериментів і подальшої обробки отриманих даних цей підхід дозволяє суттєво зменшити терміни реалізації, знизити фінансові витрати на дослідження та забезпечити високу якість отриманих результатів.

Застосування методології планування експерименту є одним із найважливіших способів підвищення ефективності багатofакторних експериментальних досліджень. У цій сфері переважно використовують схеми планів першого та другого порядків.

Процеси, які протікають у акумуляторних батареях (АКБ), характеризуються значною складністю моделювання. Сучасна теорія поки що не дозволяє повноцінно описати всі явища, що виникають в АКБ. Таким чином, за відсутності повної інформації щодо механізмів цих процесів можна лише вказати параметри, які визначають умови їх протікання, а також встановити вимоги до кінцевих результатів. Зазначена проблема може бути представлена у формі так званого "чорного ящика", що виступає об'єктом дослідження і має **X** входів та **Y** виходів (рис. 3.8).

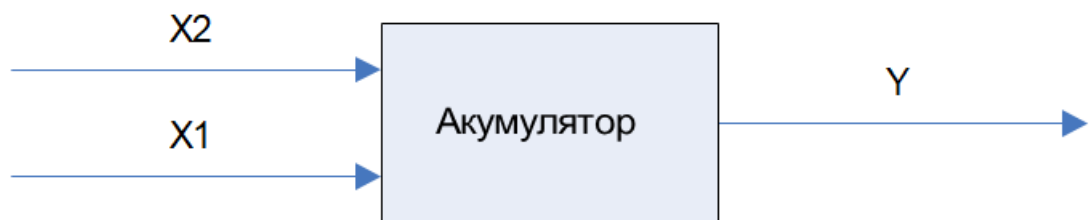


Рисунок 3.8 – Структурна схема об'єктів дослідження

Функція відгуку описує залежність між вихідними параметрами системи (відгуком) і вхідними параметрами (факторами), які впливають на систему. Математично її можна записати у вигляді:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (3.1)$$

Для математичного опису поверхні відгуку у багатовимірному просторі, який відповідає взаємозв'язку між системами і факторами відгуку, виберемо:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i,u=1}^k \beta_{iu} x_i x_u + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (3.2)$$

У регресійних моделях члени другого порядку визначають рівень кривизни поверхні відгуку. Зі збільшенням кривизни необхідно враховувати більшу кількість членів вищого ступеня, проте в реальних дослідженнях зазвичай обмежуються лінійними моделями завдяки їх простоті та зручності у використанні.

Процес побудови рівняння регресії за допомогою методології планування

експерименту включає кілька ключових етапів: визначення основних факторів, що впливають на досліджуваний процес, і встановлення рівнів їх варіювання, складання плану проведення експерименту, вимірювання результатів експерименту та обчислення коефіцієнтів рівняння регресії, виконання статистичного аналізу отриманих даних для оцінки достовірності моделі.

Через неправильну експлуатацію чи обслуговування свинцево-кислотних акумуляторів їх технічні характеристики поступово погіршуються. У 84% випадків втрата ємності таких батарей пов'язана з явищем сульфатації. Сульфатація — це процес перекристалізації дрібнозернистого сульфату свинцю ( $PbSO_4$ ) у крупнозернистий. Утворений сульфат блокує доступ електроліту до активних пластин, що значно зменшує ефективну робочу поверхню пластин.

Найпоширенішим методом відновлення засульфатованих акумуляторів є заряд малим струмом. Однак застосування реверсивного струму дозволяє досягти значно вищої ефективності. Реверсивний струм змінює напрямок у кожному періоді, при цьому величини амплітуд, середні значення струмів і тривалість періодів зарядки та розрядки можуть по-різному впливати на результати десульфатації.

У цьому розділі розглядається вплив форми струму на ефективність десульфатації за допомогою адекватного опису функції відгуку в обраній області факторного простору. Методика планування експерименту дозволяє забезпечити некорельованість факторів і проводити експерименти в заданих межах.

Опис експериментальної установки. Функціональна схема експериментальної установки представлена на рис. 3.9. До її складу входить:

- зарядний пристрій, здатний генерувати реверсивний струм із регульованою формою;
- акумуляторна батарея, підключена до зарядного пристрою;
- реєстратор струму, що дозволяє виводити осцилограми струму на екран комп'ютера (рис. 3.9, а).

Функцією відгуку в моделі є зміна ємності акумуляторної батареї після завершення зарядного процесу. Ємність визначається за часом розряду



акумулятора через реостат. Вимірювання напруги та сили струму здійснюються за допомогою вольтметра та амперметра відповідно (рис. 3.9, б). Процес розряду триває до зниження напруги на клеммах акумулятора до 1,7 В на одну банку.

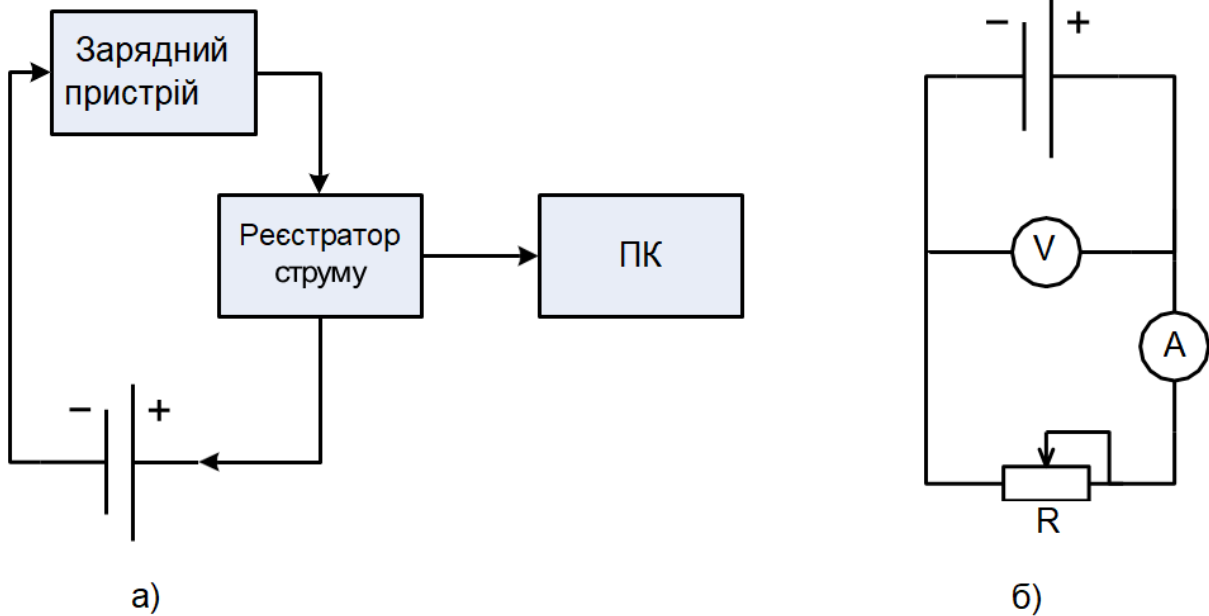


Рисунок 3.9 – Структурна схема установки

Експериментальні дослідження проводяться із варіюванням двох ключових факторів: середньої величини зарядного струму та співвідношення тривалості періодів заряду й розряду. Інтервали варіювання та базові рівні цих факторів наведено в таблиці 3.1.

Інтервали варіювання встановлені відповідно до можливостей експериментального обладнання та обраної області факторного простору, що, за розрахунками, має найбільший вплив на стан акумулятора. Для першого фактора  $X_1$ , що відповідає середній величині струму, вибрано значення в межах від 1 А до 2 А. Для співвідношення періодів зарядного та розрядного струму межі встановлено на рівні від 1:1,5 до 1:2,5. Як функцію відгуку використано зміну ємності акумулятора, яка визначається як різниця між ємністю до і після виконання процедури відновлення.

Для дослідження змін ємності акумулятора застосовується метод повного

факторного експерименту (ПФЕ). Матриця планування, розроблена для цього дослідження, наведена в таблиці 3.2.

Для кожного експерименту розраховується середнє значення змін ємності акумулятора, що дозволяє оцінити вплив обраних факторів на ефективність відновлення акумуляторів [1,2,3,7,12].

$$\bar{y}_{ui} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ui} \quad (3.3)$$

де  $n$  - кількість паралельних дослідів;

$y_{ui}$  - значення зміни ємності в паралельних дослідах,

$$\bar{y}_{ui} = \frac{1}{2} (4.71 + 4.56) = 4.635$$

Таблиця 3.1 – Рівні і інтервал варіювання факторів

Рівень фактора	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
Основний	1,5	0,535
Верхній	2	0,67
Нижній	1	0,4
Інтервал варіювання	0,5	0,135

Таблиця 3.2 – План і результати повнофакторного експерименту

№ досвіду	Рівень фактора		Відгук				$S_u^2$	
	X1	X2	X1xX2	Y1	Y2	$y_{ui}$		Y1P
1	-1	-1	+1	4,71	4,56	4,635	4,624	0,01125
2	+1	-1	-1	4,82	4,86	4,84	4,851	0,0008
3	-1	+1	-1	4,78	4,68	4,73	4,741	0,005
4	+1	+1	+1	4,93	5,028	4,979	4,968	0,0048

Розраховуємо значення дисперсії відтворюваності досвіду [1,2,3,7,12]:

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{ui} - \bar{y}_{ui})^2 \quad (3.4)$$

$$S_u^2 = (4.71 - 4.635)^2 + (4.56 - 4.635)^2 = 0.1125$$

Оцінка однорідності дисперсій відтворюваності здійснюється за допомогою критерію Кохрена. Розрахункове значення цього критерію

обчислюється за формулою [1,2,3,7,12]:

$$G_r = \frac{S_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} \quad (3.5)$$

$$G_r = \frac{0.01125}{0.01125 + 0.0008 + 0.005 + 0.0048} = 0.5148$$

де  $S_{u\max}^2$  – максимальна з розрахованих рядкової дисперсій відтворюваності;

$\sum_{u=1}^N S_u^2$  – сума дисперсій відтворюваності для  $N$  рядків матриці планування.

Табличне значення критерію Кохрена дорівнює:

$$G_t(f_1, f_2) = G_t(1, 4) = 0.997$$

де  $f_1 = n-1$ ;  $f_2 = N$ ;

$N$  – число рядків матриці планування.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність рядкової дисперсій відтворюваності:

$$G_r < G_t \quad (3.6)$$

Розраховуємо похибку дослідів за формулою [1,2,3,7,12]:

$$S_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n S_u^2 \quad (3.7)$$

$$S_0^2 = \frac{1}{4} 0.02185 = 0.00546$$

Проводимо розрахунок коефіцієнтів регресії за формулою:

$$b_i = \frac{1}{N \cdot n} \sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^n X_{iu} \cdot Y_{iu} \quad (3.8)$$

де  $i$  – число факторів;

$X_{iu}$  – рядкове кодування значення факторів

$$b_0 = 1/4(4.635 + 4.84 + 4.73 + 4.979) = 4.796$$

$$b_1 = 1/4 (-4.635 + 4.84 - 4.73 + 4.979) = 0.1135$$

$$b_2 = 1/4 (-4.635 - 4.84 + 4.73 + 4.979) = 0.0585$$

$$b_{12} = 1/4 (4.635 - 4.84 - 4.73 + 4.979) = 0.011$$

Визначаємо величину довірчого інтервалу  $\Delta b_i$ :

$$\Delta b_i = \pm t_t \cdot S_{bi} \quad (3.9)$$

де  $t_t=2.78$  – табличне значення критерію Стьюдента;

$S_{bi}$  – середньоквадратичне відхилення коефіцієнта регресії, яке обчислюється за формулою [1,2,3,7,12]:

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_o^2}{N}} \quad (3.10)$$

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{0.00273}{4}} = 0.02612$$

$$\Delta b_i = 0.02612 \cdot 2.78 = 0.0426$$

Коефіцієнт  $b_{1,2}$  виявився незначним.

Далі оцінюємо значимість коефіцієнтів регресії за формулою:

$$|b_i| > \Delta b_i \quad (3.11)$$

За значущим коефіцієнтам регресії складаємо математичну модель відновлення ємності акумулятора:

$$Y = 4.796 + X_1 0.1135 + X_2 0.0585$$

Перевіряємо адекватність отриманої моделі з використанням критерію Фішера [1,2,3,7,12]:

$$F_r = \frac{S_{ay}^2}{S_o^2} \quad (3.12)$$

де  $F_r$  – розрахункове значення критерію Фішера;

$S_{ay}^2$  – дисперсія адекватності, яка визначається за формулою:

$$S_{ay}^2 = \frac{1}{N \cdot (1+i)} \sum_{i=1}^N (y_{ui} - \hat{y}_{ui})^2 \quad (3.13)$$

де  $\hat{y}_{ui}$  – розрахункове значення коефіцієнта динамічності, отримане з математичної моделі відновлення ємності акумулятора.

$$S_{ay}^2 = \frac{1}{4-3} ((4.624 - 4.635)^2 + (4.851 - 4.84)^2 + (4.741 - 4.73)^2 +$$

$$(4.968 - 4.979)^2) = 0.00484$$

$$F_r = \frac{0.00484}{0.00546} = 0.88$$

Необхідна умова адекватності:

$$F(1,4) = 7.71 \quad (3.14)$$

$$F_r < F_t$$

Вимірювання падіння напруги на клеммах акумулятора під навантаженням дозволяє визначити внутрішній опір.

При підключенні навантажувальної вилки НК-500 напруга в ланцюзі знизилася з 8,64 В до 5,4 В. Величина розрядного струму при цьому склала 32 А. Далі визначаємо величину внутрішнього опору за формулою:

$$r = \frac{E - U}{I}$$

де  $E$  – напруга на акумуляторі без навантаження, В;

$U$  – напруга під навантаженням, В;

$I$  – величина розрядного струму, А,

$$r = \frac{8.66 - 5.4}{32} = 0.101$$

### Висновки до розділу 3

У даній роботі було запропоновано зарядний пристрій, що дозволяє змінювати форму зарядного і розрядного струмів і працювати в двох режимах. Також було запропоновано пристрій реєстрації струму, що виводить осцилограми зарядного струму на екран комп'ютера. Обробляючи ці осцилограми можна досліджувати ефективність параметрів заряду на процес усунення сульфатації АКБ.

#### 4. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Виходячи з отриманих даних визначаємо те, що акумулятор, внаслідок невиконання своєчасного обслуговування повністю розрядився, а підвищений внутрішній опір вказує на значну сульфатацію пластин.

Для відновлення ємності акумулятора здійснюємо зарядку реверсивним струмом (див. рис. 5.1). Величина струму зарядного періоду встановлюється рівною 1 А, розрядного періоду 0,1 А, час зарядних і розрядних імпульсів відповідно 0,26 і 0,53с (див. рис. 5.2). Процес десульфатації триває від 20 до 50 і більше годин. При цьому щільність електроліту зростає. У момент початку рівномірного газовиділення щільність електроліту зросла до 1,26-1,29 г/см<sup>3</sup> (див. рис. 5.3) у всіх банках. Заряд далі припиняємо.

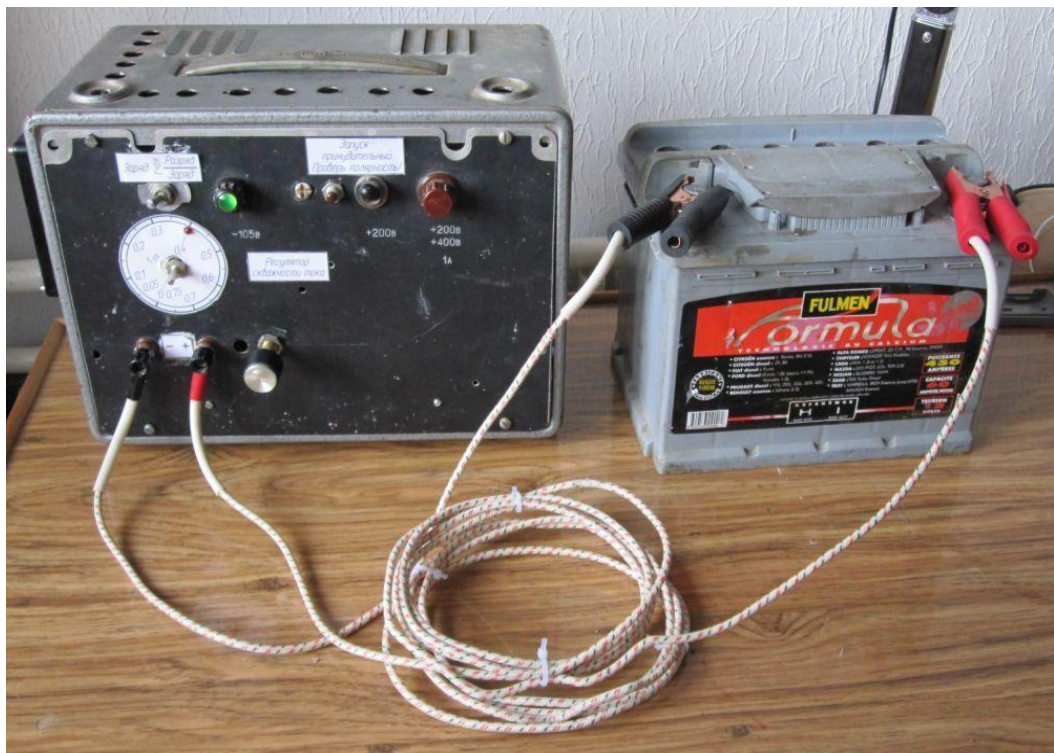


Рисунок 5.1 – Заряд акумулятора

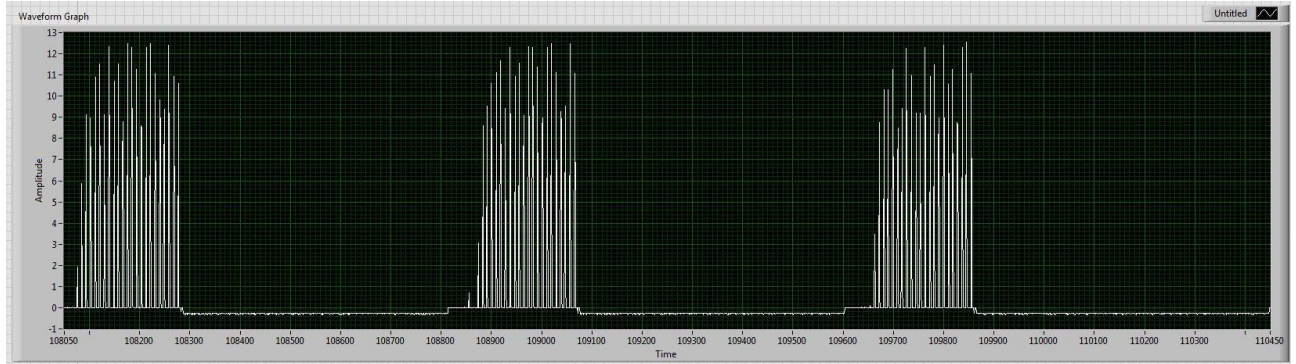


Рисунок 5.3 – Осцилограма процесу заряду в режимі «заряд/розряд $\pm$ »



Рисунок 5.4 – Щільність електроліту в кінці процесу заряду

В особливо важких випадках при різьному газовиділенні і зупинці збільшення щільності електроліту, нижче щільності, що відповідає повному заряду акумулятора необхідно злити електроліт, залити дистильовану воду і продовжити десульфатацію малим реверсивним струмом до отримання сталості напруги і щільності електроліту.

#### **Висновки до розділу 4**

На підставі проведених досліджень можна рекомендувати застосування способу зарядки АКБ генератором реверсивного струму.

Застосування запропонованого пристрою і методики проведення робіт дозволяє визначити раціональні параметри заряду АКБ з урахуванням його стану.

Запропоноване реєстраційно-вимірвальна апаратура дозволяє контролювати і досліджувати процес заряду АКБ.

Використання результатів досліджень дозволить знизити витрати в експлуатації, знизити енергоспоживання на відновлення АКБ.



## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Положення охорони праці на ремонтних підприємствах

Охорона праці досліджує трудовий процес з позиції забезпечення життя та здоров'я працівників. Основні принципи державної політики в галузі охорони праці ґрунтуються на забезпеченні координації діяльності державних органів, установ, організацій та громадських об'єднань, що вирішують різні проблеми охорони праці, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між власниками та працівниками, між усіма соціальними групами при прийнятті рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях [10,11,13].

Основними вимогами безпеки, що ставляться до конструкцій машин та механізмів є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручність експлуатації.

Безпека виробничого обладнання забезпечується:

- вибором безпечних принципів дії, конструктивних схем, елементів конструкції;
- використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного керування;
- застосуванням у конструкції засобів захисту;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування і зберігання обладнання;
- застосуванням у конструкції відповідних матеріалів.

Машини, апарати, інструменти та інше обладнання, яке застосовується в ремонтних підприємствах, різноманітні за принципом дії, конструкцією, типом і розмірами. Проте існують деякі загальні вимоги, дотримання яких дозволяє забезпечити безпеку його експлуатації (використання) (ДСТ 12.2.003-74 «ССБТ. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки».)

Вимоги до основних елементів конструкції [10,11,13]:

1. Матеріали, застосовані в конструкції обладнання, не повинні бути

небезпечними і шкідливими.

2. Обладнання та інструменти мають бути устатковані необхідними технічними засобами безпеки.

3. Рухомі частини обладнання, що становлять небезпеку, повинні бути огорожені чи устатковані засобами захисту, за винятком частин, огороження яких не допускається їхнім функціональним призначенням, у цьому випадку варто передбачати спеціальні заходи захисту.

4. Обладнання не повинно бути джерелом виділення в робочу зону виробничих приміщень шкідливих речовин вище гранично припустимих рівнів (концентрацій), великих кількостей теплоти і вологи.

5. Конструкція обладнання має забезпечувати виключення чи зниження до регламентованих значень рівнів шуму, ультразвуку, інфразвуку, вібрацій.

6. Елементи обладнання, з якими може контактувати людина, не повинні мати гострих країв, кутів, нерівних, легкозаймистих поверхонь.

7. Вхідні в конструкцію обладнання робочі місця та їх елементи повинні забезпечувати зручність і безпеку роботи, за необхідності пересування оператора під час обслуговування обладнання, воно має бути устатковане безпечними проходами, майданчиками, переходами, сходами, поручнями та ін.

8. Для запобігання небезпеці при раптовому вимиканні електроенергії всі робочі захоплюючі органи, затискні і піднімальні пристрої обладнання або їхні приводи мають бути устатковані спеціальними захисними пристосуваннями, при цьому необхідно запобігати можливості мимовільного вмикання приводів робочих органів при відновленні подачі енергії.

9. Конструкція обладнання повинна забезпечувати захист людини від ураження електричним струмом.

Органи керування обладнанням повинні відповідати таким основним вимогам [10,11,13]:

- мати форму, розміри і поверхню, безпечні і зручні для роботи;
- бути розташованими в робочій зоні;
- розміщуватися з урахуванням необхідних для їхнього переміщення зусиль, що не перевищують встановлених стандартами, а також відповідати

послідовності та частоті використання;

- виключати можливість мимовільного і самовільного вмикання і вимикання обладнання.

Окрім вище сказаного слід зазначити, що робота в майстернях технічного обслуговування та ремонту є суттєво небезпечною. Часто інструмент, який здавався цілком справним, не витримує більшого навантаження і руйнується піддаючи руки працівника травмуванню.

## **5.2. Моделювання процесів виникнення аварій та травм**

Для моделювання виникнення аварій і травм при роботі із установкою для дослідження процесу розбирання і складання підшипникових вузлів застосуємо метод логічного моделювання процесів формування виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків [10,11,13].

Побудуємо логіко-імітаційну модель травм при роботі із установкою для дослідження процесу розбирання і складання підшипникових вузлів (рис. 5.1).

При роботі із установкою для дослідження процесу розбирання і складання підшипникових вузлів найнебезпечнішим явищем є ураження електричним струмом. Приймаючи подію «ураження» як головну і зв'язуючи цю подію шляхом логічного аналізу з наступною подією, що обумовлює її виникнення за допомогою логічних операторів "І", "АБО" та інших, приходимо до кінцевих подій, з яких і починає формуватися головна подія: «ураження». За своєю формою така модель нагадує крону дерева, тому вона і одержала назву «дерево відмов і помилок». Кінцеві події називають базовими [10,11,13].

Як правило, побудова моделі починається з головної події - ураження електричним струмом, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис. 5.1.). Кожен блок рисунка, позначений відповідним номером, що означає подію (у загальному вигляді) або окремий етап побудови моделі:

- відмова (травма) системи - головна подія;
- послідовність подій, що призводять до відмови системи;
- послідовність подій зображується за допомогою логічних

операторів "Г", "АБО" та інших;

- прямокутник - подія, що виникає як результат дії символа-оператора;
- базові події зображають у вигляді кружечків із написами в середині, вони є межею аналізу побудованої моделі ("дерева помилок");
- ромб - нерозкрита подія (подія, яка вимагає проведення відповідних досліджень).

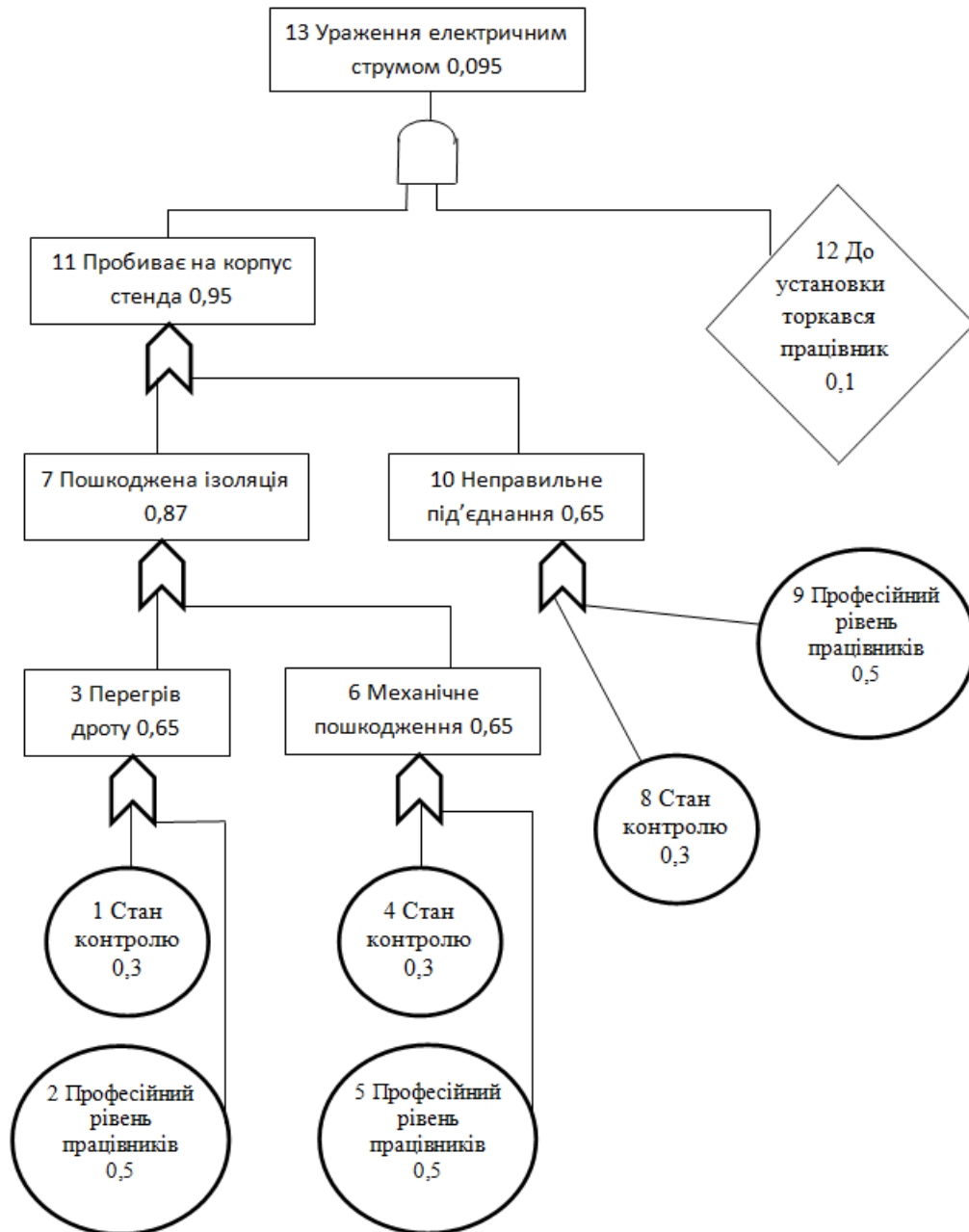


Рисунок 5.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми у працюючого при роботі із установкою для дослідження процесу розбирання і складання підшипникових вузлів:

1,2,3...,12,13 – номери подій; 0,3; 0,5... - ймовірності подій. Контроль за

станом ізоляції силового дроту, базова подія 2 – «професійний рівень» це неправильний розрахунок діаметру дроту при конструюванні стенда. Базова подія 4 – «стан контролю» для події 6 – «механічне пошкодження» це контроль за станом ізоляції силового дроту, базова подія 5 - для події 6 це буде професійність проведених робіт в зоні силового кабелю і можливість його пошкодити. Базова подія 8 – «стан контролю» для події 10 – «неправильне під'єднання» це контроль за станом стенда (ЩТО), базова подія 9 «проф. рівень» для події 10 – це проведення правильного включення стенда працівником.

Головною подією є ураження електричним струмом під номером 13, вона виникає внаслідок події номер 11 - пробивання на корпус і внаслідок нерозкритої події номер 12 - до установки в цей момент торкався працівник. Подія 11 пробивання на корпус стенда виникає через подію номер 7 - пошкоджена ізоляція, або подію номер 10 - неправильне під'єднання стенда до мережі. Подія номер 7 - пошкоджена ізоляція виникає внаслідок події номер 3 - перегрів дроту, або події номер 6 - механічне пошкодження. Подія номер 10 - неправильне під'єднання до мережі виникає внаслідок базової події номер 8 - стан контролю, або базової події номер 9 - професійний рівень працівників. Подія номер 3 - перегрів дроту виникає внаслідок базової події номер 1 - стан контролю, або базової події номер 2 - професійний рівень працівників. Подія номер 6 - механічне пошкодження виникає внаслідок події номер 4 - стан контролю, або базової події номер 5 - професійний рівень працівників 15.

### **5.3. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм**

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварій або травм залежно від досліджуваного явища [10,11,13].

Для оцінки рівня небезпеки установки для дослідження процесу

розбирання і складання підшипникових вузлів можна застосувати метод обчислення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища, який широко застосовують в закордонній інженерній практиці [10,11,13].

Ймовірність базових подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія «стан контролю з охорони праці». Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об'єкті. Якщо приймемо, що такий рівень контролю становить 30 %, то ймовірність відповідно дорівнює 0,3. При відсутності контролю ймовірність «не здійснення контролю» становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то ймовірність дорівнює 0.

Для базових подій 1; 4; 8 «стан контролю» ймовірність приймаємо 0,3, для базових подій 2; 5; 9 «професійний рівень» ймовірність приймаємо 0,5.

На цьому можна вважати, що дана модель (рис. 5.1.) підготовлена до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування.

1. Ймовірність події  $P_3$ :

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2, \quad (5.1)$$

Умовно приймаємо, що ймовірність базових подій  $P_1 = 0,3$ , а  $P_2 = 0,5$ .

Підставивши дані ймовірностей базових подій, одержимо:

$$P_3 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,65$$

Слід зауважити, що обчислення ймовірностей випадкових подій проводяться відповідно до положень Булевої алгебри [12,23,26].

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера.

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,65; \quad (5.2)$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 = 0,87; \quad (5.3)$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,65; \quad (5.4)$$

$$P_{11} = P_7 + P_{10} - P_7 \cdot P_{10} = 0,95; \quad (5.5)$$

$$P_{13} = P_{11} \cdot P_{12} = 0,095. \quad (5.6)$$

Таким чином, на робочому місці під час роботи установки для дослідження процесу розбирання і складання підшипникових вузлів при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 9,5 травми. Звичайно це значення заокруглюємо до цілого числа так як кожна травма це є одне ціле і відповідно отримаємо 10 травм з базових подій охорони праці на 100 робочих місць.

На даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, які призведуть до травми з інших причин. Але складовими причинами іншої травми також можуть бути такі недоліки, як неефективний контроль чи низький професійний рівень знань працюючих. Тоді треба побудувати значно складнішу модель і відповідно при обчисленні цієї моделі з врахуванням всіх факторів отримаємо результат.

#### **5.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Для запобігання виникненню пожеж кожен працівник зобов'язаний суворо дотримуватись встановлених правил щодо їх попередження як у побуті, так і на підприємствах та в інших місцях [13,19].

На об'єктах народного господарства, з урахуванням виробничих умов, встановлюється протипожежний режим і розробляються інструкції як для всього об'єкта, так і для окремих цехів, дільниць, бригад. Ефективним засобом гасіння загорянь є вогнегасник. Потрібно знати, що для гасіння вогню не завжди можна користуватися водою. Не можна направляти водяний струмінь на електропровід, що горить, або на електрообладнання, бо людину може вразити струм, оскільки вода є провідником.

У задимлене приміщення слід заходити обов'язково удвох, йти, тримаючись за стіни, щоб не втратити орієнтир. Працювати в ізольованих або фільтрувальних протигазах, але з гопкалітовим патроном. Двері в палаюче приміщення відкривати обережно і користуватися ними як прикриттям. Людей із задимленого, палаючого приміщення вивести назовні, попередньо накинувши їм на голову вологу тканину або одяг.

В разі виникнення виробничої аварії начальник цивільної оборони об'єкта

терміново організовує оповіщення керівництва і всіх працівників підприємства про небезпеку. Якщо трапилося витікання СДОР, то оповіщується також населення, яке мешкає поблизу об'єкта і в напрямі об'єкта і в напрямі можливого поширення отруйних газів. Населення повинно слухати повідомлення штабу ЦО і діяти за його вказівкою. Організовується розвідка, яка встановлює місце аварії, вид СДОР, ступінь зараження [13,19].

території та повітря, стан людей у зоні зараження, кордони зон забруднення, напрям і швидкість вітру в приземному шарі, напрям поширення зараженого повітря. Уражених після надання їм допомоги доставляють у незаражений район, а в разі необхідності — до лікувального закладу.

Дії населення при радіоактивному забрудненні місцевості. Радіоактивне зараженою може виявитися місцевість не тільки після ядерного вибуху, а й внаслідок аварії на атомній електростанції, на інших об'єктах, що виробляють або використовують розщеплені матеріали. Характерна особливість радіоактивного зараження місцевості після ядерного вибуху — швидкий спад рівнів радіації через безперервний розпад радіоактивних речовин. Так, через 7 годин після вибуху рівень радіації на місцевості зменшується у 10 разів, через добу — приблизно у 40 разів, через 49 годин — у 100 разів. У тих населених пунктах і районах, де виявлено радіоактивне зараження, усі мешканці повинні надягнути респіратори, протипилові тканинні маски, ватно-марлеві пов'язки або протигази, взяти документи, запас їжі і води, медикаменти, предмети першої необхідності й піти до захисної споруди. Виведення населення у безпечні місця проводиться організовано, з урахуванням обстановки. Із службових приміщень і житлових будинків треба виходити швидко, не заважаючи іншим.

Дії населення під час землетрусу. Якщо сильні підземні поштовхи застали вас на вулиці, слід якнайдалі відійти від будинків. Не можна залишатися поблизу об'єктів, що мають легкозаймисті і сильнодіючі отруйні речовини, на мостах і шляхопроводах. Не можна триматися за високі стовпи і паркани, ховатись на нижніх поверхах і в підвальних приміщеннях будинків. Усі транспортні засоби зупиняються, пасажирів залишають їх і відходять на безпечну відстань. Особливу організованість слід проявити, виходячи з



вокзалів, театрів, магазинів [13,19].

### **Висновки до розділу 5**

1. Результати структурного аналізу можливих ситуацій, що можуть призвести до травм, дозволяють оцінити небезпеку операцій, рівень їх загрози, можливість уникнення та передбачення травмонезбезпечних обставин. У разі їх виникнення важливо намагатися запобігти їх повторенню. Такий аналіз також сприяє розробці комплексів індивідуального захисту для працівників.

2. Розробка логіко-імітаційних моделей травм на виробництві дозволяє створювати матриці виникнення небезпечних ситуацій, які допомагають визначити рівень небезпеки виробничих процесів (операцій) для життя та здоров'я працівників.

3. Виконання процесу моделювання виникнення травм та аварій дозволяє детально відтворювати процеси формування небезпечних ситуацій та їх наслідків. Це спрямовано на збереження життя та здоров'я працівників.

4. Охорона життя та здоров'я працівників є основним пріоритетом в сфері охорони праці. Знання правильних дій працівників у випадку небезпечних ситуацій на підприємстві є критично важливим аспектом.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Кожен тип АКБ має свої переваги та недоліки, вибір залежить від умов експлуатації та вимог до електричної системи автомобіля.

2. AGM та гелеві батареї є ефективнішими в умовах високих навантажень, тоді як свинцево-кислотні АКБ підходять для стандартних завдань. Літій-іонні батареї є найперспективнішими для електромобілів, але потребують додаткових систем безпеки.

3. Температурні умови та режими використання суттєво впливають на продуктивність та довговічність акумуляторів.

4. У ході аналізу було розглянуто різні способи зарядки кислотних акумуляторів: при постійній напрузі, постійному струмі, імпульсному струмі, реверсивному струмі, а також прискорені режими та методи зарядки під час тривалого зберігання. Кожен із цих способів має свої переваги, недоліки та сфери застосування. Зарядка при постійній напрузі є найпростішою і найпоширенішою завдяки широкому використанню цього способу в бортових мережах автотранспортних засобів. Проте, цей метод не забезпечує повного заряду акумулятора, що може призводити до сульфатації електродів.

5. Метод зарядки постійним струмом забезпечує повний заряд акумулятора, дозволяє проводити десульфатацію електродів на завершальних етапах заряду. Недоліком є складність контролю напруги, яка змінюється в процесі зарядки.

6. Застосування імпульсного струму сприяє зменшенню часу зарядки та покращенню експлуатаційних характеристик акумулятора. Імпульсна форма струму запобігає надмірному нагріванню електроліту та знижує ризик сульфатації пластин.

7. Зарядка реверсивним струмом дозволяє досягати високої ефективності відновлення акумуляторів. Застосування цього методу забезпечує зниження газовиділення, покращення пористості активного матеріалу електродів, а також сприяє десульфатації пластин.

8. Вибір відповідного методу зарядки залежить від умов експлуатації, стану акумулятора та вимог до його тривалості роботи. Раціональне використання способів зарядки дозволяє продовжити термін служби кислотних акумуляторів, покращити їх технічні характеристики та зменшити витрати на обслуговування.

9. У даній роботі було запропоновано зарядний пристрій, що дозволяє змінювати форму зарядного і розрядного струмів і працювати в двох режимах. Також було запропоновано пристрій реєстрації струму, що виводить осцилограми зарядного струму на екран комп'ютера. Обробляючи ці осцилограми можна досліджувати ефективність параметрів заряду на процес усунення сульфатації АКБ.

10. На підставі проведених досліджень можна рекомендувати застосування способів зарядки АКБ генератором реверсивного струму.

11. Застосування запропонованого пристрою і методики проведення робіт дозволяє визначити раціональні параметри заряду АКБ з урахуванням його стану.

12. Використання результатів досліджень дозволить знизити витрати в експлуатації, знизити енергоспоживання на відновлення АКБ.

13. Охорона життя та здоров'я працівників є основним пріоритетом в сфері охорони праці. Знання правильних дій працівників у випадку небезпечних ситуацій на підприємстві є критично важливим аспектом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильків І. М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 184 с.
2. Гайдучок В. М., Затхей Б. І., Лінник М. К. Теорія і технологія наукових досліджень. Навчальний посібник. Львів : Афіша, 2005. 232 с.
3. Грабар І.Г. Основи налійності машин: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 1998. 298 с.
4. Гранкін С. Г., Малахов В. С., Черновол М. І., Черкун В. Ю. Надійність сільськогосподарської техніки. Київ: Урожай, 1998. 208 с.
5. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ, 1996. 75 с.
6. Єременко В. С., Куц Ю. В., Мокійчук В. М., Самойліченко О. В. Статистичний аналіз даних вимірювань: навч. посіб. Київ: НАУ, 2013. 320 с.
7. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
8. Кузьмінський Р.Д. Організаційно-технологічна сумісність процесів ремонту об'єктів у спільному потоці. *Пр. ін-ту Львів. с.-г. ін-т.* Львів, 1992. С. 17–29.
9. Лауш П. В. Ремонт сільськогосподарської техніки (курсове і дипломне проектування): Навч. посібник / П. В. Лауш, Н. П. Лауш, Т. П. Лесюк. Кіровоград : ПОЛІМЕД-Сервіс, 2005. 266 с.
10. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. 220 с.
11. Наказ про затвердження «Настанови з технічної служби автомобілів»: затв. наказом Міністерства транспорту України від 23.10.1997р. Додаток до наказу № 717
12. Основи наукових досліджень. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт №2 і №3 для студентів факультету механізації сільського господарства. Львів. 1998. 38с.

13. Охорона праці. Методичні рекомендації до виконання розділу з охорони праці у дипломних проектах. Львівський національний аграрний університет, 2012 р.

14. Порівняння традиційного свинцево-кислотного та гелевого акумуляторів. URL: <https://pik.net.ua/2023/12/18/porivnyannya-tradytsijnogo-svyntsevo-kyslotnogo-ta-gelevogo-akumulyatoriv/> (дата звернення: 18.10.2024).

15. Ремонт машин і обладнання : підруч. / Сідашенко О. І. та ін.; за ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. Київ : Аграр Медіа Груп, 2014. 632 с.

16. Ремонт машин. Методичні поради до курсового і дипломного проектування: у 2-х частинах/ За аг. Ред.. академіка О.Д. Семковича. – Частина 1 та 2. Львів : Львів. держ. агр. ун-т, 1997. 179 с.

17. Сажко В.А. Електричне та електронне обладнання автомобілів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Каравела, 2006. –296 с.

18. Сажко В.А. Електрообладнання автомобілів і тракторів: Підручник. Київ: Каравела, 2009. 400 с.

19. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Київ: Урожай. 1994. 360 с.

20. Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів : навч. посібн. / Р.Д. Кузьмінський, А.О. Шарибура. Львів : Сполом, 2017. 376 с.

21. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / Сідашенко О.І. та інші. Навч. посібник. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361 с.

22. Типи акумуляторних батарей: повний огляд. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/10591.html> (дата звернення: 18.10.2024).

23. Ткач Є. І., Сторожук В. П. Загальна теорія статистики: підручник [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 442 с.

24. Форнальчик Є.Ю., Качмар Р.Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів: навч. посібник. 2-ге вид., змін та допов. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 324 с.

25. Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С., Мاستикаш О.Л., Пельо Р.А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний посібник. / За загальною ред. Є.Ю. Форнальчик. Львів : Афіша, 2004. 492 с.
26. Шарибура А.О., Левчук О.В., Рис В.І., Барабаш Р.І. Оцінення випадкових процесів зміни технічного стану АТЗ. Методичні рекомендації до виконання практичної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів». Дубляни, 2023. 20 с.
27. Sosin, D.A. (2010). Elektricheskoe, elektrone i avtotrone oborudovanie legkovih avtomobiliv (Avtotronika-3). Moscov. Solon-press. [in Russian].
28. Свинцево-кислотні акумуляторні батареї SVEN. URL: <http://https://www.sven.fi/ua/support/techsupport/service-article.php?id=16689> (дата звернення: 18.10.2024).
29. Chmyr, V. M. (2004) Metodyka vdoskonalennia protsesu serednikh remontiv avtomobilnoi tekhniki. Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillia. Khmelnytskyi. (1), 71-75. [in Ukrainian].
30. Fornalchyk, Ye.Yu., Oliskevych, M.S., Mastykash, O.L. & Pelo, R.A. (2004). Tekhnichna ekspluatatsiia ta nadiinist avtomobiliv. Lviv :Afisha [in Ukrainian].
31. Govorushenko, N. Ya. (1984) Tehnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley. Kharkiv: Kharkovskiy universitet. [in Ukrainian].
32. Ludchenko, O. A. (2007). Tekhnichna ekspluatatsiia i obslurovuvannia avtomobiliv: Texnologiiia. Kyiv: Vyshcha shkola. [in Ukrainian].
33. Типи автомобільних акумуляторів та їх особливості. URL: <https://https://poltava.to/news/74501/> (дата звернення: 18.10.2024).