

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему: *«Узагальнення сучасних розробок та тенденцій
розвитку акумуляторних батарей електромобілів»*

Виконав:

студент 4 курсу, групи АТ-20 _____ М.В. Пастух

(шифр групи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

В.О.Сістук

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Ю.А. Монастирський

(прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

Спеціальність: 274 – «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автомобільного транспорту

_____/_____
_____”_____ 2024 р

./

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Узагальнення сучасних розробок та тенденцій розвитку акумуляторних батарей електромобілів

Пастуха Максима Валентиновича

1. Тема: Узагальнення сучасних розробок та тенденцій розвитку акумуляторних батарей електромобілів

керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент

Затверджені наказом університету №263с від 12.04.2024.

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат до 16.06.2024.

3. Вихідні дані до роботи: Дані СКЗіП для кар’єрних самоскидів вантажопідйомністю 130 – 136 т, екскаваторів з об’ємом ковша 8м³.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Новітні досягнення в галузі акумуляторів для електромобілів. Розрахунково-дослідницька частина. Безпека експлуатації акумуляторних батарей для електромобілів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) Графіки та діаграми по результатах досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруківки презентації для членів ДЕКу.

6. Дата видачі завдання 12.04.2024.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів | Строк виконання етапів | Примітка |
|-------|-----------------------------------|------------------------|----------|
| 1 | Загальна частина роботи | 15.04-19.04 | |
| 2 | Розрахунково-дослідницька частина | 22.04 – 03.05 | |
| 3 | Охорона праці | 06.05 – 10.05 | |
| 4 | Пояснювальна записка | 12.05 – 14.05 | |

Студент

(підпис)

М.В. Пастух

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

Патентний аналіз щодо акумуляторів для електромобілів має велике значення для розвитку та прогнозування цієї технології. Патенти дозволяють отримати важливу інформацію про нові розробки, технічні характеристики та напрямки розвитку в цій галузі, допомогти виявити ключові гравців у галузі, ідентифікувати технологічні тенденції, оцінити конкурентну ситуацію та прогнозувати майбутні інновації. У даній роботі патенти на акумуляторні батареї класифікуються на рівні комірок, модулів і пакетів, а також враховуються часові рамки та життєвий цикл технології для визначення статусу їх розробки. Зазначається, що комірки перебувають на стадії зрілості, тоді як модулі та пакети показують стадію зростання, що може бути результатом підвищеного попиту на великогабаритні та високоякісні акумулятори для електромобілів. Глобальний розподіл патентів свідчить, що більшість патентів на рівні комірок, модулів і пакетів належать до Китаю та Японії, проте патентні правонаступники розподілені в Китаї. Дана робота розкриває тенденції у розвитку акумуляторних технологій для створення енергоємних акумуляторів у сфері електромобілів, а також надає корисну інформацію для осіб, які приймають рішення щодо розробки акумуляторних технологій у майбутньому.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 6 |
| РОЗДІЛ 1. НОВІТНІ ДОСЯГНЕННЯ В ГАЛУЗІ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ | 8 |
| 1.1. Огляд видів акумуляторних джерел живлення для електромобілів..... | 8 |
| 1.2. Аналіз ефективності акумуляторних батарей та відстані, яку можна подолати на одному заряді..... | 15 |
| 1.3. Саморозряд, час зарядження та температурні характеристики | 18 |
| 1.4. Аналіз термінів служби та вартості акумуляторних батарей..... | 22 |
| 1.5. Висновки до розділу 1 | 25 |
| РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА. | 27 |
| 2.1. Методологія | 27 |
| 2.2. Результати..... | 29 |
| 2.3. Висновки до розділу 2 | 39 |
| РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ | 41 |
| ВИСНОВКИ..... | 46 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 47 |

ВСТУП

Актуальність теми. Високоєфективні літій-іонні (Li-ion) акумулятори активно вивчаються як потенційні джерела живлення для електромобілів (EV) та гібридних електромобілів (HEV), які потребують уважного підбору хімічного складу та розробки оптимального дизайну модуля та батареї [1-3]. У даній роботі термін «акумуляторна батарея» використовується для опису елемента, модуля та блока, які збираються в послідовній послідовності для використання в електромобілях. Окремі електрохімічні елементи можуть використовуватися в портативній електроніці, такій як мобільні телефони, камери та ноутбуки [4, 5]. Коли виникає потреба в великій потужності та енергетичних можливостях для конкретних застосувань, таких як сонячні батареї, автомобільні стартери акумулятори та сховища енергії для малих електромобілів, електрохімічні елементи можуть бути з'єднані паралельно, послідовно або комбіновано, утворюючи модулі шляхом інтеграції додаткового моніторингу та контролю температури елементів [6, 7]. Сфера електромобілів вимагає значного збільшення кількості елементів для забезпечення достатньої потужності/вихідної енергії, тому модулі повинні бути інтегровані в акумуляторну батарею з метою досягнення кількох цілей з точки зору безпеки, довговічності та надійності [8, 9]. Схема «комірка-модуль-батарея» (CMP) є загальноприйнятою схемою для збільшення потужності зберігання енергії.

Підвищення ефективності інтеграції акумуляторів від елемента до батареї є ефективним способом підвищити щільність енергії батареї в блоці. Традиційна схема CMP реалізує лише ~60%, що вказує на значну масу та об'єм допоміжних частин у всій акумуляторній системі [2, 10]. Тому низка акумуляторних та автомобільних компаній досліджували режим інтеграції для розкриття потенціалу акумуляторів. Наприклад, у 2019 році компанія Contemporary Amperex Technology Co., Limited (CATL) запропонувала режим CTP (Cell-to-Pack) [11]. Дана концепція пропускає модуль і безпосередньо інтегрує пакет за коміркою, завдяки чому ефективність інтеграції зростає до 70-75%, а виробничі витрати значно

знижуються [12]. Інший успішний режим СТР, який не використовує модуль, називається «Blade Battery», запропонований компанією BYD у березні 2020 року [13, 14]. Цей акумуляторний блок складається з унікального за розмірами елемента ($L \times D \times H = 905 \times 13,5 \times 118$ мм), який встановлюється в акумуляторну батарею, що збільшує об'ємну щільність енергії на 50% і знижує її вартість на 30% [11, 15]. Tesla запропонувала режим Cell-to-Chassis (СТС), який вбудовує 4680 елементів у шасі, що має переваги у зменшенні ваги батареї та підвищенні загальної ємності батареї, що призводить до збільшення запасу ходу на 14% і зниження вартості на 7% [16, 17]. Дані інновації підкреслюють важливість інтеграції акумуляторів у покращенні використання просторову транспортного засобу, зниженні витрат, підвищенні ефективності виробництва та забезпеченні безпеки експлуатації. У зв'язку з цим, аналіз і відстеження технічних тенденцій у розвитку окремих елементів, модулів і блоків не лише надають корисну інформацію для інновацій у сфері інтеграції акумуляторів, але також відкривають можливості для виробників планувати майбутній ландшафт акумуляторних технологій.

Мета, задачі дослідження. Метою роботи є узагальнення сучасних розробок та тенденцій розвитку акумуляторних батарей електромобілів на основі аналізу патентів.

Об'єкт дослідження – експлуатаційні характеристики акумуляторних батарей для електромобілів.

Предмет дослідження – акумуляторні батареї для електромобілів.

Методи дослідження. Огляд літературних джерел, аналіз, синтез.

Робота складається з реферату, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи – 48 с, у тому числі 6 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1. НОВІТНІ ДОСЯГНЕННЯ В ГАЛУЗІ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

1.1. Огляд видів акумуляторних джерел живлення для електромобілів

Акумуляторна батарея є основним джерелом енергії для електромобілів; інші джерела енергії включають енергію, що виробляється при рекуперативному гальмуванні, енергію, що виробляється з паливом, а також енергію, вироблену різними накопичувачами енергії, такими як суперконденсатор [12].

Батарея має універсальну архітектуру, яка дозволяє збирати її послідовно-паралельній або послідовно-паралельній конфігурації, залежно від необхідної напруги та струму. Крім того, батарея включає в себе три стандартні форми: циліндричні, пакетні та призматичні елементи.

На ранніх етапах розвитку електромобілів свинцево-кислотний акумулятор використовувався як основне джерело живлення. Свинцево-кислотні акумулятори в основному можна розділити на дві основні категорії: пусковий акумулятор і акумулятор глибокого циклу. Акумулятори глибокого циклу, такі як VRLA, AGM і гелеві, застосовуються в електромобілях, оскільки вони мають більшу енергетичну ємність і довговічність. Фактично, свинцево-кислотні акумулятори не могли генерувати напругу самостійно; замість цього вони отримували або зберігали заряд з іншого джерела. Тому свинцево-кислотні акумулятори називають акумуляторними батареями, оскільки вони несуть тільки один заряд. Розмір і кількість електроліту на пластинах акумулятора визначають, скільки заряду можуть зберігати свинцево-кислотні акумулятори. Ємність акумулятора в ампер-годинах (А-год) або ват-годинах (Вт-год) описується як розмір ємності для всіх типів акумуляторів. Свинцево-кислотний акумулятор має низьку питому енергію і густину енергії зі значенням 35-40 Вт-год/кг і 80-90 Вт-год/л, що вимагало великого розміру батареї для живлення транспортного засобу, що

призводило до збільшення загальної маси електромобіля. Згідно з дослідженням Ахмана [11], батарея електромобіля повинна бути здатна зберігати до 30 кВт-год, щоб забезпечити транспортному засобу прийнятний запас ходу. Якщо електромобіль споживає 20 кВт-год на 100 км, то для забезпечення його енергією потрібно 20 комплектів свинцево-кислотних батарей. При цьому загальна маса цих акумуляторів складе 600 кг. Типовий свинцево-кислотний акумулятор має питому потужність 285 Вт/кг. Термін служби свинцево-кислотного акумулятора становить 500-1000 циклів [13]. Свинцево-кислотні батареї недорогі (від 300 до 600 доларів США за кіловат-годину) і придатні для переробки, що є одним з найважливіших аспектів будь-якої акумуляторної технології. Свинцево-кислотні акумулятори можуть використовуватися в малопотужних транспортних засобах. З моменту свого винаходу свинцево-кислотні батареї піддаються переробці. Як правило, рівень переробки цих батарей близький до 100% у західних країнах та інших країнах [14]. Свинцево-кислотні батареї використовують 85% світового обсягу свинцю, і 60% його переробляється.

Свинцево-кислотні батареї легко пошкоджуються, тому їхні компоненти можуть випадати з пластикових контейнерів разом з кислотою.

Батареї для електромобілів зазвичай мають низьку питому щільність енергії в поєднанні з високою питомою потужністю. Більше значення питомої потужності означає, що більше енергії може бути доставлено до електродвигуна для прискорення транспортного засобу за короткий період часу.

Виявлено, що свинцево-кислотні акумулятори не є ідеальним варіантом для живлення електромобілів через їх низьку щільність енергії, чутливість до температури та обмежений життєвий цикл. Новий тип батареї на основі нікелю був винайдений Вальдемаром Юнгнером у 1899 році, який замінив свинцево-кислотні акумулятори як джерело живлення для електромобілів [4].

На відміну від свинцево-кислотних акумуляторів, гідрид нікелю-металу (Ni-MH) використовує лужний електроліт. Це призвело до появи різних типів

нікелевих акумуляторів, таких як нікель-залізо (Ni-Fe), нікель-металгідридні (Ni-Fe), нікель-кадмій (Ni-Cd), нікель-цинк (Ni-Zn) і нікель-металгідридні (Ni-MH). З цих типів, Ni-MH акумулятори стали популярними для електромобілів через їх вищу питому щільність енергії та потужність порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами. Вони мають значення від 50-70 Вт/кг та 70 Вт-год/кг до 100-140 Вт-год/л.

Вибір на користь Ni-MH акумуляторів над Ni-Cd обумовлений їхньою відносно вищою питомою енергією та щільністю енергії, а також тим, що Ni-MH не містить токсичних металів, таких як кадмій. Крім того, дослідження також показали, що Ni-MH забезпечує на 40% вищу питому енергію, ніж стандартний Ni-Cd [27]. Ni-Cd акумулятори потребують високої швидкості заряду та розряду і схильні до ефекту пам'яті. Робоча речовина такої батареї токсична і має питому щільність енергії 60-80 Вт/кг. Автори [8] досліджували підзарядку нікель-водневих (Ni-H) акумуляторів. Було важко розробити недорогий матеріал для мережевого зберігання з довшим циклом заряджання та календарним терміном служби; матеріал потребував більшої кількості циклів зарядження.

У зв'язку з наведеними причинами, більшість електромобілів прийняли технологію Ni-MH акумуляторів, оскільки вона дозволяє значно зменшити загальну вагу акумуляторної батареї та підвищити енергоефективність. На початку 1990-х років Ni-MH акумулятори широко використовувалися в електромобілях (Prius) завдяки своїй екологічності. Крім того, вона має меншу щільність енергії, що дозволяє розмістити акумуляторну систему в меншому просторі. Для того, щоб згенерувати 1 кВт-год за допомогою Ni-MH батареї, потрібно приблизно 20 кг нікель-металогідридної батареї. У порівнянні зі свинцево-кислотними, це означає зменшення маси батареї на 33%.

Проте використання нікель-металогідридних акумуляторів в електромобілях досягло вузького місця, оскільки практичне обмеження питомої енергії може бути досягнуте лише до 75 Вт-год/кг. Типова Ni-MH батарея має

питому потужність 200 Вт/кг. Основними недоліками цієї акумуляторної технології є низька холодостійкість та ефект пам'яті. Іншою проблемою є тривалий час перезарядки акумулятора та висока швидкість саморозряду в режимі очікування. Протягом перших 24 годин після заряду, рівень саморозряду Ni-MH акумулятора становить двадцять відсотків, а потім зменшується на 10 відсотків щомісяця.

У роботі [9] пропонується марганцево-водневий акумулятор на 10 000 циклів для мережевого зберігання енергії. Акумулятор складається з окислювально-відновних катодів Mn_2+/MnO_2 та газових анодів H^+/H_2 [16]. Прогнозується, що заміна Mn_2+/MnO_2 редокс-катада на нікелевий катод дасть змогу підвищити питому ємність акумулятора вдесятеро – до 35 мА-год/см². Замість дорогого платинового каталізатора був використаний дешевший нікель-молібден-кобальтовий сплав, який каталізує перетворення водню в кисень в лужних електролітах для анода. Рекомендується використовувати Ni-H батарею, оскільки вона має гравіметричну щільність енергії 140 Вт-год/кг і може перезаряджатися більше 1500 разів. Характеристики батареї наведені в таблиці 1.1 [10].

Пізніше з'явилася ще одна альтернативна батарея, яку можна використовувати для живлення електромобіля, і її назвали хлоридно-натрієво-нікелевою (ZEBRA) або «Zero Emission Battery Research Activity». Ця технологія була вперше винайдена в Південній Африці в 1970-х та 1980-х роках. Цей тип акумуляторів має надзвичайно високу питому енергію та щільність енергії, що становить 100 Вт-год/кг та 160 Вт-год/л. Питома потужність і щільність енергії для ZEBRA становлять 170 Вт/кг і 250 Вт/л відповідно. Завдяки внутрішній безпеці хімічних реакцій в елементах, численні випробування, включаючи занурення в 900 л солоної води з 5% вмістом солі, сейсмічні та вібраційні випробування, а також 30-хвилинне випробування зовнішнім впливом вогню, яке не пошкодило модулі або елементи, показали, що ризик пожежі низький. Тому він підходить для

стаціонарного зберігання енергії. Ця технологія добре підходить для вирівнювання навантаження, управління напругою, зсуву в часі та зменшення коливань потужності відновлюваної енергії завдяки тригодинній тривалості розряду [9].

Еволюція акумуляторів досягла стадії, коли літій-іонна батарея зайняла своє місце. Первинним джерелом енергії для майже всіх електромобілів у всьому світі на сьогоднішній день є літій-іонні акумулятори. Літій має найменшу питому вагу серед усіх металів, має найбільший електрохімічний потенціал, а також високу щільність енергії. Літій-іонні акумулятори в основному складаються з двох типів: з рідким електролітом (Li-ion-liquid) і з полімерним електролітом (Li-ion-polymer), проте рідинно-іонний тип є кращим для цілей електромобілів.

Існують три різні комбінації матеріалів для рідинних літій-іонних акумуляторів: літій-залізо-фосфат (LiFePO_4), літій-марганцевий оксид (LiMn_2O_4) та літій-кобальтовий оксид (LiCoO_2). Літій-іонні акумулятори, які використовуються для електромобілів, зазвичай мають питому енергію 150-200 Вт-год/кг і щільність енергії 250-400 Вт-год/л. Питома потужність типового рідкого літій-іонного акумулятора, що використовується для електромобілів, становить 260 Вт/кг.

Для того, щоб виробити 1 кВт-год за допомогою літій-іонної батареї, потрібно приблизно 7 кг літій-іонного акумулятора. Порівняно зі свинцево-кислотними та нікель-металогідридними акумуляторами, можна сказати, що маса акумулятора зменшилася на 77 % і 65 % для 1 кВт-год ємності.

Таким чином, літієві батареї характеризуються потужністю, компактністю, дешевизною, екологічністю та швидкою зарядкою. Висока щільність енергії наночастинок кремнію (SiNPs) робить їх популярними для використання в якості анодного електрода в літій-іонних батареях. З погляду електрохімічного потенціалу та еквівалентної маси, літієві батареї є кращим варіантом. Вони мають високу ефективність і тривалий термін служби. Однак їхня вартість перевищує 70

доларів США за кіловат-годину, і в разі перегріву можуть виникнути пожежі, що призводять до пошкодження майна [14]. Навіть у високоефективних літєвих батареях буде відбуватися значна поляризація через обмеження масопереносу в електроліті та електродах. Заряджання та розряджання акумуляторів чинять свій унікальний вплив на поляризацію через їхню унікальну архітектуру та динамічні, а також кінетичні властивості матеріалів, з яких вони виготовлені. Для зменшення поляризації твердофазної дифузії дослідники [12] скоротили розмір частинок активного матеріалу. Концентрацію можна було б різко знизити, якби була присутня тільки половина частинок активного інгредієнта. Різниця в концентрації літій-іонів була значно більшою, коли частинки активної речовини подвоювалися в розмірі.

У світі виробляється кілька літій-іонних акумуляторів: LTO, LCO, LMO, NMC і LFP - деякі з них (LFP). Літій-іонні акумулятори використовують інший електроліт, ніж літій-полімерні батареї (Li-Po). Вони мають вищу щільність енергії, дешевшу вартість і не мають ефекту пам'яті [20]. Li-Po батареї мають гнучку та адаптивну структуру, а також низький профіль і знижену ймовірність витoku електроліту; оскільки це покращує ефективність пакування, їх зазвичай розрізають на кілька різних розмірів. З іншого боку, Li-Po батареї мають нижчу щільність енергії, менший термін служби і значно вищу за середню вартість виробництва.

Характеристики акумуляторів для електромобілів, які зараз використовуються, наведені в таблиці 1.1.

З таблиці 1.1 видно, що питома енергія і щільність енергії літій-іонних акумуляторів більші в порівнянні з іншими. Це означає, що електромобіль, який працює на літій-іонних батареях, має меншу масу, а сама акумуляторна батарея займає відносно невеликий об'єм. Літій-іонні батареї вже стали дуже розвиненою технологією для живлення електромобілів ще у 2010 році. Завдяки вдосконаленій технології літій-іонних батарей, багато автовиробників впровадили їх у свої

електромобілі, щоб представити на споживчому ринку. До числа відомих автомобілів, які використовують літій-іонні батареї, входять Tesla Model S, Nissan Leaf, Hyundai Ioniq, VW E-Golf.

Таблиця 1.1

Порівняння ємності зберігання енергії різних акумуляторів, що використовуються в електромобілях

| Параметр | Свинцево-кислотний акумулятор | Нікель-металгідридний акумулятор | Натрій-нікель-хлоридні акумулятор | Літій-іонний акумулятор |
|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Номинальна напруга (V) | 2,0 | 1,2 | 2,4 | 3,6 |
| Ефективність енергії (%) | ≥80 | 70 | 80 | ≥95 |
| Об'ємна густина енергії (Вт/л) | 100 | 180-220 | 160 | 200-400 |
| Гравіметрична густина енергії (Вт/кг) | 30-50 | 40-110 | 150 | 118-250 |
| Строк служби | 500-1000 | ≤3000 | ≥1200 | 2000 |
| Вартість енергії (USD/кВт) | 100 | 853-1700 | 482-1000 | 700 |

З таблиці 1.1 видно, що питома енергія і щільність енергії літій-іонних акумуляторів більші в порівнянні з іншими. Це означає, що електромобіль, який працює на літій-іонних батареях, має меншу масу, а сама акумуляторна батарея займає відносно невеликий об'єм. Літій-іонні батареї вже стали дуже розвиненою технологією для живлення електромобілів ще у 2010 році. Завдяки вдосконаленій технології літій-іонних батарей, багато автовиробників впровадили їх у свої електромобілі, щоб представити на споживчому ринку. До числа відомих автомобілів, які використовують літій-іонні батареї, входять Nissan Leaf, VW E-Golf, Hyundai Ioniq, Renault Twizy і Tesla Model S.

В даний час використання літій-іонних акумуляторів в електромобілях дуже розвинене. Акумулятор складається з безлічі різних комбінацій матеріалів для літій-іонної батареї, і кожна з них має різні параметри. Дослідження також показало [17], що питома потужність сучасної літій-іонної батареї може досягати приблизно 1000 Вт/кг і може перевищувати 10 000 Вт/кг, а щільність енергії 1000 Вт/л може бути збільшена до 10 000 Вт/л, коли це необхідно, наприклад, для автоспорту та військових застосувань.

1.2. Аналіз ефективності акумуляторних батарей та відстані, яку можна подолати на одному заряді

Ефективність акумулятора залежить від того, скільки енергії може зберігати та передавати, що визначається його ємністю. Різні моделі акумуляторів, виготовлені різними виробниками, мають різні показники ємності.

Літій-іонні акумулятори виявилися ефективнішими за інші типи батарей, такі як свинцево-кислотні, завдяки їх вищій щільності енергії. Це означає, що в тому ж фізичному об'ємі може бути збережено більше енергії у літій-іонному акумуляторі. Таким чином, літій-іонні акумулятори можуть надавати більше електроенергії та працювати довше, що важливо для електромобілів. Такі дані є важливими при розгляді вибору акумуляторів для електромобілів, оскільки ємність і продуктивність безпосередньо впливають на дальність подорожей та загальну ефективність електромобіля.

Запас ходу електромобіля залежить від типу та кількості встановлених батарей. Крім того, енергоефективність також пов'язана з ємністю батареї: чим вища ефективність, тим більше зберігається енергії для використання.

Є й інші важливі фактори, такі як рельєф місцевості фактори, такі як рельєф місцевості, погода або поведінка водія, але але в центрі уваги - тип використовуваних батарей. Крім того, енергоефективність енергоефективність

також пов'язана з ємністю батареї. Чим більше значення ефективності батареї, тим більший відсоток енергії, що зберігається в акумуляторі, можна використати.

Окрім типу використовуваних батарей та їх ємності, існують інші фактори, які впливають на ефективність електромобіля. Рельєф місцевості може впливати на споживання енергії через додаткове опору або спуск. Погода також може впливати на продуктивність батарей, зокрема, висока або низька температура може зменшити їх ефективність. Поведінка водія, така як стиль водіння та використання підігріву чи кондиціонера, також може впливати на енергоспоживання. Проте тип та якість використовуваних батарей залишаються одними з найважливіших факторів, які визначають продуктивність та дальність подорожей електромобіля.

Табл.1.2

Залежність між типом акумулятора, внутрішнім опором та впливом на ємністю акумулятора

| Тип батареї | Внутрішній опір | Вплив на ємність батареї |
|----------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Свинцево-кислотна | 15-16 мОм | Низький опір – вільний потік |
| Нікель-металгідридна | 778 мОм | Високий опір – ускладнений потік |
| Хлоридно-натрієво-нікелева | 180 мОм | Відносно низький опір |
| Літій-іонна | 320 мОм | Середній опір |

Безсумнівно, внутрішній опір акумулятора визнається як вагомий фактор, який має значний вплив на його функціональні характеристики, зокрема на ефективність та ємність. Високий рівень внутрішнього опору може викликати неочікувані втрати енергії внаслідок теплових втрат, що суттєво обмежує якість та ефективність акумулятора. Оптимізація параметрів внутрішнього опору є основним завданням у розробці акумуляторів для використання в електромобілях.

Вирішення цієї проблеми передбачає впровадження новаторських підходів, включаючи вдосконалення матеріалів електродів, оптимізацію конструкції акумулятора та розвиток методів управління температурою, що спрямовані на зменшення внутрішнього опору та підвищення ефективності функціонування акумулятора.

Інший фактор, що впливає на ефективність акумулятора, – це різні типи режимів розряду. В основному, існують два типи розряду: безперервний і періодичний.

Безперервний розряд означає постійне віддачу акумулятором енергії на навантаження без перерви, що призводить до поступового зниження ємності акумулятора. У свою чергу, періодичний розряд передбачає підключення та відключення батареї для живлення навантаження протягом певних проміжків часу. Протягом цих перерв акумулятор може відновлювати деяку напругу, що забезпечує більш тривалий час роботи.

Три найпоширеніші режими розряду – це постійне навантаження, постійний струм і постійна потужність. Режим постійної потужності характеризується найкоротшим часом розряду, за ним слідує режим постійного струму, а потім – режим постійного навантаження. Також важливою є швидкість розряду і заряду. Повторне надмірне заряджання та розряджання акумулятора може призвести до зниження його ємності та скорочення терміну його служби.

Більшість нікелевих акумуляторів стикаються з проблемою ефекту пам'яті. Зазвичай нікелеві батареї запам'ятовують найбільш часто використовувану глибину розряду у недавньому минулому. Якщо глибина розряду перевищує звичайне значення, батарея не зможе працювати з такою ж ефективністю і частково втрачає свою невикористану ємність. Таким чином, ефект пам'яті стає однією з причин, які роблять нікельові батареї менш привабливими для використання в електромобілях.

Залежність між типом акумулятора, внутрішнім опором та впливом на ємністю акумулятора

| Тип батареї | Єнергоємність (А*год) | Відстань, яку можна подолати на одному заряді, км |
|----------------------------|-----------------------|---|
| Свинцево-кислотна | 215 | 35 |
| Нікель-металгідридна | 77 | 120-240 |
| Хлоридно-натрієво-нікелева | 64 | 192 |
| Літій-іонна | 158 | 400 |

1.3. Саморозряд, час зарядження та температурні характеристики

Швидкість заряджання та розряджання акумулятора є функцією C -коефіцієнтів. Потужність акумулятора зазвичай оцінюється при 1 C , що означає, що акумулятор з ємністю 1 А-год може видавати 1 А протягом однієї години. Наприклад, за дві години той же акумулятор при 0,5 C повинен видавати 0,5 А, а за 30 хвилин при 2 C - 2 А. Вищий C -коефіцієнт може забезпечити більший струм за відносно короткий період часу.

Це особливо важливо для свинцево-кислотних акумуляторів, які мають два типи: стартерні та глибокоциклові. Однак найбільш поширеним типом для електромобілів є VRLA, що відноситься до глибокого циклу, тоді як деякі електромобілі все ще використовують тип SLI для допоміжних функцій. Більшість свинцево-кислотних акумуляторів мають швидкість саморозряду приблизно 5% на місяць.

Важливо зауважити, що всі типи акумуляторів стикаються з проблемою саморозряду, який є необоротним процесом, залежним від характеристик батареї, а не виробничого дефекту. Проте погана якість виготовлення та неправильне використання можуть ще більше погіршити цей процес. Відомо, що саморозряд,

виражений у вигляді витоку рідини, має найвищий рівень одразу після заряджання, а потім поступово зменшується. Дослідження показують, що свинцево-кислотні та літій-іонні акумулятори мають меншу швидкість саморозряду порівняно з нікелевими акумуляторами.

Звичайний свинцево-кислотний акумулятор має час зарядки приблизно від 8 до 16 годин для глибокого циклу заряду при температурі заряду від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рекомендується завжди зберігати свинцево-кислотний акумулятор у зарядженому стані (приблизно 2,10 В), щоб уникнути сульфатації. Оптимальна температура для експлуатації свинцево-кислотного акумулятора - $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, і він має високу стійкість до перезарядження. Допустима робоча температура розряду знаходиться в діапазоні від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однак свинцево-кислотний акумулятор має низьку швидкість заряду приблизно від 0,1 С до 0,05 С, тому для повного заряду потрібен більш тривалий час. Коефіцієнт корисної дії для свинцево-кислотного акумулятора становить близько 90%.

Кулонівська ефективність (КЕ), також відома як ефективність або вихідний струм, що визначає ефективність передачі електронів у батареї під час заряджання. Це відношення повної розрядної ємності акумулятора до повної зарядної ємності акумулятора за повний цикл. Термін служби акумулятора скорочується з підвищенням температури. Згідно з дослідженнями, термін служби акумулятора скорочується вдвічі на кожні $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ підвищення температури. Наприклад, VRLA, який міг би пропрацювати при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 10 років, буде працювати лише при $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 5 років. Якщо підтримувати сталу температуру в пустелі на рівні $41\text{ }^{\circ}\text{C}$, той же акумулятор розрядиться через 2,5 роки. Номінальна напруга на елементі свинцево-кислотного акумулятора становить 2 В.

Більшість Ni-MH акумуляторів мають високу швидкість саморозряду, яка становить приблизно 20% - 30% на місяць. Перед кожним використанням Ni-MH батарею необхідно спочатку зарядити. Для швидкого заряджання потрібно приблизно 3 години, а для повного заряду – година. Діапазон оптимальних

робочих температур для Ni-MH акумуляторів зазвичай становить від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У відміну від свинцево-кислотних, Ni-MH акумулятори мають низьку толерантність до перезаряду, оскільки це може пошкодити елементи батареї і створити потенційні небезпеки, такі як виснаження ємності акумулятора, можливий вибух та надмірне нагрівання. Вони мають піковий струм навантаження від $0,5\text{ C}$ до 5 C . Нормальною ефективністю для Ni-MH акумуляторів є 70% для повільного заряду і 90% для швидкого заряду. Номінальна напруга нікелевих акумуляторів становить приблизно $1,2\text{ В}$.

Оптимальна робоча температура ($300\text{ }^{\circ}\text{C}$) для батареї ZEBRA вимагає попереднього підігріву перед використанням, що споживає значну кількість енергії при регулярних тривалих стоянках. Тому вона більше підходить для застосувань, де електромобіль використовується безперервно, наприклад, у міському громадському транспорті. ZEBRA має 100% ефективність, при якій ємність, що заряджається, дорівнює ємності, що розряджається [18]. Це пов'язано з тим, що ZEBRA містить хімічний елемент, який володіє хорошими електронними ізоляційними властивостями і не має побічних хімічних реакцій, а саме – бета-глинозем, що проводить іони натрію. Що стосується часу заряджання, то ZEBRA заряджається приблизно за 6 годин при звичайному заряджанні та за годину при швидкому заряджанні [7]. Вона має оптимальну робочу температуру від $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, оскільки бета-глиноземні електроди з бета-глинозему вносять лише незначний опір при цих температурах [8]. Номінальна напруга елементів батарей ZEBRA становить близько $1,2\text{ В}$ [4].

Для літій-іонного акумулятора характерна невелика швидкість розряду за місяць зі значенням менше 5% [4]. Літій-іонні акумулятори на основі літій-іонних акумуляторів, як правило, мають ефективність 99% і батарея залишається холодною під час заряджання [5]. Літій-іонні акумулятори мають тривалість заряджання близько 2 - 3 годин для повного заряду [6]. Виробники літій-іонних

аккумуляторів рекомендують використовувати температуру 0,8 С або менше для подовження терміну служби батареї, проте, більшість літій-іонних аккумуляторів можуть витримувати більш високий рівень заряду з невеликим напруженням. Таким чином, допустимий діапазон температури розрядки і температури зарядки для літій-іонних аккумуляторів знаходиться в діапазоні від - 20 °С до 60 °С і від 0 °С до 45 °С відповідно, і вони мають низьку толерантність до перезаряду[7]. Він має піковий струм в діапазоні від 10 С до 30 С [6]. Рекомендується уникати зберігання літій-іонних аккумуляторів при повному заряді і при температурі вище кімнатної, оскільки відбудеться незворотній саморозряд [7]. Номінальна напруга елемента літій-іонних аккумуляторів становить близько 3,2 - 3,7 В [6].

При нормальних умовах, літій-іонний аккумулятор має стабільний рівень саморозряду протягом усього періоду експлуатації. Однак при максимальному навантаженні і високій температурі може відбуватися збільшення саморозряду.

Ті самі фактори впливають і на тривалість служби батареї. Повністю заряджений літій-іонний аккумулятор має більше ймовірностей вийти з ладу, ніж аккумулятор, що частково заряджений. У таблиці 1.4 показано саморозряд літій-іонного аккумулятора при різних температурах і рівнях заряду щомісяця. Як видно з таблиці 1.4, літій-іонна батарея має вищий рівень саморозряду при високих температурах при повному заряді. З цього можна зробити висновок, що швидкість саморозряду літій-іонного аккумулятора прямо пропорційна робочій температурі і рівню заряду самого аккумулятора. Бажано не розряджати літій-іонну батарею нижче 2,50 В на елемент, оскільки це може призвести до відключення захисного ланцюга в такому стані, коли батарея не може бути заряджена більшістю зарядних пристроїв.

Залежність між температурою, станом зарядження та саморозрядом літій-іонних батарей

| Стан заряду | 0° С | 25° С | 60° С |
|-----------------|------|-------|-------|
| Повна зарядка | 6% | 20% | 35% |
| 40 -60% зарядки | 2% | 4% | 15% |

1.4. Аналіз термінів служби та вартості акумуляторних батарей

Акумулятори свинцево-кислотного типу виступають першопроходьцями у всіх сучасних технологіях акумуляторів і мають найнижчу загальну вартість порівняно з нікель-металгідридними, ZEBRA, а також літій-іонними акумуляторами. Завдяки низьким значенням питомої енергії та щільності енергії, використання свинцево-кислотних акумуляторів у ранніх моделях електромобілів було обмежене. Свинцево-кислотні акумулятори, які зазвичай використовувались в електромобілях, за типом є клапанно-регульованими (VRLA). VRLA має швидку перезарядку, здатність до швидкого перезарядження, високу питому потужність і низьку початкову вартість, а також не потребує технічного обслуговування. Тим не менш, він страждає від низького терміну служби – приблизно 1000 циклів при глибині розряду 50 % і має початкову вартість приблизно 120 доларів за кВт-год, а також має термін служби приблизно 3 – 15 років. Кількість розрядів для типового свинцево-кислотного акумулятора не повинна перевищувати 50%, оскільки це скорочує термін служби батареї. Основною причиною відносно короткого терміну служби свинцево-кислотних акумуляторів є короткий життєвий цикл VRLA-батареї. Наприклад, решітка позитивного електрода піддається корозії, активний матеріал виснажується, а позитивні пластини в акумуляторі розширюються.

Глибина розряду акумулятора впливає на його життєвий цикл. Що більше акумулятор розряджається під час кожного циклу, то менше циклів він здатний

витримати перед втратою продуктивності. Літій-іонні акумулятори можуть мати довший термін служби порівняно зі свинцево-кислотними, оскільки вони виготовлені з більш якісного матеріалу.

Після впровадження нікелевої батареї в електромобілі, використання свинцево-кислотних акумуляторів значно зменшилося, оскільки нікелеві батареї мають вищу питому міцність і щільність енергії порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами. Серед нікелевих акумуляторів, Ni-MH був одним з найбільш часто використовуваних для електромобілів. Це тому, що в Ni-MH акумуляторах не використовується кадмієвий матеріал в ролі електрода і є більш екологічно чистим. Крім того, Ni-MH має велику питому енергію та щільність енергії серед інших нікелевих акумуляторів. З моменту появи нікель-металогідридних акумуляторів у 1991 році, технологія акумуляторів стрімко розвивалася до сьогоднішнього дня. Але, здебільшого нікель-металогідридні акумулятори використовуються для гібридних електромобілів (HEV), таких як Toyota Prius і Honda Civic Hybrid, оскільки вони мають велику питому потужність. Згідно з дослідженням, життєвий цикл нікель-металогідридного акумулятора сягає 3000 циклів при роботі батареї в діапазоні від 20% до 80% глибини розряду.

При глибині розряду 80%, життєвий цикл Ni-MH акумулятора може досягати понад 1000 циклів за поточної тенденції. Вважається, що термін служби Ni-MH батареї, яка використовується для електромобілів, може тривати понад 7 років. Вартість Ni-MH акумулятора становить приблизно від 200 до 350 доларів США за кіловат-годину. Насправді, так як близько третини маси Ni-MH акумулятора складається з нікелю, ціна нікелю має значний вплив на загальну вартість Ni-MH акумуляторної батареї.

Акумулятори ZEBRA зазвичай використовуються в громадському транспорті, таких як автобуси та мікроавтобуси, завдяки своїй високій робочій температурі. Для цієї батареї життєвий цикл становить близько 1000 циклів при 80% глибини розряду, як очікується, коштуватиме приблизно від \$160 до \$300 за

кіловат-годину. Очікується, що термін служби буде більше 10 років. Загалом, батарея ZEBRA має вищу продуктивність порівняно зі свинцево-кислотними, але вона досягає максимальної ефективності при температурі близько 250 – 350 °С, що робить цю батарею придатною лише для міського громадського транспорту.

Літій-іонна батарея призначена для того, щоб вона могла забезпечувати повну робочу функцію щонайменше протягом 10 років. Згідно з одним із досліджень, вважається, що літій-іонна батарея вичерпала свій ресурс, коли елемент досягає 80% від початкової потужності або 80% від початкової ємності. Літій-іонна батарея може забезпечити загальну енергію до 800 000 кВт-год протягом 10-річного терміну служби транспортного засобу залежно від очікуваного пробігу. Крім того, вартість літій-іонного акумулятора є високою на початковому етапі, коли літій-іонні акумулятори тільки з'явилися на ринку електромобілів, вартість яких становила \$1000 + за кіловат-год у період з 2005 по 2010 рік, і очікується, що вона знизиться до приблизно менше \$400 за кіловат-год.

Однак, завдяки прогресивним технологіям у галузі акумуляторів, процес виготовлення літій-іонних батарей стає простішим, а також багато альтернативних матеріалів можуть бути використані, що мають меншу вартість. Зниження собівартості виробництва повних автомобільних літій-іонних акумуляторних батарей можливо досягти приблизно до \$410 за кіловат-год в цілому по галузі, тоді як лідери автомобільного виробництва, такі як Tesla і Nissan, прогнозують, що вартість літій-іонної батареї складе приблизно \$300 за кіловат-год. Аналогічно, життєвий цикл літій-іонної батареї також залежить від глибини розряду. Чим більша глибина розряду, тим коротший життєвий цикл для літій-іонного акумулятора, і слід уникати повної розрядки і зарядки акумулятора між використанням, щоб продовжити його термін служби. Ще одна важлива річ полягає в тому, що літій-іонна батарея не має ефекту пам'яті і не потребує періодичних циклів повної розрядки для продовження терміну служби. Типовий літій-іонний акумулятор, який використовується для електромобілів, це нікель-

марганцево-кобальтовий оксид (NMC), як, наприклад, у моделях Nissan Leaf, Chevy Volt.

Типовий літій-іонний акумулятор може мати життєвий цикл приблизно від 500 до 2000 циклів при рівні заряду 80%, що відповідає стану глибини розряду в межах 20-80%.

1.5. Висновки до розділу 1

Робота розглядає еволюцію акумуляторних технологій від свинцево-кислотних до літій-іонних акумуляторів. Проаналізовані революційні зміни та параметри батарей протягом цього періоду, такі як питома енергія, щільність енергії, питома потужність, вага і розмір.

Літій-іонні акумулятори виявилися найбільш передовими у цьому процесі еволюції. Вони відрізняються вищою питомою енергією, щільністю енергії та питомою потужністю порівняно з іншими типами акумуляторів. Також зазначено зменшення ваги і розміру акумулятора з роками.

Згадано також час заряджання і розряджання акумуляторів, а також їхній термін служби та вартість. В сучасних умовах розробляються нові батарейні технології з різними складовими, такими як аноди, катоди і сепаратор електроліту, що може покращити їхню продуктивність за рахунок збільшення теплоємності та терміну служби.

Розвиток літій-іонних акумуляторів за останні 25 років відкрив нові можливості для їх використання в різних сферах, включаючи побутову електроніку, квадрокоптери та електромобілі. Інновації у цій області відіграють ключову роль у поліпшенні ефективності та прискоренні масового застосування електромобілів.

Нові технології акумуляторів використовують різні матеріали, а також фокусуються на покращенні анодів, катодів та електролітів. Наприклад,

технологія кремнеземних анодів може значно покращити ємність батареї за рахунок заміни вуглецевого або графітового анода. Кремнієві аноди здатні поглинати більше іонів літію, що може збільшити щільність енергії батареї до 40%.

Однак, впровадження цих технологій вимагає вирішення деяких проблем, зокрема, збільшення об'єму атомів кремнію під час заряджання, що може призвести до розриву анода та виходу акумулятора з ладу. Сучасні дослідження обмежені невеликими концентраціями кремнію, що обмежує можливе підвищення щільності енергії батареї.

Такі інновації демонструють потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення літій-іонних акумуляторів, що може сприяти поширенню електромобілів та інших сучасних технологій.

Забезпечення довгого життєвого циклу акумуляторів дозволить зменшити витрати на заміну батареї, що зробить електромобілі більш привабливими для споживачів. Висока питома енергія і потужність дозволить збільшити дальність пробігу та загальну продуктивність електромобілів. Щодо ціни, вона повинна бути конкурентною з автомобілями з двигуном внутрішнього згорання, щоб забезпечити доступність електромобілів для широкого кола покупців.

Досягнення цих цілей стане ключовим фактором у сприянні масовому впровадженню електромобілів у майбутньому та зменшенні залежності від традиційних автомобілів з двигуном внутрішнього згорання.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.

2.1. Методологія

Ефективний збір інформації про акумуляторні технології – це першим кроком до аналізу, групування, оцінки та прогнозування способу інтеграції акумуляторів. Підраховано, що патенти містять >90% технічної інформації і що ефективне використання патентів скоротить 60 і 40% часу і витрат на дослідження і розробки (R&D), відповідно [8, 19]. Патентний аналіз використовується для оцінки потоку технологій та відстеження технологічної еволюції в енергетичному секторі [20]. У сфері електромобілів патентний аналіз в основному застосовується для аналізу тенденцій перспективних типів електромобілів і технологій акумуляторів [21], таких як матеріали позитивних/негативних електродів та електроліти [20]. Однак існує обмежена кількість звітів, які досліджують збірку акумуляторів з елементів, модулів і блоків, а також порівнюють їх з урахуванням життєвого циклу технології, їх з огляду на життєвий цикл технології та розповсюдження серед світових підприємств на основі патентного аналізу. Автори [21] досліджували питання інтеграції акумуляторної батареї електромобіля з різних аспектів, а саме: збірка акумуляторів, терморегулювання моніторингу та контролю, сервісу та обслуговування. Автори [16] проаналізували ланцюжок створення вартості акумуляторів для електромобілів на основі патентної діяльності. Ланцюжок створення вартості акумуляторів починається з видобутку та переробки сировини для синтезу компонентів елементів, а потім різні компоненти збираються в елементи і далі упаковуються в акумуляторні батареї.

Джерело даних, що використовується в цьому дослідженні, базується на Індексі інновацій Derwent. Цей індекс для патентного пошуку має широке покриття, включаючи понад 110 мільйонів патентів від майже 61 патентовласника з усього світу, що спрощує пошук і дозволяє уникнути дублювання. Патентний

пошук у цьому дослідженні охоплював глобальні патенти на складання акумуляторів, включаючи елементи, модулі та батареї. Щоб забезпечити цілісність та придатність патентних даних для подальшого аналізу, значущі патентні дані були отримані до 31 грудня 2020 року, оскільки існує 18-місячний лаговий період для розкриття патентів. Тому після 2020 року патентні дані можуть не точно відображати патентні тенденції у складанні акумуляторів.

Оскільки термін «літій-іонні акумулятори» не був зафіксований до комерціалізації літій-іонних батарей компанією Sony, ми об'єднали формулу TS = (% елементів АБО вторинна батарея * АБО батарея * АБО АБО акумулятор АБО акумуляторна батарея *), код МПК та ключові слова для пошуку патентів, а потім вручну додали ці патенти до відповідних рівнів заряду батареї. В результаті ви отримали наступну кількість патентів: на елемент - 23178, на модуль - 6711 та на упаковку - 13488.

В даний час існує багато платформ, що надають послуги патентного пошуку, такі як платформа патентного пошуку Державного відомства інтелектуальної власності (SIPO), Китайська мережа інтелектуальної власності (CNIPR), веб-сайт SooPat [1].

Однак CNIPR є більш точним і всеосяжним, тому в цій роботі для збору даних також використовується CNIPR на рівні з Derwent [1]. Ознайомившись з великою кількістю інформації та даних, ми узагальнили основний склад акумуляторної батареї технології: (а) акумуляторна батарея (свинцево-кислотна батарея, літій-іонна батарея, нікель-метал-гідридна батарея, паливні елементи тощо); (б) система управління батареєю (управління батареєю, контроль заряду, тест SOC тощо); (в) переробка акумуляторних батарей та інші допоміжні засоби [7]. Таким чином, завдяки всебічному аналізу, остаточний вираз для пошуку даних дорівнює /TI= (Свинцево-кислотна батарея або нікель-кадмієва батарея або нікель-металогідридний акумулятор, або нікель-залізний акумулятор, або літій-іонні акумулятори, або паливні елементи, або хлоридно-нікелевий акумулятор, або

сірчано-натрієвий акумулятор, або срібно-цинковий акумулятор, або сонячна батарея, управління або CAN або управління безпекою або вирівнювання заряду) і /AB = ((електрична або гібридна, або паливна батарея, або суперконденсатор) і (автомобіль, або транспортний засіб, або транспортні засоби)).

2.2. Результати

На рисунку 1 наведено схематичне зображення акумуляторної батареї для електромобілів. Традиційна схема СМР призводить до низької ефективності інтеграції, з 40% зниженням щільності енергії від рівня СТР. Тому багато провідних компаній по всьому світу займаються розробкою інноваційних способів інтеграції акумуляторів, таких як СТР, СТС і cell to body (СТВ), щоб ефективно зменшити кількість допоміжних частин.

СТР (Cell-to-Pack) концепція передбачає безпосереднє включення окремих акумуляторних комірок безпосередньо в блок батареї, обіймаючи проміжні структури, такі як модулі, що дозволяє зменшити втрати енергії і вагу, спрощує виробництво та збільшує щільність енергії.

У концепції СТВ (Cell-to-Battery) комірки акумулятора об'єднуються великим блоком, що забезпечує безпосереднє використання їх у складі батареї. Це спрощує конструкцію батареї, зменшує її об'єм і масу, підвищує ефективність і знижує витрати виробництва.

Патентні заявки на рівні елементів можна відстежити ще з 1980-х років. Розвиток літій-іонних акумуляторів можна розділити на три етапи, виходячи з кількості патентів за роком, як показано на рисунку 1b. Перший етап в основному охоплює період з 1980 до 1990 року, протягом якого з'являлося менше 10 патентів на рік, і він є етапом зародження технології. Серед найважливіших відкриттів цього періоду – концепція акумуляторних батарей, що перезаряджаються (катод з дисульфиду титану в парі з металевим анодом з літію) запропонована Вітінгемом,

зірчасті катоди з літій-кобальтових оксидів літію кобальту (LiCoO_2) та оксидів літію марганцю (LiMn_2O_4) відкриті Гуденафом. Ці піонерські відкриття заклали важливий фундамент для майбутньої комерціалізації літій-іонних акумуляторів.

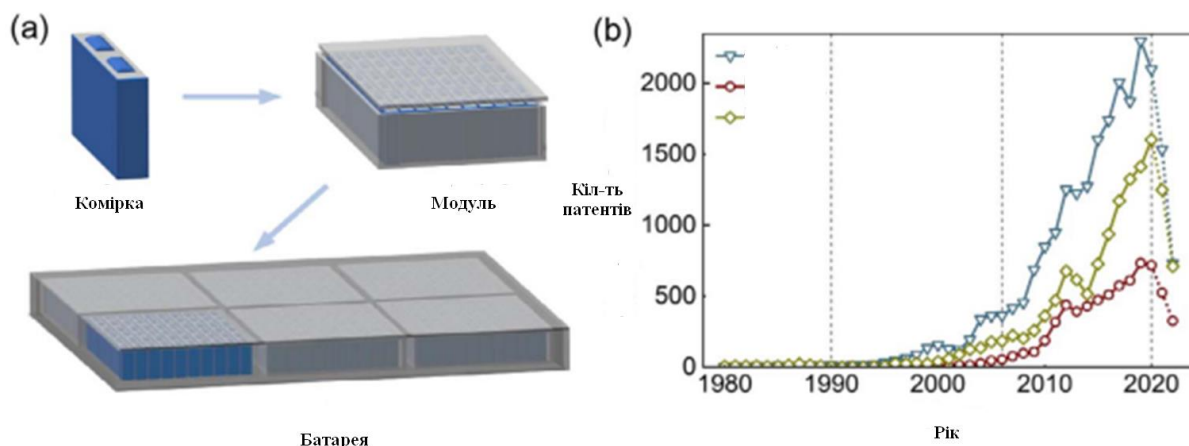


Рис.1.1. (а) Схематична ілюстрація збірки батареї від елемента до модуля і пакета. (б) Кількість патентів як функція від часу складання батареї.

Комірка, модуль і батарея швидко розвивалися на другому етапі з 1991 по 2006 рік, із середньорічним темпом зростання 33% на рік. Швидкий розвиток призвів до стимулювання перших комерційних літій-іонних вторинних акумуляторів, які можна було багаторазово заряджати і розряджати. Після цього ці компанії налагодили тісну співпрацю з видобувними та переробними компаніями промислового ланцюга і досягли високого рівня автоматизації. Крім того, розвиток інтернет-технологій (ІТ) між 1995 і 2002 роками спричинив появу портативної електроніки, яка широко використовувала літій-іонні елементи. З насиченням ринку портативної електроніки спостерігався незначний спад на ринку одноклітинних рівнів. Джерела живлення глобальних транспортних засобів на нових видах енергії перебували на стадії невизначеності до 2006 року. На цьому етапі багато країн зосереджували увагу на розробці водневих паливних елементів як джерела енергії. Починаючи з 2007 року, завдяки потужним державним

субсидіям та підтримці, багато країн розробили чіткі дорожні карти для електромобілів з акцентом на літій-іонних акумуляторах. Відтоді дослідження і розробки літій-іонних акумуляторів вступили в прискорену стадію.

Третій етап тривав з 2006 по 2020 рік, протягом якого різко зросла кількість патентів на комірки, модулі та пакети, особливо на рівні комірок. Такому високому ентузіазму в дослідженнях на комірковому рівні сприяли революція розумної мобільності та енергетична революція, які характеризуються подальшими дослідженнями катодних і анодних матеріалів для ринків електромобілів. 2011 рік вважається першим роком ери електромобілів, що відкрило можливість для високого попиту на високопродуктивні модулі та блоки, що призводить до заохочення дизайну акумуляторів і пов'язаних з ними патентів на рівні модулів і блоків.

Теорія життєвого циклу технології базується на теорії життєвого циклу галузі і в основному використовується для побудови технологічних прогнозів. Тут життєвий цикл технології може бути відображений за допомогою кількості патентів на рік на одній висі, а кількості правонаступників на рік на іншій. Фостер запропонував чотири стадії життєвого циклу технології, включаючи стадію зародження, стадію зростання, стадію зрілості та стадію насичення [8]. На рисунку 2а-с показано життєвий цикл технології для комірок, модулів і батареї на основі кількості патентів як функції від патентних правонаступників, відповідно.

Щільно розподілені патенти на комірки, модулі і батареї з 1980 по 1990 роки вказують на їхній початковий етап розвитку. У цей період Гуденаф запропонував LiCoO_2 у 1980 році, що стало першою рекламою літій-іонних акумуляторів, які були випущені в 1991 році. Після 1991 року літій-іонні батареї, характеризуючись легкістю, високою щільністю енергії та відсутністю ефекту пам'яті, швидко стали популярними на ринку портативної електроніки. Переважають коміркові прототипи, такі як циліндричні, призматичні і пакетні комірки, які були запропоновані та виготовлені для задоволення різноманітних вимог до

електровелосипедів та медичного обладнання. Попит на високоенергетичні та потужні акумуляторні системи сприяв розробці модулів і батарей, і кількість патентів стала більшою за 10 на рік після 2010 року, що свідчить про нову стадію розвитку модулів та батарей.

Літій-іонні акумулятори з більш високою щільністю енергії та потужності різко зроста відповідно до широкого поширення великої електроніки через зрілість популярних катодних матеріалів, таких як LiCoO_2 , LiMn_2O_4 і потрібні оксиди нікелю, кобальту і марганцю (NCM). Кількість патентів та правонаступників на модулі та пакети постійно зростає з 2000 року, зі щорічним темпи зростання становлять понад 10% на рік. Колективні дані свідчать про те, що клітинний рівень комірок вступив у стадію зрілості, в той час як модуль і батарея на стадії зростання. Коли технологія вступає в стадію зрілості, кількість компаній, що входять в цю сферу, зменшується через насичення ринку, і лише кілька компаній продовжують займатися технологічними дослідженнями в цій галузі, що призводить до уповільнення темпів зростання патентних заявок. Рисунок 2.2a показує, що кількість патентів та патентних правонаступників на комірки зменшилася з 2017 до 2018 рр., що свідчить про те, що технічний розвиток комірок поступово дозріває, а компанії, які займаються дослідженнями в цій галузі, як правило, стабільні. Конструкції модулів та батарей привертають широку увагу з боку науково-дослідних інститутів і компаній. Життєвий цикл технології комірок, модулів і батарей схематично представлений на Рисунку 2.2d.

Розподіл патентів у світі є ключовим сигналом для оцінки переваг регіональних технологій та стану розвитку ринку. На рисунку 3a показано п'ять найбільших регіонів, які володіють світовими патентами на комірки, модульні та батарейні технології, у такій послідовності: Китай, Японія, США, Корея та Європейський Союз (ЄС). Зокрема, Китай і Японія мають найбільшу кількість патентів порівняно з іншими регіонами. Цей розподіл патентів, ймовірно,

пояснюється широким розповсюдженням електромобілів та пов'язаних з ними виробничих ланцюгів.

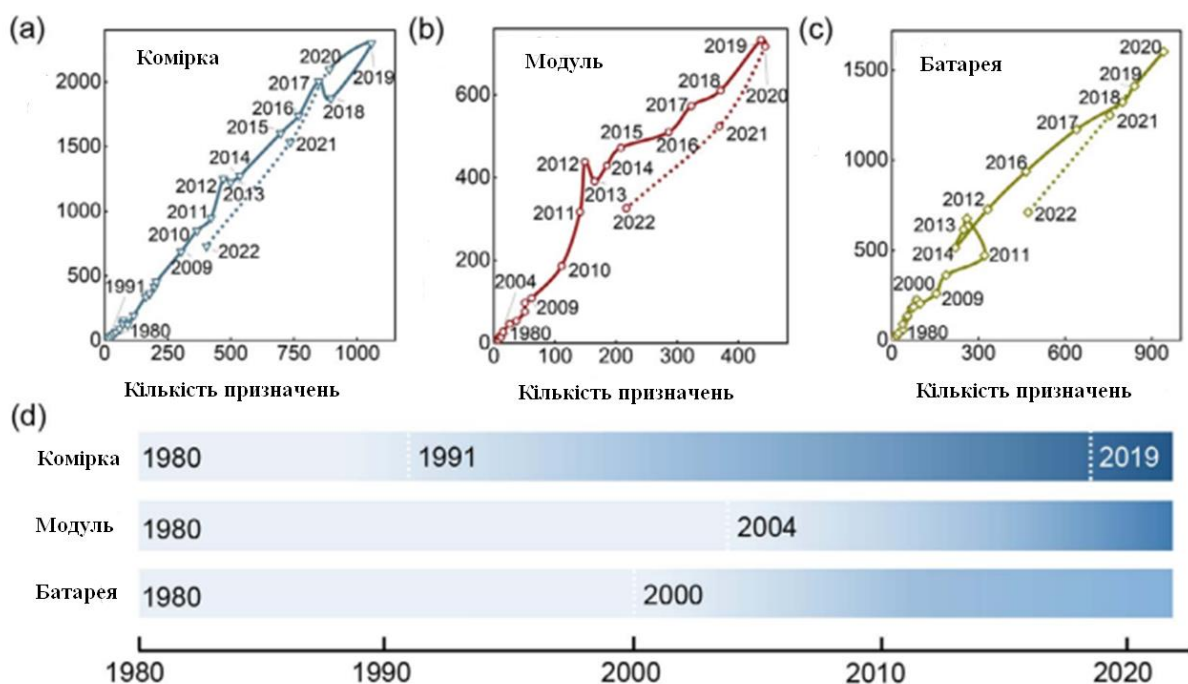


Рис.2.2. Кількість патентів як функція правонаступників патентів для рівнів (а) комірки, (б) модуля, (в) батареї. (д) Графік життєвого циклу технології для акумуляторної батареї

До 2000 року Японія і США були домінуючими на ринку літій-іонних акумуляторів завдяки розвитку ринків електроніки. Японія проводила ранні і швидкі дослідження в галузі літій-іонних акумуляторів, але останнім часом її поступово випередив Китай, принаймні частково це пов'язано зі швидким зростанням ринку електромобілів у Китаї.

У порівнянні з іншими регіонами, країни ЄС, хоча відстають у сфері літій-іонних акумуляторів, володіють великою кількістю патентів у сфері збірки акумуляторів для електромобілів. Компанія Bosch з Німеччини, яка є гігантом автомобільної промисловості, подала першу заявку на патент на елемент і модуль ще у 2006 році, а на акумуляторну батарею – у 2005 році. Це свідчить про значення

співпраці країн ЄС зі світовими компаніями у галузі досліджень і розробок акумуляторів.

На рисунку 3b-d показано 10 найбільших світових правонаступників, які володіють патентами на елементи, модулі та батареї акумуляторів. Загалом, LG Chem є лідером у сфері досліджень і розробок акумуляторів від елемента до модуля і батареї. Перевагу LG Chem у цій галузі можна пояснити ранніми інвестиціями в літій-іонні акумулятори в побутовій електроніці з 1995 року і швидким виходом на цей ринок завдяки високоякісній акумуляторній продукції. Нещодавно LG Chem переключила свій дослідницький напрямок на електромобілі і стала постачальником акумуляторів для Tesla, General Motors і Ford Motor. Samsung є ще однією великою компанією-виробником акумуляторів у Кореї, окрім LG Chem. Хоча є лише дві компанії з Кореї, які увійшли до топ-10 правонаступників, вони мають загальну глобальну частку 66,9%, 76,3% і 80,9% для елементів, модулів і упаковок відповідно. Це свідчить про те, що корейські компанії є лідерами в галузі досліджень і розробок у сфері складання акумуляторів.

Окрім корейських компаній, японські підприємства також займають значну частку у збірці акумуляторів, таких як Toyota, Hitachi, Panasonic, Nissan, Sanyo, Sony, Daikin і Toshiba. Зокрема, Toyota і Hitachi представлені серед провідних компаній, і обидві вони входять до топ-10 правонаступників у сфері дизайну акумуляторних батарей. Патенти з Японії також концентруються в цих провідних компаніях.

Натомість, Китай посідає перше місце за загальною кількістю патентів на збірку батарей. Проте лише дві компанії (CATL і Guoxuan High Tech) займають місце в топ-10 правонаступників у сфері акумуляторних модулів та акумуляторних батарей відповідно. Немає жодних компаній з Китаю, які увійшли до топ-10 виробників акумуляторів на рівні комірки. Такий розподіл патентів свідчить про те, що дослідження і розробки в галузі збірки акумуляторних батарей у Китаї

досить розпорошені. широке впровадження електромобілів сприяє значному ентузіазму китайських компаній у розробці і вдосконаленні модулів та блоків батарей. Концепції СТР (Cell-to-Pack) і СТВ (Cell-to-Battery) є частиною цього напрямку.

США, як одна з перших країн, що розробили технологію літій-іонних акумуляторів, мають оригінальні патенти на літій-іонні акумулятори для комірок і модулів. Один з основних патентів, поданий командою Гуденауфа в 1997 році, став найбільш цитованим патентом у світі, що свідчить про важливість інновацій, розроблених у США в цій галузі [9]. Проте, протягом наступного десятиліття після комерціалізації літій-іонних батарей, США зосередилися на водневих паливних елементах і недостатньо підтримували дослідження і розробки для електромобілів. Крім того, занепад обробної промисловості США та зростання вартості світового виробництва ускладнили розширення застосування літій-іонних батарей.

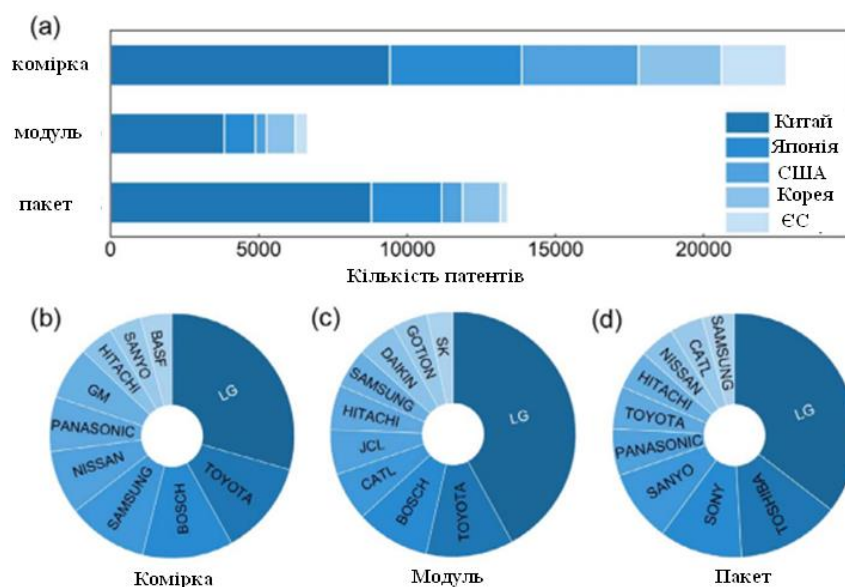


Рис.2.3. Розподіл патентів на акумуляторну батарею в різних регіонах. Розподіл патентів 10 найбільших правонаступників для (b) комірки, (c) модуля та (d) пакету.

На рівні акумуляторних батарей американські компанії співпрацюють з компаніями інших країн, що призводить до зменшення кількості патентів і відносного занепаду науково-дослідницької діяльності в цій області.

З пошукової платформи CNIPR проаналізовано 2322 патент за період з січня 1992 року по червень 2023 року, серед них кількість патентів на винахід - 1519, що становить 59%; на корисну модель – 803 (39%); на зовнішній вигляд дизайн - 40 (2%).

На основі аналізу даних заявок на патенти, результати розподілу різних типів акумуляторних технологій показано на рисунку 2.3. Кількість заявок на певний патент певною мірою відображає ступінь суспільної зацікавленості в акумуляторних технологіях. Можна виявити, що науково-дослідницька діяльність в даний час в основному зосереджені в трьох областях: батареї на паливних елементах, свинцево-кислотні батареї, літій-іонні батареї.

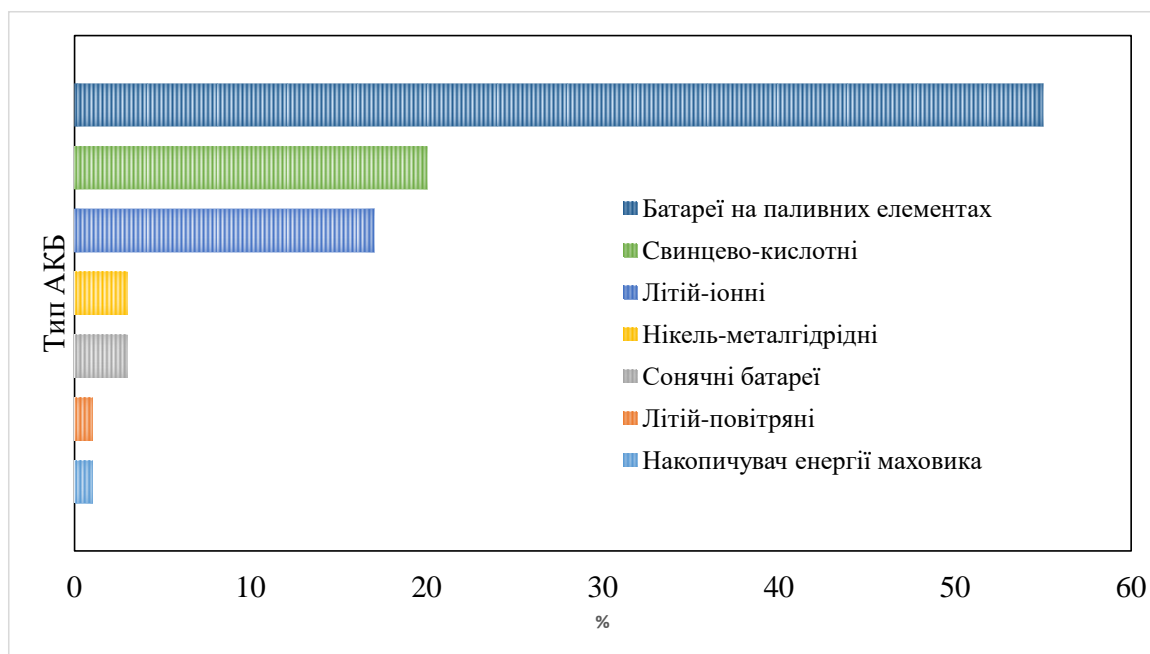


Рис. 2.3. Порівняння частки патентів в основних видах технологій автомобільних акумуляторів

Аналіз багаторічних даних патентних заявок показав, що кількість патентів на технології електромобільних батарей в Китаї зростала в геометричній прогресії. За період з 2000 по 2007 рік кількість заявок поступово зростала, а після 2007 року відбувся стрімкий пік заявок, який збільшувався з кожним роком. Ця тенденція корелює з часом введення в дію основної національної політики щодо нових енергетичних транспортних засобів. Така політика відіграла важливу роль у просуванні розвитку технологій акумуляторних батарей для транспортних засобів на нових джерелах енергії.

Цей ріст патентних заявок свідчить про зростаючий інтерес до розвитку технологій акумуляторних батарей для електромобілів в Китаї, що може бути спричинене як підвищеним попитом на чисті транспортні засоби, так і стратегічними рішеннями уряду щодо розвитку нових енергетичних рішень. Активність у сфері патентних заявок також може свідчити про конкурентний характер цього ринку і бажання компаній отримати перевагу в технологічному лідерстві.

Для дослідження життєвого циклу технології акумуляторів електромобілів ми використовуємо розрахунок темпів технічного зростання v та коефіцієнт характеристики нової технології (N), v та N описані у формулах (1) – (3):

$$v = t/T \quad (1)$$

$$\beta = b/(t + c) \quad (2)$$

$$N = \sqrt{v + \beta} \quad (3)$$

T – кількість патентів на винаходи, отриманих або виданих за останні 5 років; b – кількість заявок на патенти на винаходи або виданих дозволів на винаходи за рік; c – кількість заявок на патенти на корисні моделі або виданих дозволів на них у технічній галузі за рік; β – коефіцієнт зрілості технології, якщо

β зменшується, це свідчить про те, що технологія знаходиться на стадії зрілості. Чим більше N , тим сильнішою є характеристика цієї технології.

Аналіз параметрів ν і N для батареї електромобіля показав, що темпи технічного зростання були нестабільними до 2000 р., а потім стали стабільними. Спостерігається схожа тенденція для обох кривих, що свідчить про те, що технологія все ще має перспективу і заслуговує на використання. У 1997 році спостерігалось більше коливання обох кривих. Дана подія, ймовірно, спричинила урядову підтримку нових технологій і промисловості, що може вплинути на темпи технічного розвитку батарей для електромобілів.

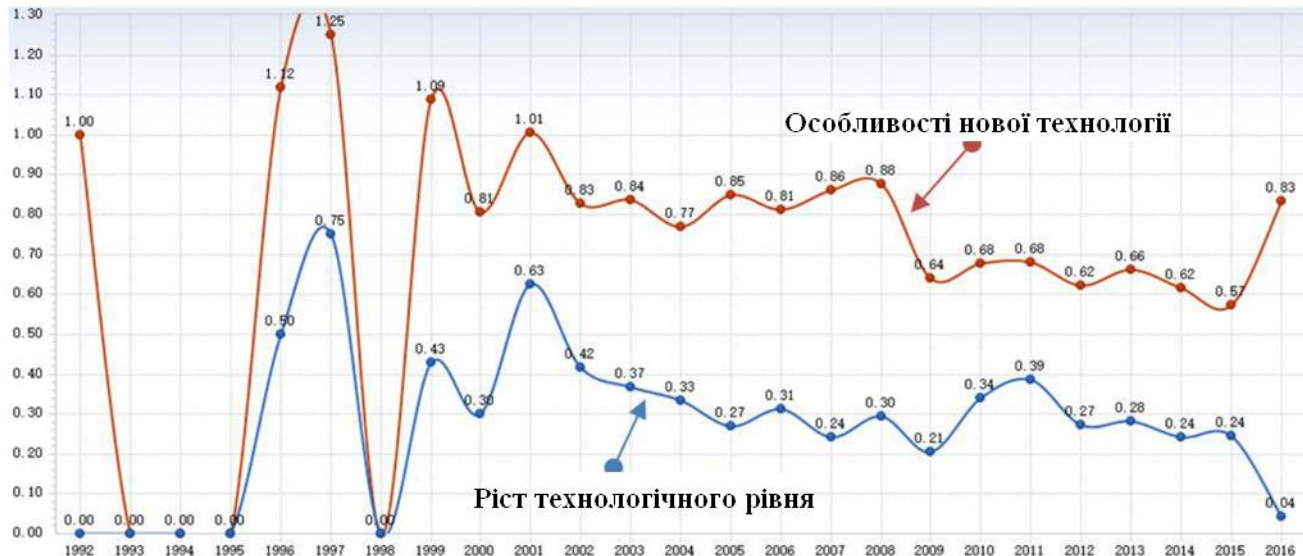


Рис.2.4. Життєвий цикл технології акумуляторів електромобілів

Винахідник патенту посилається на конкретне застосування патенту. Заявник і винахідник патенту може бути один або декілька, таким чином, існує ситуація, коли заявники або винахідники є спільними.

Для аналізу ситуації співпраці заявника або винахідника можна використовувати два показники: інтенсивність партнерства (PI) та коефіцієнт партнерства (PR). Інтенсивність партнерства – це дисципліни, в яких працюють

заявник та винахідник, інституцій або журналів, що публікуються кожною середньою кількістю авторів, може бути виражена за допомогою:

$$PI = \sum_{j=1}^n j \cdot f_j / N \quad (4)$$

f_j – кількість патентів від кількості партнерів для j ; n – максимальна кількість партнерів; N – загальна кількість патентів.

Партнерський рейтинг зазвичай являє собою індекс ступеня наукової співпраці за показником PR :

$$PR = M/N \quad (5)$$

M – патенти на співпрацю; N – загальна кількість патентів.

Середнє значення PI (0,73) набагато вище, ніж PR (0,11), що означає, що співпраця з винахідниками є дуже поширеною.

2.3. Висновки до розділу 2

Дана робота з патентної аналітики надає цінну інформацію для розуміння технологічних тенденцій у сфері розвитку акумуляторних батарей для електромобілів. Роль інтеграції батареї в електромобілях стає все більш вирішальною для визначення дальності пробігу автомобіля та його безпеки. Збільшення щільності енергії батареї в основному покладається на інновації елементів, модулів і блоків.

Аналіз патентних тенденцій дозволяє виявити, що елементи живлення перебувають на стадії зрілості, тоді як модулі і батареї знаходяться на стадії зростання. Це свідчить про високий попит на великогабаритні та високоякісні батареї для електромобілів.

Розподіл патентів показує, що Китай і Японія володіють значною кількістю патентів на всі рівні елементів, модулів і блоків. Проте, патенти китайських компаній можуть бути більш розпорошеними, а патенти компаній з Японії та Кореї зазвичай більш концентровані.

Враховуючи дані тенденції, проведена робота може бути корисною для осіб, які працюють над розробкою технологій акумуляторів і прогнозують технологічні тенденції для проектування енергощільних батарей.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Електричні автомобілі використовують групу літій-іонних акумуляторів, які можуть бути перезарядженими. Ці акумулятори можуть класифікуватися як Клас 9 згідно з їхньою енергією, виміряною у ват-годинах (Ватт-год.), що визначається для визначення їхньої класифікації. Небезпечний вантаж Класу 9 - це ті матеріали, які не відповідають критеріям будь-якого іншого класу небезпечних вантажів, але все ж можуть представляти загрозу для здоров'я, безпеки та навколишнього середовища [22].

Ват-година визначається як напруга (В) множена на ємність акумулятора, виміряну в ампер-годинах (А-год.), що вказує на кількість енергії, яку акумулятор може постачати протягом певного часу, зазвичай у годинах. Таким чином, Ват-година обчислюється як напруга помножена на ампер-години.

Літій-іонні акумулятори для електромобілів повинні відповідати певним умовам, описаним нижче, для того щоб бути класифікованими як небезпечний вантаж.

Умови, що визначають літій-іонні акумулятори як Небезпечні вантажі:

1. Для літій-іонного елемента: номінальна ємність не повинна перевищувати 20 Ватт-годин.
2. Для літій-іонного акумулятора: номінальна ємність становить понад 100 Ватт-годин.
3. Літій-іонні акумулятори мають бути марковані зазначенням номінальної ємності у Ватт-годинах на зовнішньому корпусі, за винятком тих, що виготовлені до 1 січня 2009 року.
4. Кожен елемент або батарея повинні мати запобіжний вентиляційний пристрій або бути сконструйовані таким чином, щоб запобігти сильному розриву за звичайних умов транспортування.

5. Кожен елемент або батарея повинні бути обладнані для запобігання зовнішнього короткого замикання.

6. Елементи та батареї мають бути упаковані в засоби утримання, які повністю закривають їх.

7. Маса бруто елементів і батарей не повинна перевищувати 30 кг, за винятком випадків, коли вони встановлені в обладнанні або упаковані разом з ним.

8. Кожна батарея, що містить елементи або серію паралельно з'єднаних елементів, повинна бути обладнана діодами, запобіжниками або іншими пристроями, які запобігають небезпечному зворотному струму.

В одному варіанті (рис.4.1) кожна комірка акумулятора має номінальну ємність менше 20 Ватт-годин, а загальна номінальна ємність батареї становить менше 100 Ватт-годин. Тому, згідно з вказаними умовами, цей акумуляторний блок не вважається небезпечним товаром.



Рис.4.1. Характеристики літій-іонної батареї

Батарея, показана на рис.4.2, має напругу 40 В і ємність 40 А-год. Це дорівнює 1600 Вт*год. Отже, цей акумулятор відноситься до 9 класу небезпечних товарів, оскільки його потужність перевищує 100 Ватт-годин.

Оскільки літій-іонна батарея відправляється окремо і не під'єднана до жодного обладнання, її транспортний опис може виглядати наступним чином:

Номер ООН: відповідно до номеру ООН для літій-іонних акумуляторів.

Найменування відправлення: літій-іонна батарея.

Клас: відповідно до класу небезпечного вантажу, до якого відносяться літій-іонні акумулятори.

Група пакування: відсутня, оскільки літій-іонні акумулятори не мають пакувальних груп.

Отже, транспортний опис буде містити номер ООН, найменування відправлення та клас, але не буде включати групу пакування.

Перелік вимог для тих, хто займається перевезенням електронних транспортних засобів та високовольтних акумуляторів:

1. Переконалися, що літій-іонні батареї безпечні, не протікають і не пошкоджені перед перевезенням.

2. Розуміти і визнавати небезпеку, пов'язану з перевезенням небезпечних вантажів, особливо відносно літій-іонних акумуляторів.

3. Пройти навчання та отримати сертифікат від роботодавця або самостійно, якщо вони є самозайнятими особами, щоб мати достатні знання та розуміння процесу та вимог щодо перевезення літій-іонних акумуляторів.

4. Знати вимоги до звітності, включаючи необхідність ведення відповідної документації та звітів про перевезення літій-іонних батарей та інших відповідних матеріалів.

Перед тим як небезпечний вантаж може бути відправлений з будь-якого місця, особа або компанія, яка надає цей вантаж, повинна виконати наступні кроки:

Визначити належну класифікацію, що означає правильно визначити клас небезпечного вантажу та забезпечити відповідні докази щодо цієї класифікації.

Вибрати правильну упаковку і упакувати вантаж відповідно до вимог щодо безпеки і правил перевезення.

Нанести етикетки та маркування на контейнер(и), що включає нанесення всіх необхідних етикеток та маркувань, які вказують на характер і небезпечність вантажу.

Заповнити та завірити товаросупровідний документ, який містить всю необхідну інформацію про вантаж і його перевезення.

Пропонувати таблички, вивішувати таблички або забезпечувати їхнє прикріплення (за необхідності), що може включати вивішування попереджувальних табличок або забезпечення інших позначень для вказівки на наявність небезпечного вантажу.

Знати вимоги до звітності.

Список кроків, які повинен виконати перевізник або водій небезпечного вантажу:

Перевірка правильності і розбірливості товаросупровідних документів.

Переконання відповідності етикеток та маркувань товаросупровідним документам і їх видимість.

Переконання цілісності та відсутності пошкоджень упаковки.

Прикріплення табличок на великих засобах утримання або переконання їхньої наявності.

Завантаження та закріплення небезпечних вантажів.

Взяття копії транспортного документа з собою.

Знання вимог до звітності.

Кроки, які повинен виконати одержувач або вантажоодержувач небезпечного вантажу після його доставки на місце:

Перевірка вантажу на наявність пошкоджень перед розвантаженням.

Розвантаження та безпечне зберігання небезпечних вантажів.

Знання вимог до звітності.

Вантажовідправник/відправник несе відповідальність за заповнення товаросупровідного документа та повне дотримання Регламенту. Якщо його

заповнює хтось інший, вантажовідправник повинен перевірити його, перш ніж дозволити йому виїзд.

Перевізник повинен підтвердити, що вся інформація в документі відповідає етикеткам і маркуванню, перш ніж прийняти у володіння. Товаросупровідні документи можуть бути в будь-якому форматі, якщо вони відповідають вимогам до змісту Регламенту TDGT [22]. Інформація, необхідна в документі на перевезення небезпечного вантажу:

- Ім'я та адреса вантажовідправника/вантажовідправника (повинно бути повне ім'я та адреса).
- Дата (дата підготовки або передачі вантажу перевізнику).
- Заява про сертифікацію та засвідчення вантажовідправника (ім'я друкованим шрифтом або підпис).

ВИСНОВКИ

У даній роботі патентний аналіз використовується для систематичного дослідження процесу складання акумуляторів від елемента до модуля і пакета, а також для визначення їхніх технологічних життєвих циклів з метою встановлення статусу їхнього розвитку. Визначено, що на рівні комірок розвиток технологій акумуляторів перейшов у стадію зрілості, а рівні модулів і блоків все ще знаходяться на стадії росту. Крім того, розподіл патентів між регіонами світу показує, що найбільша кількість патентів на рівні комірок, модулів і пакетів знаходиться в Китаї і Японії, причому патенти китайських компаній більш розпорошені, а патенти японських і корейських компаній сконцентровані.

Літій-іонні акумулятори в даний час є основною технологією для акумуляторів і залишаються ключовим напрямком розвитку в майбутньому. Їх унікальні властивості стали предметом патентних заявок, що свідчить про великий інтерес до цієї технології. Прогнозується, що літій-іонні акумулятори залишатимуться переважною технологією протягом тривалого періоду.

Ринкові перспективи для акумуляторів широкі, особливо в контексті розвитку електромобілів. Однак успіх у цій галузі залежить не лише від національної політики підтримки, але й від міждисциплінарної співпраці і інтеграції різних наукових дисциплін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Horowitz Y, Schmidt C, Yoon D-H et al. Between liquid and all solid: a prospect on electrolyte future in lithium-ion batteries for electric vehicles. *Energy Technol* 2020;8:2000580.
2. Yang C. Running battery electric vehicles with extended range: coupling cost and energy analysis. *Appl Energy* 2022;306:118116.
3. Harper G, Sommerville R, Kendrick E et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature* 2019;575:75–86.
4. Kong L, Tang C, Peng H-J et al. Advanced energy materials for flexible batteries in energy storage: a review. *SmartMat* 2020;1:1.
5. Liang Y, Zhao C-Z, Yuan H et al. A review of rechargeable batteries for portable electronic devices. *InfoMat* 2019;1:6–32.
6. Saariluoma H, Piironen A, Unt A et al. Overview of optical digital measuring challenges and technologies in laser welded components in EV battery module design and manufacturing. *Batteries* 2020;6:47.
7. Wang T, Tseng KJ, Zhao J et al. Thermal investigation of lithium-ion battery module with different cell arrangement structures and forced air-cooling strategies. *Appl Energy* 2014;134:229–38.
8. Arora S, Shen W, Kapoor A. Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles. *Renew Sust Energy Rev* 2016;60:1319–31.
9. Li W, Garg A, Xiao M et al. Intelligent optimization methodology of battery pack for electric vehicles: a multidisciplinary perspective. *Int J Energy Res* 2020;44:9686–706.
10. Yang X-G, Liu T, Wang C-Y. Thermally modulated lithium iron phosphate batteries for mass-market electric vehicles. *Nat Energy* 2021;6:176–85.

11. Shen K, Sun J, Zheng Y et al. A comprehensive analysis and experimental investigation for the thermal management of cell-to-pack battery system. *Appl Therm Eng* 2022;211:118422.
12. Wang H, Wang S, Feng X et al. An experimental study on the thermal characteristics of the cell-to-pack system. *Energy* 2021;227:120338.
13. Zhuang W, Liu Z, Su H et al. An intelligent thermal management system for optimized lithium-ion battery pack. *Appl Therm Eng* 2021;189:116767.
14. Han X, Lu L, Zheng Y et al. A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle. *eTransp* 2019;1:100005.
15. Kong L, Wang L, Zhu J et al. Configuring solid-state batteries to power electric vehicles: a deliberation on technology, chemistry and energy. *Chem Commun* 2021;57:12587–94.
16. Lu X, Tarascon J-M, Huang J. Perspective on commercializing smart sensing for batteries. *eTransp* 2022;14:100207.
17. Golembiewski B, vom Stein N, Sick N et al. Identifying trends in battery technologies with regard to electric mobility: evidence from patenting activities along and across the battery value chain. *J Clean Prod* 2015;87:800–10.
18. Yudong Tian, Xinjian Zhu, Dexiang Gong. Electric vehicle development trend of power supply, 2003; (2): 40 and 42
19. Ying Wang, Hewu Wang. Miniaturization path of the electric vehicle. *Power technology*, 2008; 32: (4): 257-260
20. Capasso C, Veneri O. Experimental analysis on the performance of lithium based batteries for road full electric and hybrid vehicles. *Applied Energy*, 2014, 136:921-930.
21. OHS Responsibilities and Industry-Supported Safe Work Practices for the Handling, Dismantling, Storage and Transportation of Electric Vehicles and High Voltage Batteries.