

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ  
КАФЕДРА “АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ”

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

“ УЗАГАЛЬНЕННЯ ДОСВІДУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗВИТКУ  
ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В СВІТІ ”

ВИКОНАЛА: КАТАЛЕНЕЦ АНАСТАСІЯ ЮРІЇВНА

КЕРІВНИК: МОНАСТИРСЬКИЙ ЮРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

Допущена до захисту

Зав. кафедрою АТ

« \_\_\_\_\_ » листопада 2024 р.

Ю.А.Монастирський

Кривий Ріг – 2024

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ  
Кафедра “ Автомобільний транспорт ”  
Освітня програма – Автомобільний транспорт

Затверджую:  
Зав. кафедрою АТ  
Ю.А.Монастирський  
«   » вересня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ  
КАТАЛЕНЕЦ АНАСТАСІЇ ЮРІЇВНИ**

1. Тема роботи “ Узагальнення досвіду досліджень та розвитку електромобілів в світі ” затверджена наказом по університету «16» вересня 2024 р. № 837с
2. Термін здачі закінченої роботи «30» листопада 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: *наукові дослідження та публікації за темою роботи.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: *Вступ, Вихідні дані та методи дослідження, Аналіз напрямів дослідження електромобілів, Узагальнення результатів дослідження, Висновки, Список використаних джерел*
5. Перелік графічного матеріалу *Графіки та діаграми по результатах досліджень.*
6. Дата видачі завдання -                   2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор. №	Назва етапів випускної роботи	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналіз стану питання</i>	<i>10.09.24 – 01.10.24</i>	
2	<i>Методичні засади</i>	<i>02.10.24 – 20.10.24</i>	
3	<i>Дослідження та аналіз результатів</i>	<i>21.10.24 – 21.11.24</i>	
4	<i>Формулювання висновків</i>	<i>22.11.24 – 24.11.24</i>	
5	<i>Оформлення презентаційної частини</i>	<i>25.11.24 – 30.11.24</i>	

Завдання видав керівник

МОНАСТИРСЬКИЙ ЮРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

Завдання прийняла

КАТАЛЕНЕЦ АНАСТАСІЯ ЮРІЇВНА

## ЗМІСТ

Анотація .....	4
1. Вступ.....	5
2. Матеріали та методи досліджень.....	11
3. Аналіз напрямів дослідження електромобілів .....	16
3.1. Напрямок «Зарядка акумулятора».....	16
3.2. Напрямок «Вивчення ринку електромобілів».....	21
3.3. Напрямок «Управління акумулятором електромобіля» .....	25
3.4. Напрямок «Енергоефективна трансмісія в електромобілів» .....	30
3.5. Напрямок «Електроживлення від мережі» .....	32
3.6. Напрямок «Стратегії контролю HEV».....	37
4. Висновки .....	41
Список літератури .....	46

## Анотація

Ця робота описує характеристики всесвітнього наукового внеску в галузі електромобілів (EV) з 1955 по 2021 рік. Для цього в базі даних Scopus було здійснено пошук за ключовим словом «Electric Vehicle». У результаті 50 195 документів було отримано за допомогою аналітичних і бібліометричних методів і класифіковано в шість напрям відповідно до досліджуваної теми та відносин співпраці між авторами. Проаналізовано найбільш релевантні публікації в кожній групі, тобто ті, що стосуються найбільшої кількості публікацій. Результат показує, що 104 344 автори досліджують електромобілі у 149 різних країнах із 225 445 стосунками між ними. Крім того, було проаналізовано найпоширенішу мову, якою були написані ці публікації, а також значення h-індексу їхніх авторів. У цьому документі також висвітлюється широкий спектр областей, залучених до розробки електромобілів. Нарешті, у документі порушуються численні питання, які слід розглянути, щоб розширити знання про електромобілі, їх ефективність та їх застосування в найближчому майбутньому для розвитку сталих міст і суспільств.

Ключові слова: Електричні транспортні засоби ; Гібридний електричний автомобіль ; Електромобіль на акумуляторі

# 1. Вступ

Відколи шотландський бізнесмен Роберт Андерсон винайшов перший електромобіль (EV), його модифікували та адаптували до постійних потреб суспільства. Спочатку транспортні засоби використовувалися лише заможними верствами населення, але поступово вони перетворилися на основний і необхідний актив для особистого та професійного розвитку всіх громадян. Перші внески в EV включали акумулятори енергії з французького заводу Gaston у 1865 році та Camille Faure у 1881 році [ 1 ]. У той час ці транспортні засоби конкурували з транспортними засобами, що працюють на викопному паливі, і паровими транспортними засобами. Перші електромобілі з комерційними функціями були таксі в Нью-Йорку наприкінці 19 століття [2]. Перші користувачі електромобілів перевищили кількість користувачів двигунів внутрішнього згорання [ 3]. Ці транспортні засоби перетворилися на гібриди, щоб адаптуватися до пересування великих важких транспортних засобів як для пасажирського транспорту (автобуси), так і для вантажного транспорту (вантажівки), де електромобілі не мали достатньої локомотивної потужності. У 1899 році Фердинанд Порше сконструював перший гібридний електричний автомобіль (HEV) з електричним і бензиновим двигуном [ 4 ] і запасом ходу 64 км. Його конструкція складалася з бензинового двигуна, який працював на постійній швидкості, живлячи динамо, яке заряджало електричні батареї [ 5 ]. Двигуни внутрішнього згорання почали запускати динамо, а надлишок енергії використовувався на різні цілі [ 6 ].

На початку 20-го століття виробництво електромобілів, що живляться від акумуляторних батарей, стало реальністю, і різні компанії конкурували за типом батарей [ 7 ]. Це призвело до зміни тенденції пересування з Ford Model T і дешевою нафтою, що залишило електропересування в забутті та поступилося місцем спалюванню викопного палива [ 8 ]. Протягом 1960-х років деякі моделі електромобілів знову з'явилися в промисловому секторі для сприяння дослідженням електричної мобільності через нафтову кризу [ 9

]. У 1990 році на автосалоні в Лос-Анджелесі компанія General Motors підвищила рівень обізнаності про вплив транспортних засобів на навколишнє середовище, і з'явилися деякі законодавчі заходи щодо зниження викидів [ 10 , 11] . Ця ситуація, разом із технологією літєвих батарей і зростанням вартості викопного палива, спонукали великі автомобільні компанії досліджувати електромобілі [ 12 ]. У 21 столітті громадяни виявляють свою турботу про природу, використовуючи екологічні та стійкі системи. Це сприяє створенню відповідного середовища для комерціалізації HEV і EV [ 13 , 14 ].

Автомобільна промисловість була занурена в вимоги суспільства адаптувати свої транспортні засоби до сучасності, впроваджувати нові технології та нові досягнення в електроніці, які підвищують ефективність передачі енергії до системи електричної тяги та покращують ефективність зарядки акумулятора тощо [ 15 , 16 ]. Громадяни все більше усвідомлюють проблеми забруднення навколишнього середовища та необхідність енергозбереження. Транспортна галузь сприяє приблизно чверті всіх викидів парникових газів у США та в усьому світі [ 17 ]. Ця інформація може призвести до заміни вашого автомобіля внутрішнього згорання на більш екологічний [18].

У категорії електромобілів ми повинні розрізняти HEV і повністю електричні [ 19 ]. Найважливіші бренди в автомобільному секторі докладають значних зусиль для розробки ефективних та екологічно чистих транспортних засобів, але більшість із цих транспортних засобів є гібридними, тобто вони використовують електричні автомобільні системи для низьких швидкостей (30–60 км/год) і викопні двигуни. паливні системи для високих швидкостей з метою зменшення викидів вуглецю в навколишнє середовище [ 20 ]. Plug-in HEV системи є альтернативою HEV [ 4 ]. Ці системи включають зарядний пристрій поруч із акумулятором, а також стратегії керування трансмісією для подальшого покращення продуктивності

автомобіля. Це дозволяє водієві налаштувати енергоспоживання батареї та замінити споживання викопного палива [ 21].

Розробка електромобіля має кілька труднощів, головною з яких є автономність. Така автономність залежить від акумуляторів; вони складають значну частину вартості транспортного засобу та обмежують максимальну відстань, яку можна подолати без підзарядки [ 22 ]. В Іспанії транспортний засіб проїжджає в середньому 80 км за одну поїздку [ 23 ], але це не є обмеженням, оскільки середня автономність цих транспортних засобів становить близько 250 км. Потрібна нова політика для стягнення плати в громадських місцях і в зонах колективного користування, таких як парковки та житлові райони [ 24 ].

Серед цих електромобілів є ті, що працюють від акумуляторів, і ті, що працюють на паливних елементах. Електродвигуни на паливних елементах засновані на водні для виробництва електроенергії, з підключенням до мережі для підзарядки та в якості аварійного резервного живлення. Ці транспортні засоби мають унікальну особливість майже без викидів. Існує різноманітність паливних елементів, таких як паливні елементи з прямим метанолом (DMFC) [ 25 ], паливні елементи з протонообмінною мембраною (PEMFC) [ 26 ], паливні елементи з лужним електролітом (AFC) [ 27 ], паливні елементи з фосфорною кислотою (PAFC). ) [ 28 ], розплавлені карбонатні паливні елементи (MCFC) і твердооксидні паливні елементи (SOFC) [ 29]. Вони засновані на виробництві та зберіганні водню, а технічні обмеження паливних елементів включають безпеку через високу напругу та електромагнітні перешкоди, викликані високочастотним і сильним струмом перемикавання в системі електричної тяги. З цих причин ці системи недоступні для громадськості, хоча вони здаються цікавим варіантом для мінімальних викидів CO<sub>2</sub> [ 30 ]. Хоча технологія зберігання водню більше не створює проблем з безпекою, ефективне виробництво все ще очікується [ 31 ].

Дослідники вивчають різні варіанти зберігання та екологічного виробництва, які підходять для електромобілів. Дослідження електромобілів,

що працюють на акумуляторах, сприяють використанню екологічних акумуляторів [ 32 ], пропагуючи ідею зеленої енергії [ 33 ], яка є основою цього типу транспортних засобів. На ринку існує велика різноманітність акумуляторів, які мають на меті замінити неекологічні свинцево-кислотні акумулятори, що використовуються в звичайних автомобілях внутрішнього згорання, які є найдешевшими та найпоширенішими [ 34]. Акумулятор для електромобіля повинен бути без викидів (нульовий рівень викидів) і не використовувати забруднюючих елементів, а також він повинен мати високу ємність (ампер-години, А·год), високий рівень накопиченої енергії (ват-години, Вт·год), придатний для використання стан заряду (SoC), високий життєвий цикл і максимальна потужність струму розряду тощо. Найпоширеніші батареї на основі нікелю у вигляді нікель-металгідриду (Ni-MH), які є екологічно чистими [35], але їхні життєві цикли короткі . і вони мають проблему високої швидкості саморозряду [ 36 ]. Літієва батарея має великі переваги для цього використання, такі як легка вага, висока енергія та питома потужність або висока щільність енергії [ 37]. Їх основним недоліком є висока вартість виробництва порівняно з Ni-MH. У цей час триває робота над іншими літієвими комбінаціями, такими як літій-сірка, яка має вищу енергетичну ємність при малій вазі, але короткий життєвий цикл [ 38 ]. Інша комбінація - це літій-залізофосфат, який має кращу термічну та хімічну стабільність, а також кращі характеристики безпеки, ніж літій-іонні батареї [39]. Іншим варіантом накопичення енергії є ультраконденсатор (UC): двошарові електричні конденсатори, псевдоконденсатори та гібридні конденсатори [ 40 ]. Структура цих пристроїв схожа на структуру конденсатора, але з високою ємністю [ 41]. Вони не вимагають догляду, мають тривалий термін служби, не піддаються впливу кімнатної температури. Маховик накопичення енергії (FES) також досліджується. Це пристрій, який зберігає/підтримує кінетичну енергію через обертання ротора/маховика [ 42 ]. Цей механізм має такі недоліки, як проблеми безпеки та гіроскопічна сила. Іншою альтернативою для захоплення енергії є



використання фотоелектричних панелей на дахах транспортних засобів. Незважаючи на низьку генерацію, вони можуть зменшити генерацію електроенергії за допомогою інших методів. Необхідно також розглянути використання автомобільного термоелектричного генератора (АТЕГ), який перетворює теплову енергію в електричну [ 43]. Він має термін служби від 10 до 20 років і не потребує обслуговування. Рекуперативне гальмування було включено в електромобілі [ 44 ], що дає змогу виробляти електроенергію за допомогою її кінетичної енергії.

Інфраструктура підключення до мережі для завантаження/розвантаження електромобілів є невирішеною проблемою [ 45 ]. Наукове співтовариство представило систему від транспортного засобу до мережі (V2G), яка є зворотною діяльністю заряджання автомобіля, експорту енергії назад до мережі під час пікового попиту на енергію або збереження її як резервної енергії [46 ] . Існують дослідження, які пропонують використовувати системи виробництва енергії з відновлюваних джерел як альтернативу підключенню до мережі та як спосіб уникнути виробництва неекологічної енергії.

Дослідження електромобілів тривають. Нові системи зберігання, які є більш екологічними та мають довший термін служби, впроваджуються з урахуванням рівноваги ринку електроенергії, що піддається впливу граничних цін [ 47 ]. Були розглянуті вдосконалені алгоритми керування батареями та моніторингу, а також нові стратегії керування трансмісією [ 48 ], а також нові інфраструктури підключення до мережі для підзарядки/розрядки тощо [ 49 ].

Усі досягнення зосереджені на покращенні ефективності електромобілів, щоб зробити їх конкурентоспроможними на автомобільному ринку, причому кілька наукових напрям постійно вносять внесок у різні сфери. Ці внески подвоюються за десятиліття, що передбачає обробку величезної кількості документів. Ці документи розповсюджуються в громадах за тематикою. Співпраця між різними напрямами та авторами

робить інновації в системах пересування ефективнішими, оскільки існують також відносини між установами, які підтримують свої лабораторії для проведення необхідних тестів. У цьому документі досліджувалися різні напрями, які були консолідовані в цій темі, та їхні стосунки з часом.

Наступні розділи структуровані таким чином: Розділ 2 пояснює використання методологію та аналіз документів за допомогою бібліометричних методів. Ці методи використовувалися для групування документів відповідно до їхніх підтем і зв'язків. Розділ 3 поділений на три підрозділи. Розділ 3.1 розглядає різні теми та самостійно аналізує ключові поняття кожної теми. Розділ 3.2 аналізує глобальне зростання теми відповідно до її географічного розподілу, авторів з найвищим h-індексом теми та мови документів. Розділ 3.3 визначає майбутні виклики для кожної напрями, які впливають із їх аналізу. В останньому розділі наводяться загальні висновки та визначаються загальні виклики розвитку електромобілів у різних його варіантах.

## 2. Матеріали та методи досліджень

В огляді використано бібліометричний метод. Це був швидкий метод виявлення наукової співпраці в усьому світі за допомогою бази даних Scopus. Це дослідження вивчало глобальні наукові публікації, індексовані в базі даних Scopus, тематика яких стосувалася електромобілів. В Інтернеті є кілька пошукових систем, які базуються на наукометричних показниках, але результати не враховують ані співпраці між авторами, ані можливості створення різних дослідницьких напрям з однієї теми [ 50 ]. Серед існуючих баз даних було обрано Elsevier's Scopus [ 51 ]. Використовувався інтерфейс API rasNetBot, розроблений дослідницькою групою кафедри електротехніки Університету Альмерії (Іспанія) [ 52 ].

Рисунок 1 показує блок-схему сценарію автоматичного вилучення інформації з бази даних Scopus під назвою Research Network Bot (ResNetBOT). Метод використовував rasNetBot із критерієм пошуку «TITLE-ABS-KEY»; на етапі завантаження він завантажує всі публікації, які відповідають цьому критерію, отримуючи в результаті метадані публікацій. Потім, на етапі 2, система завантажує розширену інформацію для кожної з публікацій, отримуючи в результаті файл для кожної публікації. Після завершення завантаження система запускає пошукові алгоритми. Спочатку він отримує дані кожної з робіт: наприклад, ключі, авторів, рік публікації тощо. Далі він отримує посилання серед статей, які відповідають критеріям пошуку, наприклад, якщо стаття цитується багатьма іншими. однак, документи, які його цитують, не були включені в пошук; ці посилання були відкинуті, оскільки вони не були важливими для досліджуваного набору, оскільки напряма не вважає їх адекватними.

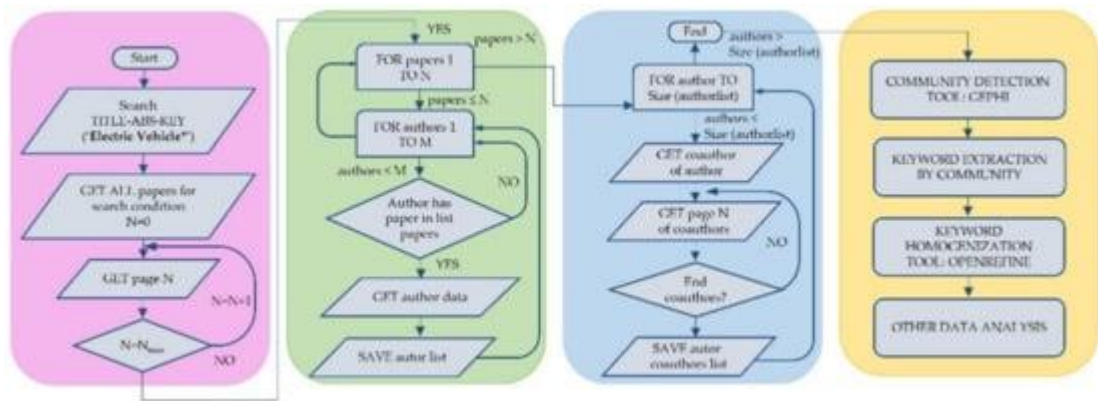


Рисунок 1. Блок-схема для автоматизованого сценарію ResNetBOT.

Ключове слово, використане для пошуку, було «Електромобіль» у полі TITLE і в полі OR AUTH KEY. Документи та зв'язки між ними були проаналізовані за допомогою алгоритмів виявлення напрямів та нанесені графічно за допомогою програми з відкритим кодом «Gephi» [ 53 ]. Розмір вузлів, що стосуються кожної публікації, пропорційний h-індексу. Автор може мати документ із великою кількістю посилань, але якщо працюватиме самостійно, ця публікація матиме менший вузол, ніж інші статті, на які менше посилань, але з більшою кількістю співробітництва з іншими документами. На графіку лінії між двома вузлами вказують на те, що вони цитуються, а його довжина показує важливість їхньої співпраці.

На рисунку 2 показано результат пошуку: було отримано 50195 документів із 225 445 зв'язками, створеними з 1955 року до початку 2021 року. Ця інформація пройшла процес очищення даних, що дозволило позбутися документів, не пов'язаних з іншими напрямками. Після цього процесу налагодження 48 536 публікацій, які не демонстрували зв'язків з основними ядрами співпраці, було видалено, а 96,69% від загальної кількості зв'язків залишилося. На рисунку 2 показано 6 основних напрямів, але було важко виділити їх територію через низьку щільність і невеликий розмір. Напрямок «Заряди акумулятора» змішана зі напрямом «Електромобіль приєднаний до електромережі», а також напрямом «Стратегії контролю NEV». З іншого боку, напрям «Дослідження ринку електромобілів» широко

пов'язаний з напрямками «Керування батареями електромобілів» і «Енергопостачання транспортного засобу в мережу». Напрямок «Стратегії контролю HEV» є найбільшим та представляє відносини з рештою напрямів. Його відносини зі напрямками «Управління акумулятором електроавтомобіля» і «Дослідження ринку електромобілів» створюють регіони, в яких вузли обох напрямів важко розрізнити.

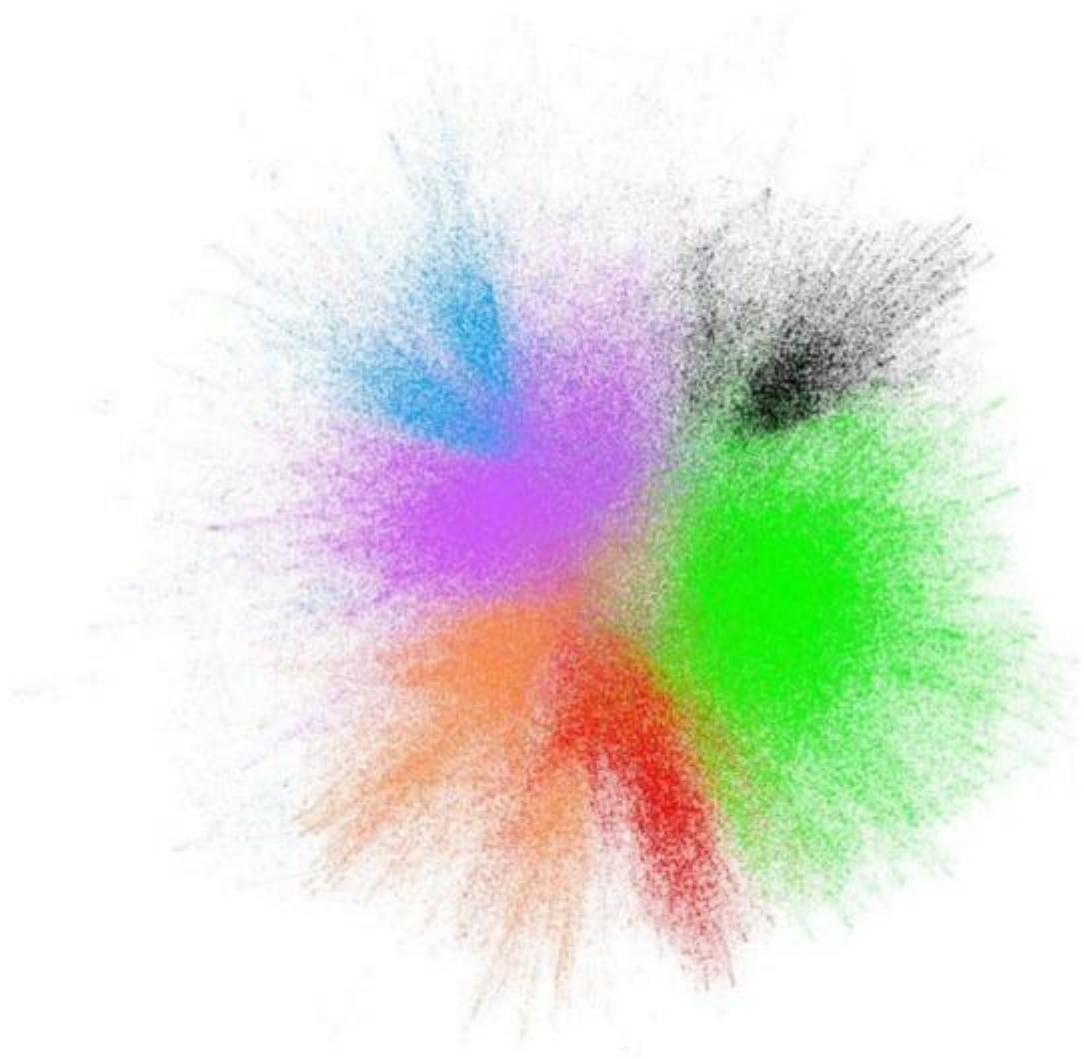


Рисунок 2. Представлення напрямів, які досліджують електромобілі після групування. [134].

На рисунку 3 показано кількість документів, які складають кожний напрямок, щоб визначити їх розмір. Є дві громади, які виділяються своїми розмірами. Напрямок «Стратегії керування HEV» є найбільшою з 29,25% від загального обсягу роботи, за нею йде напрямок «Електромобіль приєднаний до

електромережі» з 23,50%. Напряма «Ефективності електромобілів» (15,61%) є наступною за розміром і складається з половини документів, які утворюють найбільшу пряму. Слід зазначити, що напрям «Зарядні пристрої» дуже малий порівняно з іншими. Він складається з 5,94% документів і може вважатися незначним порівняно з рештою.

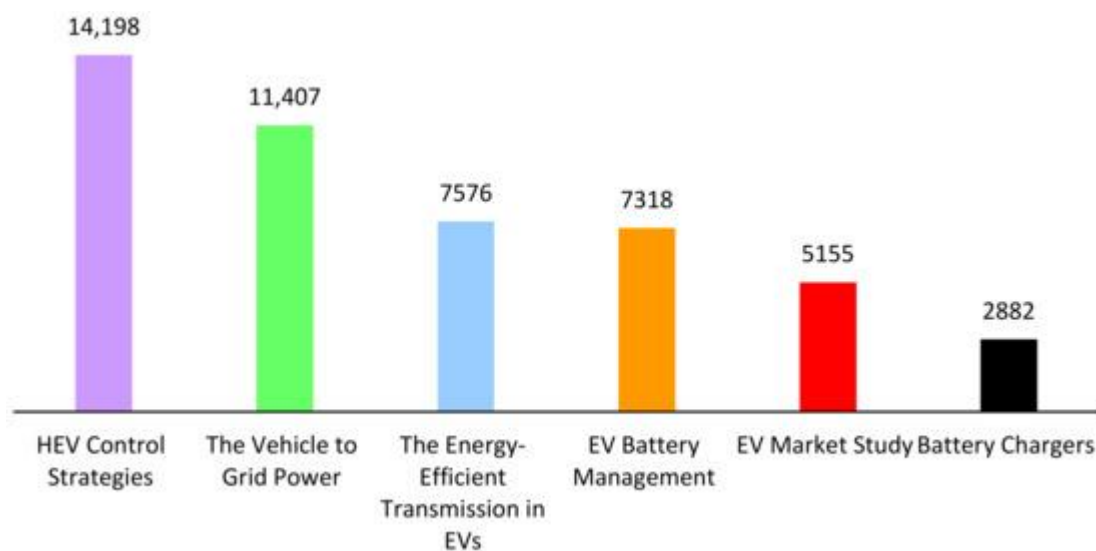


Рисунок 3. Відображення розподілу роботи в кожному з напрямів. [134].

Рисунок 4 показує ключові слова, використані в досліджуваних документах, що розкриває велике розмаїття напрям, які вивчають теми, пов'язані з EV. На цьому рисунку аббревіатури вилучено та замінено їхніми еквівалентами, щоб дійсно побачити кількість повторень та їх релевантність. Ця заміна була необхідною, оскільки існує багато понять з однаковими аббревіатурами та різними значеннями залежно від предмета. З цієї причини скорочення в ключових словах статей використовуються все рідше. Після заміни цих аббревіатур було видалено 30,36% від загальної кількості ключових слів. Розмір цих слів залежить від кількості їх повторень. Ключове слово «Електромобіль» має найбільший розмір, оскільки воно найчастіше зустрічається майже в усіх напрямках.

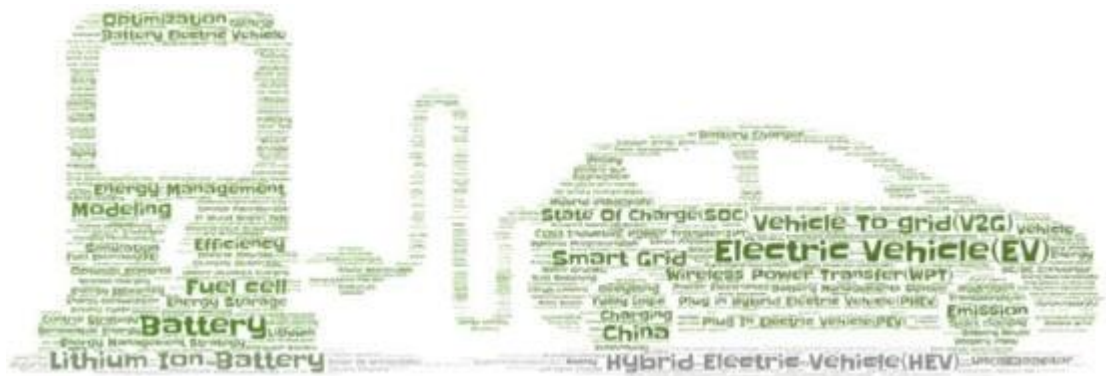


Рисунок 4. Представлення глобальних ключових слів усіх напрямів. [134].

На рисунку 5 показано кількість повторень 20 найпоширеніших ключових слів. «Електромобіль» є найбільш повторюваним, його значення в п'ять разів вище, ніж «гібридний електромобіль». Це ключове слово входить до 10 найбільш повторюваних слів у всіх напрямках і є найбільш повторюваним у 4 з них. Інші слова, такі як «літій-іонна батарея», «транспортний засіб до мережі (V2G)» і «акумулятор», повторюються понад 300 разів і, як правило, зустрічаються майже в усіх напрямках, але в іншому порядку відповідно до теми.

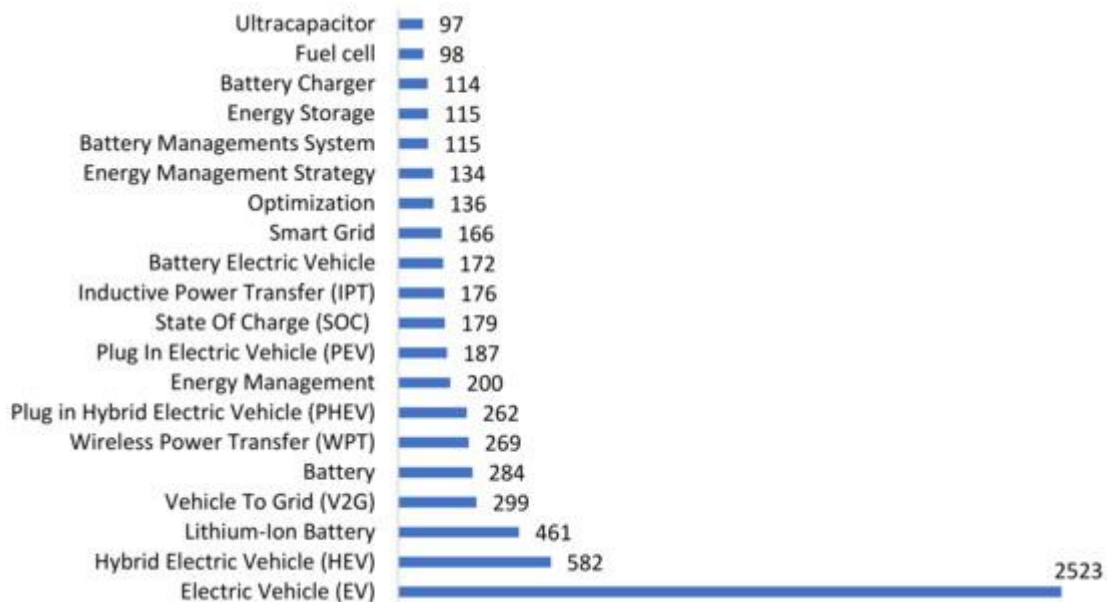


Рисунок 5. Представлення 20 ключових слів, які найчастіше повторюються. [134].

# 3. Аналіз напрямів дослідження електромобілів

## 3.1. Напрямок «Зарядка акумулятора»

Зосереджується на різноманітних досягненнях у технологіях, які покращують енергоефективність передачі енергії під час заряджання акумуляторів електромобілів. Розподіл цієї напрями показано на малюнку ба . Це відносно невелика напрями (5,94%) з невеликим центральним ядром, де зосереджено більшість досліджень. Велика кількість документів знаходиться за межами напрями. Незважаючи на невелику концентрацію цієї напрями порівняно з іншими, її розповсюдження велике, оскільки статті сильно розпорошені, і вони стосуються багатьох інших напрями. Три основні вузли: [ 54 ] з 1236 цитуваннями, [ 55 ] з 1259 цитатами та [ 56 ] з 863 цитатами.

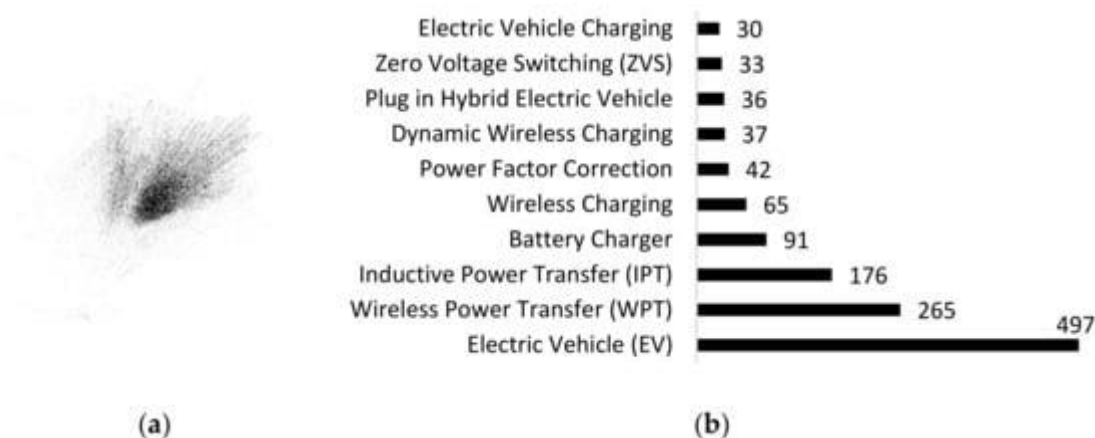


Рисунок 6. Представлення напрями «Зарядка акумулятора»: ( а ) Ізольоване розповсюдження публікацій; ( б ) Ключові слова.

На малюнку бб показано 10 ключових слів, які найчастіше повторюються в напрями. «Електромобіль (EV)» є ключовим словом, яке найчастіше повторюється майже вдвічі більше, ніж наступне за кількістю повторів ключове слово, «Бездротова передача енергії (WPT)». Такі ключові слова, як «індуктивна передача енергії (IPT)» і «зарядний пристрій» входять до 20 найбільш повторюваних ключових слів у всьому світі. Решта ключових



слів пов'язані з процесом підвищення ефективності електромобілів, наприклад «Бездротова зарядка», з аналогічною кількістю повторів.

Електромобілі, що підключаються до електромережі (PEV), відрізняються від HEV, оскільки вони містять акумулятор більшої ємності та перетворювачі енергії. Батареї заряджаються під час періодів низької потужності та розряджаються під час високої потреби в електроенергії, забезпечуючи приріст енергії.

Досягнення силової електроніки присутні в електромобілів, як у системі передачі енергії, так і в системі зарядки акумулятора [ 57 ]. Системи заряджання використовують два підходи, засновані на реалізації, системи на основі конденсаторів і системи на основі безконтактної котушки, які називаються кондуктивними та індуктивними відповідно. Заряджання акумуляторів через мережеве з'єднання має такі недоліки, як, наприклад, розмір з'єднувального кабелю або необхідна інфраструктура. Щоб подолати це, було проведено дослідження щодо бездротової передачі енергії (WPT) або індуктивної передачі енергії (IPT), основними перевагами яких є безпека, зручність і повністю автоматизований процес заряджання [58, 59 ] .]. Системи бездротової передачі енергії (WPTS) можна класифікувати як індуктивні системи передачі енергії (IPTS), зв'язані магнітно-резонансні системи (CMRS), такі як IPTS з надзвичайно високою добротністю (Q), і ємнісні системи передачі енергії (CPTS). CMRS викликають труднощі у підтримці умов резонансу через їх Q і громіздкі, що робить їх малоймовірними надійними кандидатами для майбутніх електромобілів. Найвірогіднішим впровадженням для електромобілів є IPTS і CPTS.

Зарядні пристрої для акумуляторів також можна класифікувати відповідно до їх розташування на зовнішні зарядні пристрої (зарядний пристрій встановлено на зарядній станції та є незалежним) і внутрішні або інтегровані однонаправлені та двонаправлені зарядні пристрої (зарядний пристрій встановлено на електромобілі) [ 58 ] . Бортові зарядні пристрої для електромобілів були розроблені з невеликою вагою, малими розмірами,

високою продуктивністю та простотою керування як бажаними характеристиками [ 60 ]. Зарядка батареї може виконуватися в різних режимах роботи і іноді допускає взаємодію між ними [ 61 ]:

- Мережа до транспортного засобу (G2V) використовується у внутрішніх зарядних пристроях.

- • Автомобіль до всього (V2X) використовує вбудовані двонаправлені зарядні пристрої та дозволяє розподілене керування енергією для спільного використання накопиченої енергії. Однак V2X вразливий до кібер-фізичних атак і нестабільності, викликані затримкою часу. Існують пропозиції вирішити це за допомогою методів кібервідмовостійкості, протоколів автентифікації та методів, стійких до затримок, за допомогою яких можна підвищити стійкість системи V2X до кіберфізичних атак і часових затримок.

- Автомобіль до мережі (V2G) використовує енергію, що зберігається в батареї, для підключення до мережі для надання послуг до мережі (регулювання попиту на активну потужність, компенсація реактивної потужності, зменшення пікового навантаження та заповнення навантаження, регулювання частоти та напруги, гармоніка компенсація струму мережі, підвищена надійність, стабільність і ефективність системи, серед іншого).

- Транспортний засіб для мережі (V4G) — це окремий випадок режиму роботи V2G для компенсації гармонік у струмі лінії та введення реактивної потужності для покращення профілю напруги системи; він дозволяє режим G2V/V2G, а решта енергії, яка не використовується в цьому режимі, може бути використана лише для компенсації реактивної та гармонічної потужності під час режиму V4G.

- Автомобіль (V2V) використовується для обміну зарядною енергією між електромобілями, де власники електромобілів можуть продавати надлишок енергії іншим власникам електромобілів. Ця функція також може бути реалізована за допомогою V2V для електромобілів, підключених до розумних будинків і автостоянок.

- Автомобіль для дому (V2H) реалізує режими V2G для забезпечення резервного живлення підключених навантажень у домі (підключених приладів у розумному домі) та V2V.

- Автомобіль для зарядки (V2L) використовується для забезпечення безперервного живлення критичних навантажень, які не можуть залишитися без живлення у разі збою основної мережі, таких як військові об'єкти, лікарні, центри обробки даних тощо. Він реалізований як окремий випадок режими роботи V2H і V2V для зарядних пристроїв для електромобілів.

Зарядний пристрій є одним із основних елементів, що визначають технологію електромобілів і реалізовано в алгоритмі керування зарядом і топології перетворювача заряду. Серед його характеристик він повинен оптимізувати ефективність (щільність енергії, вартість, розмір і справність акумулятора), а також бути надійним і доступним. Різні методи заряджання на основі топологій та їх електричні моделі представлені в [ 58 ].

Існують різні пропозиції щодо модифікації базової схеми, наприклад використання двонаправленого DC/DC перетворювача для рекуперативних навантажень у разі гальмування тощо [ 61]. Індуктивне заряджання не використовує кабельне з'єднання між джерелом живлення та системою живлення для навантаження. Ці системи є безпечним і надійним вибором для систем високої потужності (>50 кВт). Індуктивне заряджання засноване на перетворенні AC/DC/AC від мережі живлення та випрямлячі AC/DC для підключення акумулятора; резонансний контур (L і C) зазвичай використовується для адаптації енергії до умов максимальної енергоефективності. Для магнітного зв'язку використовуються різні форми сердечників (U, E, I або W), а для резонансних контурів, залежно від розташування пасивних елементів, виходять різні резонансні топології. Ці системи дозволяють подавати енергію без контакту, використовуючи гальванічну розв'язку між первинним джерелом і навантаженням, з ККД близько 90%. Акумулятори, які використовуються в цих автомобілях, мають

високу ємність. Продуктивність магнітного з'єднувача обмежує передачу енергії та життєздатність системи. Системи передачі потужності з індуктивним зв'язком (ICPT) широко вивчалися з моменту їх винаходу в 1995 році [62]. У літературі міститься багато досліджень про поведінку круглих колодок живлення [63], але є й інші пропозиції з метою мінімізації втрат під час зарядки електромобілів [64].

Інші автори пропонують теоретичний ICPT з індуктивним зв'язком, використовуючи регулятор змінної частоти для заряджання батареї EV, щоб забезпечити 30 кВт через повітряний зазор 45 мм при номінальній частоті 20 кГц і первинному струмі 150 А [54]. Дослідники розробили конструктивний фактор під назвою  $K_{ge}$  для вибору оптимальної кількості котушок, відповідного перетину, компенсаційних конденсаторів і резонансної частоти системи ICPT для чотирьох основних топологій [65]. Вибір робочої частоти важливий для максимальної передачі потужності до навантаження. Якщо частота невідповідна, це може спричинити стабільність і дефіцит контролю. Результати показують залежність добротності вторинного резонансного контуру від топології первинного та вторинного контурів, при цьому паралельна компенсація менш критична при послідовному з'єднанні.

Дослідники запропонували дизайн інтегрованого двонаправленого зарядного пристрою змінного/постійного струму та перетворювача постійного/постійного струму для конверсій PHEV та гібридних/плагін-гібридних. Система дозволяє адаптувати HEV до PHEV і використовує перетворювач AC/DC для зарядки батареї з корекцією коефіцієнта потужності та перетворювач DC/DC для передачі енергії батареї [66]. Ця система додає додаткову високоенергетичну батарею до системи HEV, яка отримує або постачає живлення до двонаправленого перетворювача DC/DC, який підключено до тягового та рекуперативного відновлення навантаження під час гальмування. Досягнення недорогої, високоефективної та гнучкої системи заряджання та розряджання електромобілів – це постійний розвиток, який залучає як промислове, так і наукове співтовариство, щоб зробити його

життєздатним та екологічно чистим. Інші пропозиції аналізують математичну модель на основі модулятора величини фази та/або напруги для індуктивної передачі потужності 1,5 кВт за різних робочих умов [ 67 ]. Інше дослідження пропонує онлайн-центр електромобілів (OLEV), і він був комерціалізований у великому парку Сеула [ 61]. Ця пропозиція включає бездротову систему передачі потужності 100 кВт для системи OLEV, що забезпечує ефективність передачі потужності 80% для повітряного простору 26 см, і в даний час існують оновлені версії, такі як OLEV 6G [68 ] . Також були проведені огляди щодо бездротової зарядки електромобілів, в яких обговорювалися переваги впровадження електричних доріг із можливостями бездротової зарядки [ 55 ].

Режим роботи V2V вимагає, щоб моделі зв'язку використовували програми, засновані на Інтернеті речей (IoT) та інтелектуальних транспортних системах (ITS). Основні компанії з виробництва електромобілів, такі як Audi (Німеччина), General Motors (США), BMW (Німеччина), Volvo Cars (Швеція), Daimler AG (Німеччина), Toyota Motor Corporation (Японія), Qualcomm Technologies, Inc. (США), Volkswagen (Німеччина) і AutoTalks Ltd. (Ізраїль) розробляють програми, які підтримують комунікацію V2V [ 60 ].

Така система заохочуватиме використання цих транспортних засобів, оскільки заряд не залежитиме від типу батареї, хоча бездротова зарядка потребує подальших досліджень, щоб зробити її економічно життєздатною та безпечною для громадян.

### **3.2. Напрямок «Вивчення ринку електромобілів»**

Сформований завдяки дослідженням тенденцій ринку електромобілів. Характеристики цієї напрями показані на малюнку 7а , де є області з більшою щільністю вузлів і зовнішній ореол, який пов'язує публікації в цій напрями з іншими з сусідніх напрям. Три основні вузли: [ 69 ] з 880 цитатами, [ 70 ] з

536 цитатами та [ 71 ] з 119 цитатами. Рисунок 7б показує 10 ключових слів, які найчастіше повторюються, серед яких «Електромобіль» є найбільш повторюваним ключовим словом, майже в п'ять разів частіше, ніж наступні ключові слова: «Електромобіль на акумуляторі», з такою ж кількістю повторень, як і наступні ключові слова, «Життя» Оцінка циклу» та «Літій-іонний акумулятор». Це вказує на те, що ця напрямка має тенденцію до вивчення та вдосконалення акумуляторів електромобілів. Наступні слова повторюються однаково кількість разів. Також з'являються інші загальні слова, наприклад «гібридний електромобіль, що підключається від мережі» або «гібридний електромобіль». Більшість досліджень із цими словами зосереджуються на проблемах, пов'язаних з акумуляторами, або на Китаї, країні, де ринок зростає найбільше.

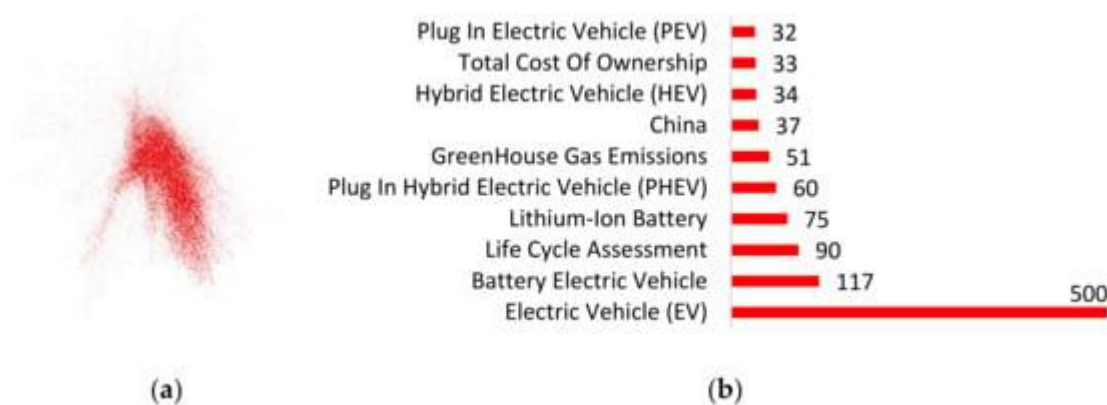


Рисунок 7. Представлення напрями EV Market Study: ( а ) ізольоване поширення публікацій; ( б ) ключові слова.

У цьому співтоваристві обговорюються питання, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища виробництва електромобілів та екологічною підзарядкою. У [ 71 ] було проведено опитування 3029 людей, зацікавлених у придбанні транспортного засобу, щоб проаналізувати, чи віддають вони перевагу транспортному засобу внутрішнього згорання (бензин) чи варіанту EV. Результати показують, що кількість потенційних споживачів електромобілів вища серед молодих та освіченіших людей, які ведуть екологічніший спосіб життя. Вони також показують, що доходи та

володіння кількома автомобілями не мають значення для рішень водіїв. Економія споживання палива – головна мотивація. Незважаючи на те, що багато водіїв готові купувати електромобілі за вищою ціною, ніж електромобілі з двигуном внутрішнього згорання, потрібне зниження ціни, щоб зробити ці транспортні засоби конкурентоспроможними, головним чином щодо акумуляторів [20] .

Гібридні електромобілі (PHEV), які використовують електроенергію з мережі для живлення частини своїх приводів, можуть сприяти зменшенню викидів парникових газів (GEI) у транспортному секторі. Це означало б зниження на 32% порівняно зі звичайними транспортними засобами та залежить від джерел електроенергії з низьким вмістом вуглецю. Один із висновків, зроблених у [ 70 ], полягає в тому, що інфраструктура виробництва електроенергії має бути довгостроковою, а технологічні рішення щодо постачання електроенергії в енергетичному секторі в наступні десятиліття вплинуть на скорочення викидів GEI, якщо PHEV братимуть до уваги протягом кількох десятиліть.

Потенційні соціально-технічні бар'єри для придбання електромобілів визначені в [ 69 ]. Інші дослідження показують, що розуміння електромобілів відрізняється за статтю, віком та освітою, хоча вибірка (481) може бути нерепрезентативною [ 71 ]. Ініціатива щодо стимулювання заміни звичайних транспортних засобів базується на потенціалі екологічної цінності. Є група потенційних покупців, які добре знайомі з технологією, і тому вони розглядають ці транспортні засоби як доцільну альтернативу. Проте інші не займаються електромобілями через невизначеність щодо акумуляторів і довговічності джерел живлення.

Інші дослідники вивчають взаємозв'язок між впливом на навколишнє середовище та електромобілями та електромобілями порівняно зі звичайними транспортними засобами за допомогою 51 опитування. Результати не є остаточними і потребують додаткових даних. Більшість досліджень аналізують споживання палива та електроенергії, але документації про

аккумулятори мало [ 72 ]. Інше дослідження порівнює глобальне потепління по відношенню до звичайних дизельних і бензинових автомобілів з електричними [ 70]. EV потенційно виробляє менші викиди, а його вплив на навколишнє середовище залежить від виробництва електроенергії з відновлюваних джерел або природного газу. Виробництво електромобілів може спричинити вищий потенціал токсичності для людини, екотоксичність прісної води, евтрофікацію прісної води та виснаження металів. Цим проблемам можна протистояти, використовуючи ефективні програми переробки та подовжуючи термін служби електромобілів, що зменшує негативний довгостроковий вплив. Ця пряма також розглядає досягнення силової електроніки, які присутні в електромобілях, як у системі передачі енергії, так і в системі зарядки аккумулятора [ 73 ]. Пристрої на основі Si є дешевшими, але менш ефективними порівняно з поколінням пристроїв SiC або GaN (широкосмугові комутаційні пристрої), хоча вони збільшують вартість перетворювача.

Огляд рівня проникнення NEV та електричних PHEV у США виконано в [ 74 ]. Він завершується шістьма рекомендаціями, пов'язаними з покращенням опитувань, включенням моделей постачання транспортних засобів і дій автовиробників і державної політики, впливом на автомобільні ринки та технологічну конкуренцію, покращеною моделлю обсягу ринку та рейтингів автомобілів, а також покращеним аналізом чутливості, який може підтримувати а також перевірити результати моделі та надати вказівки для майбутніх удосконалень моделі. Рівень проникнення електромобілів також був проаналізований у 30 країнах, а також його зв'язок з економічними стимулами в політиці різних країн [ 75]. Результати враховують важливість зарядної інфраструктури, економічні стимули та наявність місцевих виробничих потужностей із часткою ринку кожної країни, хоча вони не гарантують високий рівень впровадження електромобілів [75] .

Інші автори обговорюють зниження вартості літій-іонних аккумуляторних блоків між 2007 і 2014 роками для виробників електромобілів



[ 76 ]. В іншій статті розглядаються рушії та перешкоди для розгортання PHEV [ 73]. Дослідження вивчає переваги споживачів щодо зарядної інфраструктури, а також те, як споживачі взаємодіють із цією інфраструктурою та використовують її. Він встановлює, що найважливішим місцем для зарядки електромобілів є будинок, потім робоче місце, а потім громадські місця. Дослідження показали, що потрібно більше зусиль, щоб забезпечити споживачам легкий доступ до зарядки електромобілів і що зарядка вдома, на роботі чи в громадських місцях не повинна бути безкоштовною. Існуючих досліджень на цю тему все ще недостатньо для визначення обсягу інфраструктури, необхідної для підтримки розгортання електромобілів. Необхідно проаналізувати взаємозв'язок між політикою та екологічною освітою, щоб оцінити ефективність цієї політики щодо впровадження електромобілів. Маркетинг відіграє важливу роль у тому, як виробники хочуть презентувати електромобілі.70 ].

### **3.3. Напрямок «Управління акумулятором електромобіля»**

Вивчає автономність електромобілів, оскільки вона значною мірою залежить від батареї, а отже, від SoC батареї разом із очікуваним терміном служби батареї.

Ізольований розподіл цієї напрями показано на малюнку 8а . Ця напрямка складається з 14,58% документів і складається з центральної області, а також зон високої концентрації вузлів і паперів у зовнішньому регіоні. Три основні вузли: [ 77 ] з 3083 цитуваннями, [ 78 ] з 1128 цитатами та [ 79 ] з 1349 цитатами.

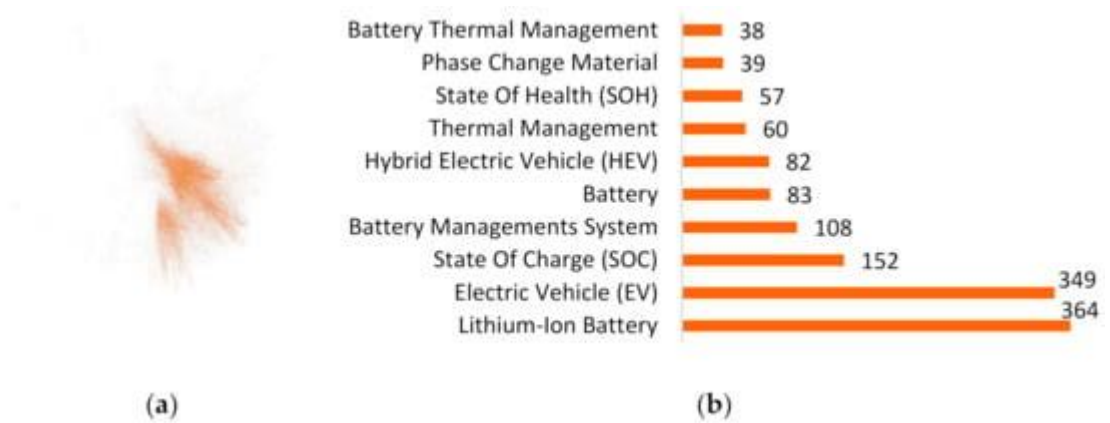


Рисунок 8. Представлення напрямів EV Battery Management: ( а ) ізольоване розповсюдження публікацій; ( б ) ключові слова.

У цьому напрямі, на відміну від решти, найбільш повторюваним ключовим словом є «літій-іонний», із кількістю повторень, подібних до ключового слова, яке найчастіше повторюється в усьому світі, «електричний транспортний засіб (EV)» (рис. 8 б ). Інші ключові слова з найбільшою кількістю повторень – «Стан заряду (SOC)», «Система керування батареєю» та «Акумулятор», усі з яких є специфічними для вивчення акумуляторів у електромобілів.

Акумулятор в електромобілів повинен забезпечувати енергію, достатню для тривалої та стабільної їзди, а також адекватну перехідну потужність для прискорення та спуску. Крім того, тривалий термін служби, стабільна напруга, висока енергія та щільність потужності, швидка реакція та короткий час перезарядки є іншими специфікаціями потужної системи зберігання енергії електромобіля. Акумуляторні батареї електромобілів потребують системи моніторингу (батареї SoC, зниження потужності, зменшення ємності тощо) і миттєвого керування доступним SoC. Хороший моніторинг і керування навантаженням може покращити продуктивність і подовжити термін служби батареї, якщо заряджати за допомогою належного зарядного пристрою та інфраструктури. Традиційні методи визначення стану батареї прості у застосуванні, але вони не враховують старіння, температуру або зовнішні перешкоди [ 79 ]. Один огляд [ 80] зосереджено на статусі технології літєвих батарей як переважного джерела енергії на ринку

побутової електроніки. Потім було проведено дослідження їх характеристик і поставлено нові існуючі виклики, які спрямовані на досягнення квантових стрибків в енергетичному та енергетичному змісті.

Порівнюючи літій-іонні батареї з іншими часто використовуваними батареями для електромобілів, ці батареї мають високу щільність енергії та потужності, тривалий термін служби та екологічно чисті, тому вони підходять для електромобілів [77]. Однак у них є проблеми з безпекою, їх довговічність, однорідність і вартість можна покращити. Крім того, є деякі проблеми, що стосуються моніторингу акумулятора та систем керування акумулятором (BMS), наприклад продуктивність акумулятора, краще використання моделей акумулятора, методи адаптивного контролю та експертні теорії системи керування акумулятором.

Грегори Л. Плетт опублікував серію з трьох робіт [78], у якому він пропонує метод, заснований на розширеній фільтрації Калмана (ЕКФ), який може досягти динамічного та миттєвого керування SoC, доступним у літій-іонних полімерних (LiPB) батареях у PHEV. Фільтр Калмана містить набір повторюваних рівнянь, які неодноразово оцінюються як лінійна система або як розширений фільтр Калмана у випадку нелінійної системи. Перший документ демонструє основи BMS, а другий розробляє остаточну модель із динамічними вимогами (напруга холостого ходу, омичні втрати, поляризаційні постійні часу, електрохімічний гістерезис і температурні ефекти). У третьому обговорюється використання ЕКТ для алгоритму керування акумулятором. В додаток, ЕКФ дозволяє динамічно оцінювати потужність, яка автоматично компенсує нещодавні події розряду та забезпечує точнішу оцінку того, скільки енергії може бути спожито без перевищення обмежень напруги. Інші дослідники вивчають стратегії оцінки стану батареї акумулятора HEV і EV [81]. Вони також надають дорожню карту для дослідників і виробників акумуляторних електромобілів. Дослідницьке співтовариство прагне розробити вдосконалений метод оцінки SoC і систему управління енергією Li-ion батареї для майбутніх

високотехнологічних застосувань EV. Часті статті, де огляди на основі літій-іонних акумуляторів представлені як галузь, що швидко розвивається, це приваблює все більше дослідників. У [ 82], автори проводять перевірку батареї для електромобілів і розглядають SoC як важливий параметр, який може вказувати миттєву енергію, доступну в батареї, і інформувати про стратегії заряджання/розряджання, яких слід дотримуватися, а також захищати батарею від перезаряду/ надмірне розрядження. Літій-іонні батареї вважаються придатними для електромобілів, хоча вони створюють певні проблеми через складні електрохімічні реакції, погіршення продуктивності та недостатню точність у покращенні продуктивності батареї та терміну служби. У [ 83 ] розглядається застосування штучного інтелекту для оцінки стану батареї.

Інші дослідження стосуються реалізації спеціальної системи керування батареєю, яка також включає моніторинг стану літій-іонної батареї для прототипу довговічного високопродуктивного електричного скутера [84] . Результати показують, що ця система підвищує надійність і автономність. Управління тепловою енергією батареї викликає занепокоєння, оскільки хороше керування температурою покращує продуктивність батареї. Моделі, показані в [ 85] реагують на теплову поведінку високоенергетичних батарей, таких як Ni-MH, Li-ion і паливні елементи з протонною обмінною мембраною. Повітряні та рідинні системи охолодження, здається, не підходять для високоенергетичних батарей, оскільки вони більші за розміром і ціною. Тому пропонується новий метод, який використовує імпульсну теплову трубку. Коли швидкість розряду та робоча температура або температура навколишнього середовища високі, фазозмінні матеріали є найкращим вибором для керування температурою, хоча це вимагає вивчення термомеханічної поведінки. Вони також пропонують можливість рекуперації тепла для підвищення енергоефективності. У [ 85 ] пояснюється вплив низької температури на батареї, а також можливі різні стратегії покращення.

Інші дослідники надають модель подвійної поляризації еквівалентної схеми літій-іонної батареї для використання в електромобілях [ 86 ]. Дисбаланс напруги між окремими батареями є основною проблемою передчасної деградації елементів і ризиків безпеки, що призводить до зменшення ємності.

Коротке порівняння та оцінка різних методів активного вирівнювання акумулятора представлені відповідно до їх застосування, а також найсучасніші стратегії управління енергією підключених HEV/PHEV [ 84 ] . Огляд нових стратегій для вирішення сучасних проблем для систем автомобільних акумуляторів наведено в [ 87 ]. Розумні акумуляторні системи мають потенціал, щоб зробити акумуляторні системи більш ефективними та перспективними для наступних поколінь електромобілів. В даний час тривають дослідження щодо створення високовольтних батарей, а також акумуляторів великої ємності. Цинкові батареї розглядаються як багатообіцяюча технологія для наступного покоління, як тільки вона подолає недостатню щільність енергії [ 88 , 89] .]. Уже доступні електромобілі з акумуляторами великої ємності. У 2022 році Tesla Roaster є автомобілем з найвищою ємністю акумулятора 200 кВт/год; його попередники, такі як Tesla Model X або Tesla Model S, мали потужність до 100 кВт/год. Є й інші бренди, які мають моделі з потужністю 100 кВт/год, такі як Renault (модель ZOE 2rs) і Volvo (модель серії 40) [ 90 ] .

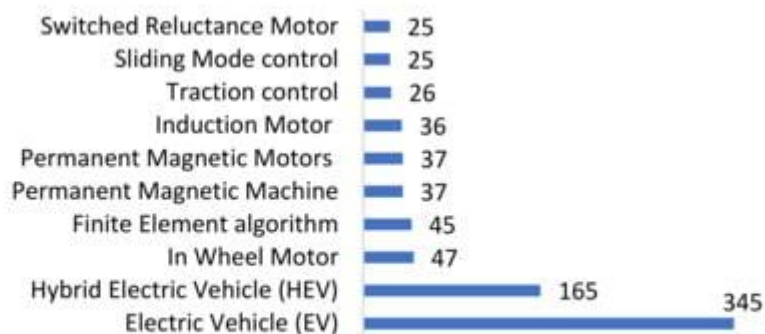
Переробка акумуляторів є недоліком для розширення електромобілів. У виробництві електромобілів використовуються цінні металеві матеріали, які можна легко переробити. Використовуючи ідеологію циркулярної економіки, Рой та ін. (2022) розглядають процедури переробки літій-іонних акумуляторів і виклики, які залишаються, щоб зробити їх звичайною практикою. Більшість видобутку матеріалів має нижчу вартість, ніж видобуток металів у природі, а деякі є дефіцитними і можуть використовуватися для виготовлення нових батарей із перероблених матеріалів [ 91 ] .

### 3.4. Напрямок «Енергоефективна трансмісія в електромобілів»

Зосереджується на різноманітних досягненнях у технологіях, які підвищують енергоефективність у EV (рис. 9 а). Оскільки ціни на енергоносії постійно зростають, дослідникам потрібно розробляти енергоефективні пристрої. Електропривод є основою електромобілів, тому його вибір є дуже важливим кроком, який вимагає особливої уваги. Розподіл крутного моменту та контроль тяги також є важливими параметрами, які слід враховувати. Інші дослідники також досліджують нові технології, які покращують споживання енергії, такі як термоелектрична рекуперація тепла, контроль температури та системи рекуперативного гальмування. Три основні вузли: [ 92 ] з 1571 цитуванням, [ 93 ] з 1454 цитатами та [ 94] з 871 цитуванням. На рисунку 9 б представлено 10 ключових слів, які найчастіше повторюються в цій напрямі, з такими поняттями, як контроль тяги та асинхронні двигуни, які є параметрами, які слід враховувати та представляють особливий інтерес. Пошукове ключове слово відображається як найчастіше, повторюється майже втричі частіше, ніж наступне слово. Обидва слова є найбільш повторюваними словами в усьому світі, оскільки саме вони використовуються в методології пошуку. Наступні слова, які найчастіше повторюються, пов'язані саме з темою цієї напрями, наприклад «Колесний двигун», «Машина з постійним магнітом» і «Асинхронний двигун».



(a)



(b)

Рисунок 9. Відображення енергоефективної трансмісії в напрямі електромобілів: ( а ) ізольоване поширення публікацій; ( б ) ключові слова.

Чау та Чан (2007) визначили та обговорили три нові енергоефективні технології: термоелектричні системи рекуперації відпрацьованого тепла та системи контролю температури для HEV, інтегрований стартер-генератор для м'яких гібридів та електронне безступінчасте перемикування передач для HEV. Вони відзначили, що дослідження технологій енергоефективності підвищать HEV [ 12 ].

Чау та ін. (2008) надали огляд безщіткових приводів з постійними магнітами для електромобілів і електромобілів, з наголосом на топології машини, роботі приводу та стратегіях керування [ 93 ]. У статті обговорювалися система приводу зовнішнього ротора з магнітним редуктором для електромобілів, інтегрована система стартер-генератора для мікро- та м'яких електромобілів, а також система електричної змінної трансмісії для повноцінних електромобілів. В аналізі стратегій, заснованих на правилах, Chan et al. (2010) припускає, що нечіткі правила, а також нейронна мережа є кращими, ніж інші методи, засновані на детермінованих правилах, завдяки своїй надійності та здатності до ефективної адаптації в реальному часі [95] .]. Wu and Zheng (2017) також використовували кілька стратегій управління, таких як алгоритм глобальної оптимізації динамічного програмування, нечітке керування та рівномірний розподіл крутного моменту, оптимізуючи робочу точку двигуна, зменшуючи споживання енергії та збільшуючи ефективність на 4,7% [92] . У цьому ж напрямку різні індукційні, реактивні безщіточні машини та машини з постійним магнітом були описані в Zhu and Howe (2007), підкреслюючи різні топології та переваги [94] . Вони дійшли висновку, що три різні технології можуть задовольнити вимоги до продуктивності тягових приводів.

Zeraoulia та ін. (2006) розглянули сучасний стан чотирьох електричних рухових систем: двигуни постійного струму, асинхронні двигуни, синхронні

двигуни з постійними магнітами та реактивні електродвигуни [96] . Вони провели порівняльне дослідження проблем вибору приводу електродвигуна для силових систем HEV, дійшовши висновку, що асинхронні двигуни, здається, є найбільш ефективним кандидатом для електричного приводу міських HEV. Де Сантьяго та ін. (2012) представили огляд приводів електромобілів, обговорюючи переваги та недоліки кожного типу електродвигуна. Автори запропонували адаптувати стандартизований цикл руху або інші стандартизовані методи вимірювання ефективності, щоб зробити можливим порівняння між електромобілями [ 97 ] .

Іванов та ін. (2015) представили огляд найбільш оригінальних і цитованих варіантів контролю тяги та антиблокувальних систем для повних електромобілів [ 98 ] . Вони дійшли висновку, що існує кілька підходів для покращення тягової динаміки транспортних засобів, але лише деякі методи були підтверджені та перевірені на звичайних транспортних засобах. Автори також заохочували створення об'єктивних процедур для бенчмаркінгу та порівняльного аналізу.

Деякі статті аналізували ефективність різних технологій у прототипах. Ногі (2006) проаналізував експериментальний прототип «UOT MARCH II» щодо ефективності різних контрольних досліджень, таких як контроль за моделлю та контроль коефіцієнта ковзання [ 99 ] . Дослідження показали переваги швидкого, точного та розподіленого генерування крутного моменту. Чен та ін. (2011) проаналізували технічні вимоги до конструкції електричної змінної трансмісії з постійним магнітом на основі аналізу роботи Toyota Prius II [ 100 ] . Автори вибрали цей HEV як еталонний автомобіль, оскільки це добре відома та ефективна система, але її можна розглядати для розробки та аналізу інших гібридних силових агрегатів.

### **3.5. Напрямок «Електроживлення від мережі»**



Сформований дослідниками, які мають намір розробити системи для комерціалізації електроенергії від автомобіля до мережі. Вони також досліджують вплив на підключення до електричної мережі, стратегії оптимізації перезаряджання/розряджання, щоб зменшити його вплив, і як максимізувати економічну ефективність системи. Щоб ще більше мінімізувати вплив зміни клімату, можна покращити використання відновлюваної енергії для електромобілів шляхом інтеграції моделей взаємодії попиту на енергію.

На рисунку 10 а показано розподіл цієї напрями. Це друга громада за розміром (32,6%) і має центральну зону з найбільшою концентрацією вузлів. Він пов'язаний з іншими громадами зовнішньою зоною. Три основні вузли: [ 101 ] з 2190 цитуваннями, [ 102 ] з 1697 цитатами та [ 103 ] з 1581 цитатами.

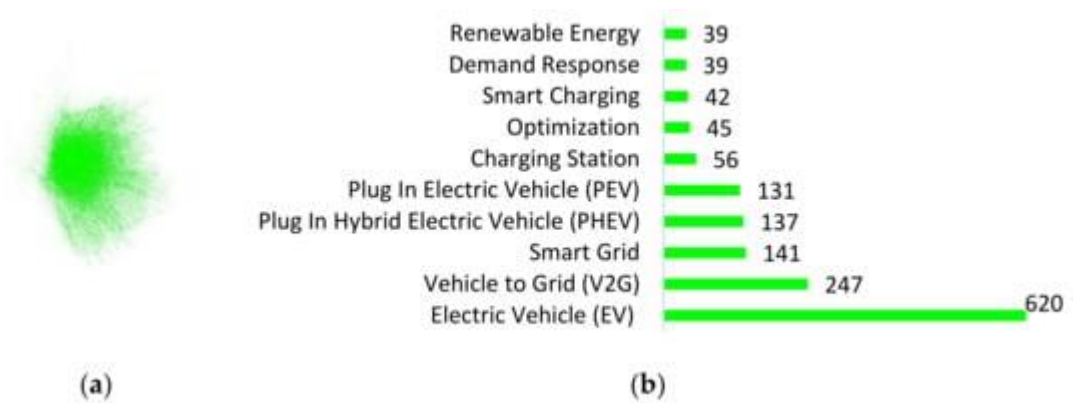


Рисунок 10. Репрезентація напрями електроживлення від автомобіля до мережі: ( а ) ізольоване розповсюдження публікацій; ( б ) ключові слова.

На малюнку 10 б показано 10 ключових слів, які найчастіше повторюються в напрями. Наступним найбільш повторюваним ключовим словом є «Від автомобіля до мережі (V2G)» із удвічі меншою кількістю повторень, ніж попереднє, що робить його головною темою цієї напрями разом із такими конкретними словами, як «Smart Grid», «Microgrid» і «Optimization». ", серед інших. Наступні слова входять до 20 найбільш повторюваних слів у світі. Деякі з цих слів: «гібридний електричний

автомобіль, що підключається до розетки» та «електричний автомобіль, що підключається до розетки», які присутні майже в усіх напрямках.

Розповсюдження електромобілів впливає на розподільчу мережу. Серед міркувань щодо розподільної мережі є адекватність виробництва електроенергії (використання відновлюваних джерел) та енергоефективність. Найбільший вплив відбувається в години пікового навантаження на електромобілі, що вимагає розширення генераційних потужностей. Це також передбачає перевантаження підстанції та службових трансформаторів, що скорочує термін їх служби. Це може спричинити проблеми з якістю електроенергії, зокрема провали напруги, дисбаланс потужності та гармоніки напруги/струму тощо. Ця пряма досліджує альтернативи для вирішення цих міркувань та їх наслідків для мережі розподілу [ 104 ].

Використання електромобілів зростає, коли збільшується можливість комерціалізації систем V2G і V4G. Це зворотний процес заряджання транспортного засобу та альтернатива експорту енергії назад у мережу під час пікового споживання електроенергії або використанню її як резервного джерела живлення. V2G не підходить для розподільчої мережі базового навантаження (постійне постачання електроенергії протягом дня), де великі генератори виробляють більшу потужність за менших витрат. Тим не менш, це здається придатним для швидкого реагування та високопотужних послуг, щоб збалансувати постійні коливання навантаження та адаптуватися до несподіваних збоїв обладнання. У [ 102], кількісно виражено, скільки електромобілів може стати частиною електричної мережі, а також обговорюються методи оцінки очікуваних доходів і витрат. Вони пропонують використовувати V2G, коли є оплата потужності за те, що ви є онлайн і доступні, а також додаткова оплата енергії, коли енергія надсилається. Це призводить до підвищення надійності та зниження вартості електричної системи. Після аналізу електричної мережі та парку електромобілів було виявлено, що вони реагують протилежно, оскільки електрична мережа має високі капітальні витрати та низькі витрати на

виробництво, а для парку електромобілів все навпаки. Те ж саме відбувається при використанні електрогенераторів для 57% порівняно з 4% автомобілів. Електромережа не має накопичувальних можливостей, тоді як автопарк повинен мати накопичувачі, щоб виконувати свої функції. У [ 103] запропоновано стратегії та бізнес-моделі для V2G, а також необхідні кроки для її впровадження з огляду на порівняння електричної мережі та парку електромобілів. Ця пропозиція відповідає використанню в години пікового споживання енергії або як резервна енергія в короткостроковій перспективі. Однак у довгостроковій перспективі він пропонує резервне виробництво та зберігання відновлюваної енергії.

В іншому дослідженні пропонується додати агрегатор як проміжну систему для управління енергією транспортного засобу при регулюванні енергії розподільної мережі [ 105 ]. Процедура альтернативного заряджання або розряджання акумуляторів транспортних засобів, що належать агрегатору, встановлена для забезпечення потужності, запитаної оператором мережі, але важко розробити алгоритм, який ефективно обслуговує транспортні засоби з довільним навантаженням. Агрегатор повинен контролювати послідовність, тривалість і швидкість зарядки кожного транспортного засобу на основі ціни електроенергії, що максимізує дохід агрегатора.

Акумулятори PHEV можна заряджати як на парковці, так і вдома. Підзарядка споживає велику кількість електроенергії, і це може призвести до великих і небажаних піків споживання електроенергії, що може вплинути на розподільчу мережу. У роботі [ 101 ] досліджено вплив побутової підзарядки на розподільчу мережу. Можна запланувати інтелектуальну підзарядку, коли зарядка координується дистанційно, щоб змістити попит на періоди з меншим споживанням підзарядки PHEV і таким чином уникнути більших піків споживання електроенергії. Результати цієї роботи показують, що скоординована зарядка з використанням методів квадратичного програмування зменшує втрати потужності, оскільки динаміка не покращує

результати. У [ 106], вивчається взаємозв'язок між втратами у фідері, коефіцієнтом навантаження та варіацією навантаження при скоординованому навантаженні PHEV. Змодельовано три оптимальних алгоритми навантаження, щоб зменшити вплив на розподільну мережу при підключенні навантаження. Результати підтверджують ефективність дослідження щодо максимізації коефіцієнта навантаження та мінімізації зміни навантаження. Крім того, [ 107 ] розглядає розширені стратегії централізованого керування навантаженням електромобілів, що дозволяє інтегрувати більший парк у систему без підсилення мережі. Це дозволяє мережі працювати в менш екстремальних умовах завдяки застосуванню рівня локального керування для роботи в ізоляції, оскільки батареї EV можуть забезпечити швидку компенсацію системи. У [ 108] розроблено аналітичне рішення для прогнозування заряду електромобіля з урахуванням стохастичного характеру часу початку заряджання окремої батареї, а також початкового SoC батареї. Цей метод застосовується до чотирьох сценаріїв зарядки електромобілів: неконтрольоване заряджання вдома, неконтрольоване заряджання вдома в непіковий час, «розумне» заряджання вдома та неконтрольоване громадське заряджання, яке можна заряджати на робочому місці. Проникнення електромобілів на ринок від 10% до 20% призведе до максимального щоденного збільшення попиту на енергію з 17,9% до 35,8% для сценарію неконтрольованої зарядки всередині країни. Однак домашня зарядка в непіковий режим збільшує споживання електроенергії вночі. «Розумний» метод заряджання є найбільш вигідним як для оператора розподільчої мережі, так і для клієнтів електромобілів. однак, якщо вони почнуть заряджати одночасно, це призведе до нового піку в період непікової навантаження на розподільчу мережу. Наведені вище дослідження моделюють дистрибуційну мережу в малому масштабі, але для реального аналізу необхідно розглянути великомасштабну дистрибуційну мережу. в [109 ] досліджуються дві реальні зони розподілу для отримання моделі масштабного планування розподілу. Результати показують, що за допомогою

інтелектуальних стратегій зарядки можна зменшити додаткові інвестиції, застосовуючи зменшення одночасної зарядки та планування розподільчої мережі в непиковий період.

Інші дослідження пропонують координувати зарядку PHEV для мінімізації загальних витрат на виробництво в режимі реального часу [ 110 ]. Інші документи включають ринкові ціни на енергію, які змінюються з часом [ 103 , 108 ], і додають часові пояси навантаження на основі вибору пріоритету (вибір власника). Це дозволяє PHEV почати зарядку якомога швидше, відповідаючи критеріям роботи мережі. Запропонований алгоритм зменшує перевантаження системи та глобальні стрибки напруги без необхідності збільшення розмірів інфраструктури виробництва електроенергії для обслуговування парку PHEV. Крім того, він пов'язує інфраструктуру зарядки із зарядним пристроєм PHEV, а також тип акумулятора [ 110]. Продуктивність батареї залежить не лише від типу та конструкції, але й від характеристик зарядного пристрою та зарядної інфраструктури. Звичайні бортові зарядні пристрої обмежують потужність відповідно до обмежень ваги, простору та вартості, за винятком бортового зарядного пристрою, який не має таких обмежень і підтримує недорогу, потужну та швидку двонаправлену зарядку з одиничним коефіцієнтом потужності. Наявність зарядної інфраструктури зменшує вимоги до зберігання енергії акумулятора та витрати. Індуктивне заряджання акумулятора підтримує бездротові системи заряджання та розглядалося в напрямі «Зарядні пристрої для акумуляторів» як основа бездротового зв'язку V2G.

### **3.6. Напрямок «Стратегії контролю HEV».**

HEVs мають два джерела енергії, які вимагають оптимальних стратегій управління енергією, які враховують економію споживання палива та скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

На малюнку 11а показано ізольоване розподіл цього напрямку. Він найбільший і має ділянки високої щільності вузлів, де важко розрізнити ізольовані вузли. Він також має широкий ореол, утворений документами, пов'язаними з іншими громадами. Три основні вузли: [ 111 ] із 1458 цитатами, [ 112 ] із 1162 цитатами та [ 113 ] із 1098 цитатами.

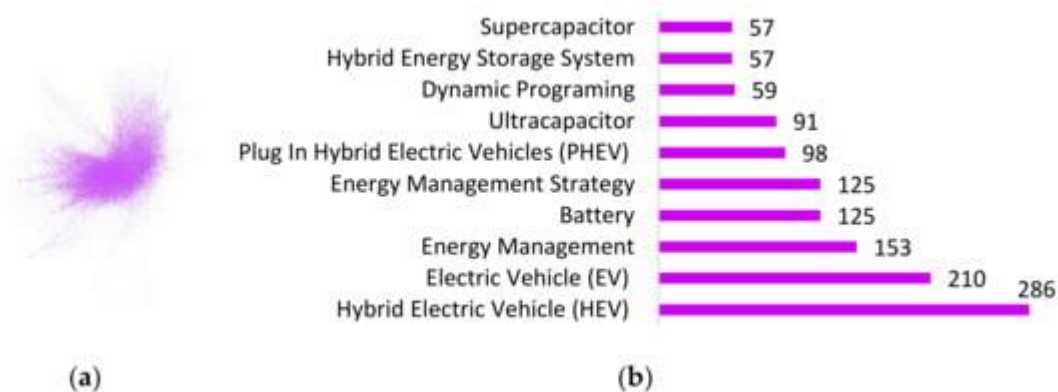


Рисунок 11. Представлення напрямку стратегій контролю HEV: ( а ) ізольоване поширення публікацій; ( б ) ключові слова.

На малюнку 11 б показано 10 ключових слів, які найчастіше повторюються в цій напрямі. Пошукове ключове слово «Електромобіль (EV)» має меншу кількість повторів, ніж ключове слово «Гібридний електромобіль», загальне слово, яке часто зустрічається майже в усіх напрямках і яке є специфічним для цієї напрямки. Інші слова, характерні для цієї напрямки: «Управління енергією», «Стратегія управління енергією» та «Динамічне програмування». Серед 10 найбільш часто повторюваних ключових слів є інші загальні ключові слова, такі як «гібридний електричний автомобіль (PHEV)» і «ультраконденсатор».

Електромобілі мають значні переваги перед двигунами внутрішнього згоряння, оскільки вони тихіші та ефективніші, надійніші та довговічніші. Контролер двигуна EV менший і легший, ніж поточний двигун внутрішнього згоряння, а також дешевший в обслуговуванні та виробництві [ 112 ]. Загалом електромобілі (EV, HEV, PHEV та транспортні засоби на водневих елементах) є більш енергоефективними, оскільки є гібридами з

оптимальними стратегіями споживання палива [ 111 , 114 ]. Щоб HEV і PHEV були конкурентоспроможними зі звичайними транспортними засобами, необхідно зменшити витрати, підвищити ефективність і збільшити запас ходу на електротязі [ 115 ]. Перетворення енергії та обертові машини подібні в HEV та PHEV, а також проблеми, пов'язані з ними [ 114]. Ці транспортні засоби вимагають ефективною системи управління енергією для розподілу попиту на енергію між компонентами трансмісії [ 116 ]. Існує два різні методи управління енергією: стратегії управління, засновані на фізичній моделі системи, і стратегії оптимізації, які зазвичай базуються на моделюванні досліджуваної системи [ 95 ]. Гібридна трансмісія — це дискретна динамічна система, яка має змінну в часі, багатообластну та нелінійну змінну установку. У цих транспортних засобах інтелектуальний алгоритм керування використовується для покращення керування компонентами низького рівня [ 31]. Реалізація стратегії керування здійснюється центральним контролером транспортного засобу, який відповідає за прийняття рішень про те, коли активувати чи деактивувати певні локальні частини системи трансмісії. Ці стратегії базуються на різних параметрах, щоб задовольнити вимоги водія, підтримувати заряд батареї, запобігаючи їх перевантаженню та надмірній розрядці, оптимізувати ефективність трансмісії, мінімізувати зупинки та перезапуски двигуна та час простою, щоб уникнути непотрібної витрати палива, а також працювати в оптимальний робочий регіон більшу частину часу та зменшити споживання палива та викиди [ 101]. Однак скорочення викидів і оптимізація ефективності є протилежними параметрами, хоча між ними шукають баланс. Глобальні методи оптимізації непридатні для розробки в реальному часі з використанням евристичних методів керування, коли статичні використовують споживання енергії для розрахунку вартості палива, а динамічні оптимізують як функцію часового горизонту, а не для миттєвого часу. Необхідно використовувати стратегії управління з нелінійною, змінною в часі, багатодомною системою [ 117 ]. Методи поділяються на дві загальні

тенденції: засновані на правилах (детерміновані та нечіткі) та засновані на оптимізації (глобальні та реального часу). В [ 111], аналізуються можливі вдосконалення стратегій контролю, розроблених до 2007 року. Оновлений огляд метаевристичних алгоритмів, які використовуються для оптимізації EV, представлено в [ 118 ].

У [ 113 ] представлено пропозицію, реалізовану в HEV з динамічною стратегією. Пропозиція, заснована на правилах, передбачає вартість, мінімізацію споживання палива та викидів. Дослідження показує, що низьке споживання палива може значно скоротити викиди. У [ 30 ] автори пропонують систему керування, яка шукає миттєву вартість з урахуванням двох джерел енергії та обмежень, що накладаються станом батареї та кількістю палива.



## 4. Висновки

Було проведено пошук досліджень електромобілів з 1955 по 2021 рік. Опрацьовано 50 195 документів; 104344 автори в 149 країнах досліджують електромобілі, а англійська мова є переважною мовою для наукових публікацій. Вони були розділені на шість напрямів відповідно до стосунків між авторами. Найбільш репрезентативні документи цих напрямів були проаналізовані відповідно до їх впливу всередині та поза громадою. Досліджувані публікації поділяються на такі категорії: «Стратегії контролю електромобілів», «Електроживлення від автомобіля до електромережі», «Енергоефективна трансмісія в електромобілів», «Управління батареями електромобілів», «Дослідження ринку електромобілів» і «Зарядні пристрої електромобілів».

Конкурси виявилися хорошим стимулом для майбутніх дизайнерів транспортних засобів, впроваджуючи вдосконалення обладнання в технологічні інновації електромобілів. Основне нововведення має бути зосереджено на зниженні витрат і підвищенні ефективності. Деякі дослідження напрями «Дослідження ринку електромобілів» підкреслюють розуміння потенційних споживачів електромобілів загалом. Вони підкреслюють, що складність переходу зі звичайних транспортних засобів на електромобілі полягає в тому, що вдосконалення електромобілів все ще триває. Таке сприйняття є проблемою, яку мають вирішити виробники та політики, якщо вони хочуть змінити мислення споживачів на продукти з нульовим рівнем викидів. Деякі виробники вже представляють свої електромобілі як більш ефективні транспортні засоби, ніж звичайні, а не як екологічну альтернативу. Вони звертають увагу на дослідження ринку, які показують, що нові покоління бачать технології та економію палива більш привабливими, ніж екологічні покращення, навіть припускаючи вищі витрати. Крім інноваційних технологій, виробники електромобілів повинні враховувати ринковий попит, а також необхідну інфраструктуру та послуги.

Споживачам слід повідомити, що вартість електромобіля висока порівняно з транспортним засобом з двигуном внутрішнього згорання, але електромобілі споживають менше палива та мають низькі витрати на технічне обслуговування порівняно з автомобілями з двигуном внутрішнього згорання. Крім того, електродвигуни мають більш високий ККД. Середній ККД транспортних засобів внутрішнього згорання становить від 15% до 18%, а ККД електромобілів – від 60% до 70%. Виробники електромобілів повинні враховувати ринковий попит, а також необхідну інфраструктуру та послуги. Споживачам слід повідомити, що вартість електромобіля висока порівняно з транспортним засобом з двигуном внутрішнього згорання, але електромобілі споживають менше палива та мають низькі витрати на технічне обслуговування порівняно з автомобілями з двигуном внутрішнього згорання. Крім того, електродвигуни мають більш високий ККД. Середній ККД транспортних засобів внутрішнього згорання становить від 15% до 18%, а ККД електромобілів – від 60% до 70%. Виробники електромобілів повинні враховувати ринковий попит, а також необхідну інфраструктуру та послуги. Споживачам слід повідомити, що вартість електромобіля висока порівняно з транспортним засобом з двигуном внутрішнього згорання, але електромобілі споживають менше палива та мають низькі витрати на технічне обслуговування порівняно з автомобілями з двигуном внутрішнього згорання. Крім того, електродвигуни мають більш високий ККД. Середній ККД транспортних засобів внутрішнього згорання становить від 15% до 18%, а ККД електромобілів – від 60% до 70%.

Слід також вивчити виробництво електромобілів. Основним рушієм розвитку електромобілів є декарбонізація транспортної галузі, але слід враховувати всі чинники, починаючи від виробництва до живлення акумуляторів. Різні типи енергії, які використовуються для виробництва електроенергії для електромобілів, призведуть до різних викидів. Таким чином, будь-яке дослідження, що оцінює викиди транспортних засобів, має враховувати одночасний вплив цих змінних, щоб отримати реалістичну

оцінку викидів транспортних засобів. З огляду на ці фактори, надзвичайно складною проблемою є переробка матеріалів, використовуваних для електромобілів, головним чином акумуляторів. Беручи до уваги нещодавні кризи в автомобільній промисловості, пов'язані з дефіцитом напівпровідникових мікросхем, автомобільних запасних частин через зростання цін на сировину та дефіцит літію, який використовується для акумуляторів електромобілів, буде вкрай важливо розглянути повторне використання, переробку та повторне виробництво в управлінні в кінці терміну служби. Проте дослідження інших, більш екологічно чистих матеріалів для виробництва акумуляторів електромобілів все ще тривають. Необхідно проаналізувати весь життєвий цикл електромобілів або глобальне потепління, окрім їхніх викидів. Також необхідно заохочувати виробників і уряди до ефективної політики переробки. Іншим питанням, яке слід розглянути, є тарифи на електромобілі та їхній зв'язок із системами відновлюваної енергії. Необхідно зменшити викиди як під час транспортування, так і під час зарядки електромобілів. Необхідно проаналізувати весь життєвий цикл електромобілів або глобальне потепління, окрім їхніх викидів. Також необхідно заохочувати виробників і уряди до ефективної політики переробки. Іншим питанням, яке слід розглянути, є тарифи на електромобілі та їхній зв'язок із системами відновлюваної енергії. Необхідно зменшити викиди як під час транспортування, так і під час зарядки електромобілів. Необхідно проаналізувати весь життєвий цикл електромобілів або глобальне потепління, окрім їхніх викидів. Також необхідно заохочувати виробників і уряди до ефективної політики переробки. Іншим питанням, яке слід розглянути, є тарифи на електромобілі та їхній зв'язок із системами відновлюваної енергії. Необхідно зменшити викиди як під час транспортування, так і під час зарядки електромобілів.

Впровадження надійної системи моніторингу та керування станом доступного заряду є необхідним кроком у дослідженні ефективного

використання акумуляторів великої ємності. Попереду ще багато досліджень, щоб покращити безпеку батареї, використовуючи матеріали, які забезпечують високу ємність накопичення енергії та довший термін служби, щоб зменшити забруднення та заміну батареї (токсичні компоненти батареї) і знизити витрати на електромобілі, що є однією з майбутніх цілей. зробити їх комерційно конкурентоспроможними.

Серед викликів для їх повного впровадження в автомобільному секторі є управління зарядною інфраструктурою та її вплив на розподільчу мережу; вже існують системи, які дозволяють швидко заряджати протягом 20–30 хвилин, хоча це має шкідливий вплив на систему розподілу, який можна вирішити за допомогою планування зарядів. Є багато пропозицій, які впроваджують алгоритми оптимізації для визначення місця розташування зарядних станцій з точки зору розподільної мережі або власника зарядної станції. Кожен алгоритм вибирає різні параметри, найпоширенішими з яких є втрати енергії та вартість енергії з мережі, пов'язані з іншими параметрами, такими як використання відновлюваної енергії або параметри ефективності мережі, такі як максимальне відхилення напруги тощо, у випадку з його оптимізація в збутовій мережі. Інші автори розглядають перспективу користувача EV, беручи до уваги вартість доступу, вартість подорожі для зарядки від точки попиту до зарядної станції, вартість часу очікування та вартість часу зарядки, серед інших параметрів. Інші дослідження зосереджені на надійності мережі розподілу. Комерціалізація ефективних послуг V2G, V4G і V2X є цікавою пропозицією. Електромобілі можуть стати частиною електричної мережі, хоча все ще потрібні точні дослідження, щоб знайти ефективний метод оцінки очікуваних доходів і витрат із довільними тарифами та в межах певного періоду часу. Окрім подолання економічних проблем, він має подолати соціальні бар'єри, безпеку мережі та погіршення терміну служби батареї. Одним із можливих рішень є заміна батареї, хоча для цього потрібна оплата за використання й третя сторона, яка володіє акумуляторами, керуючи умовами їх заряджання. Це може бути соціальною

перешкодою, коли користувачі електромобілів не мають гарантій щодо справності батареї, яку замінюють, а також потрібна інфраструктура керування заміною батареї та стандартизація батареї.

Наявність недорогої, високоефективної та гнучкої системи заряджання та розряджання електромобілів є постійною темою досліджень. Щоб HEV і PHEV були конкурентоспроможними зі звичайними транспортними засобами, необхідно знизити витрати, підвищити ефективність і збільшити запас ходу на електроприводі.

Підсумок цієї роботи показує, що дослідження на цю тему все ще тривають, і є ще багато проблем, які потрібно вирішити, хоча регулярне використання електромобілів призведе до створення стійких міст і суспільств. Просування енергетичної політики можливе лише за умови залучення країн через реальну екологічну політику.

## Список літератури

1. Чан, Ч. І. Зліт і падіння електричних транспортних засобів у 1828–1930 роках: уроки [сканування нашого минулого]. *Proc. IEEE* 2013 , 101 , 206–212.
2. Geels, FW Динаміка переходів у соціально-технічних системах: Багаторівневий аналіз шляху переходу від кінних екіпажів до автомобілів (1860–1930). *технол. анальний Стратег. кер.* 2005 , 17 , 445–476. [ ] [ ]
3. Nergaard, DK Електричний транспортний засіб, технологія та очікування в епоху автомобілів — Огляд книги. *IEEE Technol. Соц. Маг.* 2005 , 24 , 55-56. [ ] [ ]
4. Чау, КТ; Вонг, Ю. С. Огляд управління живленням у гібридних електричних транспортних засобах. *Перетворення енергії кер.* 2002 , 43 , 1953–1968. [ ] [ ]
5. Нюер, КГ Історія альтернативних видів палива на транспорті: приклад електричних та гібридних автомобілів. *Util. Політика* 2008 , 16 , 63–71.
6. Коуен, Р. Втеча від блокування: випадок електромобіля. *технол. Прогноз. Соц. Зміна* 1996 , 53 , 61–79. [ ] [ ]
7. Андерсон, CD; Андерсон, Дж. Електричні та гібридні автомобілі: історія. *Choice Rev. Online* 2010 , 48 , 48-0292. [ ] [ ]
8. Алізон, Ф.; Стрілець, С.Б.; Сімпсон, Т. В. Генрі Форд і модель Т: уроки створення платформи продукту та масової кастомізації. *Des. Стад.* 2009 , 30 , 588–605. [ ] [ ]
9. Клей, Ф.; Лерч, К.; Даллінгер Д. Нові бізнес-моделі для електромобілів – цілісний підхід. *Енергетична політика* 2011 , 39 , 3392–3403.
10. Чан, НL; Сутанто, Д. Нова модель акумулятора для використання з системами накопичення енергії акумулятора та системами живлення

електромобілів. У матеріалах Зимової зустрічі IEEE Energy Engineering Society, Сінгапур, 23–27 січня 2000 р.; Том 1, С. 470–475. [ ] [ ]

11. Хеффнер, RR; Курані, К.С.; Turrentine, символіка TS на ранньому ринку гібридних електромобілів у Каліфорнії. *трансп. рез. Частина D Transp. Навколишнє середовище*. 2007 , 12 , 396–413. [ ] [ ] [ ]

12. Чау, КТ; Чен, СС Нові енергоефективні технології для гібридних електричних транспортних засобів. *Proc. IEEE* 2007 , 95 , 821–835. [ ] [ ]

13. Баністер, Д. Парадигма стійкої мобільності. *трансп. Політика* 2008 , 15 , 73–80. [ ] [ ]

14. Еберле, У.; Фон Гельмолт, Р. Сталий транспорт на основі концепцій електромобілів: короткий огляд. *Енергетичне середовище. Sci.* 2010 , 3 , 689–699. [ ] [ ]

15. Ченг, КВЕ; Дівакар, Б.П.; Ву, Х.; Дін, К.; Хо, HF Battery-Management System (BMS) і SOC Development для електромобілів. *IEEE Trans. Veh. технол.* 2011 , 60 , 76–88. [ ] [ ]

16. Fuengwarodsakul, NH Система керування батареєю з активним контролем пускового струму для літій-іонної батареї в легких електромобілях. *Електр. інж.* 2016 , 98 , 17–27. [ ] [ ]

17. Чалла, Р.; Камат, Д.; Анктіл, А. Порівняння викидів парникових газів від електромобілів і двигунів внутрішнього згорання від Well-to-Wheel у США з 2018 по 2030 рік. *J. Environ. кер.* 2022 , 308 , 114592. [ ] [ ]

18. Лау, Ю.-Й.; Ву, А.Ю.; Ян, М. В. Шлях вперед для електромобілів у районі Великої затоки: виклики та можливості для 21-го століття. *Транспортні засоби* 2022 , 4 , 420–432. [ ] [ ]

19. Маніатопулос, П.; Ендрюс, Дж.; Шабані, Б. На шляху до сталої стратегії автомобільного транспорту в Австралії: потенційний внесок водню. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2015 , 52 , 24–34. [ ] [ ]

20. Дарамі-Вільямс, Е.; Анейбл, Дж.; Грант-Мюллер, С. Систематичний огляд доказів досвіду користувача електромобіля, що

підключається до електромережі. *трансп. рез. Частина D Transp. Навколишнє середовище*. 2019 , 71 , 22–36. [ ] [ ]

21. Їлмаз, М.; Krein, РТ Огляд топологій зарядних пристроїв для акумуляторів, рівнів зарядної потужності та інфраструктури для електричних і гібридних транспортних засобів. *IEEE Trans. Силовий Електрон*. 2013 , 28 , 2151–2169. [ ] [ ]

22. Pham, NN; Лойхтер, Дж.; Фам, КЛ; Донг, ҚН Система керування батареями для безпілотних електромобілів із шиною CAN та Інтернетом речей. *Транспортні засоби* 2022 , 4 , 639–662. [ ] [ ]

23. Мартінес-Лао, Дж.; Монтойя, Ф.Г.; Монтойя, М.Г.; Манзано-Агульєро, Ф. Електромобілі в Іспанії: огляд систем заряджання. *Відновити. Систейн. Energy Rev*. 2017 , 77 , 970–983. [ ] [ ]

24. Ву, Ю.; Рейві, А.; Чренко Д.; Мігаоуі, А. Управління енергією на стороні попиту зарядних станцій для електромобілів шляхом наближеного динамічного програмування. *Перетворення енергії кер*. 2019 , 196 , 878–890.

25. Пісня, НJ; Лі, SJ; Ю, Ей Джей; Парк, НJ; Park, YW. Система керування живленням для прямого метанольного паливного елемента. У матеріалах конференції TENCON 2012 IEEE Region 10, Себу, Філіппіни, 19–22 листопада 2012 р.; С. 14–17. [ ]

26. Елліс, MW; Фон Спаковський, MR; Nelson, DJ Системи паливних елементів: ефективне, гнучке перетворення енергії для 21-го століття. *Proc. IEEE* 2001 , 89 , 1808–1817. [ ] [ ]

27. Ле, Т. Паливні елементи: епідемія майбутнього. У матеріалах конференції з електроізоляції та конференції з виробництва електротехніки та технології намотування котушок, Індіанapolis, Індіана, США, 23–25 вересня 2003 р.; С. 505–510. [ ]

28. Лотон, Массачусетс Паливні елементи. *Потужність інж. J*. 2002 , 16 , 37–47. [ ] [ ]

29. Вітолс, К.; Poiss, E. Розробка системи керування акумулятором електричного скутера. У матеріалах 59-ї міжнародної наукової конференції



IEEE з енергетики та електротехніки Ризького технічного університету (RTUCON) 2018 року, Рига, Латвія, 12–14 листопада 2018 р.; IEEE: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 2018; Том 3, С. 1–5. [ ]

30. Sciarretta, A.; Назад, М.; Гуззелла, Л. Оптимальне керування паралельними гібридними електричними транспортними засобами. *IEEE Trans. Система керування технол.* 2004 , 12 , 352–363. [ ][ ]

31. Краватка, SF; Тан, CW Огляд джерел енергії та системи управління енергією в електричних транспортних засобах. *Renew Sustain. Energy Rev.* 2013 , 20 , 82–102. [ ][ ]

32. Унтеррайнер, Л.; Юльх, В.; Рейт, С. Технології переробки батарей — аналіз екологічного впливу з використанням оцінки життєвого циклу (LCA). *Energy Procedia* 2016 , 99 , 229–234. [ ][ ]

33. Суджіта, Н.; Крітіга, С. Система зарядки акумулятора електромобіля на основі ВДЕ: огляд. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2017 , 75 , 978–988. [ ][ ]

34. Джоші, Б.В.; Віпін, Б.; Рамкумар, Дж.; Аміт, Р. К. Вплив політичних інструментів на переробку свинцево-кислотних акумуляторів: підхід системної динаміки. *ресурс. Консерв. Переробити.* 2021 , 169 , 105528.

35. Чень, Х.; Чу, А.; Лі, Д.; Юань, Ю.; Фан, Х.; Deng, Y. Розробка циклічної моделі життєвого циклу Ni-MH акумуляторів для гібридних електричних транспортних засобів на основі реальних умов експлуатації. *J. Energy Storage* 2021 , 34 , 101999. [ ][ ]

36. Тран М.-К.; Акінсанья, М.; Панчал, С.; Фрейзер, Р.; Фаулер, М. Розробка гібридної трансмісії електричного транспортного засобу для оптимізації продуктивності з урахуванням різних компонентів трансмісії та конфігурацій. *Транспортні засоби* 2020 , 3 , 20–32. [ ][ ]

37. Мавону, KSR; Еддахеч, А.; Думур, Д.; Бовуа, Д.; Godoy, E. Оцінки стану здоров'я в поєднанні з підходом випадкового лісу для рейтингу факторів старіння літій-іонної батареї. *J. Power Sources* 2021 , 484 , 229154. [ ][ ]

38. Денг, Ю.; Лі, Дж.; Освітлений.; Гао, Х.; Юань, К. Оцінка життєвого циклу літієво-сірчаної батареї для електромобілів. *J. Джерела живлення* 2017 , 343 , 284–295. [ ] [ ]
39. Пила, ЛГ; Сомасундарам, К.; Є, Ю.; Тей, ААО Електротермічний аналіз літій-залізо-фосфатної батареї для електромобілів. *J. Джерела живлення* 2014 , 249 , 231–238. [ ] [ ]
40. Якоме, А.; Dérupture, С.; Булон, Л.; Солано, Дж. Тест різних режимів запуску гібридного джерела пасивного паливного елемента/ультраконденсатора для застосування в електромобілі. *J. Energy Storage* 2021 , 35 , 102280. [ ] [ ]
41. Valdez-Resendiz, JE; Rosas-Caro, JC; Майо-Мальдонадо, JC; Клаудіо-Санчес, А.; Руїс-Мартінес, О.; Санчес, В.М. Покращення використання енергії ультраконденсаторів у гібридних електричних автомобілях на основі паливних елементів. *Міжн. J. Hydrogen Energy* 2020 , 45 , 13746–13756. [ ] [ ]
42. Торманн, Б.; Пухбауер, П.; Кіенбергер, Т. Аналіз придатності систем накопичення енергії на маховику для заряджання високої потужності у випадках використання електромобільності. *J. Energy Storage* 2021 , 39 , 102615.
43. Джоухара, Х.; Żabnieńska-Góra, А.; Хордехга, Н.; Дорагі, К.; Ахмад, Л.; Норман, Л.; Ахcell, В.; Врубель, Л.; Дай, С. Технології та застосування термоелектричних генераторів (ТЕГ). *Міжн. J. Thermofluids* 2021 , 9 , 100063. [ ] [ ]
44. Годфрі, АJ; Sankaranarayanan, V. Нова електрична гальмівна система з регенерацією енергії для електромобіля BLDC. *інж. Sci. технол. Міжн. J.* 2018 , 21 , 704–713. [ ] [ ]
45. Кумар, Л.; Джайн, С. Електрична силова система для електромобілів: огляд. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2014 , 29 , 924–940.

46. Гій, К.; Гросс, Г. Концептуальна основа для впровадження транспортного засобу до мережі (V2G). *Енергетична політика* 2009 , 37 , 4379–4390. [ ] [ ]

47. Токіа, Д.; Де Олівейра-Де Хесус, РМ; Cadena, AI Power Market Equilibrium Considering an EV Storage Aggregator Exposed to Marginal Prices—A Two-Level Optimization Approach. *J. Energy Storage* 2020 , 28 , 101267.

48. Липу, М.Ш.; Ханнан, Массачусетс; Карім, Т.Ф.; Хусейн, А.; Саад, МНМ; Айоб, А.; Міах, MS; Махлія, інтелектуальні алгоритми ТМІ та стратегії керування для системи керування акумуляторами в електромобілях: прогрес, виклики та перспективи на майбутнє. *Ж. Чистий. Виробник* 2021 , 292 , 126044.

49. Лі, С.; Чжао, П. Метод керування батареєю автомобіля на основі великих даних: нова перспектива кіберфізичної системи. *J. Energy Storage* 2021 , 33 , 102064. [ ] [ ]

50. Новас, Н.; Алькайде, А.; Ель Халед, Д.; Manzano-agugliaro, F. Покриття у фотоелектричних сонячних дослідженнях у всьому світі. *Coatings* 2019 , 9 , 797. [ ] [ ] [ Зелена версія ]

51. Монтойя, Ф.Г.; Алькайде, А.; Баньос, Р.; Манзано-Агульєро, Ф. Телематика та інформатика. Швидкий метод виявлення всесвітньої наукової співпраці за допомогою бази даних Scopus. *Телемат. Інформ.* 2018 , 35 , 168–185. [ ] [ ]

52. Круз-Ловера, К.; Переа-Морено, А.-Ж.; де ла Крус-Фернандес, JL; Монтойя, Ф.Г.; Алькайде, А.; Manzano-Agugliaro, F. Аналіз дослідницьких тем і наукового співробітництва в галузі енергозбереження з використанням бібліометричних методів і виявлення напрямів. *Energies* 2019 , 12 , 2030.

53. Бастіан, М.; Хейманн, С.; Ясому, М. Gephi: програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для дослідження та маніпулювання мережами. У матеріалах Третьої міжнародної конференції ICWSM, Сан-Хосе, Каліфорнія, США, 17–20 травня 2009 р.; С. 361–362. [ ]

54. Wang, C.-S.; Штілау, Огайо; Covic, GA Розробка безконтактного зарядного пристрою для електричних транспортних засобів. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2005 , 52 , 1308–1314. [ ] [ ]
55. Лі, С.; Бездротова передача енергії Мі, СС для електромобілів. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Силовий Електрон.* 2015 , 3 , 4–17. [ ] [ ]
56. Covic, GA; Boys, JT Сучасні тенденції в індуктивній передачі енергії для транспортних додатків. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Силовий Електрон.* 2013 , 1 , 28–41. [ ] [ ]
57. Афонсо, JL; Кардозо, ЛАЛ; Педроса, Д.; Суза, ТJS; MacNado, L.; Танта, М.; Монтейро, В. Огляд технологій силової електроніки для електричної мобільності. *Energies* 2020 , 13 , 6343. [ ] [ ]
58. Хемаваті, С.; Шиніша, А. Дослідження тенденцій і розробок технологій заряджання електромобілів. *J. Energy Storage* 2022 , 52 , 105013.
59. Амджад, М.; Фарук-і-Азам, М.; Ні, Q.; Донг, М.; Ansari, EA Бездротові зарядні системи для електромобілів. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2022 , 167 , 112730. [ ] [ ]
60. Сонце, Х.; Лі, З.; Ван, Х.; Лі, С. Технологічний розвиток електричних транспортних засобів: огляд. *Energies* 2020 , 13 , 90.
61. Мі, СС; Буджа, Г.; Чой, С.Й.; Рим, СТ Сучасні досягнення в системах бездротової передачі електроенергії для електромобілів, що працюють на дорозі. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2016 , 63 , 4993. [ ] [ ]
62. Covic, GA; Хлопчики, JT Inductive Power Transfer. *Proc. IEEE* 2013 , 101 , 1276–1289. [ ] [ ]
63. Khaligh, A.; Дусмез, С. Комплексний топологічний аналіз кондуктивних та індуктивних зарядних рішень для електричних транспортних засобів, що підключаються до електромережі. *IEEE Trans. Вех. технол.* 2012 , 61 , 3475–3489. [ ] [ ]
64. Ахмад, А.; Алам, MS; Чабаан, Р. Комплексний огляд технологій бездротової зарядки для електромобілів. *IEEE Trans. трансп. Електрифікація.* 2017 , 4 , 38–63. [ ] [ ]

65. Саллан, Дж.; Вілла, JL; Лломбарт, А.; Санц, Дж. Ф. Оптимальна конструкція систем ІСРТ, що застосовуються до зарядки акумулятора електромобіля. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2009 , 56 , 2140–2149. [ ] [ ]

66. Лі, Ю. Дж.; Khaligh, А.; Емаді, А. Розширений інтегрований двонаправлений перетворювач змінного/постійного струму та постійного/постійного струму для гібридних електричних транспортних засобів, що підключаються до електромережі. *IEEE Trans. Вех. технол.* 2009 , 58 , 3970–3980. [ ] [ ]

67. Мадавала, Великобританія; Thrimawithana, DJ Двонаправлений індуктивний інтерфейс живлення для електромобілів у системах V2G. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2011 , 58 , 4789–4796. [ ] [ ]

68. Чой, С.Й.; Gu, BW; Jeong, SY; Rim, СТ Досягнення в системах бездротової передачі енергії для електромобілів, що рухаються по дорозі. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Силовий Електрон.* 2015 , 3 , 18–36. [ ] [ ]

69. Егбю, О.; Лонг, С. Перешкоди для широкого впровадження електричних транспортних засобів: аналіз ставлення та сприйняття споживачів. *Енергетична політика* 2012 , 48 , 717–729. [ ] [ ]

70. Самарас, К.; Мейстерлінг, К. Оцінка життєвого циклу викидів парникових газів від гібридних транспортних засобів, що підключаються до електромережі: наслідки для політики. *Навколишнє середовище. Sci. технол.* 2008 , 42 , 3170–3176.

71. Гідрю, М.К.; Парсонс, GR; Кемптон, В.; Гарднер, член парламенту. Готовність платити за електромобілі та їх характеристики. *ресурс. Екон.* 2011 , 33 , 686–705. [ ] [ ] [ ]

72. Хокінс, TR; Гаузен, О.М.; Strømman, АН Огляд впливу гібридних та електричних транспортних засобів на навколишнє середовище. *Міжн. J. Оцінка життєвого циклу.* 2012 , 17 , 997–1014. [ ] [ ]

73. Хардман, С.; Дженн, А.; Тал, Г.; Аксен, Дж.; Борода, Г.; Дайна, Н.; Фігенбаум, Е.; Якобссон, Н.; Йохем, П.; Кіннір, Н.; та ін. Огляд споживчих уподобань і взаємодії з інфраструктурою зарядки електромобілів.

трансп. рез. *Частина D Transp. Навколишнє середовище*. 2018 , 62 , 508–523.

[ ][ ][ ]

74. Аль-Алаві, ВМ; Bradley, ТН Огляд досліджень моделювання ринку гібридів, гібридів, що підключаються до мережі електромобілів. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2013 , 21 , 190–203. [ ][ ]

75. Сержула, В.; Баккер, С.; Маат, К.; Ван Ві, Б. Вплив фінансових стимулів та інших соціально-економічних факторів на впровадження електромобілів. *Енергетична політика* 2014 , 68 , 183–194. [ ][ ]

76. Никвіст Б.; Нільссон, М. Швидке падіння вартості акумуляторних батарей для електромобілів. *Нац. Clim. Зміна* 2015 , 5 , 329–332. [ ][ ]

77. Лу, Л.; Хан, Х.; Лі, Дж.; Хуа, Дж.; Ouyang, М. Огляд ключових питань управління літій-іонними акумуляторами в електричних транспортних засобах. *J. Power Sources* 2013 , 226 , 272–288. [ ][ ]

78. Plett, GL Розширена фільтрація Калмана для систем керування батареями акумуляторних блоків HEV на основі LiPB. *J. Power Sources* 2004 , 134 , 262–276. [ ][ ]

79. Див. KW; Ван, Г.; Чжан, Ю.; Ван, Ю.; Мен, Л.; Гу, Х.; Чжан, Н.; Лім, КС; Чжао, Л.; Хіе, В. Критичний огляд і функціональна безпека системи керування батареями для великомасштабних технологій літій-іонних батарей. *Міжн. J. Coal Sci. технол.* 2022 , 9 , 36. [ ][ ]

80. Скросаті, Б.; Garche, J. Літієві батареї: стан, перспективи та майбутнє. *Ж. Джерела живлення* 2010 , 195 , 2419–2430. [ ][ ]

81. Вааг, В.; Флейшер, К.; Sauer, DU Критичний огляд методів моніторингу літій-іонних акумуляторів в електричних і гібридних автомобілях. *Ж. Джерела живлення* 2014 , 258 , 321–339. [ ][ ]

82. Етачері, В.; Маром, Р.; Елазарі, Р.; Салітра, Г.; Аурбах, Д. Проблеми в розробці сучасних літій-іонних батарей: огляд. *Енергетичне середовище. Sci.* 2011 , 4 , 3243–3262. [ ][ ]

83. Манохаран, А.; Бегам К.М.; Апаров, В.Р.; Суріамурті, Д. Штучні нейронні мережі, градієнтне посилення та опорні векторні машини для

оцінки стану батареї електромобіля: огляд. *J. Зберігання енергії* 2022 , 55 , 105384.

84. Аффанні, А.; Белліні, А.; Franceschini, G.; Гульєлмі, П.; Tassoni, С. Вибір акумулятора та керування ним для електромобілів нового покоління. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2005 , 52 , 1343–1349. [ ] [ ]

85. Рао, З.; Wang, SA Огляд управління тепловою енергією силових батарей. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2011 , 15 , 4554–4571. [ ] [ ]

86. Він, Х.; Сюн, Р.; Фан, Дж. Оцінка моделей еквівалентної схеми літій-іонної батареї для оцінки стану заряду за допомогою експериментального підходу. *Енергія* 2011 , 4 , 582–598. [ ] [ ]

87. Комсійська Л.; Бухбергер, Т.; Діль, С.; Еренсбергер, М.; Ганзль, К.; Хартманн, К.; Хельцле, М.; Кляйнер, Дж.; Леверенц, М.; Лібхарт, Б.; та ін. Критичний огляд інтелектуальних акумуляторних систем: виклики, впровадження та потенціал для електромобілів. *Енергії* 2021 , 14 , 5989.

88. Руан, П.; Лян, С.; Лу, Б.; Фанат, НІ; Чжоу, Дж. Стратегії проектування водно-цинкових батарей високої щільності енергії. *Angew. Chem.-Int. ред.* 2022 , 61 , e202200598.

89. Чжан, Ю.; Ван, Дж.; Альфред, М.; Lv, Р.; Хуан, Ф.; Кай, Ю.; Цяо, Х.; Wei, Q. Останні досягнення мікронановолоконних матеріалів для акумуляторних повітряно-цинкових батарей. *Матер накопичення енергії.* 2022 , 51 , 181–211. [ ] [ ]

90. Sanguesa, JA; Торрес-Санс, В.; Гаррідо, П.; Мартінес, Ф. Дж.; Маркес-Барха, Дж. М. Огляд електричних транспортних засобів: технології та виклики. *Розумні міста* 2021 , 4 , 372–404. [ ] [ ]

91. Рой, Дж.Дж.; Раротра, С.; Крикстолайтейте, В.; Zhuoran, KW; Сінді, YDI; Тан, ХУ; Карбоні, М.; Меєр, Д.; Ян, Q.; Шрінівасан, М. Екологічні методи переробки для поводження з електронними відходами літій-іонних батарей: циклічний підхід до сталого розвитку. *Adv. Mater.* 2022 рік , 34 , 2103346. [ ] [ ]

92. By, XG; Zheng, DY Contrastive Study on Distribution Torque of Distributed Drive Electric Vehicle under Different Control Methods. *J. Control Sci. інж.* 2017 , 2017 , 2494712. [ ]
93. Чау, КТ; Чан, СС; Liu, С. Огляд безщіткових приводів на постійних магнітах для електричних і гібридних електричних транспортних засобів. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2008 , 55 , 2246–2257. [ ][ ]
94. Чжу, ZQ; Хоу, Д. Електричні машини та приводи для електричних, гібридних транспортних засобів і транспортних засобів на паливних елементах. *Proc. IEEE* 2007 , 95 , 746–765. [ ][ ]
95. Чан, СС; Bouscaurol, А.; Чен, К. Електричні, гібридні та транспортні засоби на паливних елементах: архітектура та моделювання. *IEEE Trans. Вех. технол.* 2010 рік , 59 , 589–598. [ ][ ]
96. Зерауля, М.; Бенбузід, МЕН; Діалло, Д. Питання вибору приводу електродвигуна для силових систем HEV: порівняльне дослідження. *IEEE Trans. Вех. технол.* 2006 , 55 , 1756–1764. [ ][ ]
97. Де Сантьяго, Дж.; Бернгофф, Х.; Екергорд, Б.; Ерікссон, С.; Ферхатович, С.; Води, Р.; Leijon, М. Електродвигуни в комерційних повністю електричних транспортних засобах: огляд. *IEEE Trans. Вех. технол.* 2012 , 61 , 475–484. [ ][ ]
98. Іванов, В.; Савицький Д.; Широков Б.А. Дослідження систем контролю тяги та антиблокувальних систем повністю електричних транспортних засобів з електродвигунами з індивідуальним керуванням. *IEEE Trans. Вех. технол.* 2015 , 64 , 3878–3896. [ ][ ]
99. Hori, Y. Future Vehicle Driven by Electricity and Control—Research on Four-Wheel-Motored “UOT Electric March II”. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2004 , 51 , 954–962. [ ][ ]
100. Ченг, Ю.; Трігуї, Р.; Espanet, С.; Bouscaurol, А.; Cui, S. Специфікації та конструкція електричної змінної трансмісії РМ для Toyota Prius II. *IEEE Trans. Вех. технол.* 2011 , 60 , 4106–4114. [ ][ ]



101. Клемент-Нінс, К.; Наесен, Е.; Дрізен, Дж. Вплив зарядки гібридних електричних транспортних засобів, що підключаються до електромережі, на розподільчу мережу житлових будинків. *IEEE Trans. Power Syst.* 2010 , 25 , 371–380. [ ] [ ]
102. Кемптон, В.; Томич, Дж. Основи електропостачання від автомобіля до мережі: розрахунок потужності та чистого доходу. *J. Power Sources* 2005 , 144 , 268–279. [ ] [ ]
103. Кемптон, В.; Томіс, Ж. Впровадження електроенергії від автомобіля до мережі: від стабілізації мережі до підтримки великомасштабної відновлюваної енергії. *J. Power Sources* 2005 , 144 , 280–294. [ ] [ ]
104. Ахмад, Ф.; Ікбал, А.; Ашраф, І.; Марзбанд, М.; Хан, І. Оптимальне розташування зарядної станції для електромобілів та його вплив на розподільчу мережу: огляд. *Energy Rep.* 2022 , 8 , 2314–2333. [ ] [ ]
105. Хан, С.; Хан, С.; Сезакі, К. Розробка оптимального агрегатора від автомобіля до мережі для регулювання частоти. *IEEE Trans. Smart Grid* 2010 , 1 , 65–72. [ ] [ ]
106. Сортомм Е.; Хінді, М.; MacPherson, SD; Venkata, SS Скоординована зарядка гібридних електричних транспортних засобів, що підключаються до електромережі, щоб мінімізувати втрати системи розподілу. *IEEE Trans. Smart Grid* 2011 , 2 , 198–205. [ ] [ ]
107. Лопес, Японія; Соарес, Ф. Дж.; Алмейда, РМР Інтеграція електричних транспортних засобів в електроенергетичну систему. *Proc. IEEE* 2011 , 99 , 168–183. [ ] [ ]
108. Цянь, К.; Чжоу, К.; Аллан, М.; Юань, Ю. Моделювання попиту на навантаження внаслідок заряджання батареї EV у системах розподілу. *IEEE Trans. Power Syst.* 2011 , 26 , 802–810. [ ] [ ]
109. Pieltain, L.; Гомес, Т.; Коссент, Р.; Матео, К.; Фріас, П. Оцінка впливу електричних транспортних засобів, що підключаються до

електромережі, на розподільні мережі. *IEEE Trans. Power Syst.* 2011 , 26 , 206–213. [ ] [ ]

110. Дейламі, С.; Масум, А.С.; Мойсей, ПС; Masoum, MAS Координація в режимі реального часу зарядки електромобілів від розетки в розумних мережах для мінімізації втрат електроенергії та покращення профілю напруги. *IEEE Trans. Smart Grid* 2011 , 2 , 456–467. [ ] [ ]

111. Чан, К. І. Сучасний стан електричних, гібридних транспортних засобів і транспортних засобів на паливних елементах. *Proc. IEEE* 2007 , 95 , 704–718. [ ] [ ]

112. Ехсані, М.; Гао, Ю.; Емаді, А. *Сучасні електричні, гібридні транспортні засоби та транспортні засоби на паливних елементах: основи, теорія та дизайн* ; CRC Press: Бока Ратон, Флорида, США, 2017. [ ]

113. Лін, К.-К.; Пен, Х.; Грізл, JW; Кан, Ж.-М. Стратегія управління живленням для паралельної гібридної електричної вантажівки. *IEEE Trans. Система керування технол.* 2003 , 11 , 839–849. [ ] [ ] [ ]

114. Емаді, А.; Лі, Ю. Дж.; Раджашекара, К. Силова електроніка та моторні приводи в електричних, гібридних електричних транспортних засобах та гібридних електричних транспортних засобах, що підключаються до електромережі. *IEEE Trans. Пром Електрон.* 2008 , 55 , 2237–2245. [ ] [ ]

115. Тахерзаде, Е.; Радманеш, Х.; Мехрізі-Сані, А. А. Всебічне дослідження параметрів, що впливають на економію палива гібридних електричних транспортних засобів, що підключаються до електромережі. *IEEE Trans. Intell. Veh.* 2020 , 5 , 596–615. [ ] [ ]

116. Сайтея, П.; Ашок, Б. Критичний огляд структурної архітектури, стратегій управління енергією та процесу розробки для оптимального управління енергією в гібридних автомобілях. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2022 , 157 , 112038. [ ] [ ]

117. Салмасі, Ф. Р. Стратегії управління гібридними електричними транспортними засобами: еволюція, класифікація, порівняння та майбутні тенденції. *IEEE Trans. Veh. технол.* 2007 , 56 , 2393–2404. [ ] [ ]

118. Реді, ВКАК; Нараяна, VLK. Оптимізація мета-евристики в електричних транспортних засобах — розширений огляд. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2022 , 160 , 112285. [ ] [ ]
119. Яо, З.; Жандро, М.; Лі, М.; Ран, Л.; Wang, Z. Обслуговування систем спільного використання електромобілів з точки зору попиту та пропозиції: огляд літератури. *трансп. рез. Частина С Emerg. технол.* 2022 , 140 , 103702. [ ] [ ]
120. Іслам, С.; Ікбал, А.; Марзбанд, М.; Хан, І.; Аль-Вахеді, АМАВ. Сучасний режим роботи електричних транспортних засобів, пов'язаний із транспортним засобом, і його майбутні перспективи. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2022 , 166 , 112574. [ ] [ ]
121. Бхаратідасан, М.; Индраганді, В.; Суреш, В.; Ясінський, М.; Leonowicz, ZA Review on Electric Vehicle: Technologies, Energy Trading, and Cyber Security. *Energy Rep.* 2022 , 8 , 9662–9685. [ ] [ ]
122. Shen, ZJM; Фенг, Б.; Мао, Ч.; Ран, Л. Моделі оптимізації для обслуговування електромобілів: огляд літератури. *трансп. рез. Частина Б Методол.* 2019 , 128 , 462-477. [ ] [ ]
123. Ма, ТЮ; Fang, Y. Огляд управління зарядкою та планування інфраструктури для електрифікованих транспортних систем, що реагують на попит: методології та останні розробки. *Євро. трансп. рез. Rev.* 2022 , 14 , 36.
124. Onat, NC; Куцуквар, М. А. Систематичний огляд оцінки стійкості електричних транспортних засобів: прогалини в знаннях і майбутні перспективи. *Навколишнє середовище. Оцінка впливу. Rev.* 2022 , 97 , 106867.
125. Ван, З.; Чжоу, Дж.; Ріццоні, Джорджія Огляд архітектури та стратегій керування систем трансмісії з подвійним двигуном для електричних транспортних засобів. *Відновити. Систейн. Energy Rev.* 2022 , 162 , 112455.
126. Ян, Ю.; Він, Q.; Фу, С.; Ляо, С.; Тан, П. Підвищення ефективності синхронного двигуна з постійними магнітами для електромобілів. *Energy* 2020 , 213 , 118859. [ ] [ ]

127. Пей, В.; Чжан, К.; Лі, У. Стратегія оптимізації ефективності синхронного двигуна з постійними магнітами для електромобілів на основі енергетичного балансу. *Симетрія* 2022 , 14 , 164. [ ] [ ]
128. Лаксар, Дж.; Вег, Л.; Pechánek, R. Проблеми в конструкції обмоток і теплових розрахунках: фізична модель синхронної машини з постійними магнітами. *Машини* 2021 , 9 , 234. [ ] [ ]
129. Бао, GQ; Ці, В.; Він, Т. Пряме керування крутним моментом PMSM з модифікованим прогнозним керуванням моделлю кінцевого набору. *Energies* 2020 , 13 , 234. [ ]
130. Наср, А.; Gu, С.; Ван, Х.; Buticchi, G.; Божко, С.; Gerada, С. Покращення продуктивності крутного моменту для приводів PMSM із прямим керуванням крутним моментом на основі регулювання коефіцієнта навантаження. *IEEE Trans. Силовий Електрон.* 2022 , 37 , 749–760. [ ] [ ]
131. Бейлі, Г.; Манчері, Н.; Акер, К. Ван Екологічність двигунів із постійними рідкоземельними магнітами в промисловості (H)EV. *Дж. Систейн. метал.* 2017 , 3 , 611–626. [ ] [ ]
132. Jeong, С.; Cinti, L.; Bianchi, N. Застосування прямого приводу: можлива заміна рідкоземельних двигунів з постійними магнітами. *Energies* 2021 , 14 , 8058. [ ] [ ]
133. Раві, СС; Азіз, М. Використання електричних транспортних засобів для надання послуг від автомобіля до мережі: прогрес і перспективи. *Energies* 2022 , 15 , 589. [ ] [ ]
134. Новас, Н.; Гарсія Сальвадор, РМ; Портільо, Ф.; Робало, І.; Алькайде, А.; Фернандес-Рос, М.; Gázquez, JA. Глобальні перспективи та проблеми дослідження електричних транспортних засобів. *Транспортні засоби* 2022 , 4 , 1246-1276. <https://doi.org/10.3390/vehicles4040066>