

ШИФР «СІНЕРГІЯ»

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ АВТОМОБІЛІВ
З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	4
1. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЯК ВИД ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ..	5
2. СТВОРЕННЯ ДВОХ РЕЖИМНОЇ ПРОШИВКИ ГАЗ \ БЕНЗИН В РЕЖИМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	12
ВИСНОВКИ	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	23

АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – система управління силового агрегату електромобіля.

Мета дослідження – підвищення паливної економічності та екологічної чистоти автотранспортних засобів за рахунок дослідження та розробки системи управління силового агрегату електромобіля.

Метод дослідження – схемотехнічне моделювання електричних систем і комплексів транспортних засобів.

Предмет дослідження – система електропривода дорожніх транспортних засобів.

Задачі дослідження: аналіз та дослідження оптимальних компонувальних рішень побудови екологічно чистих автотранспортних засобів: електромобілів Mitsubishi i-MiEV та Nissan LEAF, проведення порівняльного аналізу джерел енергії та тягових електричних двигунів, синтез оптимальних компонувальних рішень побудови електромобіля, дослідження системи управління силового агрегату електромобіля,.

ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, СИЛОВИЙ АГРЕГАТ, СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ІНВЕРТОР, ВЕНТИЛЬНИЙ ДВИГУН.

ВСТУП

З кожним роком стає більш актуальним, що необхідність охорони навколишнього середовища надає все більший вплив на розвиток автомобільної промисловості. Світовий парк автомобілів щорічно збільшується на 5 – 8 % . У цих умовах все більш актуальною стає завдання щодо усунення шкоди сучасних автомобілів - забруднення атмосфери відпрацьованими газами. Зростаючий рівень забруднення повітря великих міст дуже гостро поставив питання про розробку комплексу заходів щодо зменшення вмісту токсичних речовин в атмосфері. Основна частина викидів токсичних речовин в атмосферу припадає на автомобільний транспорт. Це обумовлює пред'явлення до автомобільної промисловості вимог щодо зниження рівня виділення токсичних речовин при роботі автомобіля. Вирішення цієї проблеми передбачає застосування нейтралізаторів і фільтрів в системах викиду газу, причому силові установки автомобіля майже не змінюються. Однак до цього часу не вдалося створити прості, дешеві, довговічні і ефективно діючі системи, що забезпечують очищення відпрацьованих газів по всіх шкідливих компонентів. Існує думка що створити нешкідливий двигун, який би відповідав зазначеним вище вимогам, навряд чи вдасться. Тому все частіше в різних країнах обговорюється питання про можливість заборони або часткового обмеження використання автомобілів з двигуном внутрішнього згорання в містах та окремих районах. Додатковий шкоди сучасні автомобілі створюють своїм шумом. З кожним роком, у міру зростання парку автомобілів, проблема зниження шуму, створюваного ними, набуває все більш гострий характер.

1. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЯК ВИД ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

В даний час світова промисловість активно займається пошуком альтернативних вуглеводневому паливу джерел енергії. Розробки в цих напрямках ведуться в багатьох розвинених країнах світу. Електромобіль, є одним з приватних видів електричного транспорту. В даний час, електромобілі застосовуються для перевезення вантажів і людей у великих містах, міських парках, лісових зонах і зонах відпочинку, тобто в тих областях, де питання екологічної безпеки стоїть найгостріше.

Так, за даними Уряду України, до 60 % екологічного збитку пов'язане з перевезенням пасажирів легковими автомобілями. На перевезення вантажів припадає близько 27 % і на автобусні перевезення близько 13 % екологічного збитку. У процентному співвідношенні шкідливих викидів, шкоди навколишньому середовищу і здоров'ю населення від викидів автотранспорту в містах визначають оксиди азоту (44,5 %), акролеїн (7,5 %), сажа (7,4 %), оксид вуглецю (6%), діоксин сірки (3,4%), формальдегід (2,8%), бензапирен (1,3%) і ацетальдегід (1,1%).

Одним з основних шляхів зниження негативного впливу автомобіля на екологію міста є використання альтернативних екологічно чистіших джерел енергії. Інтенсивні роботи в цьому напрямку ведуться в багатьох розвинених країнах світу. Провідні автомобільні концерни інвестують мільярди доларів у розвиток транспорту та технологій альтернативних видів джерел енергії. Одним з таких альтернативних рішень є транспортні засоби на основі тягового електроприводу.

Увага конструкторів до транспортного засобу (ТЗ) з електричною тягою підтримується тим, що крім відсутності токсичних викидів в навколишнє середовище (т.зв. технології автомобілів з нульовим викидом – zero-emission vehicles), сучасні електродвигуни мають механічні характеристики, ідеально

відповідають вимогам тягового приводу, а також високий коефіцієнт корисної дії (ККД). Так, ККД сучасного вентильного електродвигуна досягає 90–95 %, в той час як ККД бензинового двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) становить близько 30 %, дизельного – 40%, кріогенних установок – 30–35%, паливних елементів – 70 %. Разом з тим, необхідно відзначити, що загальний ККД електромобіля, якщо вважати його з моменту отримання електричної енергії до факту руху електротранспорту, виявляється приблизно вдвічі вище, ніж ККД сучасного автомобіля, обладнаного ДВЗ.

Подальший розвиток електромобілів істотно стримують мала питома ємність сучасних тягових акумуляторних батарей (ТАБ), тривалий час, що вимагається для їх зарядки, а також необхідність створення спеціальної інфраструктури - зарядних станцій. Застосування сонячних батарей не дозволяє в повній мірі вирішити проблему підзарядки ТАБ[16,17].

Однак електромобілі – це нова технологія, яка потребує створення спеціальної системи для повноцінної експлуатації. Цей процес охоплює велику кількість виробників. Крім традиційних учасників (автовиробники, дилери, виробники і установники зарядних станцій) учасниками екосистеми електромобілів є енергетичні компанії, компанії з утилізації батареї та компанії, які дають «друге життя» батареї. Велику роль в підтримці екосистеми мають державні та фінансові структури, які надають додаткові пільги для власників електротранспорту (рис. 1.1)[19].

Ще одним важливим фактором у розвитку електромобілів є перехід автомобільних парків державних компаній та представників бізнесу на електричний транспорт. Наприклад, електромобільний парк пошти в Норвегії складається з 240 Renault Kangoo Z.E., парк поліції в Німеччині сформований з Renault ZOE. В Данії є компанія, що надає послуги з обміну автомобілями (car-sharing) та володіє парком з 420 Renault ZOE, а міжнародна компанія з оренди пропонує туристам електромобілі Renault Twizy.



Рисунок 1.1 – Екосистема електромобілів

З огляду на переваги електромобіля для суспільства та екології, стрімко зростає кількість виробників на ринку електромобілів в світі. В 2011 р. розвитком напрямку електромобілів займалися тільки 4 бренда (Renault, Nissan, Tesla, Mitsubishi), а сьогодні в цей процес вже залучено більше 20 виробників, включаючи непрофільні компанії, такі як Google, яка представила свої розробки у вигляді безпілотного електромобіля[19].

За 5 років в світі було реалізовано понад 2 млн. електромобілів (включаючи гібриди, що підключаються до електромережі). У Європі лідером з продажу електромобілів є бренд Renault, який займає 25,6% ринку. На другому і третьому місці знаходяться Nissan з часткою 22,8% і Tesla з часткою 14,2%.

Попит на даний вид транспорту поступово збільшується і в Україні. В 2016 р. на українському ринку парк електромобілів склав вже більше 2000 од.

Покупці легкових автомобілів останнім часом віддають перевагу новим економічним автомобілям. Цей факт пов'язаний з постійним зростанням цін на бензин, дизельне паливо і газ. У середньому собівартість нафтопродуктів в Україні на 20–30% перевищує їх вартість у Росії, або в США, тому використання електромобілів в Україні найбільш вигідна. Основний сектор ринку легкових автомобілів – це бюджетні автомобілі, вартість яких складає до

20 тис. у.о. Саме цей сегмент ринку складає 80% продажу нових легкових автомобілів. Втім, за підвищенням паливної економічності та екологічної чистоти покупцям доводиться платити високу ціну при покупці, наприклад, таких автомобілів як Nissan Liaf або Mitsubishi I-MiEV. Основний фактор, що стримує масове виробництво та споживання електромобілів – висока вартість тягових акумуляторних батарей і відсутність розвиненої мережі зарядних станцій. Сучасні тягові акумуляторні батареї поступаються бензину або дизельному паливу за питомою енергоємністю. Без удосконалення енергетичних характеристик акумуляторних батарей електромобілі будуть мати обмежене використання. Тому на сьогоднішній час найбільш перспективним напрямом розвитку екологічних і економічних дорожніх транспортних засобів є створення силових установок, які використовують синергетичну комбінацію двигуна внутрішнього згорання ДВЗ і тягових електричних машин, які отримують живлення від електричних накопичувачів енергії – літій-іонних акумуляторних батарей.[21]

Індустрія автобудування знаходиться в безперервному процесі розвитку і вдосконалення. У свою чергу, більшість автолюбителів вже не перший рік задається питанням про автомобіль майбутнього. З огляду на еволюції авторинку, а також деяких економічних і екологічних факторів, був створений електромобіль, який, як стверджують експерти авторинку, стане домінуючим транспортним засобом в недалекому майбутньому.

Такий автомобіль вельми вигідний з точки зору споживання палива. Адже ціна на нафтопродукти зростає з кожним днем, а електроенергія може економно використовуватися споживачами за допомогою спеціальних пристроїв зберігання енергії. При цьому, використання електромобілів не шкодитиме довкіллю.

Якщо говорити про продаж електромобілів на авторинку, варто сказати, що лідируючими виробниками є США, Японія, Франція і Китай. Вітчизняні виробники ще не впроваджують електромобілі на ринок. Якщо розглянути

електромобілі, які знаходяться в серійному виробництві, можна виділити три основні групи:

- шосейні електромобілі;
- міські електромобілі;
- спортивні електромобілі.

Найшвидшими є спортивні електромобілі, які можуть розвивати швидкість більш ніж в 200 км/год.

Даний вид транспорту пересувається за допомогою використання спеціальних батарей – сонячних або акумуляторних. Проте, акумуляторний тип батарей використовується набагато частіше, ніж сонячний. Даний тип батарей можна заряджати від зовнішніх джерел або від генератора. Як правило, потужність батареї повинна бути еквівалентною потужності двигуна. Ще одним безсумнівним плюсом електромобіля є проста комплектація деталей. У комплект деталей електромобіля входять: батарея акумуляторного або сонячного типу, електродвигун, зарядний пристрій, перетворювач струму і електронна система управління[22,23].

Порівнюючи функціональні характеристики електромобіля і автомобіля, можна сміливо сказати, що електромобіль набагато переважає над простим автомобілем з огляду на наступні чинників: ККД двигуна електромобілів значно вище, ніж ККД двигуна базових автомобілів; електромобіль не вимагає використання таких шкідливих хімікалій, як антифриз, моторне масло, у електромобілів також відсутній вихлоп; наявність електродвигуна сприяє значному спрощенню всієї конструкції електромобіля; заряджати електромобіль можна як від звичайної домашньої мережі, так і на спеціалізованих заправках; гальмування здійснюється за допомогою зворотної електричної машини, що робить непотрібним наявність традиційної гальмівної системи; крім переваг електромобіля, перерахованих вище, розвиток даного виду транспорту має ще одним позитивним ефектом, конкретніше – в соціально-економічній сфері. Як і будь-яка інша технологічна новинка, електромобіль несе в собі кардинальні зміни в суспільстві в цілому.

Сфера виробництва електромобілів є високотехнологічну діяльність, яка в свою чергу дозволить використовувати сучасний потенціал численних наукових установ і промислових сфер. Також дана сфера виробництва допоможе створити умови для запитання знань, досвіду діючих фахівців і залучити у виробництво покоління молодих фахівців.

На рисунку 1.2 приведена гістограма порівняння питомих показників джерел енергії[24].

Виникають додаткові труднощі будівництва заправок для електромобілів, що працюють на акумуляторній батареї. Тут стоїть питання швидкого і безпечного поповнення паливом транспортного засобу. Стосовно до акумуляторної батареї, слід зазначити, що швидкість її заряду хоч і залежить від властивостей електрохімічної системи, але у всіх випадках час заряду значно перевершує час поповнення паливом автомобіля, що працює на

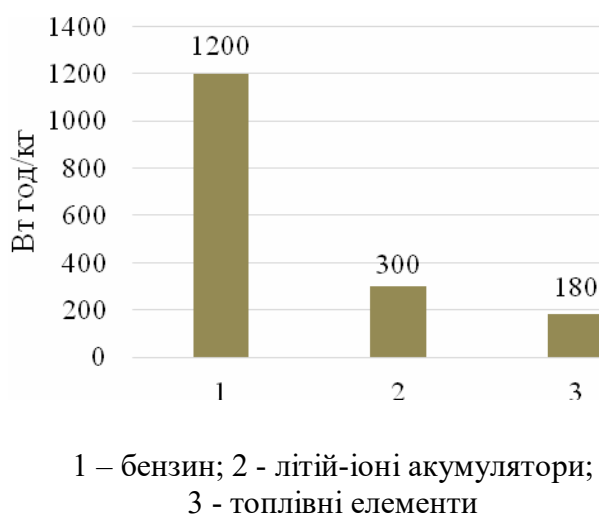


Рисунок 1.2 – Питомі характеристики джерел енергії

основі вуглеводного палива або електромобіля з паливними елементами. З точки зору безпеки, необхідно забезпечити гарантований захист користувача і обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом або витоку водню і кисню з резервуарів заправної станції і електромобіля з паливними елементами. На сьогоднішній день не спостерігається принципового прориву в дослідженнях, пов'язаних з розробкою нових джерел енергії, які дозволили б отримати питомі характеристики порівнянні з характеристиками вуглеводного палива.

1.2 . Аналіз електрохімічних систем тягового електроприводу

У промисловості і автомобілебудуванні широке застосування отримали нікель-кадмієві (NiCd), нікель-металгідридні (NiMh), свинцево-кислотні (Pb) і літій-іонні (Li-ion) акумуляторні батареї. В останні роки розробники електронної та силовий апаратури проявляють особливий інтерес до електрохімічним накопичувачів енергії на основі літєвого електрода. Нижче розглядаються властивості і особливості експлуатації вище перерахованих джерел енергії.

Нікель-кадмієві акумулятори випускаються вже більше п'ятдесяти років, тому їх структура і властивості найбільш повно вивчені. Сучасні нікель-кадмієві акумулятори випускаються в герметичному циліндричному або призматичному корпусах. Питомі енергетичні характеристики NiCd акумуляторів досягають величин 60 Вт-год/кг і 175 Вт год/дм³. Номінальна напруга герметичних акумуляторів даної електрохімічної системи становить 1,28 В.

Саморозряд герметичних NiCd акумуляторів визначається в першу чергу термодинамічною нестійкістю позитивного оксидно нікелевого електрода. Вплив на саморозряд мікроутечек між різнополярними електродами порівняно мало на початку експлуатації, але зростає з напрацюванням.



Рисунок 1.3 – Розрядна характеристика нікель-кадмієвого
акумулятора (NiCd)

Процес саморазряда веде не тільки до втрати ємності, але і до загального зниження напруги (на 30 – 50 мВ). Це пов'язано як з поступовим вирівнюванням рівня зарядженості поверхневих і глибинних шарів електродів, так і з частковою пасивацією їх активних мас[26,27].

На термін служби акумуляторів сильний вплив надає режим експлуатації: режим і глибина розряду, режим заряду, тривалість паузи між зарядом і розрядом при безперервному циклуванні, періоди експлуатації та зберігання.

Аналіз даних про відмови герметичних нікель-кадмієвих акумуляторів показує, що при їх експлуатації накопичуються ефекти, пов'язані з наступними факторами:

- втратою активних мас і перерозподілом їх на електродах;
- зниженням робочої поверхні електродів;
- протіканням процесів, пов'язаних з необоротним споживанням кисню і води, а також розпадом неорганічних речовин (різних добавок);
- зміною кількості і складу електроліту і його перерозподілом всередині акумулятора.

На закінчення слід зазначити також досить хорошу стійкість NiCd акумуляторів до випадкових перерозрядів. В цьому випадку в акумуляторі виділяється водень, рекомбінація якого дуже низька, але при нечастих перерозрядах його кількість не призводить до розгерметизації, а напруга акумулятора при знятті поляризації відновлюється.

Нікель-металогідридні (NiMh) акумулятори з'явилися в результаті заміни кадмієвого електрода на електрод сплавів нікелю з металами рідкоземельної групи.

Розвиток галузі розробок нікель-металгідридних акумуляторів почався кілька десятиліть тому. Зовнішній вигляд нікель-металгідридного акумулятора представлений на рисунку 1.4.

Напруга розімкненого ланцюга акумуляторів (НРЛ) NiMh зазвичай знаходиться в діапазоні 1,32–1,35 В і практично дорівнює НРЦ нікель-кадмієвого акумулятора. Слід зазначити, що NiMh акумулятори випускаються в таких же корпусах, що і NiCd, що робить можливою взаємозамінність цих електрохімічних систем в радіоелектронній апаратурі. Проте, NiMh акумулятори мають ряд переваг і недоліків по відношенню до нікель-кадмієвих.

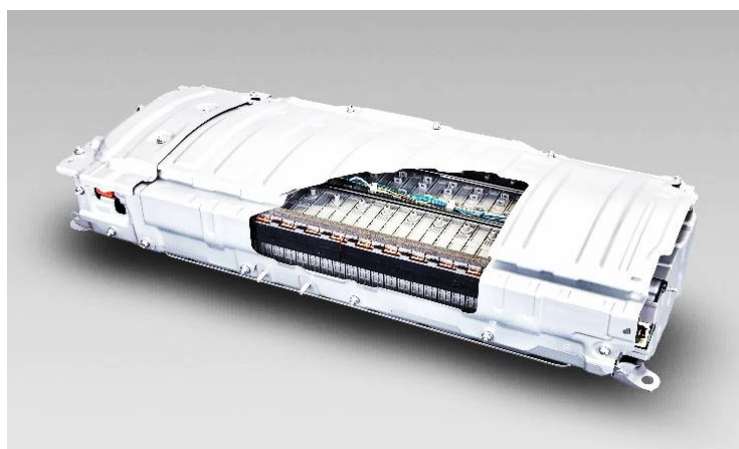


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд нікель-металогідридного акумулятора

До одного з основних достоїнств необхідно віднести заміну негативного електрода, що дозволило в 1,3–2 рази збільшити закладку активних мас позитивного електрода, який визначає ємність акумулятора. Таким чином, нікель-металогідридні акумулятори володіють більш високими енергетичними характеристиками в порівнянні з нікель-кадмієвих накопичувачами. Так, питома вагова енергія NiMh акумуляторів досягає величини 80 Вт год/кг, а питома об'ємна енергія – 190 Вт год/л. Ємність, яку здатний віддати акумулятор, залежить як від величини його навантаження при розряді, так і від температури навколишнього середовища.

Нікель-металогідридні акумулятори за своєю конструкцією є аналогами нікель-кадмієвих акумуляторів, а по електрохімічним процесам – нікель-

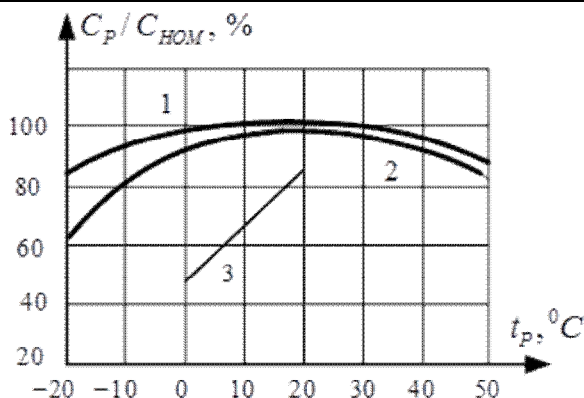
водневих акумуляторів. Питома енергія NiMh акумулятора значно вище питомої енергії NiCd і Ni-H₂-акумуляторів (таблиця 1.1).

З підвищенням навантаження (зменшення часу розряду) і при зниженні температури ємність NiMh акумулятора зменшується (рисунок 1.5). Особливо помітно дія зниження температури на ємність при великих швидкостях розряду і при температурах нижче 0 С.

При зберіганні відбувається саморозряд NiMh акумулятора. Через місяць при кімнатній температурі втрата ємності складає 20-30%, а при подальшому зберіганні втрати зменшуються до 3-7% в місяць. Швидкість саморозряду підвищується при збільшенні температури (рисунок 1.6).

Таблиця 1.1 – Порівняння типів Ni-Mh, Ni-Cd і Ni-H₂-акумуляторів

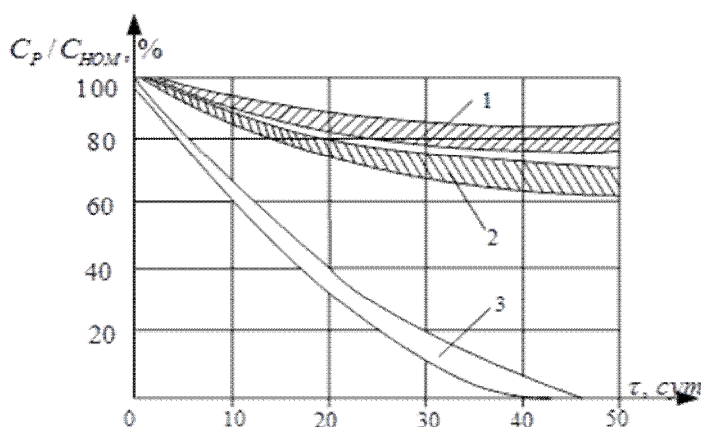
Параметр	Типи акумуляторів		
	Ni-Cd	Ni-H ₂	Ni-Mh
Номинальна напруга, В	1,2	1,2	1,2
Питома енергія: Вт·ч/кг Вт·м/дм ³	20-40	40-55	50-80
	60-120	60-80	100-270
Питома потужність, Вт/кг	50-400	50-100	50-1100
Термін служби, рік	1-5	2-7	1-5
Термін служби, цикл	500-1000	2000-3000	500-2000
Саморозряд, %	20-30 (за 28 доб.)	20-30 (за 1 доб.)	20-40 (за 28 доб.)
Робоча температура, °С	-50...+60	-20...+30	-40...+60
Шкідливі речовини	Cd	Ні	Ні



1- струм розряду 0,2 С; 2- струм розряду 1 С;
2- струм розряду 3 С

Рисунок 1.5 – Залежність розрядної ємності NiMh акумулятора від температури при різних токах розряду

ККД NiMh акумуляторів по напрузі η_C складає 83–87 %. ККД (віддача) по ємності η_U і по енергії η_W NiMh - акумуляторів залежить від швидкостей протікання основної та побічної (виділення кисню) реакцій на окисно-нікелевому електроді. При зарядній ємності C_3 до $0,8 C_{ном}$ швидкість побічної реакції дуже мала і $\eta_C \approx 100 \%$, $\eta_W \approx 85 \%$. При $C_3 = 1,5 \cdot C_{ном}$, $\eta_C = 67 \%$. і $\eta_W \approx 55 \%$ - 58 %.



1 – при температурі 0°C; 2 – при температурі 20°C;
3 – при температурі 40°C

Рисунок 1.6 - Залежність розрядної ємності NiMh акумулятора від часу зберігання при різних температурах

Переваги та недоліки NiMh акумуляторів. Значне збільшення питомих енергетичних параметрів не єдина перевага NiMh акумуляторів перед NiCd акумуляторами. Відмова від кадмію означає також перехід до більш екологічно чистим виробництвам. Легше вирішується і проблема утилізації що вийшли з ладу акумуляторів. Ці гідності NiMh акумуляторів визначили більш швидке зростання обсягів їх виробництва у всіх провідних світових акумуляторних компаній у порівнянні з NiCd акумуляторами.

У NiMh акумуляторів немає «ефекту пам'яті», що властиве NiCd акумуляторам через утворення нікелата в негативному кадмієвому електроді. Однак ефекти, пов'язані з перезарядом окисно-нікелевого електрода, зберігаються.

Зменшення розрядної напруги, що спостерігається при частих і довгих перезарядках так само, як і у NiCd акумуляторів, може бути усунуто при періодичному здійсненні кількох розрядів до 1 В. Такі розряди досить проводити 1 раз на місяць.

Однак нікель-металогідридні акумулятори поступаються нікель-кадмієвих, які вони покликані замінити, за деякими експлуатаційними характеристиками:

- NiMh акумулятори ефективно працюють в більш вузькому інтервалі робочих струмів, що пов'язано з обмеженою десорбцією водню металогідридного електрода при дуже високих швидкостях розряду;
- NiMh акумулятори мають більш вузький температурний діапазон експлуатації: велика їх частина непрацездатна при температурі нижче -10°C і вище $+40^{\circ}\text{C}$, хоча в окремих серіях акумуляторів коригування рецептур забезпечила розширення температурних меж;
- протягом заряду NiMh акумуляторів виділяється більше теплоти, ніж при заряді NiCd акумуляторів, тому з метою попередження перегріву батареї з NiMh акумуляторів в процесі швидкого заряду і/або значного перезарядження в них встановлюють термо-запобіжники або термо-реле, які мають у своєму розпорядженні на стінці одного з акумуляторів в центральній частині батареї;
- NiMh акумулятори мають підвищений саморозряд, що визначається неминучістю реакції водню, розчиненого в електроліті, з позитивним оксидно-нікелевим електродом (завдяки використанню спеціальних сплавів негативного електрода, вдалося домогтися зниження швидкості саморозряду до величин, близьких до показників для NiCd акумуляторів);

– небезпеку перегріву при заряді одного з NiMh акумуляторів батареї, а також переполюсовання акумулятора з меншою ємністю при розряді батареї, зростає з неузгодженістю параметрів акумуляторів в результаті тривалого циклювання, тому створення батарей більш ніж з 10 акумуляторів не рекомендується усіма виробниками.

Як вже зазначалося раніше, деградація NiMh акумуляторів визначається, перш за все, зниженням при циклюванні сорбуючою здатності негативного електрода. У циклі заряду–розряду відбувається зміна обсягу кристалічної решітки сплаву, що призводить до утворення тріщин і подальшої корозії при реакції з електролітом. Освіта продуктів корозії відбувається з поглинанням кисню і водню, в результаті чого зменшується загальна кількість електроліту і підвищується внутрішній опір акумулятора.

Слід зауважити, що характеристики NiMh акумуляторів істотно залежать від сплаву негативного електрода і технології обробки металу для підвищення стабільності його складу і структури. Це змушує виробників акумуляторів уважно ставитися до вибору постачальників сплаву, а споживачів акумуляторів – до вибору компанії-виробника.

Найбільш часто в електромобілях застосовують літій-іонні (Li-ion) акумулятори. Це пов'язано з їх перевагами в порівнянні з широко використовуваними раніше нікель-металогідридними (NiMh) і нікель-кадмієвих (NiCd) акумуляторами. У Li-ion акумуляторів значно кращі параметри. Однак слід враховувати, що NiCd акумулятори мають одну важливу гідність: здатність забезпечувати великі струми розряду. Це властивість не є критично важливим при харчуванні ноутбуків або стільникових телефонів (де частка Li-ion доходить до 80% і їх частка стає все більше і більше), але існує досить багато пристроїв, які споживають великі струми, наприклад всілякі електроінструменти, електробритви і т.п. До сих пір ці пристрої були вочиною майже виключно NiCd акумуляторів. Однак в даний час, особливо в зв'язку з обмеженням застосування кадмію відповідно до директиви RoHS, різко

активізувалися дослідження по створенню безкадмієвих акумуляторів з великим розрядних струмом[24].

Літій-іонний акумулятор (Li-ion). Вторинні джерела енергії на основі літієвого електрода, з яких особливо виділяються літій-іонні системи, все більше завойовують ринок як слаботочної, так і силової електроапаратури. Прорив літій-іонних джерел пов'язаний з очікуваними високими питомими характеристиками і значним розширенням робочого температурного діапазону. Конструктивно літій-іонні акумулятори випускаються в призматичних і циліндричних варіантах.

В циліндричних акумуляторах скручений у вигляді рулону пакет електродів і сепаратора поміщений в алюмінієвий корпус, з яким з'єднаний негативний електрод. Позитивний електрод акумулятора виведений через ізолятор на кришку. Зовнішній вигляд літій-іонного акумулятора електромобіля Nissan Leaf представлений на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Літій-іонна акумуляторна батарея електромобіля Nissan Leaf

Літій-іонний акумулятор для електромобіля зібраний з 192 осередків. До складу акумулятора включений манганат літію на позитивних пластинах і графіт на негативному електроді. Маса акумулятора близько 270 кг і розташована він під сидіннями електромобіля (рисунок 1.8). При ємності батареї 24 кВт·год і можливості рекуперативного гальмування запас ходу електромобіля складе близько 240 км. Життєвий цикл даного акумулятора

складає більше 5 років. Повний цикл заряду Li-іон акумуляторів від побутової електромережі з напругою 220 В і силою струму 12 А триває близько 9 год, 80 % ємності на спеціальному зарядному пристрої Nissan заповнюються за 30 хв. Електромобіль обладнаний двома гніздами для зарядних пристроїв в передній частині машини: одне для стандартної і інше для прискореної підзарядки (рисунок 1.9).



Рисунок 1.8 – Розміщення літій-іонної акумуляторної батареї в електромобілі Nissan Leaf



Рисунок 1.9 – Роз'єми для заряду електромобіля Nissan Leaf

В основі роботи електродів Li-іон акумулятора лежить принцип впровадження-вилучення іонів літію в матрицю певної структури. Такі матриці виступають в ролі «господаря», що представляють вільні простори своєї структури «гостю», яким є іон літію. При цьому гість, при здійсненні заряду або розряду акумулятора впроваджується в одну з матриць і відповідно йде з

іншого. Завдяки цьому, подібну структуру називають «крісло-качалка». Середовищем, через яку відбувається перенесення іона літію, є електроліт. Зображення структури Li-іон акумулятора («крісло-качалка») показано на рисунку 1.10.

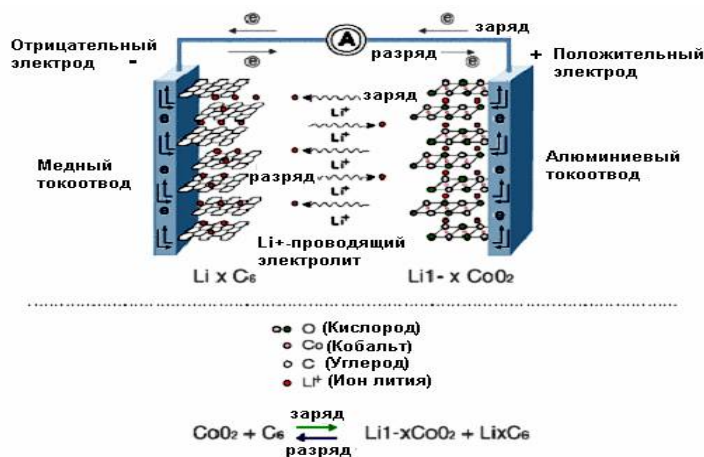


Рисунок 1.10 – Структурне зображення літій-іонного акумулятора

Зі схеми видно, що процес не обмежується тільки перенесенням іона літію. Одночасно в тому ж напрямку відбувається перенос електрона, так що спад позитивного заряду на аноді акумулятора компенсується відходом електрона, а прибуття позитивного заряду на катоді компенсується приходом електрона. При заряді іон літію залишає матрицю позитивного електрода і впроваджується в вуглецеву матрицю (негативний електрод). При розряді відбувається зворотний процес. Середовищем, через яку відбувається перенесення іонів літію від електрода до електрода, служать рідкі або тверді електроліти. Перенесення електронів здійснюється за зовнішньому провіднику, що з'єднує два електроди[25].

Сучасні літій-іонні акумулятори досягли високих питомих показників: 100–180 Вт·год/кг і 250–400 Вт·год/л. Робоча напруга акумуляторів 3,5–3,7 В. Сучасні акумулятори працездатні при токах розряду до 20 С. Ставлення зарядної ємності літій-іонних акумуляторів до їх розрядної ємності близько до одиниці. Як правило, кількість циклів перезарядження акумулятора не більше 1000.

На рисунку 1.11 наведена розрядна характеристика літій-іонного акумулятора при різних температурах навколишнього середовища $+20^{\circ}\text{C}$ і при різних токах розряду.

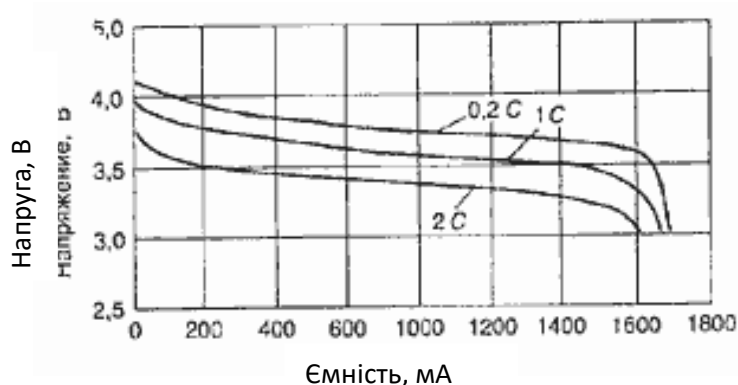


Рисунок 1.11 – Розрядна характеристика літій-іонного акумулятора

Як видно з графіка, для даного акумулятора розряд (при температурі $+20^{\circ}\text{C}$) при токах навантаження 0,2C, 1C і 2C не робить істотного впливу на його розрядні характеристики.

Li-ion акумулятори заряджаються в комбінованому режимі: спочатку при постійному струмі (в діапазоні від 0,2C до 1C) до напруги 4,1–4,2 В (в залежності від рекомендацій виробника), далі при постійній напрузі. Перша стадія заряду може тривати близько 40 хв, друга стадія довше. Більш швидкий заряд може бути досягнутий при імпульсному режимі.

У початковий період, коли тільки з'явилися Li-ion акумуляторні батареї, що використовують графітову систему, потрібно обмеження напруги заряду з розрахунку 4,1 В на елемент. Хоча використання більш високої напруги дозволяє підвищити енергетичну щільність, окислювальні реакції, які відбуваються в елементах такого типу при напрузі, що перевищують поріг 4,1 В, приводили до скорочення їх терміну служби. Згодом цей недолік ліквідували за рахунок застосування хімічних добавок, і в даний час Li-ion елементи можна заряджати до напруги 4,20 В. Допустиме відхилення напруги становить лише близько $\pm 0,05$ В на елемент. Li-ion акумуляторні батареї промислового і військового призначення повинні мати більший термін служби, ніж батареї для комерційного використання. Тому для них гранична напруга кінця заряду

становить 3,90 В на елемент[26]. Хоча енергетична щільність (кВт/кг) у таких батареях нижче, підвищений термін служби при невеликих розмірах, малій вазі і більш висока в порівнянні з батареями інших типів енергетична щільність, ставлять Li-ion батареї поза конкуренцією. При заряді Li-ion акумуляторних батарей струмом 1 С час заряду становить 2-3 год. Li-ion батарея досягає стану повного заряду, коли напруга на ній стає рівним напрузі відсічення, а струм при цьому значно зменшується і складає приблизно 3 % від початкового струму заряду

Етап струмової підзарядки для Li-ion акумуляторів непридатний через те, що вони не можуть поглинати енергію при перезаряді. Більш того, струмова підзарядка може викликати металізацію літію, що робить роботу акумулятора нестабільною. Навпаки, коротка підзарядка постійним струмом здатна компенсувати невеликий саморозряд Li-ion батареї і компенсувати втрати енергії, викликані роботою її пристрою захисту. Залежно від типу зарядного пристрою і ступеня саморозряду Li-ion батареї така підзарядка може виконуватися через кожні 500 год, або 20 днів. Зазвичай її слід здійснювати при зниженні напруги холостого ходу до 4,05 В/елемент і припиняти, коли воно досягне 4,20 В/елемент.

У деяких типах зарядних пристроїв для заряду літій-іонної акумуляторної батареї потрібно не більше 1 год часу. У таких зарядних пристроях етап 2 виключено, і батарея переходить в стан готовності відразу після закінчення етапу 1 (рисунок 1.13). У цій точці Li-ion батарея буде заряджена приблизно на 70%, і після цього можлива додаткова підзарядка.

Отже, Li-ion акумулятори мають низьку стійкість до перезаряду. На негативному електроді на поверхні вуглецевої матриці при значному перезаряді стає можливим осадження металевого літію, що володіє великою реакційною здатністю до електроліту, а на катоді починається активне виділення кисню. Виникає загроза теплового розгону, підвищення тиску і розгерметизації. Тому заряд Li-ion акумуляторів можна вести тільки до напруги, рекомендованої виробником. При збільшеній зарядній напрузі ресурс акумуляторів знижується.

Безпечній роботі Li-ion акумуляторних батареї повинна приділятися серйозна увага. В Li-ion батареї комерційного призначення є спеціальні пристрої захисту, що запобігають перевищення напруги заряду вище певного порогового значення. Додатковий елемент захисту забезпечує завершення заряду, якщо температура батареї досягне 90°C . Найбільш досконалі за конструкцією батареї мають ще один елемент захисту - механічний вимикач, який спрацьовує при збільшенні внутрішньокорпусного тиску батареї. Вбудована система контролю напруги налаштована на дві напруги відсічення - верхню і нижню. Є й винятки – Li-ion акумуляторні батареї, в яких пристрої захисту взагалі відсутні. Це акумуляторні батареї, до складу яких входить марганець. Завдяки його наявності, при перезаряді реакції металізації анода і виділення кисню на катоді відбуваються настільки повільно, що стало можливим відмовитися від застосування пристроїв захисту. Збереження Li-ion акумуляторів. Все літєві акумулятори характеризуються досить гарною схоронністю. Втрата ємності за рахунок саморозряду 5-10% в рік[25].

Наведені показники слід розглядати як деякі номінальні орієнтири. Для кожного конкретного акумулятора, наприклад, розрядна напруга залежить від струму розряду, рівня розрядженості, температури; ресурс залежить від режимів (струмів) розряду і заряду, температури, глибини розряду; діапазон робочих температур залежить від рівня вироблення ресурсу, допустимої робочої напруги і т.д.

До недоліків Li-ion акумуляторів слід віднести чутливість до перезаряду і перерозряду, через це вони повинні мати обмежувачі заряду і розряду. Що стосується експлуатації Li-ion акумуляторів взагалі, то, з огляду на всі конструктивні і хімічні способи захисту акумуляторів від перегріву і вже стале уявлення про необхідність зовнішньої електронного захисту акумуляторів від перезаряду і переразряду, можна вважати проблему безпеки експлуатації Li-ion акумуляторів вирішеною. А нові катодні матеріали часто забезпечують ще більшу термічну стабільність Li-ion акумуляторів.

1.3. Вибір електрохімічної системи для тягового електроприводу автомобіля

В даний час експлуатаційні характеристики електромобіля визначаються, перш за все, параметрами електрохімічного джерела енергії (акумуляторною батареєю). Потужність джерела енергії визначає його динамічні характеристики (час розгону, рух на підйом), а ресурс роботи і надійність – ресурс електромобіля в цілому. Як приклад для вибору хімічного джерела енергії, наводяться параметри тягової акумуляторної батареї електромобіля для пересування в межах невеликої території, зокрема ділового центру міста:

- енергоємність, E , Вт·год – 15000;
- максимальна потужність, P_{max} , Вт, і час t її реалізації – 22500, не більш 16 сек і тривало реалізована потужність, P_{pm} Вт – 5700;
- маса акумуляторної батареї, кг, не більш – $100 \pm 10\%$;
- габаритні розміри, не більше, dm^3 – 96;
- температурний діапазон, $^{\circ}C$, $-40 \dots +50$.

Проведемо порівняння основних параметрів свинцево-кислотної, нікель-кадмієвої, нікель-металогідридної і літій-іонної електрохімічних систем. За результатами порівняння параметрів, вибирається джерело енергії тягового приводу електромобіля. Для більш наочного уявлення, характеристики джерел струму представлені в графічному вигляді.

На рисунку 1.14 показані розрядні характеристики одиничних акумуляторів Pb, NiCd, NiMh, Li-ion електрохімічних систем при постійному струмі розряду величиною 1 С і температурі $+20^{\circ}C$.

Кінцеві розрядні напруги для Pb, NiCd, NiMh, Li-ion електрохімічних систем - 1,38, 1,08, 1,08, 3,08 відповідно. Як видно з рис. 1.14, найбільшу кількість своєї енергії акумулятор віддає на лінійній ділянці розрядної кривої. Середня енергія, віддана акумуляторами при розряді на лінійній ділянці кривої, розраховується за формулою

$$E_{cp} = U_{cp} \cdot I_p \cdot t, \quad (1.1)$$

де E_{cp} - середня енергія, віддана акумулятором при розряді;

U_{cp} - середня розрядна напруга;

I_p - розрядний струм рівний C ;

t - час.

Розрахована за формулою (1.1) розрядна енергія, Вт·год: Pb - $1,17 \cdot 1 \text{ C}$; NiCd - $0,89 \cdot 1 \text{ C}$; NiMh - $0,93 \cdot 1 \text{ C}$; Li-ion - $2,74 \cdot 1 \text{ C}$, где 1 C – розрядний струм акумулятора.

Розрядний струм для кожної електрохімічної системи становить 1 C і залишається постійним на всьому проміжку розрядної кривої, то малюнок 1.15 дає наочне якісне уявлення про енергетичні властивості розглянутих накопичувачів енергії.

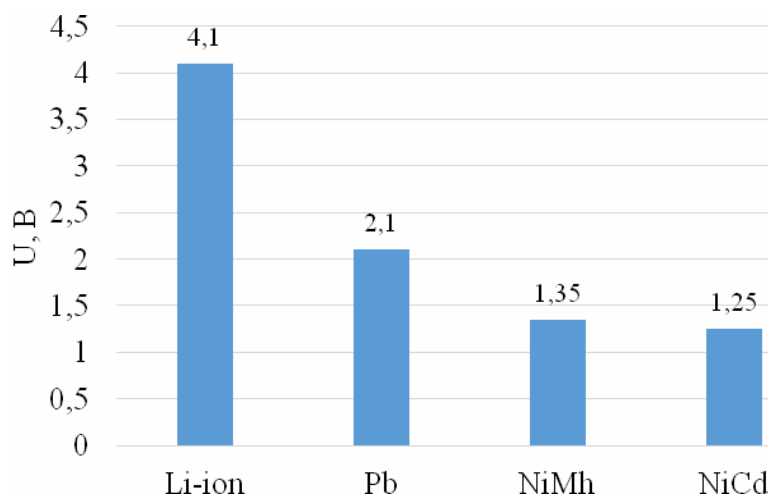


Рисунок 1.15 – Якісне представлення кривих електрохімічних систем

Як видно з розрахунку і гістограм при однакових умовах розряду, енергія Li-ion акумулятора, більш ніж в 2,3 рази перевищує розрядну енергію Pb акумулятора і приблизно в 3 рази перевищує енергію NiCd і NiMh електрохімічних систем.

Розрахункова енергія акумуляторної батареї електромобіля (пробіг 150 км) для руху в межах ділового центру міста становить не більше 15 кВт год.

Важливою характеристикою при оцінці ресурсу електрохімічної системи є число робочих циклів заряду-розряду. У довідковій літературі в основному приведено кількість циклів акумуляторів, при якому знімаєма ємність зменшується до 80%. На рисунку 1.23 показаний ресурс Pb, NiCd, NiMh, Li-ion електрохімічних систем при зниженні їх ємності до 80 %.

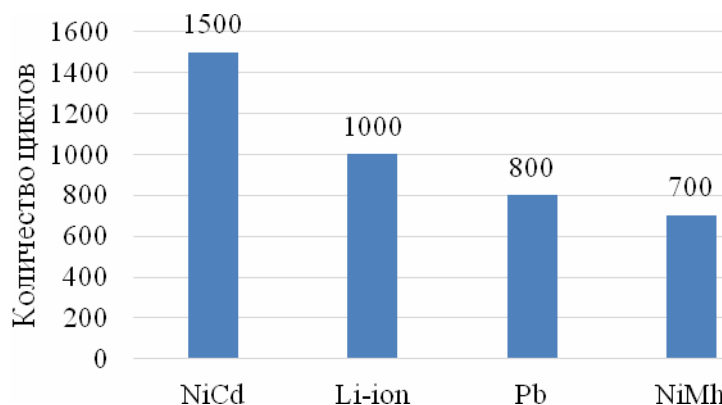


Рисунок 1.16 – Ресурс акумуляторів при зниженні ємності до 80 %

Як видно з рисунку 1.16, найбільший ресурс у NiCd електрохімічної системи (1500 робочих циклів), найменший у NiMh (700 робочих циклів). При виборі джерела струму слід розглядати економічну складову, яка, як правило, виражається вартістю одиниці енергії (Вт год) електрохімічного джерела струму.

На рисунку 1.17 представлена гістограма енергоємності різних систем накопичувачів, включаючи циліндричне і призматичне виконання літій-іонного акумулятора. Як видно, найнижча вартість енергії у свинцево-кислотного акумулятора (0,12 \$ / Вт год). Li-ion акумулятор в призматичному виконанні є найбільш дорогим з представлених систем, вартість одиниці енергії якого на сьогоднішній день становить (1,0 \$/Вт·ч). Li-ion акумулятори в циліндричному виконанні (0,35 \$/Вт год) обходяться дешевше призматичних в – 2,86, в – 1,43 рази дешевше NiCd і NiMh, і в 2,92 рази дорожче свинцево-кислотних. Але не

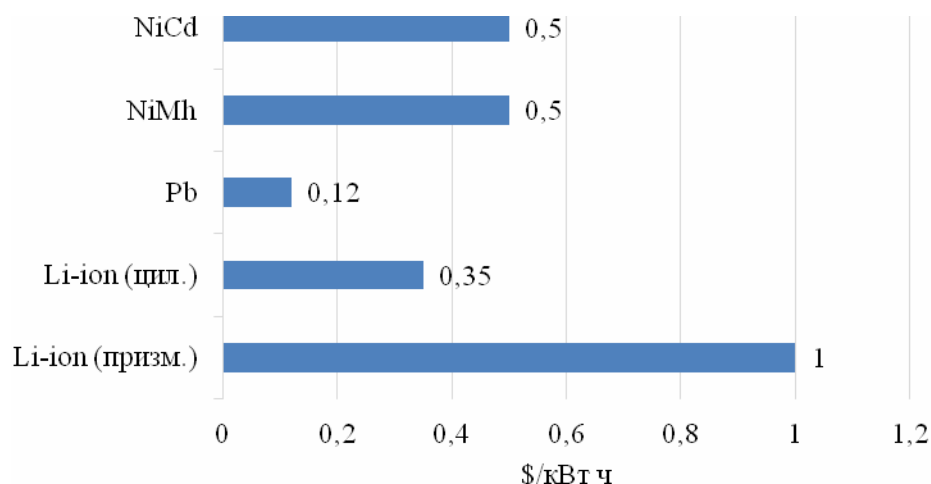


Рисунок 1.17 – Вартість одиниці енергії акумуляторних батарей

дивлячись на перевагу циліндричних Li-ion акумуляторів за вартістю, їх питомі енергетичні характеристики нижчі в порівнянні з акумуляторами призматичної конструкції, до того ж їх об'єднання в батарею досить незручно. У перспективі, з ростом виробництва Li-ion джерел струму, вартість енергії значно знизиться, і за прогнозами фахівців, в найближчі 3-5 років, буде порівнянна з вартістю свинцево-кислотних акумуляторів.

Так як транспортний засіб експлуатується при різних температурах навколишнього середовища, необхідно враховувати вплив температури акумулятора на його здатність віддавати енергію (рисунок 1.25).

Як видно з рисунка 1.18, найкращі розрядні характеристики для всіх без винятку електрохімічних систем досягаються при температурі вище 0°C . На ділянці негативних температур від -40°C до -20°C , розрядні характеристики електрохімічних систем практично збігаються. На інших ділянках температурної шкали, найбільша ефективність розряду у Li-іонної системи, а найменша у нікель-кадмієвого акумулятора.

Як показано вище, Li-ion акумулятори перевершують розглянуті електрохімічні системи практично за всіма показниками за винятком вартості

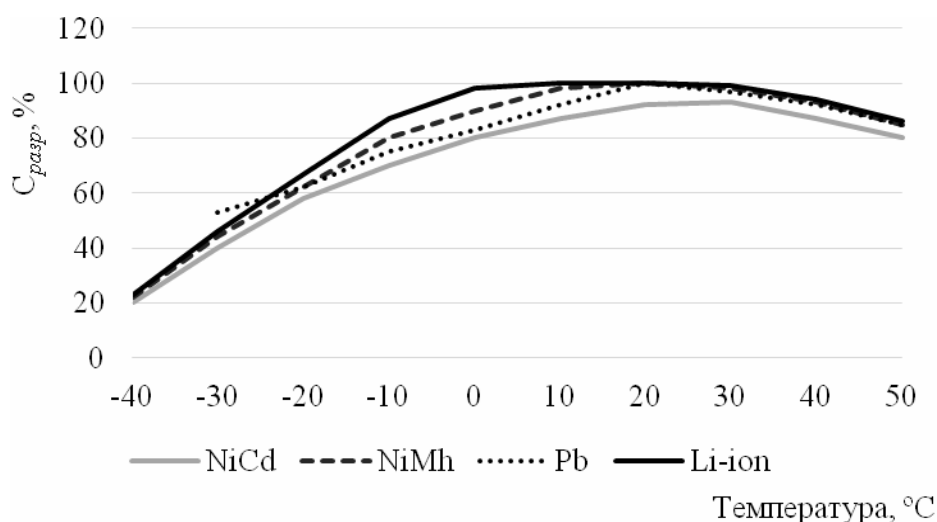


Рисунок 1.18 – Ефективність розряду при різних температурах

енергії і в порівнянні з ресурсними характеристиками NiCd акумуляторів. Але тут слід зазначити, що Li-ion акумулятора на відміну від нікель-кадмієвого не є притаманним «ефект пам'яті» який значно знижує його ресурс. Для зниження «ефекту пам'яті» або відновлення властивостей акумулятора потрібне додаткове дорозрядне обладнання, яке впливає на економічну складову комплексу обслуговування батареї[25].

Після проведеного порівняльного аналізу характеристик видно, що очевидні переваги практично за всіма основними параметрами мають Li-ion акумулятори, а накопичувач енергії побудований на базі цих акумуляторів відповідає вимогам технічного завдання на джерело енергії тягового електроприводу.

Li-ion акумулятори, зі своїми високими питомими характеристиками, завоюють все більш широкий ринок і поступово відтісняють інші електрохімічні системи використовуються в даний час в тяговому приводі електромобілів. На сьогоднішній день, альтернатива Li-ion акумулятора є Li-полімерне джерело струму, який можна розглядати як окремий випадок Li-ion електрохімічної системи. Його питомі характеристики перевищують показники Li-ion системи, однак, Li-полімер має набагато більш високу вартість, що в

даний час робить його практично не конкурентоспроможним на світовому ринку.

ВИСНОВКИ

Розглядаючи перспективи автомобільної промисловості, необхідно виділити кілька факторів що найбільш істотний вплив на її розвиток: посилення конкуренції між автовиробниками; розвиток екологічних вимог до змісту шкідливих викидів; обмеження на ринках енергоносіїв; якісне зростання рівня техніки і технологій в області електротехніки та електроніки; необхідність забезпечення високого рівня якості і надійності як традиційних, так і перспективних транспортних комплексів.

В даний час, активно розробляються нові технічні рішення, що забезпечують підвищення ефективності транспортних засобів на основі електричних технологій: застосування нових матеріалів в конструкціях тягової акумуляторної батареї і електроприводах; розробка і реалізація сервісних проектів з обслуговування транспортних засобів; розвиток інтелектуальних технологій моніторингу, забезпечення та оптимізації руху транспортних потоків.

Незважаючи на актуальність електромобілів, вже зараз сформовані світові ресурсні, наукові та виробничі центри, які реалізують перспективні завдання. У число таких центрів України поки не потрапляє, через відсутність конкурентних техніко-технологічних рішень в областях ресурсного, проектного, виробничого і сервісного забезпечення інноваційних проектів екологічного транспорту.

При реалізації завдання моделювання основних процесів електромобіля були представлені методологічні інструменти проектування відповідних транспортних засобів: рівняння циклічного руху автомобілів; методологія моделювання енергоємних накопичувачів гібридної енергоустановки; проведено дослідження та моделювання бортових електросилових накопичувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бажинов О.В, Бажинова Т.О., Кравцов М.М. Основи ефективного використання екологічно-чистих автомобілів: монографія. Х.: ФОП Панов А.М., 2018. – 200 с. ISBN 978-617-7722-30-3
2. Бажинова Т.О. Характеристика розв'язання неформалізованих задач стосовно до транспортних засобів / Бажинова Т.О., Берус С.В. // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: зб. наук. пр. 2019. Вып. 198.С. 388–392.
3. Вершина Г.А., Якубенко Г.Я. Методическое пособие по курсам «Теория рабочих процессов ДВС» и «Динамика ДВС» для студентов специальности Т.05.10.00. - Мн.: Техноперспектива, 2009. -87 с.
4. Строганов, В.И. Проблемы и тенденции проектно-технологического развития электромобилей // В. И. Строганов, В.Н. Козловский, В.И. Воловач // Автомобильная промышленность. – 2014. – №4. – С.1 –
5. Изьюрова Г.И., Королев Г.В., Терехов В.А. Расчет электронных схем. Примеры и задачи. - М.: Высш.шк, 1987. - 335 с.
6. Бажинова Т.О. Визначення перспектив розвитку ринку електромобілів і гібридних автомобілів/ Бажинова Т.О., Бережний А.Д. // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» - 2020» 23-25 квітня 2020 р., м. Київ. С. 100–102.
7. Строганов, В. И. Современные энергоустановки гибридных автомобилей / В. И. Строганов, Д. И. Гурьянов // Материалы междунар. научно-техн. конф. «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». – М. : МГТУ «МАМИ», 2002