

УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Вступ. Електротранспорт неухильно входить у повсякденне життя, пропонуючи екологічні та економічні переваги перед традиційними видами транспорту на ископному паливі [1]. Одним з ключових аспектів цього переходу є ефективне управління життєвим циклом батарей електромобілів, які слугують як основне джерело енергії для транспортних засобів. Значення батарей у електромобілях виходить за рамки лише первинного використання у транспорті та охоплює потенціал вторинного використання у системах зберігання енергії, що може суттєво покращити стійкість та гнучкість енергосистем.

З огляду на стрімке зростання числа електромобілів та передбачуване збільшення вибуття з експлуатації частково деградованих батарей, актуальність вирішення питань вторинного використання та ефективного перероблення стає дедалі більшою. Необхідно дослідити стратегії та методи управління життєвим циклом батарей з погляду їх впливу на надійність та стійкість енергосистеми, а також з урахуванням змін у ринкових умовах та енергетичній політиці.

Матеріал та результати дослідження.

Життєвий цикл батарей електротранспорту

Батареї електротранспорту є ключовими елементами у ширшому енергетичному ландшафті майбутнього. Їх життєвий цикл починається з виробництва, де застосовуються сучасні технології та інноваційні матеріали, щоб створити продукти, які задовольняють високі вимоги до енергоємності, безпеки та довговічності. Первинне використання батарей у транспорті є критичним етапом, де вони відіграють роль визначального чинника в автономності та ефективності електромобілів [2].

Гарантійний період для батарей електротранспорту, який зазвичай складає 8–10 років, є періодом, протягом якого виробник гарантує їхню надійність та продуктивність (Рис. 1) [3]. Проте, діяльність батарей часто перевищує цей гарантійний період, і їх експлуатаційна надійність може продовжуватись значно довше, іноді досягаючи 15-20 років в залежності від умов використання та догляду. Виробники намагаються мінімізувати втрату ємності батарей, оптимізуючи процеси зарядки та розрядки, а також впроваджуючи системи терморегуляції [4].

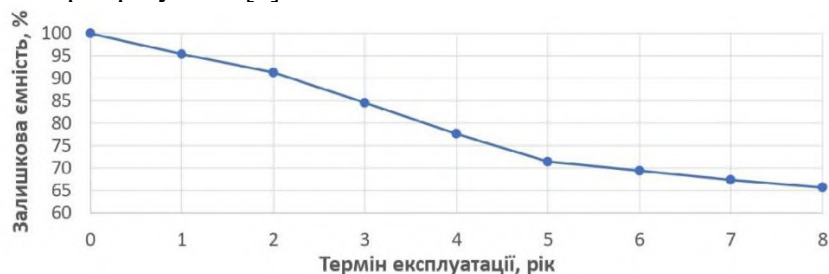


Рисунок 1 – Динаміка зниження ємності батареї електромобіля [3]

Коли батареї досягають кінця свого первинного використання в автомобілях, вони залишаються придатними для вторинного використання, наприклад, як стаціонарні системи зберігання енергії. Використання батарей електромобілів дає можливість ефективно використовувати накопичену енергію для підтримки енергомережі, особливо під час пікових навантажень або в умовах енергетичного дефіциту [4,5]. Це не тільки сприяє більш ефективному використанню ресурсів, але й відіграє важливу роль у зменшенні екологічного впливу за рахунок зниження потреби у нових батареях та зменшення відходів.

Після закінчення первинного використання в електромобілі батареї можуть бути відправлені на переробку, де цінні матеріали, такі як літій, кобальт та нікель, можуть бути відновлені та повторно використані для виробництва нових батарей (Рис.2). Такий підхід не лише забезпечує ефективне використання ресурсів, але й підтримує принципи циркулярної економіки, зменшуючи необхідність у нових матеріалах та знижуючи загальну вартість батарей для споживачів і виробників.



Рисунок 2 – Вторинне застосування батареї електромобіля

1. Моделі вторинного використання батарей електротранспорту

Моделі вторинного використання батарей електротранспорту відкривають нові можливості для ефективного використання енергетичних ресурсів та екологічності [6]. Однією з передових концепцій є "Батарея як послуга" (Battery as a Service, BaaS), що дозволяє споживачам користуватися батареєю на основі підписки без необхідності її купівлі. Це знижує первинну вартість електромобілів та усуває турботи про деградацію батарей з власників.

Лізинг батарей пропонує схожий підхід, де споживачі отримують ексклюзивне право на використання батареї протягом певного періоду за фіксовану місячну плату, в той час як сам автомобіль може бути придбаний або взятий у лізинг. Це зменшує початкові витрати та передає ризик застарівання та утилізації батарей від споживачів до виробників.

Екологічний збір за утилізацію батарей передбачає збір коштів з власників транспортних засобів при покупці нового автомобіля, які пізніше використовуються для фінансування процесу переробки батарей, коли вони виходять з експлуатації. Цей підхід спрощує процес для виробника, однак збільшує вартість нового транспортного засобу при покупці.

Модель вільного ринку базується на економічних принципах попиту та пропозиції, які визначають подальшу долю використаних батарей. Цей підхід створює конкурентне середовище, де вартість батарей, придатних для вторинного використання, збільшується, а вартість автомобілів зі старими батареями, які потребують заміни, знижується.

Комбінована модель, що поєднує "Батарею як послугу" або лізинг з екологічним збором, надає споживачам вибір між сервісом або покупкою. Якщо споживач вибирає сервіс або лізинг, виробник бере на себе відповідальність за управління життєвим циклом батареї, а якщо покупець вирішує придбати транспортний засіб, він сплачує екологічний збір за утилізацію батареї.

Ці моделі пропонують різні підходи до управління життєвим циклом батарей, кожен з яких має свої переваги та недоліки, що варто розглянути в контексті відповідального споживання та сталого розвитку енергосистеми.

2. Інтеграція батарей вторинного використання в енергосистему

Вторинно використані батареї з електротранспорту доцільно використовувати у системах зберігання енергії, сприяючи зміцненню інфраструктури відновлюваних джерел енергії. Вони ефективно виконують роль стаціонарних накопичувачів, дозволяючи зберігати надлишок енергії в періоди низького споживання та відпускати її під час пікових навантажень, тим самим вирівнюючи коливання виробітку та споживання електроенергії.

Ці батареї також грають ключову роль у балансуванні енергомережі, забезпечуючи необхідні регульовальні послуги, що допомагає підтримувати стабільність та надійність електропостачання. Здатність швидко реагувати на зміни в навантаженні енергомережі робить вторинно використані батареї цінним активом для системного оператора, особливо в умовах, коли відновлювані джерела енергії вносять зростаючий вклад у енергетичний баланс.

Важливим аспектом застосування вторинних батарей є їхня спроможність забезпечувати резервне живлення для критично важливих об'єктів інфраструктури, таких як лікарні, школи, водоочисні станції та інші заклади, що потребують неперервного електропостачання. У випадку стихійних лих або інших аварійних ситуацій ці батареї можуть стати незамінним ресурсом для підтримки життєдіяльності громад.

3. Техніко-економічний аналіз вторинного використання батарей електротранспорту.

Техніко-економічний аналіз вторинного використання батарей електротранспорту є ключовим для визначення їхньої життєздатності як стаціонарних систем зберігання енергії. Цей аналіз допомагає оцінити, чи є відновлення та використання вичерпаних батарей з економічної точки зору вигідними порівняно з інвестиціями в нові системи зберігання.

3.1. Ефективність вторинного використання полягає у визначенні продуктивності батарей після їхнього первинного життєвого циклу в автомобілях. Це включає оцінку збереженої ємності, здатності до заряду та розряду, а також загальної надійності батарей. Проведення випробувань та моніторингу батарей може виявити, наскільки ефективно вони здатні функціонувати у другорядних додатках, таких як стаціонарні системи зберігання енергії.

3.2. Оцінка вартості та прибутковості включає аналіз витрат, пов'язаних з відновленням та адаптацією батарей для нових застосувань, порівняно з потенційною вигодою від їх використання. Важливо врахувати повну економічну цінність батарей, зокрема зниження операційних витрат, підвищення енергетичної ефективності та можливість продажу енергії на ринок в періоди пікового попиту.

3.3. Аналіз ринкових умов і можливостей зосереджується на дослідженні попиту та пропозиції на ринку вторинних батарей, включаючи регуляторні рамки, інcentиви та бар'єри. Особливу увагу слід приділити динаміці цін на первинні та вторинні батареї, а також розглянути потенційні партнерства та колаборації з енергетичними компаніями, виробниками відновлювальної енергії та урядовими організаціями.

Техніко-економічний аналіз вторинного використання батарей дозволяє виробникам та енергетичним компаніям приймати обґрунтовані рішення щодо інтеграції цих систем у загальну стратегію енергетичної стійкості, що може призвести до покращення енергетичного балансу, зниження витрат та підвищення загальної стійкості енергосистеми.

Висновки. Стрімке зростання числа електромобілів та передбачуване збільшення вибуття з експлуатації частково деградованих батарей загострює актуальність вирішення питань їх вторинного використання та ефективного перероблення. Розглянуто стратегії та методи управління життєвим циклом батарей з погляду їх впливу на надійність та стійкість енергосистеми, а також з урахуванням змін у ринкових умовах та енергетичній політиці.

Первинне використання батарей у електромобілях та їх подальше вторинне застосування як стаціонарних накопичувачів енергії відкриває нові перспективи для інтеграції відновлюваних джерел енергії, стабілізації навантаження на енергомережу та забезпечення резервного електропостачання в критичних ситуаціях. Концепції "батарей як послуги" та лізингу батарей дозволяють споживачам зменшити первинні витрати на електротранспорт та подовжити використання батарей за рахунок їх вторинного застосування після завершення терміну служби в автомобілі. Також розглядається важливість впровадження екологічного збору за утилізацію батарей, що забезпечує фінансування їх відповідального перероблення або реалізації у системах зберігання енергії.

Загалом, інтеграція вторинно використаних батарей в енергосистему створює нові можливості для підвищення ефективності використання ресурсів, покращення екологічної стійкості та енергетичної безпеки.

Перелік використаних джерел:

1. Kostenko G. P. (2022). Overview of European trends in electric vehicle implementation and the influence on the power system. *System Research in Energy*, (1 (70), 62-71. <https://doi.org/10.15407/srenergy2022.01.062>
2. GP Kostenko, OV Zgurovets, MM Tovstenko. SWOT analysis of electric transport and V2G implementation for power system sustainable development in the terms of Ukraine. 2023 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1254 012030 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012030>
3. Луценко І. М., Циган П. С. Технічні та економічні аспекти використання електромобілів в електричних мережах України *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Енерго- та ресурсозберігаючі технології*. 2017. № 6 (107). С. 21-30.
4. Г.П. Костенко. Ситуаційний аналіз перспектив розвитку електротранспорту та його інтеграції до енергосистеми України. «Енергетика: економіка, технології, екологія», №1 (2023). <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2023.276185>
5. Kostenko, G., Zgurovets, O. (2023). Review on Possible Impact of Mass EVs Charging on the Power System and Ways to Mitigate It. In: Zaporozhets, A. (eds) *Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 481. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_34
6. C. H. Illa Font, H. V. Siqueira, J. E. Machado Neto, J. L. F. d. Santos, S. L. Stevan Jr, A. Converti, and F. C. Corrêa, "Second life of lithium-ion batteries of electric vehicles: A short review and perspectives," *Energies*, vol. 16, no. 2, p. 953, 2023.