

УДК 629.33:621.355

В. Є. ОЛІШЕВСЬКА^{1*}, Г. С. ОЛІШЕВСЬКИЙ^{2*}, Г. П. ІВАНОВА^{3*}

^{1*}Каф. автомобілів та автомобільного господарства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (099) 36 68 845, ел. пошта olishevsk.v.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351

^{2*} Каф. електроенергетики, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (095) 56 51 830, ел. пошта olishevskiy.h.s@nmu.one, ORCID 0000-0001-9576-7527

^{3*} Каф. будівництва, геотехніки та геомеханіки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (050) 45 29 945, ел. пошта ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

Акумуляторні батареї електромобілів: технічні та екологічні аспекти

Мета. Перспективним напрямом розвитку автомобільного транспорту можна вважати перехід на електромобілі, а одним із ключових елементів, що забезпечує функціонування та визначає перспективи розвитку електромобілів, є акумуляторні батареї. Основна мета роботи – дослідження технічних та екологічних аспектів виробництва, експлуатації та утилізації акумуляторних батарей електромобілів в Україні. **Методика.** Для оцінювання впливу акумуляторних батарей на розвиток електромобілів доцільно дослідити їх виробництво, експлуатацію, виведення з експлуатації (утилізацію). Сьогодні основними проблемами, які пов'язані з акумуляторними батареями електромобілів на етапі виробництва, є: потреба використання критичної сировини; труднощі виробництва високоемнісних та дешевих акумуляторів; поліпшення основних параметрів акумуляторних батарей; забруднення навколишнього середовища. На етапі експлуатації важливими викликами є зміна параметрів акумуляторних батарей і декарбонізація електроенергії, яку використовують під час експлуатації. Виведення акумуляторних батарей з експлуатації є складним завданням, тому що для виробництва компонентів використовують багато різних матеріалів, і для їх переробки на етапі утилізації потрібні різні технології. **Результати.** Проаналізовано сучасний стан, технічні та екологічні аспекти, пов'язані з виробництвом, експлуатацією та утилізацією акумуляторних батарей електромобілів. Показано, що акумуляторні батареї суттєво впливають на собівартість електромобілів, визначають їх характеристики з пробігу та зручності експлуатації, формують екологічний ефект. Акцентовано увагу, що вторинні акумулятори (батареї другого життя) можна використовувати для створення систем зберігання енергії, зарядних станцій для електромобілів та мікромережових енергетичних систем. **Наукова новизна.** Здійснено комплексний аналіз проблем виробництва, експлуатації та переробки акумуляторних батарей, що дозволяє виявити їх вплив на конкурентоспроможність, економічність та екологічність електромобілів. Виділено основні тенденції розвитку акумуляторних батарей електромобілів в Україні. Розглянуто проблеми виготовлення та переробки акумуляторних батарей. Акцентовано увагу, що розвиток інноваційних технологій створення ефективних, безпечних та доступних акумуляторних батарей є важливим кроком до переходу на екологічно чистий транспорт в Україні. **Практична значимість.** Виділено основні тенденції використання акумуляторних батарей електромобілів, які можна розвивати в Україні, розглянуто проблеми їх виготовлення та переробки.

Ключові слова: декарбонізація; електромобіль; акумуляторна батарея; технології; матеріали; критична сировина; екологічний вплив

Вступ

Однією з найяскравіших характеристик розвитку будь-якої країни є автомобільний транспорт. Роль автомобільного транспорту в сучасному суспільстві дуже велика. В Україні автомобільний транспорт, який належить до критичної інфраструктури, забезпечує більше половини обсягу пасажирських перевезень і три чверті вантажних перевезень [6, 11].

Автомобільний транспорт забезпечує не тільки рух пасажирських і товарно-матеріальних потоків, але й відіграє важливу роль у функціонуванні та розвитку економіки країн.

Сьогодні 99,8 % світового автомобільного транспорту працює на двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) [28]. Але автомобілі з ДВЗ є джерелом викидів в атмосферу шкідливих речовин, що значно погіршують екологічний стан навколишнього середовища, а проблема забруднення

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

набуває особливого значення в умовах урбанізації та стрімкого зростання міського населення [7, 15, 16, 29].

У процентному співвідношенні щодо шкідливих викидів автомобільного транспорту в містах, шкоди навколишньому середовищу і здоров'ю населення завдають: оксиди азоту (44,5 %), акролеїн (7,5 %), сажа (7,4 %), оксид вуглецю (6 %), діоксин сірки (3,4 %), формальдегід (2,8 %), бензапирен (1,3 %) та ацетальдегід (1,1 %) [7].

Забруднення шкідливими викидами повітря посідає четверте місце в містах серед ризиків для здоров'я людини після високого кров'яного тиску, дієт та куріння [3], [7].

Сучасною відповіддю на екологічні проблеми стала глобальна декарбонізація. Ключовим документом у цій сфері є Паризька угода, учасники якої – найбільші економіки світу, зокрема США, Китаю, ЄС. Важливим пунктом Паризької угоди є скорочення викидів за рахунок електрифікації транспорту.

У 2021 р. Європейська комісія (Fit for 55) представила пакет пропозицій у рамках European Green Deal, у якому заплановано скорочення викидів на 55 % до 2030 р. (порівняно з рівнем 1990 року), а до 2050 року – зведення їх до нуля. Про своє прагнення досягти вуглецевої нейтральності до 2050 р. заявили більше ніж 110 країн світу.

Перші електромобілі («Nissan Leaf») з'явилися на ринку у 2010 році, а сьогодні найбільшими ринками електромобілів є США, Японія та Китай, серед європейських країн активно розвивають ринки електромобілів Франція, Нідерланди, Норвегія, Німеччина, Великобританія [4, 29].

Сьогодні електромобілі виготовляє велика кількість компаній, серед яких «Nissan» («Leaf»), «Mitsubishi» («i MiEV»), «Toyota» («RAV4EV»), «Honda» («FitEV»), «Ford» («Focus Electric»), «Tesla» («Roadster», «Model S», «Model X», «Model 3»), «Renault» («Fluence Z.E.», «ZOE», «Kangoo Z.E.», «Twizy»), «BMW» («Active C», «i3»), «Volvo» («C30 Electric»), «Hyundai» («Ioniq Electric»), «General Motors» («Chevrolet Bolt»), «Mahindra» («e2o Plus»), «Volkswagen» («e-Golf»), «Opel» («Ampera-e»), «Mercedes-Benz» («B250e»), «Smart» («ForTwo», «ForTwo cabrio», «ForFour»), «Citroen» («Berlingo Electric»), «Fiat2» («500e»), практично всі автовиробники Китаю [4].

Підписання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС поставило перед автомобільним транспортом країни завдання екологічно безпечного розвитку та оптимального ресурсного забезпечення [13].

Для реалізації внеску України в рамках Паризької конвенції необхідно впроваджувати інновації та найкращі світові практики в усіх ключових секторах економіки. До 2030 р. в нашій країні передбачено виконання таких завдань:

- скорочення викидів парникових газів до 35 % порівняно з 1990 р.;

- збільшення частки електромобілів до 15 % від усієї кількості автомобілів;

- збільшення частки використання біопалива та розвиток низьковуглецевого транспорту.

Окремою проблемою під час функціонування автомобільного транспорту є утворення великої кількості відходів [10, 23]. Одним із найбільш небезпечних видів відходів автомобільного транспорту є відпрацьовані акумулятори.

Свинцево-кислотні акумулятори, які широко використовують на автомобільному транспорті, містять свинець, сірчану кислоту, ртуть, кадмій, діоксид марганцю, літій та ряд інших шкідливих речовин [10, 14, 23]. Досвід промислово розвинених країн світу показує, що сьогодні можлива майже стовідсоткова переробка свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів [12, 24].

Але перехід автомобільного транспорту на електромобілі викликає необхідність переробки літій-іонних, нікель-кадмієвих, нікель-метал-гідридних та інших акумуляторів електромобілів.

Актуальність проблеми переходу автомобільного транспорту на електромобілі, що потребують для експлуатації електричної енергії, зростає на тлі воєнного стану України, тому що об'єкти транспортної інфраструктури країни стали другим сектором (після житлових будівель), який зазнав найбільших руйнувань, пошкоджень або порушень функціонування [8, 21]. Великих руйнувань та пошкоджень зазнала й енергетична система країни.

Такий стан автомобільного транспорту та економіки країни потребує економії ресурсів і переходу на інноваційні ресурсоощадні технології. Але практична реалізація переходу від традиційних автомобілів із ДВЗ до електромобілів поки що є досить складним процесом, і одним із факторів, що стримує швидкий перехід до електромобілів, є акумуляторні батареї.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Мета

Основною метою роботи є дослідження технічних та екологічних аспектів виробництва, експлуатації та утилізації акумуляторних батарей електромобілів в Україні.

Методика

Сьогодні до основних проблем, які пов'язані з акумуляторними батареями електромобілів, можна віднести такі:

- велика вартість електромобілів порівняно з автомобілями з ДВЗ, яка обумовлена високою вартістю акумуляторної батареї;
- порівняно невисокий ресурс акумуляторів електромобілів;
- потреба використання критичної сировини;
- труднощі виробництва високоємнісних і дешевих акумуляторів;
- зміна параметрів акумуляторних батарей;
- зростання кількості електромобілів у нашій країні, у тому числі вживаних електромобілів, що призведе до суттєвого збільшення кількості акумуляторних батарей, які потребують переробки;
- використання в електромобілях різних акумуляторних батарей викликає потребу в різних технологіях переробки, наприклад, літій-іонних, нікель-кадмієвих, нікель-метал-гідридних та інших акумуляторів;
- відсутність у нашій країні ефективної інфраструктури для збору акумуляторних батарей електромобілів;
- потрапляння акумуляторних батарей на звалища, що призводить до втрати ресурсоінних вторинних матеріалів (літію, нікелю, кадмію та ін.) та значного забруднення навколишнього середовища;
- необхідність створення сучасної інфраструктури для збору та переробки акумуляторів електромобілів;
- недостатня ефективність сучасних технологій переробки акумуляторів електромобілів;
- потреба значних фінансових витратах для переробки акумуляторів електромобілів;
- негативний вплив технології переробки акумуляторів електромобілів на навколишнє середовище;
- необхідність розвитку технології рециклінгу;

– підготовка до повоєнної відбудови, потреба в економії ресурсів та збільшенні раціонального використання вторинних ресурсів, які містяться в акумуляторах електромобілів.

Вирішення цих проблем наразі набуває особливого значення не тільки для створення інноваційного автомобільного транспорту, але і для розвитку економіки країни.

Результати

Акумуляторні батареї електромобілів. Важливим, складним та найбільш дорогим вузлом електромобілів є акумуляторні батареї, які накопичують електричну енергію для живлення двигуна та інших систем транспортного засобу [2, 4, 9].

Розвиток сучасних технологій ставить акумулятори в центр уваги як ключовий елемент, який забезпечує функціонування та визначає перспективи розвитку електромобілів [10].

Сьогодні для електромобілів застосовують різні типи акумуляторних батарей, але найбільш перспективним та поширеним типом акумуляторів для електромобілів є літій-іонні (Li-ion) [1, 2, 4, 9].

Сучасні літій-іонні акумулятори перетворюються, у результаті пошуку найкращого матеріалу для катода, на ціле сімейство хімічних джерел струму, які помітно відрізняються один від одного як енергоємністю, так і параметрами режимів заряду/розряду:

- літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4 , LFP);
- літій-марганцеві (LiMn_2O_4);
- літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні (LiNiMnCoO_2 , NMC);
- літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (LiNiCoAlO_2 , NCA);
- літій-полімерні (Li-Po);
- літій-титанатні ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, LTO);
- нікель-кобальт-алюмінієві (NCA) [2, 4, 9].

У літій-іонних акумуляторах як негативний електрод (катод) використовують алюміній, а як позитивний електрод (анод) – мідь [2]. На алюмінієву фольгу наносять катодний матеріал, яким найчастіше виступає літій-залізо-фосфат LiFePO_4 , літій-марганцева шпінель LiMn_2O_4 або кобальтат літію LiCoO_2 , на мідну фольгу наносять графіт [2].

Електроди можуть мати різну форму, але, як правило, вони являють собою фольгу у формі циліндра або довгастого пакета [2].

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Перевагами літій-іонних акумуляторів є:

- висока енергетична густина (перевищує технічні характеристики інших типів батарей);
- низький саморозряд;
- відсутність ефекту пам'яті;
- простота обслуговування;
- відносна екологічна безпека [2, 9].

До недоліків літій-іонних акумуляторів належать:

- чутливість до перезарядів і перерозрядів;
- відносно швидке старіння;
- помірний струм розряду;
- висока вартість;
- недосконалість конструкції [2].

Літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї для катодів використовують єдиний безпечний, з точки зору екологічності та небезпеки вибуху, LiFePO_4 (рис. 1) [2].

Перевагами літій-залізо-фосфатних акумуляторних батарей є підвищений діапазон робочих температур, тривалий термін служби, більш швидка зарядка. Основні недоліки – менша густина заряду, велика чутливість до зберігання за підвищених температур [9].



Рис. 1. Літій-залізо-фосфатний акумулятор

Fig. 1. Lithium iron phosphate battery

Літій-марганцевий акумулятор (LiMn_2O_4) може забезпечити високий струм розряду, який майже в 30 разів перевищує його ємність. Такий тип батарей використовують в електромобілях «Nissan Leaf» і «BMW i3». До недоліків літій-марганцевих акумуляторів належать невеликий життєвий ресурс і нетерпимість до холоду [9, 30].

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні акумулятори (LiNiMnCoO_2 , NMC) мають непогану питому енергоємність і термін служби до 2000 циклів заряду/розряду, але струм віддачі у них невеликий [30].

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні батареї (LiNiCoAlO_2 , або NCA) мають високу питому ємність і прийнятну вартість [30].

Літій-полімерні акумуляторні батареї (Li-Po) мають високу енергетичну густина та тривалі цикли заряду/розряду, є менш стабільними та безпечними, ніж LiFePO_4 . Застосування Li-Po-батарей обмежене через високу чутливість до займання [22, 27, 30].

Літій-титанатні акумулятори ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, LTO) забезпечують 15 000...20 000 циклів, пожежобезпечні і стійкі до холоду [30].

Літій-титанатні акумуляторні батареї під назвою SCiB (Super Charge Ion Battery) розробляє компанія «Toshiba» [4].

Нікель-метал-гідридні акумуляторні батареї (NiMH) більші за об'ємом та мають меншу енергетичну густина, але більш безпечні та стійкі до перезарядки [22, 27, 30].

Кобальтат літію LiCoO_2 – отруйний та екологічно шкідливий матеріал [2].

Проведений аналіз показує, що в акумуляторних батареях використовують цінні метали: літій, нікель, марганець, кобальт, алюміній, мідь та ін.

Наступним важливим питанням є з'ясування кількості акумуляторних батарей електромобілів, яку можна дослідити за кількістю електромобілів.

Аналіз динаміки збільшення кількості електромобілів. На ринку ЄС електромобілі почали з'являтися у 2010 році, коли частка їх продажу досягла 0,01 % від загального обсягу продажу колісних транспортних засобів. У вересні 2015 року чисельність електромобілів досягла першого мільйона, а у 2016 р. світовий парк електромобілів перевищив 1,2 млн (рис. 1). Але загальний парк електромобілів складав 0,2 % від загального числа легкових автомобілів [18, 29].

У 2016 р. найбільшим ринком електромобілів став Китай, на який припадало понад 40 % електромобілів, проданих у світі. У Норвегії частка продажів електромобілів склала 29 %, у Нідерландах – 6,4 %, у Швеції – 3,4 % [18].

В 2023 р. продажі електромобілів склали: 60 % – у Китаї, 25 % – в ЄС та 10 % – у США [2]. Близько 70 % парку електромобілів, проданих у 2023 р., склали електромобілі на акумуляторних батареях [26].

Динаміка зростання кількості електромобілів показана на рис. 2 [26].

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

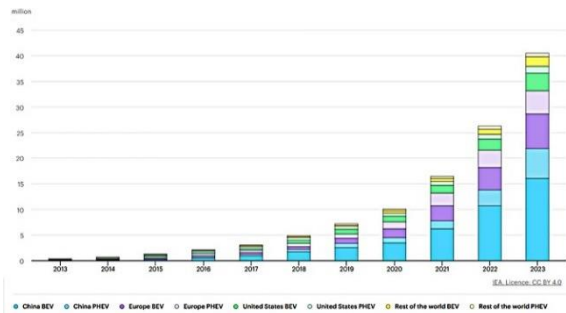


Рис. 2. Динаміка зростання щорічних обсягів продажу електромобілів

Fig. 2. Dynamics of growth in annual sales volumes of electric vehicles

Лідерами з продажів на українському ринку електромобілів за 2020 рік були «Nissan Leaf», «Tesla Model S», «Renault Kangoo», «Tesla Model 3» і «BMW i3» [29]. Електромобілі «Nissan Leaf» і «Tesla Model S» залишалися лідерами в нашій країні й у 2024 році.

Станом на 1 січня 2021 р. в Україні було зареєстровано 25 853 електромобілі, а їх середній вік склав 5 років [29].

Кількість електромобілів у нашій країні постійно збільшується. Станом на 1 вересня 2024 р. в Україні було зареєстровано 119 445 електромобілів, а станом на 1 грудня 2024 р. – 132 157 електромобілів [19]. За кількістю електромобілів Україна сьогодні є лідером серед східноєвропейських країн [19].

За прогнозними оцінками Марини Китіної, кількість електромобілів у нашій країні до 2030 року може зрости до 500 000.

Проведений аналіз показав стійку тенденцію до збільшення кількості електромобілів у світі та Україні зокрема. Наведені дані дають уявлення стосовно кількості акумуляторних батарей електромобілів.

Водночас зі зростанням попиту на акумулятори виникають проблеми, пов'язані з їх виробництвом, експлуатацією та утилізацією [10].

Так, у 2017 році, коли електромобілі склали менше ніж 1 % від загальної кількості автомобілів, на виробництво акумуляторних батарей було витрачено близько 25 % літію, який було видобуто у 2016 р.

Наступне важливе питання пов'язане з високою вартістю нових електромобілів, що призводить до постачання в нашу країну вживаних електромобілів. Наприклад, у 2018 році майже всі

електромобілі, які завозилися в Україну, були вживані, лише один із десяти був новим на момент продажу, а середній вік електромобілів складав більше чотирьох років. У 2024 році кількість завезених в Україну вживаних електромобілів склала 54,1 %.

Тому особливої уваги потребують проблеми накопичення акумуляторних батарей, що виїшли з експлуатації, та їх переробки.

Виробництво акумуляторних батарей електромобілів. Сьогодні існує велика кількість виробництв літій-іонних акумуляторів, більшість із яких перебуває в стадії розробки.

Літій-іонні акумулятори для електромобілів виробляють компанії «Panasonic», «Electrolux», «CATL», «LG Chem» і «Samsung SDI» та ін. [9].

На етапі виробництва акумуляторних батарей до основних викликів можна віднести такі:

- потреба використання критичної сировини;
- декарбонізація електроенергії, яку використовують у виробництві акумуляторних батарей;
- декарбонізація матеріалів акумуляторних батарей;
- потреба в розробці нових технологій виробництва акумуляторних батарей;
- зменшення маси акумуляторних батарей шляхом поліпшення компонентів та переходу на нові (легкі) матеріали;
- поліпшення основних параметрів акумуляторних батарей: енергетичної густини, довговічності, коефіцієнта корисної дії (ККД) та ємності;
- зменшення собівартості акумуляторних батарей [27, 30].

Для створення акумуляторних батарей використовують дорогоцінні метали.

Потреба використання критичної сировини – літію, нікелю, кобальту, міді та інших металів – під час виробництва акумуляторних батарей виникає залежно від типу батарей.

У 2023 р. попит на матеріали для акумуляторів становив:

- літій – близько 140 кт, що складало 85 % від загального попиту на літій, приріст більш ніж на 30 % порівняно з 2022 р.;
- кобальт – зростання на 15 % (до 150 кт);
- нікель – майже 370 кт, що на 30 % більше, ніж у 2022 р.

Прогнозують, що до 2030 р. глобальний попит на літій зросте у 12 разів, а на рідкісноземельні елементи – у 5 разів [21].

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Невід’ємним елементом самої стратегії розвитку електромобілів в Україні є виробництво акумуляторних батарей, що вимагає формування і реалізації комплексної програми, державна підтримка якої повинна стати пріоритетною.

В Україні є можливості для видобутку матеріалів та виробництва літій-іонних акумуляторів. Упевненості додає той факт, що на сьогодні розвідані родовища літєвих руд, які не поступаються родовищам США, Канади та Африки. Розвіданими є чотири родовища літію: «Шевченківське» – у Донецькій області, «Полохівське» та «Добра» – у Кіровоградській, «Крута балка» – у Запорізькій [21]. Перспективним також є Беганське родовище (Закарпатська область).

У нашій країні літій присутній у кількості 232 тис. т, що складає 0,4 % всього літію у світі, а за обсягами покладу цього мінералу Україна посідає третє місце у Європі.

Розвиток власної мінерально-сировинної бази літію, який застосовують як основний матеріал у виробництві акумуляторів, надаватиме додаткових перспектив для розвитку ринку електромобілів та, у цілому, економіки України.

Кінцевими продуктами переробки можуть бути:

- літєвмісна руда;
- збагачена руда залежно від вилучення з відповідною концентрацією (сподумен – 4...6 % оксиду літію, петаліт – до 4 % оксиду літію);
- виробництво карбонату літію;
- виробництво катодів та анодів;
- виробництво літій-іонних батарей.

Видобуток критичної сировини та виробництво акумуляторних батарей для електромобілів відповідають стратегічним напрямкам розвитку економіки країни.

У пріоритеті розвитку реального сектора в умовах війни та повоєнного відновлення економіки України визначена розробка Програми підтримки розвитку електротранспорту в Україні, у якій передбачено створення привабливих умов для локалізації виробництва на території України електромобілів, подовження ланцюга доданої вартості з переробки сировини через випуск акумуляторних батарей, потужностей із переробки та утилізації відпрацьованих літій-іонних акумуляторів [21].

Для поліпшення основних параметрів акумуляторних батарей проводять дослідження з вибору та обґрунтування матеріалів і форм анодів

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: <https://doi.org/10.15802/stp2025/332155>

та катодів, вибору електролітів – рідина, тверде тіло.

Як приклад візьмемо електромобілі «Nissan Leaf» та «Tesla Model S», які були лідерами продаж у нашій країні протягом багатьох років і залишилися лідерами у 2024 році.

Удосконалення структури елементів живлення «Nissan Leaf» в 2017 році (24 блоки по 8 пакетних полімерних елементів живлення за тієї ж загальної кількості елементів живлення 192 шт., як і в попередньому варіанті) дозволило підвищити запас ходу електромобіля на 67 % (рис. 3) [2].

a – a



б – б



Рис. 3. Приклад пакетного полімерного елемента живлення та його розподілу в акумуляторній батареї «Nissan Leaf»:

a – пакетний полімерний елемент живлення «Nissan Leaf»;
б – акумуляторна батарея

Fig. 3. Example of a packaged polymer battery and its distribution in a «Nissan Leaf» battery:

a – packaged polymer battery «Nissan Leaf»;
b – battery

Приклад елемента живлення 18650 та його розподілу в акумуляторній батареї електромобіля «Tesla Model S» показано на рис. 4 [1, 2].

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

a – a*б – б*

Рис. 4. Приклад елементів живлення 18650 та їхнього розподілу в акумуляторній батареї:
a – приклад елементів живлення зразка 18650 (18 x 65 мм); *б* – акумуляторна батарея «Tesla Model S»

Fig. 4. Example of 18650 cells and their distribution in a battery pack:
a – example of 18650 sample cells (18 x 65 mm);
b – «Tesla Model S» battery pack

Компанія «Honda» розробляє твердоелектролітні батареї, які до 2030 р. забезпечать проїзд до 1 000 км на одному заряді, а після 2040 р. – до 1 250 км [22]. Прогнозують, що, порівняно із сучасними літій-іонними акумуляторами, твердоелектролітні батареї електромобілів будуть мати менший розмір на 50 %, меншу вагу – на 35 % та меншу ціну – на 25 %.

Над технологіями створення твердих електролітів працюють багато компанії, зокрема «Toyota», «Nissan», «Stellantis», «BMW», «Volkswagen» та ін. [22].

Новим напрямом розробок акумуляторних батарей електромобілів є наноматеріали. Для виробництва літій-залізо-фосфатного акумулятора частинки з літій-залізо-фосфату було зроблено пластинчастої форми і покрито шаром новуглецю [2].

Модифікування нанопокриттів надає можливості для створення акумуляторів із часом зарядження до 3 хвилин, терміном експлуатації акумулятора до 10 років [2].

Широкі можливості надають полімерні електроліти, які мають у своєму складі солі літію і завдяки своїй пластичності дозволяють виготовляти літій-іонні акумулятори різної форми з великою внутрішньою поверхнею, що значно підвищує технологічні можливості виробництва акумуляторних батарей [2].

Перспективними напрямками розвитку акумуляторних технологій є:

- поліпшення катодних і анодних матеріалів для підвищення густини енергії;
- розробка стабільних і довговічних твердотільних електролітів;
- використання альтернативних хімічних складів, таких як натрій-іонні та магній-іонні акумулятори;
- оптимізація процесів виробництва для зниження вартості акумуляторів;
- упровадження нових методів управління температурою і безпекою акумуляторів;
- поліпшення основних параметрів акумуляторних батарей: енергетичної густини, довговічності, ККД та ємності.

Слід звернути увагу, що на сучасному рівні розвитку науки розробка електромобілів зі збільшеним запасом ходу залишається складним завданням [20].

Ще одним важливим викликом, який суттєво впливає на вартість нового електромобіля, є вартість акумуляторів, яка значно варіюється залежно від типу транспортного засобу та батареї [9].

Висока вартість акумуляторної батареї не тільки збільшує вартість електромобіля, але й значно зменшує його конкурентоспроможність порівняно з автомобілем із ДВЗ. Наприклад, у 2010 р. модель «Nissan Leaf», у якій вартість акумуляторної батареї складала 57,3 % від вартості електромобіля, продавали зі збитком.

Але завдяки прогресу в технології акумуляторів електромобілі показують значно кращі технічні характеристики, наприклад, збільшення густини енергії, а також швидке зниження вартості батарей [31].

На рис. 5 показано динаміку цін матеріалів для акумуляторів і літій-іонних акумуляторів протягом 2015...2024 рр. [26].

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Зниження цін на літій-іонні акумулятори на 74 %, що відбувалося з 2011 по 2017 р., призвело до збільшення кількості продажів електромобілів у світі в 16 разів.

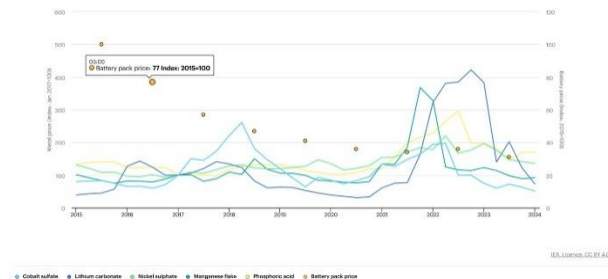


Рис. 5. Ціна окремих матеріалів для акумуляторів і літій-іонних акумуляторів протягом 2015...2024 рр.

Fig. 5. Price of selected battery materials and lithium-ion batteries during 2015...2024

На рис. 6 показано тенденції зменшення вартості акумуляторних батарей та прогноз до 2035 року [18]. Удосконалення технологій виробництва батарей призводить до скорочення розриву між цінами на електромобілі та автомобілі з ДВЗ, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності та збільшенню кількості продажів електромобілів [18].

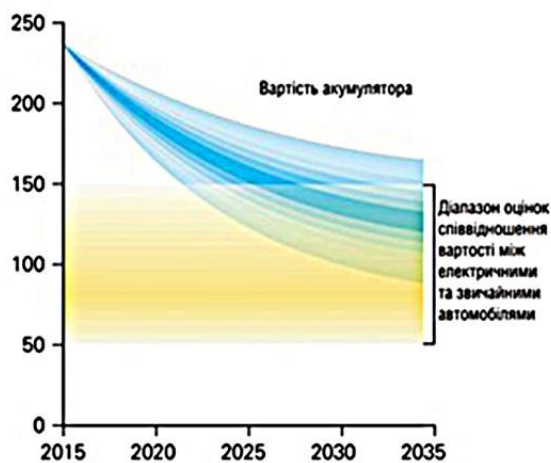


Рис. 6. Прогноз зміни вартості акумуляторної батареї до 2035 року, \$/кВт-год

Fig. 6. Forecast of battery cost changes until 2035, \$/kWh

Більшість сучасних технологій видобутку критичної сировини та виробництва акумуляторів потребують багато ресурсів та можуть нега-

тивно впливати на навколишнє середовище (повітря, воду, ґрунт). Щоб автомобільний транспорт став справді екологічним, на етапах видобутку критичної сировини та виробництва акумуляторних батарей для електромобілів потрібно впроваджувати інноваційні технології та зменшувати екологічне навантаження на навколишнє середовище.

Експлуатація акумуляторних батарей електромобілів. На цьому етапі основними факторами є:

- зміна параметрів акумуляторних батарей;
- декарбонізація електроенергії, яку використовують під час експлуатації;
- створення інфраструктури;
- поліпшення ефективності електродвигуна;
- контроль, обслуговування та ремонт акумуляторних батарей;
- аварійне пошкодження акумуляторних батарей у ДТП.

Під час експлуатації важливим є збереження основних параметрів акумуляторних батарей електромобілів: енергетичної густини, довговічності, коефіцієнта ККД та ємності [4].

Розповсюдження набули літій-іонні акумуляторні батареї, у яких у процесі експлуатації відбуваються зміни характеристик: величини внутрішнього опору та опору поляризації; величини ємності; деградація акумуляторних батарей [20].

Під час експлуатації літій-іонної акумуляторної батареї електромобіля знижується її ємність, що відбувається як у разі збільшення циклічного заряду, так і в режимі простою. Зниження ємності батареї призводить до зниження дальності пробігу на одному заряді [20].

Втрата ємності з часом впливає на споживання енергії електромобілем та механізм старіння акумуляторної батареї.

Деградація акумуляторних батарей електромобілів, яка відбувається через хімічні побічні реакції під час зберігання та електрохімічні побічні реакції під час роботи, залежить головним чином від температури, величини розряду, системи охолодження та швидкості заряду [20, 25]. Середня річна швидкість деградації акумуляторних батарей електромобілів становить близько 2,3 % [20, 25].

Перехід на електромобілі дозволить зменшити забруднення навколишнього середовища автомобільного транспорту [17]. У повітря не

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

потраплятимуть токсичні речовини (канцерогени), CO, озон, леткі органічні сполуки; вважають, що рівень CO₂ може бути знижений удвічі, вміст окислів азоту NO_x може бути зменшений на 20...25 % [17].

Існує гіпотеза, що в разі масової експлуатації електромобілів знизиться забруднення навколишнього середовища в містах, але погіршиться екологічна ситуація в місцях виробництва електроенергії та загалом на планеті [17].

Вміст двоокису сірки, який є продуктом спалювання вугілля на теплових електростанціях та викликає кислотні дощі, зросте [17].

Потрібно звернути увагу, що екологічні характеристики акумуляторних електромобілів залежать від розміру акумулятора та джерела зарядної електрики.

У рамках Паризької конвенції в Україні до 2030 р. в галузі електроенергетики передбачені такі завдання:

- збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до 30 % (на кінець 2019 р. частка ВДЕ становила 10,9 % від загальної кількості виробленої електроенергії);
- зменшення кількості вугільних ТЕС;
- поступове закриття вугільних шахт у комплексі з програмами трансформації вугільних регіонів.

Упровадження в електроенергетиці інноваційних технологій дозволить забезпечити перехід на електромобілі та поліпшити екологічну ситуацію в країні.

Сучасним підходом до оцінювання екологічності електромобіля є оцінка викидів «well-to-wheel», що включає викиди парникових газів, енергоефективність та виробничі витрати. Згідно з оцінкою викидів «well-to-wheel», викиди за рік від електромобіля удвічі менші, ніж від автомобіля з бензиновим ДВЗ [4]. Але в розрахунках кількості викидів «well-to-wheel» потрібно враховувати, що вони залежать від способу виробництва електроенергії [4].

Під час експлуатації електромобілів слід звертати увагу на такий важливий аспект: у випадку сильного нагрівання літій-іонних акумуляторних батарей може статися займання та виділення шкідливих газів [9]. Пожежі на електромобілях, серйозною причиною яких є тепловий розгін (ТР) автомобільних акумуляторних батарей, стають усе більш частішими. ТР означає, що елементи тягової акумуляторної батареї

вступають у процес неконтрольованого виділення тепла і швидкого підвищення температури [2].

Експлуатація акумуляторних батарей вимагає суворого дотримання правил техніки безпеки.

Ураховуючи досвід експлуатації електромобілів, рятувальники по всьому світу вже розробляють методику гасіння електромобілів та їх розтину після ДТП [2].

Вважають, що етап експлуатації акумуляторних батарей електромобілів завершується в разі досягнення 75...80 % номінальної ємності [30].

Особливістю українського ринку є досить висока частка тих електромобілів, які вже були у використанні, що не тільки зменшує екологічний ефект, але й несе ризик, насамперед швидкого вичерпання ресурсу високовартісних акумуляторів та створення великої кількості акумуляторних відходів.

Утилізація акумуляторних батарей електромобілів. З акумуляторними батареями електромобілів пов'язане ще одне питання, яке, з огляду на відносну новизну світового ринку електромобілів, виходить на перший план – це питання утилізації акумуляторних батарей.

Термін служби акумуляторів оцінюють на рівні п'яти-восьми років, після чого вони вимагають заміни.

Моделі масових електромобілів першого покоління, наприклад, «Nissan Leaf», вже сьогодні потребують заміни акумуляторних батарей. Збільшення кількості «відпрацьованих» для свого первісного призначення акумуляторних батарей буде зростати.

Основними факторами на етапі виведення з експлуатації (утилізації) акумуляторних батарей є:

- потреба створення сучасної інфраструктури для збору та переробки акумуляторів електромобілів;
- декарбонізація електроенергії, яку використовують у процесах переробки;
- удосконалення наявних технологій переробки акумуляторних батарей;
- розробка нових технологій переробки акумуляторних батарей;
- використання акумуляторних батарей протягом другого терміну служби;

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

– підготовка до повоєнної відбудови, потреба економії ресурсів і збільшення раціонального використання ресурсів, які містяться у відпрацьованих акумуляторах електромобілів.

В акумуляторних батареях містяться літій, нікель, кобальт, мідь та інші метали залежно від типу батареї. Отримання цих металів від переробки акумуляторних батарей значно простіше та дешевше, ніж їх видобуток [4].

Основним завданням утилізації акумуляторних батарей є зменшення ресурсів, які витрачають на виготовлення нових батарей.

Переробка акумуляторних літій-іонних батарей є складним завданням, тому що для виробництва компонентів використовують багато різних матеріалів, і для їх переробки на етапі утилізації потрібні різні технології.

Наразі використовують різні технології переробки відпрацьованих літій-іонних батарей: пірометалургійну та гідрометалургійну технології, біометалургію або їх комбінації.

Пірометалургія – це процес вилучення металів або металевих сполук із відпрацьованих акумуляторів безпосередньо за допомогою високих температур, який включає піроліз, спалювання, випал, плавку та рідке вилуговування [5].

Гідрометалургійний процес складніший за пірометалургійний, але має більш високу віддачу, м'які умови експлуатації та менше забруднення навколишнього середовища [5].

Процес біометалургії використовує мікроорганізми (бактерії) для обробки та відновлення металів [5].

Сучасні технології переробки потребують великої кількості енергії та мають шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Вторинні акумулятори (батареї другого життя) можна використовувати для створення систем зберігання енергії, зарядних станцій для електромобілів та мікромережових енергетичних систем [30].

Наукова новизна та практична значимість

Проведено комплексний аналіз проблем виробництва, експлуатації та переробки акумуляторних батарей, що дозволяє виявити їх вплив на конкурентоспроможність, економічність та екологічність електромобілів.

Виділено основні тенденції акумуляторних батарей електромобілів, які можна розвивати в Україні; розглянуто проблеми виготовлення та переробки акумуляторних батарей.

Переробка відпрацьованих акумуляторних батарей сприяє збереженню природних ресурсів, тому що батареї є джерелом цінних матеріалів, що своєю чергою, дозволяє знижувати залежність від видобутку сировини та зменшує виснаження природних ресурсів країни.

Переробка відпрацьованих акумуляторних батарей має велике значення для досягнення нульових показників викидів вуглецю від автомобільного транспорту.

Акцентовано увагу, що розвиток інноваційних технологій створення ефективних, безпечних та доступних акумуляторних батарей є важливим кроком до переходу на екологічно чистий транспорт у країні.

Висновки

Перспективним напрямом вирішення складних проблем автомобільного транспорту в умовах економічної кризи, дефіциту енергоресурсів та інтенсивного забруднення навколишнього середовища може бути розвиток електромобілів.

Враховуючи актуальні тенденції електрифікації автомобільного транспорту, більшість великих автовиробників декларують відмову від випуску автомобілів із ДВЗ, як вантажних, так і легкових, протягом найближчих 10...15 років і щотижня анонсують нові моделі електромобілів.

Одним із факторів, що стримує швидкий перехід на електромобілі, є акумуляторні батареї, для виробництва яких потрібні дорогі метали (наприклад, літій, нікель, кобальт та ін.), що надає високої вартості електромобілям порівняно зі звичайними автомобілями з ДВЗ.

У роботі проведено аналіз сучасного стану та перспектив розвитку акумуляторних батарей електромобілів, розглянуто питання, пов'язані з їх виробництвом, експлуатацією та утилізацією.

Для електромобілів застосовують різні типи акумуляторних батарей, найбільш перспективним та поширеним серед яких є літій-іонні акумулятори – сімейство батарей з різними складами електрохімічних елементів.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Виробництво акумуляторних батарей супроводжується значними екологічними викликами. Процес видобутку сировини для акумуляторів (літію, кобальту, нікелю та ін.) має серйозні наслідки для навколишнього середовища.

Показано, що акумуляторні батареї суттєво впливають на собівартість електромобілів, визначають їх характеристики з пробігу та зручності експлуатації, формують екологічний ефект.

На етапі експлуатації електромобілів акумуляторні батареї забезпечують екологічність (немає шкідливих викидів в атмосферу), економічність (використання електроенергії більш дешево, ніж використання бензинів або дизельного палива) та безшумність.

Інтенсивний розвиток електромобілів призводить до зростання кількості акумуляторних батарей, що потребують утилізації.

Сьогодні зростає важливість використання вторинних продуктів. Удосконалення наявних та розробка нових технологій переробки акумуляторних батарей дозволить зменшити використання дорогих критичних ресурсів, які витрачаються на виготовлення нових батарей.

Утилізація акумуляторних батарей електромобілів є окремою проблемою, тому що акумулятори містять токсичні компоненти, і в разі порушення правил утилізації вони можуть забруднювати навколишнє середовище.

Переробка акумуляторного брухту електромобілів дозволяє вирішувати дві важливі та актуальні проблеми: отримання цінної вторинної сировини (літію, нікелю, марганцю, кобальту, алюмінію, міді та ін.) та охорони навколишнього середовища від забруднення.

За відсутності необхідної інфраструктури та

обмеженого охоплення, відпрацьовані акумулятори електромобілів можуть потрапляти на звалища, що буде призводити до забруднення навколишнього середовища та втрат цінних вторинних ресурсів.

Акцентовано увагу, що вторинні акумулятори (батарей другого життя) можна використовувати для створення систем зберігання енергії, зарядних станцій для електромобілів та мікромережевих енергетичних систем.

Розвиток автомобільного транспорту з нульовими викидами стримують такі виклики:

- труднощі виробництва високоємнісних і дешевих акумуляторних батарей;
- велика вартість електромобілів порівняно з традиційними автомобілями з ДВЗ, яка обумовлена високою вартістю батарей;
- порівняно невисокий ресурс акумуляторів електромобілів;
- проблеми утилізації акумуляторів, оскільки вони містять отруйні речовини.

Урахування екологічного фактора є необхідною умовою інтеграції української економіки у світові економічні процеси з метою забезпечення її конкурентоспроможності.

Пріоритетними напрямками розвитку в умовах повоєнного відновлення економіки України є створення привабливих умов для:

- локалізації виробництва на території України електромобілів;
- подовження ланцюга доданої вартості переробки сировини через випуск акумуляторних батарей;
- розвитку потужностей із переробки та утилізації відпрацьованих літій-іонних акумуляторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Багач Р. В. Дослідження акумуляторних блоків електромобілів та зарядних станцій на основі активного трифазного випрямляча струму. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2023. № 24. С. 62–71. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2023.24.0.2>
2. Бажинов О. В., Кравцов М. М. *Небезпека транспортних засобів*: монографія. Харків : ЧП Стариченко Л. А., 2022. 160 с.
3. Викиди від транспорту і як з ними боротися. *Федерація роботодавців автомобільної галузі*. URL: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iaak-z-nimi-borotisja>
4. Гнатов А. В. *Будова гібридних автомобілів і електромобілів*: конспект лекцій з дисципліни. Харків : ХНАДУ, 2021. 72 с.
5. Голуб М. Ю. *Удосконалення системи поводження з відпрацьованими літій-іонними акумуляторами для електромобілів*: бакалаврська дипломна робота. Дніпро, 2024. 65 с.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

6. Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури. Кабінет Міністрів України, 2020.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text>
7. Запорожець О. І., Бойченко С. В., Матвєєва О. Л., Шаманський С. Й., Дмитруха Т. І., Маджд С. М. *Транспортна екологія*. Київ : НАУ, 2017. 507 с.
8. Іванова Г. П., Олішевська В. Є., Гапєєв С. М., Олішевський Г. С. Будівельна галузь України: трансформації та перспективи в умовах воєнного стану та повоєнної відбудови. *Наука та прогрес транспорту*. 2024. № 4 (108). С. 80–88. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2024/317405>
9. Кушка М. М., Криворот А. І. Огляд акумуляторних батарей електромобілів. *Тези 76-ї наук. конф. викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»* (Полтава, 14 трав.-23 трав. 2024 р.). Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2024. Т. 1. С. 268–270.
10. Лахтадир С. Екологічні аспекти виробництва та утилізації акумуляторів. *Наука і техніка сьогодні*. 2024. № 13 (41). С. 1110–1119. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-13\(41\)-1110-1119](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-13(41)-1110-1119)
11. Линник І. Е., Лежнева О. І., Дорожко Є. В., Вакуленко К. Є., Соколова Н. А., Афанасьєва І. А. *Екологічні аспекти автотранспортного комплексу*: монографія. Харків : Видавництво «Смугаста типографія», 2020. 194 с.
12. Нефедов В. Г., Поліщук Ю. В. *Електрохімічна енергетика. Свинцеві акумулятори: улаштування, виробництво, розрахунки*. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2013. 298 с.
13. Никифорок О. І., Чукаєва І. К., Піріашвілі Б. З., Ляшенко О. Ф., Карпов В. М., Кудрицька Н. В. ... Плюта І. Ю. *Розвиток інфраструктурних секторів як чинник реалізації пріоритетних напрямів економічної політики України*: колективна монографія. Національна академія наук України, ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України». Київ, 2017. 522 с.
14. Олішевська В. Є., Іванова Г. П., Олішевський Г. С. Переробка свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів: виклики та перспективи. *Наука та прогрес транспорту*. 2025. № 1 (109). С. 142–151. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/325342>
15. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С. Екологічний вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище. *Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2023: зб. наук. праць міжнар. конф.* (Дніпро, 28-29 квіт. 2023 р.). Дніпро, 2023. С. 147–152.
16. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С. Обґрунтування раціонального рухомого складу підприємства в умовах переходу до електромобілів. *Автошляховик України*. 2024. № 2. С. 35–44. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2024-2-279-35-44>
17. Пиндус Ю. І., Заверуха Р. Р. *Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: навчальний посібник*. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 209 с.
18. *Роль і місце української енергетики у світових енергетичних процесах*. Київ, 2018. 90 с.
URL: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf
19. *Серпень став рекордним місяцем для електромобільності в Україні*. IONITY. 2024.
URL: <https://ionity.ua/news/serpen-stav-rekordnym-misyaczem-dlya-elektromobilnosti-v-ukrayini/>
20. Смирнов О. П., Борисенко А. О. Порівняльний аналіз електричних моделей літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2023. № 24. С. 50–61. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2023.24.05>
21. Собкевич О. В., Шевченко А. В., Русан В. М., Белашов Є. В., Жураковська Л. А., Жаліло Я. А. *Пріоритети розвитку реального сектора в умовах війни та повоєнного відновлення економіки України*: аналітична доповідь. Київ : НІСД, 2024. 104 с. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.03>
22. Твердоелектролітні батареї Honda встановлюють новий стандарт запасу ходу. IONITY. 2024.
URL: <https://ionity.ua/news/tverdoelektrolitni-batareyi-honda-vstanovlyat-novyj-standart-zapasu-hodu/>
23. Яковлева А., Бойченко С., Лейда К., Іванченко О., Фролов В. *Екологістика, рециклінг і утилізація транспорту*. Київ : НАУ, 2019. 266 с.
24. Bača P., Vanýsek P. Issues Concerning Manufacture and Recycling of Lead. *Energies*. 2023. Vol. 16. Iss. 11. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16114468>
25. Borge-Diez D., Icaza D., Açıklalp E., & Amarís H. (2021). Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share. *Energy*. Vol. 237. 121608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121608>
26. *Global EV Outlook 2024*. IEA, 2024. 174 p. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
27. Hill N., Rauei M., Pons A., Vasileiadis N., Ong H., Casullo L. *Research for TRAN Committee – Environmental challenges through the life cycle of battery electric vehicles*. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels, 2023. 83 p.

28. Leach F., Kalghatgi G., Stone R., Miles P. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*. 2020. Vol. 1. 100005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>
29. Pivnyak G., Olishevskaya V., Olishevskiy H., Lutsenko I., Lysenko A. Comprehensive research of electric cars development and related infrastructure in Ukraine. *Physical & Chemical Geotechnologies : 8th International Conference E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 567. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456701025>
30. Salek F., Resalati S., Babaie M., Henshall P., Morrey D., Yao L. A Review of the Technical Challenges and Solutions in Maximising the Potential Use of Second Life Batteries from Electric Vehicles. *Batteries*. 2024. Vol. 10 (3). P. 1–40. DOI: <https://doi.org/10.3390/batteries10030079>
31. Sharma P. Study of Electric Vehicle Market Dynamics and Forecasting. *Shodh Sagar Journal of Electric Vehicles*. 2024. Vol. 1. № 1. C. 25–30. DOI: <https://doi.org/10.36676/jev.v1.i1.4>

V. E. OLISHEVSKA^{1*}, H. S. OLISHEVSKIY^{2*}, H. P. IVANOVA^{3*}

^{1*}Dep. of Automobiles and Automobile Economy, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (099) 36 68 845, e-mail olishevskaya.v.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351

^{2*}Dep. of Electric Power Engineering, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (095) 56 51 830, e-mail Olishevskiy.H.S@nmu.one, ORCID 0000-0001-9576-7527

^{3*}Dep. of Construction, Geotechnics and Geomechanics, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (050) 45 29 945, e-mail ivanova.h.p@nmu.one, ORCID 0000-0003-4219-7916

Electric Vehicle Batteries: Technical and Environmental Aspects

Purpose. The transition to electric vehicles can be considered a promising direction for the development of motor transport, and one of the key elements that ensures the functioning and determines the prospects for the development of electric vehicles is batteries. The main objective of this work is to study the technical and environmental aspects of the production, operation, and disposal of electric vehicle batteries in Ukraine. **Methodology.** To assess the impact of batteries on the development of electric vehicles, it is advisable to study their production, operation, and decommissioning (disposal). Today, the main problems associated with electric vehicle batteries at the production stage are: the need to use critical raw materials; difficulties in producing high-capacity and inexpensive batteries; improving the basic parameters of batteries; and environmental pollution. During the operation stage, important challenges include changes in battery parameters and the decarbonization of the electricity used during operation. Decommissioning batteries is a difficult task because many different materials are used in the production of components, and different technologies are required for their recycling at the disposal stage. **Finding.** The current state, technical, and environmental aspects related to the production, operation, and disposal of electric vehicle batteries are analyzed. It is shown that batteries significantly affect the cost of electric vehicles, determine their mileage and ease of use, and have an environmental impact. It is emphasized that secondary batteries (second-life batteries) can be used to create energy storage systems, charging stations for electric vehicles, and microgrid energy systems. **Originality.** A comprehensive analysis of the problems of production, operation, and recycling of rechargeable batteries was carried out, which allows identifying their impact on the competitiveness, cost-effectiveness, and environmental friendliness of electric vehicles. The main trends in the development of electric vehicle rechargeable batteries in Ukraine were identified. The problems of manufacturing and recycling rechargeable batteries were considered. It is emphasized that the development of innovative technologies for the creation of efficient, safe, and affordable rechargeable batteries is an important step towards the transition to environmentally friendly transport in Ukraine. **Practical value.** The main trends in the use of electric vehicle rechargeable batteries that can be developed in Ukraine are identified, and the problems of their manufacture and recycling are considered.

Keywords: decarbonization; electric vehicle; rechargeable battery; technologies; materials; critical raw materials; environmental impact

REFERENCES

1. Bahach, R. (2023). Research of electric vehicle battery packs and charging stations based on an active three-phase rectifier. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, 24, 62–71. DOI: <https://doi.org/10.30977/veit.2023.24.0.2> (in Ukrainian)

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

2. Bazhynov, O. V., & Kravtsov, M. M. (2022). *Nebezpeka transportnykh zasobiv: monohrafiia*. Kharkiv: ChP Starychenko L. A. (in Ukrainian)
3. Emissions from transport and how to deal with them. *Employers's Federation of of Automotive Industry*. Retrieved from <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iaak-z-nimi-borotisia> (in Ukrainian)
4. Gnatov, A. V. (2021). *Budova hibrydnykh avtomobiliv i elektromobiliv: konspekt leksii z dystsypliny*. Kharkiv: KhNADU (in Ukrainian)
5. Golub, M. Yu. (2024). *Udoskonalennia systemy povodzhennia z vidpratsovanymy litiionnymy akumuliatoramy dlia elektromobiliv* (Bachelor's thesis). Dnipro. (in Ukrainian)
6. *Deiaki pytannia obektiv krytychnoi infrastruktury*. (2020). Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text> (in Ukrainian)
7. Zaporozhets, O. I., Boichenko, S. V., Matvieieva, O. L., Shamanskyi, S. Y., Dmytrukha, T. I., & Madzhd, S. M. (2017). *Transportna ekolohiia*. Kyiv: NAU. (in Ukrainian)
8. Ivanova, H. P., Olishevska, V. Ye., Hapiev, S. M., & Olishevska, S. O. (2024). Construction Industry in Ukraine: Transformations and Prospects in the Context of Martial Law and Postwar Reconstruction. *Science and Transport Progress*, 4(108), 80-88. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2024/317405> (in Ukrainian)
9. Kushka, M. M., & Kryvorot, A. I. (2024, May). Ohliad akumuliatornykh batarei elektromobiliv. In *Tezy 76-yi nauk. konf. vy-kladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv Natsionalnoho universytetu «Poltavska politehnika imeni Yurii Kondratiuka»* (Vol. 1, pp. 268-270). Poltava, Ukraine. (in Ukrainian)
10. Lakhtadyr, S (2024). Environmental aspects of battery production and disposal. *Science and Technology Today*, 13(41), 1110-1119. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-13\(41\)-1110-1119](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-13(41)-1110-1119) (in Ukrainian)
11. Lynnyk, I. E., Lezhneva, O. I., Dorozhko, Ye. V., Vakulenko, K. Ye., Sokolova, N. A., & Afanasieva, I. A. (2020). *Ekolohichni aspekty avtotransportnoho kompleksu: monohrafiia*. Kharkiv: Vydavnytstvo «Smuhasta typohrafiia. (in Ukrainian)
12. Nefedov, V. H., & Polishchuk, Yu. V. (2013). *Elektrokhimichna enerhetyka. Svyntsevi akumuliatory: ulash-tuvannia, vyrobnytstvo, rozrakhunky*. Dnipropetrovsk: DVNZ UDKhTU». (in Ukrainian)
13. Nykyforuk, O. I., Chukayeva, I. K., Piriashvili, B. Z., Lyashenko, O. F., Karpov, V. M., Kudrytska, N. V. ..., & Plyuta, I. Yu. (2017). *Rozvytok infrastrukturykh sektoriv yak chynnyk realizatsii priorytetnykh napriamiv eko-nomichnoi polityky Ukrainy: kolektyvna monohrafiia*. NASU, SI «Institute of Economics and Forecasting of the NAS of Ukraine». Kyiv. (in Ukrainian)
14. Olishevska, V. E., Ivanova, H. P., & Olishevskiy, H. S. (2025). Recycling Lead Acid Car Batteries: Challenges and Prospects. *Science and Transport Progress*, 1(109), 142-151. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/325342> (in Ukrainian)
15. Olishevska, V. E., & Olishevskiy, H. S. (2023, April). Motor transport ecological influencing on an environment. In *Innovative Technologies of Personnel Training for Industry and Transport 2023: Conference Proceedings* (pp. 147-152). Dnipro, Ukraine. (in Ukrainian)
16. Olishevska, V., & Olishevskiy, H. (2024). Substantiating rational rolling stock at an enterprise in the transition to electric vehicles. *Avtoshliakhovyk Ukrayiny*, 2, 35-44. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2024-2-279-35-44> (in Ukrainian)
17. Pyndus, Yu. I., & Zaverukha, R. R. (2016). *Elektronne ta mikroprotsesorne obladnannia avtomobiliv: navchalnyi posibnyk*. Ternopil: TNTU. (in Ukrainian)
18. *Rol i mistse ukrainskoi enerhetyky u svitovykh enerhetychnykh protsesakh*. (2018). Kyiv. Retrieved from https://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf (in Ukrainian)
19. Serpen stav rekordnym misiatsem dlia elektromobilnosti v Ukraini. (2024). *IONITY*. Retrieved from <https://ionity.ua/news/serpen-stav-rekordnym-misyaczem-dlya-elektromobilnosti-v-ukrayini/> (in Ukrainian)
20. Smyrnov, O., & Borysenko, A. (2023). Comparative analysis of electrical models of lith-ium-ion batteries in electric vehicles. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, 24, 50-61. DOI: <https://doi.org/10.30977/veit.2023.24.0.5> (in Ukrainian)
21. Sobkevych, O. V., Shevchenko, A. V., Rusan, V. M., Bielashov, Ye. V., Zhurakovska, L. A., & Zhalilo, Ya. A. *Priorytety rozvytku realnoho sektora v umovakh viiny ta povoiennoho vidnovlennia ekonomiky Ukrainy: analitychna dopovid*. Kyiv: NISS. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.03> (in Ukrainian)
22. Tverdoelektrolitni batarei Honda vstanovliat novyi standart zapasu khodu. (2024). *IONITY*. Retrieved from <https://ionity.ua/news/tverdoelektrolitni-batareyi-honda-vstanovlyat-novyj-standart-zapasu-hodu/> (in Ukrainian)
23. Yakovleva, A., Boichenko, S., Leida, K., Ivanchenko, O., & Frolov, V. (2019). *Ekolohistyka, retsyklinh i utylizatsiia transportu*. Kyiv: NAU. (in Ukrainian)

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

-
24. Bača, P., & Vanýsek, P. (2023). Issues Concerning Manufacture and Recycling of Lead. *Energies*, 16(11), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16114468> (in English)
 25. Borge-Diez, D., Icaza, D., Açikkalp, E., & Amaris, H. (2021). Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share. *Energy*, 237, 121608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121608> (in English)
 26. *Global EV Outlook 2024*. (2024). IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (in English)
 27. Hill N., Raugei M., Pons A., Vasileiadis N., Ong H., & Casullo L. (2023). *Research for TRAN Committee – Environmental challenges through the life cycle of battery electric vehicles*. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels. (in English)
 28. Leach, F., Kalghatgi, G., Stone, R., & Miles, P. (2020). The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*, 1, 100005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005> (in English)
 29. Pivnyak, G., Olishevskaya, V. Olishevskiy, H., Lutsenko, I., & Lysenko, A. (2024). Comprehensive research of electric cars development and related infrastructure in Ukraine. *Physical & Chemical Geotechnologies: 8th International Conference E3S Web of Conferences*, 567, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456701025> (in English)
 30. Salek, F., Resalati, S., Babaie, M., Henshall, P., Morrey, D., & Yao, L. (2024). A Review of the Technical Challenges and Solutions in Maximising the Potential Use of Second Life Batteries from Electric Vehicles. *Batteries*, 10(3), 1-40. DOI: <https://doi.org/10.3390/batteries10030079> (in English)
 31. Sharma, P. (2024). Study of Electric Vehicle Market Dynamics and Forecasting. *Shodh Sagar Journal of Electric Vehicles*, 1(1), 25-30. DOI: <https://doi.org/10.36676/jev.v1.i1.4> (in English)

Надійшла до редколегії: 28.02.2025

Прийнята до друку: 27.06.2025