

УДК 629.3:[621.355:504.5-027.33]

В. Є. ОЛІШЕВСЬКА^{1*}, Г. П. ІВАНОВА^{2*}, Г. С. ОЛІШЕВСЬКИЙ^{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 olishevskav.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351

^{2*}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

^{3*}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

Переробка свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів: виклики та перспективи

Мета. Автомобільний транспорт виконує важливу роль у функціонуванні та розвитку економіки країни, але його експлуатація супроводжується негативним впливом на навколишнє середовище, споживанням дефіцитних ресурсів та зростанням кількості відходів, серед яких найбільш небезпечними є відпрацьовані свинцево-кислотні акумулятори. Основною метою роботи є дослідження сучасного стану переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів в умовах економічної кризи, дефіциту енергоресурсів та інтенсивного забруднення навколишнього середовища, а також визначення її перспектив в Україні. **Методика.** Сьогодні відбувається швидке зростання рівня автомобілізації нашої країни, що викликає суттєве збільшення кількості свинцево-кислотних акумуляторів, які потребують переробки. Відсутність сучасної ефективної інфраструктури для збору відпрацьованих акумуляторів автомобілів часто призводить до їх потрапляння на звалища. Ця негативна тенденція спричиняє втрату ресурсоцінних вторинних матеріалів та забруднення навколишнього середовища. Сучасні технології переробки свинцево-кислотних акумуляторів характеризуються недостатньою ефективністю та потребують значних фінансових витрат. Важливим викликом є негативний вплив технології переробки акумуляторів на навколишнє середовище. Перспективними напрямками, що дозволять переробляти свинцево-кислотні акумулятори, є створення сучасної інфраструктури для збору та переробки акумуляторів та розвиток технологій рециклінгу, зокрема використання свинцю з акумуляторів у виробництві радіаційностійкого бетону. Комплексне дослідження проблеми переробки свинцево-кислотних акумуляторів дозволить задовольнити потребу в економії ресурсів та збільшенні раціонального використання ресурсів, що містяться у відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторах. **Результати.** Проаналізовано сучасний стан та проблеми переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів. Показано, що переробка акумуляторного брухту дозволяє вирішувати дві актуальні проблеми: охорони навколишнього середовища від забруднення та отримання цінної вторинної сировини. Досліджено можливості застосування для переробки акумуляторного брухту вібраційної шокової дробарки з нахильною камерою дроблення. **Наукова новизна.** Проведено комплексний аналіз проблеми переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів, що дозволив виявити специфічні особливості, тенденції розвитку та виклики. Обґрунтовано можливість застосування для переробки акумуляторного брухту вібраційної шокової дробарки з нахильною камерою дроблення. **Практична значимість.** Розглянуто основні напрями та проблеми переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів, використання продуктів переробки, у тому числі в будівельній галузі. Запропоновано використовувати для переробки свинцево-кислотних акумуляторів вібраційну шокову дробарку з нахильною камерою дроблення.

Ключові слова: свинцево-кислотний акумулятор; екологічний вплив; вібраційна шокова дробарка; дроблення акумуляторної пластини; відбудова транспортної інфраструктури; будівельні об'єкти; радіаційнозахисні споруди; важкий бетон

Вступ

Автомобільний транспорт України, який належить до критичної інфраструктури, виконує важливі економічні та соціальні завдання [2, 15].

А після підписання Угоди про асоціацію між

Україною та ЄС перед автомобільним транспортом постали завдання, пов'язані з лібералізацією, інституціональними змінами та модернізацією. Серед цілей модернізації авто-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

мобільного транспорту України прописані екологічно безпечний розвиток та оптимальне ресурсне забезпечення [10].

Але функціонування автомобільного транспорту України сьогодні має свої особливості:

- швидке зростання рівня автомобілізації; так, автомобільний транспорт України ще у 2017 році налічував понад 9,2 млн транспортних засобів, у тому числі 6,9 млн легкових автомобілів, близько 250 тис. автобусів, майже 1,3 млн вантажних автомобілів, понад 840 тис. одиниць мототранспорту [10, 12];

- технічна та (або) моральна застарілість майже 70 % рухомого складу;

- до 60 % екологічних збитків (за даними уряду України) в Україні пов'язані з перевезенням пасажирів легковими автомобілями;

- середній вік парку легкових автомобілів в Україні сягає 22,7 років (за міжнародними нормами, допустимий термін експлуатації легкових автомобілів складає 10 років [1]);

- кількість автомобілів віком понад 10 років в Україні складає 83 %;

- велике споживання дефіцитних ресурсів;
- значний негативний вплив на навколишнє середовище (викиди в атмосферу шкідливих речовин від автомобільного транспорту становлять 95 % від усіх викидів) [4, 8, 11, 13].

Окремою проблемою функціонування автомобільного транспорту є зростання кількості відходів, що утворюються в процесі його експлуатації та значно забруднюють навколишнє середовище [7, 9, 16].

Одним із найбільш небезпечних для навколишнього середовища видів відходів автомобільного транспорту є відпрацьовані свинцево-кислотні акумулятори, які містять свинець (що належить до найтоксичніших важких металів), сірчану кислоту, ртуть, кадмій, діоксид марганцю, літій та ряд інших шкідливих речовин [7, 9, 16].

Актуальність проблеми переробки свинцево-кислотних акумуляторів, які є джерелом цінних вторинних матеріальних ресурсів, зростає на тлі воєнного стану України. Об'єкти транспортної інфраструктури стали другим після житлових будівель сектором, який зазнав найбільших руйнувань, пошкоджень або порушень функціонування [6, 15]. Станом на початок вересня 2023 р. загальна сума збитків на транспорті склала

36,6 млрд дол. США [15]. Такий стан транспортної інфраструктури потребує економії ресурсів та вдосконалення ресурсоощадних технологій.

Мета

Основною метою роботи є дослідження сучасного стану переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів в умовах економічної кризи, дефіциту енергоресурсів та інтенсивного забруднення навколишнього середовища, а також визначення її перспектив в Україні.

Методика

До основних проблем, які сьогодні виникають під час переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів, належать такі:

- швидке зростання рівня автомобілізації нашої країни, що призводить до суттєвого збільшення кількості свинцево-кислотних акумуляторів, які потребують переробки;

- плани зі збільшення частки електромобілів до 15 % від усієї кількості автомобілів до 2030 р. (для реалізації внеску України в рамках Паризької конвенції), що не тільки не зменшує проблему переробки відпрацьованих акумуляторів, а навпаки, збільшує її, тому що виникає потреба переробки літій-іонних, нікель-кадмієвих, нікель-метал-гідридних та інших акумуляторів;

- відсутність ефективної інфраструктури для збору відпрацьованих акумуляторів автомобілів;

- потрапляння акумуляторів на звалища, що призводить до втрати ресурсоцінних вторинних матеріалів та забруднення навколишнього середовища;

- низька ефективність сучасних технологій переробки акумуляторів;

- потреба у значних фінансових витратах для переробки акумуляторів;

- негативний вплив технології переробки акумуляторів на навколишнє середовище;

- потреба у створенні сучасної інфраструктури для збору та переробки акумуляторів;

- необхідність розвитку технології рециклінгу;

- підготовка до повоєнної відбудови, потреба в економії ресурсів і збільшенні раціонального використання ресурсів, які містяться у відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторах.

Вирішення цих проблем наразі є актуальним.

Результати

Відпрацьовані свинцево-кислотні акумулятори автомобілів як джерело забруднення навколишнього середовища. Токсичні хімічні речовини свинець та сурма, які містяться у відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторах, що потрапили на звалища, з часом забруднюють атмосферу, воду та ґрунт. Наступним етапом забруднення є потрапляння свинцю та сурми через ґрунт у рослини, і далі – у продукти харчування. Із забрудненими продуктами харчування в організм людини потрапляє до 85 % від загального надходження свинцю [9].

Окремим питанням є відсутність ефективної інфраструктури в Україні для збору та переробки акумуляторів автомобілів, що додатково створює серйозні ризики для довкілля [7].

Тому гостро постає питання збору та переробки свинцево-кислотних акумуляторів [9, 17, 19].

Відпрацьовані свинцево-кислотні акумулятори автомобілів як джерело вторинних ресур-

соцінних матеріалів. Найбільш поширеними хімічними джерелами струму на автомобільному транспорті є свинцево-кислотні акумулятори, які поділяють на три групи: обслу́жні, малообслу́жні та необслу́жні (кальцієві) [9, 14].

Традиційний свинцево-кислотний акумулятор містить електроди, виконані у вигляді свинцевих ґратчастих пластин. Осередки пластин заповнені масою, що складається зі свинцю, води та сірчаної кислоти. Свинцево-кислотні акумулятори, залежно від марки, містять 42...67 % свинцю, 22...35 % органічної маси, 0,1...6,0 % електроліту, 3...10 % воло́ги, 8...14 % кисню, а також сліди сірки та інших сполук [9].

У необслу́жних акумуляторах застосовують ґрати зі свинцево-кальцієво-олов'янистих сплавів і сурм'янистих сплавів зі зменшеним вмістом сурми [9].

Для виробництва акумуляторів використовують, як правило, сплави PbSb3,5, PbSb1,8Se та PbSb4,5, хімічний склад яких наведено в табл. 1 [9].

Таблиця 1

Склад сплавів, які використовуються у виробництві акумуляторних батарей

Table 1

Composition of alloys used in the production of rechargeable batteries

Назва хімічного елемента	PbSb3,5	PbSb1,8Se	PbSb4,5
Кадмій	≤0,001	≤0,001	≤0,001
Сурма	3,3...3,8	1,2...1,8	4,5...4,8
Миш'як	0,003	0,07...0,11	0,03...0,05
Олово	0,005...0,01	0,40...0,55	0,40...0,60
Срібло	Необмежено	Необмежено	Необмежено
Вісмут	≤0,03	≤0,03	≤0,03
Мідь	0,01...0,06	≤0,04	≤0,08
Залізо	≤0,001	≤0,001	≤0,001
Нікель	≤0,002	≤0,002	≤0,002
Сірка	0,003...0,01	0,003...0,01	0,003...0,01
Цинк	≤0,001	≤0,001	≤0,001
Селен		≤0,002	

Важливість свинцю як матеріалу для виробництва свинцево-кислотних акумуляторів підкреслює той факт, що вже у 2014 році 90 % очи-

щеного свинцю використовували для виробництва акумуляторних батарей [17].

Збільшення кількості автомобілів призводить до зростання виробництва акумуляторів,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

що, у свою чергу, викликає зростання споживання свинцю.

Дефіцит свинцю, який традиційно пов'язують зі зростанням виробництва свинцево-кислотних акумуляторів, також обумовлений вичерпанням запасів рудної сировини та її значним збідненням, потребою будівництва сучасних гірничо-металургійних комплексів. Привертає увагу той факт, що видобуток сировини також має негативний вплив на навколишнє середовище та супроводжується забрудненням водних ресурсів, деградацією земель та порушенням екологічних систем [7].

У відпрацьованих автомобільних акумуляторах свинець наявний у різних видах:

- у металевій формі (свинцево-сурм'янистий сплав) – 34,5 %;
- у вигляді сульфатів свинцю – 23,5 %;
- у вигляді оксидів свинцю – 17,2 % [9].

Досвід промислово розвинених країн світу показує, що приріст виробництва свинцю з рудної сировини складає 8 %, а із вторинної сировини, головним джерелом якої є відпрацьовані акумулятори, – 15 % [9].

У роботі [17] зазначено, як змінювався рівень переробки акумуляторів у США: він становив близько 70 % у 1980 році, збільшився до 93 % у 2000...2003 роках, до 96 % у 2005 році та залишається на рівні 99 % з 2010 року.

Наведені приклади досвіду переробки свинцево-кислотних акумуляторів в інших країнах показують, що можлива майже 100 % переробка акумуляторів автомобілів. Цей досвід доцільно використовувати в нашій країні. Важливим аспектом, який дозволить використовувати відпрацьовані свинцево-кислотні акумулятори автомобілів як джерела вторинних ресурсоцінних матеріалів, є створення відповідної інфраструктури для збору та переробки акумуляторів.

Аналіз технологій переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів. Для переробки акумуляторів використовують різні методи, у тому числі пірометалургійні та електрохімічні [9, 17, 19, 20].

Пірометалургійні способи переробки акумуляторного брухту можна класифікувати на три групи:

- металургійна переробка після часткової підготовки;
- комбінований спосіб підготовки та металургійної обробки;
- комплексна переробка цілих акумуляторів.

Недоліками пірометалургійних методів є складність процесів переробки, висока вартість, складність очищення газів, що утворюються.

Електрохімічні технології переробки акумуляторного брухту засновані на хімічному або електрохімічному розчиненні свинцевмісних компонентів акумуляторів (пластин, шламу) і вилученні свинцю з електроліту методом електрофінування або електроекстракції.

Електрохімічні технології, порівняно з пірометалургійними методами, дозволяють:

- отримувати чистий свинець, бо метали-домішки не осідають на катоді, а випадають у вигляді шламу або переходять у розчин електроліту;
- забезпечувати більш високий вихід продукту переробки.

Електрохімічні технології переробки акумуляторів мають ряд недоліків:

- низьку швидкість процесу переробки;
- необхідність проведення попередніх операцій із переведення свинцю в розчинну форму, оскільки акумуляторні пластини містять свинець не тільки в металевій формі, але й у вигляді сульфату та діоксиду, практично нерозчинних у більшості електролітів.

Суттєвою проблемою, яка виникає під час переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів, є негативний вплив на навколишнє середовище. Процес переробки супроводжується забрудненням повітря, ґрунту, води та сільськогосподарських культур і, зрештою, негативно впливає на здоров'я людей [18].

Дослідження можливості використання вібраційної шоккової дробарки для переробки свинцево-кислотних акумуляторів. Сьогодні існує велика кількість технологічних схем переробки свинцево-кислотних акумуляторів, одна з яких показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема переробки свинцево-кислотних акумуляторів:
червоним трикутником позначено операцію подрібнення акумуляторних пластин

Fig. 1. Scheme of recycling lead-acid batteries:
the red triangle indicates the operation of shredding battery plates

У більшості технологій перед хімічною та металургійною переробкою застосовують обробку та сепарацію брукху.

Для механізованої обробки свинцево-кислотних батарей використовують різне обладнання: гідравлічні преси, автомати різання батарей з дисковими пилами, молоткові дробарки [9].

Наявні технологічні лінії з подрібнення акумуляторів базуються, як правило, на застосуванні різного роду молоткових дробарок, у яких подрібнений продукт є сумішшю компонентів вихідної сировини. Це потребує значної кількості додаткового устаткування для розділення отриманих продуктів.

Підвищити ефективність процесу дроблення та якість продуктів можна шляхом використання вібраційної шоквої дробарки з нахильною камерою дроблення. Тому було проведено експериментальні дослідження можливості переробки свинцево-кислотних акумуляторів на лабораторному зразку вібраційної шоквої дробарки з нахильною камерою дроблення ВЩДН-120.

Конструктивна схема дробарки, у загальному вигляді являє собою коливальну систему, у якій щокам, що рухомо зчленовані з корпусом

за допомогою пружних елементів, надаються коливання з частотою порядку 16...32 Гц. Нижня щока 1 (рис. 2) має стійки 2, у яких за допомогою осі підвісу 3 встановлена рухома щока 4 з вібро-збудником 5. Дробарка розташована на опорних амортизаторах 6, а нижня щока 1 і рухома щока 4 пов'язані між собою пружним елементом 7.

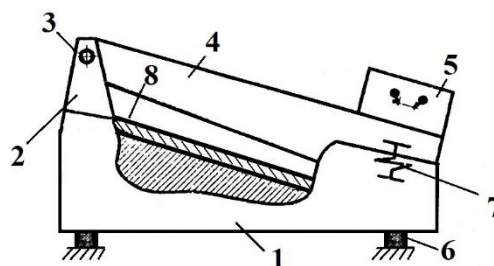


Рис. 2. Конструктивна схема вібраційної шоквої дробарки:

- 1 – нижня щока; 2 – стійки; 3 – вісь підвісу; 4 – рухома щока; 5 – віброзбудник; 6 – опорні амортизатори; 7 – пружний елемент; 8 – робоча поверхня нижньої щоки

Fig. 2. Schematic diagram of a vibrating jaw crusher:

- 1 – lower cheek; 2 – racks; 3 – suspension axis; 4 – movable cheek; 5 – vibration exciter; 6 – support shock absorbers; 7 – elastic element; 8 – working surface of the lower cheek

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Акумуляторний брухт, що надходить до камери дроблення, переміщується по робочій поверхні нижньої щоби 8 і піддається високочастотному ударному навантаженню з боку рухомої щоби 4, що здійснює коливальні рухи під дією віброзбудника 5.

На рис. 3 представлено складові вихідної пластини.

Дроблення пластин проведено за таких параметрів: частота коливання щік 20 Гц, амплітуда коливання рухомої щоби 5 мм, кут захоплення 12°, ширина розвантажувальної щілини 3 мм, довжина паралельної зони 100 мм.



Рис. 3. Акумуляторна пластина:
1 – свинцеві ґрати; 2 – сульфатно-оксидна складова

Figure 3. Battery plate:
1 – lead lattice; 2 – sulfate-oxide component

Взаємодія акумуляторного брухту з рухомою щобою призвела до поділу пластини на свинцеві ґрати (рис. 4, а) та активну масу (рис. 4, б).

Фракційний склад виділеної активної маси містить 62 % матеріалу крупністю – 0,5 мм, 20 % – крупністю 0,5...1,0 мм, 8 % – крупністю 1,0...2,0 мм та 10 % – крупністю понад 2,0 мм.

Використання продуктів переробки свинцево-кислотних акумуляторів. Токсичність свинцю обмежує коло його застосування, однак у складі сплавів або під час спорудження спеціальних конструкцій цей метал доречно використовувати.

Перед Україною, окрім скорочення технологічних відходів, стоїть проблема розробки ефективних радіаційнозахисних матеріалів із використанням продуктів рециклінгу.

У наш час актуальним питанням є заходи безпеки в разі виникнення небезпечної радіаційної ситуації. Будівництво укриттів та захист бу-

дівель від радіоактивного випромінювання є нагальною потребою сьогодення [5].

Свинець найбільш ефективно, порівняно з іншими матеріалами, затримує різні небезпечні випромінювання, тому його застосовують для радіаційного захисту в різних галузях: на ядерних реакторах, у рентгенівських кабінетах, у виробництві контейнерів для перевезення радіоактивних речовин та ін.

а – а



б – б



Рис. 4. Результат дроблення акумуляторної пластини:

а – свинцеві ґрати; б – сульфатно-оксидна фракція

Fig. 4. The result of battery plate crushing:
а – lead lattice; б – sulfate-oxide fraction

Під час обладнання рентгенівського кабінету саме свинець використовують як захисний шар для стін і дверей, підлоги і стелі, мобільних перегородок, засобів індивідуального захисту – фартухів, наплічників, рукавичок та інших предметів зі свинцевими вставками.

Захист забезпечується завдяки певній товщині екранованого матеріалу, що вимагає точних розрахунків з урахуванням розмірів приміщення, потужності апаратури, інтенсивності використання тощо. Здатність матеріалу знижувати випромінювання вимірюється у «свинцевому еквіваленті» – значенні товщини такого шару чистого свинцю, який здатний розраховане випромінювання поглинути. Ефективним вважають такий захист, який перевершує вказану величину на $\frac{1}{4}$ мм.

Важкий бетон із вмістом свинцю – один з ефективних матеріалів, які використовують під час будівництва конструктивних елементів стратегічних об'єктів, для зменшення товщини захисних екранів під час зведення атомних електростанцій і підприємств із виробництва ізотопів [3].

Наукова новизна та практична значимість

У роботі проведено комплексний аналіз проблеми переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів, що дозволяє виявити специфічні особливості, тенденції розвитку та виклики.

Переробка свинцево-кислотних акумуляторів допомагає вирішувати екологічні проблеми, що пов'язані з утилізацією відпрацьованих батарей. Відходи батарей містять небезпечні матеріали, які можуть завдати шкоди екологічній системі та становлять небезпеку здоров'ю людини.

Переробка відпрацьованих батарей сприяє збереженню природних ресурсів, тому що батареї є джерелом цінних матеріалів, що, у свою чергу, дозволяє знижувати залежність від видобутку сировини та зменшує виснаження природних ресурсів.

Переробка відпрацьованих акумуляторних батарей має велике значення для досягнення нульових показників викидів вуглецю на автомобільному транспорті.

У роботі обґрунтовано можливості застосування вібраційної шоккової дробарки з нахильною камерою дроблення для переробки акумуляторних пластин. Розглянуто використання продуктів переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів, у тому числі в будівельній галузі.

Висновки

У науковій роботі використано опубліковані дані, а також матеріали власних досліджень.

Основною сферою застосування свинцево-кислотних акумуляторів є автомобільна промисловість.

Інтенсивний розвиток автомобільного транспорту призводить до зростання кількості відходів, що утворюються в процесі його експлуатації. Відпрацьовані свинцево-кислотні акумулятори містять свинець, що належить до найтоксичніших важких металів, сірчану кислоту, ртуть, кадмій, діоксид марганцю, літій та інші шкідливі речовини, які вимагають переробки після закінчення експлуатації акумуляторів.

Проведений аналіз сучасного стану та проблеми переробки свинцево-кислотних акумуляторів автомобілів показав, що переробка акумуляторного брухту дозволяє вирішувати дві актуальні проблеми: охорони навколишнього середовища від забруднення та отримання цінної вторинної сировини.

За відсутності необхідної інфраструктури та обмеженого охоплення, відпрацьовані акумулятори часто потрапляють на звалища, що призводить до забруднення навколишнього середовища та втрат цінних вторинних ресурсів.

Переробка акумуляторів потребує наявності ефективних технологій та значних фінансових витрат.

Наявні технології переробки автомобільних акумуляторів мають низку недоліків, серед яких можна виділити якість продуктів переробки та високу енергоємність процесів переробки.

Одним із шляхів удосконалення технологій переробки акумуляторів є використання вібраційних шоккових дробарок із нахильною камерою дроблення, тому було досліджено можливість її застосування для переробки акумуляторних пластин. Отримані результати показують перспективу використання вібраційних шоккових дробарок із нахильною камерою дроблення для переробки акумуляторного брухту.

Потенціал використання акумуляторних відходів як вторинної сировини може стати потужним чинником розвитку економіки нашої країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ганошенко О. М., Голік Ю. С. Аналіз проблем утворення та утилізації відходів автотранспортного комплексу. *Екологічні науки*. 2018. № 21. С. 40–45.
2. Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури. Постанова від 9 жовтня 2020 р. № 1109. Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text>
3. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови [Чинний від 2023-09-01]. Київ : ДП «НДІБК», 2022. 21 с.
4. Запорожець О. І., Бойченко С. В., Матвєєва О. Л., Шаманський С. Й., Дмитруха, Т. І., Маджд С. М. *Транспортна екологія: навчальний посібник*. Київ : НАУ, 2017. 507 с.
5. Іванова Г. П., Жабчик К. С. Перспективи використання металізованих окатків в якості заповнювача для важких бетонів. *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. № 67. С. 96–103. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.096>
6. Іванова Г. П., Олішевська В. Є., Гапєєв С. М., Олішевська С. О. 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>
7. 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)
8. 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.
9. Нефедов В. Г., Поліщук Ю. В. *Електрохімічна енергетика. Свинцеві акумулятори: улаштування, виробництво, розрахунки*. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2013. 298 с.
10. Никифоров О. І., Чукаєва І. К., Піріашвілі Б. З., Ляшенко О. Ф., Карпов В. М., Кудрицька Н. В. ... Плота 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.
11. 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.
12. 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>
13. Понеділок Ю. В., Кривошапко С. Б. Проблеми та напрямки розвитку автомобільно-транспортної системи. *Інтелектуальні технології управління транспортними процесами : збірник матеріалів міжнародної науково-технічної конференції (Харків, 17-18 лист. 2020 р.)*. Харків : ХНАДУ, 2020. С. 186–188.
14. *Правила експлуатації акумуляторних свинцевих стартерних батарей колісних транспортних засобів і спеціальних машин, виконаних на колісних шасі* [Чинний від 2008-07-02]. Наказ № 795. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0689-08#Text>
15. 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>
16. Яковлева А., Бойченко С., Лейда К., Іванченко О., Фролов В. *Екологістика, рециклінг і утилізація транспорту*. Київ : НАУ, 2019. 266 с.
17. 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>
18. Gao X., Zhou Y., Fan M., Jiang M., Zhang M., Cai H., Wang X. Environmental risk assessment near a typical spent lead-acid battery recycling factory in China. *Environmental Research*. 2023. Vol. 233. P. 116417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116417>
19. Kang Z., Huang Z., Peng Q., Shi Z., Xiao H., Yin R., Fu G., Zhao J. Recycling technologies, policies, prospects, and challenges for spent batteries. *IScience*. 2023. Vol. 26. Iss. 11. P. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108072>
20. Radja K., Selami N., Khadra K., Abdelkader F., Laid G. Sustainable practices in lead acid battery recycling. *Brazilian Applied Science Review*. 2025. Vol. 9, No. 1. P 1–13. DOI: <https://doi.org/10.34115/basrv9n1-004>

V. E. OLISHEVSKA^{1*}, H. P. IVANOVA^{2*}, H. S. OLISHEVSKYI^{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 olishevsk.v.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351^{2*}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^{3*}Dep. of Electric Power Engineering, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (095) 56 51 830, e-mail olishevskiyi.h.s@nmu.one, ORCID 0000-0001-9576-7527

Recycling Lead Acid Car Batteries: Challenges and Prospects

Purpose. Road transport plays an important role in the functioning and development of the country's economy, but its operation is accompanied by a negative impact on the environment, consumption of scarce resources and an increase in the amount of waste, among which the most dangerous are spent lead-acid batteries. The main purpose of the study is to investigate the current state of recycling of lead-acid car batteries in the context of the economic crisis, energy shortages and intense environmental pollution, as well as to determine its prospects in Ukraine. **Methodology.** Today, there is a rapid increase in the level of motorization in our country, which causes a significant increase in the number of lead-acid batteries that need to be recycled. The lack of modern, efficient infrastructure for collecting used car batteries often leads to their ending up in landfills. This negative trend causes the loss of valuable secondary materials and environmental pollution. Current technologies for recycling lead-acid batteries are characterized by insufficient efficiency and require significant financial costs. An important challenge is the negative impact of battery recycling technology on the environment. Promising areas that will allow the recycling of lead-acid batteries include the creation of a modern infrastructure for battery collection and recycling and the development of recycling technologies, including the use of lead from batteries in the production of radiation-resistant concrete. A comprehensive study of the problem of recycling lead-acid batteries will satisfy the need to save resources and increase the rational use of resources contained in spent lead-acid batteries. **Findings.** The current state and problems of recycling lead-acid batteries for cars are analyzed. It is shown that battery scrap recycling allows solving two urgent problems: environmental protection and obtaining valuable secondary raw materials. The possibilities of using a vibrating jaw crusher with an inclined crushing chamber for the processing of battery scrap were investigated. **Originality.** A comprehensive analysis of the problem of recycling lead-acid car batteries was carried out, which allowed to identify specific features, development trends and challenges. The possibility of using a vibrating jaw crusher with an inclined crushing chamber for the processing of battery scrap is substantiated. **Practical value.** The main directions and problems of recycling lead-acid car batteries, the use of recycling products, including in the construction industry, are considered. It is proposed to use a vibrating jaw crusher with an inclined crushing chamber for the processing of lead-acid batteries.

Keywords: lead-acid battery; environmental impact; vibrating jaw crusher; battery plate crushing; reconstruction of transport infrastructure; construction facilities; radiation protection structures; heavy concrete

REFERENCES

1. Ganoshenko, E., & Holik, Yu. (2021). Analysis of the problem of the formation and disposal of waste motor complex. *Ecological Sciences*, 21, 40-45. (in Ukrainian)
2. *Deiaki pytannia obektiv krytychnoi infrastruktury*. No 1109. (2020, 9 October). *Verkhovna Rada of Ukraine: Legislation of Ukraine*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text> (in Ukrainian)
3. *Betony vazhki. Tekhnichni umovy, 194 DSTU 9208:2022* (2022). Kyiv: DP «NDIBK». (in Ukrainian)
4. Zaporozhech O. I., Bojchenko S. V., Matvejeva O. L., Shamanskyj S. J., Dmytrukha, T. I., Madzhd S. M. *Transportna ekologhiya: navchalnyj posibnyk*. Kyiv: NAU. (in Ukrainian)
5. Ivanova, H., & Zhabchuk, K. (2021). Prospects of using metallized pellets as aggregates for heavy concretes. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 67, 96-103. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.096> (in Ukrainian)
6. Ivanova, H. P., Olishevsk, V. Ye., Hapiev, S. M., & Olishevsk, 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)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

7. 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)
8. Lynnyk, I. E., Lezhneva, O. I., Dorozhko, Ye. V., Vakulenko, K. Ye., Sokolova, N. A. & Afanas'yeva, I. A. (2020). *Ekolohichni aspekty avtotransportnoho kompleksu: monohrafiia*. Kharkiv: Vydavnytstvo «Smuhasta typohrafiya». (in Ukrainian)
9. Nefedov, V. H., & Polishchuk, Yu. V. (2013). *Elektrokhimichna enerhetyka. Svyntsevi akumulatory: ulash-tuvannia, vyrobnytstvo, rozrakhunky*. Dnipropetrovsk : DVNZ UDKhTU. (in Ukrainian)
10. Nykyforuk, O. I., Chukayeva, I. K., Piriashvili, B. Z., Lyashenko, O. F., Karpov, V. M., Kudryts'ka, N. V. ..., & Plyuta, I. Yu. (2017). *Rozvytok infrastrukturykh sektoriv yak chynnyk realizatsiyi priorytetnykh napryamiv ekonomichnoyi polityky Ukrainy*. NASU, SI "Institute of Economics and Forecasting of the NAS of Ukraine". Kyiv. (in Ukrainian)
11. Olishevskaya, V. E., & Olishevskaya, 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)
12. Olishevskaya, V., & Olishevskiy, H. (2024). Substantiating rational rolling stock at an enterprise in the transition to electric vehicles. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 2, 35-44. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2024-2-279-35-44> (in Ukrainian)
13. Ponedilok, Yu. V., & Kryvoshapko, S. B. (2020, Nov.). Problemy ta napriamky rozvytku avtomobilno-transportnoi systemy. In *Intelektualni tekhnologii upravlinnia transportnymi protsesamy: zbirnyk materialiv mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii* (pp. 186–188). Kharkiv, Ukraine. (in Ukrainian)
14. *Pravyla ekspluatuvannya akumulyatornykh svyntsevykh starternykh batarey kolis-nykh transportnykh zasobiv i spetsial'nykh mashyn, vykonanykh na kolisnykh shasi*, No 795. (2008). *Verkhovna Rada of Ukraine: Legislation of Ukraine*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0689-08#Text> (in Ukrainian)
15. Sobkevych, O. V., Shevchenko, A. V., Rusan, V. M., Bielashov, Ye. V., Zhurakovska, L. A., & Zhalilo, Ya. A. (2024). *Priorytety rozvytku realnoho sektora v umovakh viiny ta povoiennoho vidnovlennia ekonomiky Ukrainy: analitychna dopovid*. Kyiv : NISD. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.03> (in Ukrainian)
16. Yakovleva, A., Boichenko, S., Leida, K., Ivanchenko, O., & Frolov, V. (2019). *Ekolohistyka, retsyklinh i utylyzatsiia transportu*. Kyiv: NAU. (in Ukrainian)
17. Bača, P., & Vanýsek, P. (2023). Issues Concerning Manufacture and Recycling of Lead. *Energies*, 16(11), 4468. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16114468> (in English)
18. Gao, X., Zhou, Y., Fan, M., Jiang, M., Zhang, M., Cai, H., & Wang, X. (2023). Environmental risk assessment near a typical spent lead-acid battery recycling factory in China. *Environmental Research*, 233, 116417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116417> (in English)
19. Kang, Z., Huang, Z., Peng, Q., Shi, Z., Xiao, H., Yin, R., Fu, G., & Zhao, J. (2023). Recycling technologies, policies, prospects, and challenges for spent batteries. *IScience*, 26(11), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108072> (in English)
20. Radja, K., Selami, N., Khadra, K., Abdelkader, F., & Laid, G. (2025). Sustainable practices in lead acid battery recycling. *Brazilian Applied Science Review*, 9(1), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.34115/basrv9n1-004> (in English)

Надійшла до редколегії: 11.11.2024

Прийнята до друку: 20.03.2025