

WASTE BATTERY GENERATION IN UKRAINE

УТВОРЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ПОБУТОВИХ БАТАРЕЙОК В УКРАЇНІ

Vitalii A. Ishchenko

ishchenko.v.a@vntu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8464-1096

В. А. Іщенко,

канд. техн. наук, доцент

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia**Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*

Abstract. Purpose. The purpose of the article is to estimate the quantity and weight of waste household batteries in Ukraine by obtaining and comparing the data from various sources – experimental collection of batteries at the university, study their content in household appliances/devices, and official statistical data.

Method. The content of waste batteries in household waste was defined in several ways. A special container for collecting waste household batteries was installed in Vinnitsia National Technical University. Besides, household appliances and devices with batteries were analysed: the type and number of batteries, and frequency of their replacement were determined. Open-access data on the quantity of waste batteries collected in special containers of retail chains, institutions, public organizations, etc. were also analysed.

Results. According to the results of battery collection in Vinnitsia National Technical University, the average person uses about 10 batteries with a total weight of about 150 g per year. Over 95 % of household batteries are so-called dry batteries (zinc and alkaline). The share of lithium-ion batteries, despite their widespread use, remains quite insignificant – about 1 % by weight. According to another study, the total number of used batteries in household appliances is about 21 pcs./year per person, which is twice the result of battery collection. The largest share belongs to alkaline and zinc batteries (75 %), which is somewhat less than results of battery collection. On the other hand, much more button batteries (up to 20 %) were identified. For other types of batteries, in general, both data sources are correlated. According to official statistics, about 4–4.5 thousand tons/year of used batteries are generated in Ukraine. This corresponds to approximately 100 g/year per person, which is much less than in our study and may indicate an underestimation of official data. In general, the data received from various studies (except for official statistics) are consistent, if exclude car batteries.

Scientific novelty. The scientific novelty of the work is the scientific substantiation of the volume of waste battery generation in Ukraine.

Practical importance. The practical significance of the work is the comparative analysis of statistical data on the waste battery generation in Ukraine.

Key words: waste management; waste battery; chemical power source; waste; waste generation.

Анотація. Мета. Метою роботи є оцінка кількості та маси відпрацьованих побутових батарейок в Україні шляхом отримання і порівняння даних із різних джерел – експериментального збирання батарейок в університеті, дослідження їх вмісту у домашніх приладах / пристроях, та офіційних статистичних даних.

Методика. Визначення вмісту відпрацьованих батарейок у побутових відходах проводилось кількома способами. У Вінницькому національному технічному університеті було встановлено спеціальний контейнер для збирання відпрацьованих побутових батарейок. Крім того, були проаналізовані домашні прилади та пристрої, в яких використовуються батарейки: визначені тип та кількість батарейок, а також періодичність їх заміни. Також було проведено аналіз відкритих джерел інформації щодо кількості відпрацьованих батарейок, зібраних у спеціальні контейнери торговельних мереж, окремих установ, громадських організацій тощо.

Результати. За результатами збирання батарейок у Вінницькому національному технічному університеті середньостатистична людина за 1 рік використовує близько 10 батарейок загальною масою близько 150 г. Понад 95 % побутових батарейок складають так звані сухі батарейки (цинкові та лужні). Частка літій-іонних акумуляторів, незважаючи на їх повсюдне використання, залишається досить незначною – близько 1 % за масою. За іншим дослідженням, загальна кількість відпрацьованих батарейок у домашніх приладах – близько 21 шт./рік на 1 людину, що вдвічі більше результату, отриманого при збиранні батарейок. Найбільша частка належить лужним і цинковим батарейкам – 75 % – це дещо менше, ніж за результатами збирання батарейок. Натомість значно більше (до 20 %) – кнопкових батарейок. Щодо інших типів батарейок – в цілому, обидва джерела даних корелюються. Відповідно до офіційної статистики в Україні утворюється близько 4–4,5 тис. т/рік відпрацьова-

них батарейок. Це відповідає показнику приблизно 100 г/рік на 1 людину, що значно менше, ніж у проведених нами дослідженнях і може свідчити про заниження офіційних даних. В цілому, дані, отримані з різних досліджень (крім офіційної статистики), узгоджуються, якщо не враховувати автомобільні акумулятори.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у науковому обґрунтуванні обсягу утворення відпрацьованих батарейок в Україні.

Практична значимість. Практична значимість роботи полягає у порівняльному аналізі статистичних даних щодо утворення відпрацьованих батарейок в Україні.

Ключові слова: управління відходами; відпрацьована батарейка; хімічне джерело струму; відходи; утворення відходів.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Відпрацьовані батарейки (хімічні джерела струму, ХДС) – один із найнебезпечніших компонентів побутових відходів. Їх наявність створює значні екологічні проблеми, якщо відходи не управляються належним чином [1]. При потраплянні у довкілля відпрацьовані батарейки становлять екологічну загрозу внаслідок забруднення важкими металами та іншими токсичними речовинами [2; 3]. В Україні система управління відходами є неефективною і відпрацьовані батарейки, як правило, потрапляють на полігони побутових відходів разом з іншими відходами. Це створює екологічні ризики і призводить до втрати потенційних ресурсів (особливо це стосується літій-іонних батарейок, які містять 5–20 % кобальту, 5–10 % нікелю і 5–7 % літію [4; 5]). Для зниження екологічного впливу та ефективнішого управління відпрацьованими батарейками необхідним є визначення їх обсягу у відходах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дані щодо кількості відпрацьованих батарейок у різних країнах часто сильно відрізняються. Це пов'язано із наявністю / відсутністю спеціальних схем для збирання таких відходів, а також із різною ефективністю ведення статистики. Наприклад, автори [6] визначили вміст відпрацьованих батарейок у побутових відходах Данії на рівні 0,02–0,06 %, що відповідає в середньому 208 г (9 шт.) батарейок на рік на кожне домогосподарство. Це складає 39 % від всіх утворених відходів батарейок. Таким чином, загальна кількість відпрацьованих батарейок може бути оцінена у 0,1 % маси побутових відходів. Однак, варто відзначити, що в Данії у кожному населеному пункті є доступ до пунктів збирання спеціальних відходів. Тому більшість відпрацьованих батарейок збираються окремо, а залишкових побутових відходів їх відносно мало. Дослідження [7; 8], проведені у Німеччині теж показало в середньому 0,04 % відпрацьованих батарейок у побутових відходах. В Австрії близько 800 тонн батарейок щорічно викидаються разом з іншими відходами [9; 10]. У Польщі станом на 2004 рік окремо збирались лише 6,5 % батарейок (12,2 г/рік на 1 людину) [11; 12]. Відповідно, у змішаних відходах залишалось близько 190 г/рік батарейок. Але станом на 2018 рік рівень збирання підвищився до 80 % [13], що є одним із найвищих показників у ЄС. Дані щодо

вмісту у побутових відходах відпрацьованих батарейок в Китаї (250 г/рік на 1 людину) [14; 15] є значно вищими. В цілому, відповідно до даних Європейської асоціації портативних батарейок [13; 16], середня маса батарейок, розміщених на ринках країн ЄС становить 453 г/рік на 1 людину.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

В Україні статистичні дані щодо утворення відходів, і особливо відпрацьованих батарейок, є досить обмеженими і часто неточними. Близько 75–80 % батарейок не враховується в потоках відходів, а для побутових батарейок цей показник досягає 99 % (тобто батарейки у побутових відходах практично не враховані у офіційній статистиці). Крім того, залишаються необлікованими батарейки у складі відходів електричного та електронного обладнання [17]. Наприклад, у [6] визначили, що близько 20 % всіх відпрацьованих батарейок знаходяться у електричному та електронному обладнанні. Згідно [7] частка відпрацьованих батарейок у електронних відходах – близько 1 %. За дослідженнями [18], у Японії у малому електронному обладнанні маса батарейок в середньому складає 4,6%.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є оцінка кількості та маси відпрацьованих побутових батарейок в Україні шляхом отримання і порівняння даних із різних джерел – експериментального збирання батарейок в університеті, дослідженні їх вмісту у домашніх приладах / пристроях, та офіційних статистичних даних.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення вмісту відпрацьованих батарейок у побутових відходах проводилось у 2023 році. У корпусі № 7 Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) було встановлено спеціальний контейнер для збирання відпрацьованих побутових батарейок. У дослідженні, яке тривало 257 днів (з 01.02.2023 по 05.10.2023) брали участь 80 чоловік (з них студенти – 60 осіб, викладачі та інженерний персонал – 20 осіб), які працювали / навчались у вказаному корпусі. При цьому, очевидно, що відпрацьовані батарейки утворювались не лише у вказаних осіб, але й у членів їх родини / співмешканців. Приблизно

половина студентів (близько 30 осіб) тимчасово мешкає у гуртожитку, тому вони представляють лише самих себе, а не всю сім'ю. Можна вважати, що решта учасників – близько 50 осіб – приносили відпрацьовані батарейки, які утворилися у їхніх сім'ях. При середній кількості осіб в одній сім'ї в Україні 2,6 особи, орієнтовна кількість учасників склала 160 осіб ($50 \cdot 2,6 + 30$). Існує ймовірність, що сторонні особи могли принести відпрацьовані батарейки під час відвідування корпусу № 7, однак, за неможливості проконтролювати це, даний фактор не враховувався при проведенні дослідження. Всі учасники були проінструктовані про необхідність приносити до контейнера всі відпрацьовані батарейки, які утворюються в побуті. Після завершення етапу збирання батарейок, вони були посортовані за типом, для кожного типу порахована кількість і маса батарейок. Середня кількість (маса) батарейок N_c (M_c) з розрахунку на 1 людину на рік може бути розрахована за формулами:

$$M_c = M \cdot 365 / (n \cdot t), \quad (1)$$

$$N_c = N \cdot 365 / (n \cdot t), \quad (2)$$

де M – маса зібраних батарейок, г; N – кількість зібраних батарейок, шт.; n – кількість осіб, які збирали батарейки; t – кількість днів збирання батарейок.

Крім того, були проаналізовані домашні прилади та пристрої, в яких використовуються батарейки:

визначені тип та кількість батарейок, а також періодичність їх заміни. У дослідженні взяли участь 4 аспіранти із своїми сім'ями, загальна кількість осіб – 10 (з об'єктивних причин відсутня можливість залучити більшу кількість учасників). Дані від чотирьох сімей були усереднені і визначено кількість відпрацьованих батарейок, які утворюються в середньому на 1 людину за рік. Ці дані були порівняні із тими, які отримані за результатами збирання батарейок у Вінницькому національному технічному університеті (за методикою, наведеною вище).

Також було проведено аналіз відкритих джерел інформації щодо кількості відпрацьованих батарейок, зібраних у спеціальні контейнери торгівельних мереж, окремих установ, громадських організацій тощо.

Об'єктом дослідження є відпрацьовані батарейки.

Предметом дослідження є обсяг утворення відпрацьованих батарейок.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ТА ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Оцінка кількості відпрацьованих батарейок, зібраних у спеціальний контейнер. За результатами збирання батарейок, в якому брало участь близько 160 осіб протягом 257 днів, було зібрано 1052 батарейки загальною масою 16,434 кг (табл. 1).

Аналіз табл. 1 показує, що найбільше використовуються лужні батарейки розміру AA, а також

Таблиця 1. Кількості і маси зібраних відпрацьованих батарейок різних типів

Група батарейок	Тип батарейки	Кількість, шт.	Маса, г	Середня маса однієї батарейки, г	Середня кількість батарейок на 1 людину, шт./рік	Середня маса батарейок на 1 людину, г/рік
Цинк-вугільні	R6, розмір AA	262	3728,5	14,231	2,42	34,436
	R03, розмір AAA	192	1365,1	7,110	1,77	12,608
	R14, розмір C	13	604,5	46,500	0,12	5,583
	R20, розмір D	9	957	106,333	0,08	8,839
	6F22	15	557	37,133	0,14	5,144
Лужні	LR6, розмір AA	336	7017,5	20,885	3,10	64,812
	LR03, розмір AAA	133	1512,8	11,374	1,23	13,972
	A27 (MN27)	1	4,4	4,400	0,01	0,041
	A23 (MN21/23)	3	24,7	8,233	0,03	0,228
Акумуляторні	HR6, Ni-MH розмір AA	10	284,6	28,460	0,09	2,629
	KR6, Ni-Cd розмір AA	4	71,4	17,850	0,04	0,659
	HR03, Ni-MH розмір AAA	9	73	8,111	0,08	0,674
	Літій-іонна	6	144,7	24,117	0,06	1,336
Кнопкові	Срібло-оксидна, тип 389	1	1,26	1,260	0,01	0,012
	Лужна, AG13 (LR44)	12	22,1	1,842	0,11	0,204
	Лужна, AG4 (LR626)	2	0,7	0,350	0,02	0,006
	Лужна, AG10 (LR1130)	10	11,5	1,150	0,09	0,106
	Лужна, AG3 (LR736/LR41)	8	4,6	0,575	0,07	0,042
	Лужна, G12a (LR43)	1	1,5	1,500	0,01	0,014
	AG1 (LR621), кнопкова	8	2,17	0,271	0,07	0,020
	CR2016/2032, літієва кнопкова	17	45,3	2,665	0,16	0,418
		1052	16 434		9,72	151,785

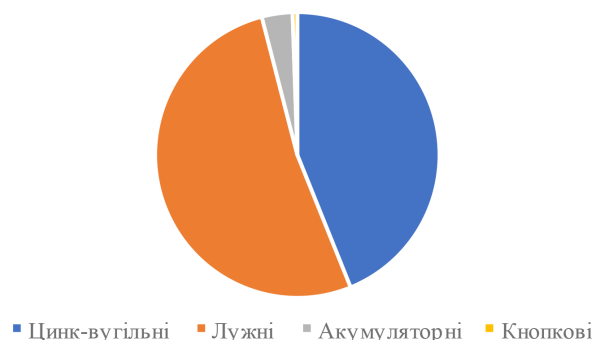


Рис. 1. Кількісний/масовий розподіл різних типів батарейок

цинк-вугільні розмірів AA і AAA. Середньостатистична людина за 1 рік використовує близько 10 батарейок (4,5 цинк-вугільних, 4,4 лужних 0,3 акумуляторних і 0,5 кнопкових) загальною масою близько 150 г (рис. 1). Таким чином, можна стверджувати, що понад 95 % побутових батарейок складають так звані сухі батарейки (цинкові та лужні). Згідно цього дослідження, частка літій-іонних акумуляторів, незважаючи на їх повсюдне використання, залишається досить незначною – близько 1 % за масою, в першу чергу, через значну тривалість їх роботи.

Варто зазначити, що у даному дослідженні оцінка кількості акумуляторних батарейок може бути заниженою, оскільки тривалість дослідження – 257 днів – значно менша за термін їх роботи (як правило, 2–4 роки). Наприклад, майже кожна людина використовує мобільний телефон і продукує, як мінімум 1 літій-іонну батарею за 4–5 років. Це відповідає річній кількості 0,2–0,25 батарейки, хоча у цьому дослідженні кількість літій-іонних батарейок оцінена лише у 0,06 шт./рік на 1 людину.

Оцінка кількості відпрацьованих батарейок, які утворюються при використанні приладів та пристроїв. За методологією, наведеною вище, для 4-х українських сімей було визначено кількість, тип і періодичність заміни батарейок, які використовуються

у домашніх приладах / пристроях. Приклад зібраних даних для однієї із сімей наведено у табл. 2.

Усереднені дані щодо кількості батарейок, які використовуються у приладах / пристроях середньостатистичної української сім'ї, наведені у табл. 3.

При цьому, припускаємо, що заміна батарейки прирівнюється до утворення відпрацьованої батарейки. Таким чином, загальна кількість відпрацьованих батарейок у домашніх приладах / пристроях – близько 21 шт./рік на 1 людину, що вдвічі більше результату, отриманого при збиранні батарейок у ВНТУ (крім того, загальна маса батарейок у домашніх приладах / пристроях – близько 1,3 кг/рік на 1 людину, що на порядок більше). Це може пояснюватись, з одного боку, заниженими значеннями зібраних батарейок (ймовірно, що не всі відпрацьовані батарейки приносились у контейнер), з іншого боку – можливим завищенням кількості батарейок у приладах / пристроях (наприклад, через обмежену кількість учасників і їх належність до молоді, яка, як правило, використовує більшу кількість приладів / пристроїв, ніж інші категорії населення). Також значно вища маса батарейок у домашніх приладах / пристроях пояснюється наявністю автомобільних акумуляторів, які із зрозумілих причин не збирались у спеціальному контейнері.

Отримані дані були згруповані за типом батарейок. За кількістю батарейок, очікувано, найбільша частка належить лужним і цинковим батарейкам – 75 % – це дещо менше, ніж за результатами збирання батарейок (95 %). Натомість значно більше (до 20 %) – кнопкових батарейок. Щодо інших типів батарейок – в цілому, обидва джерела даних (збирання батарейок у спеціальний контейнер і аналіз їх у домашніх приладах / пристроях) корелюються, за виключенням свинцево-кислотних акумуляторів (див. пояснення вище).

За масою батарейок у домашніх приладах / пристроях, згідно нашого дослідження, переважають свинцево-кислотні акумулятори (80 %). Без них маса батарейок – близько 257 г/рік на 1 людину, що все

Таблиця 2. Батарейки у домашніх приладах/пристроях

Прилад	Кількість приладів	Тип батарейки	Кількість батарейок в 1 приладі	Кількість заміन батарейок на рік	Загальна кількість батарейок на 1 рік
Смартфон	2	Акумуляторна, літій-іонна	1	0,25	0,5
Годинник	1	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	2	0,5	1
Ігровий контролер	1	Акумуляторна, літій-іонна	1	0,2	0,2
Електронна книга	1	Акумуляторна, літій-іонна	1	0,2	0,2
Портативний принтер	1	Акумуляторна, свинцево-кислотна	1	0,2	0,2
Калькулятор	1	Літієва, кнопкова	1	1	1
Комп'ютерна миша	1	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	1	2	2
Клавіатура	1	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	2	2	4
ТБ пульт	1	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	2	1	2
Дверний дзвінок	1	Літієва, кнопкова	1	1	1
Камера	1	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	4	3	12

Таблиця 3. Батарейки, які використовуються у домашніх приладах / пристроях

Прилад	Тип батарейки	Кількість батарейок на 1 рік				
		Сім'я 1	Сім'я 2	Сім'я 3	Сім'я 4	Середнє
Смартфон	Акумуляторна, літій-іонна	0,5	0,6	0,5	0,5	0,525
Алкотестер	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	–	0,6	–	0,15
Лазерний далекомір	Лужна, кнопкова, LR44	–	–	0,6	–	0,15
Лазерний далекомір	Лужна, LR23	–	–	0,3	–	0,075
Цифровий термометр	Літієва, кнопкова, CR1632	–	–	1	0,2	0,3
Цифровий термометр	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	–	2	–	0,5
Автомобільні ключі	Літієва, кнопкова, CR1632	–	–	0,1	–	0,025
Ноутбук	Акумуляторна, літій-іонна	0,2	8	0,2	–	0,3
Тестер якості води	Лужна, кнопкова, LR44	–	–	0,4	–	0,1
Цифровий мультиметр	Цинкова, 6F22	–	–	1	–	0,25
Електронний штангенциркуль	Лужна, кнопкова, LR44	–	–	2	–	0,5
Іграшковий автомобіль	Акумуляторна, свинцево-кислотна, 6-FM-7	–	–	0,2	–	0,05
Пульт керування	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	0,3	4	0,2	1,125
Павербанк	Акумуляторна, літій-іонна	–	1,5	0,6	–	0,525
Автомобіль	Акумуляторна, свинцево-кислотна	–	–	0,6	–	0,15
Скутер	Акумуляторна, свинцево-кислотна, 6-FM-7	–	–	0,2	–	0,05
Бензиновий генератор	Акумуляторна, свинцево-кислотна, 6-FM-7	–	–	0,4	–	0,1
Електроінструмент	Акумуляторна, літій-іонна	–	–	0,4	0,2	0,15
Цифровий термогігрометр	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	–	2	–	0,5
Іграшка	Лужна, кнопкова, LR41	24	–	1,5	–	6,375
Іграшка	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	32	1,2	–	8,3
Іграшка	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	–	46	–	–	11,5
Годинник	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	1,4	0	6	1	2,1
ТБ пульт	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	0,4	4	4	2	2,6
Ліхтарик	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	4,6	5	8	–	4,4
Калькулятор	Літієва, кнопкова	–	1	–	1	0,5
Комп'ютерна миша	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	2	4	–	2	2
Клавіатура	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	–	4	–	4	2
Дверний дзвінок	Літієва, кнопкова	–	0,6	–	1	0,4
Камера	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	–	–	–	12	3
Пульт керування кондиціонером	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	2	–	–	0,5
Ліхтар-вимикач	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	2	–	–	0,5
Електронні ваги	Лужна, AAA / цинк-вугільна, AAA	–	1	–	–	0,25
Електронні ваги	Лужна, кнопкова, LR44	0,6	–	–	–	0,15
Планшет	Акумуляторна, літій-іонна	–	0,25	–	–	0,0625
Bluetooth-колонки	Акумуляторна, літій-іонна	–	0,6	–	–	0,15
Пилосос	Акумуляторна, літій-іонна	0,25	–	–	–	0,0625
Зволожувач повітря	Акумуляторна, літій-іонна	0,2	–	–	–	0,05
Машинка для видалення ковтунців	Акумуляторна, літій-іонна	0,1	–	–	–	0,025
Акумуляторна мийка високого тиску	Акумуляторна, літій-іонна	0,1	–	–	–	0,025
Лазерний вказівник	Лужна, кнопкова, LR44	6	–	–	–	1,5
Триммер	Лужна, AA / цинк-вугільна, AA	0,5	–	–	–	0,125
Всього						52,175

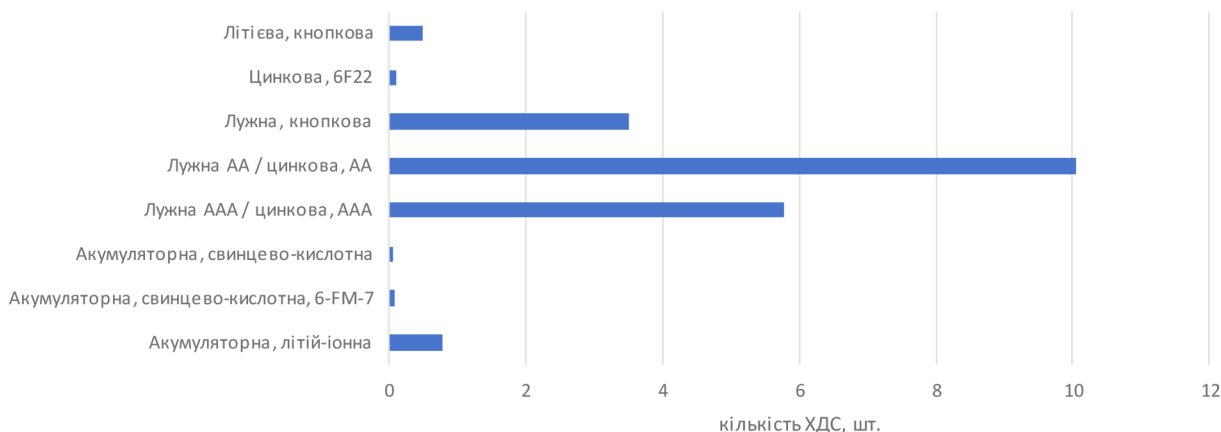


Рис. 2. Річне утворення відпрацьованих батарейок у домашніх приладах / пристроях (за кількістю)

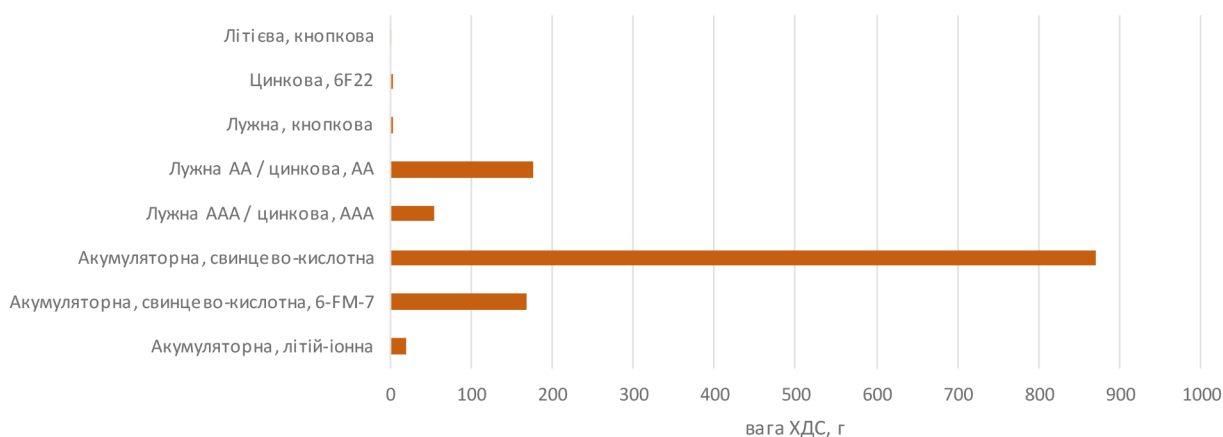


Рис. 3. Річне утворення відпрацьованих батарейок у домашніх приладах / пристроях (за масою)

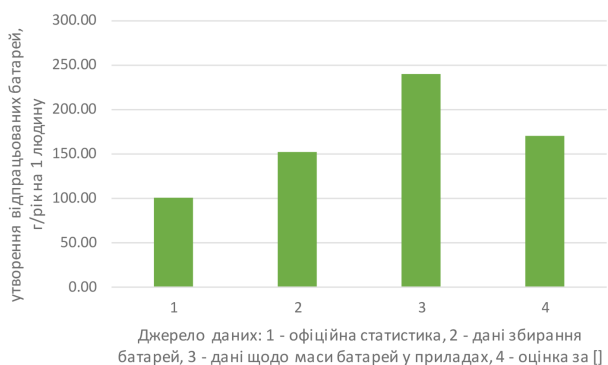


Рис. 4. Оцінка утворення відпрацьованих батарейок в Україні за різними джерелами даних

одно в понад 1,5 рази більше результату, отриманого при збиранні батарейок у ВНТУ (як і з кількістю батарейок). Крім того, масова частка кнопкових батарейок дуже низька – через їх значно меншу масу у порівнянні з іншими типами батарейок.

Відповідно до офіційної статистики [19] в Україні утворюється близько 4–4,5 тис. т/рік відпрацьованих батарейок та акумуляторів. Це відповідає показнику приблизно 100 г/рік на 1 людину (рис. 4).

Хоча у попередніх дослідженнях [20] показано, що офіційні статистичні дані занижують кількість відпрацьованих батарейок, яка, на основі аналізу виробництва, імпорту та експорту батарейок, може складати до 50–90 тис. тонн/рік (1,2–2 кг/рік на 1 людину) з урахуванням автомобільних акумуляторів, що відповідає нашим даним маси батарейок у домашніх приладах/пристроях.

ВИСНОВКИ

У даному дослідженні проведено порівняльне оцінювання утворення відпрацьованих батарейок через їх збирання в університеті, аналіз домашніх електричних та електронних приладів, а також аналіз публічних даних. Як показують результати дослідження, батарейки використовуються досить часто: в середньому одна людина використовує від 10 до 20 батарейок на рік. При цьому, лужні та цинк-вугільні батарейки становлять понад 90 %, а літій-іонні батарейки небагато. В цілому, дані, отримані з різних досліджень (крім офіційної статистики), узгоджуються, якщо не враховувати автомобільні акумулятори. Офіційні статистичні дані часто занижують фактичну кількість утворених відпрацьованих батарейок,

що ускладнює застосування ефективної політики управління. Зокрема, бракує ефективної інформаційної підтримки щодо поводження з відпрацьованими батареями у сільській місцевості. В умовах суттєвої обмеженості статистичних даних є необхідність у подальших дослідженнях. Таким чином, є значна

потреба у створенні комплексної системи моніторингу для ефективного управління відпрацьованими батареями, підвищенні екологічної обізнаності громадськості та сприянні створенню ефективної та зручної мережі збору та переробки з метою зменшення екологічних ризиків та відновлення ресурсів.

REFERENCES

- [1] Hlavatska, L. (2021). Analiz systemy povodzhennia z vidkhodamy elektrychnoho ta elektronnoho obladnannia v Ukraini [Analysing the treatment of waste electrical and electronic equipment in Ukraine]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannia – Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 12(1), 102–108. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-102-108](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-102-108). [in Ukrainian].
- [2] Melchor-Martínez, E. M., Macías-Garbett, R., Malacara-Becerra, A., Iqbal, H. M., Sosa-Hernández, J. E., & Parra-Saldívar, R. (2021). Environmental impact of emerging contaminants from battery waste: A mini review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2021.100104>
- [3] Kilgo, M. K., Anctil, A., Kennedy, M. S., & Powell, B. A. (2022). Metal leaching from Lithium-ion and Nickel-metal hydride batteries and photovoltaic modules in simulated landfill leachates and municipal solid waste materials. *Chemical Engineering Journal*, 431, 133825. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133825>
- [4] Xiaodong, S., & Ishchenko, V. A. (2023). Povodzhennia z vykorystannymy litii-ionnymy batariami v Kytai [Waste Lithium-Ion Batteries Management in China]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu – Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, (2), 21–27. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-167-2-21-27>. [in Ukrainian].
- [5] Svetkina, O. Y., Koveria, A. S., Ovcharenko, A. O., Tarasova, H. V., & Panteleieva, O. S. (2023). Rozrobka skhemy utylizatsii vidpratsovanykh litii-ionnykh batariok shliakhom biovyuhovuvannia [Development of a scheme for the utilisation of spent lithium-ion batteries by bioleaching]. *Journal of Chemistry and Technologies*, 31(3), 590–600. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i3.285427>. [in Ukrainian].
- [6] Bigum, M., Petersen, C., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2013). WEEE and portable batteries in residual household waste: Quantification and characterisation of misplaced waste. *Waste management*, 33(11), 2372–2380. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.019>
- [7] Dimitrakakis, E., Janz, A., Bilitewski, B., & Gidarakos, E. (2009). Small WEEE: determining recyclables and hazardous substances in plastics. *Journal of hazardous materials*, 161(2–3), 913–919. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.054>
- [8] Hoyer, C., Kieckhäfer, K., & Spengler, T. S. (2015). Technology and capacity planning for the recycling of lithium-ion electric vehicle batteries in Germany. *Journal of Business Economics*, 85(5), 505–544. <https://doi.org/10.1007/s11573-014-0744-2>
- [9] Nigl, T., Schwarz, T. E., Walch, C., Baldauf, M., Rutrecht, B., & Pomberger, R. (2020). Characterisation and material flow analysis of end-of-life portable batteries and lithium-based batteries in different waste streams in Austria. *Waste Management & Research*, 38(6), 649–659. <https://doi.org/10.1177/0734242X20914717>
- [10] Kladnik, V., Dworak, S., & Schwarzböck, T. (2024). Composition of public waste—a case study from Austria. *Waste Management*, 178, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.02.031>
- [11] Rogulski, Z., & Czerwiński, A. (2006). Used batteries collection and recycling in Poland. *Journal of Power Sources*, 159(1), 454–458. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.02.034>
- [12] Dobrowolski, Z., Sułkowski, Ł., & Danielak, W. (2021). Management of waste batteries and accumulators: Quest of European Union goals. *Energies*, 14(19), 6273. <https://doi.org/10.3390/en14196273>
- [13] European Portable Battery Association. (2013). The collection of waste portable batteries in Europe in view of the achievability of the collection targets set by Batteries Directive 2006/66/EC. *European Portable Battery Association, Brussels (updated in 2020)*.
- [14] Gu, B., Zhu, W., Wang, H., Zhang, R., Liu, M., Chen, Y., Wu, Y., Yang, X., He, S., Cheng, R., Yang, J. & Bi, J. (2014). Household hazardous waste quantification, characterization and management in China's cities: A case study of Suzhou. *Waste management*, 34(11), 2414–2423. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.002>
- [15] Song, X., Hu, S., Chen, D., & Zhu, B. (2017). Estimation of waste battery generation and analysis of the waste battery recycling system in China. *Journal of Industrial Ecology*, 21(1), 57–69. <https://doi.org/10.1111/jiec.12407>
- [16] Gianvincenzi, M., Mosconi, E. M., Marconi, M., & Tola, F. (2024). Battery waste management in Europe: Black mass hazardousness and recycling strategies in the light of an evolving competitive regulation. *Recycling*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/recycling9010013>
- [17] Ishchenko, V., Pohrebennyk, V., Kochanek, A., & Hlavatska, L. (2019). Waste electrical and electronic equipment management in Ukraine. In *Proceedings of International Conference on Geosciences*, March 26–29, 2019, Athens, Greece, book 3, vol. 1, 197–204.
- [18] Terazono, A., Oguchi, M., Iino, S., & Mogi, S. (2015). Battery collection in municipal waste management in Japan: challenges for hazardous substance control and safety. *Waste Management*, 39, 246–257. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.038>
- [19] Baza danykh “Vidkhody” [Database “Waste”]. *Derzhavna Statystychna Sluzhba Ukrainy – State Statistical Service of Ukraine*. Retrieved from: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vidkhody> [in Ukrainian].
- [20] Ishchenko, V. (2021). Assessment of spent batteries streams in Ukraine. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannia – Environmental Safety and Natural Resources*, 38(2), 55–63. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.2.55-63>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Главацька, Л. Ю. (2021). Аналіз системи поводження з відходами електричного та електронного обладнання в Україні. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування*, (1), 23. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-102-108](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-102-108)
- [2] Melchor-Martínez, E. M., Macías-Garbett, R., Malacara-Becerra, A., Iqbal, H. M., Sosa-Hernández, J. E., & Parra-Saldívar, R. (2021). Environmental impact of emerging contaminants from battery waste: A mini review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100104>
- [3] Kilgo, M. K., Anctil, A., Kennedy, M. S., & Powell, B. A. (2022). Metal leaching from Lithium-ion and Nickel-metal hydride batteries and photovoltaic modules in simulated landfill leachates and municipal solid waste materials. *Chemical Engineering Journal*, 431, 133825. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133825>
- [4] Сяодун, С., & Іщенко, В. А. (2023). Поводження з використаними літій-іонними батареями в Китаї. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (2), 21-27. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-167-2-21-27>
- [5] Светкіна, О. Ю., Коверя, А. С., Овчаренко, А. О., Тарасова, Г. В., & Пантелєєва, О. С. (2023). Розробка схеми утилізації відпрацьованих літій-іонних батарейок шляхом біовилуговування. *Journal of Chemistry and Technologies*, 31(3), 590-600. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i3.285427>
- [6] Bigum, M., Petersen, C., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2013). WEEE and portable batteries in residual household waste: Quantification and characterisation of misplaced waste. *Waste management*, 33(11), 2372-2380. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.019>
- [7] Dimitrakakis, E., Janz, A., Bilitewski, B., & Gidarakos, E. (2009). Small WEEE: determining recyclables and hazardous substances in plastics. *Journal of hazardous materials*, 161(2–3), 913–919. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.054>
- [8] Hoyer, C., Kieckhäfer, K., & Spengler, T. S. (2015). Technology and capacity planning for the recycling of lithium-ion electric vehicle batteries in Germany. *Journal of Business Economics*, 85(5), 505-544. <https://doi.org/10.1007/s11573-014-0744-2>
- [9] Nigl, T., Schwarz, T. E., Walch, C., Baldauf, M., Rutrecht, B., & Pomberger, R. (2020). Characterisation and material flow analysis of end-of-life portable batteries and lithium-based batteries in different waste streams in Austria. *Waste Management & Research*, 38(6), 649-659. <https://doi.org/10.1177/0734242X20914717>
- [10] Kladnik, V., Dworak, S., & Schwarzböck, T. (2024). Composition of public waste-a case study from Austria. *Waste Management*, 178, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.02.031>
- [11] Rogulski, Z., & Czerwiński, A. (2006). Used batteries collection and recycling in Poland. *Journal of Power Sources*, 159(1), 454-458. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.02.034>
- [12] Dobrowolski, Z., Sułkowski, Ł., & Danielak, W. (2021). Management of waste batteries and accumulators: Quest of European Union goals. *Energies*, 14(19), 6273. <https://doi.org/10.3390/en14196273>
- [13] European Portable Battery Association. (2013). The collection of waste portable batteries in Europe in view of the achievability of the collection targets set by Batteries Directive 2006/66/EC. *European Portable Battery Association, Brussels (updated in 2020)*.
- [14] Gu, B., Zhu, W., Wang, H., Zhang, R., Liu, M., Chen, Y., Wu, Y., Yang, X., He, S., Cheng, R., Yang, J. & Bi, J. (2014). Household hazardous waste quantification, characterization and management in China's cities: A case study of Suzhou. *Waste management*, 34(11), 2414-2423. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.002>
- [15] Song, X., Hu, S., Chen, D., & Zhu, B. (2017). Estimation of waste battery generation and analysis of the waste battery recycling system in China. *Journal of Industrial Ecology*, 21(1), 57-69. <https://doi.org/10.1111/jiec.12407>
- [16] Gianvincenzi, M., Mosconi, E. M., Marconi, M., & Tola, F. (2024). Battery waste management in Europe: Black mass hazardousness and recycling strategies in the light of an evolving competitive regulation. *Recycling*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/recycling9010013>
- [17] Ishchenko, V., Pohrebennyk, V., Kochanek, A., & Hlavatska, L. (2019). Waste electrical and electronic equipment management in Ukraine. In *Proceedings of International Conference on Geosciences, March 26–29, 2019, Athens, Greece, book 3, vol. 1*, 197–204.
- [18] Terazono, A., Oguchi, M., Iino, S., & Mogi, S. (2015). Battery collection in municipal waste management in Japan: challenges for hazardous substance control and safety. *Waste Management*, 39, 246-257. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.038>
- [19] База даних «Відходи». Державна статистична служба України. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vidkhody>
- [20] Ishchenko, V. (2021). Assessment of spent batteries streams in Ukraine. *Екологічна безпека та природокористування*, 2 (38), 55–63. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.2.55-63>

© Іщенко В. А.

Дата надходження статті до редакції: 30.07.2025

Дата затвердження статті до друку: 11.08.2025

Опубліковано: 24.11.2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0