

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Економічний факультет
Кафедра статистики, обліку та аудиту

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: **«Аналіз розвитку систем зберігання енергії на базі літійових
акумуляторів в Україні та світі»**

Виконав: студент 2 курсу
спеціальності 051 «Економіка»
(освітньо-професійна програма
«Бізнес-аналітика та міжнародна
статистика»)



Дмитро КОРНІЛІЧ

Керівник: к. е. н., доцент ЗВО
кафедри статистики, обліку та аудиту



Тетяна ЧАЛА

Роботу допущено до захисту перед АК рішенням кафедри статистики,
обліку та аудиту від «09» листопада 2023 р., протокол № 4

Зав. кафедри статистики, обліку та аудиту



Оксана НЕСТЕРЕНКО

АНОТАЦІЯ

Глобальний перехід до чистої енергії передбачає перехід на енергоефективні практики та впровадження відповідних енергетичних технологій й інфраструктури. Частиною цього процесу є розробка технологій для систем збереження енергії. Наразі доступний широкий спектр різних типів накопичувачів енергії, і їх стає все більше, але найбільший інтерес викликають технології пов'язані з електрохімічним принципом накопичування енергії. Пристрої побудовані на цьому принципі називаються електрохімічними акумуляторними батареями. Привертає увагу стрімке зростання ринку електрохімічних батарей, який може бути досліджений як на глобальному рівні, так і на рівні України як потенційного гравця в виробничому ланцюжку.

В роботі досліджено теоретичні основи електрохімічних батарей як різновиду систем збереження енергії, розглянуті акумуляторні батареї як окремий напрямок розвитку технологій, визначена провідна роль вторинних електрохімічних батарей побудованих з використанням літію, визначено відповідність наявних міжнародних класифікацій, досліджена сегментація ринку акумуляторних батарей, визначені глобальні фактори росту, оцінено стан світових ринків за допомогою міжнародних індексів, проаналізовано вплив війни в Україні на національний ринок, здійснено прогнозування динаміки розвитку ринку на основі світового експорту-імпорту за допомогою статистичного моделювання.

Метою роботи є обґрунтування теоретико-методичних засад статистичного вивчення та аналіз сучасного стану ринку систем зберігання енергії на базі літієвих (літій-іонних) акумуляторів в Україні та світі.

Об'єктом дослідження є світовий і національний ринок літій-іонних акумуляторів (вторинних батарей).

Предметом дослідження є теоретичні засади та статистичний інструментарій оцінювання ринку систем зберігання енергії на базі літєвих акумуляторів в Україні та світі.

Методи дослідження: В ході дослідження застосовано табличний та графічний методи представлення результатів проведених розрахунків, багатовимірні методи статистичного аналізу, а саме: регресійний аналіз, метод відносних величин, метод декомпозиції множинних сезонних трендів (MSTL), непараметричну регресійну оцінку Фрідмана з використанням комп'ютерної програми «R Studio».

Отримані результати: задля досягнення мети роботи були поставлені та виконані наступні завдання:

- досліджено теоретичні основи систем збереження енергії, розглянуті акумуляторні батареї як окремий напрямок розвитку технологій;
- досліджені сегменти ринку та літєві акумуляторні батареї як окремий сегмент ринку;
- проаналізовано відповідність наявних міжнародних класифікацій;
- проведено оцінку стану світового ринку літій-іонних акумуляторів за допомогою міжнародних індексів;
- визначено глобальні тенденції ринку літій-іонних акумуляторів;
- визначено національні тенденції ринку акумуляторних батарей і виявлено вплив війни в Україні на них;
- здійснено прогнозування динаміки розвитку ринку в світі та в Україні;

Ключові слова: аналіз, моделювання, прогнозування, системи збереження енергії, ринок електрохімічних батарей, акумулятори, життєвий цикл батарей, вторинні батареї, літій-іонні акумулятори.

ABSTRACT

The global transition to clean energy involves the adoption of energy-efficient practices and the introduction of appropriate energy technologies and infrastructure. Part of this process is the development of technologies for energy storage systems. Currently, a wide range of different types of energy storage devices are available, and their number is growing, but the most interesting are technologies related to the electrochemical principle of energy storage. Devices based on this principle are called electrochemical batteries. The rapid growth of the electrochemical battery market is noteworthy, and it can be explored both globally and in Ukraine as a potential player in the production chain.

The paper investigates the theoretical foundations of electrochemical batteries as a type of energy storage systems, considers batteries as a separate direction of technology development, determines the leading role of secondary electrochemical batteries built using lithium, determines the compliance of existing international classifications, studies the segmentation of the battery market, identifies global growth factors, assesses the state of world markets using international indices, analyzes the impact of the war in Ukraine on the national market, and forecasting the dynamics of market development on the basis of world exports and imports using statistical modeling.

The purpose of the study is to substantiate the theoretical and methodological foundations of statistical study and analyze the current state of the market for energy storage systems based on lithium (lithium-ion) batteries in Ukraine and the world.

The object of the study is the global and national market of lithium-ion batteries (secondary batteries).

The subject of the study is the theoretical foundations and statistical tools for assessing the market of energy storage systems based on lithium batteries in Ukraine and the world.

Research methods: In the course of the study, tabular and graphical methods of presenting the results of the calculations, multidimensional methods of statistical analysis, namely: regression analysis, the method of relative values, the method of decomposition of multiple seasonal trends (MSTL), non-parametric Friedman regression estimation using the computer program «R Studio» were used.

Results obtained: in order to achieve the aim of the work, the following tasks were set and fulfilled:

- the theoretical foundations of energy storage systems were investigated; batteries were considered as a separate direction of technology development;
- market segments and lithium batteries as a separate market segment were studied;
- the compliance of existing international classifications is analyzed;
- assessed the state of the global lithium-ion battery market using international indices;
- global trends in the market of lithium-ion batteries are determined;
- national trends in the battery market are identified and the impact of the war in Ukraine on them is revealed;
- forecasting the dynamics of market development in the world and in Ukraine;

Keywords: analysis, modeling, forecasting, energy storage systems, electrochemical batteries market, batteries, battery life cycle, secondary batteries, lithium-ion batteries

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ АНАЛІЗУ РИНКУ	
АКУМУЛЯТОРІВ	11
1.1. Сутність та історична основа розвитку електрохімічних батарей як технології зберігання енергії	11
1.2. Сегментація ринку акумуляторів	19
1.3. Використання системи метаданих у ході аналізу ринку електрохімічних батарей	29
Висновки до розділу 1.....	38
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ РИНКУ	
АКУМУЛЯТОРІВ	39
2.1. Аналіз світового і національного ринку акумуляторів	39
2.2. Тенденції утилізації та переробки використаних акумуляторів	48
2.3. Індикатори інвестиційної привабливості світового ринку літєвих акумуляторів	55
Висновки до розділу 2	65
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ	
РИНКУ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ	67
3.1. Моделювання тенденцій міжнародної торгівлі літій-іонними акумуляторами.....	67
3.2. Прогнозування розвитку ринку літій-іонних акумуляторів в Україні та світі	75
Висновки до розділу	86
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
ДОДАТКИ	104

ВСТУП

Актуальність роботи. Отримання чистої та доступної енергії, є окремою ціллю, встановленою програмою сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй (Sustainable Development Goals. 7. Affordable and Clean Energy) [82]. Протягом багатьох десятиліть викопні види палива, такі як вугілля, нафта або газ, були основними джерелами виробництва електроенергії, але спалювання вуглецевого палива виробляє велику кількість парникових газів, які спричиняють зміну клімату і мають шкідливий вплив на добробут людей та навколишнє середовище. Світ має прискорити перехід до доступної, надійної та сталої енергетичної системи, інвестуючи у відновлювані джерела енергії, надаючи пріоритет енергоефективним практикам та впроваджуючи чисті енергетичні технології та інфраструктуру.

Частиною чистої енергетичної інфраструктури є електрохімічні батареї що виступають компонентами систем збереження енергії. Електрохімічні батареї існують з 1800-х років і перетворюють накопичену хімічну енергію в електричну. Технологічний прогрес і падіння цін на електрохімічні акумуляторні батареї, які можуть зберігати все більші обсяги енергії, веде до все ширшого їх використання і рекордного зростання ринку акумуляторів.

Вже звичайним прикладом використання акумуляторних батарей є споживчий ринок, завдяки розвитку батарейних технологій споживач отримує все більш досконалі мобільні електронні й автономні пристрої де акумулятори використовуються як джерела живлення.

Мережеві системи зберігання енергії є іншим прикладом використання акумуляторних батарей. Найбільшою у світі системою зберігання енергії на сьогоднішній день є електростанція Moss Landing у Каліфорнії, США, де в січні 2021 року була введена в експлуатацію перша літій-іонна батарея потужністю 300 мегават, що складається з 4500 стелажів з акумуляторами, змонтованих у штабелі [47]. Планується створення інших систем акумуляторної енергетики в

таких країнах, як Австралія, Німеччина, Японія, Великобританія, Литва, Чилі та Японія. Нарешті масове впровадження електромобілів є ключовою частиною планів з декарбонізації і породжує експоненціальне зростання попиту на відповідні системи зберігання.

Україна тримається у глобальному тренді переходу на чисту енергію. Ще до початку повномасштабної війни з Росією були запровадженні відповідні плани. Так, в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року передбачається, що частка відновлюваних джерел у українському енергоринку становитиме 12% у 2025 році, 17% – у 2030 та 25% – у 2035. За фактом, у 2021 році частка у виробництві електроенергії становила 8% [1]. Також зростає ринок електромобілів, і хоча в загальній кількості автомобілів вони мають частку трохи більше 1%, але частка електромобілів на ринку нових автомобілів у 2023 році вже склала рекордні 18% [9].

Україна має всі можливості не тільки виступати споживачем на ринку систем зберігання енергії, але і може зайняти важливе місце у виробничому ланцюжку.

З огляду на зазначені вище, виникає необхідність регулярного аналізу та оцінювання технологій і ринку систем збереження енергії, особливо в такому сегменті найбільш динамічного розвитку і змін, як електрохімічні батареї та їх найсучасніші представники – літій-іонні акумулятори.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання, що стосуються теоретичних напрацювань та аналізу розвитку світового ринку літій-іонних батарей, розглядаються в багатьох вимірах різними вченими світу. Так Е. Гітінгер та Р. Чіз порівнюють різні систем збереження енергії [46], П. Рагупати зосереджуються на електрохімічних системах [60], нарешті Дж. Гуденаф, С. Вітінгем, та А. Йошіно отримали Нобелівську премію по Хімії за роботу пов'язану з розробкою літій-іонних батарей [62], на дослідженні ринку концентруються колективи науковців з таких компаній як ResearchAndMarketes [86] та MarketsAndMarkets [50].

Серед українських науковців відповідні дослідження проводять Ю. Малетін, С. Чернухін [5], В. Будько, О. Остапчук [10], В. Павлов [12] та інші.

Об'єктом дослідження є світовий і національний ринок літієвих вторинних батарей (акумуляторів).

Предметом дослідження є теоретичні засади та статистичний інструментарій оцінювання ринку систем зберігання енергії на базі літієвих акумуляторів в Україні та світі.

Метою роботи є обґрунтування теоретико-методичних засад статистичного вивчення та аналіз сучасного стану ринку систем зберігання енергії на базі літієвих акумуляторів в Україні та світі.

Задля досягнення мети роботи були поставлені такі **завдання**:

- дослідити теоретичні основи систем збереження енергії, розглянути акумуляторні батареї як окремий напрямок розвитку технологій;
- сегментувати ринок акумуляторів за виділеними ознаками;
- сформуванати систему метаданих, необхідних для аналізу ринку електрохімічних батарей;
- оцінити стан світового ринку за допомогою міжнародних індексів;
- встановити основні проблеми утилізації та переробки використаних акумуляторів;
- визначити глобальні тенденції ринку акумуляторних батарей;
- визначити національні тенденції ринку акумуляторних батарей і виявити вплив війни в Україні на них;
- здійснити прогнозування динаміки розвитку ринку в світі та в Україні;

В ході дослідження застосовано метод відносних величин, поліноміальний регресійний аналіз, метод декомпозиції множинних сезонних трендів (MSTL), та непараметричну регресійну оцінку Фрідмана з використанням програми «R Studio».

Апробація результатів дослідження. Результати наукової роботи пройшли апробацію на міжнародній науково-практичній конференції: IX Міжнародна науково-практична конференція «SCIENTIFIC PROGRESS:

INNOVATIONS, ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS», 29-31.05.2023 року, Мюнхен, Німеччина [4] (Додаток А).

Публікації. Основні результати проведених досліджень опубліковані в 2 наукових працях, у тому числі: 1 стаття у науковому фаховому виданні України [14] та 1 публікації за матеріалами конференцій [4].

Структура і обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 5 додатків. Загальний обсяг роботи складає 94 сторінки друкованого тексту. Список використаних джерел нараховує 86 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ АНАЛІЗУ РИНКУ АКУМУЛЯТОРІВ

1.1. Сутність та історична основа розвитку електрохімічних батарей як технології зберігання енергії

Зберігання енергії – це процес накопичення енергії в певному обладнанні чи системах, щоб її можна було використати пізніше за потреби. Системи зберігання енергії – це набір методів і технологій, що використовуються для зберігання енергії. Процес зберігання енергії передбачає перетворення різних форм енергії, оскільки деякі форми зручніше зберігати, ніж інші. Пристрій, який накопичує енергію, зазвичай називається акумулятором або батареєю [84].

На рисунку 1.1 відображена основна класифікація технологій збереження енергії. Розглянемо пристрої які найчастіше використовуються для збереження енергії – батареї з електрохімічними запасами енергії. Електрохімічна батарея – електронний компонент, який містить запас енергії і робить її доступною в електричній формі для пристроїв, підключених до нього. Електрохімічні батареї поділяються на дві великі категорії, в яких кожен тип має свої переваги і недоліки.

Перша категорія – первинні батареї (у побуті – батарейки), вони необоротно перетворюють хімічну енергію в електричну енергію [66]. Коли початкове постачання реагентів припиняється, в батареї не може бути легко відновлена енергія за допомогою електричних засобів. При виробленні електрики з хімічної реакції, структура батареї незворотно змінюється, а самі батареї є одноразового використання, і після розрядки їх належить утилізувати.

Друга категорія – вторинні батареї (або акумулятори). Вторинні батареї можна заряджати зворотною подачею електричної енергії в батарею, тим самим відновлюючи вихідний склад реагентів батареї. У батареях, що

перезаряджаються, хімічні реакції можуть протікати у зворотному напрямку – при цьому батарея буде накопичувати електрику, а не витрачати її. Через здатність накопичувати (акумуляувати) електрику ці вироби називаються акумуляторними батареями.

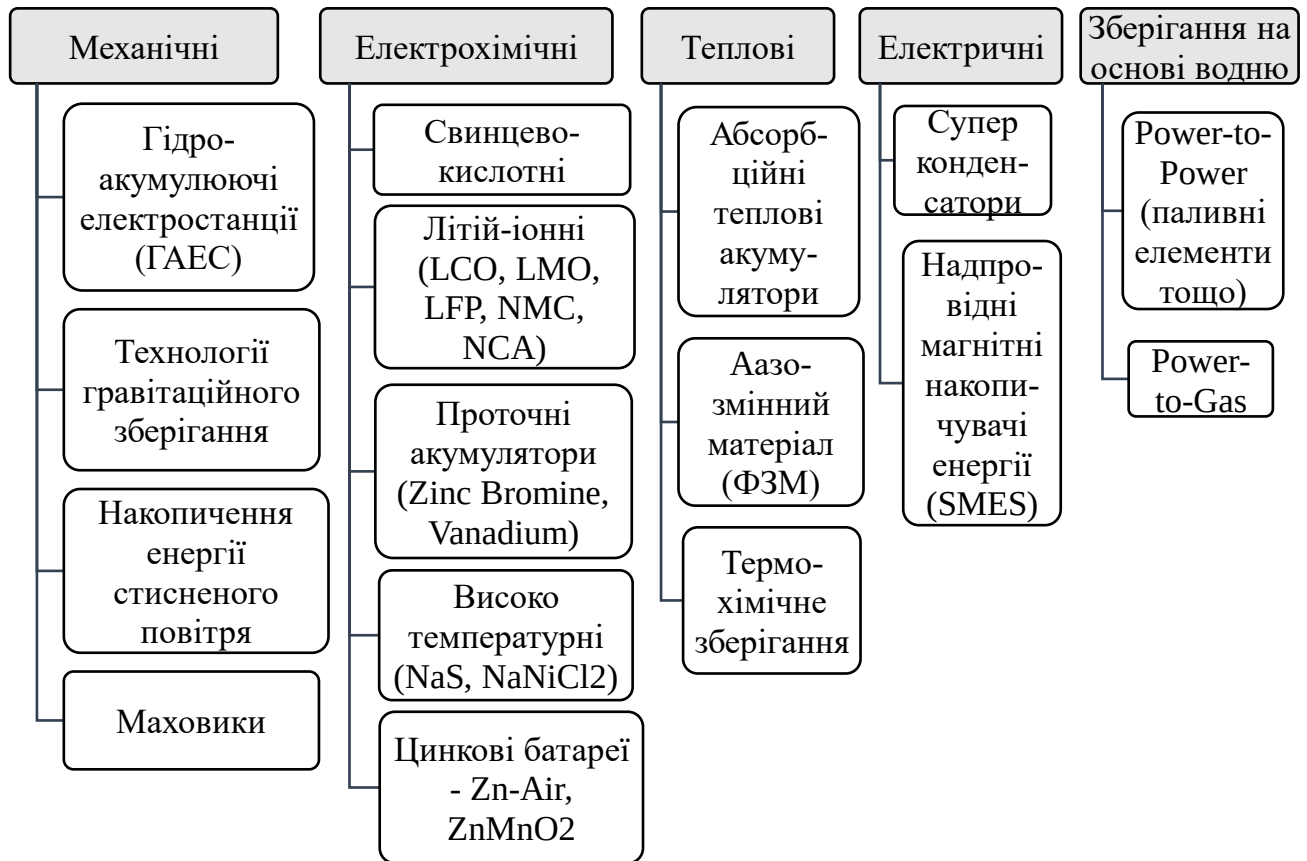


Рисунок 1.1 – Класифікація технологій збереження енергії

Джерело: розроблено автором за [84].

У первинних і вторинних батареях електричний струм є наслідком хімічних процесів. Батареї першої групи, порівняно з акумуляторами, мають більшу питому електричну ємність і мають меншу вартість.

Основною перевагою акумуляторів є можливість їхнього багаторазового використання і внаслідок цього значно менша вартість одиниці одержуваної енергії. Типові акумулятори, використовувані для автономного живлення малопотужної апаратури, гарантовано витримують від 200 до 1000 циклів заряд-розряд [73].

На рисунку 1.2 схематично зображено поділ різних видів батарей.

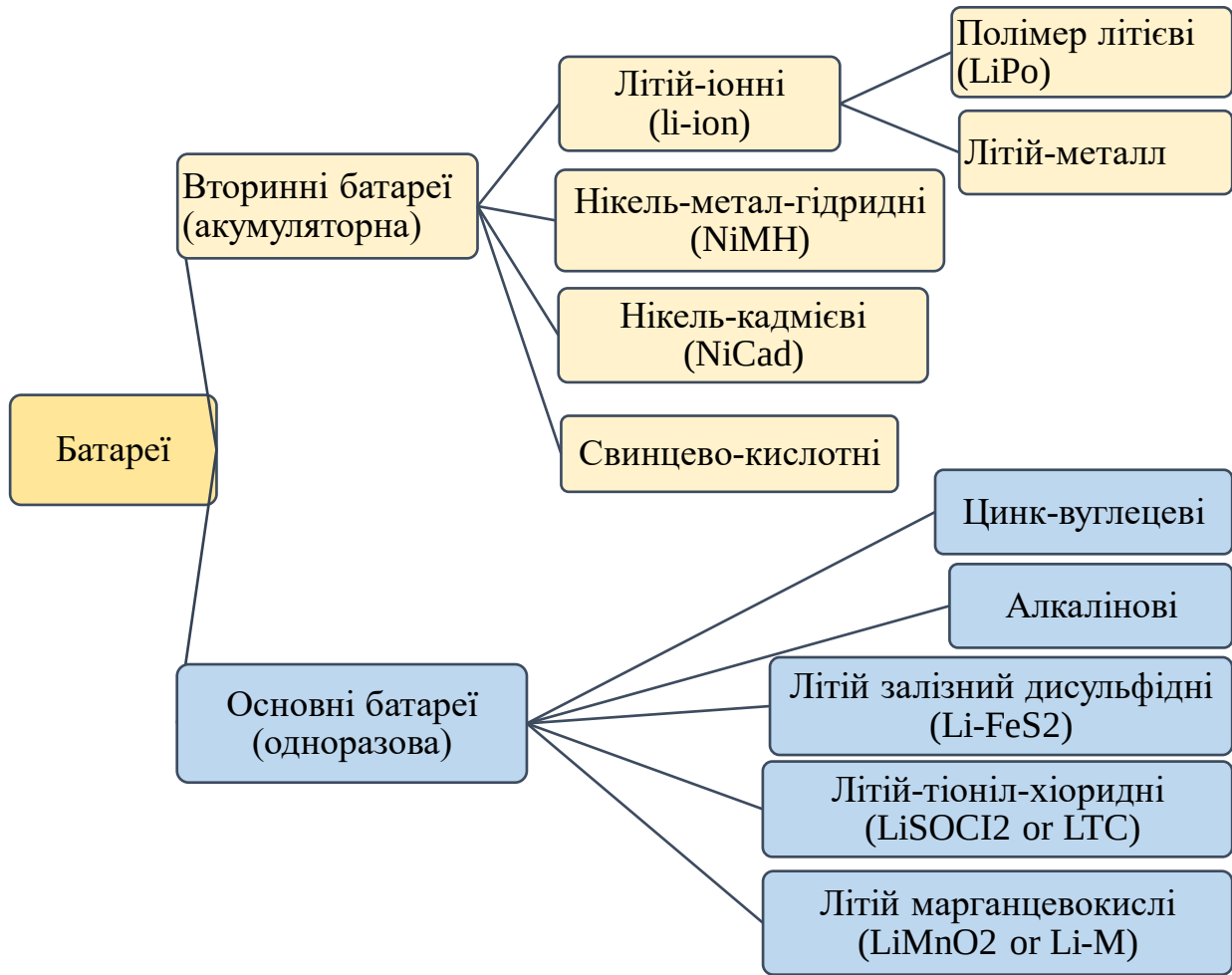


Рисунок 1.2 – Види електрохімічних батарей

Джерело: розроблено автором за [66, 73].

Найбільш цікавою категорією батарей є – електрохімічні вторинні батареї, або акумулятори. Перші спроби створення акумуляторів почались ще в 19-у сторіччі, але перші комерційні акумулятори з'явилися на початку 20-го сторіччя з появою свинцево-кислотного акумулятора. Наразі комерційно доступними та широко використовуваними акумуляторами є свинцево-кислотні, нікель-кадмієві, нікель-метал-гідридні, літій-іонні та літій-іонні полімерні батареї [28].

Різні види акумуляторів відрізняються характеристиками що впливають на особливість їх застосування. Можна виділити такі характеристики: напруга, крива розряду, ємність, щільність енергії, щільність потужності, температурна

залежність, термін служби, цикл зарядки/розрядки, цикл життя, вартість, здатність до глибокого розряду [17]. З точки зору сукупності характеристик найбільш перспективними вважаються акумуляторні батареї побудовані з використанням хімічної речовини – літію, а найбільш розповсюдженим типом таких акумуляторів є літій-іонні акумулятори.

Літій-іонні акумулятори – це вторинні батареї побудовані на базі літію. Треба відрізнити терміни «літієві батареї», що є первинними, та «літій-іонні» що є вторинними, або акумуляторними. Для споживачів терміни «літій» і «літій-іонний» часто взаємозамінні, оскільки, в переважній більшості випадків використовуються саме літій-іонні акумулятори.

Літій-іонні акумулятори були вперше розроблені в 1990-х роках і зробили можливими появу деяких з революційних електронних пристроїв, які з'явилися з того часу. Наразі, вони вже стали кращим типом батареї для додатків, що вимагають високої щільності енергії та малої ваги, таких як смартфони та інша портативна електроніка. Перевага полягає в їх здатності утримувати значно більше заряду та розряджатися значно повільніше.

Літій-іонні акумулятори уможливили системи керування батареями що роблять звичайні акумулятори інтелектуальними. Це дозволяє електронним пристроям повідомляти про свій стан: скільки енергії залишилося або скільки часу залишилося до того, як батарею потрібно буде підзарядити. З того часу, як виник інтерес до літієвих батарей, дослідження і розробка цього типу батарей ніколи не сповільнювалися.

Сьогодні літієві батареї уможливили все – від революції електромобілів, завдяки якій незабаром наші дороги будуть заповнені лише електромобілями, до невеликих акумуляторних батарей типу AA, що перезаряджаються через USB-C, які привносять потужність літій-іонних акумуляторів у сферу традиційних побутових батарейок.

У таблиці 1.1 представлено історичні віхи, які описують деякі важливі етапи розвитку літієвих та літій-іонних батарей.

Таблиця 1.1 – Важливі етапи розвитку літієвих та літій-іонних батарей

Етап розвитку	Опис
1912	Американський хімік Гілберт Ньютон Льюїс почав експериментувати з літієвими батареями
1970s	Літієві батареї були вперше запропоновані британським хіміком М. Стенлі Вітгінгемом під час роботи в компанії Exxon.
1973	Адам Геллер винаходить літій-тіоніл-хлоридну батарею, яка досі використовується в імплантованих медичних пристроях та оборонних системах завдяки 20-річному терміну придатності, високій щільності енергії та екстремальним робочим температурам.
1979 – 1980	Працюючи окремими командами, Нед Годшолл і Джон Гуденаф зі Стенфордського університету, а також Коїчі Мізусіма з Оксфордського університету продемонстрували літієві елементи, що перезаряджаються, з катодами з оксиду літію та кобальту (LiCoO ₂).
1982	Французько-марокканський вчений Рашид Язамі, який працює в Університеті Гренобля, відкрив графітовий анод, що використовується в сучасній хімії літій-іонних акумуляторів.
1991	Sony представила першу комерційну літій-іонну батарею, засновану на попередніх дослідженнях японської компанії Asahi Chemical.
1996	Вченим вдалося використати літій-марганцевий оксид в якості катодного матеріалу, що дозволило створити першу в світі акумуляторну батарею. Компанія NEC застосувала цю нову технологію акумуляторів для мобільних телефонів та велосипедів з електроприводом.
1997	Ранні літій-іонні акумулятори, виготовлені компанією Sony, не були термічно стабільними, і телефон міг загорітися. Джон Гуденаф, якого вважають «батьком літій-іонного акумулятора», розробив нанотехнологію, що дозволила створити більш стабільне рішення на основі полімерів.
2002	Вчені розробили перші ламіновані літій-іонні акумулятори, які ідеально підходять для невеликих портативних пристроїв, таких як мобільні телефони, фотоапарати, ноутбуки та планшети.
2000s+	Літій-іонні акумулятори продовжують вдосконалюватися, ставати чистішими, безпечнішими та легшими. Це створило цикл інноваційних продуктів, який різко збільшився, оскільки батареї тепер широко використовуються в електромобілях, безпілотниках і накопичувачах енергії. Вони також мають багато промислових застосувань для потреб малої та великої ємності.

Джерело: побудовано автором на основі [52].

Сучасні технологічні пристрої вимагають компактних, високоемних, стабільних і перезаряджуваних батарей. У 1980 році американський фізик професор Джон Гуденаф винайшов попередника сучасної літій-іонної батареї, літієвої батареї, в якій літій (Li) мігрував через батарею від одного електрода до іншого як іон Li^+ . Як і всі батареї, перезаряджувана літій-іонна батарея складається з одного або кількох відсіків для генерування енергії, які називаються елементами.

Кожна елемент складається з трьох компонентів:

- катод (позитивний електрод);
- анод (негативний електрод);
- електроліт, між ними, який діє як провідник.

Продуктивність батареї залежить від здатності катода та анода приймати та вивільняти іони літію. Коли елемент заряджається і розряджається, іони переміщуються між катодом (позитивним електродом) і анодом (негативним електродом). Під час розряду анод зазнає окислення або втрати електронів, а катод спостерігає відновлення або приріст електронів. Зарядка реверсує рух.

Перший комерційний літій-іонний акумулятор Sony використовував кокс (вугільний продукт) як анод. Однак, починаючи з 1997 року, більшість літій-іонних акумуляторів використовують графіт (форму вуглецю) для досягнення більш пологої кривої розряду. Майбутня хімія акумуляторів може використовувати графен як анод для підвищення продуктивності.

Сучасний фокус розвитку характеристик літій-іонних акумуляторів сконцентрований також й на катоді. Хімічний склад катодів, визначає як продуктивність батареї, так і потребу в матеріалах.

По призначенню можна відокремити дві групи катодів: катоди що використовуються в електроінструментах та портативній електроніці (смартфони, ноутбуки, дрони тощо) LCO – Оксид літію-кобальту та LMO – Оксид марганцю літію. З переваг є те що обидва типи катодів дають стабільну ємність батареї. З недоліків LCO при цьому є низька термічна стабільність

(низька безпека) і висока вартість, що роблять LCO непривабливим для застосувань у електричних авто. LMO у свою, чергу загалом безпечніший за інші катода, але має набагато коротший термін служби.

Інша група за призначенням – автомобільна галузь. Сьогодні найбільш актуальними є три широкі категорії катодної хімії: літій-нікель-марганець-кобальт-оксид (NMC); літій-нікель-кобальт-алюміній-оксид (NCA); і літій-залізо-фосфат (LFP). Катода NMC і NCA стають все більш домінуючими, оскільки вони пропонують високу щільність енергії, засновану на більш високому вмісті нікелю в катоді. Однак вищий вміст нікелю вимагає більш складних і контрольованих виробничих процесів.

LFP – це дешевша і стабільніша хімічна речовина, з меншим ризиком загоряння і довшим терміном служби. Зазвичай він має лише 65-75% енергії порівняно з високонікелевими NMC, такими як NMC811, хоча нещодавні технологічні інновації значно покращили їхню щільність енергії. NCA використовується виключно компанією Tesla. Хімічні речовини на основі нікелю, такі як NMC і NCA, домінували на ринку акумуляторів для електромобілів у 2021 році з 75% часткою попиту на катодний матеріал завдяки їхнім перевагам щодо дальності пробігу.

Однак за останні два роки спостерігається значне відродження LFP, частка попиту на катодний матеріал для електромобілів досягла 25%, головним чином завдяки зростанню попиту на електромобілі в Китаї.

LFP все ще використовується для більшості середньо- і великовантажних транспортних засобів через його чудовий термін служби, який підходить для інтенсивного використання і частої зарядки, а також через те, що більшість електричних середньо- і великовантажних транспортних засобів знаходяться в Китаї, де в основному використовується LFP. Економічні переваги LFP у Китаї стали більш очевидними нещодавно, коли було припинено субсидування високонікелевих хімікатів.

Нарешті, електроліт, що діє як провідник та є ключем до продуктивності акумулятора [53]. Електроліти можуть мати різні форми, найпоширенішою з

яких є розчинені солі. Розчинник є ключовим компонентом електроліту. Водні електроліти мають високу провідність, але мають відносно невелике вікно електрохімічної стабільності. Електроліти на основі неорганічних розчинників є менш провідними, але мають ширші вікна стабільності. Крім того, органічні розчинники дорожчі порівняно з водними розчинами. Іноді використовують тверді неорганічні або полімерні електроліти, але вони мають значно нижчу провідність при кімнатній температурі.

Однією з найперспективніших інновацій в акумуляторних технологіях є твердотільні акумулятори. Твердотільні електроліти, виготовлені з кераміки, такі як оксиди літій-металів, обіцяють вищу щільність енергії і не є легкозаймистими, що підвищує безпеку порівняно з рідкими електролітами. Крім ризику пожеж, рідкі електроліти можуть бути високоактивними, що призводить до побічних реакцій з електродами, в результаті чого ємність акумулятора з часом знижується, що називається втратою ємності. Акумулятори з твердими електролітами не схильні до втрати ємності. Очікується, що твердотільні електроліти також дозволять використовувати літій-металевий анод високої ємності, що значно підвищить щільність енергії та потужності, а також тривалість циклу роботи літій-іонів.

Очікується, що прогрес у хімії електролітів стане важливим кроком, який призведе до створення високоефективних, безпечних і недорогих літій-іонних акумуляторів для майбутніх поколінь електромобілів, мережевих систем зберігання енергії та інших великих систем. Залежно від конструкції батареї, це може бути рідкий або пастоподібний матеріал. Тверді електроліти можуть підвищити щільність енергії та безпеку літій-іонів, але вони ще не готові до комерціалізації.

Хімія акумуляторів буде продовжувати розвиватися, щоб досягти таких досягнень, як:

- зниження витрат на виробництво;
- більш висока щільність енергії;
- великі діапазони потужності;

- краща переносимість температур;
- більша швидкість заряду;
- покращений час автономної роботи;
- безпека.

Це критичні фактори, які необхідно розглянути на електрохімічному рівні, щоб забезпечити широке впровадження технології.

Літій-іонні акумулятори сприяли технологічній революції. Літій-іонні батареї, що перезаряджаються, мають у п'ять разів більшу щільність енергії, ніж свинцеві батареї, і допомагають жити мобільні пристрої, такі як смартфони, планшети, ноутбуки, роботи та дрони. Незважаючи на те, що технологічний прогрес і зниження витрат сприяли буму використання літій-іонних акумуляторів для мобільних пристроїв протягом останніх кількох років, наступною частиною попиту будуть електромобілі та накопичувачі енергії, які забезпечать майбутнє зелених технологій.

1.2. Сегментація ринку акумуляторів

Сегментація ринку акумуляторів здійснюється за різними ознаками. Частіше від інших в наукових дослідженнях використовується сегментація ринку акумуляторів за технологіями виробництва.

Технологія виробництва головним чином залежить від хімічних елементів використаних в акумуляторах (вторинних батареях).

Наразі використовуються наступні види акумуляторів: свинцево-кислотний, літій-іонний, нікель-цинковий (NiZn), нікель-кадмієвий, нікель-металгідридний, цинк-марганцево-діоксидний, натрієво-сірчаний (NAS) [42]. З точки зору розподілу ринку лідерами є Літій-іонні та Свинцево-кислотні акумулятори, що мають на 2022 рік приблизно по 40% відсотків світового ринку, ще 10% займають нікель-металгідридні.

Свинцево-кислотні акумулятори використовуються для критичних застосувань через їх високу надійність і низьку вартість. Проте очікується, що літій-іонні акумулятори захоплять значну частину ринку свинцевих акумуляторів протягом наступних років через їх низьку щільність енергії та легку вагу.

У 2022 році свинцево-кислотні батареї становили другу за величиною частку світового ринку акумуляторів за доходами. Очікується, що зростання попиту на акумуляторні батареї, такі як батареї для запуску, освітлення та запалювання (SLI), в автомобільному секторі збільшиться. зростання ринку протягом прогнозованого періоду.

Літій-іонний сегмент очолював світовий ринок і на нього припало 40,77% світового доходу в 2022 році завдяки автомобільному сектору (Electric Vehicle / Electric mobility – EV / E-mobility). Літій-іонний сегмент в свою чергу можна поділити на окремі типи пов'язаних з хімічним складом акумуляторів. Зазвичай хімічний склад є комбінацією складу анода, катода та електроліта.

Але найпоширеніший поділ йде по типу катодів, що включають оксид літію-кобальту (LCO), оксид літію-марганцю (LMO), оксид літію-нікелю-кобальту-алюмінію (NCA), фосфат літію-заліза (LFP) і оксид літію-нікелю-марганцю-кобальту (NMC). Різниця між цими видами акумуляторів полягає в їх хімічному складі та експлуатаційних характеристиках. Наприклад, батареї LCO відомі своєю високою щільністю енергії та тривалим терміном служби, тоді як батареї LFP відомі своєю високою щільністю потужності та безпекою. Очікується, що в найближчі роки індустрія електромобілів сприятиме домінуванню літій-іонних батарей.

По застосуванню (чи кінцевому використанню) ринок можна поділити на автомобільний сектор – автомобільні акумулятори та батареї SLI (запуск, освітлення та запалювання), споживча електроніка – портативні батареї та акумулятори для електроінструментів, промислові батареї, та інші [70].

Розподіл по категоріях кінцевих споживачів зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Розподіл світового ринку акумуляторів по категоріях кінцевих споживачів у 2022 році

Джерело: узагальнено автором за [70].

У 2022 році на промислові батареї припадала найбільша частка ринку 35,85% у прикладному сегменті завдяки зростаючим вимогам до ефективних систем резервного живлення та накопичення енергії в різних галузях, таких як виробництво електроенергії, хімічна промисловість, суднобудування, обладнання для відпочинку, сільськогосподарське обладнання та ін. обладнання. Сегмент промислових батарей можна розділити на рухові та стаціонарні підсегменти. Вторинні батареї використовуються для резервного живлення в промисловості та на будівельних майданчиках.

Свинцево-кислотні батареї домінують на ринку в сегменті двигунів завдяки своїй низькій вартості, надійності та добре налагодженому ланцюжку поставок. Крім того, очікується, що через вимоги до технічного обслуговування частка ринку залитих свинцево-кислотних акумуляторів зменшиться. Свинцево-кислотні батареї дешеві і використовуються в багатьох промислових вантажівках і візках для гольфу. Це означає, що в порівнянні з іншими типами акумуляторів цей тип може зберегти значну частку ринку в майбутньому.

Автомобільні акумулятори були другим за величиною сегментом застосування у 2022 році, на який припадало 34,62% частки світового ринку з

точки зору доходів у 2022 році. Підвищення обізнаності про переваги транспортних засобів, що працюють від акумуляторів, у таких регіонах, як Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Європа та Північна Америка, сприятиме зростанню літій-іонні батареї в автомобільному сегменті кінцевого використання протягом найближчих років.

Очікується, що автомобільні акумулятори будуть провідним, а також домінуючим застосуванням протягом наступних років. Великий асортимент акумуляторів широко використовується в автомобільному секторі, який включає гібридні електромобілі, електромобілі та інші.

Автомобільний акумулятор використовується для живлення електричних систем транспортних засобів, коли двигун вимкнений. Крім того, він використовується для запуску двигуна, пропонуючи струм для електростартера та системи запалювання.

Літій-іонні батареї є єдиною технологією на ринку, яка здатна задовольнити вимоги виробників оригінального обладнання (ОЕМ) щодо запасу ходу автомобіля та часу заряджання через їх високу щільність енергії, здатність швидкого заряджання та високу потужність розряду.

Акумулятори з різними технологіями використовуються в різних частинах автомобілів. Це допомагає автовиробникам досягти державних цілей щодо зниження викидів CO₂ від транспорту. Зростання автомобільного сектору в усьому світі, а також розробки та запуски продуктів учасниками ринку є одними з основних факторів, що сприяють зростанню сегменту протягом наступних років. Наприклад, згідно з OICA, загальний обсяг продажів усіх транспортних засобів у всьому світі зріс з 78,7 мільйонів у 2020 році до 82,6 мільйонів у 2021 році. Крім того, згідно з даними MEA, продажі електромобілів у всьому світі досягли рекордних 3 мільйонів у 2020 році, що на 40% більше, ніж у 2019 році. Значне зростання продажів різних автомобілів, за оцінками, сприятиме подальшому збільшенню попиту, а також прийняттю ряду акумуляторів, які задовольняють вимоги споживачів.

Електроніка займає наступний за величиною сегмент завдяки широкому застосуванню в портативних споживчих електронних пристроях, таких як мобільні телефони, ноутбуки, комп'ютери, планшети, ліхтарі та ліхтарі, світлодіодні ліхтарі, пілососи, цифрові камери, наручні годинники, калькулятори та слухові апарати.

Інший сегмент кінцевого використання включає промисловість, медицину, будівництво та пожежогасіння. Більшість цих галузей промисловості використовують батареї для забезпечення резервного живлення критично важливих машин і обладнання.

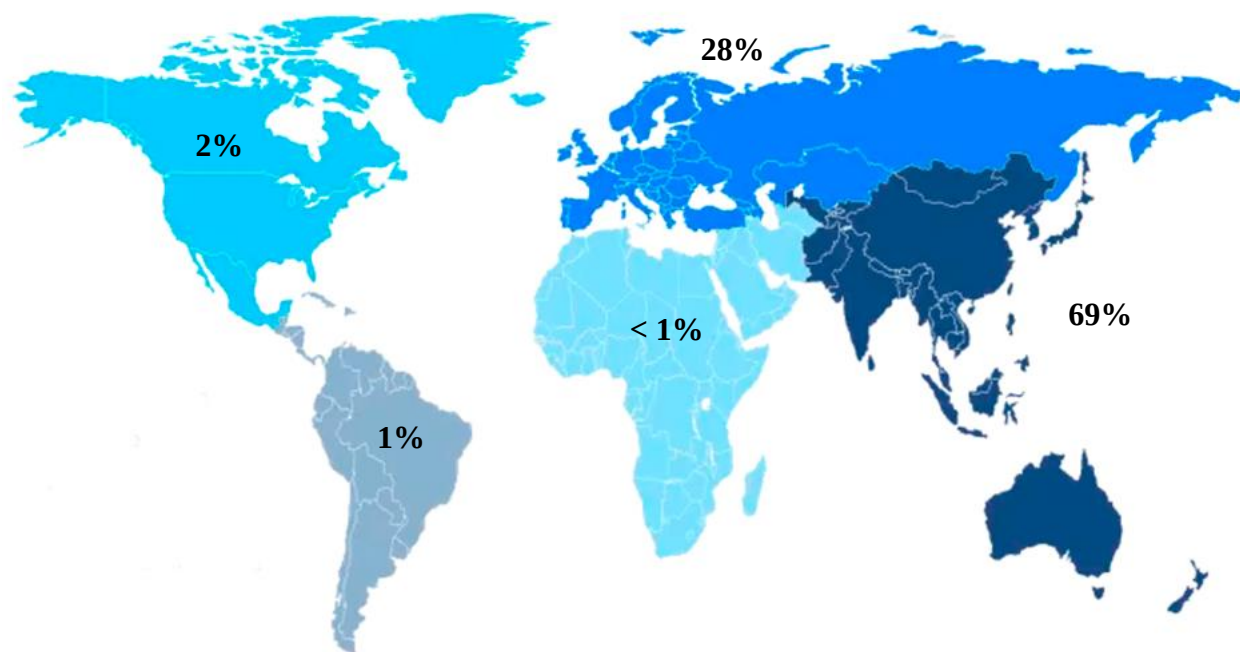
Очікується, що збільшення кількості лікарень і медичних закладів у всьому світі, які надають нові та вдосконалені медичні послуги та методи лікування для населення, сприятиме зростанню сегментів медичних, будівельних і протипожежних застосувань на ринку найближчими роками.

Сегментація ринку акумуляторів по регіонах. Можна відокремити чотири основних регіональних ринків акумуляторних батарей:

- Північна Америка: США і Канада.
- Європа: Велика Британія, Німеччина, Франція, Італія, Іспанія та решта Європи.
- Азіатсько-Тихоокеанський регіон: Китай, Південна Корея, Австралія та Нова Зеландія, Японія, Індія та решта Азіатсько-Тихоокеанського регіону.
- Решта світу: Латинська Америка, Близький Схід і Африка.

Географічне розташування регіонів із частками ринку зображено на рисунку 1.4.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон домінував на світовому ринку у 2022 році і мав найбільшу частку експорту літій-іонних батарей з понад 69% часткою. Очікується, що комерційні, житлові та мережеві накопичувачі спостерігатимуть значне зростання через різні фактори, включаючи індустріалізацію, урбанізацію та збільшення наявного доходу в країнах, що розвиваються, у поєднанні зі сприятливим законодавством для залучення інвестицій у регіон.



■ Північна Америка ■ Європа ■ Азіатсько-Тихоокеанський регіон ■

Латинська Америка – 1% ■ Близький Схід та Африка

Рисунок 1.4 – Географічне розташування експортерів літій-іонних батарей

Джерело: розроблено автором.

У розвинених країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону та країнах, що розвиваються, впровадження електромобілів постійно зростає все вищими темпами. Китай лідирує у світових продажах електромобілів, а інші країни, що розвиваються, такі як Індія, трансформують свою інфраструктуру громадського транспорту для електромобілів. Японія займає значну частку світового ринку вторинних батарей завдяки розширенню автомобільної промисловості та поширенню інтелектуальних пристроїв [74].

Крім того, зростаюча потреба в електромобілях є головним рушійним фактором, що сприяє зростанню ринку акумуляторів в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні протягом останніх років.

Прогнозується, що розвиток сектору відновлюваних джерел енергії, збільшення продажів побутової електроніки, зростання кількості центрів

обробки даних і зростання популярності електромобілів сприятимуть зростанню ринку акумуляторів у регіоні.

Північна Америка є другим за величиною регіональним ринком акумуляторів, але виробництво спрямоване переважно на внутрішній ринок, через що у 2022 році доля експорту літій-іонних акумуляторів складала 2%. Очікується, що будівельна індустрія Північної Америки значно зросте через попит на нежитлову інфраструктуру в найближчі роки. Збільшення інвестицій в екологічні інновації, включаючи електричні велосипеди, крани та навантажувачі, ймовірно, сприятиме розширенню ринку акумуляторів.

Сполучені Штати є одним із найбільших у світі ринків електромобілів. Виробники електромобілів у країні в першу чергу задовольняють внутрішній попит на електромобілі. Отже, збільшення продажів електромобілів у країні стимулює виробничий сектор, підтримуючи розширення ринку вторинних акумуляторів.

Попит на вторинні батареї в Пуерто-Ріко зростає через такі чинники, як зростаюча важливість стабільного електропостачання, урядові цілі та розширення відновлюваних джерел енергії. Крім того, Канада надає бізнес-можливості для вторинних батарей у різних галузях промисловості, включаючи відновлювану енергетику та нафту та газ. Кілька регіонів Канади, зокрема Онтаріо, розробляють технології чистої енергії, які сприяють економічному розвитку.

У Європі зростання попиту на електровелосипеди разом із сонячними системами у Великобританії, Німеччині та Нідерландах стимулюватиме зростання ринку. Очікується, що постійно зростаючий ринок свинцево-кислотних акумуляторів у Німеччині, Іспанії, Італії, Франції та Великобританії матиме позитивний вплив на європейський ринок акумуляторів протягом прогнозованого періоду.

Уряд Сполученого Королівства докладає численних зусиль для покращення телекомунікаційної інфраструктури країни, що є багатообіцяючим ознакою ринку для продажу вторинних батарей. Уряд Сполученого Королівства

надає стимули, такі як пільгові тарифи, щоб заохотити впровадження чистої енергії в житловому масштабі. Він також погодився зменшити податок на встановлення систем акумуляторів, але лише якщо вони постачаються та встановлюються разом із сонячними панелями. Німеччина має найбільшу в ЄС і досить розвинену інтернет-екосистему, а автомобільний сектор має вирішальне значення для економіки Німеччини. Крім того, електромобілі завойовують частку ринку німецької автомобільної промисловості. Очікується, що розвиток телекомунікаційного сектору країни також сприятиме попиту на вторинні батареї.

У решті світу можна відокремити розвиток Саудівській Аравії та Бразилії. Зростання попиту на побутову електроніку в Бразилії є вирішальним для акумуляторного ринку. Економічне зростання Бразилії веде до розширення її комерційної інфраструктури. Оскільки економічна діяльність країни процвітає, вона переживає швидкий розвиток центрів обробки даних, які повинні створити можливості для літій-іонних батарей. У найближчі роки очікується будівництво великої кількості вишок стільникового зв'язку, що збільшить попит на батареї для резервного живлення. Крім того, очікується, що зростання телекомунікаційної галузі сприятиме розвитку ринку промислових акумуляторів.

Саудівська Аравія має найбільший ринок електромобілів на Близькому Сході, більшість з яких імпортуються. Найбільш продаваними електромобілями в Саудівській Аравії були BMW i8 і Porsche Panamera PHEV; обидва є висококласними гібридними електромобілями (PHEV). Saudi Industrial Development інвестуватиме в проекти відновлюваної енергетики та виробників компонентів для відновлюваної енергетики. Очікується, що телекомунікаційна галузь буде стимулювати ринок вторинних батарей завдяки зростанню кількості активних абонентів мобільного зв'язку в країні. Зростаюча кількість абонентів може вимагати розширення телекомунікаційної інфраструктури, що призведе до збільшення кількості веж. Ці вежі вимагають

резервного живлення, що збільшує попит на засоби резервного живлення та вторинні батареї протягом наступних років.

Номенклатура батарей. Сучасні виробники пропонують велике різноманіття технологій, конструкцій та форм факторів батарей. Окрім хімічного складу відрізняють наповнення батареї, це можуть бути сухі елементи живлення, рідкі, або гелеобразні. Комбінація технологій, конструкцій, та форм факторів формує повну номенклатуру доступних на ринку батарей. Хоча часто, особливо у випадку портативних пристроїв, батареї можуть мати унікальну конструкцію, існує також певна стандартизація батарей.

Стандартна номенклатура описує фізичні розміри та електричні характеристики які є взаємозамінні між виробниками. Технічні стандарти розмірів і типів акумуляторів встановлюються такими організаціями зі стандартизації, як Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) і Американський національний інститут стандартів (ANSI). Популярні розміри все ще називаються старими стандартами або позначеннями виробників, а деякі несистематичні позначення були включені в поточні міжнародні стандарти через широке використання. Повна номенклатура батареї повністю визначає розмір, хімічний склад, розташування клем і спеціальні характеристики батареї. Той самий фізично взаємозамінний розмір комірки може мати дуже різні характеристики; фізична взаємозамінність не є єдиним фактором заміни батарей.

Національні стандарти для розроблені ANSI, JIS, британськими національними стандартами та іншими. Існують цивільні, комерційні, урядові та військові стандарти. Двома найпоширенішими стандартами, які зараз використовуються, є серія IEC 60086 і серія ANSI C18.1. Обидва стандарти надають розміри, стандартні робочі характеристики та інформацію про безпеку. Сучасні стандарти містять як систематичні назви типів батарей, які дають інформацію про склад і приблизний розмір батарей, так і довільні цифрові коди розмірів клітин.

На рисунку 1.5 зображено приклад сучасного різноманіття батарей.



Рисунок 1.5 – Приклад номенклатури батарей

Джерело: взято з [20].

Глобальна індустрія акумуляторів є висококонкурентним ринком через присутність основних галузей у всіх регіонах, оскільки ці компанії є досить концентрованими та висококонкурентними. Нижче представлені деякі з відомих гравців, які працюють на світовому ринку акумуляторів [72]:

- Північна Америка: США і Канада;
- Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL);
- LG Chem Co. Ltd;
- BYD Company Ltd;
- Panasonic Corporation;
- Samsung SDI Co. Ltd;
- TDK Corporation;
- EnerSys;
- GS Yuasa International Ltd;
- Exide Technologies;
- Toshiba Corporation;
- A123 Systems LLC;
- Hitachi, Ltd;
- Johnson Controls;
- NEC Corporation.

1.3. Використання системи метаданих у ході аналізу ринку електрохімічних батарей

Для проведення статистичних досліджень ринку необхідно визначитись з наявними класифікаціями і метаданими які можуть бути використані з відповідними статистичними даними обраними для дослідження.

З 2000 р. в Україні здійснюється поступовий перехід вітчизняної статистики та бухгалтерського обліку до міжнародних стандартів у цій галузі. Самі ж стандарти, зі свого боку, розробляються та удосконалюються міжнародними організаціями, що входять до системи офіційних установ ООН [7]. Таким чином методи міжнародної статистики та відповідні стандарти мають бути основою для визначення класифікацій і метаданих. Міжнародна статистика, в свою чергу базується насамперед на методології, що розроблена спеціалізованими підрозділами ООН та визнана національними статистичними органами, які на основі цієї методології розробляють та удосконалюють національні системи статистичного спостереження за макроекономічними процесами. Серед спеціалізованих підрозділів ООН. Головним органом міжнародної статистичної системи є Статистичний відділ Організації Об'єднаних Націй (UNSD) який розвиває глобальну статистичну систему, збирає та поширює глобальну статистичну інформацію, розробляє стандарти та норми для статистичної діяльності та підтримує зусилля країн щодо зміцнення їхніх національних статистичних систем. Статистичний відділ ООН також розвиває і підтримує низку міжнародних класифікацій серед яких Міжнародна стандартна галузева класифікація всіх видів економічної діяльності (ISIC) та класифікація основних продуктів (CPC).

В контексті даної роботи має сенс використовувати Гармонізовану систему опису та кодування товарів (Harmonized System – HS). Harmonized System класифікація – це стандартизована на міжнародному рівні система назв і номерів для класифікації товарів, що торгуються. Вона набула чинності в 1988

році і з того часу розробляється і підтримується Всесвітньою митною організацією (WCO). HS класифікація використовується більш ніж 200 країнами-членами WCO (включно з Україною) як основа для митних тарифів, збору статистики міжнародної торгівлі та багатьох інших цілей.

Гармонізована система (HS) класифікації структурно організована за видами економічної діяльності та матеріалами компонентів.

Структура коду HS складається з секції, що кодуються римськими цифрами (від I до XXI), глави – ідентифіковані двозначними цифровими кодами, заголовки – ідентифіковані чотиризначними цифровими та підзаголовки – ідентифіковані шестизначними цифровими кодами.

Назви секцій і глав описують широкі категорії товарів, тоді як заголовки і підзаголовки описують товари більш детально. Як правило, розділи та глави HS розташовані в порядку зростання ступеня обробки товару або з точки зору його технологічної складності (рисунок 1.6).

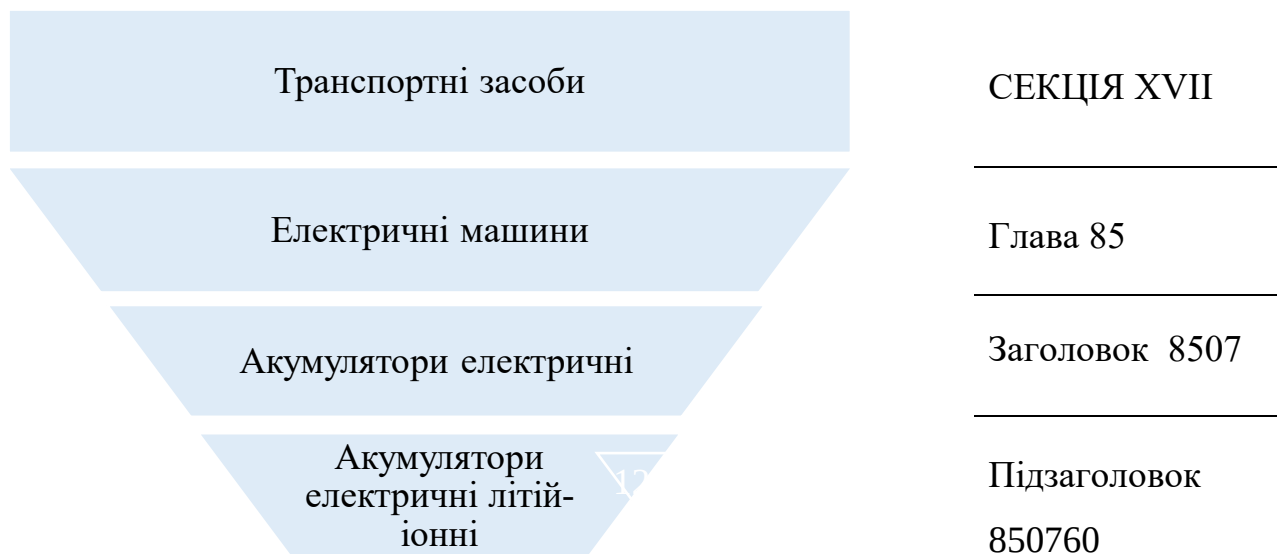


Рисунок 1.6 – Структура коду Гармонізованої системи опису та кодування товарів

Джерело: розроблено автором за [41].

Процес присвоєння кодів HS відомий як «Класифікація HS». Усі продукти можуть бути класифіковані в HS за допомогою Загальних правил інтерпретації

Гармонізованої системи («GRI»), які повинні застосовуватися в суворій послідовності. Коди HS можуть визначатися різними факторами, включаючи склад продукту, його форму та функцію [41].

В таблиці 1.2 наведена структура HS коду для аналізу ринку електрохімічних батарей.

Таблиця 1.2 – Структура HS коду класифікації електрохімічних батарей

Структурний елемент	Опис
Секція	XVII Транспортні засоби, літаки, судна та пов'язане з ними транспортне обладнання.
Глава	85 Електричні машини та устаткування і їх частини; звукозаписувальні пристрої та відтворювачі звуку, телевізійні звукозаписувальні пристрої та відтворювачі зображення і звуку, а також частини та приладдя до них.
Заголовок	8506 Елементи живлення та батареї первинні
Заголовок	8507 Акумулятори електричні, включаючи сепаратори для них, прямокутні (включаючи квадратні) або непрямокутні
Заголовок	8548 Відходи та брухт первинних елементів, первинних батарей та електричних акумуляторів; відпрацьовані первинні елементи, відпрацьовані первинні батареї та відпрацьовані електричні акумулятори; електричні частини машин або апаратів, не включені до інших угруповань групи 85

Джерело: побудовано автором на основі [27].

В таблиці 1.3 наведені підзаголовки HS коду для аналізу ринку електрохімічних акумуляторних батарей.

Таблиця 1.3 – Структура HS коду класифікації акумуляторних батарей

HS код	Опис
850710	Акумулятори електричні свинцево-кислотні, призначені для пуску поршневих двигунів, включаючи сепаратори прямокутної форми (включаючи квадратні)
850720	Акумулятори електричні свинцево-кислотні (крім призначених для пуску поршневих двигунів), включаючи сепаратори прямокутної форми (включаючи квадратні)
850730	Акумулятори електричні нікель-кадмієві, включаючи сепаратори прямокутної форми (включаючи квадратні)
850740	Акумулятори електричні нікель-залізні, включаючи сепаратори, прямокутні (включаючи квадратні)
850750	Акумулятори електричні; нікель-металогідридні, включаючи сепаратори, прямокутні (включаючи квадратні)
850760	Акумулятори електричні літій-іонні, включаючи сепаратори, прямокутні (включаючи квадратні)
850780	Акумулятори електричні, крім свинцево-кислотних, нікель-кадмієвих, нікель-залізних, нікель-металогідридних та літій-іонних, включаючи сепаратори, прямокутні (включаючи квадратні)
850790	Акумулятори електричні; частини, н. в. і. у. не включені до інших товарних позицій 8507

Джерело: побудовано автором на основі [27].

Поза процесом класифікації, важливу роль у аналізі статистичних даних відіграють метадані. Метадані – це інформація, що визначає або описує інші дані, і є ключовим елементом для пояснення та розуміння представлених даних або їх значень. Це особливо актуально при порівнянні світових показників наданих різними країнами в різний час, оскільки метадані допомагають забезпечити значущі висновки з врахуванням конкретних контекстів та умов.

В таблиці 1.4 наведені обов'язкові структурні метадані для дослідження світового ринку електрохімічних батарей в базі даних Comtrade.

Таблиця 1.4 – Структурні метадані

Метадані	Опис
Назва	Метадані до статистики світового експорту-імпорту електрохімічних батарей. Одиниця статистичного обліку: Батарея Базисна територія: Весь світ, Україна Базисний період: 2012 – 2022 рік Одиниця виміру: вартість, вага
Статистичні поняття і визначення	Електрохімічні батареї визначені за допомогою класифікації Harmonized System (HS): 8507 Акумулятори електричні, включаючи сепаратори для них, прямокутні (включаючи квадратні) або непрямокутні 850760 Акумулятори електричні літій-іонні, включаючи сепаратори, прямокутні (включаючи квадратні) Класифікацію підтримує – World Customs Organization (WCO)
Виготовлювач	UN Trade Statistics – Comtrade Database https://comtradeplus.un.org

Джерело: побудовано автором на основі [27].

Структурні та довідкові метадані є складовими частинами метаданих, які використовуються для пояснення і опису статистичних даних.

Структурні метадані вказують на організацію та структуру статистичних даних. Вони включають інформацію про відомості, такі як типи даних, їхні взаємозв'язки, формати представлення (такі як таблиці, графіки), інструкції з заповнення форм та інше. Іншими словами, виконують функції, які допомагають користувачам розуміти, як дані організовані та як їх можна інтерпретувати.

Найбільш повним (більш ніж 98 % обсягу світової торгівлі) і достовірним джерелом світової торговельної статистики є база даних UN Comtrade Database, що дозволяє детально вивчити зовнішню торгівлю будь-якої окремо взятої країни за кожною групою товарів.

Довідкові метадані надають додаткові пояснення та контекст для кращого розуміння значень статистичних даних. Це може включати інформацію про джерело даних, методологію збору, визначення понять, критерії включення чи виключення конкретних елементів, тлумачення скорочень та інші роз'яснення, тобто виконують функції які забезпечують контекст та інтерпретацію, необхідні для правильного розуміння і використання статистичних даних. Частиною довідкових метаданих є концептуальні метадані. До концептуальних метаданих можна віднести визначення стосовно досліджуваної теми. Окремі визначення надані у директиві DIRECTIVE 2006/66/EC стосовно батарей та акумуляторів та їх відходів (on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators) [33]:

(1) «батарея» або «акумулятор» означає будь-яке джерело електричної енергії що виробляється шляхом прямого перетворення хімічної енергії та складається з одного або декількох первинних елементів батареї (неперезаряджаємий) або складається з одного або декількох вторинних елементів батареї (перезаряджається);

(2) «акумуляторна батарея» означає будь-який набір батарей або акумуляторів, які з'єднані між собою та/або поміщені в зовнішній корпус таким чином, що таким чином, щоб утворювати цілісний блок, який кінцевий користувач не має наміру розділяти на частини або відкривати;

(3) «портативна батарея або акумулятор» означає будь-яку батарею, елемент живлення, батарею, батарейний блок або акумулятор, які є запаковані; та можна переносити в руці; та не є ні промисловою батареєю або акумулятором, ні автомобільною батареєю або акумулятором;

(4) «батарейка» означає будь-яку маленьку круглу портативну батарею або акумулятор, діаметр якого перевищує його висоту, і який використовується для спеціальних цілей, таких як слухові апарати, годинники, невелике невелике портативне обладнання та резервне живлення;

(5) «автомобільна батарея або акумулятор» означає будь-яку батарею або акумулятор, що використовується для автомобільного стартера, освітлення або запалювання;

(6) «промислова батарея або акумулятор» означає будь-яку батарею або акумулятор, призначений виключно для промислового або професійного промислового або професійного використання або використовується в будь-якому типі електромобіля;

(7) «відпрацьована батарея або акумулятор» означає будь-яку батарею або акумулятор що є відходами;

(8) «рециклінг» означає переробку у виробничому процесі відходів для їх первісного призначення або для інших цілей, але за винятком отримання енергії;

(9) «видалення» означає будь-яку із застосовних операцій, передбачених у Додатку ПА до Директиви 2006/12/ЄС;

(10) «переробка» означає будь-яку діяльність, що здійснюється з відпрацьованими батареями та акумуляторами після того, як вони були передані на об'єкт для сортування, підготовки до переробки або сортування, підготовки до переробки або підготовки до утилізації.

Окремо до метаданих відносимо існуючі релевантні стандарти, серед організацій підтримуючих відповідні стандарти можна виділити IEC, ISO, EN, IEEE. Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) – це міжнародна організація зі стандартизації, яка готує і публікує міжнародні стандарти для всіх електричних, електронних і пов'язаних з ними технологій, відомих під загальною назвою «електротехнології». Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) – це міжнародна організація з розробки стандартів, що складається з представників національних організацій зі стандартизації країн-членів. Європейські стандарти або Євронорми (EN) є ключовим компонентом Єдиного європейського ринку. Вони мають вирішальне значення для сприяння торгівлі на європейській території та за її межами. Стандарт являє собою типову специфікацію, технічне рішення, на основі якого ринок може здійснювати торгівлю. Асоціація стандартів Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE SA) розробляє глобальні стандарти в широкому спектрі галузей.

Ключові стандарти електрохімічних батарей представлені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Стандарти ринку електрохімічних батарей

Стандарт	Опис
1	2
Primary Battery IEC/EN60086-1, IEC/EN60086-2 [72]	Стандарти призначені для стандартизації первинних батарей щодо розмірів, номенклатури, конфігурації клем, маркування, методів випробувань, продуктивності, безпеки та екологічних аспектів.
Primary Lithium Battery IEC/EN60086-1, IEC/EN60086-2, IEC/EN60086-4 [72]	Стандарти призначені для стандартизації первинних літієвих батарей щодо розмірів, номенклатури, конфігурацій клем, маркування, методів випробувань, експлуатаційних характеристик, безпеки при використанні за призначенням та обґрунтовано передбачуваному неправильному використанні, а також екологічних аспектів.
Primary Lithium Battery for Watches IEC/EN60086-1, IEC/EN60086-3, IEC/EN60086-4 [72]	Призначений для стандартизації первинних акумуляторів із водним електролітом щодо розмірів, номенклатури, конфігурації клем, маркування, методів випробувань, продуктивності, безпеки за призначенням та розумно передбачуваного неправильного використання та екологічних аспектів
Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion battery ISO 12405 [51]	Визначає процедури випробувань літій-іонних акумуляторних батарей і систем для використання в дорожніх транспортних засобах з електричним приводом. Зазначені процедури випробувань дають змогу визначити основні характеристики продуктивності, надійності та зловживань літій-іонних акумуляторних батарей і систем.
Road vehicles – Functional safety ISO 26262 [22]	Цей стандарт стосується функціональної безпеки електричних та електронних систем дорожніх транспортних засобів, у тому числі тих, що пов'язані з джерелами електроенергії.
United Nations Transportation Regulations UN 38.3 [69]	Посібник ООН з випробувань і критеріїв, розділ 38.3, визначає критерії випробувань літієвих батарей, в тому числі електричних акумуляторів. Відповідність стандарту ООН 38.3 часто вимагається при перевезенні літієвих батарей.

1	2
Lithium Batteries: Safety Standards for LEV EN50604 [80]	Серія EN 50604: Європейські стандарти охоплюють вимоги безпеки для вторинних батарей і батарейних установок. Стандарти серії EN 50604 стосуються різних типів акумуляторів, зокрема літій-іонних батарей.
Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage System (RESS) Safety and Abuse Testing. SAE J2464 [34]	Стандарт описує комплекс випробувань, які можуть бути використані в разі потреби для тестування електричних або гібридних акумуляторних батарей електромобілів для визначення реакції таких батарей на умови або події, які виходять за межі їхнього нормального робочого діапазону.
Standard for Rechargeable Batteries for Mobile Phones IEEE 1725 [15]	Стандартом встановлено критерії для аналізу проектування з метою визначення кваліфікації, якості та надійності літій-іонних акумуляторних батарей для таких пристроїв, як мобільні телефони. Також розглядаються електрична і механічна конструкція акумуляторних батарей, технології пакування, контроль заряду і розряду на рівні батареї та елемента, а також загальні системні міркування.
Standard for Rechargeable Batteries for Multi-Cell Mobile Computing Devices IEEE 1625 [48]	Цей стандарт встановлює критерії для аналізу проектування на предмет кваліфікації, якості та надійності систем акумуляторних батарей для багатoelementних мобільних обчислювальних пристроїв. Він також надає методи кількісної оцінки експлуатаційних характеристик цих батарей і пов'язаних з ними систем управління і контролю, включаючи міркування щодо повідомлення кінцевого користувача.

Джерело: побудовано автором на основі [61], [83], [56].

Базуючись на зазначених в даному підрозділі класифікаціях і метаданих, подальші частини дослідження зосереджуються безпосередньо на аналізі загальносвітових та національних тенденцій розвитку ринку електрохімічних батарей.

Висновки до розділу 1

Перший розділ даного дослідження присвячено основам понятійного апарату у галузі систем збереження енергії і ролі електрохімічних батарей, розглянута існуюча сегментація ринку акумуляторів, визначена класифікація і метадані які будуть використовуватися в подальшому дослідженні.

Електрохімічні батареї – батареї з електрохімічними запасами енергії найчастіше використовуються для збереження енергії. Електрохімічні батареї поділяються на дві великі категорії первинні (батарейки) і вторинні (акумулятори). Різні види акумуляторів відрізняються характеристиками що впливають на особливість їх застосування. З точки зору сукупності характеристик найбільш перспективними вважаються акумуляторні батареї побудовані з використанням хімічної речовини – літію, а найбільш розповсюдженим типом таких акумуляторів є літій-іонні акумулятори.

Ринок акумуляторів сегментований за різними критеріями. Технологія виробництва головним чином залежить від хімічних елементів використаних в акумуляторах і є одним з критеріїв сегментації. Інший критерій – застосування, це може бути автомобільний сектор, індустріальні батареї, споживчий ринок та інше. Номенклатура форм факторів, географічний розподіл ринку і виробники також розглядаються як окремі сегменти ринку.

Для проведення статистичного дослідження ринку акумуляторів необхідно мати відповідну методологічну базу для роботи з даними. За основу дослідження приймається класифікація Harmonized System (HS) – це стандартизована на міжнародному рівні система назв і номерів для класифікації товарів вона розробляється і підтримується Всесвітньою митною організацією (WCO). Основою метаданих є відповідні стандарти міжнародних організацій зі стандартизації.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ РИНКУ АКУМУЛЯТОРІВ

2.1. Аналіз світового і національного ринку акумуляторів

На світовому ринку історично домінували первинні батареї, але на 2022 рік вторинні батареї (акумулятори) є лідером як по об'єму ринку так і по темпу зростання.

Основними трендами розвитку ринку акумуляторів є наступні:

1. Зростаючий попит на системи накопичення та зберігання енергії.

У всьому світі спостерігається зростання попиту на промислові системи зберігання енергії. Зберігання енергії може відігравати вирішальну роль у збалансуванні змінних джерел генерації та інтеграції в мережу. У цьому відношенні, підвищуючи загальну гнучкість системи, системи накопичення енергії можуть зменшити пікове споживання, покращити якість електроенергії, уникнути/зменшити штрафи за відхилення та збільшити пропускну здатність мереж розподілу/передачі.

2. Розвиток AGM акумуляторів.

Акумуляторні батареї AGM (Absorbent Glass Mat) – це вдосконалений тип свинцево-кислотних акумуляторів, які забезпечують чудову потужність, що відповідає вищим вимогам до електрики сучасних транспортних засобів і систем старт-стоп. Такі батареї надзвичайно стійкі до вібрації, повністю не проливаються, герметичні, а також не потребують обслуговування. Крім того, вони також забезпечують кращу циклічну продуктивність, мінімальне газоутворення та витік кислоти порівняно зі звичайними свинцево-кислотними акумуляторами.

3. Збільшення використання та розвиток морських батарей.

Морські батареї спеціально розроблені для використання на човні, мають міцну конструкцію та більш важкі пластини, які розроблені, щоб протистояти ударам і вібрації, які можуть виникнути на борту будь-якого моторного човна. Існує три основних типи морських батарей: морські стартові батареї, морські батареї глибокого циклу та морські батареї подвійного призначення. Незважаючи на зростання проникнення морських акумуляторів, учасники ринку по всьому світу також розробляють і випускають ряд технологічно передових та інноваційних продуктів, які задовольняють вимоги кінцевих користувачів.

4. Збільшення попиту на електромобілі.

Збільшення попиту на електромобілі позитивно вплине на ринок вторинних батарей. Вторинні батареї все частіше використовуються в гібридних автомобілях. Згідно зі звітом Bloomberg New Energy Finance (BNEF), до 2040 року очікується, що продажі електромобілів досягнуть 540 мільйонів, що становить близько 32% світового пасажирського транспорту. Таким чином, зростаючий попит на електромобілі стимулюватиме зростання ринку вторинних батарей.

Враховуючі всі ці тренди, прогнозується що обсяг світового ринку акумуляторів зросте з 79,56 мільярда доларів США у 2022 році до 89,32 мільярда доларів США у 2023 році при середньорічному темпі зростання (CAGR) на 12,3%.

Російсько-українська війна підірвала шанси на відновлення світової економіки після пандемії COVID-19, принаймні в короткостроковій перспективі. Війна між цими двома країнами призвела до економічних санкцій проти кількох країн, різкого зростання цін на товари та збоїв у ланцюжках поставок, що спричинило інфляцію товарів і послуг і вплинуло на багато ринків у всьому світі. Очікується, що світовий ринок вторинних акумуляторів зросте до 137,69 мільярдів доларів у 2027 році при середньорічному темпі зростання 11,4%.

Жорсткі урядові правила щодо виробництва вторинних батарей перешкоджають зростанню ринку вторинних батарей. У процесі виробництва

аккумуляторів утворюються стічні води та вивільняються такі забруднювачі, як кадмій, кобальт, мідь, ціанід, залізо, свинець, марганець, ртуть, нікель і цинк. Виробникам зазвичай рекомендують зменшити кількість небезпечних речовин, що викидаються в навколишнє середовище. Наприклад, Агентство з охорони навколишнього середовища США (EPA) сформулювало вказівки та стандарти для стічних вод виробництва аккумуляторів для регулювання таких забруднювачів [19]. Таким чином, суворі державні норми перешкоджають зростанню ринку вторинних батарей.

Для ринку літій-іонних аккумуляторів у перші роки свого існування основним споживачем був сектор споживчої електроніки. Однак через зростання продажів електромобілів виробники електромобілів (EV) стали найбільшими споживачами літій-іонних аккумуляторів за останні роки.

Вплив електромобілів на навколишнє середовище нижчий, ніж у звичайних автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння (ДВС), оскільки вони не викидають CO₂, NO_x чи будь-яких інших парникових газів. Завдяки цій переваги багато країн запроваджують субсидії та державні програми для сприяння використанню електромобілів. В електромобілях переважно використовуються літій-іонні батареї, а зниження вартості літій-іонних батарей зменшило вартість виробництва електромобілів.

Вартість літій-іонних аккумуляторів неухильно знижується протягом останніх десяти років. Постійне покращення продуктивності батареї досягається завдяки постійним дослідженням і розробкам, спрямованим на вдосконалення матеріалів для батареї, зменшення кількості неактивних матеріалів і витрат на матеріали, покращення дизайну елементів і продуктивності, а також збільшення швидкості виробництва.

Виробники аккумуляторів в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, зокрема в Китаї, мають навіть нижчі ціни, ніж середні ціни у світі. Нижча вартість робочої сили є значною причиною зниження цін у Китаї. Збільшення обсягів виробництва, зокрема в Китаї, допомогло досягти ефекту масштабу у виробництві літій-іонних аккумуляторів. Сепаратори аккумуляторів зіграли

важливу роль у зниженні цін на літій-іонні акумулятори. Значне збільшення потужностей посилило конкуренцію серед виробників, ще більше зменшивши витрати, але за рахунок прибутковості виробників.

Обмеження ринку літій-іонних акумуляторів. Зі зниженням вартості літій-іонних акумуляторів значно зріс попит на акумулятори та мінерали, які використовуються у виробництві акумуляторів. Така ситуація підвищує ціни на корисні копалини та створює дефіцит мінеральної сировини.

Виробники в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні очікують, що їм не вистачить, щоб забезпечити роботу заводів з масового виробництва літій-іонних акумуляторів на повну потужність.

Оскільки все більше грошей вкладається у виробництво електромобілів, промисловість споживчої електроніки змушена конкурувати зі своїми літій-іонними акумуляторами.

Через зміни в попиті та пропозиції на нікель і мідь, а також через невизначеність у гірничодобувній промисловості Демократичної Республіки Конго, очікується, що виробництво знизиться. Виробництво акумуляторів утворює стічні води та виділяє кадмій, кобальт, мідь, ціанід, залізо, свинець, марганець, ртуть, нікель і цинк, серед інших забруднюючих речовин. Зазвичай виробникам рекомендується зменшити кількість небезпечних речовин, що викидаються в навколишнє середовище. Очікується, що ці фактори стримають зростання ринку протягом певного періоду.

Перспективи ринку літій-іонних акумуляторів. Посилаючись на прогнози асоціації EUROBAT реалістичним сценарієм розвитку загального світового ринку акумуляторів є зростання в рази до 3495 ГВт-год у 2030 році. Свинцеві та літієві батареї залишатимуться домінуючими технологіями на ринку до 2030 року, а обсяги свинцевих та літієвих батарей на світовому ринку досягнуть 495 ГВт-год та 3 000 ГВт-год відповідно.

На рисунку 2.1 представлений прогноз світового ринку свинцевих акумуляторів за використанням [18].

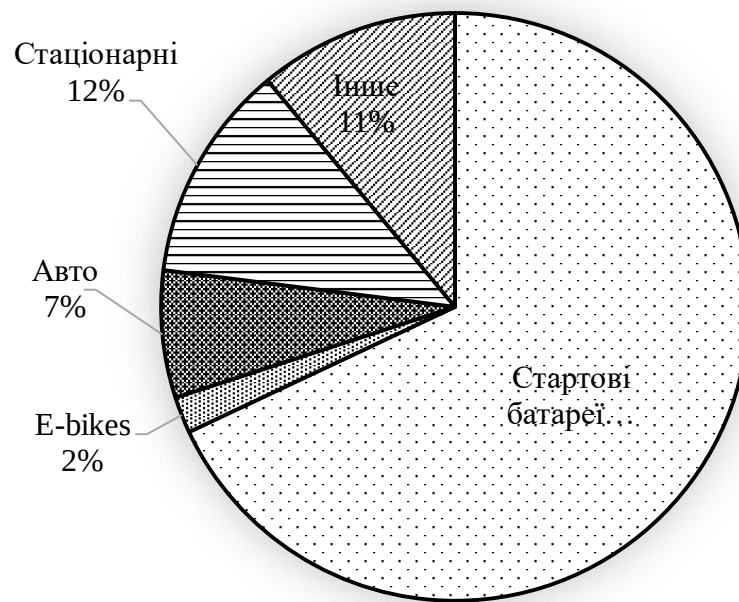


Рисунок 2.1 – Світовий ринок свинцево-кислотних акумуляторів за використанням. Прогноз на 2030 рік (495 ГВт)

Джерело: побудовано автором на основі [18].

Вочевидь домінуючу частку будуть займати літій-іонні акумулятори (3000 ГВт-год) які в основному обслуговуватимуть сегменти електромобілів, на які припадає 85-90% загального обсягу, а також ринки зберігання енергії, які до 2030 року досягнуть 150-225 ГВт-год, з яких 41 ГВт-год припадатиме на автономне зберігання (BTM), 138 ГВт-год – на зберігання перед лічильником (FTM) і 31 ГВт-год – для домашнього зберігання.

На рисунку 2.2 зображено прогноз світового ринку літій-іонних акумуляторів за використанням на 2030 рік.

Попит на акумуляторні батареї постійно зростає, а їхні характеристики покращуються завдяки зростаючій електрифікації в різних сферах застосування. З метою досягнення кліматичної нейтральності подальша електрифікація найбільш вуглецевоємних секторів – транспорту та енергетики – ще більше розширює межі застосування акумуляторів.



Рисунок 2.2 – Світовий ринок літій-іонних акумуляторів за використанням. Прогноз на 2030 рік (3000 ГВт)

Джерело: побудовано автором на основі [18].

Національний ринок України є переважно споживачем готової продукції, але має все для того щоб зайняти окреме місце в ланцюжку виробництва, або навіть мати повний цикл виробництва і переробки. У 2017 році був створений Європейський батарейний альянс (ЕВА). Метою проекту є створення замкнутої екосистеми у сфері батарейок – від видобутку сировини, проектування та виробництва до їх утилізації. Таким чином Європа хоче виключити залежність від інших країн, зокрема Китаю [23]. ЕВА на 2021 рік сформувала стратегічне партнерство з Україною, яке включатиме діяльність по всьому ланцюжку створення вартості як первинної, так і вторинної критично важливої сировини та акумуляторів, і відповідно до цілей Плану дій ЄС щодо критично важливої сировини, воно допоможе диверсифікувати, посилити та убезпечити постачання критично важливої сировини обома сторонами, що є важливим для досягнення «зеленого» та цифрового переходу. Партнерство також матиме вирішальне значення для збереження глобальної конкурентоспроможності та розвитку стійкості промисловості ЄС та України.

Одним з напрямків де Україна також може брати участь в ЕВА це в частині зарядної інфраструктури для електромобілів, де ми маємо хороші початкові позиції. Завдяки пільговим умовам ввезення ринок електромобілів в Україні досить активно розвивається з 2016 року. Крім того, Україна також може взяти участь у роботі Європейського сировинного альянсу (ERMA), який працює за принципом ЕВА, але створений для забезпечення стратегічними матеріалами європейської безвуглецевої економіки.

З точки зору сировинних матеріалів, українські дослідники припускають, що східний регіон країни містить великі запаси оксиду літію, джерела літію, який є критично важливим для виробництва акумуляторів [21]. Родовища літію розташовані в Кіровоградській (Полохівське та Добрий), Донецькій (Шевченківське) та Запорізькій (Крута Балка) областях. На даний момент жоден з них не веде видобуток. Обсяги їхніх запасів є державною таємницею. За деякими оцінками, запаси Шевченківського родовища становлять близько 14 мільйонів тон.

Що стосується інших важливих металів, то в країні також є запаси нікелю, кобальту та марганцю, які використовуються у виробництві акумуляторів. Родовища нікелю та кобальту розташовані в Кіровоградській та Дніпропетровській областях. Запаси становлять: нікелю – 215 тис. тон (12 родовищ), кобальту – 8,8 тис. тон (11 родовищ). Слід зазначити, що в різних джерелах цифри щодо обсягу запасів можуть суттєво відрізнятися. Одним з «металів майбутнього» є титан. На відміну від літію, ільменітова руда (сировина для титану) вже видобувається в Україні, і є також виробничі потужності. Намагання держави брати участь у міжнародних ланцюгах постачання добре вписується в загальну ідею розширення національного ринку батарей. Маючи відповідні запаси сировини, Україна може виступати гравцем на етапах видобутку і первинної обробки сировини.

Наступним кроком, може бути виробництво окремих компонентів таких як катоди і аноди. Наприклад графітові аноди – графіт використовується як анодний матеріал у виробництві літій-іонних акумуляторів завдяки своїй відносно

низькій вартості та щільності енергії. Деякі матеріали були класифіковані як критичні для європейської економіки з точки зору економічної важливості та ризику перебоїв у постачанні. Природний графіт був класифікований як критичний у всіх трьох юрисдикціях: Японії, США та Європі [76].

За запасами графіту Україна входить до п'ятірки лідерів у світі. За даними геологічних досліджень виявлено 6 основних родовищ, які містять запаси близько 18 мільйонів тон природного графіту. У 2021 році Україна експортувала на світові ринки понад 17 000 тон графіту, що зробило її шостим найбільшим виробником у світі. На жаль, війна призвела до призупинення роботи основних видобувних підприємств. Китай є лідером з постачання природного графіту, але також зіткнувся з перебоями у постачанні ключових мінералів. Європейські виробники вже намагаються наблизити постачання мінеральної сировини з Китаю, щоб підвищити стабільність ланцюгів поставок.

З огляду на локалізацію ланцюгів поставок, Україна має стати провідним виробником графіту в Європі після війни. Це важливо як для нашої промисловості, так і для світової спільноти на шляху до сталого розвитку та боротьби зі зміною клімату.

Ще одним етапом в виробничому ланцюжку може бути будівництво фабрики з виробництва акумуляторів. На літєвій основі українські представники вже запропонували ЄС побудувати в Україні завод з виробництва акумуляторів для електромобілів і перевірити українські дані про родовища і запаси критично важливих металів. Для цієї мети Україна хоче залучити кредит від ЄБРР у розмірі 200 млн євро. для створення масштабного промислового виробництва літій-іонних акумуляторів необхідно виконати чотири умови: мати розвідані запаси корисних копалин, створити сучасну матеріально-технічну базу та побудувати розвинену інфраструктуру, володіти технологією виробництва та підготувати кадри, налагодити ланцюжки поставок, які покривають ринок збуту. Звичайно країнам ЄС є сенс будувати такі заводи на своїй території.

Сильною стороною заводів з виробництва літій-іонних акумуляторів, які будуються в країнах ЄС, є технологія виробництва, технічне оснащення, близькість

до ринків збуту та персонал. Заводи можуть наймати інженерів, які працювали в тому ж місті на заводах з виробництва двигунів внутрішнього згорання. Слабкою стороною заводів є їхня рівновіддаленість від джерел сировини. Обсяги виробництва залежатимуть від постачання літію, нікелю, кобальту, марганцю. Таким чином Україна при певних умовах може стати виробничим майданчиком для повного циклу виробництва батарей.

Нарешті, можна також розглянути перспективу будівництва заводів по виробництву електричних автомобілів, які одночасно будуть споживачами готових батарей. Україна також хоче залучити інвесторів для будівництва заводу з виробництва електромобілів. Великі промислові інвестори зараз приходять лише у випадку дуже суттєвих пільг.

Виробник електромобілів Tesla, прихід якого є довгоочікуваною мрією для будь-якої країни, насправді вимагає податкових та інших пільг. І вона їх отримує. Компанія вже отримала кілька мільярдів доларів податкових пільг на будівництво своїх потужностей у США. В рамках ЕВА Tesla отримає 1 млрд євро субсидій від Німеччини на будівництво заводу з виробництва акумуляторів під Берліном. Індія також пропонує компанії великі стимули для створення заводу з виробництва електромобілів. Згідно з дослідженням організації *Securing America's Future Energy (SAFE)* [71], протягом наступних 5-10 років світові автовиробники інвестують 300 мільярдів доларів у розробку та виробництво електромобілів. Половина цих витрат припадає на Китай.

Україна вже робить реальні кроки для створення стимулів для розвитку виробництва електротранспорту в країні. Йдеться про звільнення від ПДВ та ввізного мита з 2021 по 2028 рік обладнання та комплектуючих для виробництва електромобілів (легкових автомобілів, електробусів, електричних вантажівок та спецтехніки). Також пропонується до кінця 2033 року звільнити від податку на прибуток підприємства електротехнічної промисловості, які продають електродвигуни для транспорту (крім тролейбусів), літій-іонні акумулятори, зарядні пристрої, а також підприємства автопрому, які продають електромобілі власного виробництва.

2.2. Тенденції утилізації та переробки використаних акумуляторів

Ринок акумуляторів можна розглядати в широкому сенсі як сукупність ринків у ланцюжку виробництва і життєвого циклу акумуляторів. На рисунку 2.3 зображені основні етапи виробництва.

Видобуток корисних копалин	• Видобуток сировинних руд/матеріалів, необхідних для виробництва акумуляторних батарей
Переробка сировини	• Переробка та рафінування сировини на прекурсори для акумуляторних матеріалів
Виготовлення акумуляторних елементів	• Виробництво спеціалізованих компонентів для акумуляторів: катодних і анодних матеріалів, електролітів, сепараторів і корпусів
Виробництво акумуляторних елементів/пакетів	• Виготовлення елементів, інтеграція в акумуляторну батарею, включаючи електроніку, датчики та систему управління батареєю
Виробництво електромобілів	• Виробництво транспортного засобу та інтеграція акумуляторної батареї та апаратного забезпечення
Переробка/повторне використання	• Відновлення важливих матеріалів, катодів, анодів та/або повторне використання відпрацьованих акумуляторів в акумуляторах

Рисунок 2.3 – Ланцюжок виробництва і життєвого циклу акумуляторів
Джерело: побудовано автором на основі [43].

Ланцюжок виробництва складається з видобутку сировинних руд та матеріалів, переробка та рафінування сировини на прекурсори для акумуляторних матеріалів, виробництво спеціалізованих компонентів для акумуляторів: катодні та анодні матеріали, електроліти, сепаратори та корпуси, виготовлення акумуляторних елементів, а потім інтеграція в акумуляторну батарею, включаючи електроніку, датчики та систему управління батареєю. Нарешті готові батареї використовуються в кінцевих пристроях та підлягають переробці, через відновлення критичних матеріалів, катодів, анодів та/або повторне використання використаних батарей в інших системах.

В даній роботі ми розглядаємо ринок готових акумуляторних батарей, які в подальшому можуть використовуватися в окремих пристроях і підлягають переробці.

Кінцевим етапом життєвого циклу батарей є переробка. У 2017 році в Україні прийняли Національну стратегію управління відходами до 2030 року в рамках Угоди про Асоціацію з ЄС. Стратегію запланували реалізувати в три етапи: перший – у 2017–2018 роках, другий – у 2019–2023 роках, третій – у 2024–2030 роках. Цілі Стратегії відповідають вимогам низки Директив ЄС. Вони включають певні вимоги до стандартів виробництва продукції, переробки відходів, дизайну упаковки тощо. Так, наприклад, до 2030 року в Україні мають переробляти 70% всіх упаковок, що виходять на ринок, 55% пластику, 85% паперу та картону [6].

Відтак, в Україні має з'явитися відповідальність виробника за збір та переробку упаковки, батарей, акумуляторів, електричного та електронного обладнання тощо. Стратегія запроваджує принцип «забруднювач платить», який полягає в тому, що витрати на управління відходами будуть покривати власники відходів. Працювати це має так: власник або користувач земельної ділянки, на якій виявили відходи, має поінформувати про це місцеві органи влади. Далі органи місцевої влади встановлюють утворювача або власника відходів на основі

інформації, яку надають власник земельної ділянки, громадяни, підприємства, організації, ЗМІ тощо.

Якщо власника відходів встановили, він має відшкодувати всі витрати та компенсувати збитки за шкоду навколишньому середовищу. Якщо ж власника не встановили, усунення негативних наслідків для екології відбувається за рахунок державного чи місцевого бюджетів. Таким чином створюються всі передумови для формування і розвитку ринку переробки вживаних акумуляторних батарей.

Світовий попит на акумуляторні батареї стрімко зростає і до 2030 року збільшиться у 7 разів. Це здебільшого зумовлено електрифікацією транспорту. Таке експоненціальне зростання попиту на батарейки призведе до еквівалентного збільшення попиту на сировину, а отже, до необхідності мінімізації економічного, соціального та екологічного впливу акумуляторних батарей. З цієї перспективи необхідно розглянути тенденції переробки батарей, що зробить їх більш стійкими, циркулярними і безпечними протягом усього їх життєвого циклу, а також розвине окремий сегмент ринку пов'язаний з переробкою.

Поточне і прогнозоване зростання ринку електричних автомобілів, породжує експоненціальне зростання попиту на акумуляторні батареї. Драйвером зростання ринку батарей є літій-іонні акумулятори, які широко використовуються в сучасних технологічних пристроях, електричних та гібридних транспортних засобах завдяки високій щільності енергії на одиницю ваги, зменшеному ефекту пам'яті та значній кількості підтримуваних циклів заряджання/розряджання.

Як наслідок, виробництво і використання літій-іонних акумуляторів буде постійно зростати в найближчому майбутньому, привертаючи увагу світової спільноти до управління їхнім кінцевим терміном служби.

На жаль, технології поводження з відпрацьованими літій-іонними батареями все ще перебувають на стадії розробки, далекі від оптимізації процесів і технологій переробки.

Більшість провідних країн світу розглядають питання життєвого циклу, та переробки батарей в парадигмі циркулярної економіки.

Циркулярна економіка, або економіка замкненого циклу – це модель виробництва та споживання, яка передбачає спільне використання, оренду, повторне використання, ремонт, відновлення та переробку наявних матеріалів і продуктів якомога довше [26]. Тим самим подовжується життєвий цикл продукції.

На практиці це означає зменшення відходів до мінімуму. Коли продукт досягає кінця терміну експлуатації, матеріали, з яких він виготовлений, залишаються в економіці, де це можливо, завдяки переробці. Їх можна продуктивно використовувати знову і знову, створюючи таким чином додаткову цінність.

Таким чином такий підхід є єдиною альтернативою для соціальної, економічної та екологічної стійкості ринку батарей, здатний мінімізувати токсичність відпрацьованих продуктів, створити грошову вигоду і призвести до мінімізації ресурсів або критичних матеріалів.

Життєвий цикл літій-іонних акумуляторів зображений на рисунку 2.4.

Циркулярний підхід починається вже з перших етапів життєвого циклу – з видобутку та рафінування. Наприклад літій з Австралії видобувають шляхом видобутку руди, тоді як у Чилі та Аргентині літій видобувають із соляних пустель, так званих саларів. Видобуток сировини із саларів відбувається таким чином: літєвмісна солоня вода з підземних озер виводиться на поверхню і випаровується у великих басейнах. Соляний розчин, що залишився, далі обробляється в кілька етапів, поки літій не стане придатним для використання в батареях.

Видобуток, та рафінування обираються з точки зору найменшого впливу на середовище, а доступність та екологічність цих процесів задають напрямок розвитку технологій розвитку батарей.

Так на етапі виробництва матеріалів та безпосередньо акумуляторів процес сушіння електродів акумулятора після нанесення покриття є найбільш

енергоємним етапом у виробництві літій-іонного акумулятора. Тому розглядаються різні матеріали та технології виробництва електродів. Один з напрямків це покриття сухих електродів, що усуне необхідність етапу сушіння, що призведе до значної економії енергії та витрат [25].

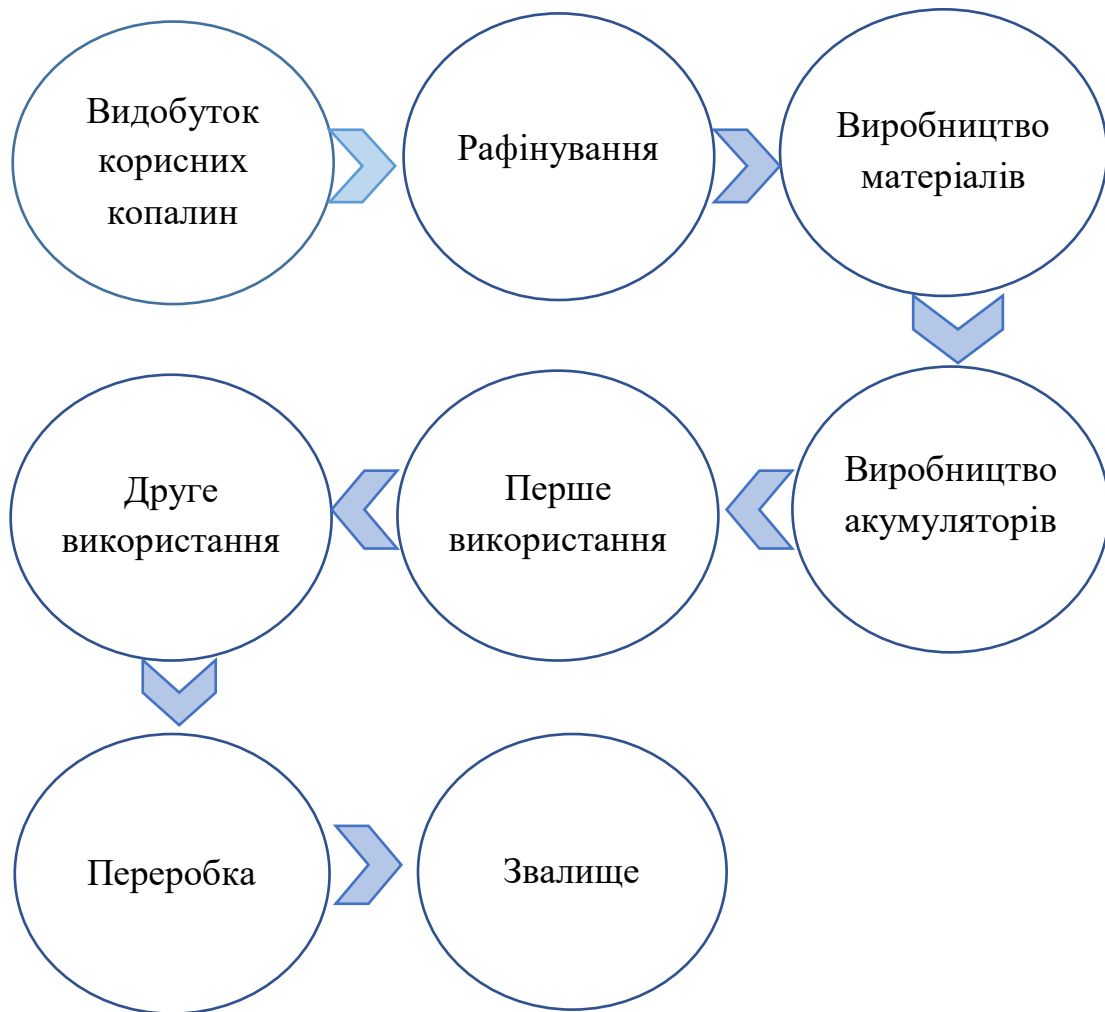


Рисунок 2.4 – Життєвий цикл літій-іонних акумуляторів

Джерело: побудовано автором на основі [43].

На етапі першого використання основні зусилля спрямовані на розробку стратегій і технологій на основі даних з метою максимізації життєвого циклу літій-іонних акумуляторів.

Метою також є розробка стандартизованої моделі даних, яка може забезпечити швидке, економічно обґрунтоване рішення про те, чи слід вилучати батарею після першого використання і переносити її на друге, або ж утилізувати одразу після першого застосування, і коли саме.

Друге використання батарей також може бути кроком до подовження життєвого циклу. Наприклад, застарілі літій-іонні акумулятори, які більше не придатні для використання в якості тягових батарей в електромобілях, часто все ще можуть бути використані як стаціонарні системи зберігання енергії для будівель.

Якщо повторне використання батарей неможливо, починається етап переробки батарей.

Переробка батарейок може бути організована в такі етапи: попередня обробка (включно з дезактивацією та розбиранням), та розділення/вилучення/очищення. Усі методи переробки батарейок проходять ці три етапи, але їхні кінцеві продукти відрізняються.

Пірометалургійні та гідрометалургійні методи з переробки використовують високу температуру та/або сильний розчин лугу/кислоти для деструктивної плавки батарейок або вилуговування батарейок, за якими слідує процеси очищення та осадження.

Кінцевий продукт складається з елементарних сполук, які можуть бути використані для синтезу нових матеріалів для акумуляторів або застосування в інших галузях промисловості [64].

Як правило гідрометалургійні методи дозволяють повернути матеріали на етап виробництва матеріалів, в той час як пірометалургійний метод, повертає матеріали на попередній етап – рафінування.

Пряма переробка, з іншого боку, зосереджена на неруйнівному розділенні, що дозволяє відновити певні компоненти батарей, такі як катод і анод, таким чином повертаючи їх повторно до етапу виробництва нових акумуляторів.

Значення виходу продукції від прямої переробки може бути на 30-40% більшим, ніж від гідрометалургійної та пірометалургійної переробки.

Тенденції утилізації та переробки використаних акумуляторів має глобальний вимір. Світовий тренд реалізується Організацією Об'єднаних Націй в порядку денному сталого розвитку, де однією з цілей є «Відповідальне споживання та виробництво» [75]. Ця ціль передбачає низку заходів, серед яких є покращення менеджменту відходів.

Менеджмент відходів у свою чергу є елементом циркулярної економіки (економіка замкненого циклу), тому тенденції утилізації слід розглядати також у контексті всього життєвого циклу акумуляторів.

Таким чином існує світовий тренд до подовження життєвого циклу, та глибини переробки акумуляторів, але швидкість змін відрізняється на національному рівні. Наприклад, в Китаї з 2017 впроваджується стратегія ERP (Chinese Extended Producer Responsibility) [37].

Натомість у США, незважаючи на відсутність національного законодавства, різні організації (наприклад, Call2Recycle, Battery Solutions та програма Big Green Box) працюють для належного збору та поводження з відпрацьованими літійовими батареями.

Також стратегію циркулярної економіки впроваджує агентство EPA (U.S. Environmental Protection Agency), але вона носить рекомендаційний характер.

Найбільш цілісний підхід має Європейський Союз, який впроваджує регуляцію на рівні Європарламенту та Ради Європи, як що до циркулярної економіки так і до прямої регуляції виробництва батарей, яка передбачає підвищення поточного рівня переробки батарей з 45% до 65% у 2025 році та 70% у 2030 році [44].

2.3. Індикатори інвестиційної привабливості світового ринку літієвих акумуляторів

Посилене глобальною пандемією та зростанням вартості викопного палива, темпи, з якими світовий автомобільний ринок приймає електромобілі (EV), стрімко прискорюються. Це створило значні можливості для інвестицій у метали акумуляторів, такі як літій, кобальт, нікель, графіт, ванадій і марганець, а також технології акумуляторів, які використовують ці матеріали в хімії акумуляторів і для зберігання енергії.

Існує обмежена пропозиція для задоволення зростаючого попиту на літій-іонні батареї. Як наслідок, ціни на базові метали та компоненти батареї мають продовжувати зростати, що робить їх хорошою довгостроковою інвестицією.

Електромобілі є лише одним із факторів зростання попиту на метал для акумуляторів. Літій-іонні батареї також живлять багато споживчих пристроїв, таких як смартфони, планшети та інші мобільні пристрої. Але якщо поглянути на це в перспективі, батарея електромобіля еквівалентна приблизно 4500 смартфонам. І хоча ринок смартфонів починає наближатися до насичення, поточний ринок електричних і гібридних транспортних засобів (PV) знаходиться на початковому рівні, становлячи лише 9% світових продажів автомобілів у 2021 році [24].

Світові автовиробники планують інвестувати понад пів трильйона в електромобілі та ємність акумуляторів до 2030 року, із 515 мільярдами доларів протягом наступних п'яти-десяти років, щоб задовольнити зростаючий попит. Крім того, у всьому світі зростає попит на накопичувачі енергії в мережах, який, як очікується, коливатиметься від 1 до 30 гігават до 2030 року завдяки величезному зростанню попиту в автомобільному секторі [45].

Простіше кажучи, не вистачає пропозиції, щоб задовольнити зростаючий попит, викликаний глобальними макроструктурними змінами в мобільності та накопиченні енергії. Цей дисбаланс попиту та пропозиції створює значні інвестиційні можливості для акумуляторних металів і акумуляторних технологій.

За даними MarketsAndMarkets, очікується, що глобальний ринок літій-іонних акумуляторів, який у 2021 році становив 41,1 мільярда доларів США, до 2030 року досягне 116,6 мільярда доларів США, зростаючи з вражаючими середньорічними темпами зростання у 12,3% [55]. Майбутня хімія акумуляторів електромобілів повинна збалансувати вартість і енергоефективність. З одного боку, їм потрібно досягти цінового паритету з автомобілями з двигуном внутрішнього згоряння (ДВС), але без шкоди для потужності та запасу ходу. Очікується, що наступне покоління електромобілів проїжджатимуть до 500 миль, а можливо, навіть до 1 мільйона миль між зарядками, що дасть початок наступному етапу глобальної революції електромобілів.

Зростаючий глобальний попит на електромобілі створив інвестиційні можливості на всіх рівнях ланцюжка створення вартості електромобілів: від виробників металів і матеріалів для акумуляторів, розробки технологій акумуляторів і рішень для зберігання даних, а також інновацій у сфері електромобілів. Ринок літій-іонних акумуляторів надає інвесторам зростаючі глобальні можливості з кількома факторами попиту та умовами обмеженої пропозиції. Якщо інвестиційна привабливість підприємства – це інтегрована оцінка підприємства як об'єкта інвестування, що характеризує виробничий потенціал, фінансовий стан, менеджмент, галузеву приналежність, інтереси суб'єктів інвестиційного процесу, реальні та потенційні перспективи розвитку, то інвестиційною привабливістю ринку можна назвати інтегрований показник привабливості відповідних підприємств ринку [3].

Серед існуючих підходів до оцінювання інвестиційної привабливості, можна виділити: підхід, що ґрунтується на аналізі фінансових показників діяльності, вартісний підхід де критерій – зростання вартості, ринковий підхід – базується на аналізі показників фондового ринку, також застосовуються інші комплексні підходи які поєднують вищезгадане та додають інші різнопланові аспекти. Найпростішими та найзручнішими в застосуванні є методики, що базуються на аналізі показників фондового ринку. Поширеність цього підходу пояснюється легкістю застосування даного аналітичного інструментарію,

можливістю комплексно оцінити ринкову ситуацію. Цей підхід не потребує збору додаткової інформації, яка не у публічному доступі. Однак така оцінка ринку не є достатньою, оскільки як зростаючий чи спадаючий тренд не відображає перспектив розвитку та резервів розвитку галузі.

Фондовий ринок має безліч показників на які можна спиратися для аналізу ринкової ситуації. Але для аналізу інвестиційної привабливості має сенс зосередитися на паперах біржових інвестиційних фондів (ETF – Exchange-Traded Fund) – індексних фондів, паї (акції) якого торгуються на біржі. Структура ETF повторює структуру обраного базового індексу [8]. Таким чином, обравши індекс найбільш відповідальний за світовий ринок акумуляторів, можна зробити аналіз і висновки що до його інвестиційної привабливості.

Одним з провідних розробників індексів є компанія EQM Indexes. Компанія співпрацює з емітентами та працює спільно з іншими індексними компаніями, щоб надавати бенчмарки для біржових продуктів (ETP), таких як біржові фонди (ETF), біржові облігації (ETN), рахунки з окремим управлінням (SMA) та інші подібні продукти. EQM Indexes LLC також допомагає фірмам на платній основі розробляти та впроваджувати їхні ідеї щодо індексів [16].

Основним індикатором інвестиційної привабливості світового ринку літєвих батарей є Індекс літєвих і батарейних технологій, що розроблений EQM (EQM Lithium & Battery Technology Index – BATTIDX) [54]. Індекс EQM Lithium & Battery Technology Index (BATTIDX) відстежує глобальні компанії, пов'язані з розробкою, виробництвом і використанням технологій літєвих батарей, включаючи: розробку та виробництво технологій літєвих батарей та/або рішень для зберігання акумуляторів; дослідження, виробництво, розробка, обробка та/або переробка матеріалів і металів, що використовуються в літій-іонних батареях, таких як літій, кобальт, нікель, марганець, ванадій та/або графіт; та/або розробка та виробництво електромобілів.

В таблиці 2.1 наведені найбільші компанії цінні папери котрих приймають участь в визначенні індексу.

Таблиця 2.1 – Найбільші компанії, цінні папери котрих визначають BATTIDX

Компанія	Вага, %
BHP GROUP LTD-SPON ADR	8,16
TESLA INC	8,14
CONTEMPORARY AMPEREX TECHN-A	7,20
BYD CO LTD-H	5,69
LG ENERGY SOLUTION	5,09
GLENCORE PLC	4,76
LI AUTO INC – ADR	2,40
PANASONIC HOLDINGS CORP	2,00
SAMSUNG SDI CO LTD	1,79
RIVIAN AUTOMOTIVE INC-A	1,58

Джерело: побудовано автором на основі [29].

Для того, щоб бути включеними до індексу, компанії повинні відповідати наступним умовам:

(а) Публічні компанії, які займаються розробкою та виробництвом технологій літєвих батарей та/або рішень для зберігання акумуляторів; розвідкою, виробництвом, розробкою, переробкою та/або утилізацією матеріалів і металів, що використовуються в хімії літєвих батарей, таких як літій, кобальт, нікель, марганець, ванадій та/або графіт; та/або розробкою та виробництвом електричних транспортних засобів.

(б) Індекс має на меті надати інформацію про світові компанії, пов'язані з розробкою, виробництвом та використанням технології літєвих батарей, включаючи:

1. Компанії, які отримують понад 50% своїх доходів від розробки та виробництва технологій літєвих батарей та/або рішень для зберігання енергії;

2. Компанії в ланцюжку постачання матеріалів для акумуляторів, які демонструють підтверджений бенефіціарний інтерес до технології літєвих батарей, що підтверджується одним з наступних факторів:

2.1) 50% доходу або прибутку, отриманого від видобутку корисних копалин або переробки металів, операцій, контрактів та/або проектів, що використовуються в хімії літєвих батарей, та/або

2.2) частка на світових ринках становить від п'яти до щонайменше 10% частки світового ринку будь-якого металу для літєвих батарей, що використовується в хімії літєвих батарей, яка є основним джерелом доходу та/або чистого прибутку для компанії.

3. Компанії, які отримують понад 90% своїх доходів від розробки та виробництва електромобілів.

(в) Лістинг на регульованій фондовій біржі у формі акцій, що продаються іноземним інвесторам без обмежень.

(г) Ринкова капіталізація не менше 250 мільйонів доларів США на момент придбання та більше 200 мільйонів доларів США на момент реорганізації.

(д) Середньоденна вартість торгів не менше 1 000 000 доларів США за останні шість місяців на момент придбання, або адекватна складова ліквідності та доступності для біржового продукту, як визначено Постачальником індексу.

(е) Неамериканські компанії можуть бути американськими біржовими версіями ADR, якщо вони доступні, за умови, що їхня ліквідність є порівнянною з акціями, що торгуються на місцевому ринку.

(є) Єдиною дозволеною галузевою концентрацією буде концентрація в акумуляторній та гірничодобувній промисловості, що класифікується за підгалуззю «Диверсифікована металургія та гірничодобувна промисловість» GICS та/або за галузевою групою «Матеріальна промисловість» GICS.

Включені компанії покривають ланцюжок виробництва у співвідношенні показаному на рисунку 2.5.

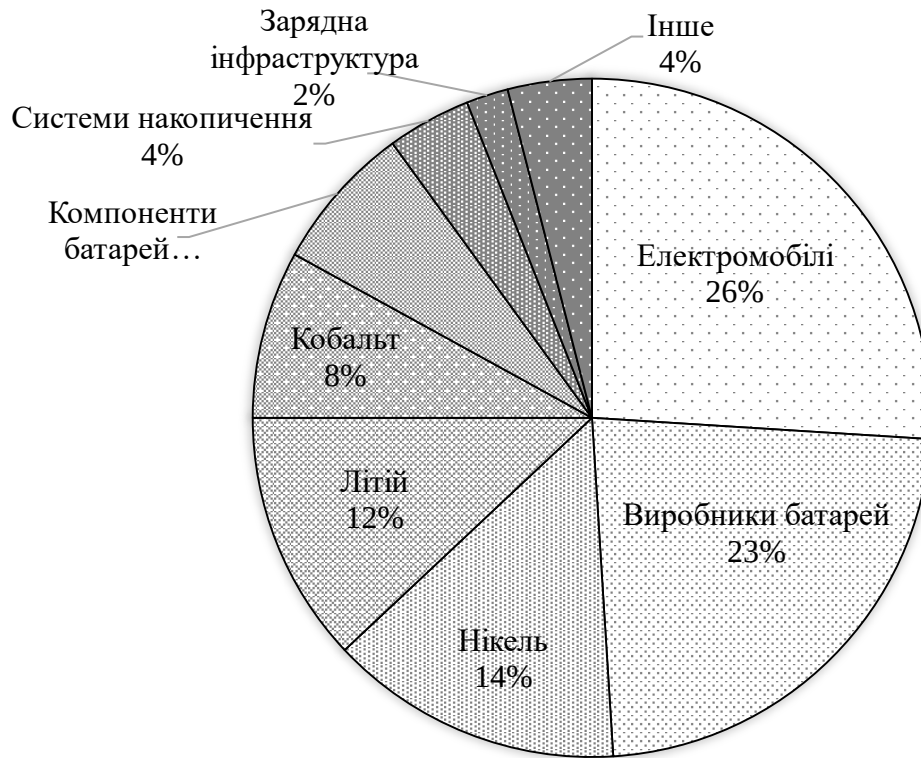


Рисунок 2.5 – Розподіл цінних паперів індексу BATINDEX за сегментами ринку

Джерело: побудовано автором на основі [29].

Розрахунок індексу BATINDEX відбувається наступним чином: Індекс – це індекс валового прибутку. Індекс публікується в доларах США. Індекс BATINDEX, опублікований в Bloomberg під кодом BATINDEX і в Reuters під кодом .BATINDEX. В якості компонентів індексу обираються компанії які відповідають умовам описаним вище.

Рівень Індексу розраховується кожного робочого дня на основі цін на відповідних біржах, на яких котируються компоненти Індексу. Для кожного оновлення використовуються останні ціни на всі компоненти індексу.

Індекс дотримується глобального календаря, дотримуючись лише глобальних ринкових свят. У вихідні дні ціни не розраховуються. Індокси розраховуються кожні 15 секунд з 9:00 до 22:30 за центральноєвропейським часом. Індокси закриваються незабаром після закриття ринків США.

Кожного дня коригування кожен компонент індексу EQM Lithium & Battery Technology Index (BATTIDX) зважується відповідно до їх ринкової капіталізації в доларах США, до максимальної початкової ваги 7 відсотків на момент коригування. Якщо будь-яке ім'я перевищує максимальну початкову вагу в 7 відсотків, вагу, що залишилася, буде перерозподілено порівну між іншими компонентами індексу. Мінімальний розмір позиції 0,20% необхідний під час коригування із залишковою вагою, рівномірно перерозподіленою між іншими компонентами індексу.

Для автомобільної промисловості та промисловості комплектуючих на момент повторного балансу існує максимальна вага 20%, яка буде застосована після застосування максимальних початкових ваг. Надлишкова вага галузі скорочується на основі зваженої ринкової капіталізації, причому надлишкова вага рівномірно застосовується до решти неавтомобільних компонентів і компонентів.

Початковий склад Індексу, а також будь-які поточні коригування базуються на таких правилах. У дні відбору EQM Indexes надає пул відбору. Індекс вибирає міжнародні компанії, що займаються розробкою та виробництвом літєвих акумуляторів і рішень для зберігання даних. виробництво, видобуток та/або інтеграція чи переробка металів, що використовуються в батареях; а також розробка та виробництво електромобілів, які відповідають кількісним вимогам. Значення індексу в робочий день у відповідний час розраховується відповідно до наступної формули:

$$Index_t = \sum_{i=1}^n x_{i,t} * P_{i,t} \quad (2.1)$$

де,

$x_{i,t}$ – кількість акцій компонента індексу i у торговий день t ;

$P_{i,t}$ – ціна компонента індексу i у торговий день t у валюті індексу.

Виплати дивідендів та інші розподіли включені до Індексу. Вони призводять до коригування кількості акцій. Нова кількість акцій розраховується таким чином:

$$x_{i,t} = x_{i,t-1} * \frac{P_{i,t-1}}{P_{i,t-1} - D_{i,t}} \quad (2.2)$$

де,

$x_{i,t}$ – кількість акцій Компонента індексу і в торговий день;

$D_{i,t}$ – платіж у торговий день t, помножений на коригувальний коефіцієнт дивідендів відповідної країни.

На рисунку 2.6 відображена динаміка та поточні значення індексу BATTIDX.

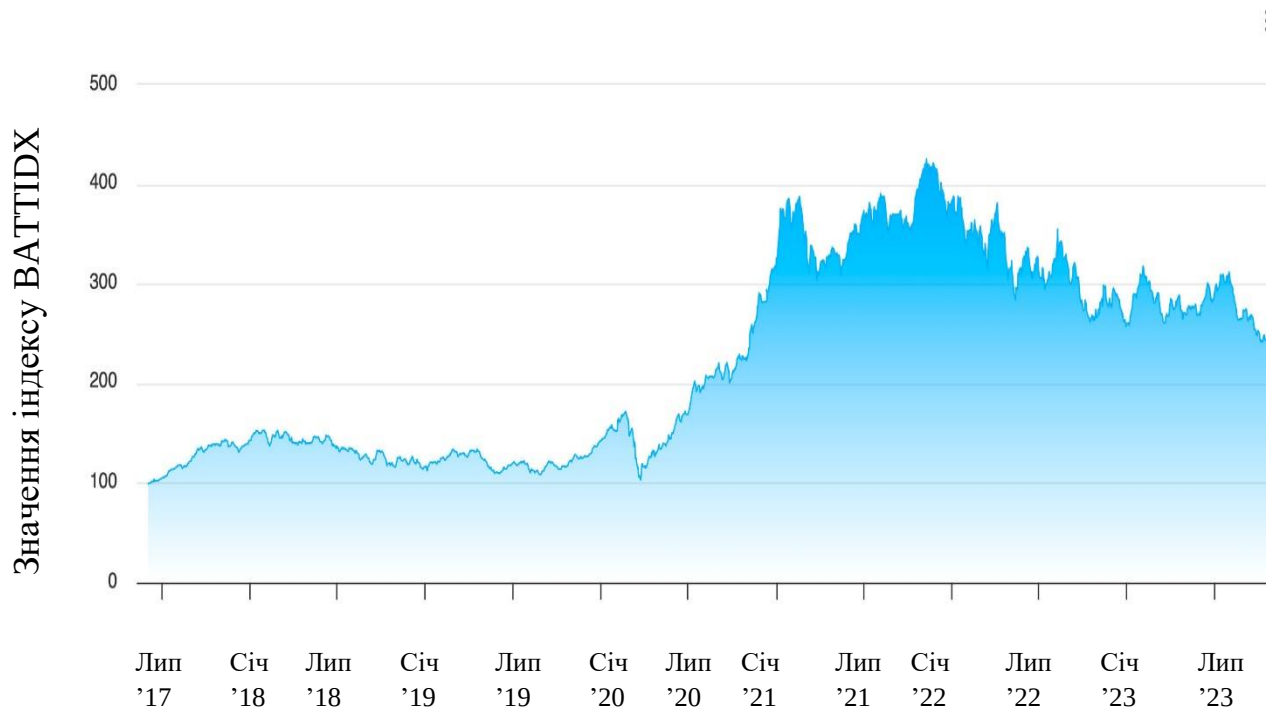


Рисунок 2.5 – Динаміка індексу BATTIDX за 2017–2023 роки

Джерело: побудовано автором на основі [54].

Динаміку індексу можна розглядати на двох часових відтинках: 2017-2020, та 2020-2023. Кожен з відтінків демонструє зростання, пікове значення, та тренд

на спад. В першому періоді пікове значення індексу відповідає 150 одиницям, друге – 425, що майже в три рази вище за попередній період та демонструє стрімкий розвиток ринку. Поточний тренд на спад демонструє песимістичні очікування інвесторів.

Індекс BATTIDX є важливим індикатором ринкової ситуації, але він не містить інформацію про концентрацію ринку, яка є важливим чинником при подальших прогнозах. Ринкова концентрація – відображає зосередження виробництва в одному місці і є показником ринкової влади у певного числа діючих на ринку суб'єктів господарювання, в нашому випадку - країн. Чим вище рівень концентрації, тим менш конкурентним є ринок.

Розрахунки ринкової концентрації надано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. – Показники ринкової концентрації країн експортерів літій-іонних батарей в світі у 2022 році

Показник	Значення
Кількість країн експортерів	117
Найбільша доля експорту – Китай, %	51,02
Ринкова доля експорту CR3, %	66,99
HHI індекс	0,29

Джерело: побудовано автором на основі [77].

Трьохдольний стандартний показник ринкової концентрації (CR3) визначається як сума ринкових часток найбільших експортерів, та має значення 66,99%, що є межею між монополістичною конкуренцією і олігополією. Індекс Херфіндаа-Хіршмана (HHI) індикатор, що визначає концентрацію бізнесу на певному ринку, розраховується по формулі 2.1

$$HHI = \sum_i^n d_i^2 \quad (2.3)$$

де,

d – частка виробництва (експорту) i -го частка оператора в загальному обсязі випуску (збуту) на ринку, %;

n – кількість всіх операторів на ринку

Відповідно до індексу Херфіндаа-Хіршмана (ННІ) – індикатора, що визначає концентрацію бізнесу на певному ринку, маємо показник вище 0,18, що свідчить про високу концентрацію ринку з домінуванням Китаю з 51% ринку світового експорту (рис. 2.6).

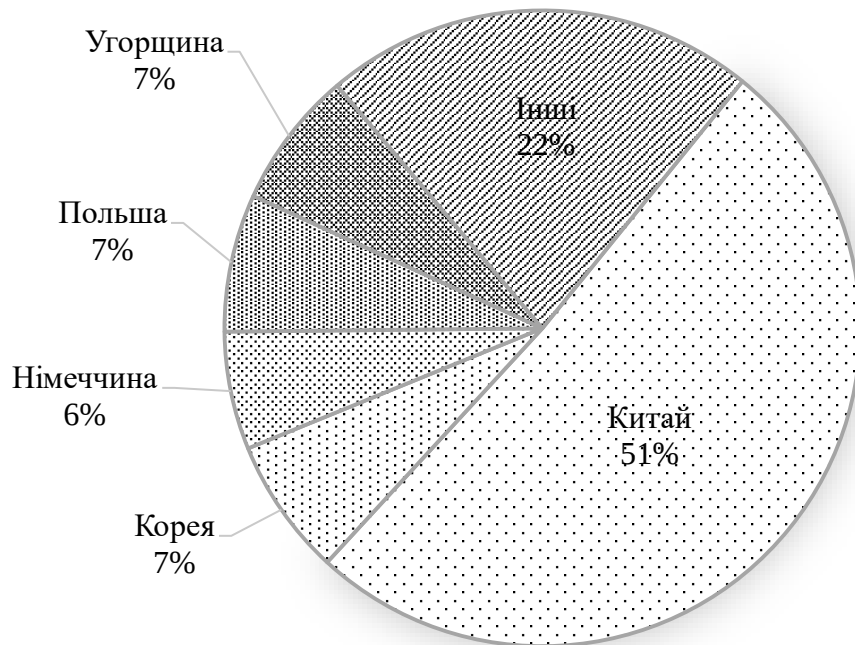


Рисунок 2.6 – Найбільші світові експортери літій-іонних батарей на 2022 рік

Джерело: побудовано автором на основі [54].

До п'ятірки найбільших виробників також входять Корея з 7%, Німеччина – 6%, та Польща і Угорщина по 7%. В цілому такий розподіл може означати майже монопольне становище Китаю на ринку літій-іонних батарей.

Висновки до розділу 2

Другий розділ даного дослідження присвячено аналізу тенденцій розвитку ринку акумуляторів. Визначено, що в ринок акумуляторів слід розглядати в контексті ланцюжка виробництва і життєвого циклу акумуляторів. Ланцюжок виробництва складається з видобутку сировинних руд та матеріалів, переробка та рафінування сировини, виробництво спеціалізованих компонентів, виготовлення акумуляторних елементів, а потім інтеграція в акумуляторну батарею. З цього моменту можна розглядати життєвий цикл акумулятора, який починається з первинного використання в кінцевих пристроях, повторного використання використаних батарей в інших системах та переробці.

Визначено, що світовий ринок акумуляторів демонструє зростання і вже перевищує ринок первинних батарей, якій тривалий час домінував. Чинниками росту є зростаючий попит на промислові системи збереження енергії, розвиток технології AGM та морських батарей, а також збільшення попиту на електромобілі. Свинцеві та літєві батареї залишатимуться основними технологіями на ринку, але до 90% ринку буде володіти технологія літій-іонних акумуляторів які в основному обслуговуватимуть сегмент електромобілів. Таким чином розвиток електромобілів є основним фактором розвитку світового ринку акумуляторів, а основний попит буде спрямований на батареї побудовані на основі літєвих технологій.

З'ясовано що загалом ринок літій-іонних батарей є висококонцентрованим, серед світових експортерів домінує Китай з часткою в 51%.

Розглянуто національний ринок акумуляторів, які з одного боку має суто споживчий характер, з іншого боку має значні перспективи що до інтеграції в ланцюжок виробництва. З точки зору сировинних матеріалів, Україна має великі запаси оксиду літію, джерела літію, який є критично важливим для виробництва акумуляторів. Якщо ці запаси будуть розроблені, Україна увійде до клубу

найбільших постачальників сировини у світі. В країні також є запаси нікелю, кобальту та марганцю, які використовуються у виробництві акумуляторів. За запасами графіту Україна входить до п'ятірки лідерів у світі, що разом з іншими запасами дає змогу не тільки приймати участь в видобутку і переробці сировини, але й в виробництві компонентів акумуляторів де графіт є основним матеріалом. Нарешті при відповідному розвитку і підтримці, Україна має всі шанси відкрити і кінцеве виробництво зі збутом у країни Євросоюзу, який прагне позбутися залежності від поставок з Китаю.

Зростання ринку акумуляторів змушує більшість провідних країн світу розглядають питання життєвого циклу, та переробки батарей в парадигмі циркулярної економіки. Вже зараз існують вимоги ЄС по 45% переробці використаних батарей з доведенням до 75% у найближчому майбутньому. Таким чином окрім вирішення екологічних питань, це також формує окремий ринок переробки акумуляторів, якій також можна розглядати як частину загального ринку і чинником зростання.

Подальше дослідження фокусується на ринку літій-іонних акумуляторів як головної складової розвитку ринку акумуляторів і систем зберігання енергії. Проведене оцінка розвитку ринку за допомогою індексу BATTIDX, що є одним із індикаторів інвестиційної привабливості світового ринку літєвих акумуляторів. Індекс використовує ринковий підхід оцінки і базується на аналізі показників фондового ринку. BATTIDX відстежує глобальні компанії, пов'язані з розробкою, виробництвом і використанням технологій літєвих батарей, таким чином максимально охоплює ланцюжок виробництва і використання. Індекс демонструє значне зростання з піковим значенням на початку 2022 року, після чого спостерігається спадаючий тренд. Причиною цього може бути війна що з Росією що призвела до економічних санкцій, різкого зростання цін на товари, збоїв у ланцюжках поставок, що зменшила оптимізм інвесторів і зробила їх поведінку на ринку більш обережною.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ РИНКУ

ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ

3.1 Моделювання тенденцій міжнародної торгівлі літій-іонними акумуляторами

Дослідження світового ринку літій-іонних акумуляторів базується на даних світового експорту країнами даних отриманих з бази даних United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN Comtrade). Comtrade – база даних статистики торгівлі товарами Організації Об'єднаних Націй, підтримується Статистичним відділом ООН, та містить детальну статистику імпорту та експорту, надану статистичними органами майже 200 країн та регіонів [77]. Вона містить щорічні дані про торгівлю з 1962 року і до поточного моменту. UN Comtrade вважається найбільш повною базою даних про торгівлю, яка містить понад 1 мільярд записів. База даних постійно оновлюється. Кожного разу, коли дані про торгівлю надходять від національних органів влади, вони стандартизуються Статистичним відділом ООН, а потім додаються до UN Comtrade. Існують певні обмеження що стосуються даних наданих через Comtrade, такі як [68]:

1. Значення наданих детальних даних про товари не обов'язково дорівнюють загальному обсягу торгівлі для даного набору даних по країні. З міркувань конфіденційності країни можуть не надавати детальну інформацію про свою торгівлю. Однак ця торгівля буде включена на більш високому товарному рівні та в загальний обсяг торгівлі.

2. Країни (або регіони) не обов'язково подають свою торговельну статистику за кожен рік. Це означає, що агрегування даних за групами країн

може включати країни, які не надали даних за певний рік. UN Comtrade не містить оцінок для відсутніх даних. Тому торгівля групи країн може бути недооцінена через відсутність даних по деяких країнах.

3. Дані доступні за кількома товарними класифікаціями, але не всі країни обов'язково звітують за найновішою товарною класифікацією. UN Comtrade не містить оцінок для даних країн, які не звітують за найновішою класифікацією.

Існують і інші обмеження викладені в методологічних метаданих на сайті UN Comtrade [68]. Таким чином перед початком дослідження треба оцінити якість даних і зафіксувати умови по яким виконувалась вибірка даних. В таблиці 3.1 представлені умови вибірки даних.

Таблиця 3.1 – Вибір параметрів пошуку даних у UN Comtrade Database для статистичного аналізу світового ринку літій-іонних акумуляторів

Опис	Значення
Дата отримання даних	01.06.2023
Період	2012-2022
Напрямок переміщення товарів	Export
HS Code	850760. Літій-іонні батареї
Країна яка звітує	Всі
Групування даних	По місяцях для України По роках для світу
Використані поля даних	period – Місяць рік звіту wgt – Вага, кг (netto) qty – Кількість, штук value – Вартість, USD

Джерело: побудовано автором.

В якості інструментарію дослідження було використано мову програмування «R» та комп'ютерну програму «R Studio». «R» – це мова програмування та вільне програмне середовище, призначене для статистичних обчислень і графіки. Вона надає широкий спектр статистичних та графічних

методів, а також доповнюється великою кількістю пакетів розширення, що містять код і документацію для багаторазового використання. R є однією з найпоширеніших мов програмування в аналізі даних, та широко використовується статистиками, науковцями з даних, дослідниками та аналітиками для статистичного аналізу, візуалізації даних, машинного навчання тощо [67].

«R Studio» – це інтегроване середовище розробки для мови R. Вона надає дружній інтерфейс та інструменти, які покращують досвід програмування на R. «R Studio» включає консоль, редактор сценаріїв, робочу область для керування об'єктами та інструменти для побудови графіків, налагодження та керування проектами. Деякі функції «R Studio» включають підсвічування коду, інтегровану довідку, дослідник змінних та можливість легко керувати та візуалізувати графіки. Це особливо корисно для організації та виконання проектів з аналізу даних, спільної роботи над кодом і створення відтворюваних досліджень [59].

Дослідження проводилось з використанням даних з UN Comtrade і програмного коду на мові програмування R. Програмний код складається з двох частин:

1. Отримання даних з бази даних UN Comtrade за допомогою API, та попередня обробка (Додаток Б).
2. Аналіз за методами Фрідмана та декомпозиції мультисезонного тренду (Multiple Seasonal Trend decomposition – MSTL), а також прогноз та моделювання з використанням лінійної і поліноміальної регресії (Додаток В).

Application Programming Interface (API) UN Comtrade – це інтерфейс прикладного програмування або сервіс, який дозволяє користувачам за допомогою програмного коду отримувати доступ і завантажувати торговельні дані з бази даних.

API UN Comtrade надає різні варіанти та формати для запиту та отримання даних, такі як JSON, CSV, XML та SDMX. API UN Comtrade також пропонує різні типи даних, такі як річні, місячні дані, дані про послуги та тарифні лінії. API UN Comtrade корисний для користувачів, які хочуть інтегрувати дані про

торгівлю у свої власні програми, робочі процеси або аналітичні дослідження, а також для тих, хто хоче налаштувати свої запити на дані та результати. API UN Comtrade також містить документацію, приклади та інструменти, які допоможуть користувачам ефективно та результативно використовувати дані. Щоб користуватися API UN Comtrade, користувачі повинні зареєструватися та отримати ключ підписки, який можна безкоштовно отримати на веб-сайті UN Comtrade. Користувачі також можуть отримати доступ до порталу для розробників, який надає інформацію та інструкції щодо використання API, наприклад, параметри, синтаксис, формат відповіді та коди помилок [78].

Використання API дозволило отримати дані, міняючи існуючі обмеження Web сторінки Comtrade, пов'язану як з помилками сторінки так і обмеженнями на кількість запитів і масове отримання даних. Після отримання даних, була проведена їх попередня обробка, така як перейменування та вилучення зайвих полів та збереження у форматі Excel.

Після завантаження даних і попередньої обробки було проведено порівняння імпорту в країну та власного експорту. Воно демонструє, що Україна залишається споживачем готової продукції маючи менш 1% експорту літій-іонних батарей в інші країни (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Міжнародна торгівля України літій-іонними батареями у 2021–2022 рр.

Показник	Рік	Вартість, USD	Вага, кг
Імпорт літій-іонних батарей	2022	130 962 252,92	3 293 569,57
	2021	30 768 817,46	864 009,44
Експорт літій-іонних батарей	2022	197 295,55	14 176,45
	2021	295 064,05	18 179,62

Джерело: побудовано автором на основі [77].

Звертає увагу зростання імпорту майже у чотири рази в 2022 році, й падінням на третину експорту, що співпадає з початком повномасштабної агресії з боку Росії. Так само через агресію змінилася структура імпорту за найбільшими країнами постачальниками, де в 2021 році домінував Китай (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Найбільші 3 країни постачальники літій-іонних батарей в Україну в 2021–2022 рр.

2021 рік		2022 рік	
Країна	Частка у загальній вартості імпорту літій-іонних батарей, %	Країна	Частка у загальній вартості імпорту літій-іонних батарей, %
Китай	67,37	Польща	26,58
Польща	6,24	Чехія	21,75
Німеччина	6,14	Китай	20,74

Джерело: побудовано автором на основі [77].

Аномальність даних, тобто наявність викидів у 2022 році, наглядно видно на рисунку 3.1, де зображений часовий ряд імпорту літій-іонних батарей в Україну за місяцями 2012–2022 років.

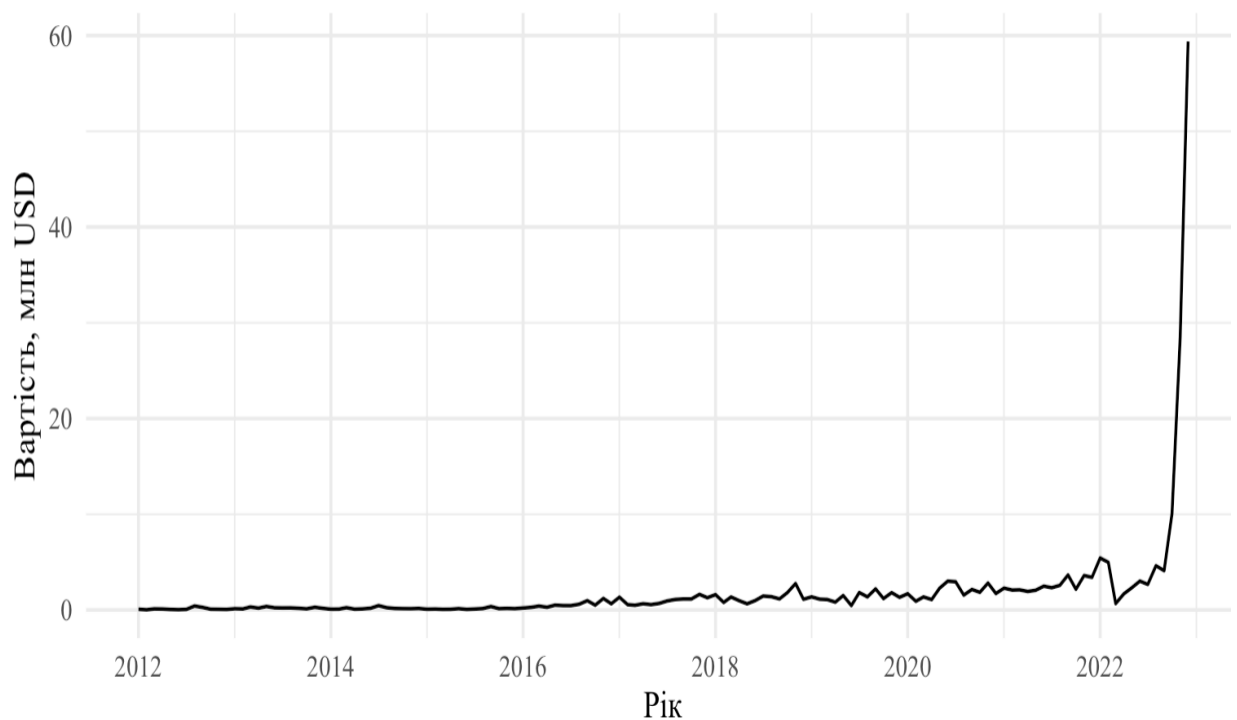


Рисунок 3.1 – Помісячний імпорт в Україну літій-іонних батарей за 2012–2022 роки

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77].

Аналізуючи помісячні дані імпорту в Україну за 2022 рік, бачимо що на початку війни імпорт на порядок скорочується, далі демонструє відновлення, після чого під час осінньо-зимових атак на енергетичну інфраструктуру експоненціально зростає (рисунок 3.2). З іншого боку агресія Росії проти України в 2022 році на світовому рівні не мала впливу на ринкову ситуацію – ціни продовжили падіння, експорт зріс як кількісно, так і в дол. США (Додаток Д).

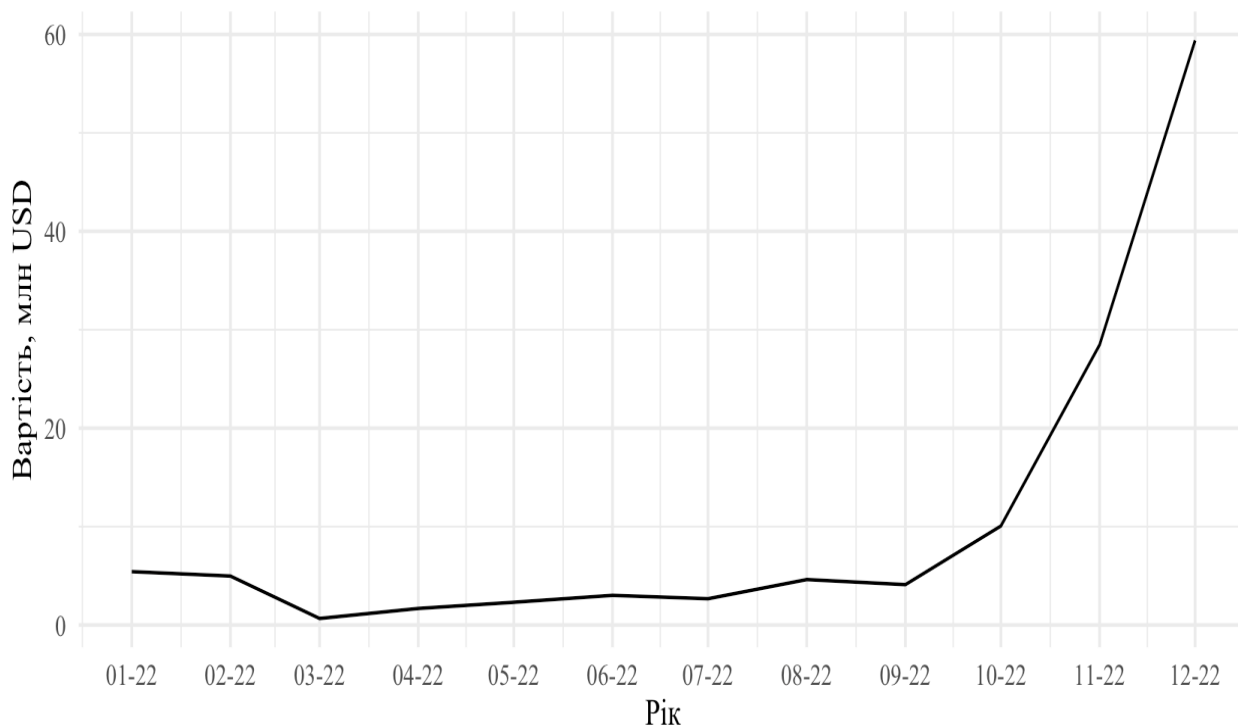


Рисунок 3.2 – Помісячні вартість імпорту літій-іонних батарей в Україну за 2022 рік

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77].

Друга частина програмного коду - програма аналізу даних, завантажує отримані дані з файлів Excel, та першим кроком аналізує якість даних перевіряючи наявність даних у отриманих полях, відсутні дані доповнюються, будуються графіки обсягів по місяцях та роках.

Наступним кроком, проводяться числові розрахунки відповідних показників. Окремо проводиться аналіз сезонності за методом MSTL, та

трендової компоненти за методом Фрідмана. Останнім кроком відбувається прогнозування до 2030 року за допомогою регресійних методів. Результати досліджень надаються у розділі 3.2 цієї роботи.

Прогнозування відбувається за допомогою регресійного аналізу, застосовується лінійна та поліноміальна регресії, які вираховуються методом найменших квадратів. Лінійна регресія є базовим і широко використовуваним типом прогнозного аналізу.

Загальна ідея регресії полягає в тому, щоб дослідити дві речі:

– чи набір змінних-предикторів добре прогнозує результуючу (залежну) змінну?

– які саме змінні є значущими предикторами результуючої змінної, і яким чином вони впливають на результуючу змінну (на що вказують величина і знак бета-оцінок)?

Ці регресійні оцінки використовуються для пояснення зв'язку між однією залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними. Найпростіша форма рівняння регресії з однією залежною і однією незалежною змінною визначається формулою:

$$y = c + b * x, \quad (3.1)$$

де, y – оцінка залежної змінної, c – константа, b – коефіцієнт регресії, а x – оцінка незалежної змінної [85].

Існують різні типи лінійної регресії: проста лінійна регресія, множинна лінійна регресія, логістична регресія, порядкова регресія, мультиноміальна регресія, дискримінантний аналіз.

В свою чергу поліноміальна регресія – це форма регресійного аналізу, в якій зв'язок між незалежною змінною x і залежною змінною y моделюється у вигляді полінома n -го ступеня від x [63].

В загальному випадку рівняння поліноміальної регресії визначається формулою:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \dots + \beta_n x^n + \varepsilon, \quad (3.2)$$

де, β – коефіцієнти регресії;

x – незалежної змінна.

Поліноміальна регресія вважається окремим випадком множинної лінійної регресії. Поліноміальні регресійні моделі зазвичай підбираються за допомогою методу найменших квадратів.

Метод найменших квадратів мінімізує дисперсію незміщених оцінок коефіцієнтів за умов теореми Гауса-Маркова.

Для розрахунків в роботі використовується функція `lm()` та `predict()` з бібліотеки R [65].

Порівняння моделей здійснюється за допомогою статистики залишків, зокрема порівнюються залишкові стандартні похибки (RSE – Residual Standard Error) моделей, яка вираховується по формулі:

$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (3.3)$$

де,

y_i – спостережуване значення залежної змінної для спостереження,

$\hat{y}_i$ – прогнозоване значення залежної змінної для спостереження

n – кількість спостережень, а

p – кількість предикторних змінних у моделі.

3.2. Прогнозування розвитку ринку літій-іонних акумуляторів в Україні та світі

Перед початком аналізу була проведена оцінка якості інформації, отриманої з бази даних UN Comtrade.

Перевірка повноти щомісячних даних часових рядів вартості експорту, ваги, та кількості літій-іонних акумуляторів в Україну за 2022 рік показала що в 26% записів відсутня інформація про кількість, через це кількість неможливо вважати надійним показником, крім того у 8% записів немає даних про вагу.

Оцінка даних щорічного світового експорту показує відповідно що у 16% відсутня інформація про кількість, та у 3% про вагу. Відсутня інформація щодо ваги товару була доповнена виходячи з середньої вартості одиниці ваги за обраний рік. Таким чином у дослідженні повними за обсягом вважаються дані щодо вартості експорту та імпорту літій-іонних акумуляторів (у доларах США), а також маючи показники ваги, було проведено розрахунок ціни за одиницю ваги.

Аналіз відповідності дзеркальних торгових потоків міжнародної торгівлі України літій-іонних батареями в 2022 році представлений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Міжнародна торгівля України літій-іонних батареями в 2022 р.

Показник	Вартість, млн USD	Вага, тис. т
Імпорт в Україну літій-іонних батарей за рік	150,611	4,216
Експорт літій-іонних батарей з країн світу в Україну за рік	130,962	3,293
Експорт в Україну літій-іонних батарей за рік як сумарний із місячних даних	127,398	3,124

Джерело: побудовано автором на основі [77].

Хоча, очікується що сумарні показники з різних джерел повинні співпадати, існує багато різних факторів через які дані відрізняються. Так дані по місяцях і за рік можуть не співпадати через те що місячні дані подаються впродовж року, а річні раз на рік коли вже були зроблені певні коректури по місяцях пов'язані або за помилками, або зі зміною методології обліку. Існує багато вагомих причин, чому дані про експорт однієї країни можуть не збігатися з даними про імпорт країни-партнера. Це особливо стосується детального аналізу на рівні окремих товарів.

Дані подаються незалежно один від одного адміністраціями двох різних країн. Причини виявлених розбіжностей пов'язані з самою природою торговельного процесу, наприклад [36]:

- імпорт здійснюється на умовах CIF, а експорт – на умовах FOB (згідно з термінологією Incoterms 2020) [49];
- часовий лаг між експортом та імпортом, тобто товари, що виїхали з країни А у 2022 році, можуть потрапити до країни Б лише у 2023 році;
- товари надходять на митний склад на кілька місяців;
- використання країни відправлення замість країни походження або кінцевого призначення;
- країни з різними торговельними системами (загальна чи спеціальна торговельна система);
- товари, що проходять через зони промислової переробки, можуть реєструватися або не реєструватися країною-експортером.

Оскільки надалі буде проводитися порівняння національного імпорту і світового експорту, для узгодженості в якості звітованих даних будуть братися дані експорту інших країн в Україну, тобто будемо вважати що імпорт в Україну дорівнює експорту в Україну, що звітовано іншими країнами.

Приймаючи до уваги аномальність показників 2022 року, для порівняння національних показників зі світовими, виключимо 2022 рік з аналізу, в такому випадку маємо графік обсягу імпорту в Україну, зображений на рисунку 3.3

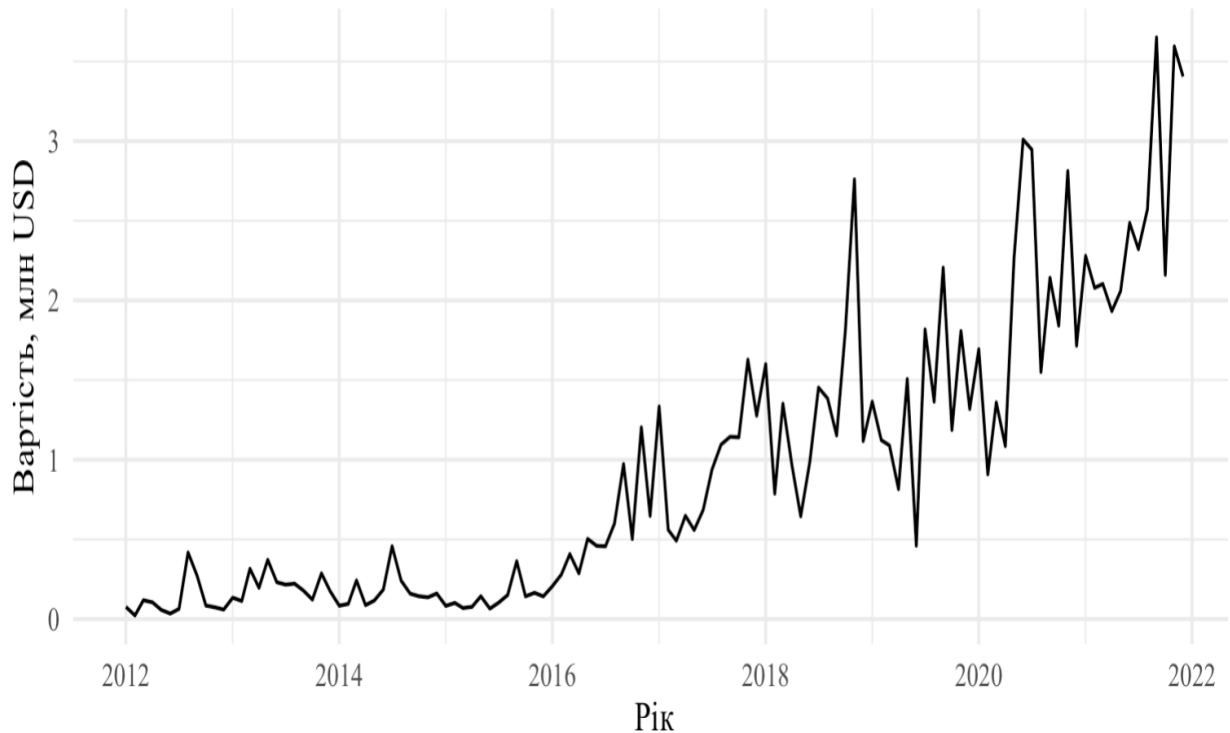


Рисунок 3.3 – Помісячна вартість імпорту літій-іонних батарей в Україну за 2012-2021 роки

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77].

Дані отримані з бази даних UN Comtrade є часовими рядами, тобто послідовністю, взятою на рівновіддалених точках в часі, які йдуть одна за одною. Відповідно до цих даних можна застосовувати методи аналізу часових рядів – сукупність математико-статистичних методів аналізу, призначених для виявлення структури часових рядів і для їх прогнозування.

Одним з таких методів є, Multiple Seasonal Trend decomposition (MSTL) – Декомпозиція мультисезонного тренду. MSTL пропонує процедуру декомпозиції часових рядів з декількома сезонними трендами, яка підходить для широкого спектру високочастотних даних.

Процедура розширює традиційну декомпозицію сезонного тренду з використанням алгоритму Лоесса (STL), дозволяючи розкладати часові ряди з множинними сезонними моделями.

Порівняно з іншими методами декомпозиції, MSTL демонструє конкурентні результати при менших обчислювальних витратах [58].

Подібно до алгоритму STL, MSTL дає адитивне розкладання часового ряду. Якщо X_t – це спостереження в момент часу t , то адитивне розкладання можна визначити наступним чином:

$$X_t = \hat{S}_t + \hat{T}_t + \hat{R}_t \quad (3.4)$$

де,

$\hat{S}_t$, – сезонна компонента спостереження;

$\hat{T}_t$ – трендова компонента спостереження;

$\hat{R}_t$ – залишкова компонента спостереження.

MSTL розширює рівняння, щоб включити декілька сезонних моделей у часовому ряді наступним чином:

$$X_t = \hat{S}_t^1 + \hat{S}_t^2 + \dots + \hat{S}_t^n + \hat{T}_t + \hat{R}_t \quad (3.5)$$

де,

n – кількість сезонних циклів, присутніх у X_t .

Повний алгоритм надано у відповідній праці [58], в роботі використовується імплементація методу бібліотекою R tsoutliers [32].

Часовий ряд помісячних показників імпорту в Україну, був розкладений на випадкові, залишкові, сезонні та трендові компоненти.

Аналіз сезонної компоненти, проведений методом MSTL [38], демонструє виражену річну сезонність як показано на рисунку 3.4.

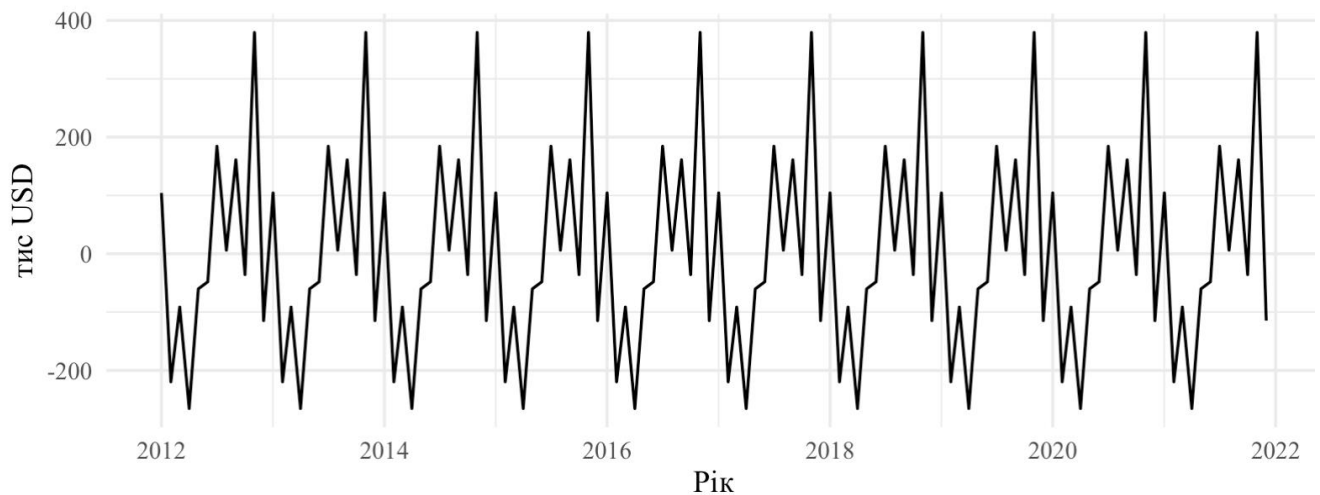


Рисунок 3.4 – Сезонна компонента в вартості імпорту літій-іонних батарей в Україну за 2012–2021 роки

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77] та [38].

Трендова компонента досліджена за допомогою методу згладжування Фрідмана (Friedman's Super Smoother). Метод Фрідмана – це непараметрична регресійна оцінка, що базується на локальній лінійній регресії з адаптивною смугою пропускання.

Основна ідея полягає в тому, щоб спочатку оцінити ряд згладжувань з фіксованою шириною смуги за допомогою локальної лінійної регресії. Потім залишки, що не пройшли перехресну перевірку, від кожної з цих початкових оцінок згладжуються з використанням постійної ширини смуги пропускання.

На основі згладжених залишків обираються найкращі смуги пропускання з початкових оцінок у кожній точці даних в межах діапазону варіації предиктора. Потім ці локальні смуги пропускання згладжуються за допомогою постійної смуги пропускання, вибираються дві оцінки з початкових оцінок з найближчими значеннями смуг пропускання до згладжених смуг пропускання, і згладжені результати лінійно інтерполюються. Потім інтерпольовані точки знову згладжуються з фіксованою шириною смуги пропускання, в результаті чого отримується остаточна оцінка [39].

Для того, щоб отримати оцінку з локально адаптивною смугою пропускання, Фрідман запропонував мінімізувати оцінку для

$$e^2(f, J) = E[Y - f(X | J(X))]^2 \quad (3.6)$$

де,

- f – довільна функція;
- E – умовне математичне сподівання;
- J – фіксованою шириною смуги пропускання;
- e^2 – очікувана квадратична похибка.

Фактичний алгоритм надано у відповідній праці [39], в роботі використовується імплементація методу бібліотекою R *tsoutliers* [31]. Трендова складова імпорту отримана за допомогою локальної лінійної регресії за методом Фрідмана [40], та демонструє тенденцію до зростання (рисунок 3.5).

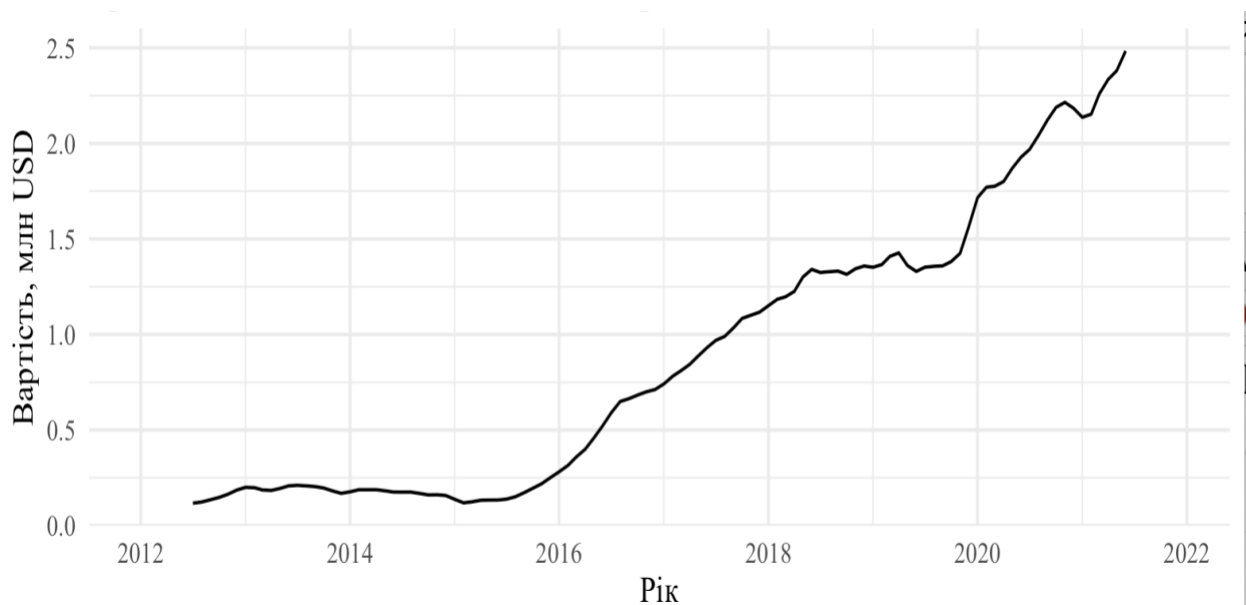


Рисунок 3.5 – Компонент тренду в вартості імпорту літій-іонних батарей в Україну за 2012-2021 роки (метод Фрідмана)

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77] та [38].

Аналізуючи динаміку імпорту літій-іонних батарей в Україну, можна зробити висновок, що національний імпорт зменшився після агресії Росії у 2014 році, починаючи з 2016 року імпорт демонструє відновлення, та до повномасштабної війни 2022 року, мав тренд на зростання.

UN Comtrade Database не надає надійних даних про ціну, тому для дослідження були отримані цінові дані розраховані на одиницю ваги (кг) використовуючи існуючі дані про експорт у дол. США, а також доповнені дані про вагу (див. рис. 3.6).

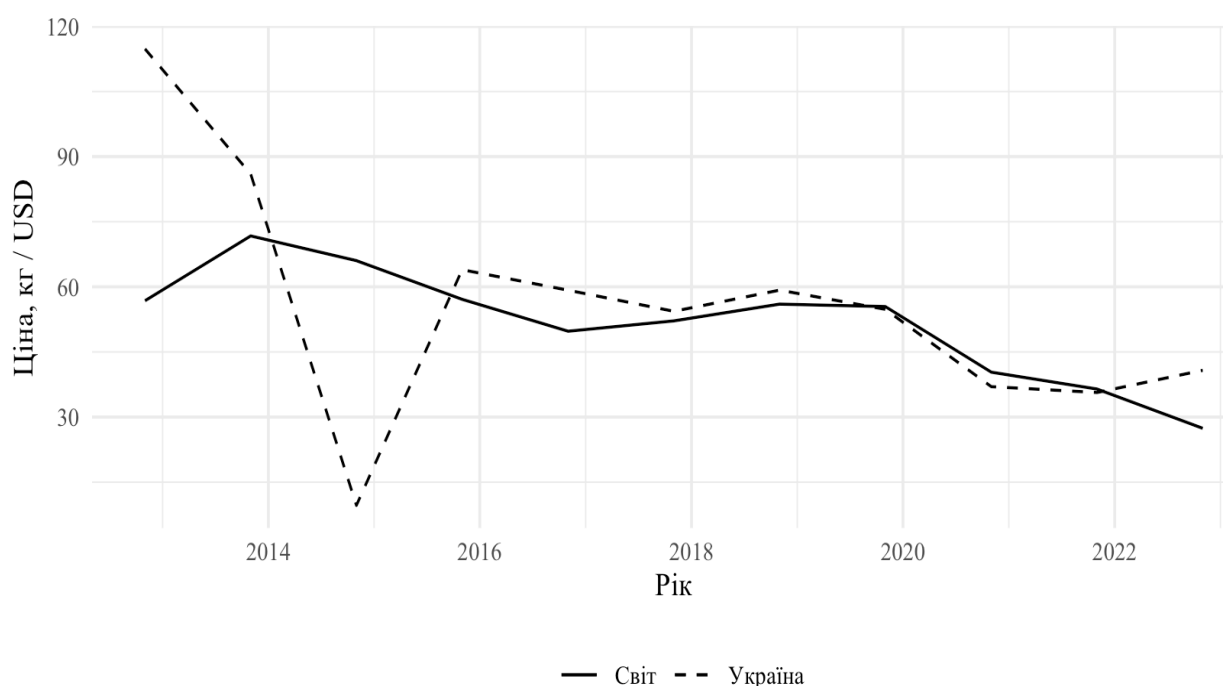


Рисунок 3.6 – Динаміка цін літій-іонних батарей за одиницю ваги (кг) за 2012–2022 роки

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77].

Розрахунок і аналіз цінових показників показує що ціни імпорту літій-іонних батарей в Україну йдуть в світовому тренді, постійно знижуючись. Привертає увагу аномальність показників цін в Україні в 2015 році, що може бути ефектом невідповідної якості даних і потребує окремого дослідження, а

також підвищення цін у 2022 році, що може бути заподіяно ажіотажним попитом наприкінці року.

Абсолютні показники зміни вартості імпорту та експорту літій-іонних батарей в Україні і світі представлені в таблиці 3.4, відносні показники – в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 – Абсолютні показники ринкової динаміки імпорту-експорту літій-іонних батарей в Україні і світі в 2012–2022 роках.

Показник	млн USD	Показник	млрд USD
Імпорт в Україну, 2012 рік	1,37	Світовий експорт, 2012 рік,	11,42
Імпорт в Україну, 2021 рік	30,64	Світовий експорт, 2022 рік	99,79
Абсолютний приріст імпорту в Україну	29,26	Абсолютний приріст світового експорту	88,37
Середньорічний абсолютний приріст імпорту в Україну	3,25	Середньорічний абсолютний приріст світового експорту	8,83

Джерело: побудовано автором на основі [77].

Незважаючи на перевищення темпів річного зростання імпорту літій-іонних батарей в Україну над темпами зростання світового експорту цього товару, національний ринок суттєво не впливає на світовий попит, оскільки як споживач складає соті відсотків від світового споживання літій-іонних батарей (див табл. 3.5).

Зростання світового експорту на фоні падіння ціни демонструє також постійне зростання попиту на літій-іонні акумулятори за фактичною кількістю.

Проведено моделювання ринку світового ринку експорту літій-іонних батарей за допомогою регресійного аналізу використовуючи три моделі: лінійну, поліноміальні – квадратичну та кубічну.

Таблиця 3.5 – Відносні показники ринкової динаміки імпорту-експорту літій-іонних батарей в Україні і світі

Показник	%
Загальний темп зростання імпорту в Україну, 2021/2012	2236,5
Загальний темп зростання світового експорту, 2022/2012	873,8
Середньорічний темп зростання імпорту в Україну, 2021/2012	141,0
Середньорічний темп зростання світового експорту, 2022/2012	124,0
Середньорічне падіння ціни імпорту в Україну, 2021/2012	12,2
Середньорічне падіння ціни світового експорту, 2022/2012	7,0

Джерело: побудовано автором на основі [77]

Результати моделювання світового експорту літій-іонних батарей з використанням відповідних моделей зображено на рисунку 3.7.

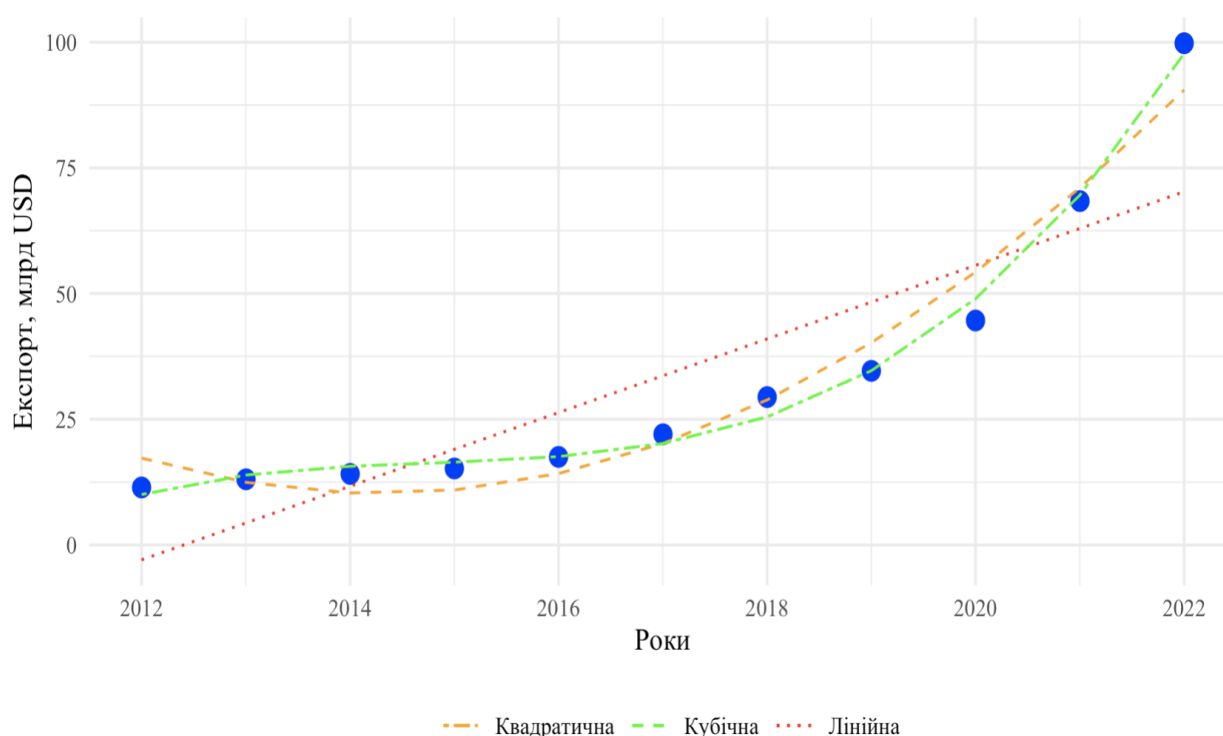


Рисунок 3.7 – Фактичні дані та теоретичні значення світового експорту літій-іонних батарей, отримані на основі регресійних моделей

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77].

Графічний метод демонструє перевагу кубічної поліноміальні регресійної моделі над іншими. Було проведено статистичну оцінку моделі.

Показники залишків та стандартну похибку залишків отримано за допомогою функції `summary()` в R Studio. [79]. Окремо було проведено розрахунок середньої абсолютної відсоткової похибки (Mean absolute percentage error, MAPE), результати надані в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Статистична оцінка залишків побудованих регресійних моделей світового експорту літій-іонних батарей

Показник	Регресійна модель		
	Лінійна	Квадратична	Кубічна
Залишки, min, млрд дол. США	–13,00	–9,00	–4,00
Залишки, max, млрд дол. США	+29,00	+9,00	+4,00
Залишки, медіана, млрд дол. США	–3,00	+0,60	–0,06
Стандартна похибка, млрд дол. США	14,00	6,00	2,00
Середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE), %	43,53	17,35	6,68

Джерело: побудовано автором на основі [77]

Вочевидь кубічна поліноміальна регресійна модель дає на порядок меншу залишкову стандартну похибку порівняно з іншими моделями і було обрано в якості основної.

Використовуючи кубічну модель проведемо прогнозування світового експорту літій-іонних батарей до 2030 року.

На рисунку 3.8 зображено фактичні дані світового експорту літій-іонних батарей з 2012 по 2022 рік, який подовжено прогнозованими даними на період з 2023 по 2030 рік.

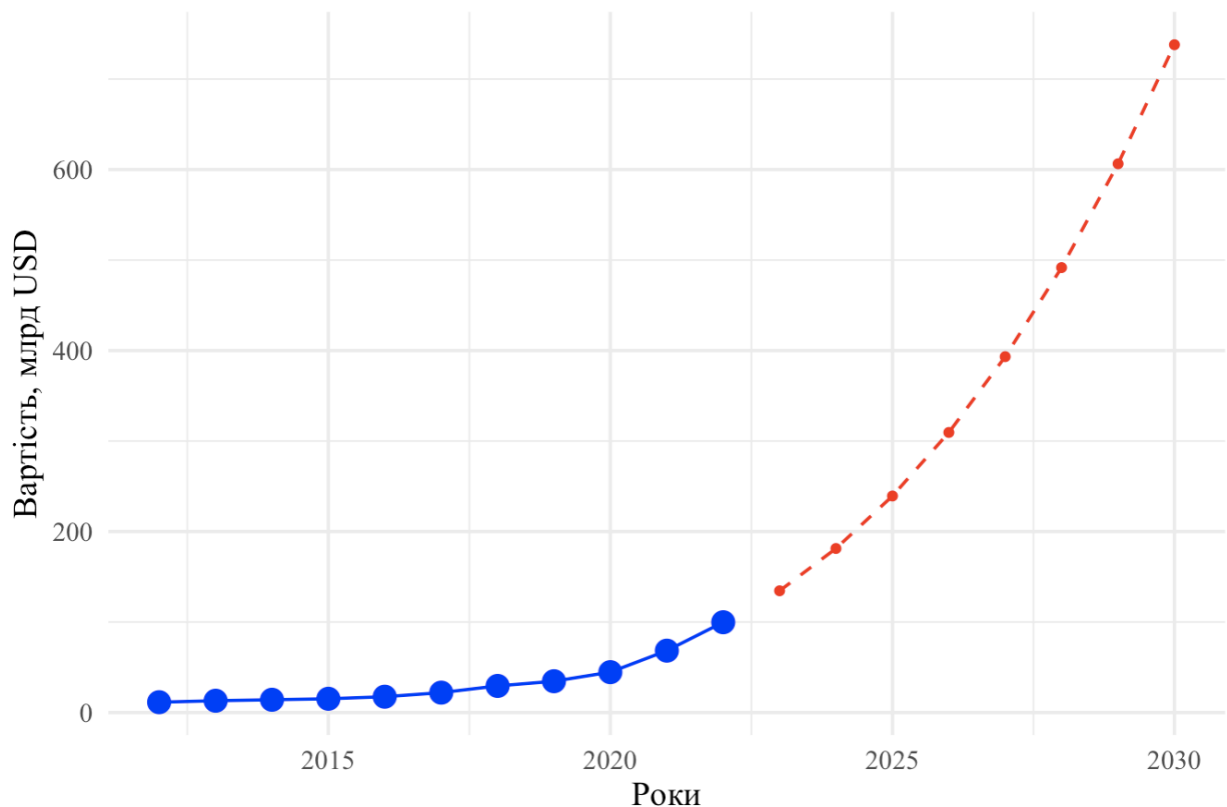


Рисунок 3.8 – Прогноз світового експорту літій-іонних батарей побудований на основі кубічної регресійної моделі

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77].

Відповідно до прогнозу побудованого на основі розрахованої кубічної регресійної моделі, до 2030 року світовий експорт літій-іонних батарей має зрости більш ніж у 7 разів, піднявшись з поточних показників у 99,79 млрд доларів США на 2022 рік, до 737,92 млрд доларів США на 2030 рік.

Висновки до розділу 3

Третій розділ даного дослідження присвячено аналізу, моделюванню та прогнозуванню світового та національного ринку літій-іонних акумуляторів. Дослідження базується на даних отриманих з бази даних UN Comtrade, яка підтримується Статистичним відділом ООН, та містить детальну статистику імпорту та експорту яка надходять від національних органів влади. Існують певні обмеження по якості і актуальності цих даних, але загалом вони можуть бути з успіхом застосовані для статистичного аналізу і моделювання. У розділі надані умови за якими були зібрані дані, а також наведено інструментарій застосований для дослідження.

Головним інструментом дослідження була комп'ютерна програма на мові «R», код якої надано у додатках. Програма виконувалась в «R Studio» – програмному середовищі, призначеному для статистичних обчислень і графіки, та складалася з двох частин: частина яка отримання дані з бази даних UN Comtrade за допомогою API і частина яка відповідала за аналіз методами Фрідмана та MSTL, а також робила прогноз та моделювання з використанням лінійної і поліноміальної регресії.

Дані UN Comtrade є часовими рядами, відповідно до цих даних можна застосовувати методи аналізу часових рядів, серед яких Multiple Seasonal Trend decomposition (MSTL), що дозволяє відокремити сезонну компоненту ряду, та методу згладжування Фрідмана, який відокремлює компоненту тренду. Виходячи з кількості, якості та графічного аналізу часового ряду, для моделювання були обрані методи лінійної регресії, де найкращою моделлю виявилась поліноміальна кубічна модель, яка в подальшому була застосована для прогнозування ринку до 2030 року.

В процесі аналізу були виявлені аномалії в даних пов'язаних як з їх повнотою, та, на національному рівні, пов'язані з військовою агресією Росії. З'ясовано що Україна має незначний експорт, але зростаючий приблизно на 3

млн доларів США імпорту в рік. Імпорт демонструє виражену сезонну складову річної циклічності. Світовий експорт літій-іонних акумуляторів на 2022 рік складає майже 100 млрд доларів США, та демонструє середньорічний темп зростання у 24%, при середньорічному падінні ціни на 7%. Прогнозування за допомогою отриманої кубічної регресійної моделі свідчить про те що к 2030 року світовий експорт літій-іонних акумуляторів виросте більш ніж у 7 разів, досягнувши, 737,92 млрд доларів США в рік.

ВИСНОВКИ

Актуальність вибору теми дослідження зумовлена глобальним рухом до технологій чистої енергії, ключовою частиною яких є системи збереження енергії. Серед цих систем відокремлюються накопичувачі енергії побудовані на базі акумуляторних батарей. Зацікавлення викликає стрімкий розвиток ринку літій-іонних акумуляторів, що досліджується у даній роботі як на міжнародному рівні, так і на рівні України як можливого учасника в виробничому ланцюжку.

1. Узагальнено теоретичні основи і сутність основних понять та категорій, що використовувались у ході дослідження, це дозволило визначити існування різних типів систем зберігання енергії: механічних, теплових, електрохімічних, та інших. Електрохімічні системи зберігання перетворюють хімічну енергію в електричну і навпаки, електрична енергія може відновлювати хімічний склад реагентів, що дозволяє накопичувати енергію для подальшого використання. Таки системи називають електрохімічними акумуляторними батареями (акумуляторами). Акумулятори відрізняються характеристиками що впливають на особливість їх застосування, серед них такі характеристики як напруга, ємність, щільність енергії, термін служби, цикл життя, вартість, і таке інше. Враховуючи загальні характеристики, найбільш перспективними вважаються, акумуляторні батареї побудовані на хімічному елементі – літії, і серед них найбільш поширеними є літій-іонні акумулятори.

2. Проаналізовано сегментування ринку акумуляторів, де можна відокремити наступні критерії розподілу: технології виробництва, застосування, географічні регіони, номенклатура виробів, виробники. Сегментування по технології виробництва в основному визначається хімічним складом – елементами які використовуються у складі акумуляторів. Зазвичай хімічний склад є комбінацією складу анода, катода та електроліта. Більшість ринку займають свинцево-кислотні, літій-іонні, нікель-металгідридні технології які сукупно займають 90% ринку. Лідером ринку є літій-іонна технологія, яка в свою чергу поділяється в залежності

від типу катодів (LCO, LMO, NCA, LFP, NMC). Очікується, що в найближчі роки індустрія електромобілів сприятиме домінуванню літій-іонних батарей. Сегментація ринку акумуляторів по застосуванню має поділ на автомобільний сектор – автомобільні акумулятори та батареї SLI (запуск, освітлення та запалювання), споживча електроніка - портативні батареї та акумулятори для електроінструментів, промислові батареї, та інші. Автомобільний сектор стає домінуючим в цьому сегменті. Географічна сегментація показує домінацію Азіатсько-Тихоокеанський регіону з більш ніж 50% відсотками, а також Північну Америку та Європу як найбільших гравців. Нарешті різноманіття форм факторів формує номенклатурну сегментацію яка спирається на сегментацію пов'язану з виробниками.

Як висновок, ми можемо констатувати, що серед електрохімічних систем збереження енергії найбільш перспективною за характеристиками є технологія літій-іонних акумуляторів, яка домінує як в сегменті технологій виробництва, так і сегментах застосування в першу чергу в автомобільній та промисловій галузі.

3. Сформовано систему метаданих, необхідних для аналізу ринку електрохімічних батарей. Метадані базуються на відповідних стандартах міжнародних організацій зі стандартизації, тоді як система класифікації Harmonized System (HS) ґрунтується на стандартизованій міжнародній системі для класифікації товарів, яку підтримує Всесвітня митна організація (WCO). Наведено метадані двох видів: структурні, які вказують на організацію та структуру статистичних даних, та довідкові, що надають додаткові пояснення та контекст для кращого розуміння значень цих статистичних даних.

4. Проведена оцінка глобальних тенденцій розвитку ринку електрохімічних акумуляторних батарей, а також визначені чинники що на нього впливають. Серед тенденцій визначено: зростаючий попит на системи зберігання енергії для генеруючих мереж, особливо для відновлюваних джерел енергії, де стає можливим компенсація пікових навантажень на мережу; розвиток свинцево-кислотних акумуляторів за технологією AGM що відповідає вищим вимогам до електрики сучасних транспортних засобів; збільшення використання та розвиток морських

батарей - спеціально розроблених для використання на човні, які мають міцну конструкцію та більш важкі пластини; збільшення попиту на електромобілі – очікується що до 2040 року електромобілі складуть близько 32% світового пасажирського транспорту. Чинники розвитку можуть бути розподілені в залежності від життєвого циклу акумуляторів та ланцюжку виробництва: видобуток корисних копалин, переробка сировини, виготовлення акумуляторних елементів, виробництво акумуляторних батарей, виробництво кінцевого виробу та інтеграція в нього акумуляторів, переробка/повторне використання. Чинниками росту є зниження ціни на готові батареї, запроваджують субсидії та державні програми для сприяння використанню електромобілів, постійне покращення продуктивності батарей, глобальна мета переходу на чисту енергію, та досягнення кліматичної нейтральності подальша електрифікація найбільш вуглецевоємних секторів – транспорту та енергетики. Чинниками уповільнення ринку є наслідки пандемії COVID, російсько-українська війна, жорсткі урядові екологічні правила.

4. Здійснено аналіз тенденцій розвитку національного ринку України, серед яких – впровадження Енергетичній стратегії України на період до 2035 року яка передбачає 25% частку відновлюваних джерел у українському енергоринку, що в свою чергу буде розширювати попит на системи збереження енергії; зростання внутрішнього ринку електромобілів та пов'язаної інфраструктури – частка електромобілів в загальному ринку нових автомобілів у 2023 році вже склала 18%, діють пільги на ввіз електромобілів; участь України в Європейському батарейному альянсі (EBA). Україна має одні з найбільших в світі запасів літію та графіту, а також інших сировинних матеріалів що використовуються в виробництві акумуляторних батарей, що разом з планами дій ЄС щодо диверсифікації критично важливої сировини відкриває широкі перспективи участі у всьому ланцюжку виробництва літій-іонних акумуляторних батарей.

5. Встановлені тенденції утилізації та переробки використаних акумуляторів. Існують основні проблеми утилізації такі як – недостатній рівень переробки що обумовлений недосконалістю технологій поводження з відпрацьованими літій-іонними батареями які все ще перебувають на стадії розробки, далекі від

оптимізації процесів і технологій переробки та експоненціальне зростання попиту на акумуляторні батареї, яке приводе до відповідного накопичення відходів. Вирішення цих проблем має глобальний вимір який починається цілі ООН «Відповідальне споживання та виробництво», фокусується на менеджменті відходів, та закріплюється на національному рівні. Найбільш цілісний підхід має Європейський Союз, який впроваджує регуляцію що до циркулярної економіки у виробництві батарей, яка передбачає підвищення поточного рівня переробки батарей з 45% до 70% у 2030 році.

6. Оцінено стан світового ринку за допомогою міжнародного індексу EQM BATTIDX, що є одним із індикаторів інвестиційної привабливості світового ринку літєвих акумуляторів. Індекс використовує підхід оцінки на основі даних ринку та аналізує показники фондового ринку. BATTIDX відслідковує глобальні компанії, що займаються розробкою, виробництвом та використанням технологій літєвих батарей, тим самим охоплюючи всі етапи виробництва та використання цих технологій. Індекс демонструє циклічність, маючи тренд на зростання і пікове значення в 150 одиниць у 2018 році, далі іде спадаючий тренд до 2020 року, після чого цикл поновлюється маючи потрібне зростання і пік на початку 2022 року в 425 одиниць, після чого іде на спад досягнувши 250 одиниць в середині 2023 року.

7. Проведено моделювання ринку літій-іонних акумуляторів використовуючи дані отриманих з бази даних UN Comtrade, що містить статистику торгівлі товарами і підтримується Статистичним відділом ООН. Для дослідження і моделювання був розроблений програмний код на мові «R», код виконувався в «R Studio» – програмному середовищі призначеному для статистичних обчислень і графіки. Розроблена програма дозволила не тільки провести аналіз і моделювання, але і автоматизувати отримання і попередню обробку даних з UN Comtrade, що значно скоротило час на дослідження. У дослідженні використовувались методи аналізу часових рядів для аналізу сезонності (MSTL), та визначенні тренду (згладжування Фрідмана). Для моделювання був обраний регресійний аналіз і побудовані моделі світового ринку для лінійної, квадратичної та кубічної моделей. Розглянуті обмеження по якості і актуальності даних: невідповідності між

експортом і імпортом в Україні, аномальний низький рівень цін у 2015 році, що не відповідає світовій тенденції, великий відсоток відсутніх даних по кількості (до 26%) який не дозволяю використовувати цей показник, пропуски в даних по вазі (до 8%) які були доповнені апроксимованими середніми показниками.

8. Здійснено прогнозування динаміки ринку літій-іонних акумуляторів. Була проведена статистичну оцінку моделей отриманих на етапі моделювання. Найгірші показники показала лінійна модель, найкращі кубічна регресійна модель в якій середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE) складає – 6,68 %, а стандартна похибка – 2 млрд доларів США, що складає менш 2% від майже 100 млрд доларів США світового експорту у 2022. Дані на яких була побудована модель демонструють безперервне зростання світового експорту з 11 млрд дол. США у 2012 до 99 млрд дол. США у 2022 році, маючи 124% середньорічного темпу зростання. Відповідно до прогнозу побудованого на основі розрахованої кубічної регресійної моделі, до 2030 року світовий експорт літій-іонних батарей має зрости більш ніж у 7 разів, піднявшись до 737,92 млрд доларів США. Національний ринок України було досліджено методом відносних величин, але виключено з подальшого прогнозування через низку факторів: військові дії, що спричиняють невизначеність на ринку і аномальне зростання у 2022 році в чотири рази, споживчий характер ринку – експорт з України складає менш 2% від імпорту, співпадаючий зі світовим ціновий тренд експорту, мінімальний вплив на світовий ринок – доля експорту в Україну менш сотієї відсотка в світовому експорті. Іншими словами, для адекватного прогнозування слід дочекатися закінчення війни і отримати початкову статистику за післявоєнні роки.

Світовий ринок до 2022 року демонстрував 124% середньорічні темпи зростання вартості експорту літій-іонних батарей, 2030 року ринок виросте у 7 разів до 737,92 млрд доларів США тільки в грошовому об'ємі, наближаючись до 1 трлн у наступні роки. Приймаючи до уваги 7% середньорічні темпи падіння ціни, в кількісних вагових показниках зростання буде близьке до експоненціального. Початок агресії Росії в Україні не вплинув на показники світового експорту, в першу чергу через наднизьку долю України в світовому ринку – на рівні сотих

відсотка. З іншої сторони - світовий ринок висококонцентрований, з домінуючою долею Китаю (51%), це несе за собою політичні ризики які підвищуються війною в Україні, яка спричиняє санкційні дії і нові політичні протистояння, все це разом веде до глобальної невизначеності світової економіки. Показником цього процесу є невідповідність трендів індексу інвестиційної привабливості BATTIDX, та прогнозованих трендов світового експорту. На прикладі 2022 року видно, що світовий ринок демонструє зростання, а BATTIDX навпаки має тренд на спад. Чи вплине ця невизначеність на фактичний експорт, чи навпаки зростання експорту додасть оптимізму інвесторам – покаже час.

Національний ринок України у 2012-2021 році, до початку агресії Росії демонстрував середньорічні темпи росту у 141%, що вдвічі перевищувало світові, на 2021 рік обсяг імпорту склав 30 млн дол. США. Імпорт мав сезонну компоненту до 10% від загальних обсягів впродовж року. Початок війни у 2022 році спричинив аномальні зміни на ринку: на початку року імпорт на порядок скорочується, далі демонструє відновлення, після чого під час осінньо-зимових атак на енергетичну інфраструктуру експоненціально зростає. Це привело до збільшення експорту у 4-ри рази в річному виразі, піднявшись з 30 млн дол. США до 130 млн. дол. США за 2022 рік. Наслідки війни можна розглядати через призму можливостей що з'являються: спостерігаємо прискорену адаптацію енергетичної інфраструктури, впровадиться технології енергозбереження, покращується стабільність за рахунок встановлення оновленого обладнання, завершився перехід з лампочок розжарення, зростає роль ВДЕ генерації та наявності розгалуженої та розподіленої енергомережі. Все це буде вести до зростання ринку збереження енергії і відповідно попиту на акумулятори. Окремою можливістю слід розглядати розвиток внутрішнього виробництва і розширення ринку за рахунок експорту, цьому може сприяти плани ЄС по диверсифікації залежності від Китаю, перспектива вступу в ЄС, наявність одних з найбільших у світі запасів корисних копалин критичних для виробництва літій-іонних акумуляторів.

Ринок України вже демонстрував падіння та швидке відновлення після початку агресії Росії у 2014 році, за кожним падінням країна демонструє надшвидке відновлення, що дає надію на післявоєнне відновлення і розвиток.

Світовий ринок систем збереження енергії, а з ним і електрохімічних та літій-іонних акумуляторів демонструє надвисоку динаміку зростання, обсяги цього ринку привертають увагу на світовому, державному, інвестиційному і побутовому рівнях, разом це спричиняє глобальні зміни в світі і може бути додатково досліджено у майбутньому.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зелена енергетика 2.0: чого чекати її виробникам після закінчення війни // Укрінформ. URL : <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3533739-zelena-energetika-20-cogo-cekati-ii-virobnikom-pisla-zakincenna-vijni.html> (дата звернення 11.05.2023)
2. Ігнатишин М. І., Михайлишин М. С., Пелех Я.М. Кінетичний акумулятор енергії // Наука, освіта, бізнес: сучасні виклики та сталий розвиток: збірник тез доповідей за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції (30 березня 2023 р., м. Мукачево). Мукачево : МДУ, 2023. С. 28-31.
3. Китайчук Т. Інвестиційна привабливість: теоретичний аналіз та впливові фактори // Економіка та суспільство. 2023. №54. С. 54-57.
4. Корніліч Д. О., Чала Т. Г. Аналіз тенденцій утилізації та переробки використаних акумуляторів // Scientific Progress: Innovations, Achievements and Prospects: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (29–31 травня 2023 р.). Мюнхен, 2023. С. 487-492.
5. Малетін Ю. А., Чернухін С. І., Стрижакова Н. Г., Козачков С. Г. Комбінування поверхні з об'ємом: гібриди суперконденсаторів з Li-іонними акумуляторами // Хімія, фізика та технологія поверхні, 2023, 14 (4), С. 555-560.
6. Менше відходів – більше ресурсів: як працює розширена відповідальність виробника у контексті циркулярної економіки // Вокс Україна. URL : <https://voxukraine.org/menshe-vidhodiv-bilshe-resursiv-yak-pratsyuje-rozshyrena-vidpovidalnist-vyrobnyka-u-konteksti-tsyrkulyarnoyi-ekonomiky>____(дата звернення 21.08.2023)
7. Міжнародна статистика : навч. посіб. / В. М. Соболев, Т. Г. Чала, О. С. Корепанов та ін. ; за ред. В. М. Соболева. Х : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. 388 с.
8. Моргачов І. В. Сутність і роль інвестиційних фондів і компаній // Бізнес Інформ. 2022. №1. С. 102–107.

9. На українському авторинку доля електрокарів вдвічі більша ніж в Європі // Інтернет-ресурс інформаційно-аналітичної групи AUTO-Consulting. URL : <http://autoconsulting.ua/article.php?sid=53300> (дата звернення 04.05.2023)
10. Остапчук О. В., Будько В. І. Перспективи використання джерел розподіленої генерації в енергосистемі України // Міжнародна науково-практична конференція – Енергозбереження та енергоефективність, Дніпро, 2018. С.36–38.
11. Павлов В. Б. Експериментальне дослідження теплових характеристик літій-іонних акумуляторів. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, 2023. С. 36-64.
12. Павлов В. Б., Кудря С. О., Будько В. І. Особливості роботи автономних зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних установок та буферних акумуляторів енергії // Технічна електродинаміка. 2019. №4. С. 70-76.
13. Сунь С., Іщенко В. А. Поводження з використаними літій-іонними батареями в Китаї. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2023. № 2. С. 21–27
14. Чала Т. Г., Корніліч Д. О. Статистичний аналіз національного ринку літій-іонних батарей та впливу агресії РФ на його розвиток // Бізнес інформ, 2023. № 11. С. 139–149.
15. 1725-2021 - IEEE Standard for Rechargeable Batteries for Mobile Phones // IEEE Xplore URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/9514813> (дата звернення 13.07.2023)
16. About EQM Indexes, LLC // EQM Indexes LLC. URL : <https://eqmindexes.com/about/> (дата звернення 20.09.2023)
17. Battery characteristics // University of Cambridge. URL : https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/batteries/battery_characteristics.php (дата звернення 25.05.2023)
18. Battery Innovation Roadmap 2030 // EUROBAT. URL : <https://www.eurobat.org/campaigns-and-initiatives/battery-innovation-roadmap-2030/> (дата звернення 26.07.2023)

19. Battery Manufacturing Effluent Guidelines // United States Environmental Protection Agency. URL : <https://www.epa.gov/eg/battery-manufacturing-effluent-guidelines> (дата звернення 21.07.2023)
20. Battery nomenclature // Wikipedia. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_nomenclature (дата звернення 14.06.2023)
21. Before Invasion, Ukraine's Lithium Wealth Was Drawing Global Attention // New York Times. URL : <https://www.nytimes.com/2022/03/02/climate/ukraine-lithium.html> (дата звернення 15.08.2023)
22. BS ISO 26262-1:2018. Road vehicles. Functional safety Vocabulary // EUROPEAN STANDARDS. URL : https://www.en-standard.eu/bs-iso-26262-1-2018-road-vehicles-functional-safety-vocabulary/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAsIGrBhAAEiwAEzMlCxBkYjC_sN0qw6hpDqQZ_5vyXtFPZTzInd1qadhXxAksIZHhM4K OI RoCGIAQAvD_BwE (дата звернення 10.08.2023)
23. Building a European battery industry // European Battery Alliance. URL : <https://www.eba250.com> (дата звернення 03.08.2023)
24. Canalys, Global electric vehicle sales up 109% in 2021, with half in Mainland China, February 14, 2021. // Canalys. URL : <https://www.canalys.com/newsroom/global-electric-vehicle-market-2021> (дата звернення 29.09.2023)
25. CircuBAT. URL : <https://circubat.ch/about/> (дата звернення 28.08.2023)
26. Circular economy: definition, importance and benefits. // European Parliament. URL : <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits> (дата звернення 25.08.2023)
27. Classification Detail // UN - Statistics Division. URL : <https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ/Detail/EN/2089/85> (дата звернення 29.06.2023)

28. Comparison of commercial battery types // Wikipedia. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_commercial_battery_types (дата звернення 22.05.2023)
29. The Case for Lithium Battery Technology // EQM Indexes LLC. URL : https://eqmindexes.com/wp-content/uploads/2023/10/BATTIDX_VettaFi-EQM_Fact_Sheet_9.30.23.pdf (дата звернення 26.09.2023)
30. Department of Economic and Social Affairs Statistics // United Nations. URL : <https://unstats.un.org/UNSDWebsite/> (дата звернення 20.06.2023)
31. Detecting time series outliers // Rob J Hyndman. URL : <https://robjhyndman.com/hyndsight/tsoutliers/> (дата звернення 30.10.2023)
32. Detection of Outliers in Time Series // Detection of Outliers in Time Series. URL : <https://cran.r-project.org/web/packages/tsoutliers/index.html> (дата звернення 18.10.2023)
33. Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC // EUR-Lex. URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006L0066-20131230&rid=1#:~:text=The%20primary%20objective%20of%20this,the%20quality%20of%20the%20environment.> (дата звернення 03.07.2023)
34. Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage System (RESS) Safety and Abuse Testing J2464_202108 // SAE International. URL : https://www.sae.org/standards/content/j2464_202108/ (дата звернення 13.07.2023)
35. EU and Ukraine kick-start strategic partnership on raw materials // European Commission. URL : https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/eu-and-ukraine-kick-start-strategic-partnership-raw-materials-2021-07-13_en (дата звернення 10.08.2023)
36. Exports of a country not coincide with imports of its partner // UN Statistics Wiki. URL : <https://unstats.un.org/wiki/display/comtrade/Exports+of+a+country+not+coincide+with+imports+of+its+partner> (дата звернення 17.11.2023)

37. Extended Producer Responsibility (EPR) // ScienceDirect. URL : <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/extended-producer-responsibility> (дата звернення 11.09.2023)
38. Forthcoming and Online First Articles // Inderscience Publishers. URL : <https://www.inderscience.com/info/ingeneral/forthcoming.php?jcode=ijor#108000> (дата звернення 20.11.2023)
39. Friedman's Super Smoother // Boston College. URL : http://fmwww.bc.edu/repec/bocode/s/supsmooth_doc.pdf (дата звернення 20.10.2023)
40. Friedman's Super Smoother // Boston College. URL : http://fmwww.bc.edu/RePEc/bocode/s/supsmooth_doc.pdf (дата звернення 22.11.2023)
41. General rules the interpretation of the harmonized system // World Customs Organization. URL : https://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/hs_nomenclature_2012/~/_media/B7BC612CEB3B417BB5183841DA7413CB.ashx (дата звернення 23.06.2023)
42. Global Battery Market Forecast 2022-2030 // INKWOOD RESEARCH. URL : <https://inkwoodresearch.com/reports/battery-market/> (дата звернення 09.06.2023)
43. Global Supply Chains of EV Batteries // EV Batteries. URL : <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4eb8c252-76b1-4710-8f5e-867e751c8dda/GlobalSupplyChainsofEVBatteries.pdf> (дата звернення 13.07.2023)
44. Green Deal: EU agrees new law on more sustainable and circular batteries to support EU's energy transition and competitive industry // European Commission. URL : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7588 (дата звернення 13.09.2023)
45. Grid-Scale U.S. Storage Capacity Could Grow Five-Fold by 2050, June 1, 2021. // NREL.gov (дата звернення 02.10.2023)
46. Hittinger E., Ciez R. Modeling Costs and Benefits of Energy Storage Systems. Annual Review of Environment and Resources, 2020 Vol. 45:445-469

47. How can we store renewable energy? 4 technologies that can help. // World Economic Forum URL : <https://www.weforum.org/agenda/2021/04/renewable-energy-storage-pumped-batteries-thermal-mechanical/> (дата звернення 10.05.2023)
48. IEEE Standard for Rechargeable Batteries for Multi-Cell Mobile Computing Devices // IEEE Standards Association. URL : <https://standards.ieee.org/ieee/1625/4382/> (дата звернення 13.07.2023)
49. Incoterms 2020 // ICC - International Chamber of Commerce. URL : <https://iccwbo.org/business-solutions/incoterms-rules/incoterms-2020/> (дата звернення 22.11.2023)
50. Interconnected Segments Adjacencies in Market Ecosystems // Markets and Markets. URL : <https://www.marketsandmarkets.com> (дата звернення 15.05.2023)
51. ISO 12405-4:2018 Electrically propelled road vehicles —Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems. Part 4: Performance testing. // Standards URL : <https://www.iso.org/standard/71407.html> (дата звернення 10.08.2023)
52. The Investment Case for Lithium Battery Technology // EQM INDEXES. URL : https://eqmindexes.com/wp-content/uploads/2020/08/Battery-Technology-White-Paper_FINAL.pdf (дата звернення 29.05.2023)
53. Li-ion batteries, Part 5: Electrolytes // Battery Power Tips. URL : <https://www.batterypowertips.com/li-ion-batteries-part-5-electrolytes-faq/> (дата звернення 07.06.2023)
54. Lithium & Battery Technology Index // EQM Indexes LLC. URL : <https://eqmindexes.com/battery-metals-index-summary/> (дата звернення 22.09.2023)
55. Lithium-ion Battery Market Global Forecast to 2030, June 2021 // MarketsandMarkets. URL : <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/lithium-ion-battery-market-49714593.html> (дата звернення 05.10.2023)
56. The latest from IEEE // IEEE - Advancing Technology for Humanity. URL : <https://www.ieee.org> (дата звернення 06.07.2023)

57. Modeling Costs and Benefits of Energy Storage Systems // ANNUAL REVIEWS. URL : <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-environ-012320-082101> (дата звернення 04.05.2023)

58. MSTL: A Seasonal-Trend Decomposition Algorithm for Time Series with Multiple Seasonal Patterns // ResearchGate URL : https://www.researchgate.net/publication/353544289_MSTL_A_Seasonal-Trend-Decomposition_Algorithm_for_Time_Series_with_Multiple_Seasonal_Patterns (дата звернення 16.10.2023)

59. The most trusted IDE for open source data science // POSIT URL : <https://posit.co/products/open-source/rstudio/> (дата звернення 20.11.2023)

60. Ragupathy P, Bhat SD, Kalaiselvi N. Electrochemical energy storage and conversion: An overview. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. 2023 Mar;12 p.e464.

61. News&Blog // International Electrotechnical Commission. URL : <https://www.iec.ch/homepage>. (дата звернення 03.07.2023)

62. The Nobel Prize in Chemistry 2019 // The Nobel Prize URL : <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/popular-information/> (дата звернення 15.05.2023)

63. Polynomial regression // Wikipedia. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Polynomial_regression (дата звернення 06.11.2023)

64. Powering battery sustainability: a review of the recent progress and evolving challenges in recycling lithium-ion batteries. // Frontiersin. URL : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsrma.2023.1127001/full> (дата звернення 31.08.2023)

65. Predict method for Linear Model Fits // RDocumentation. URL : <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/predict.lm> (дата звернення 10.11.2023)

66. Primary Batteries Market Characteristics // The Business Research Company. URL : <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/primary-batteries-market> (дата звернення 17.05.2023)

67. Programming tools: Adventures with R // Nature. URL : <https://www.nature.com/articles/517109a> (дата звернення 11.10.2023)
68. Read Me First (Disclaimer) // UN Statistics Wiki. URL : <https://unstats.un.org/wiki/pages/viewpage.action?pageId=143100203> (дата звернення 10.10.2023)
69. Recommendations on the TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS // UNECE. URL : https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/ST_SG_AC.10_11_Rev6_E_WEB_-With_corrections_from_Corr.1.pdf (дата звернення 13.07.2023)
70. Report Overview // Grand View Research. URL : <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/electric-vehicle-battery-market> (дата звернення 12.06.2023)
71. SAFE. URL : <https://secureenergy.org> (дата звернення 18.08.2023)
72. Secondary batteries are electrical batteries that can be charged // The Business Research Company. URL : <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/secondary-batteries-global-market-report>. (дата звернення 11.07.2023)
73. Secondary Battery // Guide to Batteries in Product Design. URL : https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/primary-secondary-batteries-in-product-design-guide/#Secondary_Battery (дата звернення 19.05.2023)
74. Straits Research // Straits Research. URL : <https://straitsresearch.com/report/secondary-battery-market> (дата звернення 13.06.2023)
75. Sustainable Development. // United Nations. URL : <https://sdgs.un.org/goals/goal12> (дата звернення 06.09.2023)
76. Ukraine aims to become one of the global leaders in the supply of graphite // Ukraine Invest. URL : <https://ukraineinvest.gov.ua/en/news/24-05-22-3/> (дата звернення 16.08.2023)
77. UN Comtrade Database // UN Comtrade Database. URL : <https://comtradeplus.un.org> (дата звернення 15.11.2023)
78. UN Comtrade Wiki // UN Comtrade. URL : <https://unstats.un.org/wiki/display/comtrade/New+Comtrade+User+Guide#NewComtradeUserGuide-UNComtradeAPIManagement> (дата звернення 13.10.2023)

79. Understanding Linear Regression Output in R // Medium. URL : <https://towardsdatascience.com/understanding-linear-regression-output-in-r-7a9cbda948b3> (дата звернення 13.11.2023)

80. UNE EN 50604-1:2016. Secondary Lithium batteries for light EV (electric vehicle) applications - Part 1: General safety requirements and test methods (Endorsed by AENOR in December of 2016.) // EUROPEAN STANDARDS. URL : https://www.en-standard.eu/une-en-50604-1-2016-secondary-lithium-batteries-for-light-ev-electric-vehicle-applications-part-1-general-safety-requirements-and-test-methods-endorsed-by-aenor-in-december-of-2016/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAsIGrBhAAEiwAEzMlCw39qToqvrYOVWRHeS4gaKC9Q6D4CAM_Hke9U5meRo-d7eYbdvhIxBoCK9UQAvD_BwE (дата звернення 13.07.2023)

81. UNE EN 60086-1:2015 Primary batteries - Part 1: General (Endorsed by AENOR in November of 2015.) // EUROPEAN STANDARDS. URL : https://www.en-standard.eu/une-en-60086-1-2015-primary-batteries-part-1-general-endorsed-by-aenor-in-november-of-2015/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAsIGrBhAAEiwAEzMlC7z8kSUCKyTi8VfyWcTfwuXmZit7_mpZ4g_Yakr_490GMELUci_ZTxC4vMQAvD_BwE (дата звернення 10.08.2023) [72]

82. United Nations, Sustainable Development Goals. // 7. Affordable and Clean Energy. URL : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/> (дата звернення 03.05.2023)

83. What can standards do for you? // International Organization for Standardization. URL : <https://www.iso.org/home.html> (дата звернення 04.07.2023)

84. What is Energy Storage? // Galooli URL : <https://galooli.com/glossary/what-is-energy-storage/> (дата звернення 15.05.2023)

85. What is Linear Regression? // Compkete Dissertation. URL : <https://www.statisticssolutions.com/free-resources/directory-of-statistical-analyses/what-is-linear-regression/> (дата звернення 02.11.2023)

86. The World's Largest Market Research Store // Research and Markets. URL : <https://www.researchandmarkets.com> (дата звернення 15.05.2023)

ДОДАТКИ

Додаток А

Сертифікат учасника конференції «SCIENTIFIC PROGRESS:
INNOVATIONS, ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS



Додаток Б

Код програми для отримання даних з UN Comtrade Database

Таблиця Б.1 – Код програми на мові R для отримання даних з бази даних UN Comtrade за допомогою Comtrade API

Вихідний код
<pre> library(tidyverse) library(untrader) # бібліотека для запиту даних з UN Comtrade # # Цей код отримує дані з UN Comtrade використовуючи API # Дані обираються відповідно до налаштувань # Отримані дані зберігаються у відповідній папці в форматі RDS та Excel # # # Для доступу до API UN Comtrade необхідно отримати та прописати токен авторизації # set_primary_comtrade_key(key = 'xxxxxxxxx') # # Налаштування для збору даних # # Розташування папки з даними data_folder_path <- "/Users/Data/" api_commodity_code = "850760" # HS code товару Li-ion #api_commodity_code = "8506" # HS = Елементи живлення та батареї первинні #api_commodity_code = "8507" # HS = Акумулятори електричні api_flow_direction = "export" # Імпорт (import) або експорт (export) api_report_country = c("all") # Країна яка надає дані (UKR для України, all - якщо будь-яка) api_partner_country = c("all") # Країна з якою відбувається import/export api_frequency = "A" # Групування даних по місяцю (M) або року (A) date_from <- 2022 # Початок періоду за який будуть отримані дані date_to <- 2022 # Кінець періоду за який будуть отримані дані # # Отримання даних # </pre>

```

if (api_frequency == "M") {
  # Створюємо діапазон дат, якщо потрібно зібрати дані по місяцях
  date_range <- data.frame(start_date = paste0(date_from:date_to, "-", "01"),
                           end_date = paste0(date_from:date_to, "-", "12"))
} else {
  # Створюємо діапазон дат, якщо потрібно зібрати дані по роках
  date_range <- data.frame(start_date = date_from:date_to,
                           end_date = date_from:date_to)
}

df_date_list <- as.list(date_range)

df_download <- pmap(df_date_list, safely(\(start_date, end_date) {
  df <- get_comtrade_data(
    frequency = api_frequency,
    commodity_code = api_commodity_code,
    flow_direction = api_flow_direction,
    reporter = api_report_country,
    partner = api_partner_country,
    start_date = start_date,
    end_date = end_date,
    verbose = T
  )

  print(start_date)
  Sys.sleep(runif(1, min = 5, 10)) # Зробити паузу перед наступним запитом
  return(df)
}))

# обробка запиту і перевірка завантажених даних
# треба продивитися чи є помилки та за які періоди

download_response <- df_download |> transpose()

print("Errors:")
print(download_response$error)

raw_results <- download_response$result |> bind_rows()

# перетворюємо отримані у вигляд придатний для аналізу
# скорочуємо кількість колонок, та перетворюємо деякі

raw_results %>%
  select(hs_code = cmdCode,
         period,
         reporter = reporterISO,
         partner = partnerISO,
         qty,
         wgt = netWgt,
         value = primaryValue) -> results

```

```

results %>%
  mutate(ts_code = paste0(hs_code,"_", reporter,"_",partner)) -> results

results <- results %>%
  mutate(year = substr(period, 1, 4))

results %>%
  mutate(id = paste0(hs_code,"_", reporter,"_",partner, '-', period)) -> results

# збереження даних
file_name <- paste0(api_commodity_code, "_", api_flow_direction, "_", api_report_country,
  "_", api_partner_country, "_", api_flow_direction, "_", date_from, "_", date_to)

#write_rds(results, paste0(data_folder_path, file_name, ".rds"))

openxlsx::write.xlsx(results, paste0(data_folder_path, file_name, ".xls"))

```

Джерело: розроблено автором.

Додаток В

Код програми для аналізу, моделювання і прогнозування тенденцій розвитку ринку літій-іонних акумуляторів в Україні та світі

Таблиця В.1 – Код програми на мові R для аналізу, моделювання і прогнозування тенденцій розвитку ринку літій-іонних акумуляторів в Україні та світі

Вихідний код
<pre> # # Цей код аналізує дані отримані з UN Comtrade # Дані обираються відповідно до налаштувань # # Налаштування # # { # Завантаження необхідних бібліотек library(openxlsx) library(dplyr) # Розташування папки з даними, та файлів з даними data_folder_path <- "/Users /Data/" data_file_excel_ukraine <- "FINAL-850760_export_all_UKR_export_2012_2022.xlsx" data_file_excel_world <- "850760_export_all_all_export_" } # # Завантажуємо та доповнюємо дані # # Завантажуємо дані { # Завантажуємо дані по Україні data_caption <- "Ринок України" data <- read.xlsx(paste0(data_folder_path, data_file_excel_ukraine), sheet="2012-2022") # Завантажуємо дані по світу, якщо треба провести розрахунки по Україні, пропустіть цей блок data_caption <- "Світовий ринок" data <- data.frame() years <- seq(2012, 2022, by = 1) </pre>

```

for (year in years) {
  file_path <- paste0(data_folder_path, data_file_excel_world, year, "_", year, ".xlsx")
  file_data <- read.xlsx(file_path)
  data <- rbind(data, file_data)
}
}

# Робимо обробку даних
{
  # Калькулюємо середню ціну за одиницю ваги по роках
  non_zero_wgt <- data %>% filter(wgt > 0)
  non_zero_avg_wgt <- non_zero_wgt %>%
    group_by(year) %>%
    summarize(avg_wgt_price = sum(value)/sum(wgt))

  # Відбираємо всі записи в котрих вага не вказана
  zero_wgt <- data %>%
    filter(is.na(wgt) | wgt == 0)

  # Відбираємо всі записи в котрих кількість не вказана
  zero_qty <- data %>%
    filter(is.na(qty) | qty == 0)
  zero_qty_percent <- round(nrow(zero_qty) / nrow(data) * 100)

  # Встановлюємо вагу з розрахунку середньої ціни для записів де вага не вказана
  # Маркуємо такі записи updated = TRUE
  updated_data <- data %>%
    left_join(non_zero_avg_wgt, by = "year") %>%
    mutate(updated = ifelse(is.na(wgt) | wgt == 0, TRUE, FALSE)
      , wgt = ifelse(is.na(wgt) | wgt == 0, value/avg_wgt_price, wgt)
    )

  # Перевіряємо кількість оновлених (повинна бути однаковою)
  updated_qty <- updated_data %>%
    filter(updated == TRUE)

  print("Було записів без ваги / Оновлено записів (повинно бути однаковим)")
  print(paste0(nrow(zero_wgt), '=', nrow(updated_qty)))
  zero_wgt_percent <- round(nrow(zero_wgt) / nrow(data) * 100)

  print("Було записів / Стало після оновлення (повинно бути однаковим)")
  print(paste0(nrow(data), '=', nrow(updated_data)))

  # Видаляємо зайві поля
  prepared_data <- updated_data %>%
    select(-avg_wgt_price) %>%
    select(-updated)
}

```

```

#
# Аналіз якості даних
#
{
  library(ggplot2)
  library(tsoutliers)
  library(lubridate)
  library(tibbletime)
  library(zoo)
  #library(extrafont)
  library(scales)
  library(forecast)
  library(concstats)

  #font_import()
  #theme_set(theme_minimal(base_family = "Times New Roman"))

  print(data_caption)
  cat("Записів без вказаної ваги:", zero_wgt_percent, "%\n")
  cat("Записів без вказаної кількості:", zero_qty_percent, "%\n")
}

#
# Проводемо помісячні розрахунки (тільки для України)
#
{
  # Групуємо дані по місяцях
  agr_monthly <- prepared_data
  agr_monthly$date <- as.Date(as.yearmon(as.character(agr_monthly$period), format="%Y%m"))
  agr_monthly <- agr_monthly %>% group_by(date) %>%
    summarise(wgt=sum(wgt), value=sum(value))

  # Готуємо числові ряди за весь період, до 2022 та за 2022
  ts_full <- as_tbl_time(agr_monthly, index = date)
  ts_till_2022 <- as_tbl_time(agr_monthly %>% filter(date < as.Date("2022-01-01")), index = date)
  ts_2022_only <- as_tbl_time(agr_monthly %>% filter(date > as.Date("2021-12-31")), index =
date)

  # Відображаємо обсяги імпорту по роках
  ggplot(ts_full, aes(x = date, y = value)) +
    geom_line() +
    labs(title = "Обсяг імпорту 2012 - 2022",
         x = "Рік",
         y = "Імпорт, млн. USD") +
    theme_minimal() +
    scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-6))

  ggplot(ts_till_2022, aes(x = date, y = value)) +
    geom_line() +

```

```

labs(title = "Обсяг імпорту 2012 - 2021",
      x = "Рік",
      y = "Імпорт, млн. USD") +
theme_minimal() +
scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-6))

ggplot(ts_2022_only, aes(x = date, y = value)) +
geom_line() +
labs(title = "Обсяг імпорту 2022",
      x = "Рік",
      y = "Імпорт, млн. USD") +
theme_minimal() +
scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-6))

# Розрахунок сезонних компонентів, тільки для України
# https://robjhyndman.com/hyndsight/tsoutliers/
start_month <- as.Date("2012-01-01") # Starting month
time_series <- ts(ts_till_2022$value, start = c(year(start_month), month(start_month)), frequency
= 12)
outlier_model <- tso(time_series)
#plot(outlier_model)

decomposed <- decompose(time_series)

# Відображаємо графіки с сезонною і трендовою компонентою
ggplot() +
geom_line(aes(x = ts_till_2022$date, y = decomposed$seasonal), color = "black") +
labs(title = "Сезонна компонента (MSTL)",
      x = "Рік",
      y = "USD")
theme_minimal()

# 2012 12 month is missing warning because no trend at first year
ggplot() +
geom_line(aes(x = ts_till_2022$date, y = decomposed$trend), color = "black") +
labs(title = "Трендова компонента (Friedman's Super Smoother)",
      x = "Рік",
      y = "млн, USD") +
theme_minimal() +
scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-6))
}

#
# Проводимо середньорічні розрахунки
#

{
agr_yearly <- prepared_data
agr_yearly <- agr_yearly %>% group_by(year) %>%
summarise(wgt=sum(wgt), value=sum(value), price=sum(value)/sum(wgt))
}

```



```

agr_yearly$date <- as.Date(as.yearmon(as.character(agr_yearly$year), format="%Y"))

# Тап 5 країн за світовим експортом у 2022 році
counties_2022_top <- prepared_data %>% filter(year == "2022") %>% group_by(reporter) %>%
summarise(wgt=sum(wgt), value=sum(value), price=sum(value)/sum(wgt))
counties_2022_top <- counties_2022_top %>%
  mutate(percent = (value / sum(value)) )

# Готуємо числові ряди за весь період, та до 2022
ts_full <- as_tbl_time(agr_yearly, index = date)
ts_till_2022 <- as_tbl_time(agr_yearly %>% filter(date < as.Date("2022-01-01")), index = date)

# Обираємо період для розрахунків
#
ts_calc = ts_till_2022

# Розраховуємо числові показники
last_idx = length(ts_calc$year)
cat("Період розрахунку:", ts_calc$year[1], " - ", ts_calc$year[last_idx], "\n")

start_period_value = ts_calc$value[1]
end_period_value = ts_calc$value[last_idx]

cat("Імпорт на ", ts_calc$year[1], ": ", ts_calc$value[1] / 1000000, "млн USD \n")
cat("Імпорт на ", ts_calc$year[last_idx], ": ", ts_calc$value[last_idx] / 1000000, "млн USD \n")

abs_growth <- end_period_value - start_period_value
cat("Абсолютний приріст:", abs_growth / 1000000, "млн USD \n")

periods_no <- last_idx - 1
abs_growth_by_year <- abs_growth / periods_no
cat("Середньорічний абсолютний приріст:", abs_growth_by_year / 1000000, "млн USD \n")

avg_growth_rate <- (end_period_value/start_period_value) ^ (1/periods_no)
cat("Середньорічний темп росту:", avg_growth_rate, "\n")

start_period_price = ts_calc$price[1]
end_period_price = ts_calc$price[last_idx]

avg_price_change <- (end_period_price/start_period_price) ^ (1/periods_no)
cat("Середньорічний темп зміни ціни:", avg_price_change, "\n")
cat("Середньорічний темп падіння ціни:", 1-avg_price_change, "\n")

# Розрахунок ринкової концентрації

# ННІ: https://en.wikipedia.org/wiki/Herfindahl-Hirschman\_index
concstats_concstats(counties_2022_top$percent, digits = 2)

# Будуємо графіки

```

```

#

# Обираємо топ 5 країн постачальників
counties_2022_top <- counties_2022_top %>% top_n(5, value)
# Відображаємо Топ 5 країн за експортом
percent_format <- function(x) {
  scales::percent(x * 100, scale = 1)
}
ggplot(counties_2022_top, aes(x = "", y = percent, fill = reporter)) +
  geom_bar(stat = "identity", width = 1) +
  coord_polar(theta = "y") +
  theme_void() + # Remove unnecessary elements
  geom_text(aes(label = percent_format(percent)), position = position_stack(vjust = 0.5), color =
"white") +
  labs(title = "Top 5 Export")

# Відображаємо графік імпорту
ggplot(ts_full, aes(x = date, y = value)) +
  geom_line() +
  labs(title = "Імпорт 2012 - 2022",
    x = "Рік",
    y = "Ціна, млн USD") +
  scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-6)) +
  theme_minimal()

# Відображаємо динаміку ціни
ts_ukraine = ts_full
ts_world = ts_full
ggplot(ts_full, aes(x = date, y = price)) +
  geom_line() +
  labs(title = "Ціна за кг 2012 - 2022",
    x = "Рік",
    y = "Ціна, кг / USD") +
  theme_minimal()

p <- ggplot(ts_ukraine, aes(x = date, y = price, color="Україна")) +
  geom_line(linetype = "dashed") +
  geom_line(data = ts_world, aes(x = date, y = price, color="Світ"), linetype = "solid") +
  labs(title = "Ціна за кг 2012 - 2022",
    x = "Рік",
    y = "Ціна, кг / USD") +
  theme_minimal() +
  theme(legend.position = "bottom") +
# scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-9)) +
scale_colour_manual("",
  values = c("Україна"="black", "Світ"="black"))

p + guides(color = guide_legend(override.aes = list(linetype = c("solid", "dashed"))))

```

```

# Відображаємо динаміку ціни по всіх роках
ggplot(ts_full, aes(x = date, y = price)) +
  geom_line() +
  labs(title = "Ціна за кг 2012 - 2022",
        x = "Рік",
        y = "Ціна, кг / USD")+
  theme_minimal()

#
# Прогонозуємо наступні періоди
# Використовуємо дані з ts_calc
#

# Поточні дані
start_date <- as.Date("2012-01-01")
end_date <- as.Date(paste0(ts_calc$year[last_idx], "-12-31"))
seq_time <- seq(start_date, end_date, by = "year")
current_data <- data.frame(time = seq_time, time_series = ts_calc$value)
# Майбутній період
seq_future_time <- seq(max(seq_time) + years(1), length.out = (2030 -
as.numeric(ts_calc$year[last_idx])), by = "year")

# Лінійна модель зростання
#
linear_model <- lm(time_series ~ time, data = current_data)
summary(linear_model)
# Моделюємо поточний період
prediction <- predict(linear_model, newdata = data.frame(time = seq_time))
modelling_data_linear <- data.frame(time = seq_time, time_series = prediction)
# Моделюємо майбутній період
prediction <- predict(linear_model, newdata = data.frame(time = seq_future_time))
predicted_data_linear <- data.frame(time = seq_future_time, time_series = future_prediction)

# Поліноміальна модель зростання (квадратична = 2)
#
poly2_model <- lm(time_series ~ poly(time, degree = 2), data = current_data)
summary(poly2_model)
# Моделюємо поточний період
prediction <- predict(poly2_model, newdata = data.frame(time = seq_time))
modelling_data_poly2 <- data.frame(time = seq_time, time_series = prediction)
# Моделюємо майбутній період
prediction <- predict(poly2_model, newdata = data.frame(time = seq_future_time))
predicted_data_poly2 <- data.frame(time = seq_future_time, time_series = future_prediction)

# Поліноміальна модель зростання (кубічна = 3)
#
poly3_model <- lm(time_series ~ poly(time, degree = 3), data = current_data)
summary(poly3_model)
# Моделюємо поточний період

```

```

prediction <- predict(poly3_model, newdata = data.frame(time = seq_time))
modelling_data_poly3 <- data.frame(time = seq_time, time_series = prediction)
# Моделюємо майбутній період
prediction <- predict(poly3_model, newdata = data.frame(time = seq_future_time))
predicted_data_poly3 <- data.frame(time = seq_future_time, time_series = future_prediction)

# Будуємо графік моделей
p <- ggplot(current_data, aes(x = time, y = time_series, point_color="one")) +
  geom_point(color = "blue", size = 3) + # Поточні значення
  geom_line(data = modelling_data_linear, aes(x = time, y = time_series, color="Лінійна"),
linetype = "dotted") +
  geom_line(data = modelling_data_poly2, aes(x = time, y = time_series,
color="Квадратична"), linetype = "dashed") +
  geom_line(data = modelling_data_poly3, aes(x = time, y = time_series, color="Кубічна"),
linetype = "twodash") +
  labs(title = "Моделювання", x = "Роки", y = "Експорт, млрд USD") +
  theme_minimal() +
  theme(legend.position = "bottom") +
  scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-9)) +
  scale_colour_manual("",
values = c("Лінійна"="red", "Квадратична"="orange", "Кубічна"="green"))

p + guides(color = guide_legend(override.aes = list(linetype = c("twodash", "dashed", "dotted"))))
}

# Будуємо графік прогнозу до 2030 року

ggplot(current_data, aes(x = time, y = time_series, point_color="one")) +
geom_point(color = "blue", size = 3) + # Поточні значення
geom_line(aes(x = time, y = time_series), color = "blue") +
geom_point(data = predicted_data_poly3, color = "red", size = 1) + # Майбутнє лінійне
geom_line(data = predicted_data_poly3, aes(x = time, y = time_series), color = "red", linetype =
"dashed") +
labs(title = "Прогонозування", x = "Роки", y = "Експорт, млрд USD") +
theme_minimal() +
scale_y_continuous(labels = scales::number_format(scale = 1e-9))

# Абсолютні показники росту

cat("Імпорт на ", ts_calc$year[last_idx], ": ", end_period_value / 1e9, "млрд USD \n")

predicted_value = tail(predicted_data_poly3$time_series, 1)
cat("Імпорт на ", ts_calc$year[last_idx], ": ", end_period_value / 1e9, "млрд USD \n")
cat("Імпорт на ", as.character(tail(predicted_data_poly3$time, 1)), ": ", predicted_value / 1e9,
"млрд USD \n")
cat("Зростання у", predicted_value / end_period_value, " рази")

```

Джерело: розроблено автором.

Додаток Г
Імпорт літій-іонних батарей в Україну

Таблиця Г.1 – Імпорт літій-іонних батарей в Україну (за даними країн-експортерів) у 2012–2022 рр.

Рік	Вартість імпорту, дол. США	Вага імпорту, кг
2012	1 379 348	7 475
2013	2 555 385	10 345
2014	2 102 292	180 107
2015	1 599 470	18 699
2016	6 522 034	104 671
2017	11 498 732	204 949
2018	16 011 892	270 293
2019	16 060 573	292 066
2020	23 337 234	617 825
2021	30 647 781	858 536
2022	127 398 936	3 124 648

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77]

Таблиця Г.2 – Імпорт літій-іонних батарей в Україну (за даними країн-експортерів) у січні – грудні 2022 року

Місяць	Вартість імпорту, дол. США	Вага імпорту, кг
Січень	5 425 977	188 794
Лютий	4 977 203	140 966
Березень	666 489	16 162
Квітень	1 682 218	46 151
Травень	2 312 584	63 831
Червень	3 017 177	75 842
Липень	2 670 599	63 460
Серпень	4 620 415	122 259
Вересень	4 104 409	90 054
Жовтень	10 065 926	207 650
Листопад	28 466 125	676 319
Грудень	59 389 814	1 433 160

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77]

Додаток Д
Світовий експорт літій-іонних батарей

Таблиця Д.1 – Світовий експорт літій-іонних батарей у 2012–2022 рр.

Рік	Вага експорту, кг	Вартість експорту, дол. США	Ціна, дол. США /кг
2012	201 238 040	11 429 554 428	56,80
2013	182 009 752	13 054 628 655	71,72
2014	213 856 831	14 121 696 339	66,03
2015	266 272 329	15 210 344 808	57,12
2016	351 767 512	17 508 227 067	49,77
2017	422 109 954	22 016 542 129	52,16
2018	524 935 679	29 408 027 728	56,02
2019	624 201 231	34 616 040 001	55,46
2020	1 106 521 912	44 638 890 993	40,34
2021	1 875 990 357	68 386 442 064	36,45
2022	3 640 455 167	99 794 342 052	27,41

Джерело: побудовано автором в R Studio [59] з використанням обробленими даних UN Comtrade [77].